

**Bundesamt
für
Strahlenschutz**

Plan

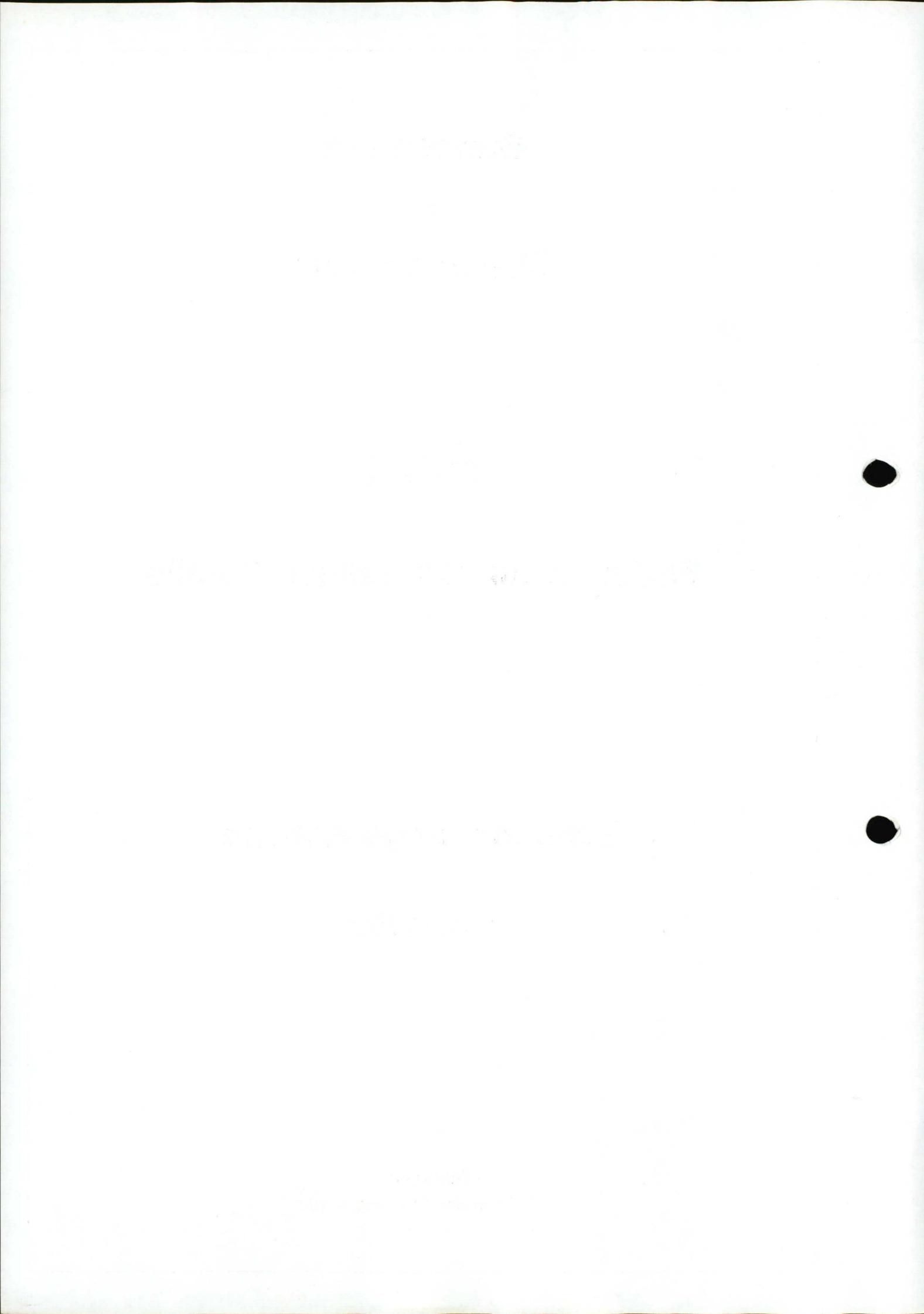
Endlager für radioaktive Abfälle

Schachtanlage Konrad

Salzgitter

229 *

**Textband 2
9/86 in der Fassung 4/90**

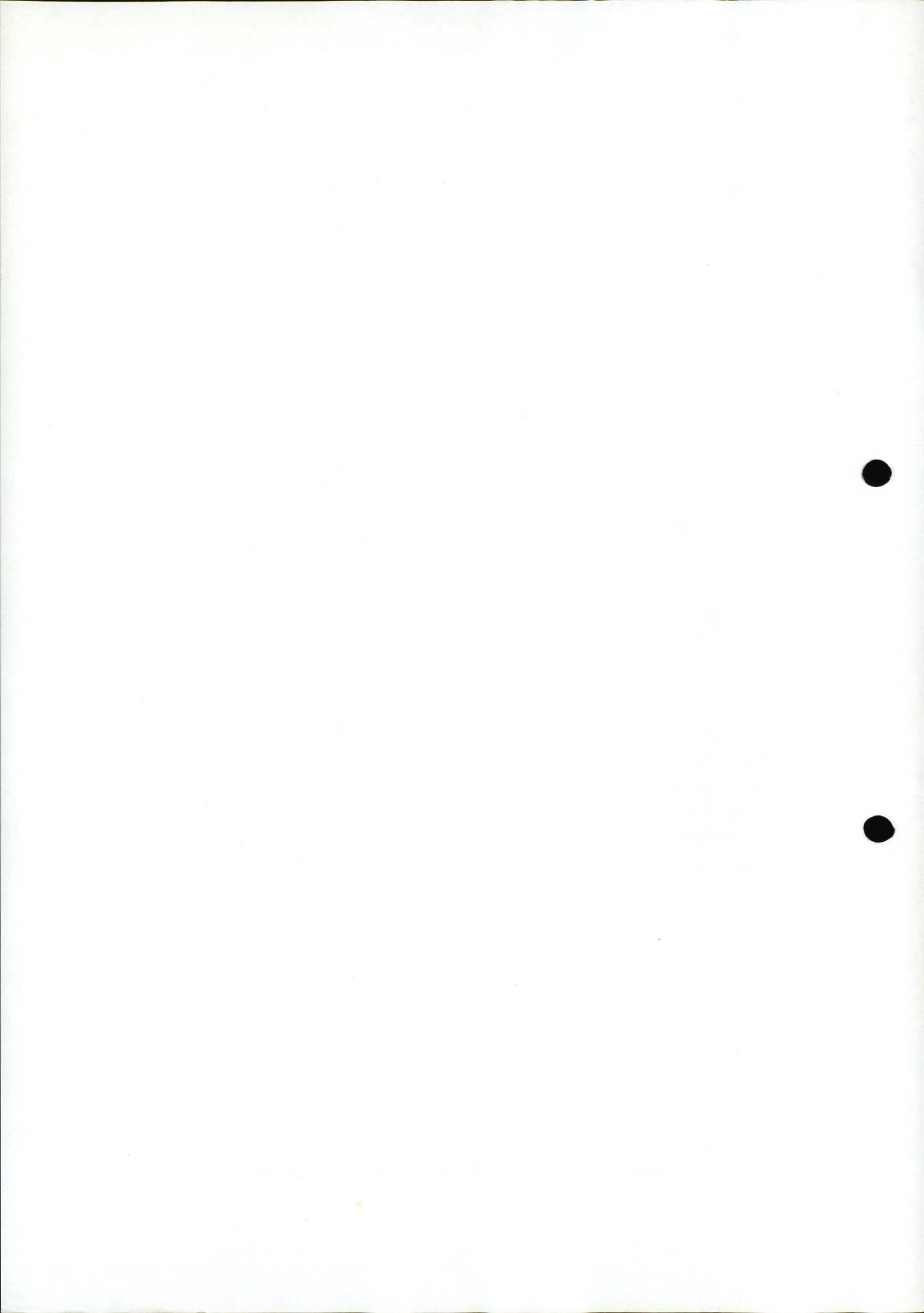


Antragsteller

Bundesamt für Strahlenschutz

Nach Artikel 2, Nr. 8 des Gesetzes über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 9. Oktober 1989 (BGBl I, Seite 1830) ist die Zuständigkeit für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle mit Wirkung vom 1. November 1989 von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) auf das Bundesamt für Strahlenschutz BfS, Salzgitter, übergegangen.

Stand: September 1986 in der Fassung vom April 1990



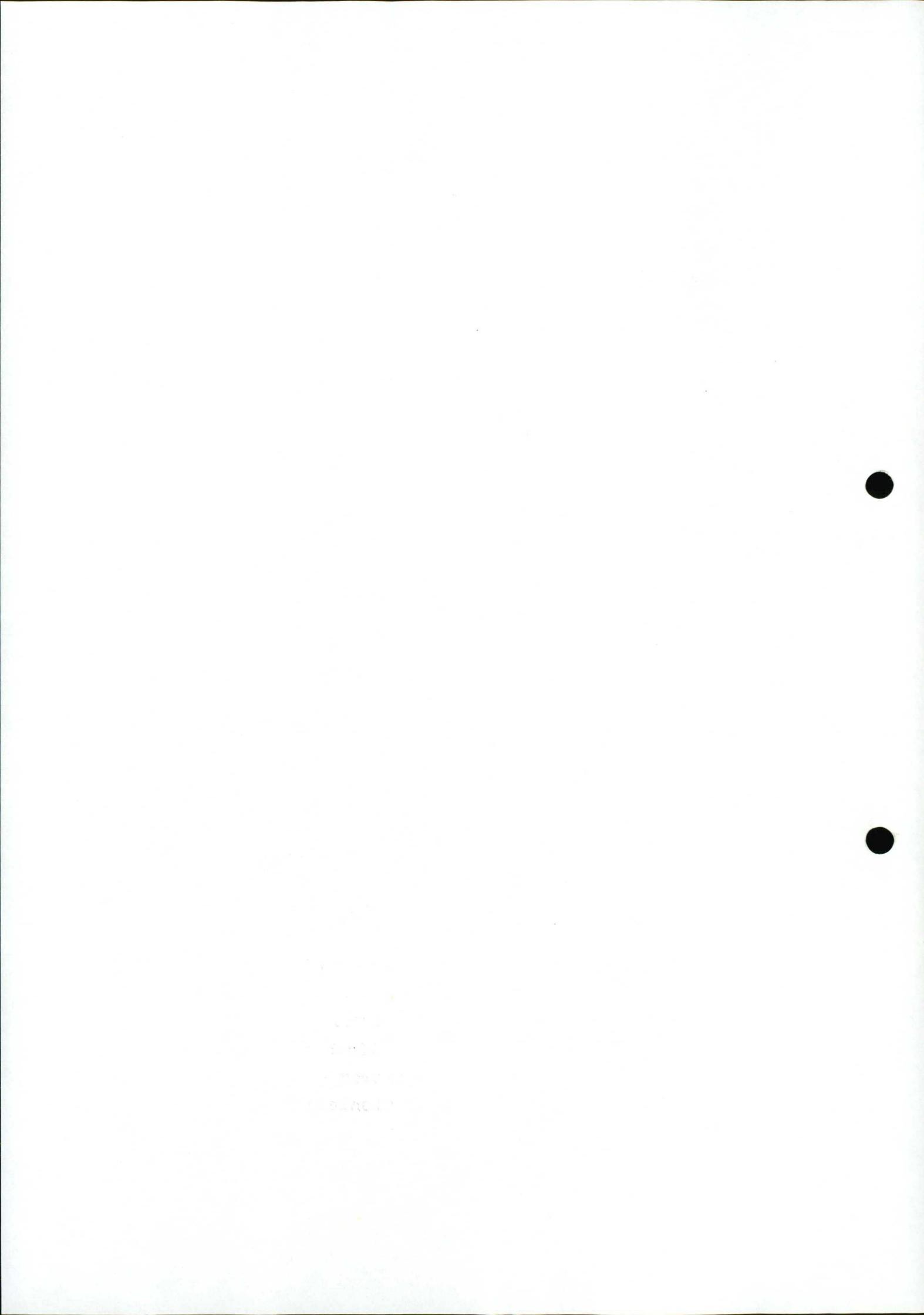
G L I E D E R U N G P L A N K O N R A D

TEXTBAND 1

- 1 Beschreibung der Schachtanlage Konrad bis zum Beginn der Einrichtung als Endlager
- 2 Anlaß und Gesamtdarstellung des Vorhabens
- 3 Beschreibung des Endlagers und Darstellung der Auswirkung des Vorhabens
 - 3.1 Standort
 - 3.2 Betrieb und betriebliche Anlagen

TEXTBAND 2

- 3.3 Endlagerungsbedingungen und Produktkontrolle und Dokumentation
- 3.4 Bestimmungsgemäßer Betrieb - radiologische Analyse und Strahlenschutz
- 3.5 Störfallanalyse
- 3.6 Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins
- 3.7 Kritikalitätssicherheit
- 3.8 Erdbebensicherheit des Grubengebäudes
- 3.9 Langzeitsicherheit
- 3.10 Sonstige Emissionen der Anlage
- 4 Abschluß des Betriebes
- 5 Abkürzungsverzeichnis und Erklärung von Fachwörtern



I N H A L T S V E R Z E I C H N I S
TEXTBAND 2

3.3 ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN, PRODUKTKONTROLLE
UND DOKUMENTATION

3.3.1 Einleitung (2) *

3.3.2 Abfallprodukte (6)

3.3.2.1 Grundanforderungen

3.3.2.2 Abfallproduktgruppen

3.3.2.3 Qualitätsmerkmale der Abfallproduktgruppen

3.3.2.4 Ausschöpfung von Aktivitätsgrenzwerten

3.3.3 Abfallbehälter (4)

3.3.3.1 Grundanforderungen

3.3.3.2 Abfallbehälterklassen

3.3.4 Aktivitätsbegrenzungen (22)

3.3.4.1 Zulässige Aktivitäten

3.3.4.2 Überprüfung der Einhaltung von Aktivitäts-
begrenzungen

3.3.5 Abfallgebinde (3)

3.3.6 Produktkontrolle endzulagernder Ab-
fallgebinde (17)

3.3.6.1 Organisation und Verantwortung

3.3.6.2 Endlagerrelevante Eigenschaften radioaktiver
Abfälle

3.3.6.3 Produktbezogene Maßnahmen

3.3.6.3.1 Kontrolle von Abfallgebinden aus nicht
qualifizierten Verfahren

3.3.6.3.2 Kontrolle von Konditionierungsverfahren

* () = Anzahl der Seiten

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

TEXTBAND 2

- 3.3.6.3.3 Kontrollmaßnahmen für Abfallbehälter
- 3.3.7 Dokumentation der Abfalldaten (2)
- 3.4 BESTIMMUNGSGEMÄßER BETRIEB - RADIOLOGISCHE ANALYSE UND STRAHLENSCHUTZ
 - 3.4.1 Zusammenfassung (4)
 - 3.4.2 Aktivitätsfreisetzung im bestimmungsgemäßen Betrieb (14)
 - 3.4.2.1 Aktivitätsfreisetzung aus den Abfallgebinden
 - 3.4.2.2 Aktivitätsfreisetzung aus Einlagerungskammern
 - 3.4.2.3 Aktivitätsfreisetzung aus Abfallgebinden während der Handhabung und der Lagerung über Tage
 - 3.4.2.4 Aktivitätsgrenzwerte für Radionuklide und Radionuklidgruppen
 - 3.4.3 Radioaktive Stoffe in den Wettern und in der Luft der Gebäude über Tage (1)
 - 3.4.4 Radioaktive Stoffe in flüssiger Form, Aufkommen und Behandlung (5)
 - 3.4.5 Radioaktive Stoffe in fester Form, Aufkommen und Behandlung (feste Betriebsabfälle) (3)
 - 3.4.6 Abschirmung und Ortsdosisleistung; Strahlenschutz des Personals (16)

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

TEXTBAND 2

- 3.4.6.1 Allgemeine Charakterisierung der Strahlenfelder von Abfallgebinden
- 3.4.6.2 Beschreibung der Vorsorgemaßnahmen für den Strahlenschutz des Betriebspersonals über und unter Tage
- 3.4.6.3 Abschätzung und Bewertung der Strahlenexposition des Personals
- 3.4.6.4 Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche
- 3.4.7 Abgabe radioaktiver Stoffe und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung (28)
 - 3.4.7.1 Abgabe radioaktiver Stoffe mit den Abwettern und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung
 - 3.4.7.2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit den Abwässern und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung
 - 3.4.7.3 Potentielle Strahlenexposition am Zaun aufgrund der Strahlenfelder der auf dem Gelände gehandhabten Abfallgebinde
- 3.4.8 Strahlungsüberwachung (28)
 - 3.4.8.1 Kontaminationsüberwachung
 - 3.4.8.2 Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S
TEXTBAND 2

3.4.8.3 Wetter- und Raumluftüberwachung
3.4.8.4 Personenüberwachung

3.4.8.5 Aktivitätsabgabeüberwachung

3.4.8.6 Umgebungsüberwachung

3.4.9 Literaturverzeichnis (1)

3.5 STÖRFALLANALYSE (52)

3.5.1 Zusammenfassung

3.5.2 Auslegungsstörfälle

3.5.2.1 Störfälle der Klasse 1

3.5.2.1.1 Lastannahmen

3.5.2.1.2 Störfallbedingte Freisetzunganteile

3.5.2.1.3 Rückhaltungen in der Anlage

3.5.2.1.4 Atmosphärische Ausbreitung und potentielle
Strahlenexposition in der Umgebung

3.5.2.2 Störfälle der Klasse 2

3.5.3 Ereignisse, die dem Restrisiko zugeordnet
sind

3.5.4 Literaturverzeichnis

3.6 THERMISCHE BEEINFLUSSUNG DES WIRTSGESTEINS (3)

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

TEXTBAND 2

3.7 KRITIKALITÄTSSICHERHEIT (4)

3.7.1 Kritikalitätssicherheit in der Betriebsphase

3.7.2 Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase

3.7.2.1 Kritische Spaltstoffkonzentration bei homogener Verteilung

3.7.2.2 Kritische Spaltstoffkonzentration bei inhomogener Verteilung

3.8 ERDBEBENSICHERHEIT DES GRUBENGEBAUDES (1)

3.9 LANGZEITSICHERHEIT (64)

3.9.1 Zusammenfassung

3.9.2 Grundlagen der Langzeitsicherheit

3.9.3 Szenario einer Schadstoffausbreitung

3.9.4 Ausbreitung von Radionukliden im Grubengebäude

3.9.5 Ausbreitung von Radionukliden in der Geosphäre

3.9.6 Ausbreitung von Radionukliden in der Biosphäre

3.9.7 Potentielle Strahlenexposition und Barrierenbewertung

3.9.8 Literaturverzeichnis

3.10 SONSTIGE EMISSIONEN DER ANLAGE (3)

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S
TEXTBAND 2

4 ABSCHLUß DES BETRIEBES

4.1 RESTVERFÜLLUNG DES GRUBENGEBAÜDES (1)

4.2 SCHACHTVERFÜLLUNG (10)

4.2.1 Aufgabenstellung

4.2.2 Beschreibung der Schachtverfüllung

4.2.2.1 Die hydrostatische Asphaltabdichtung

4.2.2.2 Mineralische Abdichtung

4.2.2.3 Stützsäule unterhalb der mineralischen
Abdichtung

4.3 ABBRUCH DER TAGESANLAGEN (1)

4.4 ÜBERWACHUNG (4)

5 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS UND ERKLÄRUNG VON
FACHWÖRTERN

5.1 Abkürzungsverzeichnis (3)

5.2 Erklärung von Fachwörtern (26)

A B B I L D U N G S V E R Z E I C H N I S

TEXTBAND 2

3.4.7.3/1 Abstellpositionen A bis E der Abfallgebinde auf dem Schachtgelände Konrad 2, Einteilung des Anlagenzaunes in Bereiche I bis VI

3.5.2/1 Temperatur-Zeitverlauf für den Brand eines Transportfahrzeuges unter Tage

3.9.4/1 Zeitabhängiger Toxizitätsindex der Abfälle für das Endlager Konrad und Vergleich mit der natürlichen Radiotoxizität der Endlagerformation

3.9.4/2 Schematische Darstellung der Modellierung des Grubengebäudes

3.9.4/3 Freisetzungsvorläufe ausgewählter Spaltprodukte

3.9.4/4 Freisetzungsvorläufe ausgewählter Aktiniden

3.9.5/1 Modellierung der Nuklidausbreitung durch eindimensionale Modelle mit Angabe der Grundwassertransportzeiten

3.9.5/2 Zeitlicher Verlauf der Radionuklidkonzentrationen in Bq/l im Quartär bei der Ausbreitung über das Oxford

3.9.6/1 Ausbreitung der Radionuklide in der Biosphäre und Lebensmittelverbrauch (Ernährungsgewohnheit) der Referenzperson

3.9.7/1 Zeitverläufe der effektiven Äquivalentdosen für den Erwachsenen bei der Radionuklidausbreitung über das Oxford

A B B I L D U N G S V E R Z E I C H N I S

TEXTBAND 2

3.9.7/2 Zeitverläufe der effektiven Äquivalentdosen für das Kleinkind bei der Radionuklidausbreitung über das Oxford

4.2/1 Verfüllung des Schachtes Konrad 1

4.2/2 Verfüllung des Schachtes Konrad 2

Textband

3.3 Endlagerungsbedingungen, Produktkontrolle und Dokumentation

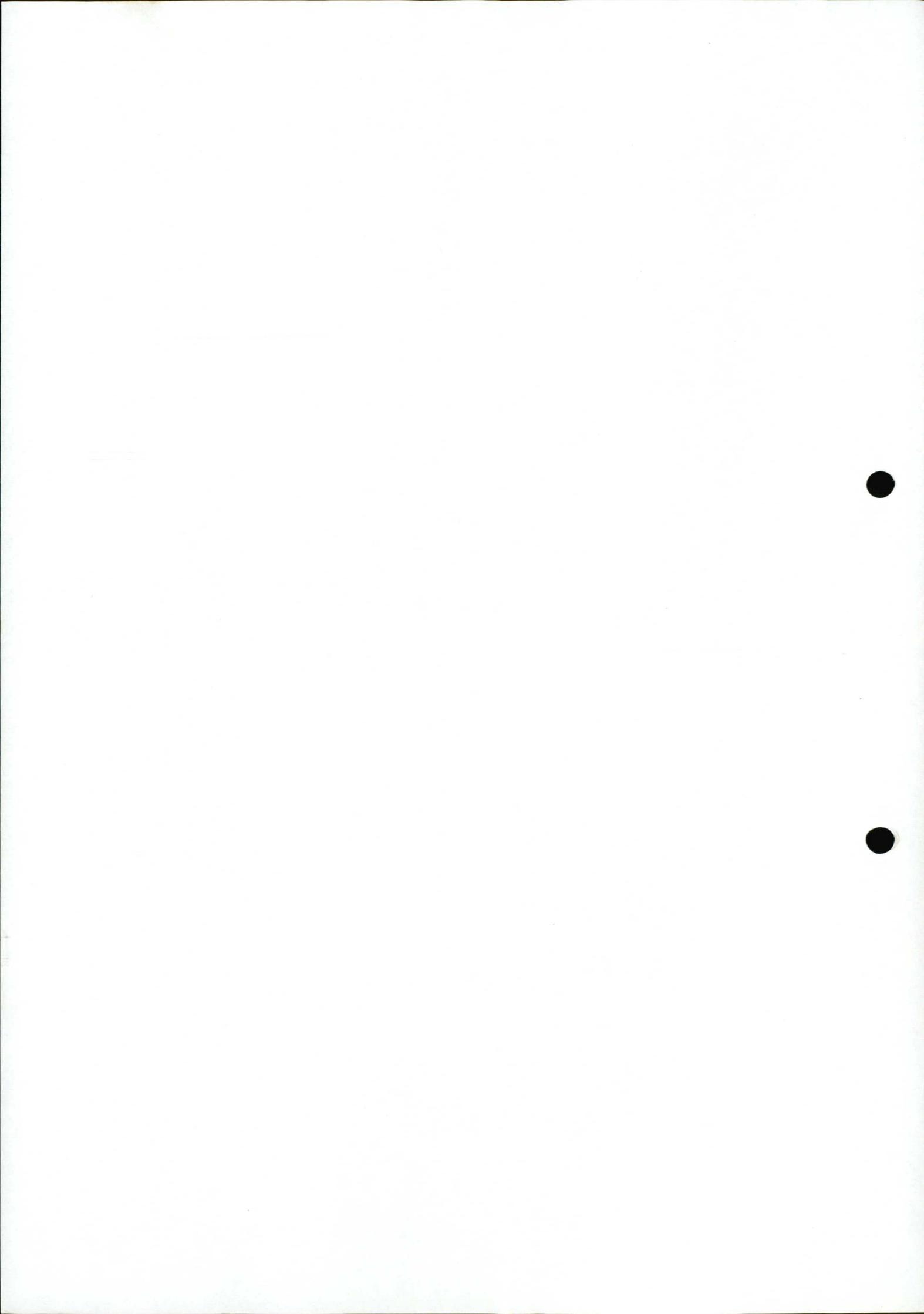
3.3 Endlagerungsbedingungen, Produkt- kontrolle und Dokumentation

KAPITEL

3.3 ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN, PRODUKTKONTROLLE UND DOKUMENTATION

UNTERKAPITEL

- 3.3.1 Einleitung
- 3.3.2 Abfallprodukte
- 3.3.3 Abfallbehälter
- 3.3.4 Aktivitätsbegrenzungen
- 3.3.5 Abfallgebinde
- 3.3.6 Produktkontrolle endzulagernder Abfall-
gebinde
- 3.3.7 Dokumentation der Abfalldaten



3.3 ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN, PRODUKTKONTROLLE UND DOKUMENTATION

3.3.1 Einleitung

Das Ziel der Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Schachtanlage Konrad ist der langfristige Schutz von Mensch und Umwelt vor der Schädigung durch die ionisierende Strahlung der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide.

Die in das Endlager Konrad einzulagernden radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung kommen insbesondere aus Forschungseinrichtungen und Landessammelstellen, Kernkraftwerken, Wiederaufarbeitungsanlagen, aus der Industrie des Kernbrennstoffkreislaufs, aus der Stilllegung und dem Abbau kerntechnischer Anlagen sowie aus dem Bereich der Bundeswehr und der pharmazeutischen Industrie. Ihre Endlagerbarkeit wurde in Sicherheitsanalysen

- des bestimmungsgemäßen Betriebes,
- von unterstellten Störfällen,
- der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins,
- zur Kritikalitätssicherheit und
- der radiologischen Langzeitauswirkungen

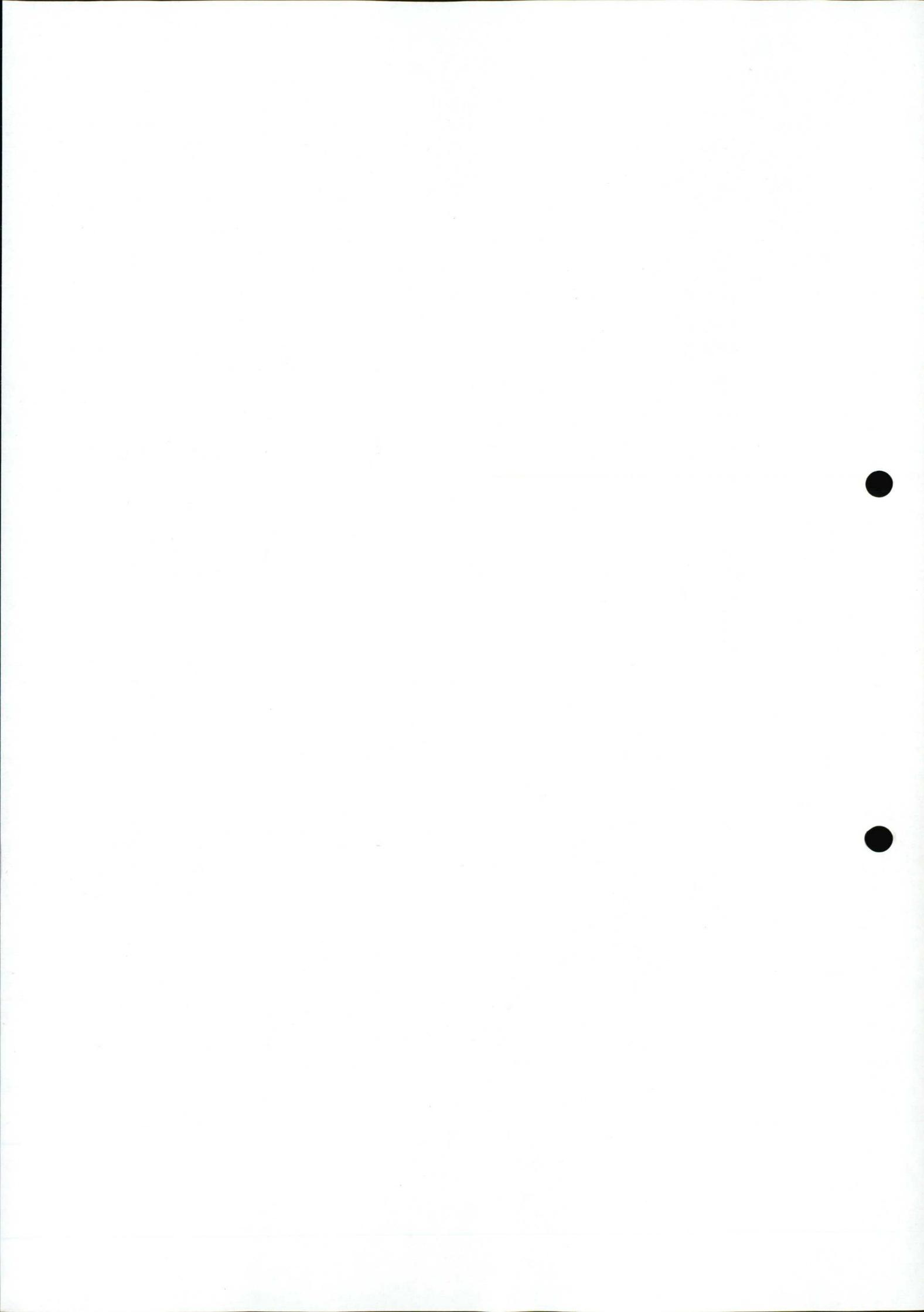
untersucht (Kap. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 und 3.9). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anforderungen an die endzulagernden Abfallgebinde umgesetzt worden. Sie bilden den wesentlichen Teil der Endlagerungsbedingungen, die bei der Ablieferung von Abfallgebinden eingehalten werden müssen. Da die Anforderungen jeweils separat aus den einzelnen Sicherheitsanalysen abgeleitet wurden, bestehen sie getrennt und müssen unabhängig voneinander erfüllt werden.

Das System der Anforderungen lässt sich aufgliedern in Anforderungen an die Abfallprodukte (Kap. 3.3.2), die Abfallbehälter (Kap. 3.3.3) sowie an die Radionuklidinventare in den Abfallgebinden (Kap. 3.3.4). Es wird durch zusätzliche allgemeine Anforderungen ergänzt, die z. B. die Ortsdosisleistung und Flächenkontamination betreffen, aus der Handhabung und Stapelung der Abfallgebinde resultieren oder im Zusammenhang mit der Dokumentation stehen (Kap. 3.3.5).

Die Einhaltung der Anforderungen an endzulagernde Abfallgebinde wird im Rahmen der Produktkontrolle geprüft (Kap. 3.3.6 und 3.3.7); bei nachgewiesener Einhaltung der Endlagerungsbedingungen können die radioaktiven Abfälle in der Schachtanlage Konrad endgelagert werden.

UNTERKAPITEL

- 3.3.2 Abfallprodukte**
- 3.3.2.1 Grundanforderungen**
- 3.3.2.2 Abfallproduktgruppen**
- 3.3.2.3 Qualitätsmerkmale der Abfallproduktgruppen**
- 3.3.2.4 Ausschöpfung von Aktivitätsgrenzwerten**



3.3.2 Abfallprodukte

Endzulagernde radioaktive Abfälle werden nicht mit Stoffen vermischt, für die das Abfallgesetz (AbfG) gilt oder die nach § 1 Abs. 3, Ziff. 1. und 3. bis 8. AbfG nicht unter dieses Gesetzes fallen.

Die in das Endlager Konrad einzulagernden radioaktiven Abfälle sind konditioniert.

Die verschiedenen radioaktiven Abfälle werden so zu Abfallprodukten verarbeitet, daß sie die nachfolgenden Anforderungen erfüllen und einer der in Kapitel 3.3.2.2 genannten Abfallproduktgruppen zugeordnet werden können.

3.3.2.1 Grundanforderungen

Alle Abfallprodukte genügen grundsätzlich den folgenden allgemeinen Grundanforderungen; sie

- liegen in fester Form vor,
- faulen und gären nicht,
- enthalten bis auf sinnvoll erreichbare und nicht vermeidbare Restgehalte
 - weder Flüssigkeiten noch Gase, die sich in Ampullen, Flaschen oder sonstigen Behältern befinden,
 - weder freibewegliche Flüssigkeiten noch setzen sie derartige Flüssigkeiten bzw. Gase unter üblichen Lagerungs- und Handhabungsbedingungen frei,
 - keine selbstentzündlichen oder explosiven Stoffe,

- enthalten durch thermische Neutronen spaltbare Stoffe nur in einer Massenkonzentration bis zu 50 g pro $0,1 \text{ m}^3$ Abfallprodukt.

Abfallprodukte, die unter Verwendung eines Fixierungsmittels (z. B. Zement, Beton, Bitumen oder Kunststoff) hergestellt werden, erfüllen grundsätzlich die folgenden zusätzlichen Grundanforderungen:

- Reaktionen zwischen dem radioaktiven Abfall, dem Fixierungsmittel und der Verpackung sind auf eine sicherheitstechnisch zulässige Rate beschränkt.
- Das verwendete Fixierungsmittel hat vollständig abgebunden oder ist vollständig erstarrt.
- Das Vergießen von radioaktiven Abfällen oder Hohlräumen zwischen Innenbehältern erfolgt mit fließfähigen Fixierungsmitteln, die ggf. durch technische Maßnahmen (z. B. Rütteln) verdichtet werden.
- Für das Vergießen von radioaktiven Abfällen oder Hohlräumen zwischen Innenbehältern verwendete Fixierungsmittel können auch mit kontaminierten Flüssigkeiten angemacht werden, wenn die Qualitätsmerkmale der betreffenden Abfallproduktgruppe eingehalten werden und die Verträglichkeit mit dem zu vergießenden Gut gewährleistet ist. Die in den kontaminierten Flüssigkeiten enthaltenen Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen werden bei der Aktivitätsangabe berücksichtigt.

Sofern radioaktive Abfälle in Verpackungen ohne spezifizierte Dichtigkeit (Kap. 3.3.3.2 und 3.3.4) Rn 220 freisetzen können, ist das Abfallprodukt von mindestens 40 mm inaktivem Beton vollständig umschlossen.

Eine Behandlung von unfixierten radioaktiven Abfällen in einem Abfallbehälter (z. B. Trocknen oder Konzentrieren) erfolgt so, daß sich keine Veränderungen ergeben, welche die sicherheitstechnische Barrierenfunktion des Behälters beeinträchtigen.

3.3.2.2 Abfallproduktgruppen

Die Abfallprodukte werden den folgenden Abfallproduktgruppen (APG) zugeordnet:

- APG 01 (z. B. Bitumen- und Kunststoffprodukte),
- APG 02 (z. B. Feststoffe),
- APG 03 (z. B. metallische Feststoffe),
- APG 04 (z. B. Preßlinge),
- APG 05 (z. B. zementierte/betonierte Abfälle) sowie
- APG 06 (z. B. Konzentrate).

Diese Gruppen unterscheiden sich in den Anforderungen, die aus sicherheitstechnischer Sicht an die Qualität eines Abfallproduktes gestellt werden.

3.3.2.3 Qualitätsmerkmale der Abfallproduktgruppen

Die Abfallprodukte können denjenigen Abfallproduktgruppen zugeordnet werden, deren Qualitätsmerkmale von ihnen erfüllt werden.

APG 01

Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zur APG 01 sind die in Kapitel 3.3.2.1 genannten Grundanforderungen erfüllt, d. h. bei Einhaltung dieser Anforderungen können aus sicherheitstechnischer Sicht alle Abfallprodukte der APG 01 zugeordnet werden.

APG_02

Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zur APG 02 ist über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet, daß brennbare Abfallstoffe mit einem Schmelzpunkt kleiner 300 °C

- so verarbeitet sind, daß sie nicht aus dem Abfallprodukt austreten, wenn sie bei thermischer Belastung flüssig werden oder
- einen Anteil von nicht mehr als 1 % an der Aktivität im betreffenden Abfallprodukt aufweisen.

APG_03

Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zur APG 03 ist über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet, daß der radioaktive Abfall nur aus Metallteilen besteht bzw. aus Werkstoffen von Einbauteilen eines Reaktorkerns mit der Ausnahme von Graphit.

APG_04

Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zur APG 04 ist über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet, daß der radioaktive Abfall mit einem Preßdruck von mindestens 30 MPa formstabil kompaktiert ist.

APG_05

Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zur APG 05 ist über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet, daß der radioaktive Abfall in Zementstein oder Beton fixiert ist. Die Fixierung ist so ausgeführt, daß

- bei eingebundenen oder verfestigten radioaktiven Abfällen (z. B. Aschen, Pulvern oder wässrigen Konzentraten) die Aktivität gleichmäßig und vollständig im Zementstein oder Beton verteilt ist,

- bei vergossenen radioaktiven Abfällen (z. B. Schrott) die Aktivität - soweit technisch und aufgrund der Beschaffenheit des Abfalls sinnvoll machbar - möglichst gleichmäßig im Abfallprodukt verteilt und
- die Druckfestigkeit des Abfallproduktes mindestens 10 N/mm^2 beträgt.

APG_06

Bei einer Zuordnung eines Abfallproduktes zur APG 06 ist über die Grundanforderungen hinaus gewährleistet, daß der radioaktive Abfall selbst aus einem festen Körper mit einer Druckfestigkeit von mindestens 10 N/mm^2 besteht und nicht brennbar ist.

3.3.2.4 Ausschöpfung von Aktivitätsgrenzwerten

Wenn die Qualitätsmerkmale einer Abfallproduktgruppe (Kap. 3.3.2.3) erfüllt werden, kann das betreffende Abfallprodukt die aus den Untersuchungen der unterstellten Störfälle (Kap. 3.3.4) resultierenden zulässigen Aktivitätsgrenzwerte dieser Abfallproduktgruppe ausschöpfen.

Über die Grundanforderungen hinausgehende und aus sicherheitstechnischer Sicht an die Qualität eines Abfallprodukts gestellte Anforderungen (APG 02 bis APG 06) können entfallen, wenn

- der radioaktive Abfall entweder formstabil fixiert oder in Innenbehälter verpackt ist, die formstabil vergossen sind, und
- das Abfallprodukt allseitig von einer inaktiven Schicht mit einem Wärmeleitwiderstand (Produkt aus Schichtdicke und reziproker Wärmeleitfähigkeit) von mindestens $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ umgeben ist, die bis zu einer Aufprallgeschwindigkeit von 4 m/s intakt bleibt, und

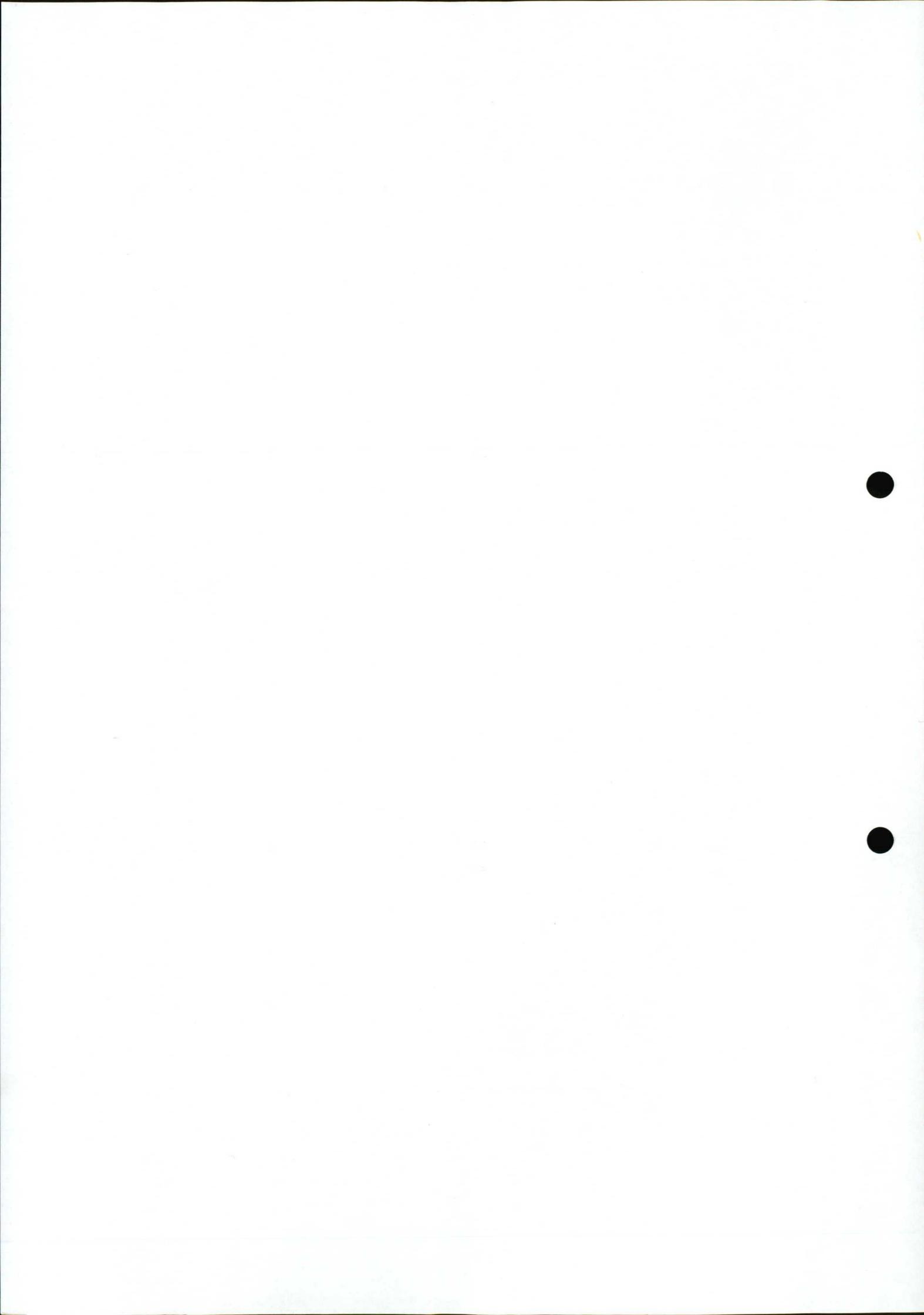
- die Verpackung sicherstellt, daß bei einem Fall aus 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage die formstabile Fixierung des radioaktiven Abfalls oder die Integrität der Innenbehälter erhalten bleibt.

Bei Erfüllung dieser Qualitätsmerkmale kann das Abfallprodukt die zulässigen Aktivitätsgrenzwerte der APG 05 und 06 ausschöpfen (Kap. 3.3.4).

Für Abfallprodukte, die den APG 02 bis 06 zugeordnet werden, können über die Grundanforderungen hinausgehende Anforderungen entfallen, wenn ihre Verpackung der Abfallbehälterklasse II (Kap. 3.3.3.2) zugeordnet wird. In diesem Fall können die Abfallprodukte die zulässigen Aktivitätsgrenzwerte der Abfallbehälterklasse II ausschöpfen (Kap. 3.3.4).

UNTERKAPITEL

- 3.3.3 Abfallbehälter**
- 3.3.3.1 Grundanforderungen**
- 3.3.3.2 Abfallbehälterklassen**



3.3.3 Abfallbehälter

Radioaktive Abfallprodukte werden zur Beförderung, Handhabung und Stapelung in Behälter verpackt. Die verwendeten Abfallbehältergrundtypen sind im Kapitel 3.2.3.1.2 beschrieben. Die Abfallbehälter/Verpackungen sind entsprechend den bei einer Bauartprüfung festgelegten Bedingungen gefertigt.

3.3.3.1 Grundanforderungen

Alle Verpackungen genügen den folgenden allgemeinen Grundanforderungen; sie

- halten die in Tab. 3.3.3.1/1 angegebenen Außenabmessungen*) und Bruttovolumina ein,
- sind so ausgelegt, daß sie in befülltem Zustand über eine Höhe von mindestens 6 m ohne Beeinträchtigung ihrer Dichtheit und Integrität gestapelt werden können (Kap. 3.3.3.2 und 3.3.4),
- gewährleisten - sofern sie eine spezifizierte Dichtheit besitzen - diese durch ihre Auslegung selbst oder durch eine entsprechend dicht ausgelegte innere Verpackung des Abfallproduktes,
- werden - sofern sie aus Stahlblech hergestellt sind - innen und außen korrosionssgeschützt ausgeführt und sind mit einem entsprechenden Oberflächenschutz (z. B. Grundierung und Deckschicht) versehen und

*) Abfallbehälter, die zur Verpackung von radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland durch COGEMA/BNFL verwendet werden (Kap. 3.2.3.1.2), können von diesen Außenabmessungen abweichen. Darüber hinaus behält sich das BfS vor, die Abmessungen der in Tabelle 3.3.3.1/1 zusammengestellten Abfallbehälter abweichend neu festzulegen. Voraussetzung dafür ist, daß die Abfallgebinde die sonstigen Anforderungen der Endlagerungsbedingungen (Betriebsanforderungen eingeschlossen) erfüllen.

3.3.3-2

- sind bei ihrer Ablieferung frei von mechanischen und korrosiven Schäden, die ihre Dichtheit und Integrität bei Handhabung und Stapelung beeinträchtigen.

Nr.	Bezeichnung	Länge/ Durchm. mm	Außenabmessungen		Brutto- volumen m ³
			Breite mm	Höhe mm	
01.	Betonbehälter Typ I	Ø 1060	-	1370 ¹⁾	1,2
02.	Betonbehälter Typ II	Ø 1060	-	1510 ²⁾	1,3
03.	Gußbehälter Typ I	Ø 900	-	1150	0,7
04.	Gußbehälter Typ II	Ø 1060	-	1500 ³⁾	1,3
05.	Gußbehälter Typ III	Ø 1000	-	1240	1,0
06.	Container Typ I	1600	1700	1450 ⁴⁾	3,9
07.	Container Typ II	1600	1700	1700	4,6
08.	Container Typ III	3000	1700	1700	8,7
09.	Container Typ IV	3000	1700	1450 ⁴⁾	7,4
10.	Container Typ V	3200	2000	1700	10,9
11.	Container Typ VI	1600	2000	1700	5,4
1) Höhe 1370 mm + Lasche von 90 mm = 1460 mm 2) Höhe 1510 mm + Lasche von 90 mm = 1600 mm 3) Höhe 1370 mm beim Typ KfK 4) Stapelhöhe 1400 mm beim Typ KfK					
Containerwerkstoffe sind z. B. Stahlblech, armierter Beton oder Gußwerkstoff.					

Tab. 3.3.3.1/1 Behältergrundtypen für die Verpackung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung

Bei Verwendung von dekontaminiertem Schrott oder abgereichertem Uran als Material für Abfallbehälter oder Innenauskleidungen werden die hierin enthaltenen Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen bei der Aktivitätsangabe berücksichtigt.

3.3.3.2 Abfallbehälterklassen

Die Abfallbehälter werden zwei Abfallbehälterklassen zugeordnet. Beide Abfallbehälterklassen unterscheiden sich in den Anforderungen, die aus sicherheitstechnischer Sicht an die Qualität einer Verpackung gestellt werden. Wenn die nachfolgend angegebenen Qualitätsmerkmale einer Abfallbehälterklasse erfüllt werden, können bei Verwendung der betreffenden Verpackung die für die jeweilige Abfallproduktgruppe zulässigen Aktivitätsgrenzwerte dieser Abfallbehälterklasse ausgeschöpft werden (Kap. 3.3.4).

Zur Verpackung werden die in Kapitel 3.2.3.1.2 beschriebenen Abfallbehältergrundtypen verwendet; sie erfüllen die in Kapitel 3.3.3.1 angegebenen Grundanforderungen.

Abfallbehälterklasse_I

Verpackungen, die der Abfallbehälterklasse I zugeordnet werden, gewährleisten über die Grundanforderungen hinaus, daß bis zu einer Aufprallgeschwindigkeit von 4 m/s ihre Integrität soweit erhalten bleibt, daß bei einer nachfolgenden thermischen Einwirkung (Schadensfeuer mit einer Temperatur von 800 °C während einer Stunde) der Sauerstoffzutritt an das Abfallprodukt so begrenzt wird, daß brennbare Abfallprodukte mit Schmelzpunkten über 300 °C nicht mit offener Flamme abbrennen, sondern pyrolysierten.

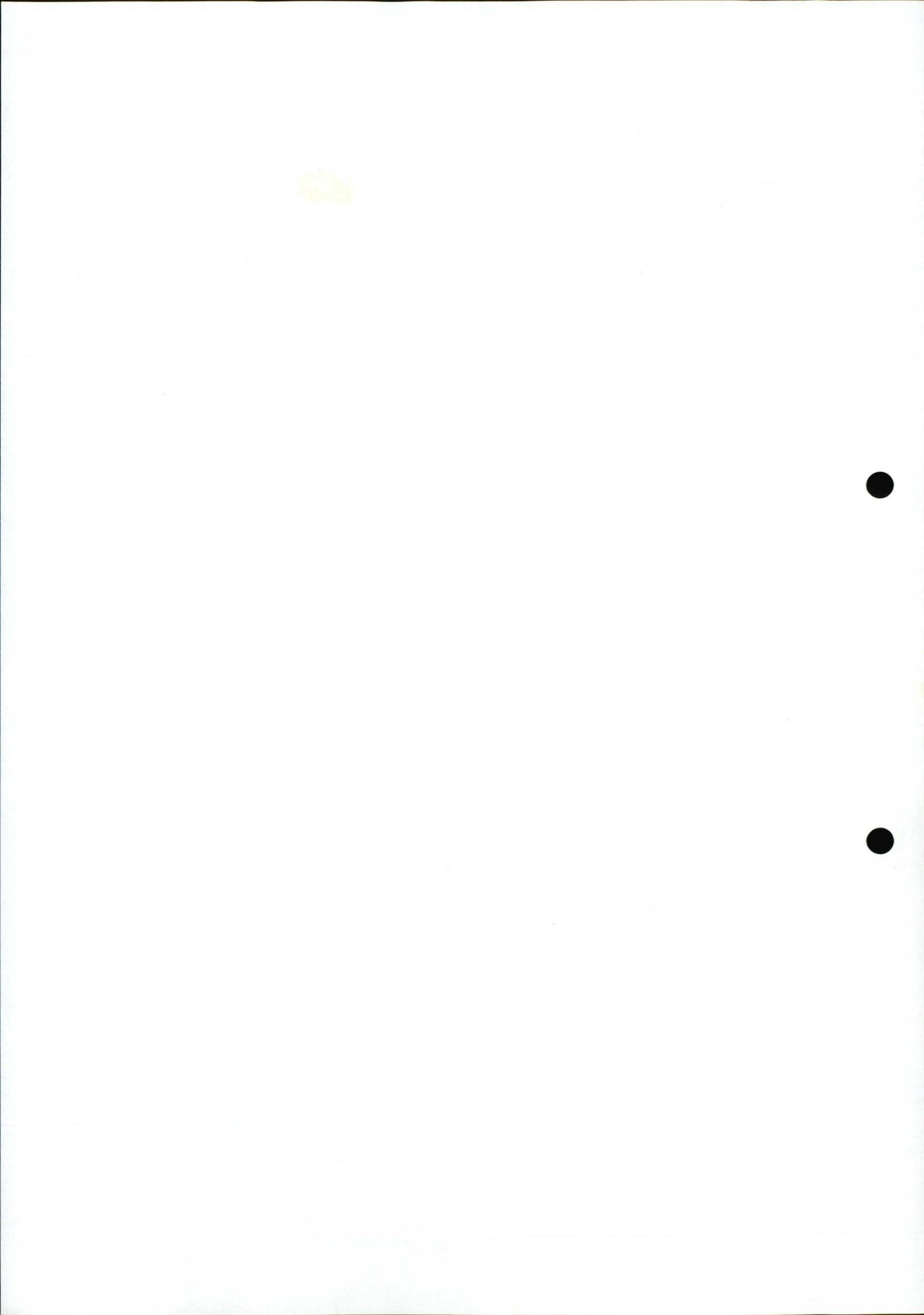
Abfallbehälterklasse_II

Verpackungen, die der Abfallbehälterklasse II zugeordnet werden, gewährleisten über die Grundanforderungen hinaus, daß

- sie einem Fall aus 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage derart standhalten, daß die Gesamtleckrate (bezogen auf Standardbedingungen wie bei der Dichtheitsprüfung nach der Vakuummethode) nach dem Fall $1 \cdot 10^{-4}$ Pa · m³/s nicht überschreitet, oder
- bei formstabil fixierten und in Innenbehältern verpackten radioaktiven Abfällen die Integrität der Innenbehälter nach einem Fall aus 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage erhalten bleibt, und
- die Wandung der Verpackung bis zu einer Aufprallgeschwindigkeit von 4 m/s einen Wärmeleitwiderstand (Produkt aus Schichtdicke und reziproker Wärmeleitfähigkeit) von mindestens 0,1 m² · K/W besitzt, oder
- bei einem Schadensfeuer mit einer Temperatur von 800 °C während einer Stunde sichergestellt ist, daß die Gesamtleckrate (bezogen auf Standardbedingungen wie bei der Dichtheitsprüfung nach der Vakuummethode) vor dem Brand kleiner $1 \cdot 10^{-5}$ Pa · m³/s ist und die Stoffmenge des aus der Verpackung freigesetzten Gases während des Brandes und einer Abkühlphase von 24 Stunden einen Wert von einem Mol nicht überschreitet.

UNTERKAPITEL

- 3.3.4 Aktivitätsbegrenzungen
 - 3.3.4.1 Zulässige Aktivitäten
 - 3.3.4.2 Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen



3.3.4 Aktivitätsbegrenzungen

3.3.4.1 Zulässige Aktivitäten

Die zulässigen Aktivitäten von Radionukliden und Radionuklidgruppen (nicht spezifizierte Alpha- und Beta/Gammastrahler) pro Abfallgebinde resultieren aus den Sicherheitsanalysen für die Betriebs- und Nachbetriebsphase des Endlagers Konrad (Kap. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 und 3.9). Die auf diese Weise abgeleiteten Aktivitätsbegrenzungen können z. T. weit über den tatsächlich vorhandenen oder zukünftig anfallenden Aktivitäten liegen. Diese Aktivitäten sind hinsichtlich des bestimmungsgemäßen Betriebes, der unterstellten Störfälle und der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins und der Kritikalitätssicherheit in den Tabellen 3.3.4/1 bis /6 getrennt angegeben.

Die aus diesen Untersuchungen abgeleiteten Anforderungen bestehen unabhängig voneinander. Die jeweils restriktivste Anforderung bezüglich der zulässigen Aktivitäten der Radionuklide und Radionuklidgruppen in einem Abfallgebinde wird eingehalten.

Die aus der Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Endlagers Konrad (Kap. 3.4.2) abgeleiteten Garantiewerte für vier Radionuklide und zwei Radionuklidgruppen (nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler) sind in Tabelle 3.3.4/1 zusammengefaßt. Als Richtwert für die jährlich einlagerbare Aktivität eines Radionuklids bzw. einer Radionuklidgruppe gilt das 10^4 -fache des zugehörigen Garantiewertes.

3.3.4-2

Die aus den Störfallanalysen abgeleiteten Aktivitätsgrenzwerte der radiologisch wichtigsten Radionuklide (Leitnuklide), der nicht spezifizierten sonstigen Alpha- und Beta/Gammastrahler und von weiteren Radionukliden (Einzelnuklide) sind in den Tabellen 3.3.4/2 und /3 zusammengestellt.

Aus den Untersuchungen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins abgeleitete Aktivitätswerte für Leitnuklide, nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler sowie für weitere Radionuklide sind in den Tabellen 3.3.4/4 und /5 angegeben.

Die aus den Analysen zur Kritikalitätssicherheit abgeleiteten Aktivitätswerte sind in Tabelle 3.3.4/6 aufgeführt.

Die Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen, d. h. die Anwendung der Tabellen 3.3.4/1 bis /6, wird in Kapitel 3.3.4.2 beschrieben.

Aus den Sicherheitsanalysen lassen sich maximal eilagerbare Gesamtaktivitäten für Alpha- und Beta/Gammastrahler sowie für einzelne relevante Radionuklide ableiten. Darüber hinaus sind in Tabelle 3.3.4/7 die Aktivitäten relevanter Radionuklide und Radionuklidgruppen am Ende der Betriebsphase des Endlagers Konrad angegeben.

Radionuklid/ Radionuklid- gruppe	Verpackungen ohne spezifizierte Dichtigkeit		Verpackungen mit einer spezifizierten Dichtigkeit					
			Jährlicher Durchlässigkeitsfaktor					
	≤ 0,01		≤ 0,001		≤ 0,0001			
	Metallische Feststoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen	Metallische Feststoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen	Metallische Feststoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen	Metallische Feststoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen
Tritium								
- unspezifiziert		$3,0 \cdot 10^9$		$3,3 \cdot 10^9$		$3,3 \cdot 10^9$		$3,3 \cdot 10^9$
- als HTO*		a) $7,4 \cdot 10^{10}$ b) $4,2 \cdot 10^{10}$ c) $3,0 \cdot 10^9$		a) $4,2 \cdot 10^{12}$ b) $9,4 \cdot 10^{10}$ c) $3,3 \cdot 10^9$		a) $8,4 \cdot 10^{12}$ b) $9,5 \cdot 10^{10}$ c) $3,3 \cdot 10^9$		a) $9,3 \cdot 10^{12}$ b) $9,5 \cdot 10^{10}$ c) $3,3 \cdot 10^9$
- als HT	$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{11}$	
C 14								
- unspezifiziert oder in flüchtiger Form	$8,4 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^8$
- Anteil in flüchtiger Form ≤ 10 %		$1,8 \cdot 10^9$		$2,0 \cdot 10^8$		$2,0 \cdot 10^9$		$2,0 \cdot 10^9$
- Anteil in flüchtiger Form ≤ 1 %		$1,8 \cdot 10^{10}$		$2,0 \cdot 10^{10}$		$2,0 \cdot 10^{10}$		$2,0 \cdot 10^{10}$
I 129								
- unspezifiziert		$1,9 \cdot 10^7$		$1,9 \cdot 10^8$		$1,9 \cdot 10^{10}$		$1,9 \cdot 10^{11}$
- auf silberhaltigen Filtern aus der Abgasreinigung in Wieder- aufarbeitungs- anlagen		$1,9 \cdot 10^9$		$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{12}$		$1,9 \cdot 10^{13}$
Ra 226								
- unfixiert		$9,0 \cdot 10^6$		$4,8 \cdot 10^{10}$		$4,8 \cdot 10^{11}$		$4,8 \cdot 10^{12}$
- fixiert		$1,4 \cdot 10^8$		$4,8 \cdot 10^{10}$		$4,8 \cdot 10^{11}$		$4,8 \cdot 10^{12}$
sonstige β/γ-Strahler außer Pu 241		d) $3,7 \cdot 10^{15}$ e) $3,7 \cdot 10^{13}$		d) $3,7 \cdot 10^{17}$ e) $3,7 \cdot 10^{15}$		d) $3,7 \cdot 10^{17}$ e) $3,7 \cdot 10^{15}$		d) $3,7 \cdot 10^{17}$ e) $3,7 \cdot 10^{15}$
sonstige α-Strahler sowie Pu 241		$1,9 \cdot 10^{14}$		$1,9 \cdot 10^{16}$		$1,9 \cdot 10^{16}$		$1,9 \cdot 10^{16}$

* Tritiumkonzentration (als HTO) im Wasser bzw. in der Restfeuchte des Abfallproduktes $\leq 1,1 \cdot 10^{13} \text{ Bq/m}^3$
 Gesamtaktivität im Abfallprodukt ohne Tritiumaktivität: a) $< 10^{10} \text{ Bq}$, b) 10^{10} Bq bis $< 10^{12} \text{ Bq}$, c) $\geq 10^{12} \text{ Bq}$
 Massenanteil des Wasser bzw. der Restfeuchte im Abfallprodukt: d) $< 1 \%$, e) $\geq 1 \%$

Tabelle
3.3.4/1

Garantiewerte für Radionuklide und Radionuklidgruppen pro Abfallgebinde, die aus der Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Betrieb resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

Radionuklid/ Radionuklid- gruppe	Abfallbehälterklasse I						Abfallbehälter- klasse II	
	Abfallproduktgruppe							
	01	02	03	04	05	06		
I 129	$3,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^9$	$7,5 \cdot 10^{10}$	
Cl 36	$4,2 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	
I 125	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	
Ac 227	$3,6 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{11}$	$9,1 \cdot 10^{12}$	
Pb 210	$1,0 \cdot 10^9$	$3,5 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	
Se 79	$4,9 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^{11}$	$6,1 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	
Sn 126	$5,1 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	
Cd 113m	$5,1 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	
Ra 228	$5,1 \cdot 10^9$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	
Sr 90	$6,0 \cdot 10^9$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	
Ag 108m	$6,7 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^{11}$	$8,4 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$6,7 \cdot 10^{12}$	$6,7 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	
Am 242m	$4,9 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$6,1 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	
Nb 94	$7,8 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{12}$	$7,8 \cdot 10^{12}$	$7,8 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	
Na 22	$1,6 \cdot 10^{10}$	$5,6 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	
Rb 87	$2,4 \cdot 10^{10}$	$8,6 \cdot 10^{11}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$7,4 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$5,9 \cdot 10^{14}$	
Eu 152	$3,1 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{12}$	$3,8 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$7,7 \cdot 10^{14}$	
Co 60	$3,5 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^{12}$	$4,3 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{13}$	$8,6 \cdot 10^{14}$	
Cs 137	$3,6 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$4,5 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$9,1 \cdot 10^{14}$	
Ra 226	$4,4 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$5,5 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	
Pa 231	$4,2 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^{10}$	$5,2 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$4,2 \cdot 10^{11}$	$4,2 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	
Th 232	$1,0 \cdot 10^9$	$3,6 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	
Cm 248	$9,1 \cdot 10^8$	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	$9,1 \cdot 10^{11}$	$9,1 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	
Np 237	$1,5 \cdot 10^9$	$5,5 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$4,8 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$3,8 \cdot 10^{13}$	
U 232	$3,6 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	
Th 228	$4,9 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$6,1 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	
Cm 245	$5,1 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	
Cm 246	$5,3 \cdot 10^9$	$2,6 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$5,3 \cdot 10^{12}$	$5,3 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	
Am 243	$5,3 \cdot 10^9$	$2,6 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$5,3 \cdot 10^{12}$	$5,3 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	
Am 241	$5,3 \cdot 10^9$	$2,6 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$5,3 \cdot 10^{12}$	$5,3 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	
Pu 239	$5,8 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^{11}$	$7,3 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	
sonstige α-Strahler	$5,8 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^{11}$	$7,3 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	
sonstige β/γ-Strahler	$3,6 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$4,5 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$9,1 \cdot 10^{14}$	

Tabelle
3.3.4/2

Aktivitätsgrenzwerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler, die aus der Störfallanalyse resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

Radionuklid	Abfallbehälterklasse I						Abfallbehälter-klasse II
	Abfallproduktgruppe						
	01	02	03	04	05	06	Abfallprodukt- gruppen 01-06
Ag 110m	$1,7 \cdot 10^{11}$	$6,2 \cdot 10^{12}$	$2,2 \cdot 10^{13}$	$5,4 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$4,3 \cdot 10^{15}$
Ar 39	$2,0 \cdot 10^{17}$	$2,0 \cdot 10^{17}$	$2,0 \cdot 10^{17}$	$2,0 \cdot 10^{17}$	$2,0 \cdot 10^{17}$	$2,0 \cdot 10^{17}$	$5,0 \cdot 10^{18}$
Ba 133	$1,0 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$3,0 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{15}$
Be 10	$6,0 \cdot 10^{12}$	$3,0 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{14}$	$1,9 \cdot 10^{15}$	$6,0 \cdot 10^{15}$	$6,0 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{17}$
C 14	$7,2 \cdot 10^{12}$	$7,2 \cdot 10^{12}$	$7,2 \cdot 10^{12}$	$7,2 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{15}$
Ca 41	$1,1 \cdot 10^{11}$	$3,8 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{15}$
Ca 45	$7,6 \cdot 10^{11}$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{14}$	$7,6 \cdot 10^{14}$	$7,6 \cdot 10^{14}$	$1,9 \cdot 10^{16}$
Cd 109	$6,5 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{13}$	$8,2 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{16}$
Ce 144	$2,9 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$3,6 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{15}$	$2,9 \cdot 10^{15}$	$7,3 \cdot 10^{16}$
Cm 242	$1,5 \cdot 10^{11}$	$7,1 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$4,5 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$3,5 \cdot 10^{15}$
Cm 243	$8,2 \cdot 10^9$	$4,1 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{12}$	$8,2 \cdot 10^{12}$	$8,2 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{14}$
Cm 244	$1,0 \cdot 10^{10}$	$4,8 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{12}$	$3,0 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{14}$
Cm 247	$6,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$
Co 57	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$6,1 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$4,9 \cdot 10^{15}$	$4,9 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{17}$
Co 58	$2,2 \cdot 10^{12}$	$7,6 \cdot 10^{13}$	$2,7 \cdot 10^{14}$	$6,8 \cdot 10^{14}$	$2,2 \cdot 10^{15}$	$2,2 \cdot 10^{15}$	$5,5 \cdot 10^{16}$
Cr 51	$8,5 \cdot 10^{13}$	$3,0 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{16}$	$2,6 \cdot 10^{16}$	$8,5 \cdot 10^{16}$	$8,5 \cdot 10^{16}$	$2,1 \cdot 10^{18}$
Cs 134	$1,3 \cdot 10^{11}$	$4,6 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,0 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$3,2 \cdot 10^{15}$
Cs 135	$6,4 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	$8,0 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$6,4 \cdot 10^{14}$	$6,4 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{16}$
Eu 154	$4,4 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,5 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$4,4 \cdot 10^{13}$	$4,4 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{15}$
Eu 155	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,0 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$4,5 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$3,5 \cdot 10^{16}$
Fe 55	$1,0 \cdot 10^{14}$	$3,4 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{16}$	$3,0 \cdot 10^{16}$	$1,0 \cdot 10^{17}$	$1,0 \cdot 10^{17}$	$2,4 \cdot 10^{18}$
Fe 59	$2,9 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{14}$	$3,6 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{15}$	$2,9 \cdot 10^{15}$	$7,3 \cdot 10^{16}$
H 3	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$3,8 \cdot 10^{17}$
Hf 175	$3,6 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$4,5 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$3,6 \cdot 10^{15}$	$3,6 \cdot 10^{15}$	$9,1 \cdot 10^{16}$
Hf 181	$1,3 \cdot 10^{12}$	$4,5 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	$3,2 \cdot 10^{16}$
Hg 203	$2,9 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$3,6 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{15}$	$2,9 \cdot 10^{15}$	$7,3 \cdot 10^{16}$
Kr 85	$1,5 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$3,9 \cdot 10^{18}$
Mn 54	$6,0 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{13}$	$7,5 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{16}$
Mo 93	$5,3 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{13}$	$6,6 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$5,3 \cdot 10^{14}$	$5,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{16}$
Nb 93m	$3,3 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	$3,3 \cdot 10^{15}$	$3,3 \cdot 10^{15}$	$8,2 \cdot 10^{16}$
Nb 95	$4,0 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$5,0 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	$4,0 \cdot 10^{15}$	$4,0 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{17}$
Ni 59	$5,3 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	$5,3 \cdot 10^{15}$	$5,3 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^{17}$
Ni 63	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$6,1 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$4,9 \cdot 10^{15}$	$4,9 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{17}$

Tabelle
3.3.4/3

Aktivitätsgrenzwerte für weitere Radionuklide, die aus der Störfallanalyse resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

Radionuklid	Abfallbehälterklasse I						Abfallbehälterklasse II
	Abfallproduktgruppe						
	01	02	03	04	05	06	Abfallproduktgruppen 01-06
Pa 233	$2,5 \cdot 10^{13}$	$8,6 \cdot 10^{14}$	$3,2 \cdot 10^{15}$	$7,9 \cdot 10^{15}$	$2,5 \cdot 10^{16}$	$2,5 \cdot 10^{16}$	$6,4 \cdot 10^{17}$
Pd 107	$7,8 \cdot 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	$2,5 \cdot 10^{15}$	$7,8 \cdot 10^{15}$	$7,8 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{17}$
Pm 147	$4,5 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{15}$	$5,6 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$4,5 \cdot 10^{16}$	$4,5 \cdot 10^{16}$	$1,1 \cdot 10^{18}$
Po 210	$4,9 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{12}$	$6,1 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{15}$
Pu 236	$1,6 \cdot 10^{10}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,0 \cdot 10^{14}$
Pu 238	$6,2 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^{11}$	$7,7 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$
Pu 240	$5,8 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^{11}$	$7,3 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$
Pu 241	$1,2 \cdot 10^{11}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$3,7 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$3,0 \cdot 10^{15}$
Pu 242	$6,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$
Pu 244	$6,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$
Ra 223	$9,1 \cdot 10^{10}$	$3,1 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{15}$
Ru 103	$8,4 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$2,6 \cdot 10^{15}$	$8,4 \cdot 10^{15}$	$8,4 \cdot 10^{15}$	$2,1 \cdot 10^{17}$
Ru 106	$1,7 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{14}$	$5,4 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$4,3 \cdot 10^{16}$
S 35	$1,7 \cdot 10^{12}$	$6,1 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{14}$	$5,4 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$4,3 \cdot 10^{16}$
Sb 125	$2,5 \cdot 10^{11}$	$8,6 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$7,9 \cdot 10^{13}$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$6,4 \cdot 10^{15}$
Sc 46	$9,1 \cdot 10^{11}$	$3,3 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{14}$	$2,3 \cdot 10^{16}$
Sm 151	$8,4 \cdot 10^{13}$	$3,0 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{16}$	$2,6 \cdot 10^{16}$	$8,4 \cdot 10^{16}$	$8,4 \cdot 10^{16}$	$2,1 \cdot 10^{18}$
Sr 89	$2,7 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{14}$	$3,4 \cdot 10^{14}$	$8,5 \cdot 10^{14}$	$2,7 \cdot 10^{15}$	$2,7 \cdot 10^{15}$	$6,8 \cdot 10^{16}$
Ta 182	$6,0 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{13}$	$7,5 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{16}$
Tc 99	$3,8 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$4,8 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$3,8 \cdot 10^{14}$	$3,8 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{15}$
Te 125m	$1,8 \cdot 10^{12}$	$6,5 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{14}$	$5,6 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{15}$	$4,5 \cdot 10^{16}$
Th 227	$7,8 \cdot 10^{10}$	$3,9 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$2,5 \cdot 10^{13}$	$7,8 \cdot 10^{13}$	$7,8 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{15}$
Th 230	$5,8 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^{11}$	$7,3 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{14}$
Th 234	$1,5 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{15}$	$4,6 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$3,6 \cdot 10^{17}$
U 233	$1,5 \cdot 10^{10}$	$7,7 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$4,8 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$3,8 \cdot 10^{14}$
U 234	$1,6 \cdot 10^{10}$	$8,3 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$5,2 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{14}$
U 235	$1,7 \cdot 10^{10}$	$8,8 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{12}$	$5,5 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$4,4 \cdot 10^{14}$
U 236	$1,6 \cdot 10^{10}$	$8,3 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$5,2 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{14}$
U 238	$1,7 \cdot 10^{10}$	$8,8 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{12}$	$5,5 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$4,4 \cdot 10^{14}$
V 49	$4,9 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{16}$	$6,1 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$4,9 \cdot 10^{17}$	$4,9 \cdot 10^{17}$	$1,2 \cdot 10^{19}$
Zn 65	$1,6 \cdot 10^{11}$	$5,6 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{13}$	$5,1 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$4,0 \cdot 10^{15}$
Zr 93	$1,7 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{14}$	$5,5 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$4,4 \cdot 10^{16}$
Zr 95	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,2 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$4,7 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$3,8 \cdot 10^{16}$

Tabelle 3.3.4/3 (Fortsetzung) Aktivitätsgrenzwerte für weitere Radionuklide, die aus der Störfallanalyse resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

Radionuklid/ Radio- nuklidgruppe	Aktivitätswert					
	Betonbehälter		Gußbehälter			
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II	Typ II*	Typ III
Th 232	$6,8 \cdot 10^9$	$7,4 \cdot 10^9$	$4,3 \cdot 10^9$	$7,4 \cdot 10^9$	$6,8 \cdot 10^9$	$5,8 \cdot 10^9$
U 235	$7,4 \cdot 10^9$	$8,1 \cdot 10^9$	$4,7 \cdot 10^9$	$8,1 \cdot 10^9$	$7,4 \cdot 10^9$	$6,3 \cdot 10^9$
U 233	$9,0 \cdot 10^9$	$9,8 \cdot 10^9$	$5,7 \cdot 10^9$	$9,8 \cdot 10^9$	$9,0 \cdot 10^9$	$7,7 \cdot 10^9$
Th 230	$9,7 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$6,1 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$9,7 \cdot 10^9$	$8,3 \cdot 10^9$
Pa 231	$1,0 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$6,5 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$8,7 \cdot 10^9$
U 234	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$8,3 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{10}$
Cm 248	$1,5 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{10}$	$9,7 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$
Np 237	$1,7 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{10}$
Cm 247	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$
Pu 244	$2,4 \cdot 10^{10}$	$2,6 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$2,6 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^{10}$
Ra 226	$2,4 \cdot 10^{10}$	$2,6 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$2,6 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^{10}$
U 238	$2,7 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{10}$	$2,3 \cdot 10^{10}$
Cm 245	$4,6 \cdot 10^{10}$	$5,0 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{10}$	$5,0 \cdot 10^{10}$	$4,6 \cdot 10^{10}$	$3,9 \cdot 10^{10}$
Ac 227	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{11}$
Am 242m	$1,8 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$
Ra 228	$1,9 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$
Nb 94	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{11}$
Pu 238	$4,5 \cdot 10^{11}$	$4,9 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	$4,9 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^{11}$	$3,8 \cdot 10^{11}$
Pb 210	$7,5 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	$4,7 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{11}$
Ca 41	$8,5 \cdot 10^{11}$	$9,2 \cdot 10^{11}$	$5,4 \cdot 10^{11}$	$9,2 \cdot 10^{11}$	$8,5 \cdot 10^{11}$	$7,2 \cdot 10^{11}$
Ag 108m	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$8,3 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{12}$
Cl 36	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$8,3 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{12}$
Be 10	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$8,3 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{12}$
Sn 126	$1,7 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$
Rb 87	$1,9 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{12}$
Co 60	$2,6 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{12}$	$2,2 \cdot 10^{12}$
Ar 39	$2,7 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$2,7 \cdot 10^{12}$	$2,3 \cdot 10^{12}$
Cs 137	$4,5 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$2,8 \cdot 10^{12}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$4,5 \cdot 10^{12}$	$3,8 \cdot 10^{12}$
Ni 63	$3,8 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{13}$	$3,8 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$
Fe 55	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	$9,4 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^{15}$
sonstige α-Strahler	$6,2 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^{10}$	$4,0 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^{10}$	$6,2 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^{10}$
sonstige β/γ-Strahler	$3,4 \cdot 10^{12}$	$3,7 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$3,7 \cdot 10^{12}$	$3,4 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{12}$

Tabelle
3.3.4/4

Aktivitätswerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.
* Typ KfK (Tab. 3.3.3.1/1)

Radionuklid/ Radionuklid- gruppe	Aktivitätswert Container					
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
Th 232	$2.0 \cdot 10^{10}$	$2.2 \cdot 10^{10}$	$4.8 \cdot 10^{10}$	$4.0 \cdot 10^{10}$	$5.6 \cdot 10^{10}$	$2.8 \cdot 10^{10}$
U 235	$2.2 \cdot 10^{10}$	$2.4 \cdot 10^{10}$	$5.3 \cdot 10^{10}$	$4.4 \cdot 10^{10}$	$6.2 \cdot 10^{10}$	$3.1 \cdot 10^{10}$
U 233	$2.7 \cdot 10^{10}$	$2.9 \cdot 10^{10}$	$6.4 \cdot 10^{10}$	$5.3 \cdot 10^{10}$	$7.5 \cdot 10^{10}$	$3.7 \cdot 10^{10}$
Th 230	$2.9 \cdot 10^{10}$	$3.1 \cdot 10^{10}$	$6.9 \cdot 10^{10}$	$5.7 \cdot 10^{10}$	$8.0 \cdot 10^{10}$	$4.0 \cdot 10^{10}$
Pa 231	$3.0 \cdot 10^{10}$	$3.3 \cdot 10^{10}$	$7.2 \cdot 10^{10}$	$6.0 \cdot 10^{10}$	$8.4 \cdot 10^{10}$	$4.2 \cdot 10^{10}$
U 234	$3.9 \cdot 10^{10}$	$4.2 \cdot 10^{10}$	$9.3 \cdot 10^{10}$	$7.7 \cdot 10^{10}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	$5.4 \cdot 10^{10}$
Cm 248	$4.5 \cdot 10^{10}$	$5.0 \cdot 10^{10}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	$9.1 \cdot 10^{10}$	$1.3 \cdot 10^{11}$	$6.3 \cdot 10^{10}$
Np 237	$5.0 \cdot 10^{10}$	$5.4 \cdot 10^{10}$	$1.2 \cdot 10^{11}$	$9.9 \cdot 10^{10}$	$1.4 \cdot 10^{11}$	$7.0 \cdot 10^{10}$
Cm 247	$5.3 \cdot 10^{10}$	$5.8 \cdot 10^{10}$	$1.3 \cdot 10^{11}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	$1.5 \cdot 10^{11}$	$7.4 \cdot 10^{10}$
Pu 244	$7.0 \cdot 10^{10}$	$7.7 \cdot 10^{10}$	$1.7 \cdot 10^{11}$	$1.4 \cdot 10^{11}$	$2.0 \cdot 10^{11}$	$9.8 \cdot 10^{10}$
Ra 226	$7.1 \cdot 10^{10}$	$7.8 \cdot 10^{10}$	$1.7 \cdot 10^{11}$	$1.4 \cdot 10^{11}$	$2.0 \cdot 10^{11}$	$9.9 \cdot 10^{10}$
U 238	$7.8 \cdot 10^{10}$	$8.6 \cdot 10^{10}$	$1.9 \cdot 10^{11}$	$1.6 \cdot 10^{11}$	$2.2 \cdot 10^{11}$	$1.1 \cdot 10^{11}$
Cm 245	$1.3 \cdot 10^{11}$	$1.5 \cdot 10^{11}$	$3.2 \cdot 10^{11}$	$2.7 \cdot 10^{11}$	$3.8 \cdot 10^{11}$	$1.9 \cdot 10^{11}$
Ac 227	$3.8 \cdot 10^{11}$	$4.1 \cdot 10^{11}$	$9.1 \cdot 10^{11}$	$7.6 \cdot 10^{11}$	$1.1 \cdot 10^{12}$	$5.3 \cdot 10^{11}$
Am 242m	$5.4 \cdot 10^{11}$	$5.9 \cdot 10^{11}$	$1.3 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{12}$	$1.5 \cdot 10^{12}$	$7.6 \cdot 10^{11}$
Ra 228	$5.6 \cdot 10^{11}$	$6.1 \cdot 10^{11}$	$1.3 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{12}$	$1.6 \cdot 10^{12}$	$7.8 \cdot 10^{11}$
Nb 94	$7.5 \cdot 10^{11}$	$8.2 \cdot 10^{11}$	$1.8 \cdot 10^{12}$	$1.5 \cdot 10^{12}$	$2.1 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{12}$
Pu 238	$1.3 \cdot 10^{12}$	$1.5 \cdot 10^{12}$	$3.2 \cdot 10^{12}$	$2.7 \cdot 10^{12}$	$3.7 \cdot 10^{12}$	$1.9 \cdot 10^{12}$
Pb 210	$2.2 \cdot 10^{12}$	$2.4 \cdot 10^{12}$	$5.3 \cdot 10^{12}$	$4.4 \cdot 10^{12}$	$6.2 \cdot 10^{12}$	$3.1 \cdot 10^{12}$
Ca 41	$2.5 \cdot 10^{12}$	$2.7 \cdot 10^{12}$	$6.0 \cdot 10^{12}$	$5.0 \cdot 10^{12}$	$7.0 \cdot 10^{12}$	$3.5 \cdot 10^{12}$
Ag 108m	$3.9 \cdot 10^{12}$	$4.2 \cdot 10^{12}$	$9.3 \cdot 10^{12}$	$7.8 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$5.4 \cdot 10^{12}$
Cl 36	$3.9 \cdot 10^{12}$	$4.2 \cdot 10^{12}$	$9.3 \cdot 10^{12}$	$7.8 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$5.4 \cdot 10^{12}$
Be 10	$3.9 \cdot 10^{12}$	$4.3 \cdot 10^{12}$	$9.3 \cdot 10^{12}$	$7.8 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$5.5 \cdot 10^{12}$
Sn 126	$5.0 \cdot 10^{12}$	$5.4 \cdot 10^{12}$	$1.2 \cdot 10^{13}$	$1.0 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{13}$	$7.0 \cdot 10^{12}$
Rb 87	$5.6 \cdot 10^{12}$	$6.1 \cdot 10^{12}$	$1.3 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$1.6 \cdot 10^{13}$	$7.8 \cdot 10^{12}$
Co 60	$7.8 \cdot 10^{12}$	$8.5 \cdot 10^{12}$	$1.9 \cdot 10^{13}$	$1.6 \cdot 10^{13}$	$2.2 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$
Ar 39	$8.0 \cdot 10^{12}$	$8.7 \cdot 10^{12}$	$1.9 \cdot 10^{13}$	$1.6 \cdot 10^{13}$	$2.2 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$
Cs 137	$1.3 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{13}$	$3.2 \cdot 10^{13}$	$2.6 \cdot 10^{13}$	$3.7 \cdot 10^{13}$	$1.8 \cdot 10^{13}$
Ni 63	$1.1 \cdot 10^{14}$	$1.2 \cdot 10^{14}$	$2.7 \cdot 10^{14}$	$2.2 \cdot 10^{14}$	$3.1 \cdot 10^{14}$	$1.6 \cdot 10^{14}$
Fe 55	$4.4 \cdot 10^{15}$	$4.8 \cdot 10^{15}$	$1.1 \cdot 10^{16}$	$8.8 \cdot 10^{15}$	$1.2 \cdot 10^{16}$	$6.2 \cdot 10^{15}$
sonstige α-Strahler	$1.8 \cdot 10^{11}$	$2.0 \cdot 10^{11}$	$4.4 \cdot 10^{11}$	$3.7 \cdot 10^{11}$	$5.2 \cdot 10^{11}$	$2.6 \cdot 10^{11}$
sonstige β/γ-Strahler	$1.0 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$2.4 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{13}$	$2.8 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{13}$

Tabelle 3.3.4/4 (Fortsetzung) Aktivitätswerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

Radio-nuklid	Aktivitätswert						
	Betonbehälter		Gußbehälter				
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II	Typ II*	Typ III	
Ac 228	$8.2 \cdot 10^{13}$	$8.9 \cdot 10^{13}$	$5.2 \cdot 10^{13}$	$8.9 \cdot 10^{13}$	$8.2 \cdot 10^{13}$	$7.0 \cdot 10^{13}$	
Ag 110m	$5.0 \cdot 10^{12}$	$5.4 \cdot 10^{12}$	$3.2 \cdot 10^{12}$	$5.4 \cdot 10^{12}$	$5.0 \cdot 10^{12}$	$4.3 \cdot 10^{12}$	
Am 241	$2.2 \cdot 10^{11}$	$2.4 \cdot 10^{11}$	$1.4 \cdot 10^{11}$	$2.4 \cdot 10^{11}$	$2.2 \cdot 10^{11}$	$1.9 \cdot 10^{11}$	
Am 243	$8.4 \cdot 10^{10}$	$9.1 \cdot 10^{10}$	$5.3 \cdot 10^{10}$	$9.1 \cdot 10^{10}$	$8.4 \cdot 10^{10}$	$7.1 \cdot 10^{10}$	
Am 244	$1.4 \cdot 10^{14}$	$1.5 \cdot 10^{14}$	$8.6 \cdot 10^{13}$	$1.5 \cdot 10^{14}$	$1.4 \cdot 10^{14}$	$1.2 \cdot 10^{14}$	
Ba 133	$1.0 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$6.6 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$1.0 \cdot 10^{13}$	$8.9 \cdot 10^{12}$	
Bi 210	$1.0 \cdot 10^{14}$	$1.1 \cdot 10^{14}$	$6.4 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{14}$	$1.0 \cdot 10^{14}$	$8.6 \cdot 10^{13}$	
Bi 214	$5.6 \cdot 10^{13}$	$6.0 \cdot 10^{13}$	$3.5 \cdot 10^{13}$	$6.0 \cdot 10^{13}$	$5.6 \cdot 10^{13}$	$4.7 \cdot 10^{13}$	
C 14	$1.1 \cdot 10^{13}$	$1.2 \cdot 10^{13}$	$7.2 \cdot 10^{12}$	$1.2 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$9.7 \cdot 10^{12}$	
Ca 45	$2.2 \cdot 10^{14}$	$2.3 \cdot 10^{14}$	$1.4 \cdot 10^{14}$	$2.3 \cdot 10^{14}$	$2.2 \cdot 10^{14}$	$1.8 \cdot 10^{14}$	
Cd 109	$1.0 \cdot 10^{14}$	$1.1 \cdot 10^{14}$	$6.6 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{14}$	$1.0 \cdot 10^{14}$	$8.8 \cdot 10^{13}$	
Cd 113m	$1.7 \cdot 10^{13}$	$1.9 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$1.9 \cdot 10^{13}$	$1.7 \cdot 10^{13}$	$1.5 \cdot 10^{13}$	
Ce 144	$9.8 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$6.2 \cdot 10^{12}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	$9.8 \cdot 10^{12}$	$8.3 \cdot 10^{12}$	
Cm 242	$3.1 \cdot 10^{12}$	$3.4 \cdot 10^{12}$	$2.0 \cdot 10^{12}$	$3.4 \cdot 10^{12}$	$3.1 \cdot 10^{12}$	$2.6 \cdot 10^{12}$	
Cm 243	$6.5 \cdot 10^{11}$	$7.0 \cdot 10^{11}$	$4.1 \cdot 10^{11}$	$7.0 \cdot 10^{11}$	$6.5 \cdot 10^{11}$	$5.5 \cdot 10^{11}$	
Cm 244	$8.0 \cdot 10^{11}$	$8.7 \cdot 10^{11}$	$5.0 \cdot 10^{11}$	$8.7 \cdot 10^{11}$	$8.0 \cdot 10^{11}$	$6.8 \cdot 10^{11}$	
Cm 246	$1.1 \cdot 10^{11}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	$6.7 \cdot 10^{10}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	$9.0 \cdot 10^{10}$	
Co 57	$1.6 \cdot 10^{13}$	$1.8 \cdot 10^{13}$	$1.0 \cdot 10^{13}$	$1.8 \cdot 10^{13}$	$1.6 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{13}$	
Co 58	$2.4 \cdot 10^{13}$	$2.6 \cdot 10^{13}$	$1.5 \cdot 10^{13}$	$2.6 \cdot 10^{13}$	$2.4 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^{13}$	
Cr 51	$1.1 \cdot 10^{15}$	$1.2 \cdot 10^{15}$	$6.8 \cdot 10^{14}$	$1.2 \cdot 10^{15}$	$1.1 \cdot 10^{15}$	$9.1 \cdot 10^{14}$	
Cs 134	$5.5 \cdot 10^{12}$	$6.0 \cdot 10^{12}$	$3.5 \cdot 10^{12}$	$6.0 \cdot 10^{12}$	$5.5 \cdot 10^{12}$	$4.7 \cdot 10^{12}$	
Cs 135	$4.7 \cdot 10^{12}$	$5.1 \cdot 10^{12}$	$3.0 \cdot 10^{12}$	$5.1 \cdot 10^{12}$	$4.7 \cdot 10^{12}$	$4.0 \cdot 10^{12}$	
Eu 152	$3.9 \cdot 10^{12}$	$4.3 \cdot 10^{12}$	$2.5 \cdot 10^{12}$	$4.3 \cdot 10^{12}$	$3.9 \cdot 10^{12}$	$3.4 \cdot 10^{12}$	
Eu 154	$3.9 \cdot 10^{12}$	$4.2 \cdot 10^{12}$	$2.5 \cdot 10^{12}$	$4.2 \cdot 10^{12}$	$3.9 \cdot 10^{12}$	$3.3 \cdot 10^{12}$	
Eu 155	$5.7 \cdot 10^{13}$	$6.2 \cdot 10^{13}$	$3.6 \cdot 10^{13}$	$6.2 \cdot 10^{13}$	$5.7 \cdot 10^{13}$	$4.9 \cdot 10^{13}$	
Fe 59	$1.9 \cdot 10^{13}$	$2.1 \cdot 10^{13}$	$1.2 \cdot 10^{13}$	$2.1 \cdot 10^{13}$	$1.9 \cdot 10^{13}$	$1.6 \cdot 10^{13}$	
H 3	$9.1 \cdot 10^{14}$	$9.9 \cdot 10^{14}$	$5.8 \cdot 10^{14}$	$9.9 \cdot 10^{14}$	$9.1 \cdot 10^{14}$	$7.8 \cdot 10^{14}$	
Hf 175	$4.0 \cdot 10^{13}$	$4.3 \cdot 10^{13}$	$2.5 \cdot 10^{13}$	$4.3 \cdot 10^{13}$	$4.0 \cdot 10^{13}$	$3.4 \cdot 10^{13}$	
Hf 181	$3.0 \cdot 10^{13}$	$3.3 \cdot 10^{13}$	$1.9 \cdot 10^{13}$	$3.3 \cdot 10^{13}$	$3.0 \cdot 10^{13}$	$2.6 \cdot 10^{13}$	
Hg 203	$6.0 \cdot 10^{13}$	$6.5 \cdot 10^{13}$	$3.8 \cdot 10^{13}$	$6.5 \cdot 10^{13}$	$6.0 \cdot 10^{13}$	$5.1 \cdot 10^{13}$	
I 125	$1.5 \cdot 10^{14}$	$1.6 \cdot 10^{14}$	$9.3 \cdot 10^{13}$	$1.6 \cdot 10^{14}$	$1.5 \cdot 10^{14}$	$1.2 \cdot 10^{14}$	
I 129	$3.4 \cdot 10^{12}$	$3.7 \cdot 10^{12}$	$2.2 \cdot 10^{12}$	$3.7 \cdot 10^{12}$	$3.4 \cdot 10^{12}$	$2.9 \cdot 10^{12}$	
Kr 85	$2.2 \cdot 10^{13}$	$2.3 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{13}$	$2.3 \cdot 10^{13}$	$2.2 \cdot 10^{13}$	$1.8 \cdot 10^{13}$	
Mn 54	$1.5 \cdot 10^{13}$	$1.7 \cdot 10^{13}$	$9.7 \cdot 10^{12}$	$1.7 \cdot 10^{13}$	$1.5 \cdot 10^{13}$	$1.3 \cdot 10^{13}$	
Mo 93	$4.0 \cdot 10^{13}$	$4.4 \cdot 10^{13}$	$2.5 \cdot 10^{13}$	$4.4 \cdot 10^{13}$	$4.0 \cdot 10^{13}$	$3.4 \cdot 10^{13}$	
Na 22	$3.6 \cdot 10^{12}$	$4.0 \cdot 10^{12}$	$2.3 \cdot 10^{12}$	$4.0 \cdot 10^{12}$	$3.6 \cdot 10^{12}$	$3.1 \cdot 10^{12}$	
Nb 93m	$1.7 \cdot 10^{14}$	$1.8 \cdot 10^{14}$	$1.1 \cdot 10^{14}$	$1.8 \cdot 10^{14}$	$1.7 \cdot 10^{14}$	$1.4 \cdot 10^{14}$	
Nb 95	$4.2 \cdot 10^{13}$	$4.6 \cdot 10^{13}$	$2.7 \cdot 10^{13}$	$4.6 \cdot 10^{13}$	$4.2 \cdot 10^{13}$	$3.6 \cdot 10^{13}$	

Tabelle
3.3.4/5

Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

* Typ KfK (Tab. 3.3.3.1/1)

Radio-nuklid	Aktivitätswert					
	Betonbehälter		Gußbehälter			
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II	Typ II*	Typ III
Ni 59	$4,9 \cdot 10^{13}$	$5,4 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$5,4 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^{13}$
Pa 233	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$
Pa 234m	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$
Pa 234	$4,9 \cdot 10^{13}$	$5,4 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$5,4 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^{13}$
Pb 214	$2,2 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{14}$	$2,2 \cdot 10^{14}$	$1,9 \cdot 10^{14}$
Pd 107	$2,7 \cdot 10^{13}$	$2,9 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$2,9 \cdot 10^{13}$	$2,7 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$
Pm 147	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$
Po 210	$3,3 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{12}$	$2,8 \cdot 10^{12}$
Pu 236	$1,4 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$8,7 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{12}$
Pu 239	$8,1 \cdot 10^{10}$	$8,8 \cdot 10^{10}$	$5,1 \cdot 10^{10}$	$8,8 \cdot 10^{10}$	$8,1 \cdot 10^{10}$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Pu 240	$1,0 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{11}$	$8,8 \cdot 10^{10}$
Pu 241	$6,7 \cdot 10^{12}$	$7,3 \cdot 10^{12}$	$4,3 \cdot 10^{12}$	$7,3 \cdot 10^{12}$	$6,7 \cdot 10^{12}$	$5,7 \cdot 10^{12}$
Pu 242	$6,4 \cdot 10^{10}$	$7,0 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^{10}$	$7,0 \cdot 10^{10}$	$6,4 \cdot 10^{10}$	$5,5 \cdot 10^{10}$
Ra 223	$4,7 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$3,0 \cdot 10^{12}$	$5,1 \cdot 10^{12}$	$4,7 \cdot 10^{12}$	$4,0 \cdot 10^{12}$
Ra 224	$1,1 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$7,2 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$9,7 \cdot 10^{12}$
Rn 222	$1,5 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$9,8 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$
Ru 103	$5,7 \cdot 10^{13}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$5,7 \cdot 10^{13}$	$4,8 \cdot 10^{13}$
Ru 106	$7,2 \cdot 10^{12}$	$7,9 \cdot 10^{12}$	$4,6 \cdot 10^{12}$	$7,9 \cdot 10^{12}$	$7,2 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^{12}$
S 35	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$8,2 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$
Sb 125	$1,3 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$8,0 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{13}$
Sc 46	$1,0 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$6,6 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$8,9 \cdot 10^{12}$
Se 79	$8,8 \cdot 10^{12}$	$9,6 \cdot 10^{12}$	$5,6 \cdot 10^{12}$	$9,6 \cdot 10^{12}$	$8,8 \cdot 10^{12}$	$7,5 \cdot 10^{12}$
Sm 151	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$8,2 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$
Sr 89	$4,9 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{13}$
Sr 90	$3,4 \cdot 10^{12}$	$3,7 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$3,7 \cdot 10^{12}$	$3,4 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{12}$
Ta 182	$1,3 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{13}$
Tc 99	$3,9 \cdot 10^{12}$	$4,3 \cdot 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{12}$	$4,3 \cdot 10^{12}$	$3,9 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{12}$
Te 125m	$1,9 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$
Th 227	$2,6 \cdot 10^{12}$	$2,8 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$2,8 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{12}$	$2,2 \cdot 10^{12}$
Th 228	$2,7 \cdot 10^{11}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	$1,7 \cdot 10^{11}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^{11}$
Th 231	$1,3 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{15}$	$8,0 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{15}$
Th 234	$2,8 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{13}$
U 232	$6,5 \cdot 10^{10}$	$7,1 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^{10}$	$7,1 \cdot 10^{10}$	$6,5 \cdot 10^{10}$	$5,5 \cdot 10^{10}$
U 236	$6,2 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^{10}$	$4,0 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^{10}$	$6,2 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^{10}$
V 49	$2,9 \cdot 10^{15}$	$3,2 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{15}$	$3,2 \cdot 10^{15}$	$2,9 \cdot 10^{15}$	$2,5 \cdot 10^{15}$
Zn 65	$2,4 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{13}$
Zr 93	$5,4 \cdot 10^{12}$	$5,9 \cdot 10^{12}$	$3,4 \cdot 10^{12}$	$5,9 \cdot 10^{12}$	$5,4 \cdot 10^{12}$	$4,6 \cdot 10^{12}$
Zr 95	$2,9 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$2,9 \cdot 10^{13}$	$2,5 \cdot 10^{13}$

Tabelle 3.3.4/5 (Fortsetzung) Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren: Angaben in Bq pro Abfallgebinde.
 * Typ KfK (Tab. 3.3.3.1/1)

Radio-nuklid	Aktivitätswert Container					
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
Ac 228	$2,4 \cdot 10^{14}$	$2,7 \cdot 10^{14}$	$5,8 \cdot 10^{14}$	$4,9 \cdot 10^{14}$	$6,8 \cdot 10^{14}$	$3,4 \cdot 10^{14}$
Ag 110m	$1,5 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{13}$	$3,0 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^{13}$
Am 241	$6,6 \cdot 10^{11}$	$7,3 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$9,3 \cdot 10^{11}$
Am 243	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	$5,9 \cdot 10^{11}$	$5,0 \cdot 10^{11}$	$6,9 \cdot 10^{11}$	$3,5 \cdot 10^{11}$
Am 244	$4,0 \cdot 10^{14}$	$4,4 \cdot 10^{14}$	$9,6 \cdot 10^{14}$	$8,0 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$5,6 \cdot 10^{14}$
Ba 133	$3,1 \cdot 10^{13}$	$3,4 \cdot 10^{13}$	$7,4 \cdot 10^{13}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$8,7 \cdot 10^{13}$	$4,3 \cdot 10^{13}$
Bi 210	$3,0 \cdot 10^{14}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$7,1 \cdot 10^{14}$	$5,9 \cdot 10^{14}$	$8,3 \cdot 10^{14}$	$4,2 \cdot 10^{14}$
Bi 214	$1,6 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$3,9 \cdot 10^{14}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{14}$	$2,3 \cdot 10^{14}$
C 14	$3,4 \cdot 10^{13}$	$3,7 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{13}$	$6,7 \cdot 10^{13}$	$9,4 \cdot 10^{13}$	$4,7 \cdot 10^{13}$
Ca 45	$6,4 \cdot 10^{14}$	$7,0 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{15}$	$8,9 \cdot 10^{14}$
Cd 109	$3,1 \cdot 10^{14}$	$3,4 \cdot 10^{14}$	$7,4 \cdot 10^{14}$	$6,1 \cdot 10^{14}$	$8,6 \cdot 10^{14}$	$4,3 \cdot 10^{14}$
Cd 113m	$5,1 \cdot 10^{13}$	$5,6 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$7,2 \cdot 10^{13}$
Ce 144	$2,9 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$6,9 \cdot 10^{13}$	$5,8 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{13}$	$4,0 \cdot 10^{13}$
Cm242	$9,1 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$
Cm243	$1,9 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$4,6 \cdot 10^{12}$	$3,8 \cdot 10^{12}$	$5,4 \cdot 10^{12}$	$2,7 \cdot 10^{12}$
Cm244	$2,4 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{12}$	$5,7 \cdot 10^{12}$	$4,7 \cdot 10^{12}$	$6,6 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{12}$
Cm246	$3,1 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$6,2 \cdot 10^{11}$	$8,7 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^{11}$
Co 57	$4,8 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$9,6 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$6,7 \cdot 10^{13}$
Co 58	$7,0 \cdot 10^{13}$	$7,7 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$9,8 \cdot 10^{13}$
Cr 51	$3,2 \cdot 10^{15}$	$3,5 \cdot 10^{15}$	$7,6 \cdot 10^{15}$	$6,3 \cdot 10^{15}$	$8,9 \cdot 10^{15}$	$4,4 \cdot 10^{15}$
Cs 134	$1,6 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{13}$	$3,9 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$4,5 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$
Cs 135	$1,4 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$3,4 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$3,9 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{13}$
Eu 152	$1,2 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	$3,3 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$
Eu 154	$1,1 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$
Eu 155	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	$3,4 \cdot 10^{14}$	$4,7 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{14}$
Fe 59	$5,6 \cdot 10^{13}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$7,9 \cdot 10^{13}$
H 3	$2,7 \cdot 10^{15}$	$3,0 \cdot 10^{15}$	$6,5 \cdot 10^{15}$	$5,4 \cdot 10^{15}$	$7,6 \cdot 10^{15}$	$3,8 \cdot 10^{15}$
Hf 175	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{14}$	$2,3 \cdot 10^{14}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$
Hf 181	$8,9 \cdot 10^{13}$	$9,7 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$
Hg 203	$1,8 \cdot 10^{14}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$4,2 \cdot 10^{14}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$4,9 \cdot 10^{14}$	$2,5 \cdot 10^{14}$
I 125	$4,3 \cdot 10^{14}$	$4,7 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	$8,7 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$6,1 \cdot 10^{14}$
I 129	$1,0 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{13}$
Kr 85	$6,4 \cdot 10^{13}$	$7,0 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$8,9 \cdot 10^{13}$
Mn 54	$4,5 \cdot 10^{13}$	$5,0 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$6,3 \cdot 10^{13}$
Mo 93	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{14}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{14}$
Na 22	$1,1 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{13}$	$3,0 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{13}$
Nb 93m	$5,0 \cdot 10^{14}$	$5,4 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{15}$	$7,0 \cdot 10^{14}$
Nb 95	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$3,0 \cdot 10^{14}$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{14}$

Tabelle 3.3.4/5 (Fortsetzung) Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

Radio-nuklid	Aktivitätswert Container					
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
Ni 59	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{14}$
Pa 233	$4,9 \cdot 10^{14}$	$5,4 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$9,9 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{15}$	$6,9 \cdot 10^{14}$
Pa 234m	$4,2 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	$8,5 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$5,9 \cdot 10^{14}$
Pa 234	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^{14}$	$2,1 \cdot 10^{14}$
Pb 214	$6,6 \cdot 10^{14}$	$7,2 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{15}$	$9,2 \cdot 10^{14}$
Pd 107	$7,9 \cdot 10^{13}$	$8,6 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$2,2 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$
Pm 147	$4,2 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	$8,5 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$5,9 \cdot 10^{14}$
Po 210	$9,8 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{13}$	$2,7 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{13}$
Pu 236	$4,1 \cdot 10^{12}$	$4,5 \cdot 10^{12}$	$9,8 \cdot 10^{12}$	$8,2 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$5,7 \cdot 10^{12}$
Pu 239	$2,4 \cdot 10^{11}$	$2,6 \cdot 10^{11}$	$5,7 \cdot 10^{11}$	$4,8 \cdot 10^{11}$	$6,7 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{11}$
Pu 240	$3,1 \cdot 10^{11}$	$3,3 \cdot 10^{11}$	$7,3 \cdot 10^{11}$	$6,1 \cdot 10^{11}$	$8,5 \cdot 10^{11}$	$4,3 \cdot 10^{11}$
Pu 241	$2,0 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{13}$	$4,8 \cdot 10^{13}$	$4,0 \cdot 10^{13}$	$5,6 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$
Pu 242	$1,9 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^{11}$	$3,8 \cdot 10^{11}$	$5,3 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$
Ra 223	$1,4 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$3,3 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$3,9 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{13}$
Ra 224	$3,4 \cdot 10^{13}$	$3,7 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{13}$	$6,7 \cdot 10^{13}$	$9,4 \cdot 10^{13}$	$4,7 \cdot 10^{13}$
Rn 222	$4,6 \cdot 10^{13}$	$5,0 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$9,2 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$6,4 \cdot 10^{13}$
Ru 103	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	$3,4 \cdot 10^{14}$	$4,7 \cdot 10^{14}$	$2,3 \cdot 10^{14}$
Ru 106	$2,1 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	$5,1 \cdot 10^{13}$	$4,3 \cdot 10^{13}$	$6,0 \cdot 10^{13}$	$3,0 \cdot 10^{13}$
S 35	$3,8 \cdot 10^{14}$	$4,2 \cdot 10^{14}$	$9,2 \cdot 10^{14}$	$7,7 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$5,4 \cdot 10^{14}$
Sb 125	$3,8 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{13}$	$9,0 \cdot 10^{13}$	$7,5 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$5,3 \cdot 10^{13}$
Sc 46	$3,1 \cdot 10^{13}$	$3,4 \cdot 10^{13}$	$7,4 \cdot 10^{13}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$8,7 \cdot 10^{13}$	$4,3 \cdot 10^{13}$
Se 79	$2,6 \cdot 10^{13}$	$2,9 \cdot 10^{13}$	$6,3 \cdot 10^{13}$	$5,2 \cdot 10^{13}$	$7,3 \cdot 10^{13}$	$3,7 \cdot 10^{13}$
Sm 151	$3,8 \cdot 10^{14}$	$4,2 \cdot 10^{14}$	$9,2 \cdot 10^{14}$	$7,7 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$5,4 \cdot 10^{14}$
Sr 89	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$3,4 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{14}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{14}$
Sr 90	$1,0 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{13}$
Ta 182	$3,8 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^{13}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$7,6 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$5,3 \cdot 10^{13}$
Tc 99	$1,2 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$
Te 125m	$5,5 \cdot 10^{14}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$7,7 \cdot 10^{14}$
Th 227	$7,6 \cdot 10^{12}$	$8,3 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{13}$
Th 228	$8,0 \cdot 10^{11}$	$8,8 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$2,2 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{12}$
Th 231	$3,7 \cdot 10^{15}$	$4,1 \cdot 10^{15}$	$9,0 \cdot 10^{15}$	$7,5 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{16}$	$5,2 \cdot 10^{15}$
Th 234	$8,3 \cdot 10^{13}$	$9,1 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$2,3 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$
U 232	$1,9 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$4,6 \cdot 10^{11}$	$3,9 \cdot 10^{11}$	$5,4 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$
U 236	$1,8 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^{11}$	$5,2 \cdot 10^{11}$	$2,6 \cdot 10^{11}$
V 49	$8,7 \cdot 10^{15}$	$9,5 \cdot 10^{15}$	$2,1 \cdot 10^{16}$	$1,7 \cdot 10^{16}$	$2,4 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{16}$
Zn 65	$7,1 \cdot 10^{13}$	$7,8 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$9,9 \cdot 10^{13}$
Zr 93	$1,6 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	$3,8 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$4,5 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{13}$
Zr 95	$8,7 \cdot 10^{13}$	$9,5 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$

Tabelle 3.3.4/5 (Fortsetzung) Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

Behälter	U 233		U 235		Pu 239	Pu 241
	Anreicherungsgrad					
	$\leq 5\%$	$> 5\%$	$\leq 5\%$	$> 5\%$		
Betonbehälter						
Typ I	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^6$	$8,7 \cdot 10^{10}$	$7,2 \cdot 10^{13}$
Typ II	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^6$	$8,7 \cdot 10^{10}$	$7,2 \cdot 10^{13}$
Gußbehälter						
Typ I	$2,5 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$9,6 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^{13}$
Typ II	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^6$	$8,7 \cdot 10^{10}$	$7,2 \cdot 10^{13}$
Typ II*	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^6$	$8,7 \cdot 10^{10}$	$7,2 \cdot 10^{13}$
Typ III	$4,5 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^7$	$5,2 \cdot 10^6$	$8,0 \cdot 10^{10}$	$6,4 \cdot 10^{13}$
Container						
Typ I	$9,0 \cdot 10^{10}$	$3,2 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,7 \cdot 10^{14}$
Typ II	$9,0 \cdot 10^{10}$	$3,6 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{14}$
Typ III	$1,8 \cdot 10^{11}$	$7,9 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^{11}$	$4,1 \cdot 10^{14}$
Typ IV	$1,8 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{14}$
Typ V	$1,8 \cdot 10^{11}$	$7,9 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^{11}$	$4,1 \cdot 10^{14}$
Typ VI	$9,0 \cdot 10^{10}$	$3,9 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{14}$

Tabelle 3.3.4/6

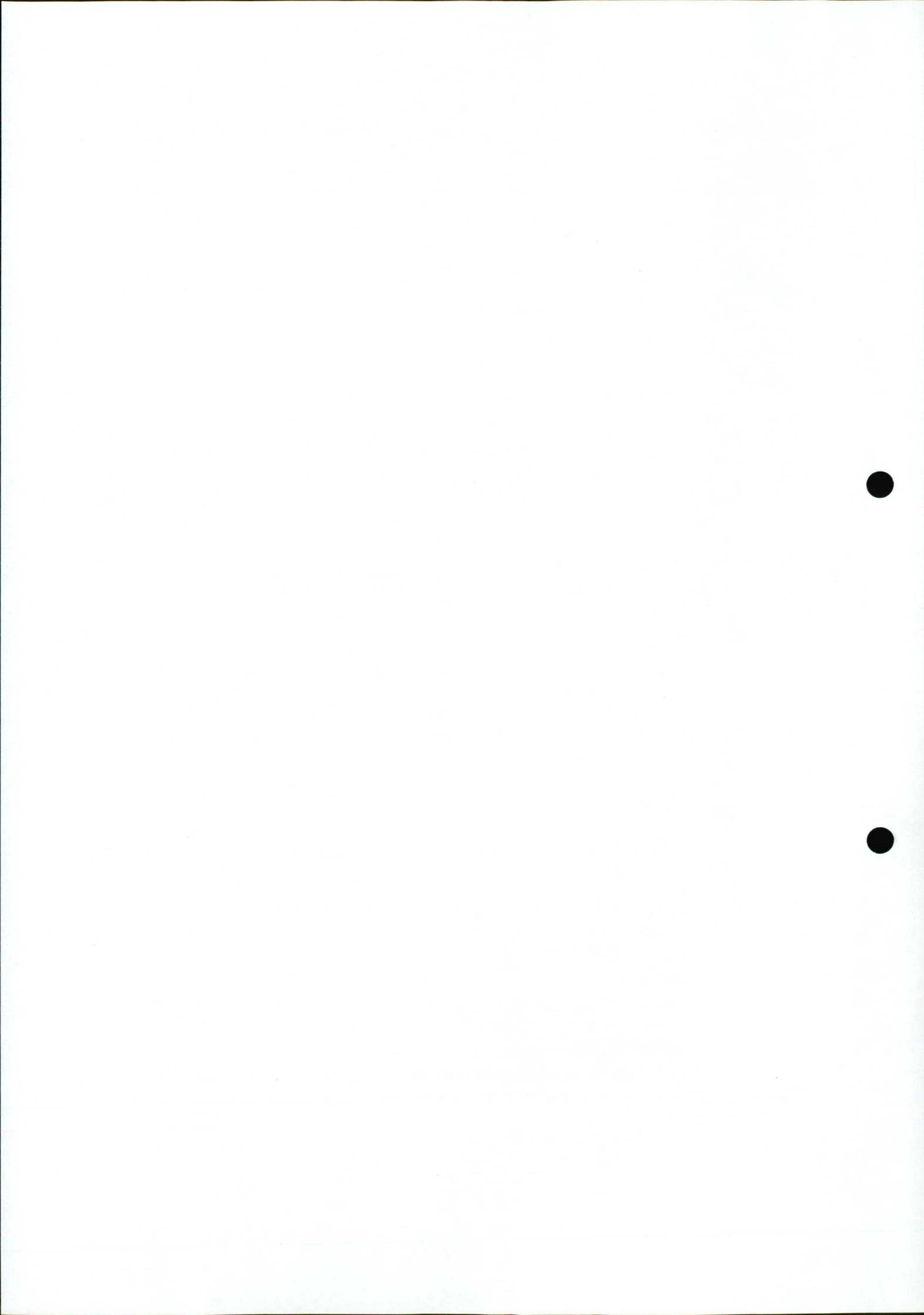
Aktivitätswerte für spaltbare Stoffe, außer Natururan und abgereichertem Uran die aus der Analyse zur Kritikalitäts-sicherheit resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde.

* Typ KfK (Tab. 3.3.3.1/1)

Radionuklid/ Radionuklidgruppe	Aktivität [Bq]
H 3	$6,0 \cdot 10^{17}$
C 14	$4,0 \cdot 10^{14}$
I 129	$7,0 \cdot 10^{11}$
Ra 226	$4,0 \cdot 10^{12}$
Th 232	$5,0 \cdot 10^{11}$
U 235	$2,0 \cdot 10^{11}$
U 236	$1,0 \cdot 10^{12}$
U 238	$1,9 \cdot 10^{12}$
Pu 239	$2,0 \cdot 10^{15}$
Pu 241	$2,0 \cdot 10^{17}$
Gesamt-Alphastrahler	$1,5 \cdot 10^{17}$
Gesamt-Beta/Gammastrahler	$5,0 \cdot 10^{18}$

Tabelle 3.3.4/7

Aktivitäten relevanter Radionuklide und Radionuklidgruppen am Ende der Betriebsphase des Endlagers Konrad.



3.3.4.2 Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen

Bestimmungsgemäßer Betrieb

Die Garantiewerte pro Abfallgebinde (Kap. 3.4.2.4) sind in Tabelle 3.3.4/1 aufgeführt. Bei Einhaltung der Garantiewerte und der übrigen, von dem betreffenden Abfallgebinde zu erfüllenden Anforderungen werden an seine Annahme vom Endlager keine weiteren Bedingungen geknüpft. Die Garantiewerte für die einzelnen Radionuklide und Radionuklidgruppen können gleichzeitig ausgeschöpft werden. Dabei ist zu beachten, daß bei gleichzeitigem Vorliegen eines Radionuklids bzw. einer Radionuklidgruppe in mehreren Spezifikationen in einem Abfallgebinde entweder der jeweils restriktivste Garantiewert zugrunde gelegt wird oder die Garantiewerte anteilig entsprechend den jeweiligen Aktivitätsanteilen im Abfallgebinde berücksichtigt werden.

Die in das Endlager Konrad eingelagerten Aktivitäten der in Tabelle 3.3.4/1 aufgeführten Radionuklide und Radionuklidgruppen werden nuklidweise bilanziert. Bei Überschreitung von 1 % des Garantiewertes ist eine Angabe der Aktivität des entsprechenden Radionuklids bzw. der Radionuklidgruppe erforderlich. Dieser Wert wird für Radionuklide und Radionuklidgruppen bei der Bilanzierung in den Fällen angesetzt, in denen keine Aktivitäten angegeben sind.

Zeigt die Bilanzierung für ein bestimmtes Radionuklid oder eine bestimmte Radionuklidgruppe für ein Betriebsjahr, daß die Richtwerte der pro Jahr in das Endlager Konrad einlagerbaren Aktivität (Kap. 3.3.4.1) nicht ausgeschöpft werden, können auch Abfallgebinde endgelagert werden, welche die Garantiewerte pro Abfallgebinde überschreiten. In diesem Fall ist die Zustimmung

des BfS vor einer Anlieferung der betreffenden Abfallgebinde erforderlich.

Unterstellte Störfälle

Anforderungen aus der Störfallanalyse führen für Leitnuklide, sonstige nicht spezifizierte Alpha- und Beta/Gammastrahler und Einzelnuklide zu den in den Tabellen 3.3.4/2 und /3 angegebenen Aktivitätsgrenzwerten. Bei der Abfallbehälterklasse II wird hinsichtlich der Aktivitätsgrenzwerte nicht zwischen den sechs verschiedenen Abfallproduktgruppen unterschieden; hier werden die in Kapitel 3.3.2.1 genannten Grundanforderungen eingehalten.

Wenn in einem Abfallgebinde verschiedene Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen enthalten sind, müssen die Aktivitäten dieser Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen im Abfallgebinde folgendem Summenkriterium genügen:

$$S_s(p,k) = F \sum_i \frac{A(i)}{G_s(i,p,k)} < 1.$$

Dabei bedeuten:

S_s Summenwert (s = Index für Störfall).

$A(i)$ Aktivität des Radionuklids i oder der Radionuklidgruppe i im Abfallgebinde.

$G_s(i,p,k)$ In Störfallrechnungen für die Abfallproduktgruppe p und Abfallbehälterklasse k ($k = I$ oder $k = II$) ermittelter Aktivitätsgrenzwert des Radionuklids i oder der Radionuklidgruppe i .

F Faktor.

Das o. a. Summenkriterium ist für ein Radionuklidgemisch erfüllt, falls die mit dem Faktor F multiplizierte Summe der Verhältniszahlen aus der Aktivität einzelner Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen und dem jeweiligen Aktivitätsgrenzwert kleiner 1 ist.

Der Faktor F hat den Wert:

- 1, falls das Abfallgebinde im Endlager Konrad einzeln oder allein auf einer Tauschpalette gehandhabt wird oder
- 2, falls zwei Abfallgebinde auf einer Tauschpalette gehandhabt werden.

Das Summenkriterium kann auf zweierlei Weisen angewendet werden:

- Es werden die Aktivitätsgrenzwerte für Leitnuklide und für nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler (Tab. 3.3.4/2) benutzt oder
- es werden die Aktivitätsgrenzwerte für Leitnuklide (Tab. 3.3.4/2), für weitere Einzelnuklide (Tab. 3.3.4/3) und für die nicht spezifizierten sonstigen Alpha- und Beta/Gammastrahler (Tab. 3.3.4/2) benutzt.

Dabei gilt:

- Übersteigt die Aktivität eines Leitnuklids oder die Summenaktivität nicht spezifizierter sonstiger Alpha- und Beta/Gammastrahler im Abfallgebinde 1 % des zugehörigen Aktivitätsgrenzwertes, ist diese Aktivität anzugeben und bei der Anwendung des Summenkriteriums zu berücksichtigen.

- Bei Unterschreitung des 1-%-Wertes muß die Aktivität des betreffenden Leitnuklids oder die Summenaktivität nicht spezifizierter sonstiger Alpha- und Beta/Gammastrahler im Abfallgebinde weder angegeben noch bei der Anwendung des Summenkriteriums berücksichtigt werden.
- Für Radionuklide, die nicht zu den Leitnukliden gehören, können die betreffenden Aktivitätsgrenzwerte aus Tabelle 3.3.4/3 verwendet werden. Die Aktivitäten dieser Radionuklide im Abfallgebinde sind anzugeben und bei der Anwendung des Summenkriteriums zu berücksichtigen. Bei den verbleibenden Summenaktivitäten nicht spezifizierter Alpha- und Beta/Gammastrahler im Abfallgebinde ist unverändert der entsprechende Aktivitätsgrenzwert für nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler aus Tabelle 3.3.4/2 heranzuziehen.

Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

Die zulässigen Aktivitäten von Radionukliden bzw. Radionuklidgruppen in einem Abfallgebinde, die sich aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins ergeben, müssen folgendem Summenkriterium in der Regel genügen:

$$S_w (B) = \sum_i \frac{A(i)}{G_w(i, B)} < 1.$$

Für einzelne Abfallgebinde kann hiervon abweichen werden; dies wird in Kapitel 3.6 näher erläutert.

Dabei bedeuten:

S_w Summenwert (w = Index für Wärme).

$A(i)$ Aktivität des Radionuklids i oder der Radionuklidgruppe i im Abfallgebinde.

$G_w(i, B)$ In Wärmeausbreitungsrechnungen für den Behälter B ermittelter Aktivitätswert des Radionuklids i oder der Radionuklidgruppe i .

Das Summenkriterium kann auf zweierlei Weise angewendet werden:

- Es werden die Aktivitätswerte für Leitnuklide und für nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler benutzt (Tab. 3.3.4/4) oder
- es werden die Aktivitätswerte für Leitnuklide (Tab. 3.3.4/4), für sonstige Einzelnuklide (Tab. 3.3.4/5) und für nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/-Gammastrahler (Tab. 3.3.4/4) benutzt.

Dabei gilt:

- Übersteigt die Aktivität eines Leitnuklids oder die Summenaktivität nicht spezifizierter sonstiger Alpha- und Beta/Gammastrahler im Abfallgebinde 1 % des zugehörigen Aktivitätswertes, ist diese Aktivität anzugeben und bei der Anwendung des Summenkriteriums zu berücksichtigen.
- Bei Unterschreitung des 1 %-Wertes muß die Aktivität des betreffenden Leitnuklids oder die Summenaktivität nicht spezifizierter sonstiger Alpha- und Beta/Gammastrahler im Abfallgebinde weder angegeben noch bei der Anwendung des Summenkriteriums berücksichtigt werden.
- Für Radionuklide, die nicht zu den Leitnukliden gehören, können die betreffenden Aktivitätswerte aus der Tabelle 3.3.4/5 verwendet werden. Die Aktivitäten dieser Radionuklide im Abfallgebinde sind anzugeben und bei der Anwendung des Summenkriteriums zu berücksichtigen. Bei den verbleibenden Summenaktivitäten nicht spezifizierter Alpha- und Beta/Gammastrahler im

Abfallgebinde ist unverändert der entsprechende Aktivitätswert für nicht spezifizierte sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler aus Tabelle 3.3.4/4 heranzuziehen.

Die Einlagerung von Abfallgebinden mit Summenwerten größer gleich 1 ist möglich, wenn sie mit Abfallgebinden gemischt werden, die entsprechend geringe Summenwerte besitzen (gemischte Einlagerung). Dabei ist eine volumengewichtete Mittelung der Summenwerte vorzunehmen, wobei maximal drei Stapelreihen in einer Einlagerungskammer berücksichtigt werden. Die Einlagerung ist möglich, wenn der so bestimmte mittlere Summenwert unter 1 liegt. Vor einer Anlieferung derartiger Abfallgebinde, bei denen die o. g. Aktivitätswerte überschritten werden, ist die Zustimmung des BfS erforderlich.

Kritikalitätssicherheit

Die zulässigen Aktivitäten von Radionukliden bzw. Radionuklidgruppen in einem Abfallgebinde, die sich aus der Analyse zur Kritikalitätssicherheit ergeben, müssen folgendem Summenkriterium in der Regel genügen:

$$S_K(B) = \sum_i \frac{A_i}{G_K(i, B, a)} < 1.$$

Für einzelne Abfallgebinde kann hiervon abgewichen werden; dies wird in Kapitel 3.7 näher erläutert.

Dabei bedeuten:

S_K Summenwert (K = Index für Kritikalität).

A_i Aktivität des Radionuklids i im Abfallgebinde.

$G_K(i, B, a)$ In Kritikalitätsrechnungen für den Behälter B und den Anreicherungsgrad a ermittelter Aktivitätswert des Radionuklids i.

Bei Anwendung des Summenkriteriums gilt:

- Übersteigt die Aktivität eines Radionuklids i im Abfallgebinde 1 % des zugehörigen Aktivitätswertes (Tab. 3.3.4/6), ist diese Aktivität anzugeben und bei Anwendung der Summenformel zu berücksichtigen.
- Bei Unterschreitung des 1 %-Wertes muß die Aktivität des betreffenden Radionuklids i im Abfallgebinde weder angegeben noch bei Anwendung der Summenformel berücksichtigt werden.

Die Einlagerung von Abfallgebinden mit Summenwerten größer gleich 1 ist möglich, wenn sie mit Abfallgebinden gemischt werden, die entsprechend geringe Summenwerte besitzen (gemischte Einlagerung). Dabei ist eine anzahlgewichtete Mittelung der Summenwerte vorzunehmen, wobei nur eine Stapelreihe in einer Einlagerungskammer berücksichtigt wird. Die Einlagerung ist möglich, wenn der so bestimmte mittlere Summenwert unter 1 liegt.

Bei der Bilanzierung der eingelagerten Aktivität im Endlager Konrad werden für U 233, U 235, Pu 239 und Pu 241 die 1 %-Werte in den Fällen angesetzt, in denen keine Aktivitäten für diese Radionuklide angegeben sind. Vor einer Anlieferung von Abfallgebinden, bei denen die o. g. Aktivitätswerte überschritten werden, ist die Zustimmung des BfS erforderlich.

Die Aktivitätsbegrenzungen für Uran (Tab. 3.3.4/6) gelten nicht für Natururan und abgereichertes Uran.

Außer der zulässigen Aktivität (Tab. 3.3.4/6) ist die zulässige Massenkonzentration spaltbarer Stoffe (Kap. 3.3.2.1) zu beachten; der restriktivere Wert wird eingehalten.

Vereinfachte Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen

Im Sinne einer vereinfachten Vorgehensweise bei der Überprüfung von Abfallgebinden auf Einhaltung der Aktivitätsbegrenzungen, die aus den Anforderungen der Sicherheitsanalysen zum bestimmungsgemäßen Betrieb, zu den unterstellten Störfällen, zur Kritikalitätssicherheit und zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren, werden im folgenden einfache Bewertungskriterien aufgeführt. Diese gelten für Abfallgebinde, bei denen weder eine spezifizierte Dichtigkeit der Verpackung im Sinne der Anforderungen des bestimmungsgemäßen Betriebes gegeben ist noch die erhöhten Anforderungen an Verpackungen erfüllt werden, die der Abfallbehälterklasse II zuzuordnen sind. Bei Einhaltung der nachfolgend angegebenen Aktivitätsgrenzwerte werden diese Abfallgebinde ohne weitergehend spezifizierte Aktivitätsangaben in das Endlager Konrad eingelagert. Dabei gilt:

- APG 01

In einem Abfallgebinde unterschreiten die Aktivitäten von C 14, I 129, Ra 226, Ac 227, Pa 231 und U 235 die folgenden Werte

C 14	$1,8 \cdot 10^8$ Bq
I 129	$1,9 \cdot 10^7$ Bq
Ra 226	$9,0 \cdot 10^6$ Bq
Ac 227	$9,0 \cdot 10^6$ Bq
Pa 231	$1,0 \cdot 10^7$ Bq
U 235	$4,0 \cdot 10^6$ Bq

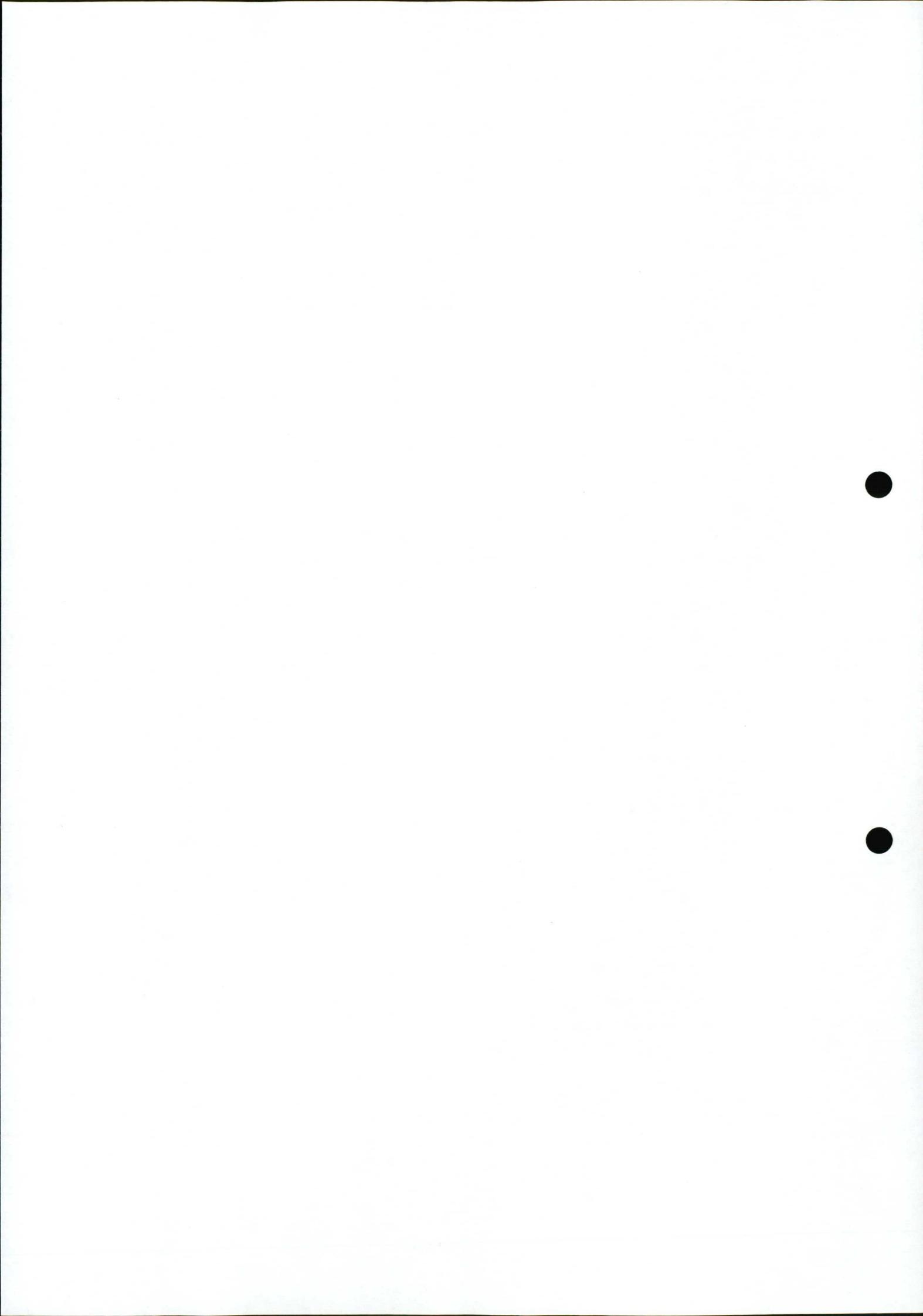
und gleichzeitig beträgt die Summenaktivität aller übrigen Alpha- und Beta/Gammastrahler weniger als $3,8 \cdot 10^8$ Bq.

- APG 02 bis 06

In einem Abfallgebinde unterschreiten die Aktivitäten von H 3, C 14, I 129, Ra 226 und U 235 die folgenden Werte

H	3	$3,0 \cdot 10^9$ Bq
C	14	$1,8 \cdot 10^8$ Bq
I	129	$1,9 \cdot 10^7$ Bq
Ra	226	$9,0 \cdot 10^6$ Bq
U	235	$4,0 \cdot 10^6$ Bq

und gleichzeitig beträgt die Summenaktivität aller übrigen Alpha- und Beta/Gammastrahler weniger als $4,2 \cdot 10^9$ Bq.



3.3.5 Abfallgebinde

Die zur Einlagerung vorgesehenen Abfallgebinde sind so beschaffen, daß sie den sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers in der Betriebs- und Nachbetriebsphase genügen. Die in den Kapiteln 3.3.2, 3.3.3 und 3.3.4 genannten sowie die nachfolgend aufgeführten Anforderungen werden erfüllt.

Die Ortsdosisisleistung an der Oberfläche jedes Abfallgebindes beträgt zum Zeitpunkt der Ablieferung an das Endlager im Mittel nicht mehr als $2 \cdot 10^{-3}$ Sv/h und lokal nicht mehr als $1 \cdot 10^{-2}$ Sv/h. In 1 m Abstand von der Oberfläche bei zylindrischen Abfallgebinden und in 2 m Abstand bei quaderförmigen Abfallgebinden beträgt die Ortsdosisisleistung nicht mehr als $1 \cdot 10^{-4}$ Sv/h.

Die über eine Fläche von 100 cm^2 gemittelte, nicht festhaftende Flächenkontamination überschreitet an keiner Stelle der Oberfläche eines Abfallgebindes die Grenzwerte von

- $0,5 \text{ Bq/cm}^2$ für Alphastrahler, für die eine Freigrenze von $5 \cdot 10^3 \text{ Bq}$ festgelegt ist,
- 50 Bq/cm^2 für Betastrahler und Elektroneneinfangstrahler, für die eine Freigrenze von $5 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ festgelegt ist, und
- 5 Bq/cm^2 für sonstige Radionuklide.

Die Abfallbehälter werden so mit einem Abfallprodukt befüllt, daß bei Beförderung, Handhabung und Stapelung im Endlager

- die Grenzwerte der Ortsdosisisleistung eingehalten werden und
- eine Beschädigung des Behälters durch das Abfallprodukt ausgeschlossen ist.

Die Abfallbehälter werden möglichst vollständig befüllt, um den Resthohlraum zu minimieren und damit der allgemeinen Forderung nach einer möglichst vollständigen Verfüllung der Einlagerungskammern zu genügen.

Endzulagernde quaderförmige Abfallgebinde halten einer dachseitigen Flächenlast von $3,4 \text{ Mg/m}^2$ stand.

Bei der Befüllung von Containern werden die Abfallprodukte so eingebracht, daß eine möglichst gleichmäßige Massenverteilung über seiner Grundfläche gegeben ist, die bei Beförderung, Handhabung und Stapelung erhalten bleibt. Gleiches gilt für die Beladung der Tauschpalette (Kap. 3.2.4.5).

Die endzulagernden Abfallgebinde werden weitgehend ohne Überdruck abgeliefert.

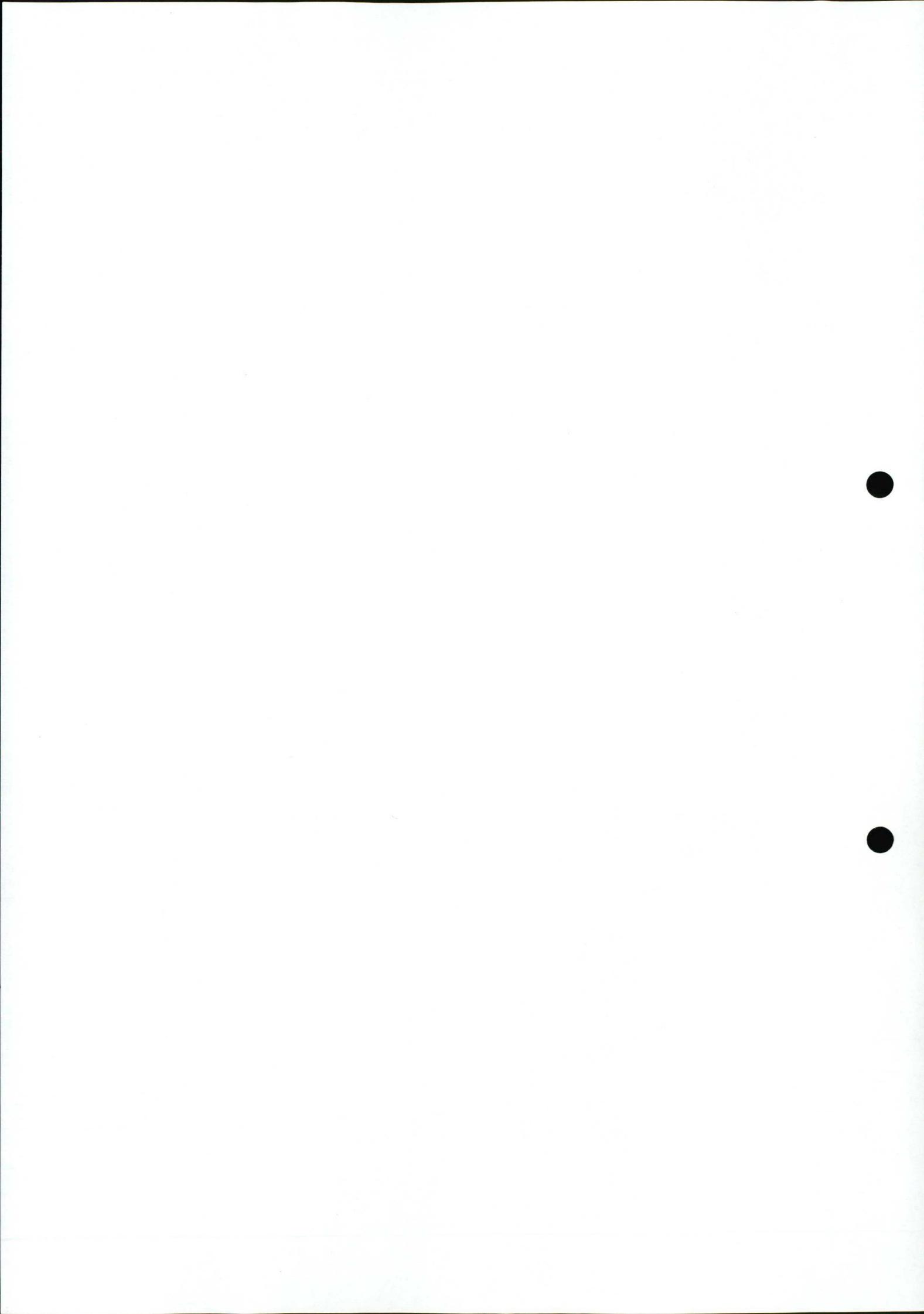
Die maximale Masse einer mit zylindrischen Abfallgebinden beladenen Tauschpalette oder eines befüllten Containers beträgt 20 Mg (Kap. 3.2.3.2).

Für die Verpackung von Abfallprodukten werden z.T. Innenbehälter verwendet. Innenbehälter sind z. B. 200-l- und 400-l-Fässer sowie Metallkartuschen oder -trommeln. Innenbehälter werden nur mit Abfallprodukten befüllt, die den in Kapitel 3.3.2 beschriebenen Anforderungen genügen. An Innenbehälter selbst werden keine Anforderungen gestellt, sofern sie nicht zur Einhaltung von spezifizierten Dichtheiten der Verpackungen dienen (Kap. 3.3.3.2 und 3.3.4).

Die Kennzeichnung der Abfallgebinde ist an ihrer Außenseite in deutlich und dauerhaft lesbarer Form angebracht. Zylindrische Abfallgebinde sind auch am Deckel oder Boden gekennzeichnet. Sie werden so auf Tauschpaletten verladen, daß ihre Kennzeichnung von der Tauschpalette nicht verdeckt wird.

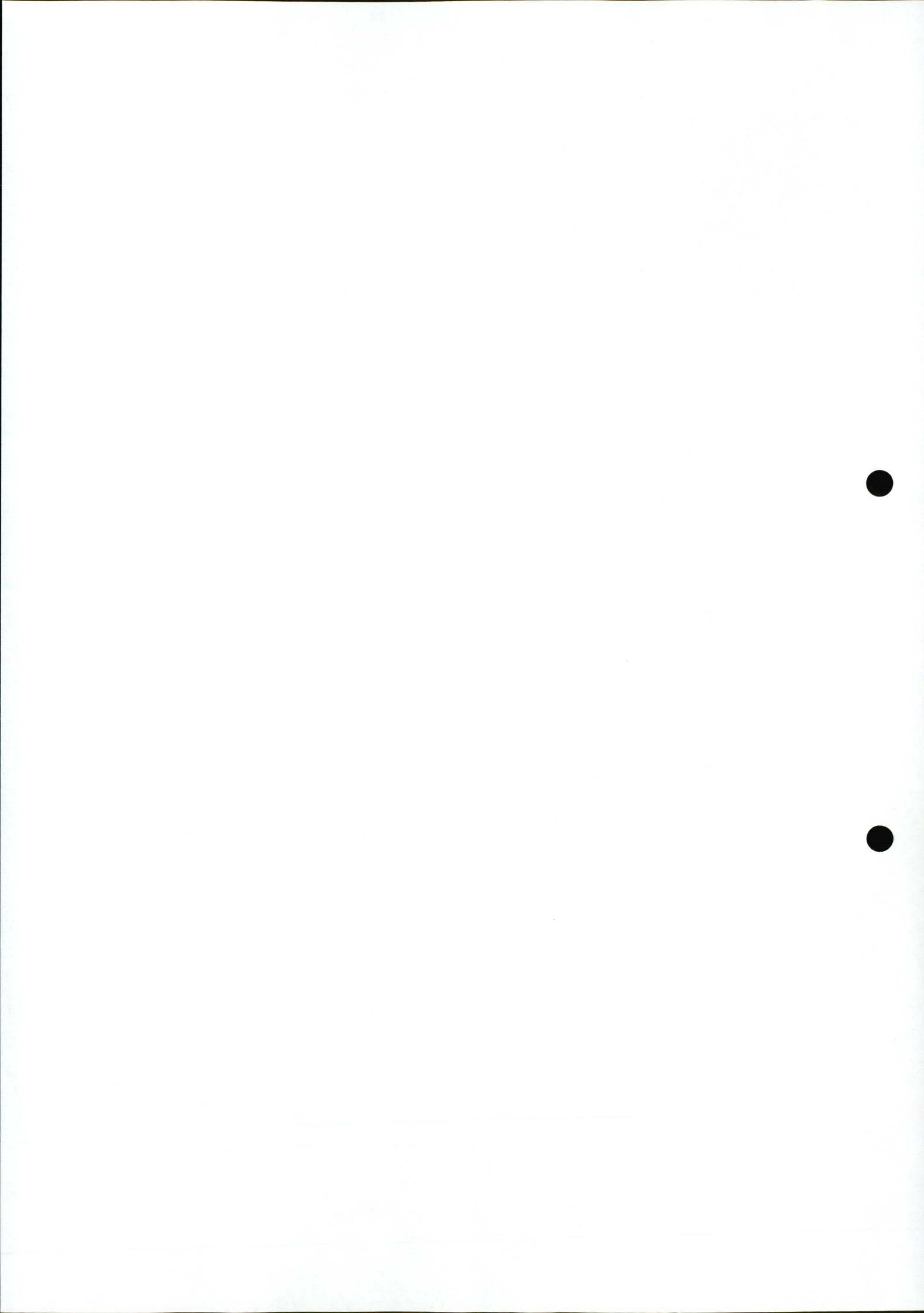
Das Abfalldatenblatt jedes an das Endlager Konrad abzuliefernden Abfallgebindes beinhaltet insbesondere Angaben zu

- Gesamtaktivität des Abfallgebindes
- Aktivität relevanter Radionuklide
- Ortsdosisleistung an der Oberfläche und in 1 m oder 2 m Abstand,
- Flächenkontamination des Abfallgebindes,
- Abfallart,
- Fixierungsmittel,
- Abfallbehälter,
- Abfallproduktgruppe,
- Abfallbehälterklasse und
- Abfallgebindemasse.



UNTERKAPITEL

- 3.3.6 **Produktkontrolle endzulagernder Abfallgebinde**
 - 3.3.6.1 Organisation und Verantwortung
 - 3.3.6.2 Endlagerrelevante Eigenschaften radioaktiver Abfälle
 - 3.3.6.3 Produktbezogene Maßnahmen
 - 3.3.6.3.1 Kontrolle von Abfallgebinden aus nicht qualifizierten Verfahren
 - 3.3.6.3.2 Kontrolle von Konditionierungsverfahren
 - 3.3.6.3.3 Kontrollmaßnahmen für Abfallbehälter



3.3.6 Produktkontrolle endzulagernder Abfallgebinde

Die endzulagernden Abfallgebinde müssen den Endlagerungsbedingungen entsprechen. Der Nachweis erfolgt durch die Produktkontrolle. Das BfS sorgt für die Einhaltung der durch die Endlagerungsbedingungen (Kap. 3.3.2 bis 3.3.5) festgelegten Anforderungen durch

- organisatorische und administrative Regelungen zwischen dem BfS und den in seinem Auftrag tätigen unabhängigen Sachverständigen und Institutionen bzw. den Werksachverständigen, der DBE und den Ablieferungspflichtigen und
- Prüfungen von Abfallgebinden und von Konditionierungsverfahren (Verfahrensqualifikation und Inspektionen) sowie Prüfungen der Dokumentationen der Ablieferungspflichtigen.

Die Ablieferungspflichtigen und Konditionierer radioaktiver Abfälle unterliegen im Rahmen des genehmigten Umgangs mit radioaktiven Stoffen in ihren Anlagen der jeweils gesetzlich vorgeschriebenen Aufsicht durch die zuständigen Länderbehörden. Die Durchführung von Produktkontrollmaßnahmen durch das BfS setzt aufgrund der geltenden Rechtslage - soweit sie in den Anlagen der Ablieferungspflichtigen oder Konditionierer erfolgt - neben den öffentlichrechtlichen Voraussetzungen vertragliche Regelungen mit dem jeweiligen Betreiber vor aus. Die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen kann auch außerhalb dieser Anlagen vom BfS durch Prüfungen von Abfallgebinden kontrolliert werden.

3.3.6.1 Organisation und Verantwortung

Verantwortung und Aufgaben des BfS

Da das BfS für den Betrieb des Endlagers verantwortlich ist, obliegt ihm auch die Produktkontrolle. Im Rahmen dieser Verantwortung führt das BfS von den Ablieferungspflichtigen und Konditionierern unabhängige Prüf- und Kontrollmaßnahmen selbst durch oder beauftragt damit unabhängige Sachverständige oder Institutionen. Soweit das BfS die erforderlichen Prüf- und Kontrollmaßnahmen nicht selbst wahrnimmt, überwacht es die Arbeiten der von ihm beauftragten unabhängigen Sachverständigen und Institutionen und macht Vorgaben für die Durchführung der Prüf- und Kontrollmaßnahmen. Das BfS wird jedoch insbesondere folgende Aufgaben nicht an unabhängige Sachverständige oder Institutionen übertragen, sondern selbst durchführen:

- Festlegung in welchem Umfang die vom BfS Beauftragten die für die endzulagernden Abfälle vorgelegte Dokumentation berücksichtigen können,
- Entscheidung über das weitere Vorgehen beim Auftreten von Mängeln und Fehlern, die bei der Produkt- oder Eingangskontrolle festgestellt werden,
- Qualifikation von Konditionierungsverfahren,
- Freigabe von Abfallgebinden zum Abruf durch die DBE und
- Überwachung der Arbeiten der Werksachverständigen und der DBE.

Aufgaben und Tätigkeiten der vom BfS beauftragten unabhängigen Sachverständigen und Institutionen

Die beauftragten unabhängigen Sachverständigen und Institutionen müssen dem BfS die für das jeweilige Arbeitsgebiet erforderliche Sachkunde nachgewiesen haben. Sie können insbesondere mit folgenden Arbeiten beauftragt werden, soweit sie das BfS nicht selbst durchführt:

- Prüfung der vorgelegten Dokumentation der Ablieferungspflichtigen und Konditionierer,
- Prüfung und Begutachtung von Konditionierungsverfahren einschließlich Bauartprüfung der zu verwendenden Behälter bzw. Verpackungen,
- Kontrollen an Proben aus dem Konditionierungsprozeß,
- Inspektionen von Anlagen, in denen radioaktive Abfälle mit qualifizierten Verfahren konditioniert werden sowie begleitende Kontrollmaßnahmen bei der Fertigung von Behältern bzw. Verpackungen und
- Stichprobenprüfungen an Abfallgebinden (Abfallprodukt und Abfallbehälter).

Bei der Qualifizierung von Konditionierungsverfahren wird unter Verwendung der vorgelegten Dokumentation geprüft, ob die Vorbehandlung und Konditionierung der radioaktiven Abfälle so erfolgt, daß die hergestellten Abfallgebinde denendlagerungsbedingungen entsprechen.

Bei Stichprobenprüfungen wird der Prüfumfang auf der Grundlage der über Herstellung und Eigenschaften der Abfallgebinde vorgelegten Dokumentation festgelegt. Die zu prüfenden Abfallgebinde werden ausgewählt und am Ort

der Lagerung oder außerhalb der Lageranlagen in geeigneten Prüfeinrichtungen geprüft.

Die Prüfergebnisse werden schriftlich festgehalten und den Ablieferungspflichtigen bzw. Konditionierern mitgeteilt. Abfallgebinde, die den Endlagerungsbedingungen entsprechen, werden erfaßt, ihr ordnungsgemäßer Zustand wird der DBE mitgeteilt. Geprüfte und als fehlerhaft identifizierte Gebinde werden ebenfalls erfaßt und gekennzeichnet.

Werksachverständige

In Teilbereichen, insbesondere bei der Bauartprüfung von Abfallbehältern der Abfallbehälterklasse I, werden auch Werksachverständige (Kap. 3.3.6.3.3) im Auftrag eines Ablieferungspflichtigen, Konditionierers oder Behälterherstellers tätig. Die Werksachverständigen haben dem BfS neben der erforderlichen Sachkunde auch nachzuweisen, daß sie bei der Erfüllung ihrer Aufgaben von der für die Produktion zuständigen Organisationseinheit unabhängig sind, falls Prüfergebnisse dieser Sachverständigen vom BfS anerkannt werden sollen.

Verantwortung und Aufgaben der Ablieferungspflichtigen und Konditionierer

Die Ablieferungspflichtigen und Konditionierer sind - unabhängig von den Prüf- und Kontrollmaßnahmen durch das BfS und dessen Beauftragte - für die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen verantwortlich. Sie unterliegen im Rahmen des genehmigten Umgangs mit radioaktiven Stoffen der jeweils gesetzlich vorgeschriebenen Aufsicht und haben zum Nachweis, daß die Endlagerungsbedingungen erfüllt sind, in Eigenverantwortung geeignete technische und organisatorisch-administrative Maßnahmen zu treffen. Die für die Endlagerung der jeweiligen Abfallgebinde re-

levanten Maßnahmen sind dem BfS nachzuweisen. Die Ablieferungspflichtigen sind gegenüber dem BfS auch für die Konditionierer verantwortlich und haben zur Kontrolle eine Dokumentation vorzulegen, aus denen die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen hervorgeht.

Kommen qualifizierte Konditionierungsverfahren zum Einsatz, so ist vom Ablieferungspflichtigen bzw. vom Konditionierer die Einhaltung der in der Verfahrensqualifikation festgelegten Anforderungen nachzuweisen.

Dem BfS oder dem von ihm Beauftragten ist für die Prüfungen im Rahmen der Verfahrensqualifikation und die Inspektion von Konditionierungsverfahren der Zutritt zu den Konditionierungsanlagen zu gestatten. Dies gilt auch für Abfälle, die mit qualifizierten Verfahren im Ausland konditioniert und in der Schachtanlage Konrad endgelagert werden sollen.

Die Ablieferungspflichtigen und Konditionierer übernehmen die Nachbehandlung der konditionierten Abfälle, falls sich bei den Kontrollen die Nichteinhaltung der Endlagerungsbedingungen herausstellt und sorgen für eine endlagergerechte Nachkonditionierung.

Die bei der Produktkontrolle anfallenden Abfälle (z. B. Proben) bleiben Eigentum der Ablieferungspflichtigen.

Sollen Abfallfässer in Container eingebracht werden, so sind die Ablieferungspflichtigen und Konditionierer verpflichtet, das BfS hiervon rechtzeitig zu unterrichten.

Aufgaben oder Tätigkeiten der DBE

Die im Auftrag des BfS tätige DBE führt die Dokumentation der Abfallgebindedaten. Diese Daten werden parallel vom BfS erfaßt und ausgewertet und, soweit not-

wendig, den im Auftrag des BfS tätigen unabhängigen Sachverständigen bzw. Institutionen zur Verfügung gestellt.

Die DBE führt in diesem Zusammenhang folgende Arbeiten durch

- Prüfung der Abfalldatenblätter vor dem Abruf der Abfallgebinde,
- Abruf der Abfallgebinde (Kap. 3.2.5.2),
- Eingangskontrollen an den Abfallgebinden (Kap. 3.4.8),
- Kennzeichnung, ggf. Nachbehandlung bzw. zeitweilige Aufbewahrung der bei der Eingangskontrolle als fehlerhaft erkannten Abfallgebinde (Kap. 3.4.8),
- zeitweilige Aufbewahrung von Abfallgebinden in der Pufferhalle (Kap. 3.2.5.3) und
- Dokumentation der Daten der eingelagerten Abfallgebinde.

Die Eingangskontrollen an Abfallgebinden und die Vorgehensweise bei Feststellung von fehlerhaften Abfallgebinden werden in Kapitel 3.4.8 beschrieben.

3.3.6.2 Endlagerrelevante Eigenschaften radioaktiver Abfälle

Die im Rahmen der Produktkontrolle durchgeführten Kontrollmaßnahmen werden nach den zu prüfenden Merkmalen, den endlagerrelevanten Eigenschaften der Abfälle, wie folgt gegliedert

- Gesamtaktivität des Abfallgebindes,
- Aktivität relevanter Radionuklide,
- Ortsdosisleistung an der Oberfläche und in 1 m oder in 2 m Abstand,

- Oberflächenkontamination des Abfallgebines,
- Zusammensetzung des Rohabfalls (z. B. chemisches Verhalten),
- Qualität des Fixierungsmittels,
- Qualität des Abfallbehälters (z. B. Dichtheit nach Befüllung),
- Mengenverhältnisse Abfall/Fixierungsmittel/Wasser/Zuschlagstoffe,
- Durchmischung,
- Masse,
- Abbinde- bzw. Produktzustand (z. B. Druckfestigkeit, Gasbildung),
- Wassergehalt bzw. Restfeuchte,
- thermisches Verhalten sowie
- Stapel- und Handhabbarkeit.

Die Überprüfung dieser Eigenschaften sichert die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen (Kap. 3.3.2 bis 3.3.5).

Die endlagerrelevanten Eigenschaften der Abfälle werden entweder direkt durch die Endlagerungsbedingungen oder durch Kenngrößen quantifiziert, die aus den Endlagerungsbedingungen abgeleitet wurden. Im Rahmen der Verfahrensqualifikation werden die Betriebsbedingungen der Konditionierungsanlage so festgelegt, daß eine den Anforderungen des Endlagers entsprechende Kontrolle dieser Eigenschaften sichergestellt ist.

Die Eigenschaften werden anhand der Dokumentationen der Ablieferungspflichtigen und Konditionierer bzw. am Rohabfall, im Verarbeitungsverfahren, am Abfallprodukt, am Behälter bzw. am Abfallgebinde geprüft. Die Art des radioaktiven Abfalls und das angewendete Konditionierungsverfahren bestimmen die Anzahl der zu prüfenden Eigenschaften.

3.3.6.3 Produktbezogene Maßnahmen

Die Einhaltung der in den Endlagerungsbedingungen festgelegten Anforderungen an endzulagernde Abfallgebinde ist an bereits konditionierten und noch zu konditionierenden Abfällen zu prüfen. In diesem Zusammenhang wird die Dokumentation der Ablieferungspflichtigen und Konditionierer überprüft sowie Messungen bzw. Inaugenscheinnahmen durchgeführt.

Sofern Anforderungen, die sich aus den Endlagerungsbedingungen ergeben, im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Aufsicht über die Anlagen der Ablieferungspflichtigen und Konditionierer oder im Zusammenhang mit internationalen Vereinbarungen geprüft werden, werden die Ergebnisse vom BfS bei der Produktkontrolle berücksichtigt.

3.3.6.3.1 Kontrolle von Abfallgebinden aus nicht qualifizierten Verfahren

Abfallgebinde aus nicht qualifizierten Konditionierungsverfahren werden vom BfS oder den vom BfS Beauftragten nach ihrer Herstellung auf Einhaltung der Endlagerungsbedingungen kontrolliert. Art und Umfang der Kontrollmaßnahmen richten sich danach, inwieweit aus der vorgelegten Dokumentation die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen hervorgeht. Falls erforderlich, werden Stichprobenprüfungen an den Abfallgebinden durchgeführt.

Zwischenprodukte (z. B. Fässer) sollen vor ihrer endgültigen Einbringung in Container einer Stichprobenprüfung unterzogen werden.

Stichprobensystem

Zur Durchführung von Stichprobenprüfungen werden Prüflose aus Abfallchargen zusammengestellt. Dabei werden die Art der Abfälle und ihre Verarbeitung bzw. Verpackung, der Konditionierer und der Ablieferungspflichtige der Abfälle und der Umfang der an den Abfallgebinden durchzuführenden Prüfungen berücksichtigt. Der notwendige Stichprobenumfang wird nach festgelegten Verfahren auf der Grundlage der vorgelegten Dokumentation ermittelt. Dabei werden die radiologische Relevanz der Abfallgebinde, der Absicherungsgrad der vorgelegten Dokumentation, die Gleichheit der Abfallgebinde in ihren endlagerrelevanten Eigenschaften, die bei der Konditionierung eingehaltenen Betriebsbedingungen und Prüfergebnisse vorheriger Stichprobenprüfungen oder die aufgrund anderweitiger Informationen erwarteten Eigenschaften der Abfallgebinde berücksichtigt. Prüflose mit gleichem Stichprobenumfang werden einer bestimmten Prüfklasse zugeordnet. Die Auswahl der Stichprobe aus dem Prüflos erfolgt statistisch zufällig. Zusätzliche Prüfungen werden bei Hinweisen auf fehlerhafte Gebinde durchgeführt.

Die Prüfergebnisse werden statistisch ausgewertet und bei der Entscheidung über die Annahme von Abfallgebinden zur Endlagerung berücksichtigt.

Prüfmethoden

Die erforderlichen zerstörungsfreien bzw. zerstörenden Prüfungen sollen in geeigneten stationären Einrichtungen außerhalb des Endlagers durchgeführt werden. Bei zerstö-

renden Prüfungen sind vor derendlagerung zusätzliche Konditionierungsmaßnahmen durchzuführen. Zerstörungsfreie Prüfungen können auch mit geeigneten mobilen Meßeinrichtungen am Lagerort der Abfallgebinde durchgeführt werden.

An den Abfallgebinde einer Stichprobe werden, soweit notwendig, die folgenden Prüfmethoden angewendet, wobei jeweils die Methode eingesetzt wird, die den geringsten Aufwand zur Erreichung des Prüfziels erfordert.

Zerstörungsfreie Prüfungen

Im einzelnen werden je nach notwendigem Prüfumfang an Abfallgebinde die folgenden beispielhaft aufgeführten Prüfverfahren eingesetzt

- Ermittlung korrosiver Schäden oder sonstiger Fehler durch Inaugenscheinnahme oder physikalische Prüfverfahren,
- Ermittlung der Oberflächenkontamination durch Wischtest,
- Wägung,
- Messung der Dosisleistung bzw. der charakteristischen Strahlung und Berechnung der zugehörigen bzw. weiterer Aktivitäten über charakteristische Radionuklide, wobei die Gamma- oder ggf. die Neutronenstrahlung gemessen wird und
- Kontrolle des Abbinde- bzw. Produktzustandes durch Inaugenscheinnahme und ggf. durch Messung der Prellhärte nach Öffnen des Gebindes. Es werden der feste Zustand des Abfallprodukts, freie Flüssigkeiten und

ggf. brennbare oder nichtmetallische Produktanteile, die plastische Verformung von Preßlingen, die Fixierung und die Druckfestigkeit an der Oberfläche des Abfallprodukts kontrolliert.

Zerstörende Prüfungen

Sofern endlagerrelevante Eigenschaften wie z. B. der Abbindezustand bzw. Produktzustand bzw. die relevante radionuklidspezifische Aktivität des Abfallgebinde nicht durch zerstörungsfreie Prüfungen ermittelt werden kann, werden Proben ggf. mit Kernbohrer entnommen.

Freigabe von Abfallgebinde

Die Abfallgebinde eines Prüfloses werden vom BfS gegenüber der DBE unter Berücksichtigung einer statistischen Auswertung der Prüfergebnisse zum Abruf freigegeben, wenn alle kontrollierten Abfallgebinde den Endlagerungsbedingungen entsprechen. Wird bei diesen Kontrollen festgestellt, daß nicht alle geprüften Abfallgebinde den Endlagerungsbedingungen entsprechen, hängt das weitere Vorgehen von der Bewertung der festgestellten Fehler ab. Die Kriterien für die Fehlerbewertung wurden als Ergebnis einer sicherheitsanalytischen Beurteilung (Kap. 3.4 bis 3.9) festgelegt. Dabei gelten Fehler als wesentlich, die bei Handhabung und Endlagerung der betreffenden Abfallgebinde zu unzulässiger Strahlenexposition, Kontamination oder Radionuklidfreisetzung führen können.

Wird durch eine Stichprobe aus einem Prüflos festgestellt, daß Abfallgebinde wesentliche Fehler aufweisen, müssen diese nachkonditioniert werden. Nach Identifikation der Abfallcharge, aus der das fehlerhafte Abfallgebinde stammt, kann der Ablieferungspflichtige die Abfallcharge überprüfen und ggf. nachkonditionieren, andernfalls wird aus der betroffenen Abfallcharge eine

weitere Stichprobe gezogen. Werden dabei Abfallgebinde mit wesentlichen Fehlern festgestellt, ist die betreffende Abfallcharge vom Ablieferungspflichtigen zu überprüfen und ggf. nachzukonditionieren. An nachkonditionierten Abfallchargen wird die Stichprobenprüfung wiederholt.

Lassen sich Abfallgebinde mit wesentlichen Fehlern nicht bestimmten Abfallchargen zuordnen, erfolgt eine erneute Stichprobenprüfung an dem Prüflos.

Prüflose, bei deren Überprüfung Abfallgebinde mit nicht wesentlichen Fehlern festgestellt wurden, werden vom BfS ebenfalls unter Berücksichtigung der statistischen Auswertung der Prüfergebnisse zum Abruf freigegeben.

Voraussetzung für diese Freigabe ist, daß die festgestellten nicht wesentlichen Fehler ggf. durch Anordnung zusätzlicher administrativer Maßnahmen bereinigt werden.

Das BfS wertet die Prüfergebnisse statistisch aus und berücksichtigt das Ergebnis der statistischen Auswertung bei der Entscheidung über die Freigabe der Abfallgebinde. Diese Berücksichtigung weiterer Prüfergebnisse stellt sicher, daß die sicherheitstechnischen Schutzziele des Endlagers eingehalten werden.

Die von der DBE abgerufenen Abfallgebinde werden zum Endlager transportiert und bei positivem Ergebnis der Eingangskontrolle am Endlager angenommen und eingelagert.

3.3.6.3.2 Kontrolle von Konditionierungsverfahren

Zur Herstellung von Abfallprodukten sollen qualifizierte Konditionierungsverfahren mit entsprechend instrumentierten Anlagen eingesetzt werden, damit Prüfungen an Abfallgebinden weitgehend entfallen können, falls die in der Verfahrensqualifikation festgelegten Bedingungen nachweislich eingehalten worden sind.

Verfahrensqualifikation

Ein Verfahren wird auf Veranlassung des Ablieferungspflichtigen oder Konditionierers vom BfS qualifiziert, wenn die Durchführung der Vorbehandlung und Konditionierung der Abfälle so erfolgt, daß die hergestellten Abfallgebinde den Endlagerungsbedingungen entsprechen.

Bei der Qualifizierung wird das Verfahren in inaktiven und aktiven Testläufen erprobt, wobei auch Abfallproben entnommen und untersucht werden. Die zugehörigen Anlagen sind mit einer für den routinemäßigen Betrieb ausreichenden Prozeßinstrumentierung zu versehen.

In einem Betriebshandbuch der Konditionierungsanlage werden insbesondere die folgenden einzuhaltenden Randbedingungen und die vom Konditionierer durchzuführenden Maßnahmen als Betriebsbedingungen festgelegt:

- Der Gültigkeitsbereich der Verfahrensqualifikation,
- die Regelungen zur Verantwortlichkeit der handelnden Personen,
- die für die Konditionierung und Endlagerung relevanten Eigenschaften der Abfälle, ihre zulässigen Bandbreiten, die zum Nachweis ihrer Einhaltung angewandten Kontrollmaßnahmen, Meßgeräte und Prozeßinstrumentierungen,

- der technische Ablauf der Konditionierung einschließlich der bei eventuellen Störungen durchgeführten Maßnahmen und
- die dokumentationspflichtigen Prozeß- und Abfalldaten.

Das im Entwurf vom Ablieferungspflichtigen oder Konditionierer vorgelegte Betriebshandbuch wird vom BfS geprüft und unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Testbetriebs vom BfS anerkannt, falls aufgrund der getroffenen Festlegungen von der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen auszugehen ist.

Bei der Verfahrensqualifikation kann auch die Prüfung oder Kontrolle von Zwischenprodukten vor ihrer weiteren Konditionierung festgelegt werden (z. B. für Fässer vor dem Vergießen in Containern).

Mit der Anerkennung als qualifiziertes Verfahren ist der Ablieferungspflichtige und Konditionierer zur Einhaltung der im Betriebshandbuch festgelegten Betriebsbedingungen verpflichtet.

Inspektionen

Bei qualifizierten Verfahren wird vom BfS oder den von ihm Beauftragten die Einhaltung der Betriebsbedingungen durch Inspektion überprüft. Insbesondere werden dabei die Einhaltung des Verfahrensablaufes und die Dokumentation der Daten des Konditionierungsprozesses kontrolliert.

Sofern im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Aufsicht über die Anlagen der Ablieferungspflichtigen und Konditionierer oder im Zusammenhang mit internationalen

Vereinbarungen für die Inspektion relevante Prüf- und Kontrollmaßnahmen durchgeführt werden, werden diese vom BfS berücksichtigt.

Abfallproben

Abfallproben werden, soweit notwendig, bei der Verfahrensqualifikation, bei Inspektionen bzw. routinemäßig aus dem laufenden Konditionierungsprozeß entnommen. An diesen Proben werden endlagerrelevante Eigenschaften kontrolliert und mit den Ergebnissen der Verfahrensqualifikation verglichen.

Freigabe von Abfallgebinden

Aufgrund der Inspektionsergebnisse beurteilt das BfS, ob die hergestellten Abfallgebinde den Endlagerungsbedingungen entsprechen. Bei positiver Beurteilung werden die Abfallgebinde vom BfS gegenüber der DBE zum Abruf (Kap. 3.2.5.2) freigegeben.

Nicht durch Einhaltung der Betriebsbedingungen nachgewiesene Eigenschaften der Abfallgebinde werden vom BfS durch Stichprobenprüfungen kontrolliert.

Bei negativer Beurteilung werden die hergestellten Abfallgebinde nicht zum Abruf freigegeben. Wesentlich fehlerhafte Abfallgebinde sind entweder mit qualifizierten Verfahren nachzukonditionieren oder nachzukonditionieren und der Stichprobenprüfung zu unterwerfen.

3.3.6.3.3 Kontrollmaßnahmen für Abfallbehälter

Die Einhaltung der Anforderungen an die Behälter bzw. Verpackungen der Abfälle wird über die an Abfallgebinden oder bei der Konditionierung durchgeführten Kontrollmaßnahmen hinausgehend durch

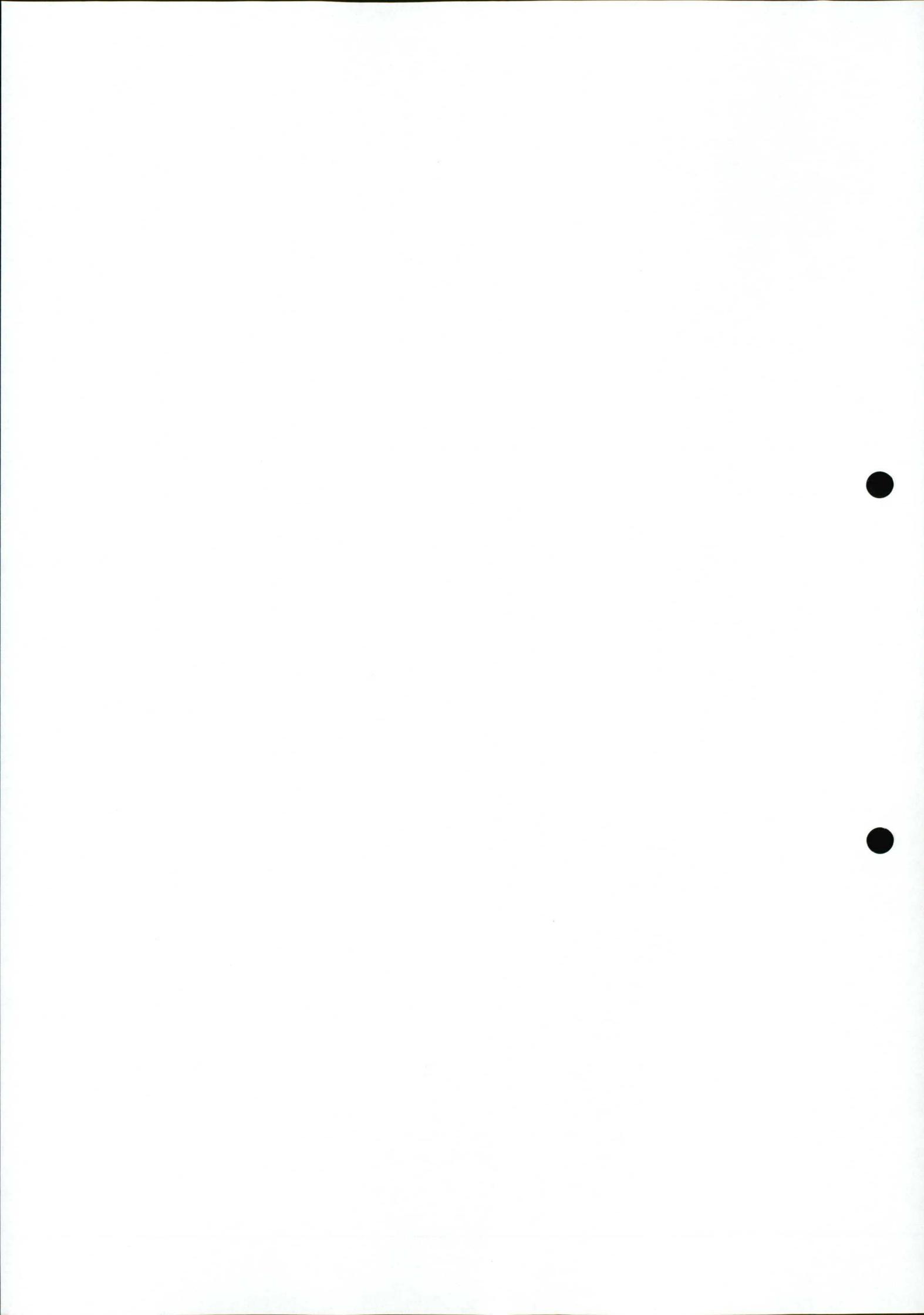
- Bauartprüfungen und
- begleitende Fertigungskontrollen

sichergestellt. Bei der Bauartprüfung wird untersucht, ob ein bestimmter Behältertyp unter Berücksichtigung des Abfallprodukts für dieendlagerung geeignet ist und ob durch die bei der Fertigung und Verwendung der Behälter vorgesehenen qualitätssichernden Maßnahmen die Übereinstimmung der serienmäßig hergestellten Behälter mit dem experimentell bzw. analytisch geprüften Baumuster nachgewiesen wird. Die Durchführung bzw. Überwachung der Baumusterprüfung erfolgt

- bei Verpackungen der Abfallbehälterklasse I, bei Verpackungen für formstabil fixierte Abfälle sowie bei Verpackungen mit einer für den bestimmungsgemäßen Betrieb spezifizierten Dichtheit grundsätzlich durch den Werksachverständigen des Konditionierers, Herstellers oder Ablieferungspflichtigen und
- bei Verpackungen der Abfallbehälterklasse II mit spezifizierter Leckrate durch den Werksachverständigen des Konditionierers, Herstellers oder Ablieferungspflichtigen und zusätzlich durch das BfS oder dessen Beauftragte. Die Prüfungen des BfS oder der von ihm Beauftragten betreffen Bauteile, die die Aktivitätsfreisetzung unter betrieblichen Belastungen und bei den Auslegungsstörfällen begrenzen.

Bei Verpackungen mit spezifizierter Dichtheit behält das BfS sich die Durchführung zusätzlicher Kontrollmaßnahmen vor.

Im Rahmen der Baumusterprüfung werden Stapeldruck-, Hebe- und Dichtheitsprüfungen, Fallversuche und thermische Prüfungen nach Verfahren durchgeführt, die vom BfS anerkannt bzw. freigegeben wurden. Bei der Festlegung der Kontrollmaßnahmen für Abfallbehälter werden die Ergebnisse vergleichbarer Prüf- und Kontrollmaßnahmen, z. B. nach Verkehrsrecht, berücksichtigt. Dies gilt insbesondere für bereits hergestellte bzw. befüllte Behälter, die im Rahmen der Stichprobenprüfung von Abfallgebinden zu kontrollieren sind.



3.3.7 Dokumentation der Abfalldaten

Das Dokumentationssystem für radioaktive Abfälle erfaßt die für die Betriebs- bzw. Nachbetriebsphase des Endlagers relevanten Abfalldaten. Diese Daten fallen bei den Abfallverursachern, -ablieferern, -konditionierern, -transporteuren, am Endlager, beim BfS und bei den von ihm beauftragten Sachverständigen bzw. Werkssachverständigen an und sind untergliedert in

- die für den Abruf und die Einlagerung von Abfallgebinden benötigten Daten (Kap. 3.2.5.2 und 3.2.5.3),
- die zum Nachweis der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen notwendigen Daten und
- die für zusätzliche statistische Auswertungen oder Planungszwecke benötigten Daten.

Im Rahmen der Dokumentation der Abfalldaten werden insbesondere die folgenden Maßnahmen durchgeführt

- Prüfung der Abfalldatenblätter auf Einhaltung der Endlagerungsbedingungen vor dem Abruf der Abfallgebinde,
- Unterstützung beim Abruf und bei der Einlagerung von Abfallgebinden,
- Erfassung der Ergebnisse der Eingangskontrolle,
- nuklidspezifische Bilanzierung der in einem Betriebsjahr oder insgesamt eingelagerten Aktivität unter Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls (Kap. 3.3.4),

- abschnittsweise Bilanzierung der nuklidspezifischen Aktivität von Abfallgebinden, bei denen aufgrund der Wärmebelastung des Wirtsgesteins bzw. Kritikaltätssicherheit nur gemischte Einlagerung zulässig ist,
- Unterstützung der Produktkontrolle durch Bereitstellung und Auswertung von Abfalldaten,
- Dokumentation der Daten der eingelagerten Abfallgebinde und
- Erstellung von Statistiken und Hochrechnungen, beispielsweise für die Einlagerungsplanung.

Die im Rahmen der Produktkontrolle bei den im Auftrag des BfS tätigen Sachverständigen bzw. Institutionen anfallenden Daten (Kap. 3.3.6) werden bei diesen dokumentiert und dem BfS zugeleitet. Die Erfassung, Speicherung und Bearbeitung der o. a. Daten wird soweit möglich durch elektronische Datenverarbeitungsanlagen unterstützt. Wird ein Datenverbund eingeführt, so steht den daran Beteiligten durch definierte Zugriffsberechtigung der für sie jeweils notwendige Teil des Datenmaterials zur Verfügung. Die Daten werden insbesondere gegen unbefugten Zugriff, Überschreiben und Löschen gesichert. Sie werden regelmäßig auf unabhängigen Datenträgern abgespeichert. Nicht von der EDV erfaßte relevante Daten werden archiviert.

Textband

3.4 Bestimmungsgemäßer Betrieb – Radiologische Analyse und Strahlenschutz

3.4 Bestimmungsgemäßer Betrieb – Radiologische Analyse und Strahlenschutz

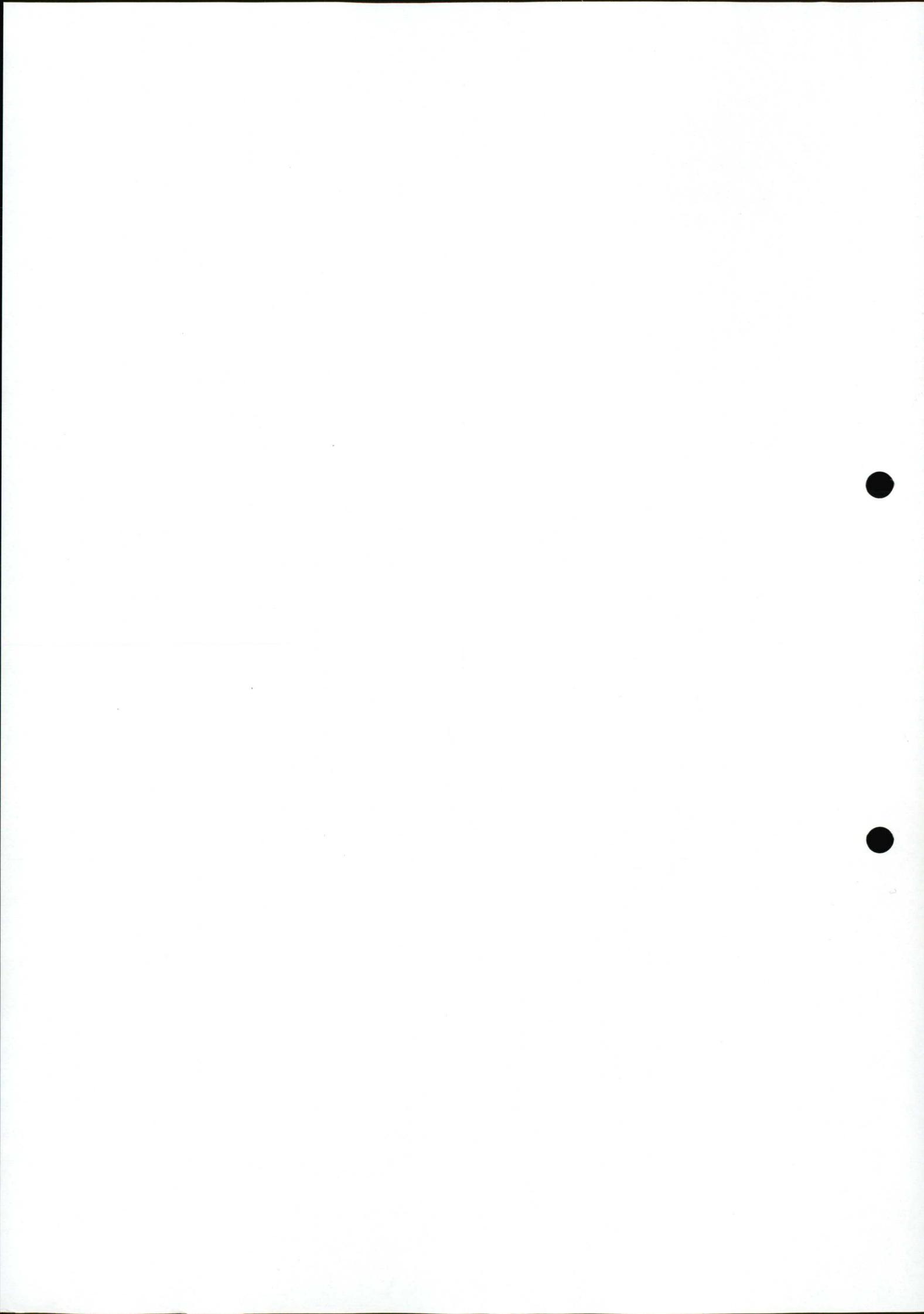
KAPITEL

3.4

BESTIMMUNGSGEMÄßER BETRIEB - RADIOLOGISCHE ANALYSE UND STRAHLENSCHUTZ

UNTERKAPITEL

- 3.4.1 Zusammenfassung
- 3.4.2 Aktivitätsfreisetzung im bestimmungsgemäßen Betrieb
- 3.4.3 Radioaktive Stoffe in den Wettern und in der Luft der Gebäude über Tage
- 3.4.4 Radioaktive Stoffe in flüssiger Form, Aufkommen und Behandlung
- 3.4.5 Radioaktive Stoffe in fester Form, Aufkommen und Behandlung (feste Betriebsabfälle)
- 3.4.6 Abschirmung und Ortsdosisleistung; Strahlenschutz des Personals
- 3.4.7 Abgabe radioaktiver Stoffe und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung
- 3.4.8 Strahlungsüberwachung
- 3.4.9 Literaturverzeichnis



3.4

BESTIMMUNGSGEMÄßer BETRIEB - RADIOLOGISCHE
ANALYSE UND STRAHLENSCHUTZ

3.4.1 Zusammenfassung

Die Ortsdosisleistung jedes Abfallgebinde zum Zeitpunkt der Anlieferung an das Endlager Konrad ist an seiner Oberfläche auf einen Mittelwert von $2 \cdot 10^{-3}$ Sv/h und auf einen lokalen Maximalwert von $1 \cdot 10^{-2}$ Sv/h begrenzt. In 1 m Abstand von der Oberfläche bei zylindrischen Abfallgebinde und in 2 m Abstand bei Containern beträgt die Ortsdosisleistung nicht mehr als $1 \cdot 10^{-4}$ Sv/h.

Die für die Abfallprodukte und Verpackungen definierten Eigenschaften der Abfallgebinde (Kap. 3.3) bestimmen eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen im bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage. Diese Freisetzung, welche die flüchtigen Radionuklide H 3, C 14, I 129 und Radon sowie Feststoffe betreffen, erfolgen zu unterschiedlichen Anteilen aus noch unversetzten und versetzten Bereichen von Einlagerungskammern in die Wetter. Anhand der quantifizierten relativen Freisetzungsraten radioaktiver Stoffe aus Abfallprodukten, der ggf. spezifizierten Dichtigkeit von Verpackungen, der Antragswerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern in die Umgebung und der Anzahl der pro Jahr einlagerbaren Abfallgebinde werden Aktivitätswerte für die Abfallgebinde (Garantiewerte) festlegt.

Der Anteil der in die Abwetter freigesetzten radioaktiven Stoffe, der in die Grubenwässer gelangen kann, sowie die Radioaktivität im Abwasser aus Reinigungs- und Dekontaminationsvorgängen werden abgeschätzt. Es werden Abgabegrenzwerte (Antragswerte) für die kontrollierte Ableitung der Wässer bestimmt.

Während des Betriebes des Endlagers anfallende radioaktive Stoffe, die nicht abgeleitet werden wie Öle oder Feststoffe, werden gesammelt, einer endlagergerechten Konditionierung zugeführt und endgelagert oder in anderer Weise geordnet beseitigt.

Im Endlager werden Strahlenschutzbereiche (Kap. 3.4.6) so eingerichtet, daß die Abfallgebinde bei der Übernahme in den Kontrollbereich gelangen und diesen nicht mehr verlassen. Arbeitsplätze in unmittelbarer Nähe von Abfallgebinden werden, soweit notwendig, abgeschirmt.

Auch unter ungünstigen Annahmen liegen die aus der Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Abfallgebinden sowie aus deren Direktstrahlung herrührenden potentiellen Strahlenexpositionen für das Betriebspersonal und die Bevölkerung in der Umgebung der Anlage deutlich unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung.

Für das im Kontrollbereich tätige Betriebspersonal beträgt die effektive Äquivalentdosis aufgrund externer Strahlung im Mittel weniger als 10 %, durch Inhalation weniger als 1 % des Grenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A gemäß § 49 StrlSchV.

In der Umgebung der Anlage liegt die maximale potentielle Strahlenexposition unter Zugrundelegung der Antragswerte für die Ableitung von freigesetzten radioaktiven Stoffen mit den Abwettern und dem Abwasser zusammen unter 0,15 mSv pro Jahr an effektiver Äquivalentdosis. Die potentielle Strahlenexposition außerhalb der Anlage aufgrund der Strahlenfelder der auf dem Gelände gehandhabten Abfallgebinde liegt deutlich unterhalb des Grenzwertes nach § 44 in Verbindung mit § 45 StrlSchV.

Die in der Grube Konrad natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffe führen zu Strahlenexpositionen des Personals (vgl. Kap. 3.1.8.2) und durch ihre Ableitung mit

Abwettern und Grubenwässern (vgl. Kap. 3.1.8.3) zu Strahlenexpositionen in der Umgebung, die gemäß § 28 Abs. 2 StrlSchV nicht zu den Strahlenexpositionen zählen, für welche die Grenzwerte des § 49 und § 45 Abs. 1 StrlSchV Anwendung finden. Wird dennoch eine gleichwertige Behandlung der "natürlichen" und der "künstlichen" Strahlenexpositionen vorgenommen, so zeigen die durchgeführten Analysen, daß die genannten Grenzwerte insgesamt unterschritten werden.

Hinsichtlich einer möglichen synergistischen (verstärkenden) oder antagonistischen (abschwächenden) Wirkung chemischer Schadstoffe in Verbindung mit der Wirkung radioaktiver Stoffe auf das Betriebspersonal und die Umgebung der Anlage ist festzustellen, daß generell Experimente, Untersuchungen und Prüfungen auf toxikologische Wirkung, Kanzerogenität und Mutagenität von chemischen Substanzen immer in Kombination mit Einwirkung ionisierender Strahlung erfolgen, da die natürliche Strahlenexposition immer und überall vorhanden ist. Es kann deshalb durch eine zusätzliche Strahlenbelastung in der Größenordnung der natürlichen Strahlenexposition keine unvorhergesehene Verstärkung oder Abschwächung der Wirkung auftreten.

Die natürliche Strahlenexposition einschließlich der zivilisatorisch bedingten Erhöhung dieser Exposition durch natürliche Strahlenquellen beträgt in der Bundesrepublik Deutschland im Mittel ca. 2 mSv/a effektive Äquivalentdosis. Der Schwankungsbereich bei einer Summenhäufigkeit von ca. 10 % bis 90 % liegt bei ca. 0,8 mSv/a bis 5,2 mSv/a effektiver Äquivalentdosis /1/. Es kommen auf der Erde gebietsweise jedoch auch wesentlich höhere Strahlenexpositionen vor. Allein die effektive Äquivalentdosis aufgrund äußerer Bestrahlung beträgt in Indien, Kerala bis zu über 10 mSv/a. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß die obigen Überlegungen zum Synergismus bzw. Antagonismus sowohl hin-

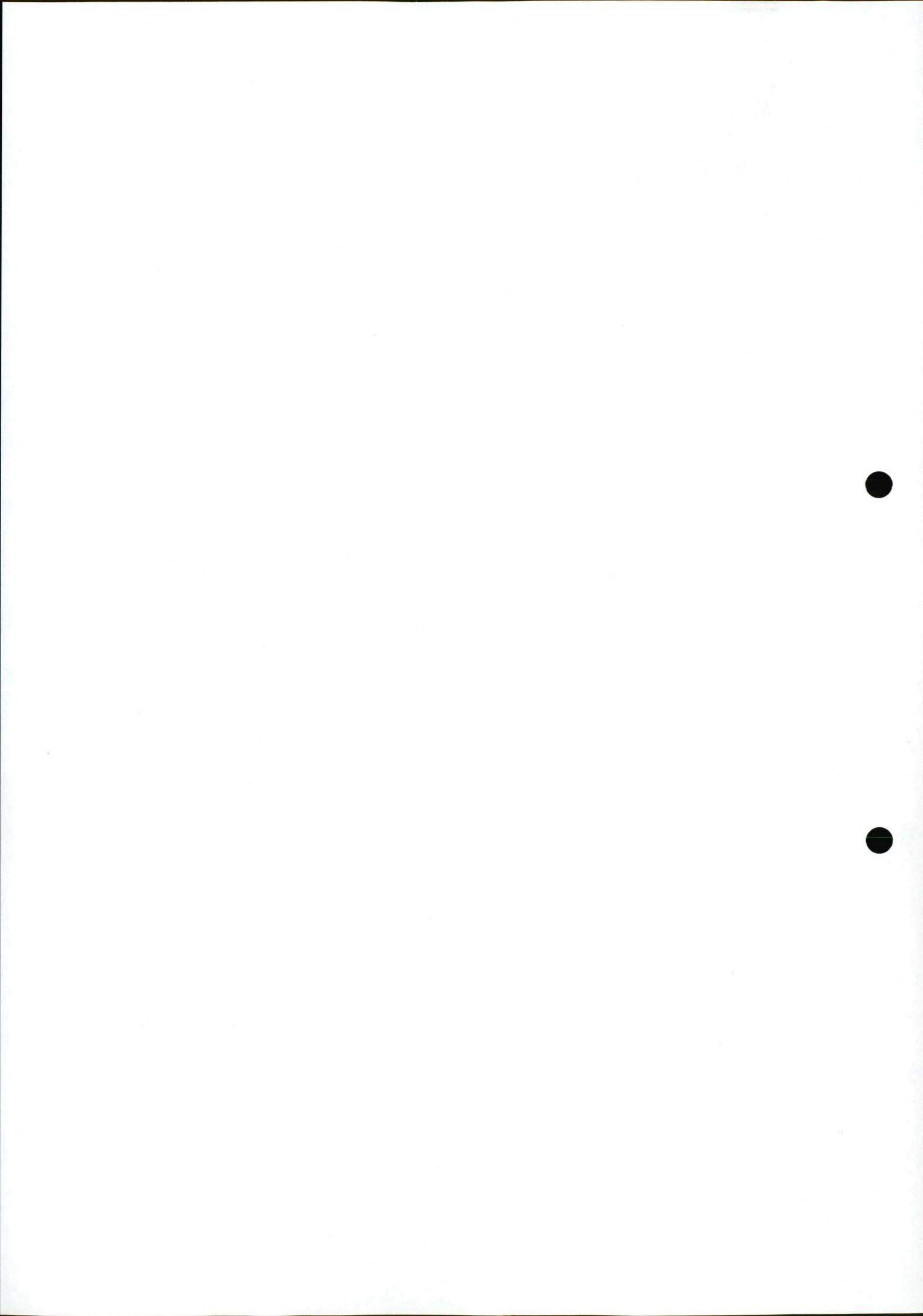
sichtlich der für die Umgebung als auch hinsichtlich der für das Personal ermittelten Strahlenexpositionen gelten.

Durch Strahlenschutzmeßeinrichtungen in der Anlage werden die Personen überwacht. Ferner erfolgt eine Überwachung der Dosisleistung, der Kontamination, der Aktivitätskonzentrationen in Wettern und Wässern sowie der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern und Abwässern im Hinblick auf die Einhaltung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung und der Antragswerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe.

Ein Umgebungsüberwachungsprogramm ergänzt die Überwachung der Ableitungen.

UNTERKAPITEL

- 3.4.2 **Aktivitätsfreisetzung im bestimmungsgemäßen Betrieb**
- 3.4.2.1 Aktivitätsfreisetzung aus den Abfallgebin- den
- 3.4.2.2 Aktivitätsfreisetzung aus Einlagerungs- kammern
- 3.4.2.3 Aktivitätsfreisetzung aus Abfallgebinden während der Handhabung und der Lagerung über Tage
- 3.4.2.4 Aktivitätsgrenzwerte für Radionuklide und Radionuklidgruppen



3.4.2 Aktivitätsfreisetzung im bestimmungsgemäßen Betrieb

3.4.2.1 Aktivitätsfreisetzung aus den Abfallgebinden

Die Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus Abfallgebinden im bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage wird vor allem von der Art des Abfallproduktes, von der Verpackung der radioaktiven Abfälle und von der Art des Radionuklids bestimmt.

Zur Ableitung von Freisetzungsraten für radioaktive Stoffe aus Abfallprodukten wird zwischen der Abfallproduktgruppe "Metallische Feststoffe" und den restlichen fünf Abfallproduktgruppen (Kapitel 3.3.2), die als "Sonstige Abfallproduktgruppen" bezeichnet werden, unterschieden. Für diese Abfallproduktgruppen werden Freisetzungsraten für folgende Radionuklide und Radionuklidgruppen ermittelt:

- Tritium,
- C 14,
- I 129,
- Rn 222 und
- sonstige Alpha- und Beta/Gammastrahler (Feststoffe).

Tritium

Die Freisetzung von Tritium als HTO wird immer dann unterstellt, wenn das Tritium nicht in metallischen Feststoffen vorliegt. Sofern Tritium in den Abfällen nicht als HT und nicht als HTO, sondern unspezifiziert vorliegt, wird aufgrund der Kenntnisse über das derzeit vorhandene Abfallspektrum und unter Berücksichtigung der Tatsache, daß Tritiumverbindungen höherer Flüchtigkeit aufgrund der Konditionierungsverfahren und der Austauschrate mit wasserstoffhaltigen Verbindungen in

den Abfällen ausgeschlossen werden können, davon aus-
gegangen, daß die Flüchtigkeit von HTO eine Obergrenze
für die Tritiumfreisetzung darstellt. Die Freisetzungsr-
ate für HTO wird hierbei aus Erfahrungswerten der
Schachtanlage Asse sowie aus Experimenten abgeleitet.
Darüber hinaus wird die Freisetzung von Tritium als
tritierter Wasserstoff (HT) durch Radiolyse unter
Zugrundelegung experimentell ermittelter Wasserstoffbil-
dungsraten berücksichtigt. Die Freisetzung von Tritium
aus metallischen Feststoffen wird als Diffusion von HT
in Festkörpern beschrieben. Dazu werden experimentelle
Ergebnisse zur Wasserstoffdiffusion in Stahl und zur
HT-Freisetzung aus Zircaloy herangezogen.

C 14

Sofern C 14 in unspezifizierter Form in den Abfällen
vorkommt, wird es als in flüchtiger Form vorliegend
unterstellt. Als Obergrenze der C 14-Freisetzung wird
in diesem Fall die Flüchtigkeit von HTO zugrunde gelegt.
C 14 als Feststoff wird analog den leicht löslichen
Feststoffen (s. u.) behandelt.

I 129

Die Jodfreisetzung wird für unspezifiziertes Jod auf
der Basis von Auslaugexperimenten und Verteilungskoeffizienten
des Systems "elementares Jod/Wasser" konser-
vativ abgeschätzt. Jod auf silberhaltigen Filtermate-
rialien aus der Abgasreinigung in Wiederaufarbeitungs-
anlagen liegt als Feststoff in gebundener Form vor. Zur
Abdeckung möglicher radiolytischer Prozesse wird jedoch
eine gegenüber den Feststoffen erhöhte Freisetzungsr-
ate unterstellt.

Rn 222

Edelgase, die als Spaltprodukte bei Spontanspaltungen (Kr 85) gebildet werden, treten in den Abfällen der Schachtanlage Konrad nicht in radiologisch relevanten Mengen auf.

Die Freisetzung von Edelgasen beschränkt sich daher im wesentlichen auf die Bildung und Freisetzung radioologisch relevanter Radionuklidmengen an Rn 222, welches als kurzlebiges Tochternuklid (Halbwertszeit 3,8 d) bei Vorhandensein von Ra 226 ständig gebildet und freigesetzt wird. Bei der Rn 222-Freisetzung ist zu unterscheiden zwischen der Freisetzung aus Behältern ohne oder mit spezifizierter Dichtigkeit sowie bei Behältern ohne spezifizierte Dichtigkeit zwischen unfixierten oder fixierten Ra 226-haltigen Abfällen. In Tabelle 3.4.2.1/1 sind die für die o. g. Fallunterscheidungen resultierenden jährlichen Freisetzungsanteile für Rn 222, bezogen auf die im Abfall vorhandene Ra-226-Aktivität, angegeben. Die Freisetzungsanteile resultieren aus Experimenten und Rechenmodellen, die unter den jeweils gegebenen Randbedingungen den Radionuklidaufbau und -zerfall, die Radionukliddiffusion und die daraus resultierende Verweilzeit für Radon in den Abfallgebin- den berücksichtigen.

Feststoffe

Als Freisetzungsmechanismus wird ihre Auslaugung und ihre Mitverdampfung mit dem Restwasser der Abfälle oder dem im Zement bzw. Beton enthaltenen Wasser zugrunde gelegt. Für leicht lösliche Feststoffe wird zwischen dem Massenanteil des Wassers bzw. der Restfeuchte im Abfallprodukt $< 1\%$ und $\geq 1\%$ unterschieden.

Die Zuordnung erfolgt dabei aufgrund von Auslaugraten zementierter/betonierter und bituminierter Abfälle in wässrigen Lösungen und anhand von Löslichkeiten der Radionuklide in wässrigen Lösungen, wobei Lanthaniden, Schwermetalle und Aktiniden den schwerlöslichen Feststoffen zugeordnet und alle übrigen Radionuklide als leicht lösliche Feststoffe behandelt werden. Für die Mitverdampfung wird auf experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Feststofffreisetzung aus Lösungen zurückgegriffen.

Die leicht löslichen Feststoffe werden mit Ausnahme von Ra 226 im folgenden vereinfachend mit Beta/Gammastrahlern gleichgesetzt, um eine Zuordnung zu der in Kapitel 3.4.7.1 genannten Radionuklidgruppe der Beta/Gamma-aerosole zu erhalten. Analog werden die schwer löslichen Feststoffe mit den Alphaaerosolen gleichgesetzt. Der Beta/Gammastrahler Pu 241 fällt gemäß der o. g. Unterscheidung ebenfalls unter die schwer löslichen Feststoffe. Für ihn gelten die Aktivitätsgrenzwerte für Alphaaerosole.

Die verwendeten Freisetzungsraten der verschiedenen Abfallproduktgruppen sind in der Tabelle 3.4.2.1/1 angegeben. Diese Werte stellen bezüglich der Freisetzung Abschätzungen der Obergrenzen dar.

Der Einfluß des Behälters auf die Aktivitätsfreisetzung wird nur bei Verpackungen mit quantifizierbarer Dichtigkeit berücksichtigt. Für diese Behälter ergibt sich bei einer Leckrate von 10^{-5} Pa · m^3/s (bezogen auf Standardbedingungen wie bei der Dichtheitsprüfung nach der Vakuummethode) ein jährlicher Durchlässigkeitsanteil von 0,01. Die genannte Leckrate entspricht den Anforderungen der Transportbestimmungen für Verpackungen vom Typ B. Bei nachgewiesener höherer Dichtigkeit der Behälter wird der behälterspezifisch sich ergebende jährliche Durchlässigkeitsanteil verwendet.

Radionuklid/ Radionuklidgruppe	Metallische Feststoffe a^{-1}	Sonstige Abfallproduktgruppen a^{-1}
Tritium		$1 \cdot 10^{-01}$
- unspezifiziert		
- HTO		a) $5 \cdot 10^{-2}$ (HTO) + $1 \cdot 10^{-5}$ (HT)
- HT	$5 \cdot 10^{-4}$	b) $5 \cdot 10^{-2}$ (HTO) + $1 \cdot 10^{-2}$ (HT)
C 14		c) $5 \cdot 10^{-2}$ (HTO) + $5 \cdot 10^{-2}$ (HT)
- unspezifiziert	$1 \cdot 10^{-6}$	
- Anteil in flüchtiger Form $\leq 10\%$		$5 \cdot 10^{-2}$
- Anteil in flüchtiger Form $\leq 1\%$		$5 \cdot 10^{-3}$
I 129		$5 \cdot 10^{-4}$
- unspezifiziert		$1 \cdot 10^{-6}$
- auf silberhaltigen Filtern aus der Abgasreinigung in Wiederaufarbeitungsanlagen		
Rn 222 *)		
- Behälter ohne spezifizierte Dichtigkeit		53
• unfixierte Abfälle		3,3
• fixierte Abfälle		
- Behälter mit spezifizierter Dichtigkeit		1
- unfixierte Abfälle		
Leicht lösliche Feststoffe (Ra 226 und β/γ -Aerosole, außer Pu 241)		d) $5 \cdot 10^{-12}$
Schwer lösliche Feststoffe (α -Aerosole und Pu 241, außer Ra 226)		e) $5 \cdot 10^{-10}$ $5 \cdot 10^{-12}$
Gesamtaktivität im Abfallprodukt ohne Tritiumaktivität:		
a) $< 10^{10}$ Bq, b) $\geq 10^{10}$ Bq, c) $\geq 10^{12}$ Bq;		
Massenanteil des Wassers bzw. der Restfeuchte im Abfallprodukt:		
d) $< 1 \%$, e) $\geq 1 \%$.		
*) Die für Rn 222 hier angegebenen Freisetzungssanteile sind auf die entsprechende Ra 226-Aktivität in den Abfällen bezogen.		

3.4.2.2 Aktivitätsfreisetzung aus Einlagerungskammern

Zur Begrenzung der Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Einlagerungskammern, die mit Abfallgebinden gefüllt sind, erfolgt ein abschnittweises Versetzen der Einlagerungskammern mit Pumpversatz (siehe Kap. 3.2.5.6). Auf diese Weise wird ein möglichst dichter Einschluß der Abfallgebinde und eine Minimierung der durch die Stapelgeometrie bedingten Hohlräume erreicht.

Jede befüllte und versetzte Einlagerungskammer wird mit einem mehrere Meter langen, aus Pumpversatz bestehenden und den gesamten Querschnitt ausfüllenden Kammerabschluß versehen. Dadurch ist der dichte Einschluß der Abfallgebinde insbesondere auch für den vorderen Teil der Einlagerungskammer gegeben. Der Einsatz eines zusätzlichen, quasidichten Kammerabschlußbauwerkes (Kap. 3.2.5.7) soll nur in besonderen Fällen (Kap. 3.4.2.4) vorgesehen werden.

Solange die Abfälle in den Einlagerungskammern unversetzt sind, wird für die aus den Abfallgebinden freigesetzten radioaktiven Stoffe bei ihrem Transport mit den Abwettern zum Diffusor keine Rückhaltung, Verzögerung oder Ablagerung unterstellt. Die freigesetzte Aktivität wird als vollständig luftgetragen angenommen.

Bei dem im Pumpversatz versetzten Abfällen wird die Freisetzung luftgetragener Aktivität aus den Einlagerungskammern bewirkt durch

- Austreiben von Restluft in bewetterte Strecken infolge Gasbildung (z. B. durch Korrosion, Radiolyse),
- Luftdruckschwankungen im Grubengebäude und Temperaturerhöhungen in der Einlagerungskammer,
- Diffusion durch das Versatzmaterial hindurch.

Die Gasbildung durch Korrosion der Abfallbehälter wird entsprechend den chemisch-physikalischen Randbedingungen in den abgeworfenen Einlagerungskammern als Wasserstoffbildung durch anaerobe Korrosion beschrieben. Für die gesamte Gasbildungsrate (Radiolyse sowie innere und äußere Korrosion) wird für die meisten Abfallgebinde ein oberer Wert von im Mittel ca. 1 ml/m³ Abfall und Stunde erwartet. Weitere gasbildende Prozesse liefern gegenüber den beiden zuvor genannten keine wesentlichen Beiträge mehr.

Die Analyse der Freisetzung durch Druckschwankungen zeigt, daß diese wegen der geringen Permeabilität des Versatzes keinen wesentlichen Beitrag liefern.

Die Freisetzung infolge Diffusion durch den Versatz und den Kammerabschluß wird entsprechend den Diffusionsgesetzen beschrieben und trägt ebenfalls vernachlässigbar zur Freisetzung bei.

Die Berücksichtigung der o. g. Antriebsmechanismen ergibt, daß eine Freisetzung radioaktiver Stoffe aus versetzten Einlagerungsbereichen im wesentlichen nur für Tritium als HT und C 14, soweit es nicht als Feststoff vorliegt, erfolgt.

Die Freisetzung von Tritium als HTO aus versetzten Bereichen wird analog zu derjenigen aus unversetzten Abfällen betrachtet. Für unversetzte Abfälle wurde eine Freisetzungsrate von 0,05 a⁻¹ auf der Basis eines Abfallgebinde von der Größe eines 200 l - Fasses abgeleitet. Bei einer vollständigen Einbettung der Abfälle im Pumpversatz ist diese Rate entsprechend dem kleineren Oberflächen/Volumen - Verhältnis des gesamten Versatzkörpers einer Einlagerungskammer zu reduzieren.

Für versetzte Kammerbereiche ergibt sich dadurch ein Reduktionsfaktor von etwa 5 000 gegenüber unversetzten Bereichen.

Berücksichtigt man ferner, daß für HTO ein Retardationsfaktor von 7 000 beim Transport durch feuchte Medien experimentell bestimmt wurde, wird der Beitrag von Tritium als HTO aus versetzten Bereichen für vernachlässigbar gehalten.

Erfahrungswerte der Schachtanlage Asse weisen aus, daß gasförmige C 14-Verbindungen zu ca. 90 % in der chemischen Form Kohlenstoffdioxid vorliegen. Kohlenstoffdioxid besitzt gegenüber vielen anderen flüchtigen Kohlenstoffverbindungen die Eigenschaft einer starken Wasserlöslichkeit in neutralen und alkalischen Wässern. Da das Porenwasser des Versatzes stark alkalisch ist, kann davon ausgegangen werden, daß C 14 in der chemischen Form Kohlenstoffdioxid sich praktisch vollständig im Porenwasser auflöst und nicht zur Freisetzung aus versetzten Einlagerungsbereichen beiträgt. Aufgrund des vorgenannten Sachverhaltes ist es für eine konservative Analyse ausreichend, wenn die Ermittlung der luftgetragenen C 14-Aktivität in versetzten Bereichen der Einlagerungskammern mit um den Faktor 10 reduzierten Freisetzungsraten für C 14 durchgeführt wird.

Die Freisetzung von Rn 222 ist aufgrund der kurzen Halbwertszeit, verglichen mit seiner Wanderungszeit durch den Versatz, vernachlässigbar. Wegen der erheblichen Rückhaltewirkung des Versatzes für Feststoffe ist ihre Freisetzung aus versetzten Bereichen vernachlässigbar. Gleiches gilt für I 129, das als Feststoff zurückgehalten wird oder chemisch bzw. adsorptiv am Versatzmaterial gebunden wird.

3.4.2.3 Aktivitätsfreisetzung aus Abfallgebinden während der Handhabung und der Lagerung über Tage

Die Freisetzung radioaktiver Stoffe, die während der Handhabung und vorübergehenden Lagerung der Abfallgebinde über Tage auftritt, liegt erheblich unter der Freisetzung radioaktiver Stoffe aus eingelagerten Abfallgebinden.

Zum einen betragen die Transportzeiten der Abfallgebinde über Tage weniger als ein Promille ihrer Lagerzeit in unversetzten Einlagerungsbereichen. Folglich ist der Beitrag zur Aktivitätsfreisetzung während der Transportvorgänge gering. Zum anderen werden in der Pufferhalle im Mittel weniger als ein Prozent der in unversetzten Bereichen unterstellten Anzahl von Abfallgebinden gelagert. Somit ist gewährleistet, daß die Aktivitätsableitung aus der Pufferhalle weniger als 1 % der Ableitungen aus unversetzt unterstellten Einlagerungsbereichen beträgt. Damit liegt die Aktivitätsableitung aus Abfallgebinden während der Handhabung und der Lagerung über Tage unterhalb von 1 % der Ableitungen aus allen Einlagerungskammern und somit auch unterhalb von 1 % der gesamten beantragten Aktivitätsableitungen über den Diffusor. Das gilt für in der Pufferhalle lagernde Abfallgebinde mit Aktivitätswerten unterhalb der Garantiewerte (Kap. 3.4.2.4). Bei Abfallgebinden mit Aktivitätsinhalten oberhalb der Garantiewerte wird durch eine entsprechende Begrenzung der Pufferzeit gewährleistet, daß die o. g. Bedingung eingehalten wird.

Für die potentielle Strahlenexposition in der Umgebung bedeutet dies, daß der Beitrag aus der Aktivitätsableitung über den Kamin und damit aus der Aktivitätsfreisetzung aus Abfallgebinden während Handhabung und Lagerung über Tage vernachlässigbar ist. Diese Aussage gilt trotz der aufgrund der geringeren Kaminhöhe etwas un-

günstigeren atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen verglichen mit den Ausbreitungsbedingungen für die Ableitungen über den Diffusor.

Die Freisetzung von nicht festhaftender Oberflächenkontamination von Abfallgebinden wird anhand von Grenzwerten ihrer Oberflächenkontamination (Kapitel 3.3.5) abgeschätzt. Der Anteil dieser Freisetzung beträgt jeweils weniger als ein Promille der Grenzwerte für die Ableitung von Beta/Gamma- und Alphastrahlern mit den Abwettern. Die hieraus resultierende potentielle Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage ist vernachlässigbar.

3.4.2.4 Aktivitätsgrenzwerte für Radionuklide und Radionuklidgruppen

Um sicherzustellen, daß die Antragswerte für die Aktivitätsableitung mit den Abwettern (Kap. 3.4.7.1) eingehalten werden und die durch Inhalation verursachte jährliche effektive Äquivalentdosis des im Kontrollbereich tätigen Personals auf ca. ein Hundertstel des Jahresgrenzwertes gemäß § 49 StrlSchV für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A (0,5 mSv/a) beschränkt bleibt (Kap. 3.2.3.2), muß die Aktivität der einlagerbaren Abfallgebinde unter Berücksichtigung der Freisetzungsrationen aus Abfallgebinden (Kap. 3.4.2.1) und der Rückhaltewirkung des Versatzes und des Kammerabschlusses (Kap. 3.4.2.2) begrenzt werden.

Dazu wird die Freisetzung aus den Einlagerungskammern im letzten Betriebsjahr, als dem Jahr mit maximaler Aktivitätsableitung mit den Abwettern, ermittelt und mit den Antragswerten für die Aktivitätsableitung vergli-

chen. Die Ableitung erfolgt, auf der Basis des folgenden Modellszenarios:

- Einlagerungskammern haben eine mittlere Länge von jeweils 500 m entsprechend einem Volumen von jeweils 20 000 m³.
- Über die gesamte Betriebszeit der Anlage (40 Jahre) wird eine Befüllung von 52 Einlagerungskammern mit einer Gesamtlänge von 26 km unterstellt, von denen jeweils etwa 400 m noch nicht versetzt sind.
- Das Versatzmaterial gewährleistet eine Rückhaltung von Jod und Aerosolen sowie eine Verzögerung von Radon, so daß die freigesetzte Aktivität dieser Radionuklide aus den abgeworfenen Einlagerungskammern vernachlässigbar ist.

Der o. g. Vergleich führt bei Einhaltung der Antragswerte für die Aktivitätsableitung und der Richtwerte für die Inhalationsdosis des Personals zu den in Tabelle 3.4.2.4/1 aufgeführten Aktivitätswerten pro Abfallgebinde bei einer Einlagerung von 10 000 Abfallgebinden pro Jahr. Soll planungsgemäß ein Anteil der Antragswerte von der Aktivitätsfreisetzung aus Abfallgebinden in Einlagerungskammern, die mit einem zusätzlichen, quasidichten Kammerabschlußbauwerk verschlossen werden, ausgeschöpft werden, so wird die Anzahl der jährlich ohne dieses Bauwerk einlagerbaren Abfallgebinde von 10 000 um diesen Anteil reduziert.

Die Aktivitätswerte in Tabelle 3.4.2.4/1 sind als Garantiewerte zu verstehen, d. h. bei Einhaltung dieser Werte pro Abfallgebinde werden an die Annahme derartiger Abfälle aus der Sicht des bestimmungsgemäßen Betriebes keine weiteren Bedingungen geknüpft.

In besonderen Fällen, z. B.

- bei stärkerem Anfall von höher C 14 - haltigen Abfällen,
- beim Auftreten von Abfällen, die Tritium als HTO in höherer Konzentration als $1,1 \cdot 10^{13}$ Bq/m³ enthalten, oder
- bei häufigerem Anfall von Abfällen, die höhere Aktivitäten von Tritium in unspezifizierter Form enthalten,

kann es sinnvoll sein, Einlagerungskammern mit einem zusätzlichen, quasidichten Kammerabschlußbauwerk zu versehen. Die Vorgehensweise zur Ableitung von Aktivitätswerten pro Abfallgebinde ist im Prinzip die gleiche wie bei der Ableitung der Garantiewerte. Das dabei angewendete Modellszenarium berücksichtigt allerdings - abweichend vom Modellszenarium für die Ableitung der Garantiewerte - folgende Besonderheiten:

- geringere Anzahl von Abfallgebinden und damit von Einlagerungskammern,
- Abschluß der Kammern mit zusätzlichen quasidichten Kammerabschlußbauwerken,
- geringere Gasbildungsraten,
- Ausschöpfung nur eines Anteils der Antragswerte für die Aktivitätsableitung durch die Freisetzung aus diesen Kammern.

Die Garantiewerte in Tabelle 3.4.2.4/1 und die Aktivitätswerte für Abfallgebinde in Einlagerungskammern, die mit einem zusätzlichen, quasidichten Kammerabschlußbauwerk verschlossen sind, für die einzelnen Radionuklide und Radionuklidgruppen können für eine gegebene Verpackung und eine gegebene Abfallproduktgruppe gleichzeitig ausgeschöpft werden. Dabei ist zu beachten, daß bei gleichzeitigem Vorliegen eines Radionuklides in mehreren Spezifikationen in einem Abfallgebinde entweder der dann restriktivste Aktivitätswert zugrunde gelegt wird

oder die Aktivitätswerte anteilig entsprechend den Aktivitätsanteilen im Abfallgebinde berücksichtigt werden.

Die in das Endlager Konrad eingelagerten Aktivitäten werden nuklidweise bilanziert. Dazu wird jeweils ein Meldewerte, das 10^{-2} fache der in Tabelle 3.4.2.4/1 genannten Garantiewerte, eingeführt, oberhalb dessen eine Angabe der Aktivität des entsprechenden Radionuklids bzw. der Radionuklidgruppe erforderlich ist. In den Fällen, in denen Werte der Aktivität unterhalb oder oberhalb der Meldewerte angegeben sind, werden diese Werte bei der Bilanzierung zugrundegelegt. Sind dagegen für Radionuklide oder Radionuklidgruppen keine Werte für die Aktivität in den Abfallgebinden angegeben, wird der entsprechende Meldewert bei der Bilanzierung zugrunde gelegt.

Zeigt die Bilanzierung für ein bestimmtes Radionuklid oder eine bestimmte Radionuklidgruppe für ein laufendes Betriebsjahr, daß die Werte der pro Jahr in das Endlager Konrad einlagerbaren Aktivität nicht ausgeschöpft werden, können auch Abfallgebinden eingelagert werden, die Aktivitätswerte pro Abfallgebinde überschreiten.

Die spätere Praxis der Einlagerung wird nicht in allen Details dem oben beschriebenen Modellszenario zur Ableitung der Garantiewerte folgen. Daher werden während des Betriebes des Endlagers unter Berücksichtigung der tatsächlichen Randbedingungen wie Anzahl und Länge der Einlagerungskammern, Betriebsdauer, eingelagertes Aktivitätsinventar, Dichtigkeit der zusätzlichen, quasidichten Kammerabschlußbauwerke usw. für den praktischen Einlagerungsbetrieb in bestimmten Zeitabschnitten die Werte der einlagerbaren Aktivität neu ermittelt.

Die Einhaltung der Antragswerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern (Kap. 3.4.7) und der Richtwerte für die Inhalationsdosis des Personals wird dabei gewährleistet.

Radionuklid/ Radionuklid- gruppe	Verpackungen mit einer spezifizierten Dichtigkeit							
	Verpackungen ohne spezifizierte Dichtigkeit		Jährlicher Durchlässigkeitsfaktor					
			≤ 0,01		≤ 0,001		≤ 0,0001	
	Metal- lische Fest- stoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen	Metal- lische Fest- stoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen	Metal- lische Fest- stoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen	Metal- lische Fest- stoffe	Sonstige Abfall- produkt- gruppen
Tritium								
- unspezifiziert		$3,0 \cdot 10^9$		$3,3 \cdot 10^9$		$3,3 \cdot 10^9$		$3,3 \cdot 10^9$
- als HTO		a) $7,4 \cdot 10^{10}$ b) $4,2 \cdot 10^{10}$ c) $3,0 \cdot 10^9$		a) $4,2 \cdot 10^{12}$ b) $9,4 \cdot 10^{10}$ c) $3,3 \cdot 10^9$		a) $8,4 \cdot 10^{12}$ b) $9,5 \cdot 10^{10}$ c) $3,3 \cdot 10^9$		a) $9,3 \cdot 10^{12}$ b) $9,5 \cdot 10^{10}$ c) $3,3 \cdot 10^9$
- als HT	$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{11}$	
C 14								
- unspezifiziert oder in flüch- tiger Form	$8,4 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^8$
- Anteil in flüch- tiger Form $\leq 10\%$		$1,8 \cdot 10^9$		$2,0 \cdot 10^9$		$2,0 \cdot 10^9$		$2,0 \cdot 10^9$
- Anteil in flüch- tiger Form $\leq 1\%$		$1,8 \cdot 10^{10}$		$2,0 \cdot 10^{10}$		$2,0 \cdot 10^{10}$		$2,0 \cdot 10^{10}$
I 129								
- unspezifiziert		$1,9 \cdot 10^7$		$1,9 \cdot 10^9$		$1,9 \cdot 10^{10}$		$1,9 \cdot 10^{11}$
- auf silberhalti- gen Filtern aus der Abgasreini- gung in Wieder- aufarbeitungs- anlagen		$1,9 \cdot 10^9$		$1,9 \cdot 10^{11}$		$1,9 \cdot 10^{12}$		$1,9 \cdot 10^{13}$
Ra 226								
- unfixiert		$9,0 \cdot 10^6$		$4,8 \cdot 10^{10}$		$4,8 \cdot 10^{11}$		$4,8 \cdot 10^{12}$
- fixiert		$1,4 \cdot 10^8$		$4,8 \cdot 10^{10}$		$4,8 \cdot 10^{11}$		$4,8 \cdot 10^{12}$
sonstige β/γ -Strahler außer Pu 241		d) $3,7 \cdot 10^{15}$ e) $3,7 \cdot 10^{13}$		d) $3,7 \cdot 10^{17}$ e) $3,7 \cdot 10^{15}$		d) $3,7 \cdot 10^{17}$ e) $3,7 \cdot 10^{15}$		d) $3,7 \cdot 10^{17}$ e) $3,7 \cdot 10^{15}$
sonstige α -Strahler sowie Pu 241		$1,9 \cdot 10^{14}$		$1,9 \cdot 10^{16}$		$1,9 \cdot 10^{16}$		$1,9 \cdot 10^{16}$

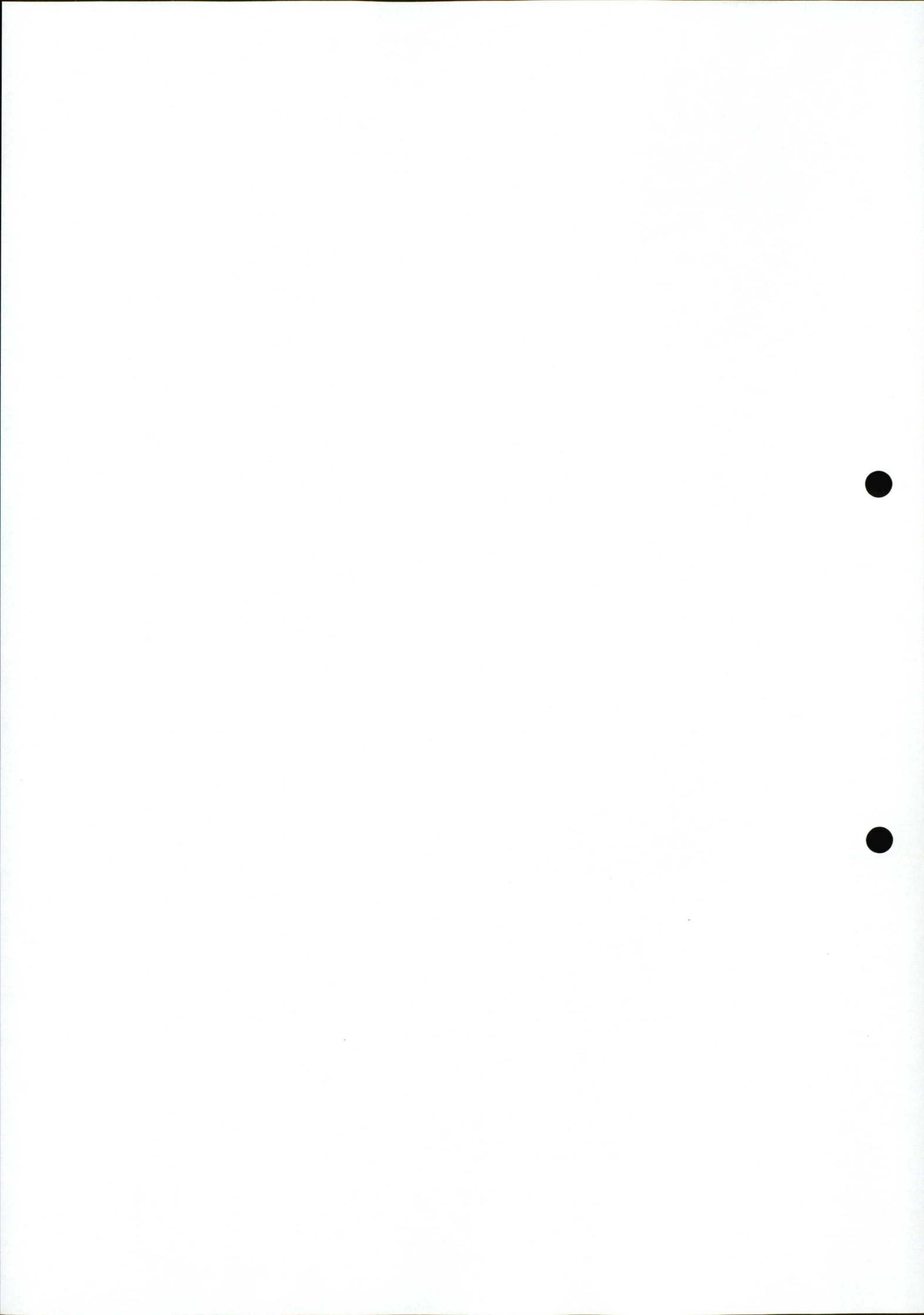
*Tritiumkonzentration (als HTO) im Wasser bzw. in der Restfeuchte des Abfallproduktes $\leq 1,1 \cdot 10^{13} \text{ Bq/m}^3$

Gesamtaktivität im Abfallprodukt ohne Tritiumaktivität: a) $< 10^{10} \text{ Bq}$, b) $< 10^{10} \text{ Bq}$ bis $< 10^{12} \text{ Bq}$, c) $\geq 10^{12} \text{ Bq}$

Massenanteil des Wasser bzw. der Restfeuchte im Abfallprodukt: d) $< 1\%$, e) $\geq 1\%$

3.4.3 Radioaktive Stoffe in den Wettern und in der Luft der Gebäude über Tage

Die in Kapitel 3.4.2.4 angegebenen Aktivitätsgrenzwerte für Radionuklide und Radionuklidgruppen sind bei Einhaltung der Grenzwerte für die Aktivitätsableitung mit den Abwettern und des Planungsrichtwertes für die Inhalationsdosis des Personals (1 % des Dosisgrenzwertes für die effektive Äquivalentdosis beruflich strahlenexponierter Personen der Kategorie A gemäß § 49 StrlSchV) gegeben. Dabei wird für das Personal unter Tage, das sich in Abwettern aus Einlagerungskammern aufhält, durch Begrenzung der Aufenthaltszeit in diesen Abwettern gewährleistet, daß die potentielle Strahlenexposition durch Inhalation stets unterhalb des Planungsrichtwertes für die Inhalationsdosis des Personals liegt.



3.4.4 Radioaktive Stoffe in flüssiger Form, Aufkommen und Behandlung

Folgende möglicherweise kontaminierte Flüssigkeiten fallen an:

- Wasser,
- Öle und Lösungsmittel sowie
- sonstige Flüssigkeiten (z. B. Szintillatorflüssigkeiten).

Da im Endlager Konrad keine Prozeßlösungen oder Wasserkreisläufe wie in Wiederaufarbeitungsanlagen oder Kernkraftwerken vorhanden sind, ist der Anfall an kontaminiertem Wasser gering. Es stammt aus Dekontaminationsmaßnahmen sowie aus Reinigungs- und Laborarbeiten. Daneben sind Grubenwässer zu betrachten, die jedoch getrennt vom anderen Wasser behandelt werden. Löschwasser aus dem übertägigen Kontrollbereich wird gesammelt und kontrolliert abgeleitet oder abgegeben. Öle und Lösungsmittel stammen aus Wartungs- und Reinigungsarbeiten. Szintillatorflüssigkeiten fallen bei Laborarbeiten an.

Diese aufgrund der Handhabung und Einlagerung radioaktiver Abfälle möglicherweise kontaminierten Flüssigkeiten werden gesammelt und bei Freigabe nach einer Kontrollmessung abgeleitet. Die Kriterien für eine Freigabe zur chargenweisen Ableitung des Wassers und der Grubenwässer basieren auf den Antragswerten für die abzuleitende Aktivität (Kap. 3.4.7.2). Im Falle der Öle und Lösungsmittel werden Grenzwerte für die spezifische Aktivität entsprechend § 4 Abs. 4 Satz 1 Nr. 2e StrlSchV verwendet. Ergibt die Kontrollmessung eine Überschreitung der jeweiligen Grenzwerte, so werden die kontaminierten Flüssigkeiten zum Zwecke der Endlagerung konditioniert.

Hierzu werden entsprechende Vorkehrungen getroffen. Anfall, Ableitung und Abgabe werden dokumentiert.

Aufkommen

Wasser

Bei dem im Kontrollbereich anfallenden möglicherweise kontaminierten Wasser handelt es sich um Wasch- und Duschwasser, Wasser aus dem Labor sowie um Wasser, das bei Dekontaminationsmaßnahmen und Reinigungsvorgängen anfällt. Aufgrund der bei kerntechnischen Anlagen vorliegenden Erfahrungen werden für vergleichbare Vorgänge im Endlager einige Kubikmeter Wasser pro Tag erwartet. Da das Wasser nicht regelmäßig anfällt, beträgt die jährliche Menge nur wenige 100 Kubikmeter. Die mit diesem Wasser abzuleitende Aktivität beträgt weniger als ca. $3,7 \cdot 10^8$ Bq/a. Zusätzlich fallen in der Wäscherei im Kontrollbereich geringe Mengen Destillatwasser an. Die damit abzugebende Aktivität wird auf weniger als $7,4 \cdot 10^8$ Bq/a angesetzt.

Grubenwässer

Die im Grubengebäude anfallenden und zu hebenden Wässer setzen sich bei wechselnden Mengenanteilen im wesentlichen wie folgt zusammen:

- Formationswässer,
- Wasser aus der Fahrbahnpflege,
- Sprühwasser aus der Staubbekämpfung,
- Restwasser aus dem Spülversatz sowie
- Kondenswasser aus den Abwettern.

Es werden im Mittel ca. 20 l/min entsprechend ca. $28 \text{ m}^3/\text{d}$ oder maximal 10 000 m^3/a zu entsorgende Grubenwässer erwartet.

Entsprechend den Ausführungen in Kap. 3.4.7.2 wird in den abzuleitenden Grubenwässern eine aus den Abfallge-

binden herrührende jährliche Aktivität ohne Tritium von weniger als $4,7 \cdot 10^7$ Bq und eine jährliche Tritiumaktivität von weniger als $4,5 \cdot 10^{12}$ Bq erwartet. Die Antragswerte für die jährlich mit den Grubenwässern maximal ableitbaren Aktivitäten betragen nach Kap. 3.4.7.2 für das Nuklidgemisch ohne Tritium $3,7 \cdot 10^8$ Bq und für Tritium $7,4 \cdot 10^{12}$ Bq. Die jährlich abzuleitende natürliche Radioaktivität wird entsprechend den Ausführungen in Kap. 3.1.8 ca. $1,3 \cdot 10^9$ Bq betragen.

Öle und Lösungsmittel

Bei der Fahrzeug- und Transportmittelwartung können kontaminierte Öle und Lösungsmittel anfallen. Die abzugebende Aktivität beträgt weniger als $3,7 \cdot 10^7$ Bq/a.

Sonstige Flüssigkeiten

Aus dem Laborbereich werden geringe Mengen Szintillatormittelflüssigkeiten erwartet.

Behandlung

Wasser

Das in der Werkstatt 1, in den Bereichen Personendekontamination und Sonderbehandlung sowie im Labor anfallende möglicherweise kontaminierte Wasser wird unmittelbar durch Rohrleitungen in die im Kellergeschoß der Umladeanlage (Kap. 3.2.4.1) befindliche Abwassersammelanlage geleitet. Abwasser aus übertägigen Reinigungsvorgängen wird in Kunststoffkanistern aufgefangen, die in Wannen auslaufgeschützt aufgestellt sind. Gefüllte Kanister werden zu der Abwassersammelanlage transportiert. Das unter Tage speziell in den Werkstätten und an den Wartungsplätzen im wesentlichen bei der Fahrzeureinigung anfallende Wasser wird ebenfalls aufgefangen und in die Abwassersammelanlage gebracht.

Vor einer Abgabe oder Ableitung des in der Abwassersammelanlage befindlichen Wassers wird an einer repräsentativen Probe eine Aktivitätsbestimmung vorgenommen. Die Aktivität der über die Kläranlage und das betriebseigene Pufferbecken in den Vorfluter Aue abzuleitenden Dekont- und Reinigungswässer wird bilanziert. Innerhalb eines Ableitungszeitraumes von zwei Wochen darf die Aktivität des abgeleiteten Wassers die dafür festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Abwassercargen, die zu einer Überschreitung führen würden, werden mit Tankfahrzeugen an eine externe Behandlungsanlage abgegeben oder es wird eine Konditionierung mit Hilfe einer mobilen Anlage am Endlagerstandort vorgenommen. Das in der Wäscherei im Kontrollbereich anfallende Destillatwasser wird ebenfalls entweder an eine externe Behandlungsanlage abgegeben oder am Endlagerstandort konditioniert.

Grubenwässer

Die Grubenwässer werden in Sammelbecken am Schacht Konrad 1 auf der 1200-m-Sohle und an Schacht Konrad 2 auf der 1000-m-Sohle gesammelt. Die am Schacht Konrad 1 gesammelten Wässer werden zum Schacht Konrad 2 gepumpt und von dort aus mit den am Schacht Konrad 2 gesammelten Grubenwässern nach über Tage in die Grubenwässer-Übergabestation gefördert. Diese Einrichtung ist so dimensioniert, daß die innerhalb von fünf Tagen zu entsorgende Menge an Grubenwässern (ca. 150 m³) gesammelt werden kann. Vor einer Ableitung oder Abgabe der Grubenwässer wird an einer repräsentativen Probe eine Aktivitätsbestimmung vorgenommen. Die Aktivität der über das betriebseigene Pufferbecken in den Vorfluter Aue abzuleitenden Grubenwässer wird bilanziert. Innerhalb eines Ableitungszeitraumes von zwei Wochen darf die Aktivität der abgeleiteten Grubenwässer die dafür festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Grubenwasserchargen, die

zu einer Überschreitung führen würden, werden an eine externe Behandlungsanlage abgegeben oder es wird eine Konditionierung mit Hilfe einer mobilen Anlage am Endlagerstandort vorgenommen.

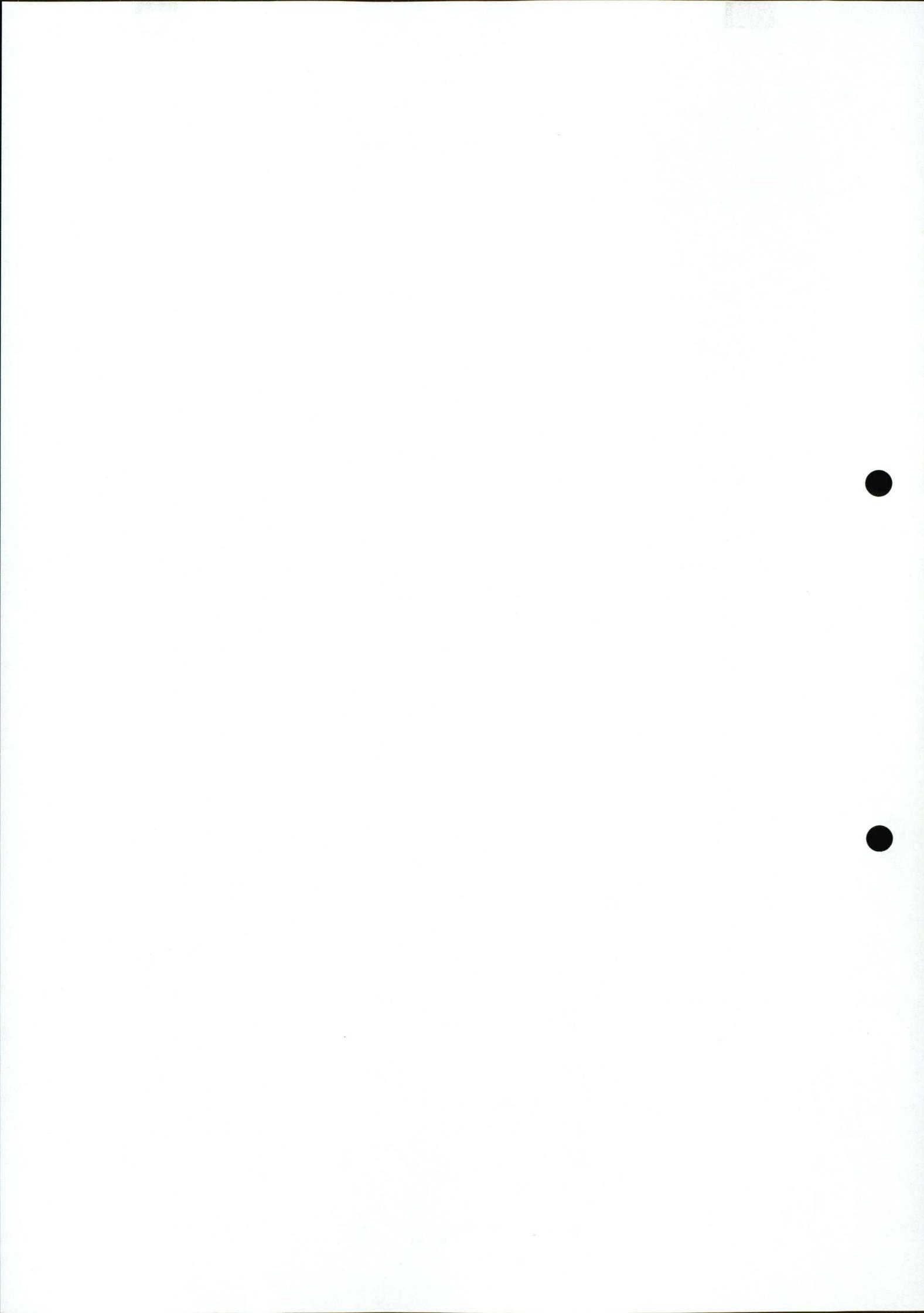
Öle und Lösungsmittel

Möglicherweise kontaminierte Öle werden vor Ort in Stahlfässer, Lösungsmittel in Kleinbehälter gefüllt, die den Spezifikationen externer Verbrennungsanlagen entsprechen und transportfähig sind. Die so dezentral gesammelten nichtwässrigen Flüssigkeiten werden der Abfallsammelanlage im Kellergeschoß der Umladeanlage zugeführt.

An diesen Ölen und Lösungsmitteln erfolgt im Anschluß an den Transport zur Abfallsammelanlage eine Freigabemessung. Liegt die spezifische Aktivität unterhalb des 10^{-4} -fachen der Freigrenze pro Gramm entsprechend § 4 Abs. 4 Satz 1 Nr. 2e StrlSchV, werden sie konventionell weiterbehandelt. Werden bei der Freigabemessung spezifische Aktivitäten oberhalb der Grenzwerte festgestellt, so werden diese Gebinde extern entsorgt.

Sonstige Flüssigkeiten

Szintillatorflüssigkeiten müssen einer Verbrennung zugeführt werden. Daher werden diese bereits im Labor in geeignete Kleinbehälter gefüllt.



3.4.5 Radioaktive Stoffe in fester Form, Aufkommen und Behandlung (feste Betriebsabfälle)

Möglicherweise kontaminierte feste Betriebsabfälle sind wegen der Konditionierung des Einlagerungsgutes nur in geringem Umfang zu erwarten. Aufgrund der Vielfalt der betrieblich anfallenden Abfallstoffe und -formen ist jedoch eine Freimessung in manchen Fällen mit vertretbarem Aufwand nicht durchführbar. Deshalb werden geeignete Vorsorgemaßnahmen für die Sammlung und Behandlung fester, möglicherweise kontaminierte Betriebsabfälle aus dem Kontrollbereich über und unter Tage getroffen.

Folgende feste Betriebsabfälle können anfallen:

- Mischabfälle,
- metallischer Schrott sowie
- Filter aus lüftungstechnischen Anlagen.

Aufkommen

Mischabfälle

Möglicherweise kontaminierte Mischabfälle fallen im wesentlichen im Kontrollbereich über und unter Tage bei den Dekontaminations- und Säuberungsmaßnahmen und als betriebliche Abfallstoffe in den Werkstätten an. Es handelt sich bei den Mischabfällen u. a. um Plastikfolien, Putzlapfen, Wischtestmaterial und ausgesonderte Kleidung, deren potentieller Kontaminationsgrad sehr klein, deren Freimessung jedoch aus meßtechnischen Gründen nicht praktikabel ist. Als jährliches Aufkommen derartiger Abfälle wird in Anlehnung an Erfahrungen entsprechender Betriebsbereiche kerntechnischer Anlagen ein Rohabfallvolumen von einigen Kubikmetern erwartet.

Metallischer Schrott

Möglicherweise kontaminierte metallische Schrottteile fallen ebenfalls zum größten Teil in den Kontrollbereichswerkstätten an, z. B. metallische Verschleißteile von Maschinen. Im Hinblick auf den Kontaminationsgrad und die Möglichkeit der Freimeßung gelten sinngemäß die Aussagen zu den Mischabfällen. Das durchschnittliche Jahresaufkommen liegt bei einigen Tonnen.

Filter aus lüftungstechnischen Anlagen

Die Filtereinsätze der übertägigen Lüftungsanlagen bestehen i. a. aus Glasfaservlies; das jährliche Rohabfallvolumen beträgt einige Kubikmeter.

BehandlungMischabfälle

Die im Kontrollbereich über und unter Tage anfallenden, möglicherweise kontaminierten Mischabfälle werden dezentral an Abfallsammelnebenstellen in mit Plastiksäcken ausgekleideten Fässern oder in Plastiksäcken gesammelt. Von den untertägigen Abfallsammelnebenstellen erfolgt der Transport zur zentralen Abfallsammelstelle unter Tage im Bereich der Kontrollbereichswerkstatt und von dort zur zentralen Abfallsammelstelle über Tage, in der auch die Abfälle aus den Abfallsammelnebenstellen der Tagesanlagen gesammelt werden.

Metallischer Schrott

Für die dezentrale Sammlung, den Transport zur untertägigen und übertägigen zentralen Abfallsammelstelle und die vorübergehende Lagerung der Abfälle gelten sinngemäß die Aussagen für die Mischabfallbehandlung.

Filter aus lüftungstechnischen Anlagen

Die nichtbrennbaren Filtereinsätze werden in den Abfallsammelstellen bis zu ihrer Konditionierung in Fässern gelagert.

Für die Konditionierung der festen radioaktiven Betriebsabfälle des Endlagers Konrad sind zwei Möglichkeiten vorgesehen, für die entsprechende Regelungen getroffen werden (Kap. 3.2.4.7) :

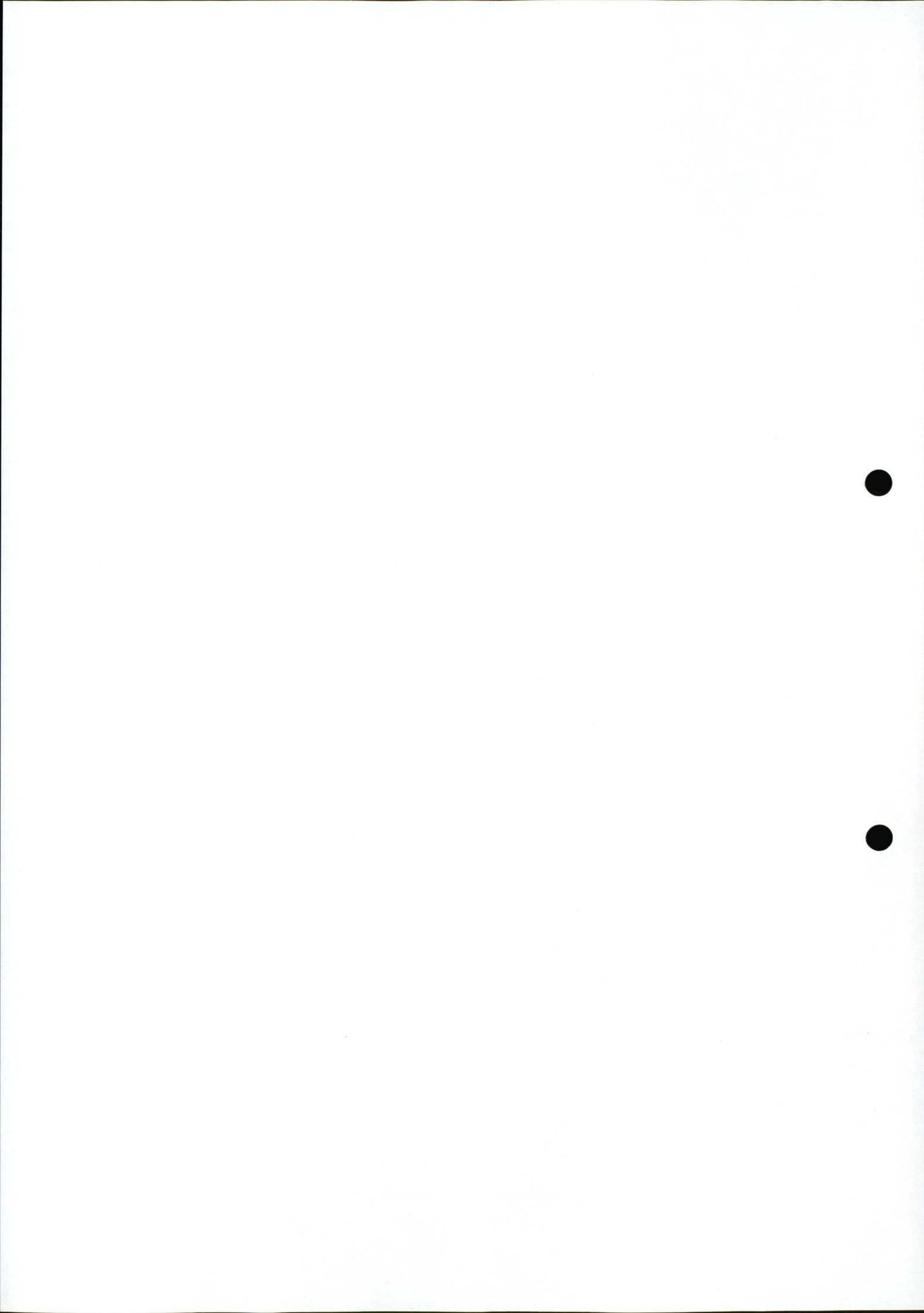
1. Abgabe zur externen Konditionierung durch Dritte.
2. Konditionierung am Endlagerstandort.

Die konditionierten radioaktiven Betriebsabfälle werden entsprechend den Endlagerungsbedingungen endgelagert.



UNTERKAPITEL

- 3.4.6 Abschirmung und Ortsdosisleistung; Strahlenschutz des Personals
- 3.4.6.1 Allgemeine Charakterisierung der Strahlenfelder von Abfallgebinden
- 3.4.6.2 Beschreibung der Vorsorgemaßnahmen für den Strahlenschutz des Betriebspersonals über und unter Tage
- 3.4.6.3 Abschätzung und Bewertung der Strahlenexposition des Personals
- 3.4.6.4 Einteilung desendlagers in Strahlenschutzbereiche



3.4.6 Abschirmung und Ortsdosisleistung; Strahlenschutz des Personals

Der Strahlenschutz des Betriebspersonals unterliegt dem Grundsatz, jede Strahlenexposition auch unterhalb der festgelegten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten. Zum Schutz des Personals ist die Ortsdosisleistung von Abfallgebinden begrenzt.

Neben der Direktstrahlung aus den Abfallgebinden ist unter Tage in Transportstrecken und Einlagerungskammern auch der Anteil der Streustrahlung an der Gesamtdosisleistung zu berücksichtigen. Vor der Wand der gestapelten Abfallgebinde in einer Einlagerungskammer zeigt die Dosisleistung zudem eine starke Abhängigkeit von der Winkelflußcharakteristik der Gammastrahlung an der Gebindeoberfläche. Es werden Vorsorgemaßnahmen für den Strahlenschutz des Personals beschrieben und für das unmittelbar mit der Einlagerung beschäftigte Personal beispielhaft für einige Arbeitsplätze die Individualdosen angegeben. Die durch äußere Strahlenexposition verursachte mittlere effektive Äquivalentdosis aller im Kontrollbereich tätigen Personen liegt deutlich unter dem Planungsrichtwert von $5 \cdot 10^{-3}$ Sv/a.

Aufgrund der Strahlung sowie einer möglichen Kontamination bzw. Freisetzung von Radionukliden aus Abfallgebinden ist eine Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche erforderlich. Hierbei werden die Anforderungen sowohl des Strahlenschutzes als auch des Betriebes berücksichtigt, indem das Auffahren von Einlagerungskammern räumlich und wettertechnisch vom Einlagerungs- und Versatzbetrieb getrennt wird. Zum Kontrollbereich erklärt werden die dem Einlagerungsbetrieb zugeordneten Tagesanlagen und Grubenbaue einschließlich der ihnen wettermäßig nachgeschalteten Bereiche.

3.4.6.1 Allgemeine Charakterisierung der Strahlenfelder von Abfallgebinden

In Kapitel 3.3 sind die Anforderungen an die einzulagernden Abfälle hinsichtlich Aktivitätsinventar, Konditionierung und Verpackung beschrieben. Die sich daraus ergebende Dosisleistung an den Abfallgebinden stellt neben der Freisetzung von flüchtigen Nukliden und der Kontamination die wesentliche Größe für die Strahlenschutzmaßnahmen dar.

Die Behältertypen zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle unterscheiden sich in den Materialien und Dicken der Abschirmungen. Dicke Abschirmungen wie bei Beton- und Gußbehältern zeigen eine stark anisotrope, dünne Abschirmungen eine eher isotrope Winkelflußcharakteristik.

Der Einfluß der Winkelflußcharakteristik ist über Tage nicht gesondert zu berücksichtigen, da dort die Arbeitsplätze in den Dosisfeldern mehrerer Abfallgebinde liegen, was zu weitestgehender Abschwächung anisotroper Effekte führt. Ähnliches gilt für den Aufenthalt am Zaun bzw. im außerbetrieblichen Überwachungsbereich. Hier ist allerdings zusätzlich zur Direktstrahlung der Einfluß des Skyshine zu berücksichtigen (Kap. 3.4.7.3).

Unter Tage ist neben dem Anteil der Direktstrahlung aufgrund der geringen Querschnitte in Transportstrecken und Einlagerungskammern auch der Anteil der Streustrahlung an der Gesamtdosisleistung zu berücksichtigen. Für eine typische Energie der Gammastrahlung an der Oberfläche der Gebinde von z. B. 500 keV beträgt der Anteil der Streustrahlung in einer Transportstrecke oder Einlagerungskammer ca. 10 % in 2 m und ca. 35 % in 12 m Abstand von den Gebinden.

Der Einfluß der Emissionscharakteristik an der Gebindeoberfläche auf die Gesamtdosisleistung kann - bei gleicher Dosisleistung in 1 m bzw. 2 m Abstand vom

Gebinde - in einer Transportstrecke, in der sich in einem relevanten Teilstück jeweils nur maximal zwei Gebinde befinden, vernachlässigt werden. Vor einer Wand der gestapelten Abfallgebinde in einer Einlagerungskammer dagegen zeigt die Dosisleistung eine starke Abhängigkeit von der Winkelflußverteilung an der Gebindeoberfläche. Bei isotroper Winkelflußverteilung an der Gebindeoberfläche nimmt die Dosisleistung mit der Entfernung erheblich stärker ab, als bei anisotroper Winkelflußverteilung. Zum Beispiel ist die Gesamtdosisleistung bei gleicher Dosisleistung in 2 m Abstand vom Einzelgebinde in 40 m Abstand um den Faktor 7,5 höher als bei isotroper Verteilung. Unterschiede in der Dosisleistung von Abfällen mit unterschiedlichen Radionukliden, die z. B. vorherrschend entweder Co 60 oder Cs 137 enthalten, sind bei gleicher Dosisleistung in 1 m bzw. 2 m Abstand verglichen damit gering.

3.4.6.2 Beschreibung der Vorsorgemaßnahmen für den Strahlenschutz des Betriebspersonals über und unter Tage

Der Strahlenschutz des Betriebspersonals unterliegt dem Strahlenschutzgrundsatz des § 28 Abs. 1 StrlSchV, jede Strahlenexposition, auch unterhalb der festgelegten Grenzwerte, so gering wie möglich zu halten. Die Konkretisierung dieses Grundsatzes wird für ein Endlager anders als bei Kernkraftwerken nicht durch weitergehende Rechtsnormen oder Regeln der Technik beschrieben. Die grundsätzlichen Prinzipien derartiger Rechtsvorschriften und Richtlinien werden jedoch übernommen. Im folgenden wird ein den Verhältnissen des Endlagers Konrad angepaßtes Konzept der Strahlenschutzhaltungsmaßnahmen für das Betriebspersonal dargestellt.

Der oben genannte Strahlenschutzgrundsatz wird auf alle beruflich strahlenexponierten Personen bezogen, die in der Anlage tätig sind. Entsprechend den Expositionsbe-

dingungen im Endlager Konrad ist im bestimmungsgemäßen Betrieb vorrangig der Schutz des Personals vor der Strahlung der Abfallgebinde sowie vor der Inhalation luftgetragener radioaktiver Stoffe zu betrachten. Die übrigen denkbaren Expositionspfade können demgegenüber vernachlässigt werden.

Im folgenden werden die Vorsorgemaßnahmen getrennt für die beiden genannten Expositionspfade beschrieben. Darüber hinaus wird ergänzend auf das Strahlenschutzkonzept im Störfall eingegangen.

Strahlung

Zum Schutz des Betriebspersonals ist die Ortsdosisleistung von Abfallgebinde auf 10^{-4} Sv/h in 2 m Entfernung von der Oberfläche von Containern und in 1 m Entfernung von der Oberfläche von zylindrischen Abfallgebinde begrenzt. Zylindrische Abfallgebinde werden als Transporteinheiten mit maximal zwei Gebinden auf einer Tauschpalette angeliefert.

Maßnahmen zum Schutz vor der Strahlung der Abfallgebinde sind insbesondere:

Fernbedienung, Automatisierung

Für länger dauernde Arbeiten im Strahlenfeld der Abfallgebinde sind fernbediente und möglichst auch automatisierte Arbeitsvorgänge, z. B. beim Wischtest und bei der Ortsdosisleistungsmessung der Gebindeeingangskontrolle, vorgesehen. Kriterium für die Entscheidung und die Auswahl der Arbeitsverfahren ist dabei die Unterschreitung des Dosisgrenzwertes gemäß § 54 StrlSchV.

Abschirmung

Lassen sich die oben genannten Verfahren aufgrund des betriebsmäßigen Ablaufs nicht realisieren, wird bei Dauereinrichtungen das Schutzziel des § 54 StrlSchV durch Abschirmung verwirklicht. Darüber hinaus werden Bereiche mit erhöhter Ortsdosisisleistung durch Abschirmung von Daueraufenthaltsbereichen getrennt.

Begrenzung_der_Aufenthaltszeit

Sofern die beiden vorgenannten Schutzmaßnahmen sich im Rahmen des betriebsmäßigen Ablaufs nicht realisieren lassen, werden in diesen Ausnahmefällen die Personendosen durch Begrenzung der Aufenthaltszeiten limitiert.

Das Personal im Kontrollbereich, das nicht unmittelbar mit der Einlagerung von Abfallgebinden beschäftigt ist, hält sich grundsätzlich in Bereichen niedriger Ortsdosisisleistung auf. Für diese Bereiche wird die Ortsdosisisleistung etwa 10^{-6} Sv/h betragen.

Die Einhaltung der beschriebenen Schutzmaßnahmen wird mit den in der Kerntechnik üblichen Methoden überwacht.

Durch die beschriebenen Strahlenschutzmaßnahmen wird sichergestellt, daß die durch äußere Strahlenexposition verursachte mittlere jährliche effektive Äquivalentdosis des im Kontrollbereich tätigen Personals ein Zehntel des Jahresgrenzwertes gemäß § 49 StrlSchV für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A unterschreitet.

Inhalation

Die Strahlenexposition des Betriebspersonals durch Inhalation resultiert aus der Freisetzung luftgetragener

radioaktiver Stoffe aus den Abfallgebinden. Zu dieser Strahlenexposition kann in geringem Maße eine mögliche, in die Atemluft übergehende Oberflächenkontamination der Abfallgebinde beitragen. Allgemeine Schutzmaßnahmen gegen diese Expositionsmöglichkeit sind:

Anforderungen an die Abfallgebinde

Durch Anforderungen an die Qualität des Abfallprodukts und der Verpackung sowie durch die Begrenzung der im Abfallprodukt zulässigen Aktivität wird sichergestellt, daß die Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Abfallgebinden innerhalb vorgegebener Grenzen bleibt.

Kontaminationskontrolle der Abfallgebinde

Die angelieferten Abfallgebinde werden im Rahmen der Eingangskontrolle vor ihrer Einlagerung auf die Einhaltung ihrer Kontaminationsgrenzwerte (siehe Kapitel 3.3) geprüft.

Abgrenzung von Bereichen, in denen radioaktive Stoffe luftgetragen freigesetzt werden können

Durch konstruktive und technische Maßnahmen werden Bereiche, in denen nicht mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, von solchen getrennt, in denen radioaktive Stoffe luftgetragen freigesetzt und mit den Abwettern oder der Luft transportiert werden können.

Ausschluß von ständig besetzten Arbeitsplätzen in kontaminierten Abwettern

Es ist sichergestellt, daß in untätigten Bereichen mit kontaminierten Abwettern keine ständig belegten Betriebspunkte eingerichtet werden.

Die luftgetragene Aktivität und damit die mögliche Strahlenexposition durch Inhalation wird meßtechnisch überwacht (Kap. 3.4.8.3).

Durch diese Maßnahmen wird die durch Inhalation verursachte jährliche effektive Äquivalentdosis des im Kontrollbereich tätigen Personals auf ein Hundertstel des Jahresgrenzwertes gemäß § 49 StrlSchV für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A beschränkt.

Störfälle

Hinsichtlich der in Kapitel 3.5.2.1 auf ihre radiologischen Auswirkungen untersuchten Störfälle der Klasse 1 sind folgende Schutzmaßnahmen vorgesehen:

Einrichtung von Flucht- und Rettungswegen

Entsprechend den einschlägigen Rechtsvorschriften sind Flucht- und Rettungswege vorgesehen (Kap. 3.2.3.3).

Ausrüstung mit Atemschutzgeräten

Zum Schutz vor möglichen radiologischen Auswirkungen bei Störfällen unter Tage stehen dem Personal Atemschutzgeräte zur Verfügung, die es unabhängig von der Umgebungsluft machen.

Einrichtung eines Kommunikationssystems

Zur Verständigung und Alarmierung des Personals bei Störfällen wird das in Kapitel 3.2.4.9 beschriebene Kommunikationssystem benutzt.

Einrichtung eines Raumes für Erste-Hilfe-Maßnahmen

Für Erste-Hilfe-Maßnahmen steht ein Sonderraum auch im Kontrollbereich zur Verfügung.

**3.4.6.3 Abschätzung und Bewertung der Strahlenexposition
des Personals**Äußere Bestrahlung aufgrund der Strahlenfelder der
Abfallgebinde

Die potentiellen Individualdosen, die Kollektivdosis und die mittlere Individualdosis der im Kontrollbereich beschäftigten Personen werden unter Berücksichtigung ihrer Aufenthaltsdauer und der Dosisleistung am jeweiligen Aufenthaltsort sowie der jährlichen Arbeitszeit ermittelt. Die Kollektivdosis ist die Summe der Individualdosen der im Kontrollbereich beschäftigten Personen.

Personenzahl und Aufenthaltszeiten

Für die Ermittlung der Strahlenexposition wird davon ausgegangen, daß einundzwanzig Personen pro Schicht unmittelbar mit der Handhabung der Abfallgebinde beschäftigt sind, davon neun Personen unter Tage. Als Aufenthaltszeit pro Schicht im Kontrollbereich wird für die über Tage Beschäftigten von acht, für die unter Tage beschäftigten Personen von sechs Stunden ausgegangen. Damit ergibt sich bei 200 Arbeitstagen pro Person und Jahr eine jährliche Aufenthaltszeit von 1600 Stunden oder 1200 Stunden. Die Dauer der verschiedenen Tätigkeiten und damit die Aufenthaltszeiten in den unterschiedlichen Strahlenfeldern sind für die unmittelbar mit der Einlagerung der Abfallgebinde beschäftigten Personen ermittelt und der Berechnung der Strahlenexposition zugrunde gelegt worden.

Strahlenfelder von Abfallgebinden bzw. Transporteinheiten

Für die Berechnung der Strahlenexposition des Personals über Tage und in den Transportstrecken unter Tage wird zunächst konservativ von Abfallgebinden mit der größtmöglichen strahlenden Fläche (Container Typ V) und von einer vollen Ausschöpfung des Dosisleistungsgrenzwertes von 10^{-4} Sv/h in 2 m Abstand von der größten Oberfläche dieses Containers ausgegangen. Dadurch wird auch, wie Rechnungen zeigen, bei einer Tauschpalette, auf der bis zu zwei zylindrische Abfallgebinde transportiert werden können, eine Ortsdosisleistung von 10^{-4} Sv/h in 2 m Abstand von ihrer Oberfläche nicht überschritten, sondern nur zu ca. 50 % ausgeschöpft. Für den Ausschöpfungsgrad des Dosisleistungsgrenzwertes, gemittelt über alle Abfallgebinde, wird derzeit ein Wert von ca. 65 % erwartet.

Für die Berechnung der Strahlenexposition des Personals durch einen Abfallgebindestapel in einer Einlagerungskammer wird auf Dosisleistungsberechnungen, die mit anerkanntem Strahlentransport- und Monte-Carlo-Programmen durchgeführt wurden, zurückgegriffen. Bei diesen Dosisleistungsberechnungen wird ebenfalls konservativ von Abfallgebinden mit der größtmöglichen strahlenden Fläche (Container Typ V) und der vollen Ausschöpfung des Grenzwertes der Dosisleistung in 2 m Abstand von dieser Oberfläche ausgegangen. Es wird außerdem davon ausgegangen, daß stets der gemäß Kap. 3.4.6.1 sehr viel ungünstigere Wert einer anisotropen Winkelflußverteilung an der Gebinde-oberfläche vorliegt.

Der Gesamtheit der für über und unter Tage aufgeführten Überschätzungen bzw. konservativen Betrachtungsweisen wird bei der Ermittlung der Strahlenexposition des Personals an den einzelnen Arbeitsplätzen durch einen Reduktionsfaktor von 0,5 Rechnung getragen. Dieser

Faktor behält seine Gültigkeit auch bei einer Verschiebung des Erwartungswertes der mittleren Dosisleistung der Abfallgebinde und bei einer Verschiebung des Verhältnisses Container/zylindrische Abfallgebinde, sowohl für über Tage als auch insbesondere für die Einlagerungskammern.

Die Strahlenfelder sind für Arbeitsplätze über und unter Tage unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.4.6.1 diskutierten Winkelflußcharakteristiken mit anerkannten Verfahren und Programmen ermittelt worden. Für Arbeiten in großer Entfernung von Strahlenquellen wird für die Ortsdosisleistung ein Wert von ca. 10^{-6} Sv/h erwartet. Dieser Wert wird somit für das nicht unmittelbar mit der Einlagerung beschäftigte Personal im Kontrollbereich sowie für das Einlagerungspersonal für Restzeiten von untergeordneter Bedeutung verwendet.

Individualdosen

Die oben genannten Rechenannahmen (einschließlich des spezifizierten Reduktionsfaktors für die Strahlenexposition am Arbeitsplatz) führen zu den in der Tabelle 3.4.6.3/1 beispielhaft für einige unmittelbar mit der Einlagerung beschäftigten Personen angegebenen effektiven Äquivalentdosen. Um die Dosis möglichst gering zu halten, werden Abschirmungen vorgesehen. Die vorgesehnen und mit hohem technischen Aufwand noch realisierbaren Abschirmfaktoren sind in Tab. 3.4.6.3/1 mit aufgeführt. Die Dosiswerte in dieser Tabelle sind die jeweils größten Werte der den Berechnungen zugrunde gelegten beiden Anlieferungsvarianten, zum einen 100 % Anlieferung mit der Bahn und zum anderen je 50 % Anlieferung mit Bahn und Lkw.

Für alle Arbeitsplätze mit Dauereinrichtungen wird der Dosisgrenzwert gemäß § 54 StrlSchV unterschritten.

Für das übrige im Kontrollbereich tätige, jedoch nicht unmittelbar mit der Einlagerung beschäftigte Personal wird eine Individualdosis von $0,16 \cdot 10^{-2}$ Sv/a abgeschätzt. Der Wert ergibt sich bei einer Aufenthaltszeit von 1600 h/a in Bereichen mit einer Ortsdosisleistung von $1 \cdot 10^{-6}$ Sv/h.

Mittlere Individualdosis

Aus den so berechneten Dosiswerten ergibt sich unter Berücksichtigung der vorgesehenen Abschirmungen für die einundzwanzig Personen, die unmittelbar mit der Einlagerung der radioaktiven Abfallgebinde beschäftigt sind, eine mittlere Individualdosis von weniger als $0,50 \cdot 10^{-2}$ Sv/a. Bezogen auf das gesamte im Kontrollbereich eingesetzte Personal, das mit ca. einhundert Personen auch Personal umfaßt, daß nicht unmittelbar mit der Einlagerung beschäftigt ist, wie Personal des Elektrobetriebs oder Aufsichtspersonal, ergibt sich eine mittlere Individualdosis von weniger als der Hälfte dieses Wertes.

Person/Tätigkeit	Jährliche effektive Äquivalentdosis in Sv/a	Abschirmfaktor
Kranfahrer (Umladehalle)	$0,36 \cdot 10^{-2}$	7
Stapelfahrzeugfahrer (Pufferhalle)	$0,33 \cdot 10^{-2}$	9
Transportwagenfahrer	$0,31 \cdot 10^{-2}$	6,5
Stapelfahrzeugfahrer (Einlagerungskammer)	$0,38 \cdot 10^{-2}$	30

Tabelle Jährliche effektive Äquivalentdosis für einige unmittelbar
3.4.6.3/1 mit der Einlagerung beschäftigten Personen einschließlich der
vorgesehenen Abschirmfaktoren

Innere Bestrahlung durch Inhalation aus Abfallgebinden
freigesetzter, luftgetragener radioaktiver Stoffe

In Kapitel 3.4.6.2 wurde ausgeführt, daß die abfallbedingten effektiven Inhalations-Individualdosen der im Kontrollbereich tätigen Personen durch die aufgeführten Vorsorge- und Überwachungsmaßnahmen auf einen Wert von 0,5 mSv/a beschränkt werden.

Bewertung der Strahlenexposition des Personals unter
Einbeziehung der durch natürliche radioaktive Stoffe im
Konradgestein und in den Wetter verursachten radiologi-
schen Grundbelastung

In Kap. 3.1.8.2 sind die durch die radiologische Grundbelastung unter Tage hervorgerufenen Individualdosiswerte aufgeführt. Sie betragen

- aus äußerer Bestrahlung

ca. $23 \cdot 10^{-5}$ Sv/a Arbeitsdosis oder

ca. $9 \cdot 10^{-5}$ Sv/a zusätzliche Dosis gegenüber einem über Tage Beschäftigten,

- aus innerer Bestrahlung (Radon, Radonfolgeprodukte, Staub)

< ca. $380 \cdot 10^{-5}$ Sv/a Arbeitsdosis (effektive Äquivalentdosis) oder

< ca. $360 \cdot 10^{-5}$ Sv/a zusätzliche Dosis (effektive Äquivalentdosis) bzw.

< ca. $3000 \cdot 10^{-5}$ Sv/a zusätzliche Lungendosis gegenüber einem über Tage-Beschäftigten

Die durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe in der Grube Konrad verursachte Strahlenexposition des Personals zählt gemäß §§ 1 und 28 Abs. 2 StrlSchV nicht zu den Strahlenexpositionen, für welche die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung Anwendung finden. Wird dennoch eine gleichwertige Behandlung der "natürlichen" und der "künstlichen" Strahlenexposition vorgenommen, so zeigen die Ausführungen in den vorangegangenen Kapiteln, daß aufgrund der Planungen des Endlagers (Auslegung, administrative Maßnahmen) die Grenzwerte der StrlSchV insgesamt unterschritten werden.

3.4.6.4 Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche

Die Einrichtung und Abgrenzung von Strahlenschutzbereichen erfolgt im Hinblick auf die zu erwartenden Strahlenexpositionen des Personals entsprechend der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Einrichtung und Abgrenzung der Strahlenschutzbereiche des Endlagers berücksichtigen zusätzlich die bergbaulichen und verfahrenstechnischen Notwendigkeiten, um einen möglichst ungehinderten Einlagerungsbetrieb zu gewährleisten.

Der Betrieb des Endlagers ist insbesondere durch drei verschiedene Tätigkeiten charakterisiert:

- Auffahren von Einlagerungskammern,
- Einlagern von radioaktiven Abfällen und
- Versetzen von Resthohlräumen.

Eine Einteilung des Endlagers in Strahlenschutzbereiche ist aufgrund der Strahlung sowie einer möglichen Kontamination bzw. Freisetzung von Radionukliden aus den Abfallgebinden erforderlich. Hierbei wird sowohl den Anforderungen des Strahlenschutzes als auch des Betriebes Rechnung getragen, indem

- der Auffahr- vom Einlagerungs- und Versatzbetrieb räumlich und wettertechnisch getrennt wird,
- die Strahlenschutzbereiche zusammenhängend eingerichtet werden sowie
- die dem Einlagerungsbetrieb dienenden Grubenbaue und die abwetterseitig nachgeordneten Baue zum Kontrollbereich erklärt werden.

Kontrollbereich

Zum Kontrollbereich gehören (Anlage 3.2.4.1.3/2 und 3.2.4.1.3/3 sowie Anlage 3.4.6.4/1 und Anlage 3.4.6.4/2)

Schachtanlage Konrad 2 über Tage

- Umladehalle,
- Pufferhalle,
- Förderturm mit Schachthalle,
- Schachtkeller,
- Wetterkanal und Diffusor,
- Werkstatt 1 und Bereich Sonderbehandlung sowie Raumlufttechnikzentralen,
- Raum für die Sammlung radioaktiver Betriebsabfälle (Kellergeschoß Umladeanlage) und
- Wäscherei sowie Teile des Sozial-, Labor- und Bürobereichs, u. a. Strahlenschutzlabor und Räume für die Personendekontamination.

Grubengebäude

- Schachtröhre Konrad 2,
- Füllort für den Gebindeumschlag,
- Transportstrecken für Abfallgebinde,
- Einlagerungskammern,
- den Einlagerungsfeldern und Transportstrecken nachgeschaltete Abwetterstrecken,

- Grubennebenräume im Einlagerungsbereich wie Werkstätten, elektrische Betriebsräume sowie Raum zur Sammlung flüssiger und fester radioaktiver Betriebsabfälle.

Diese Einteilung führt zu einem zusammenhängenden Kontrollbereich, so daß u. a. der Aufwand an Kontrollmaßnahmen gering gehalten werden kann. Übergänge zum oder vom Kontrollbereich sind wie folgt vorgesehen

- für Personen

Kontrollbereichspforte für Zugang zur Umladeanlage sowie zu Teilen des Sozial-, Labor- und Bürobereichs sowie der Wäscherei und weiterhin in der Nähe der Kontrollbereichswerkstatt unter Tage und zeitweise im Bereich der Einlagerungsfelder,

- für Abfallgebinde

Tore zwischen der Umladehalle und den Trocknungsanlagen für Lkw und Waggons,

- für technisches Gerät

die vorgenannten Übergänge, das Ausfahrtor der Umladehalle für Lkw und Waggons sowie das Schachthallenstor für Großgeräte und

- für das Haufwerk für den Versatz

die jeweils einzurichtende Haufwerkübergabestelle.

Alle nicht genannten übertägigen Tore und Türen zum Kontrollbereich werden ständig geschlossen gehalten und können nur mit Zugangsberechtigung betreten oder verlassen werden. Für Sicherungstüren (Objektschutz) gelten die entsprechenden Regelungen. Fluchttüren sind gemäß den Vorgaben ausgelegt.

Die strahlenschutztechnische Ausgestaltung der Übergänge richtet sich nach den Anforderungen der StrlSchV. Ins-

besondere ist gewährleistet, daß nur zugangsberechtigte Personen Zutritt zum Kontrollbereich haben.

Durch Ausmessen und z. B. Dekontamination aller den Kontrollbereich verlassenden Personen und Gegenstände wird sichergestellt, daß keine Kontaminationsverschleppungen auftreten, die zu Überschreitungen der Grenzwerte für die jeweiligen Bereiche führen könnten.

Im Kontrollbereich anfallendes Haufwerk verbleibt im Kontrollbereich und wird zur Verfüllung von Grubenräumen genutzt.

Betriebliche Überwachungsbereiche

Zum betrieblichen Überwachungsbereich zählen

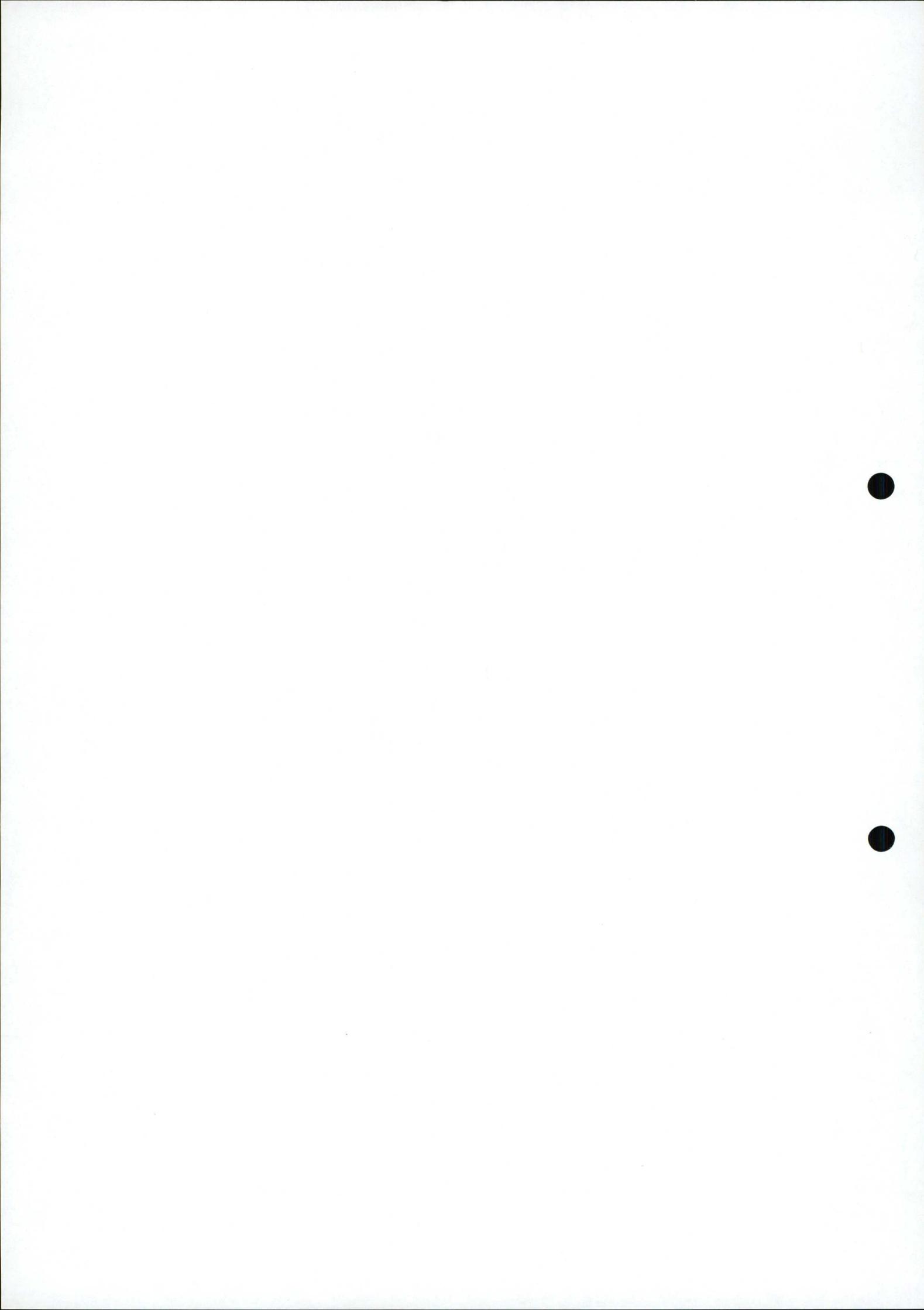
- alle übertägigen Anlagen- und Gebäudeteile auf dem Gelände der Schachtanlage Konrad 2, die nicht zum Kontrollbereich gehören und
- alle untertägigen Anlagenteile, die nicht zum Kontrollbereich gehören sowie die Schachtröhre Schacht Konrad 1.

Außerbetriebliche Überwachungsbereiche

Diejenigen Bereiche außerhalb des Betriebsgeländes am Schacht Konrad 2, in denen die potentielle jährliche effektive Äquivalentdosis, hervorgerufen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern und den Abwässern sowie durch die Strahlung der angelieferten und gehandhabten Abfallgebinde zwischen $0,3 \cdot 10^{-3}$ Sv/a und $1,5 \cdot 10^{-3}$ Sv/a (30 mrem/a und 150 mrem/a) liegt, werden zum außerbetrieblichen Überwachungsbereich erklärt. Die Grenze des außerbetrieblichen Überwachungsbereichs wird mit 100 m Abstand vom Zaun festgelegt, in der Betriebsphase wird sie den Ergebnissen der Dosismessungen außerhalb des Betriebsgeländes angepaßt.

UNTERKAPITEL

- 3.4.7 **Abgabe radioaktiver Stoffe und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung**
- 3.4.7.1 Abgabe radioaktiver Stoffe mit den Abwetttern und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung
- 3.4.7.2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit den Abwäsfern und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung
- 3.4.7.3 Potentielle Strahlenexposition am Zaun aufgrund der Strahlenfelder der auf dem Gelände gehandhabten Abfallgebinde



3.4.7 Abgabe radioaktiver Stoffe und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung

3.4.7.1 Abgabe radioaktiver Stoffe mit den Abwetttern und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung

Abgabemengen

Die Abwetter aus dem Endlager Konrad werden über den Schacht Konrad 2 und den 45 m hohen Diffusor in die Umgebung abgeleitet.

Auf der Basis von Abschätzungen über die Aktivitätsfreisetzung aus den Abfallgebinden im bestimmungsgemäßen Betrieb (Kap. 3.4.2) und die insgesamt für die Einlagerung zu erwartenden Arten und Mengen radioaktiver Abfälle werden folgende Abgabewerte (Antragswerte) für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit den Abwettern für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Endlagers Konrad beantragt:

Radionuklid/Radionuklidgruppe	Aktivitätsableitung
H 3	$1,5 \cdot 10^{13}$ Bq/a
C 14	$3,7 \cdot 10^{11}$ Bq/a
I 129	$7,4 \cdot 10^6$ Bq/a
Rn 222	$1,9 \cdot 10^{12}$ Bq/a
Aerosole (Halbwertszeit > 10d):	
β/γ -Strahler	$7,4 \cdot 10^7$ Bq/a
α -Strahler	$3,7 \cdot 10^6$ Bq/a

Tabelle 3.4.7.1/1 Antragswerte für die jährliche Aktivitätsableitung mit den Abwettern

Diese Antragswerte für die Ableitung von Aktivität über das Medium Luft sind nicht um die Anteile an Aktivität reduziert, die in die Grubenwässer übergehen können und dann über das Medium Wasser (Kap. 3.4.7.2) abgeleitet werden können. Dies ist eine konservative Betrachtungsweise.

Radionuklidzusammensetzung

Zur Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition wird unter Berücksichtigung der Höhe der Strahlenexposition durch die einzelnen Radionuklide pro freigesetzter Aktivitätseinheit über die verschiedenen Expositionspfade von folgender konservativer Radionuklidzusammensetzung der Radionuklidgruppen der Beta/Gamma- und Alphastrahler ausgegangen:

β/γ -Strahler	Aktivitätsanteil	α -Strahler	Aktivitätsanteil
Co 60	0,06	Pu 238	0,50
Sr 90	0,27	Pu 239	0,09
Ru 106	0,07	Pu 240	0,07
Sb 125	0,01	Am 241	0,06
Cs 134	0,12	Cm 244	0,27
Cs 137	0,47	Ra 226	0,01

Tabelle Radionuklidzusammensetzung der in Tabelle 3.4.7.1/2 3.4.7.1/1 angegebenen Radionuklidgruppen der β/γ - und α -Strahler

Ausbreitung radioaktiver Stoffe

Die Langzeitausbreitungsfaktoren und die Langzeitwash-outfaktoren werden unter Verwendung der in /2/ beschrie-

benen Modelle berechnet. Zur Ermittlung dieser Faktoren wird die dreidimensionale Ausbreitungsklassenstatistik und die Niederschlagswindrose von Braunschweig-Völkenrode herangezogen. Die Übertragbarkeit dieser Daten auf den Standort der Schachtanlage Konrad ist in Kapitel 3.1.7 begründet. Der Einfluß der in unmittelbarer Nachbarschaft des Diffusors stehenden Gebäude auf die Ausbreitung den radioaktiven Stoffe wird mit den in /2/ angegebenen Verfahren berücksichtigt. Die Ausbreitungsfaktoren haben für die ungünstigste Einwirkungsstelle in ca. 50 m Entfernung nördlich des Diffusors außerhalb des Geländes am Schacht Konrad 2 folgende Werte:

$$\bar{x} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ s/m}^3,$$

$$\bar{w} = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-2}.$$

Potentielle Strahlenexposition

Die Berechnung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern erfolgt nach den in /2/ genannten Modellen. Im einzelnen werden folgende Expositionspfade berücksichtigt:

- äußere Strahlenexposition durch Beta- und Gammastrahlung aus der Abluftfahne,
- äußere Strahlenbelastung durch Gammastrahlung über kontaminiertem Boden,
- Inhalation radioaktiver Stoffe aus der bodennahen Luft,
- Ingestion von kontaminiertem Blattgemüse und pflanzlichen Produkten,
- Ingestion von kontaminiertem Rindfleisch und
- Ingestion von kontaminierte Milch.

Die Maximalwerte der potentiellen Strahlenexposition infolge Ableitung der aus den Abfällen freigesetzten

radioaktiven Stoffe mit den Abwettern über alle Expositionspfade an der ungünstigsten Einwirkungsstelle sind in Tabelle 3.4.7.1/3 angegeben.

Ein Vergleich der Tabellenwerte für die potentielle Strahlenexposition mit den Dosisgrenzwerten des § 45 StrlSchV /3/ zeigt, daß diese deutlich unterschritten und - außer im Falle der Lunge - zu weniger als 30 % ausgeschöpft werden.

Der Beitrag der wichtigsten Radionuklide und Expositionspfade zu den berechneten Strahlenexpositionen ist für die wesentlichen Körperorgane und die effektive Äquivalentdosis in den Tabellen 3.4.7.1/5 bis 3.4.7.1/8 aufgeführt.

Die durch Ableitung von in der Grube Konrad natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen mit den Abwettern verursachte Strahlenexposition in der Umgebung zählt gemäß § 28 Abs. 2 StrlSchV nicht zu den Strahlenexpositionen, für welche die Grenzwerte des § 45 Abs. 1 StrlSchV Anwendung finden. Wird dennoch eine gleichwertige Behandlung der "natürlichen" und der "künstlichen" Strahlenexposition vorgenommen, so zeigen die Ergebnisse nach Tabelle 3.4.7.1/3 und zusätzlich ausgeführter Berechnungen (siehe Tabelle 3.4.7.1/4) für die in der Grube Konrad natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffe, daß aufgrund der Planungen des Endlagers (Auslegung, administrative Maßnahmen) die Grenzwerte des § 45 Abs. 1 StrlSchV insgesamt unterschritten werden.

Organ/Körperteil	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a		Dosisgrenzwert nach § 45 StrlSchV in 10^{-5} Sv/a
	Erwachsener	Kleinkind	
Blase	3,6	5,9	90
Brust	3,6	6,0	90
Oberer Dickdarm	3,6	5,9	90
Unterer Dickdarm	3,6	5,9	90
Dünndarm	3,6	5,9	90
Gehirn	3,6	6,0	90
Haut	3,6	6,0	180
Hoden	3,6	6,0	30
Knochenoberfläche	5,7	7,0	180
Knochenmark	3,8	6,05	30
Leber	4,0	6,2	90
Lunge	19,0	36,6	90
Magen	3,6	5,9	90
Milz	3,6	6,0	90
Nebennieren	3,6	5,9	90
Nieren	3,7	6,0	90
Ovarien	3,6	5,9	30
Pankreas	3,6	5,9	90
Schilddrüse	5,5	7,55	90
Thymus	3,6	5,9	90
Uterus	3,6	5,9	30
Effektive Äquivalentdosis		4,7	7,9
			30

Tabelle Potentielle Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage in-
3.4.7.1/3 folge Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit den
Abwettern sowie Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV

Organ/Körperteil	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a	
	Erwachsener	Kleinkind
Blase	0,13	0,15
Brust	0,15	0,18
Oberer Dickdarm	0,14	0,16
Unterer Dickdarm	0,15	0,16
Dünndarm	0,13	0,15
Gehirn	0,16	0,18
Haut	0,20	0,23
Hoden	0,14	0,16
Knochenoberfläche	2,2	1,6
Knochenmark	0,31	0,29
Leber	0,34	0,27
Lunge	15,6	31,0
Magen	0,14	0,16
Milz	0,22	0,22
Nebennieren	0,14	0,17
Nieren	0,27	0,23
Ovarien	0,14	0,15
Pankreas	0,14	0,15
Schilddrüse	0,16	0,18
Thymus	0,14	0,16
Uterus	0,13	0,15
Effektive Äquivalentdosis		1,2
		2,1

Tabelle 3.4.7.1/4 Erwartungswerte der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage infolge Ableitung natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe mit den Abwettern

Radionuklid	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a			
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	Schild- drüse	Lunge
H 3	0,2	0,2	0,2	0,2
C 14	3,1	3,1	3,1	3,1
I 129	$< 3 \cdot 10^{-3}$	$< 3 \cdot 10^{-3}$	1,9	$< 3 \cdot 10^{-3}$
Rn 222	0,8	0,16	0,14	15,5

Tabelle Beitrag einzelner Radionuklide zur potentiellen
 3.4.7.1/5 Strahlenexposition von Erwachsenen infolge Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit den Abwettern

Expositons- pfad	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a				
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	effektive Äquiva- lentdosis	Schild- drüse	Lunge
Inhalation	0,8	0,1	1,0	0,05	15,5
Ingestion					
von:					
- Milch	0,84	0,81	0,82	1,15	0,8
- Fleisch	0,72	0,7	0,72	1,2	0,7
- pflanzl. Produkten einschl. Blattgemüse	3,2	2,0	2,0	2,9	1,9

Tabelle Beitrag einzelner Expositionspfade zur potentiellen Strahlenexposition von Erwachsenen infolge Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit den Abwettern

Radionuklid	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a			
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	Schild- drüse	Lunge
H 3	0,17	0,17	0,17	0,17
C 14	5,5	5,5	5,5	5,5
I 129	$< 4 \cdot 10^{-3}$	$< 4 \cdot 10^{-3}$	1,6	$< 4 \cdot 10^{-3}$
Rn 222	0,45	0,16	0,16	30,8

Tabelle Beitrag einzelner Radionuklide zur potentiellen
 3.4.7.1/7 Strahlenexposition von Kleinkindern infolge Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit den Abwettern

Expositons- pfad	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a				
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	effektive Äquival- lentdosis	Schild- drüse	Lunge
Inhalation	0,5	0,11	1,95	0,07	30,8
Ingestion					
von:					
- Milch	3,5	3,4	3,45	4,2	3,4
- Fleisch	0,7	0,7	0,72	1,0	0,7
- pflanzl. Produkten einschl. Blattgemüse	2,05	1,65	1,65	2,05	1,6

Tabelle Beitrag einzelner Expositionspfade zur potentiellen Strahlenexposition von Kleinkindern infolge Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit den Abwettern

3.4.7.2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit den Abwässern und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung

Anfall und Abgabemengen radioaktiv kontaminiert Wässer

Radioaktiv kontaminierte Wässer fallen im Endlager Konrad durch den Übergang von Tritium, Jod und aerosolgebundenen radioaktiven Stoffen aus dem Abwetterstrom in die Grubenwässer sowie bei Dekontaminationsmaßnahmen und Reinigungsvorgängen an.

Im Schacht Konrad 2 kondensiert zeitweise bis zu 30 % des in den Abwettern enthaltenen Wassers. Konservativ wird unterstellt, daß das gesamte aus den Abfallgebinden freigesetzte Tritium in den Abwettern als HTO vorliegt und zu 30 % in die Grubenwässer übergeht. Ausgehend vom Antragswert für die Ableitung von Tritium mit den Abwettern von $1,5 \cdot 10^{13}$ Bq/a ergibt sich somit ein jährlicher Anfall von Tritium in den Grubenwässern von $4,5 \cdot 10^{12}$ Bq.

Nach experimentellen Untersuchungen zur untertägigen Aerosolausbreitung im Endlager Konrad werden außerdem 30 % bis 50 % der in den Abwettern befindlichen Aerosole im Schacht Konrad 2 abgeschieden. Es wird deshalb konservativ angenommen, daß 50 % der in den Abwettern vorhandenen aerosolgebundenen Aktivität im Schacht abgeschieden wird und vollständig in die Grubenwässer übergeht. Dieser Wert wird auch für Jod übernommen. Entsprechend den Antragswerten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern ergeben sich für den Aktivitätsübertritt in die Grubenwässer folgende Werte: $3,7 \cdot 10^6$ Bq/a für I 129, $3,7 \cdot 10^7$ Bq/a Beta/Gammastrahler sowie $1,9 \cdot 10^6$ Bq/a Alphastrahler. Hinzu kommt das langlebige Radon-Folgeprodukt Pb 210, das durch den Übergang von Rn 222 und kurzlebigen Radon-Folgeprodukten

aus den Abfällen in die Grubenwässer und durch anschließenden radioaktiven Zerfall dieser Radionuklide im Wasser entsteht. Es ergibt sich ein Beitrag von Pb 210 in den Grubenwässern von ca. $4,5 \cdot 10^6$ Bq/a.

Außerdem fallen im Abwasser als Folge von Dekontaminations- und Reinigungsmaßnahmen jährlich Aktivitäten von weniger als $3,7 \cdot 10^8$ Bq/a an (Kapitel 3.4.4).

Auf der Basis der o. a. Überlegungen werden für die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den Abfällen (einschließlich des Beitrags aus Dekontaminations- und Reinigungsmaßnahmen) mit den Abwässern für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Endlagers Konrad folgende Abgabewerte beantragt:

Radionuklid/Radionuklidgemisch	Aktivitätsableitung
H 3	$7,4 \cdot 10^{12}$ Bq/a
Radionuklidgemisch	$7,4 \cdot 10^8$ Bq/a

Tabelle Antragswerte für die jährliche Aktivitäts-
3.4.7.2/1 ableitung mit dem Abwasser

Radionuklidzusammensetzung

Für das Radionuklidgemisch in den zur Ableitung in den Vorfluter Aue vorgesehenen Abwässern - ohne die natürlich vorkommende Aktivität - ergibt sich unter Berücksichtigung der Ausführungen in Kapitel 3.4.7.1 folgende Zusammensetzung:

Radionuklid/Radionuklidgruppe	Aktivitätsanteil in Bq/Bq
Co 60	0,05
Sr 90	0,234
Ru 106	0,06
Sb 125	0,01
I 129	0,09
Cs 134	0,10
Cs 137	0,41
Pb 210	0,006
α -Strahler	0,04

Tabelle Radionuklidzusammensetzung des in Tabelle 3.4.7.2/2 3.4.7.2/1 angegebenen Radionuklidgemisches

Die Radioaktivität der Alphastrahler setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen: 50 % Pu 238, 9 % Pu 239, 7 % Pu 240, 6 % Am 241, 27 % Cm 244 und 1 % Ra 226.

Ausbreitung radioaktiver Stoffe im Vorfluter

Das Abwasser desendlagers Konrad - das gesamte Grubenwasser und das Schmutzwasser von Schacht Konrad 2 - wird über eine Druckleitung hinter dem Regenrückhaltebecken Üfingen in die Aue eingeleitet. Die mittleren Abflußmengen lagen in den Jahren 1974 bis einschließlich

1982 im Bereich von $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Zur Ermittlung der Strahlenexposition wird von einer Abflußmenge von $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgegangen und eine homogene Durchmischung der aus dem Endlager Konrad eingeleiteten radioaktiven Stoffe mit dem abfließenden Wasser unterstellt.

Größerer Vorfluter für die Aue ist die Aller, deren mittlerer Abluß $\text{MQ} = 27,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ist. Im Mündungsbereich ist die mittlere Wasserführung (MQ) des Aue/Erse - Gewässersystems $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Die spezifische Aktivität der Radionuklide in Schwebstoffen im Mündungsbereich des Aue/Erse - Gewässersystems ist damit auch unter Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit der Anlagerung von Nukliden an Schwebstoffen und der Transportzeit von der Einleitungsstelle bis zum Mündungsbereich kleiner als im Nahbereich der Einleitungsstelle.

Potentielle Strahlenexposition

Die Berechnung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage infolge Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser erfolgt nach den in /2/ genannten Modellen.

Im einzelnen werden folgende Expositionspfade berücksichtigt:

- Äußere Strahlenexposition durch Aufenthalt auf Sediment,
- Ingestion von kontaminiertem Wasser,
- Ingestion von kontaminiertem Fisch,
- Ingestion von kontaminierten pflanzlichen Produkten (Beregnung),
- Ingestion von kontaminierte Milch (Viehtränke, Beregnung) und
- Ingestion von kontaminiertem Fleisch (Viehtränke, Beregnung).

Der Expositionspfad "Nutzung von Schlämmen" wird nicht berücksichtigt, da nennenswerte Sedimentablagerungen im Aue-Bett sowie Überschwemmungsgebiete im Aue-Bereich nicht bekannt sind.

Ein nördlich von Vechelde gelegenes, bis an den Mittellandkanal heranreichendes Gebiet stellt ein natürliches Feuchtgebiet dar, das bei entsprechenden Wetterlagen unter Wasser stehen kann. Es wurde im Jahre 1933 zwar als Überschwemmungsfläche gesetzlich ausgewiesen, stellt jedoch aufgrund der künstlichen Beeinflussung des Abflußverhaltens der Aue durch die Regenrückhaltebecken bei Üfingen aus heutiger Sicht keine überschwemmbarer Fläche dar, da eine Ausuferung der Aue erst bei einer Wasserführung von $20 \text{ m}^3/\text{s}$ auftritt.

Die Maximalwerte der potentiellen Strahlenexposition infolge der Ableitung der aus den Abfällen freigesetzten radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser ergeben sich aus Tabelle 3.4.7.2/3.

Ein Vergleich der Tabellenwerte mit den Dosisgrenzwerten des § 45 StrlSchV /3/ zeigt, daß diese deutlich unterschritten und zu nicht mehr als ca. 20 % ausgeschöpft werden.

Der Beitrag der wichtigsten Radionuklide und Expositionspfade zu diesen Strahlenexpositionen ist für die wesentlichen Körperorgane aus den Tabellen 3.4.7.2/5 bis 3.4.7.2/8 ersichtlich.

Die durch Ableitung von in der Grube Konrad natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen mit den Abwässern verursachte Strahlenexposition in der Umgebung zählt gemäß § 28 Abs. 2 StrlSchV nicht zu den Strahlenexpositionen, für welche die Grenzwerte des § 45 Abs. 1 StrlSchV Anwendung finden. Wird dennoch eine gleichwertige Behandlung der "natürlichen" und der "künstlichen" Strahlenex-

position vorgenommen, so zeigen die Ergebnisse nach Tabelle 3.4.7.2/3 und zusätzlich ausgeführter Berechnungen (siehe Tabelle 3.4.7.2/4) für die in der Grube Konrad natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffe, daß aufgrund der Planungen des Endlagers (Auslegung, administrative Maßnahmen) die Grenzwerte des § 45 Abs. 1 StrlSchV insgesamt unterschritten werden.

Organ/Körperteil	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a	Dosisgrenzwert nach § 45 StrlSchV in 10^{-5} Sv/a	
		Erwachsener	Kleinkind
Blase	3,6	2,4	90
Brust	3,5	2,4	90
Oberer Dickdarm	3,7	2,5	90
Unterer Dickdarm	3,9	2,7	90
Dünndarm	3,6	2,4	90
Gehirn	3,3	2,4	90
Haut	3,3	2,5	180
Hoden	3,7	2,6	30
Knochenoberfläche	15,0	7,5	180
Knochenmark	5,2	3,3	30
Leber	5,5	3,4	90
Lunge	3,5	2,4	90
Magen	3,6	2,4	90
Milz	3,8	2,6	90
Nebennieren	3,7	2,4	90
Nieren	4,0	2,6	90
Ovarien	3,6	2,5	30
Pankreas	3,5	2,4	90
Schilddrüse	8,0	5,7	90
Thymus	3,4	2,4	90
Uterus	3,6	2,4	30
Effektive Äquivalentdosis		4,5	2,9
			30

Tabelle 3.4.7.2/3 Potentielle Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage infolge Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit dem Abwasser sowie Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV

Organ/Körperteil	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a	
	Erwachsener	Kleinkind
Blase	1,5	1,9
Brust	1,6	2,0
Oberer Dickdarm	1,8	2,2
Unterer Dickdarm	2,4	3,0
Dünndarm	1,6	1,9
Gehirn	1,5	1,2
Haut	1,6	2,1
Hoden	1,5	2,0
Knochenoberfläche	77,0	55,0
Knochenmark	7,2	7,6
Leber	9,5	5,7
Lunge	1,5	2,0
Magen	1,5	1,9
Milz	12,9	6,9
Nebennieren	1,5	2,3
Nieren	11,7	5,4
Ovarien	1,5	1,9
Pankreas	1,5	1,9
Schilddrüse	1,6	2,1
Thymus	1,5	2,0
Uterus	1,4	1,9
Effektive Äquivalentdosis		6,4
		5,1

Tabelle 3.4.7.2/4 Erwartungswerte der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage infolge Ableitung natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

Radionuklid	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a			
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	Schild- drüse	Niere
H 3	2,0	2,0	2,0	2,0
Sr 90	2,4	1,0	0,008	0,008
I 129	0,005	0,002	4,4	0,002
Cs 137	1,1	1,1	1,1	1,1
Pb 210	2,6	0,18	0,02	0,41
Pu 238	3,4	0,28	-	-

Tabelle Beitrag einzelner Radionuklide zur potentiellen
3.4.7.2/5 Strahlenexposition von Erwachsenen infolge Ablei-
tung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit dem
Abwasser

Expositons- pfad	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a				
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	effektive Äquiva- lentdosis	Schild- drüse	Niere
Ingestion					
von:					
- Wasser	3,7	1,0	0,9	1,4	0,7
- Fisch	2,7	1,2	1,2	1,9	1,2
- Milch	1,1	0,85	0,8	1,3	0,8
- Fleisch	0,5	0,5	0,45	1,3	0,4
- pflanzl. Produkten einschl. Blattgemüse	6,8	1,5	0,95	1,85	0,7

Tabelle Beitrag einzelner Expositionspfade zur potentiell-
3.4.7.2/6 len Strahlenexposition von Erwachsenen infolge Ab-
leitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit
dem Abwasser

Radionuklid	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a			
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	Schild- drüse	Niere
H 3	2,0	2,0	2,0	2,0
Sr 90	1,2	0,54	0,02	0,02
I 129	0,01	0,004	3,3	0,004
Cs 137	0,3	0,3	0,3	0,3
Pb 210	1,1	0,1	0,02	0,2
Pu 238	1,52	0,2	-	-

Tabelle Beitrag einzelner Radionuklide zur potentiellen
3.4.7.2/7 Strahlenexposition von Kleinkindern infolge Ab-
leitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit
dem Abwasser

Expositons- pfad	Äquivalentdosis pro Jahr in 10^{-5} Sv/a				
	Knochen- oberfläche	Knochen- mark	effektive Äquiva- lentdosis	Schild- drüse	Niere
Ingestion von:					
- Wasser	3,1	0,9	0,8	1,5	0,6
- Milch	1,8	1,5	1,3	2,5	1,3
- Fleisch	0,2	0,2	0,15	0,6	0,2
- pflanzl. Produkten einschl. Blattgemüse	2,2	0,6	0,36	0,9	0,3

Tabelle Beitrag einzelner Expositionspfade zur potentiell-
3.4.7.2/8 len Strahlenexposition von Kleinkindern infolge
Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Abfällen mit
dem Abwasser

3.4.7.3 Potentielle Strahlenexposition am Zaun aufgrund der Strahlenfelder der auf dem Gelände gehandhabten Abfallgebinde

Die Ortsdosisleistung am Zaun der Schachtanlage Konrad 2 wird durch die auf dem Gelände gehandhabten Abfallgebinde verursacht. Die Anlieferung der Abfallgebinde erfolgt sowohl mit Lkw als auch mit Waggons. Die Transportfahrzeuge werden bis zu ihrer Einfahrt in die Umladeanlage in festgelegten Bereichen abgestellt. Die Entladung der Fahrzeuge und die weiteren Handhabungsvorgänge erfolgen in der abgeschirmten Umladeanlage. Dort werden nach Durchführung der vorgesehenen Kontrollen die Abfallgebinde zur Beschickung des Förderkorbes in einem zusätzlich abgeschirmten Puffertunnel bereitgestellt oder in der Pufferhalle zwischenzeitlich abgestellt.

Nach § 44 Abs. 1 StrlSchV darf die effektive Äquivalentdosis außerhalb des Anlagenzaunes einschließlich der Beiträge durch Ableitung mit Abluft/Abwetter und Abwasser den Wert von 1,5 mSv/a nicht überschreiten. Für diese ergibt sich ein Summenwert von maximal 0,108 mSv/a (Kleinkind; siehe Kap. 3.4.7.1 und 3.4.7.2), der für die folgenden Betrachtungen konservativ auf 0,15 mSv/a aufgerundet wird. Daraus folgt als maximal zulässiger Beitrag durch Direktstrahlung und Skyshine ein Wert von 1,35 mSv/a am Zaun. Die Einhaltung dieses Wertes ist rechnerisch unter Einsatz international anerkannter Verfahren und Programme nachgewiesen worden.

Während der Handhabungsvorgänge ergeben sich für die Abfallgebinde unterschiedliche Standorte mit jeweils verschiedenen Standzeiten auf dem Gelände. Daher wurde die Ortsdosisleistung, die durch auf dem Anlagengelände befindliche Abfallgebinde erzeugt wird, für den gesamten Anlagenzaun berechnet. Der Beitrag des Skyshine wurde

berücksichtigt. Im folgenden werden die zugrundegelegte Rechenmethodik, die Rechenannahmen und Ergebnisse dargestellt.

Rechenmethodik

Direktstrahlung

Unter diesen Begriff fallen alle Beiträge zur Ortsdosisisleistung, bei denen für die jeweilige Kombination Aufpunkt/strahlende Fläche "Sichtverbindung" besteht, d. h. in der geraden Verbindungsleitung befindet sich außer Luft kein Absorber.

Die Berechnung der jeweiligen Ortsdosisisleistung am Zaun wurde in mehreren Einzelschritten durchgeführt:

- Berechnung der winkelabhängigen Teilchenflußdichte an der Oberfläche der Abfallgebinde.

Eingesetzt wurde das eindimensionale Transportprogramm ANISN. Die Quelle wurde als über das Abfallgebindevolumen homogen verteilt angenommen.

- Berechnung der Teilchenflußdichte an der Außenseite der Abschirmwände.

Für Abfallgebinde, die in der Umlade- bzw. Pufferhalle lagern, wurden die gemittelten Teilchenwinkelflußdichten an den jeweils relevanten Halleninnenwänden analytisch berechnet. Die Abschwächung durch die Abschirmwand wurde mit ANISN berechnet. Als Ergebnis liegen die Winkelflußdichten an der Außenseite der jeweiligen Abschirmwand vor. Dieser Schritt entfällt bei Abfallgebinden, deren Aufenthaltsort im Freien liegt.

- Berechnung der Strahlenfelder an den einzelnen Aufpunkten am Zaun.

Die Berechnung erfolgte durch Integration der winkel-abhängigen Teilchenflußdichte an der Abfallgebindeoberfläche bzw. der Abschirmwand über den jeweiligen Raumwinkel. Bei Entferungen der Strahlenquelle von über 50 m vom Zaun wurde Absorption in Luft durch Verwendung des Energieabsorptionskoeffizienten berücksichtigt. Dies stellt eine konservative Näherung dar, da Schwächung der Strahlung durch Streuung in Luft nicht berücksichtigt wird.

Skyshine

Die Berücksichtigung des Skyshinebeitrages ist physikalisch nur für solche Strahlungsquellen sinnvoll, für die keine "Sichtverbindung" zwischen strahlender Fläche und Aufpunkt besteht.

Die Berechnung des Skyshinebeitrages erfolgte ebenfalls in mehreren Schritten:

- Berechnung der winkelabhängigen Teilchenflußdichte an der Abfallgebindeoberfläche bzw. Oberfläche der Abschirmwand wie bei der Direktstrahlung.
- Berechnung der Energie- und Richtungsverteilung der Teilchen nach ihrer ersten Wechselwirkung in Luft und Verwendung als Quelle für die nachfolgende Transportrechnung mit DOT.
- Berechnung des Strahlentransports in Luft von der o. g. Quelle bis zu den einzelnen Aufpunkten am Zaun mit dem zweidimensionalen S_N -Programm DOT 3.5. Das Problem wurde in zweidimensionaler Zylindergeometrie dargestellt, wobei die rechteckige Pufferhalle mit der Grundfläche 64,5 m x 34,5 m in einen Kreis mit dem Radius $r = 26,6$ m übergeht. Der Boden wurde als idealer Absorber modelliert.

Rechenannahmen

Referenzgebinde

Direktstrahlung: Container Typ V

Dieser Container besitzt die größte strahlende Fläche, deckt also alle anderen Container hinsichtlich der Dosisleistung konservativ ab. Er deckt auch die Tauschpalette mit zylindrischen Abfallgebinden bezüglich der Dosisleistung durch Direktstrahlung ab, da die Dosisleistungbegrenzung 10^{-4} Sv/h in 1 m Entfernung von der Abfallgebindeoberfläche restriktiver ist als die 2-m-Begrenzung bei Containern und deshalb auch unter Berücksichtigung der bis zu zwei Abfallgebinde pro Tauschpalette zu einer niedrigeren Dosisleistung führt als beim Container Typ V.

Skyshine: Container Typ V mit 15 cm Sphäroguß als Abschirmung

Die Abschirmung erzeugt ein weiches Photonenspektrum, das einen hohen Skyshinebeitrag liefert.

Für Direktstrahlung und Skyshine beträgt der Überschätzungs faktor gegenüber zylindrischen Gebinden, welche sich deutlich in der Überzahl befinden, ca. 2.

Ortsdosisleistung

Für das Referenzgebinde wird in 2 m Entfernung von der Oberfläche 0,1 mSv/h angenommen. Dieser durch die Endlagerungsbedingungen (Kap. 3.3.5) vorgegebene Grenzwert wird von der Mehrzahl der Abfallgebinde bei weitem nicht ausgeschöpft. Der Erwartungswert liegt bei ca. 65 % des Grenzwertes.

Referenznuklide

Direktstrahlung: Co 60

Von allen in den Abfallgebinden enthaltenen Radio-nukliden erzeugt Co 60 die höchste Gammadosisleistung pro Zerfall.

Skyshine:

Co 60 für die Abfallgebinde in der Pufferhalle, Cs 137 für Abfallgebinde auf den Anlieferungsfahrzeugen. Für die Pufferhalle wird Co 60 wegen seiner härteren Gammastrahlung gewählt, die eine wesentlich geringere Wahrscheinlichkeit für Absorption in der Betonabschirmung der Pufferhalle besitzt als die weichere Strahlung z. B. von Cs 137. Für die Abfallgebinde auf den Anlieferungsfahrzeugen wird Cs 137 als Referenznuklid betrachtet, da der Wirkungsquerschnitt für Skyshine bei niedrigeren Gammaenergien höher ist als bei höheren Gammaenergien. Damit werden die strahlenphysikalisch ungünstigsten Fälle abgedeckt.

Einlagerung

Es werden 230 Einlagerungstage pro Jahr mit zwei Schichten pro Tag und 17 Transporteinheiten (TE) pro Schicht zugrunde gelegt. In Wirklichkeit wird ein Zweischicht-betrieb aufgrund des Abfallmengenaufkommens die Ausnahme bilden. Anlagenstillstand wegen Wartung oder Reparatur wird nicht berücksichtigt.

Reduktionsfaktor für Überschätzungen

Der Gesamtheit der bisher aufgeführten Überschätzungen bzw. konservativen Betrachtungsweisen (Referenzgebinde, Ortsdosisleistung, Referenznuklide, Einlagerung) wird

bei der Ermittlung der Dosisleistungen am Zaun der Anlage (Tab. 3.4.7.3/1) mit einem Reduktionsfaktor 0,5 Rechnung getragen. Dieser Faktor behält seine Gültigkeit auch bei einer Verschiebung des Erwartungswertes der mittleren Dosisleistung der Abfallgebinde und bei einer Verschiebung des Verhältnisses Container/zylindrische Abfallgebinde.

Anlieferung

Die Strahlenexposition wird abdeckend für zwei Extremfälle berechnet:

Variante 1: 100 % Bahnlieferung (9 Waggons pro Schicht mit je 2 TE pro Waggon),
 Variante 2: 50 % Bahnlieferung (4 Waggons pro Schicht mit je 2 TE pro Waggon),
 50 % Lkw-Anlieferung (9 Lkw pro Schicht mit je 1 TE pro Lkw).

Dies deckt die erwartete Anlieferung von 80 % Bahnlieferung und 20 % Lkw-Anlieferung ab.

Standzeiten

Als mittlere Standzeiten der Transporteinheiten pro Schicht auf dem Schachtgelände werden angenommen:

Abstellposition der Variante 1		Variante 2
Abfallgebinde	Stunden/Schicht	Stunden/Schicht
A (Puffergleis)	2,3	1,7
B (Lkw-Parkplatz)	-	2,2
C (Umladehalle)	1,3	1,1
D (Schachthalle)	0,1	0,1
E (Pufferhalle)	*)	*)

*) Für die Pufferhalle wird bei der Berechnung der Strahlenexpositionen unterstellt, daß sie ständig gefüllt ist.

Die angegebenen Abstellpositionen sind Abbildung 3.4.7.3/1 zu entnehmen.

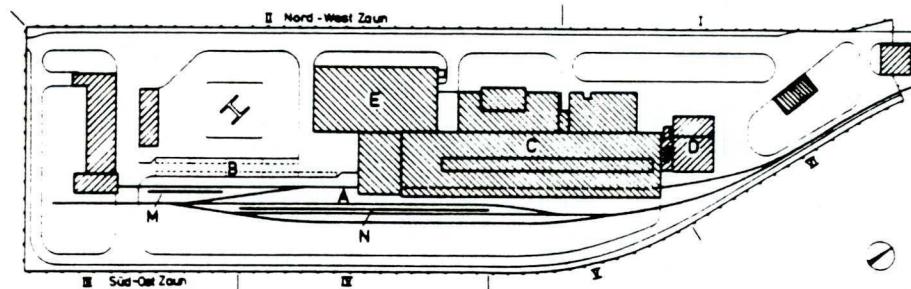


Abbildung 3.4.7.3/1 Abstellpositionen A bis E der Abfallgebinde auf dem Schachtgelände Konrad 2, Einteilung des Anlagenzaunes in Bereiche I bis VI

Abschirmungen

Umladeanlage: Die Stärke der Betonwände beträgt 35 cm.
Das Nordosttor wird als ständig geöffnet betrachtet.

Puffertunnel zur Schachthalle: Die Wandstärke des in Beton ausgeführten Tunnels beträgt 35 cm.

Schachthalle: Schwächungsfaktor 3 für die Strahlung aus der Schachthalle durch 24 cm dicke Kalksandsteinwände.

Abschirmwände: Die Betonwand zwischen Abstellgleis und Südostzaun weist eine Stärke von 35 cm, eine Höhe von 3 m und eine Länge von etwa 130 m auf. Die Betonwand zwischen Lkw-Parkplatz und Südostzaun weist eine Stärke von 35 cm, eine Höhe von 3 m und eine Länge von etwa 42 m auf.

Betriebshof: Durch den Betriebshof werden große Teile des Südwestzaunes vor Direktstrahlung abgeschirmt.

Pufferhalle: Die Dicke der Betonabschirmung beträgt 60 cm an der Nordwestwand, 50 cm an der Südwestwand, 35 cm an der Südostwand und 40 cm beim Hallendach. Die Abschirmung der Tore wird mit 35 cm Betonäquivalent berücksichtigt.

Die Abschirmwirkung der Transportfahrzeuge wird nicht berücksichtigt. Sämtliche Annahmen sind hinsichtlich der Berechnung der Dosisleistung am Zaun des Betriebsgeländes konservativ.

Relevante Strahlenquellen für die Strahlenexposition am Zaun

Der Anlagenzaun wird in Bereiche eingeteilt, für die im folgenden die für die Strahlenexposition relevanten Strahlenquellen aufgeführt sind (Abb. 3.4.7.3/1).

Bereich I umfaßt den Teil des Nordwestzaunes vom Einfahrtstor für Kfz bis zur Mitte der Umladehalle. Berücksichtigt werden Strahlungsbeiträge von vorbeifahrenden Lkw sowie von Abfallgebinden in der Schachthalle (Position D) und in der Pufferhalle (Position E).

Bereich II umfaßt den Rest des Nordwestzaunes. Relevante Beiträge werden von anliefernden Lkw, abgestellten Lkw auf Position B, abgestellten Waggons auf Position A und Abfallgebinden in der Umladehalle (Position C) und in der Pufferhalle (Position E) geliefert.

Bereich III beginnt am Südwestzaun anschließend an den Bereich II und umfaßt den angrenzenden Südostzaun bis zum Beginn der Abschirmwand. Relevante Beiträge ergeben

sich aus abgestellten Lkw und Waggons auf den Positionen A und B, Abfallgebinden in der Pufferhalle (Position E) und aus Rangierfahrten der Waggons.

Bereich IV erstreckt sich am Südostzaun entlang der Abschirmwand. Relevante Beiträge zur Strahlenexposition resultieren aus abgestellten Lkw und Waggons auf den Positionen A und B, aus Rangierfahrten der Waggons sowie aus Abfallgebinden in der Umladehalle (Position C) und der Pufferhalle (Position E).

Bereich V schließt an den Bereich IV an und erstreckt sich bis auf Höhe der Schachthalle. Relevante Beiträge ergeben sich aus einfahrenden Waggons, abgestellten Lkw und Waggons auf den Positionen A und B sowie aus Abfallgebinden in der Umlade-, Schacht- und Pufferhalle (Positionen C, D und E).

Bereich VI umfaßt den Rest des Südostzaunes bis zum Einfahrtstor für Kfz. Relevante Beiträge liefern abgestellte Waggons auf Position A sowie Abfallgebinde in der Umlade-, Schacht- und Pufferhalle (Positionen C, D und E).

Für alle Bereiche wird der Skyshinebeitrag aller auf den Positionen A, B und E befindlichen Abfallgebinde zur Dosisleistung berücksichtigt, soweit er den Wert $1 \cdot 10^{-5}$ Sv/a übersteigt.

Ergebnisse

Für die Bereiche I bis VI wurde unter Berücksichtigung der jeweils relevanten Strahlungsquellen der Aufpunkt mit der jeweils höchsten Ortsdosisleistung bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.4.7.3/1 aufgeführt.

	Effektive Äquivalentdosis in 10^{-5} Sv/a	
Bereich	Variante 1	Variante 2
I	10	20
II	30	50
III	30	40
IV	45	35
V	45	30
VI	40	30

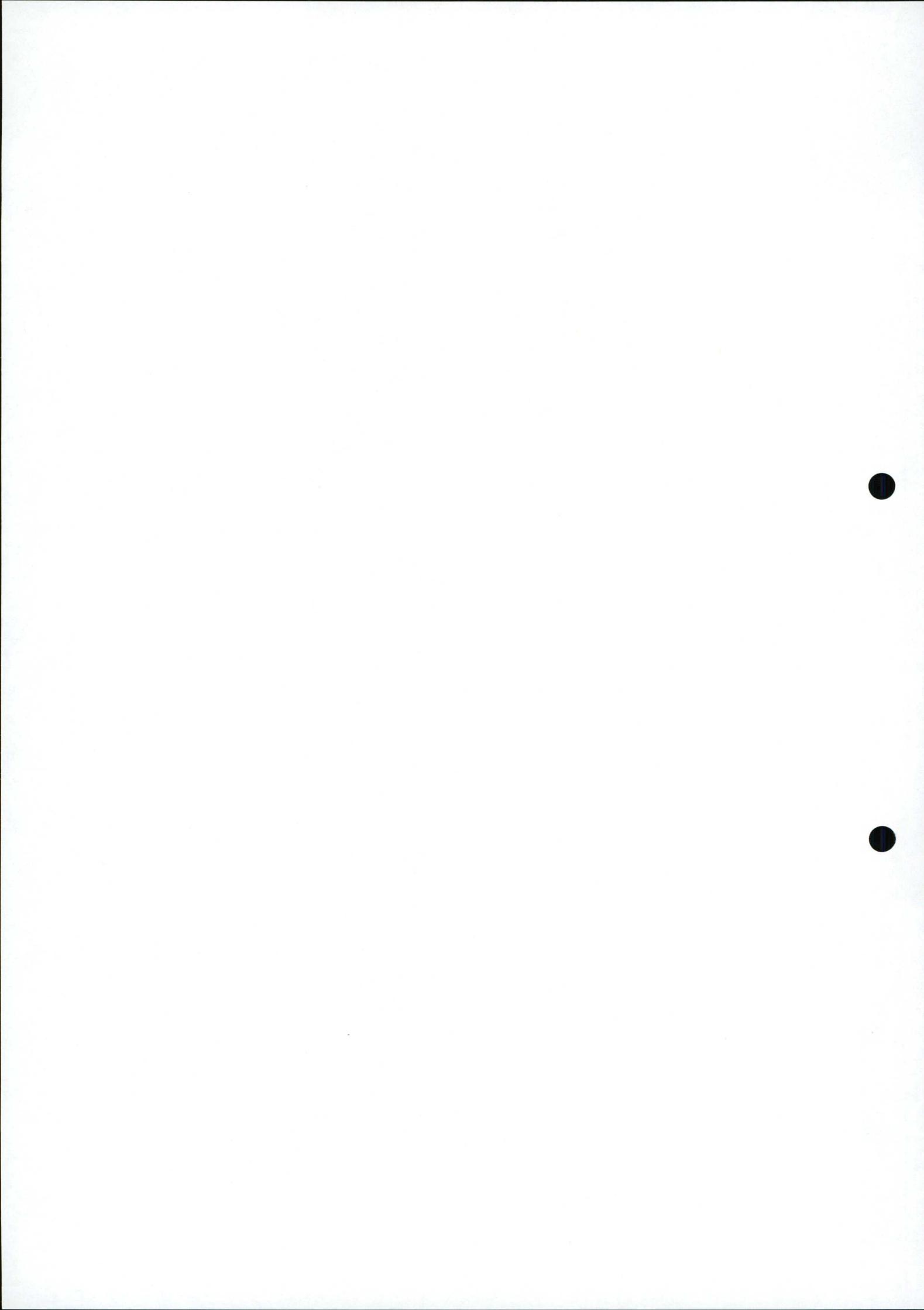
Tabelle Potentielle Strahlenexposition am Zaun
3.4.7.3/1

Damit wird am Anlagenzaun der Dosisgrenzwert für den außerbetrieblichen Überwachungsbereich gemäß § 44 StrlSchV unter Berücksichtigung der nach § 45 StrlSchV zu erwartenden Dosisbeiträge eingehalten. Die Grenze des außerbetrieblichen Überwachungsbereichs wird vorläufig mit 100 m Abstand vom Anlagenzaun festgelegt. Wegen der konservativen Rechenannahmen ist jedoch zu erwarten, daß die Dosisleistung im Betrieb erheblich geringer sein wird. Daher werden die endgültigen Grenzen des außerbetrieblichen Überwachungsbereiches aufgrund von Messungen in der Betriebsphase festgelegt.

UNTERKAPITEL

3.4.8 Strahlungsüberwachung

- 3.4.8.1 Kontaminationsüberwachung
- 3.4.8.2 Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung
- 3.4.8.3 Wetter- und Raumluftüberwachung
- 3.4.8.4 Personenüberwachung
- 3.4.8.5 Aktivitätsabgabeüberwachung
- 3.4.8.6 Umgebungsüberwachung



3.4.8 Strahlungsüberwachung

Die Strahlungsüberwachungen werden mit fest installierten und mit transportablen Meßgeräten durchgeführt; sie umfassen:

- Kontaminationsüberwachung,
- Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung,
- Wetter- und Raumluftüberwachung,
- Personenüberwachung und Maßnahmen an den Zugängen zum Kontrollbereich,
- Aktivitätsabgabeüberwachung sowie
- Umgebungsüberwachung.

In den Unterkapiteln 3.4.8.1 und 3.4.8.2 wird die Abfallgebinde-Eingangskontrolle mitbehandelt. Im Unterkapitel 3.4.8.1 werden zusätzlich die Maßnahmen bei der Anlieferung mängelbehafteter Abfallgebinde beschrieben.

Die im Rahmen dieser Überwachungsmaßnahmen einzusetzenden Meßgeräte entsprechen den Anforderungen der §§ 72 und 73 StrlSchV und tragen den endlagerspezifischen Bedingungen Rechnung.

Alle Aufzeichnungen und Anzeigen, die im Zusammenhang mit Messungen im Rahmen der physikalischen Strahlenschutzkontrolle stehen, erfolgen entsprechend § 66 StrlSchV.

3.4.8.1 Kontaminationsüberwachung

Im Endlager wird nicht mit radioaktiven Stoffen in offener Form umgegangen, sondern mit konditionierten Abfällen. Eine Freisetzung von Radionukliden und somit eine Kontamination von Personen und Anlagenteilen ist auf zweierlei Arten möglich durch:

- Ablösen von Oberflächenkontaminationen an Abfallgebinden und
- langfristige Freisetzungen aus eingelagerten Gebinden.

Die Kontaminationsüberwachung hat zum Ziel,

- bei der Eingangskontrolle Abfallgebinde mit einer nicht zulässigen Oberflächenkontamination zu erkennen, auszusondern und ggf. nach Sonderbehandlung einzulagern oder zurückzuweisen sowie
- die Weiterverbreitung von Kontaminationen an Transport- oder sonstigen Betriebsmitteln, die entweder aus dieser Quelle oder der möglichen Freisetzung aus eingelagerten Abfallgebinden stammen, zu vermeiden.

Meßobjekte

Kontaminationsüberwachung und Maßnahmen zur Verhinderung der Kontaminationsverschleppung leisten einen Beitrag zum Minimierungsgebot des § 28 Abs. 1 StrlSchV. Die Kontaminationsüberwachung erstreckt sich auf

- Transportmittel,
- Geräte und Apparate,
- Anlagenteile und
- angelieferte Abfallgebinde.

Die Personenkontaminationsüberwachung wird in Kapitel 3.4.8.4 behandelt.

Meßzyklen

Die Kontaminationsüberwachung an den verschiedenen Objekten erfolgt entweder als Routine- oder als Bedarfsüberwachung.

Routineüberwachung heißt, daß die Kontrolle in einem festgelegten zeitlichen oder einem betrieblich bedingten Zyklus erfolgt.

Zur Routineüberwachung zählt die Kontaminationskontrolle

- der einzulagernden Abfallgebinde und
- der externen Transportmittel.

Bei der Eingangskontrolle der Abfallgebinde wird der Kontaminationstest so durchgeführt, daß eine Kontrolle der in denendlagerungsbedingungen festgelegten Grenzwerte der Oberflächenkontamination für jedes Gebinde möglich ist.

Für externe Transportmittel wird vor Verlassen des Betriebsgeländes eine Kontaminationskontrolle durchgeführt, wobei die in den Verordnungen über Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße oder mit der Eisenbahn genannten Grenzwerte einzuhalten sind. Diese Messung wird als Freimessung protokolliert.

Zur Routineüberwachung zählt außerdem die Überwachung von Betriebspunkten bzw. Geräten und Apparaten im Kontrollbereich in bestimmten Zyklen.

Bedarfsüberwachung ist die Kontaminationskontrolle auf Anforderung. Sie wird z. B. durchgeführt

- bei Wartungs- und Reparaturarbeiten,
- bei Umrüstarbeiten nach Befüllen von Einlagerungskammern und
- an internen Transportmitteln und Geräten bei Verlassen des Kontrollbereichs.

Sie erfolgt im Hinblick auf die Einhaltung der Werte nach Anlage IX der StrlSchV.

Die Überwachung wird in beiden Fällen mit einem den jeweiligen Betriebspunkten bzw. Geräten und Apparaten sowie den Umgebungsbedingungen angepaßten Meßverfahren durchgeführt. An Betriebspunkten mit Abfallgebindeumschlag werden bei Bedarf Arbeitsplätze abgeschirmt bzw. Meßverfahren automatisiert.

Meßverfahren

Zum Nachweis der Kontamination stehen direkte und indirekte Methoden zur Verfügung.

Die direkte Messung der Kontamination erfolgt mit mobilen batteriebetriebenen Großflächendurchflußzählern zur Erfassung der Alpha- und Betastrahlung. Direkte Verfahren eignen sich für Messungen von Flächenkontaminationen auf glatten Oberflächen, bei denen die Reichweite der Strahlung zur meßtechnischen Erfassung ausreichend ist. Eine nuklidspezifische Analyse erfolgt nicht.

Indirekte Verfahren werden eingesetzt für die Erfassung von Kontaminationen bei nicht geeigneter Beschaffenheit der Oberflächen (Unebenheit der Oberfläche ist größer als die Reichweite der Strahlung), bei zu hoher Untergrundstrahlung oder für nuklidspezifische Analysen. Die Proben werden durch Wischtests, Klebestreifen oder di-

rekte Entnahme von der Oberfläche genommen. Beim Wischtestverfahren wird mit geeignetem Material eine definierte Oberfläche abgewischt, wobei lose an der Oberfläche haftende Nuklide übertragen werden. Ähnlich wird beim Klebestreifenverfahren vorgegangen. Unter Tage werden zur Überwachung der Grubenräume bevorzugt Gesteinsproben genommen. In allen drei Fällen werden die Proben grundsätzlich im Labor ausgewertet, wobei auch nuklid-spezifische Analysen möglich sind.

Die oben genannten Geräte und Hilfsmittel werden an geeigneten Betriebspunkten in ausreichender Anzahl vor gehalten.

Maßnahmen bei der Anlieferung mängelbehafteter Abfallgebinde und bei Kontaminationen in der Anlage

Wird bei der Eingangskontrolle des Strahlenschutzes ein Abfallgebinde erkannt, das eine erhöhte Kontamination aufweist, werden Sondermaßnahmen ergriffen. Das gilt auch für den Fall, daß bei der Eingangskontrolle andere Mängel wie erhöhte Dosisleistung oder Beschädigung einer Transporteinheit oder eines Abfallgebindes erkannt werden.

In Abstimmung mit dem Strahlenschutz wird festgelegt, wie bei der weiteren Behandlung des Abfallgebindes zu verfahren ist. Es wird dabei dem Grundsatz Rechnung getragen, die Strahlenexposition insgesamt, d. h. auch unter Einbeziehung eines denkbaren Rücktransports, zu minimieren. Denendlagerungsbedingungen nicht genügende Abfallgebinde werden in Ausnahmefällen im Rahmen der Möglichkeiten des Endlagers eingelagert.

Bei erhöhter Kontamination ist eine Umhüllung mit Folie zur Vermeidung einer Kontaminationsverschleppung möglich. Bei erhöhter Dosisleistung werden eine besondere Kennzeichnung und ggf. weitere administrative Maßnahmen vorgesehen. Im Falle leichterer Beschädigungen wird eine

Aussonderung und anschließende Reparatur, z. B. an beschädigten Isoeckbeschlägen, die Wiedereinschleusung in den Einlagerungsablauf ermöglichen. Im Falle schwerer wiegender Beschädigungen erfolgt eine Aussonderung, eine Schadensanalyse und bei dem Ergebnis, daß eine Endlagerfähigkeit hergestellt werden kann, eine Sonderbehandlung/Nachbehandlung im Rahmen der betrieblichen Möglichkeiten. Zur Nachbehandlung kann eine zeitweilige Aufbewahrung z. B. im Sonderbehandlungsraum erforderlich sein. Ergibt die Schadensanalyse, daß eine Endlagerfähigkeit am Endlager nicht hergestellt werden kann, wird das Abfallgebinde in einen zu beschaffenden Container gesetzt, der einen sicheren Einschluß und Rücktransport gewährleistet.

Bei Überschreitung gesetzlicher Grenzwerte der Kontamination, die z. B. bei der Freimeßung den Kontrollbereich verlassender Transportmittel festgestellt werden, oder betrieblich vorgegebener Werte an Anlagenteilen oder Hilfsmitteln, welche wiederholt mit Abfallgebinden in Berührung kommen, werden unverzüglich Gegenmaßnahmen eingeleitet. Diese bestehen z. B. in Dekontaminationsmaßnahmen zur Verhinderung einer Kontaminationsverschleppung sowie in Maßnahmen gemäß dem Reparaturkonzept.

Im bestimmungsgemäßen Betrieb sind die Kontaminationen im allgemeinen lose haftende Kontaktkontaminationen. Neben routinemäßigen Säuberungsmaßnahmen, wie Hallenbodenreinigung, sind einfache und wenig aggressive Dekontaminationsverfahren anzuwenden.

Dekontaminationsmaßnahmen sind außer bei den bis jetzt behandelten Kontaminationsfällen im bestimmungsgemäßen Betrieb auch bei Störfällen mit Aktivitätsfreisetzung notwendig. Die betroffenen Anlagenteile und Komponenten werden dekontaminiert oder als betrieblicher Abfall behandelt (Kap. 3.4.5).

Bei einer Kontamination von Anlagenteilen unter Tage, z. B. einer Strecke, kann es sich als sinnvoll erweisen, statt einer Entfernung der Kontamination, diese mit einer Oberflächenbeschichtung, z. B. durch Spritzputz, zu versehen.

3.4.8.2 Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung

Ortsdosis und Ortsdosisleistung werden analog zu den Ausführungen in Kapitel 3.4.8.4 allein durch die Oberflächendosisleistung der Abfallgebinde und ihre Form sowie durch ihre räumliche und zeitliche Anordnung an einem Betriebspunkt bestimmt. Sieht man von einer störfallbedingten Veränderung der Oberflächendosisleistung der Abfallgebinde ab, so bleibt diese von der Annahme der Abfallgebinde bis zur Einlagerung konstant. Die Messung der Dosisleistung bei der Eingangskontrolle erfüllt somit strahlenschutztechnisch eine wesentliche Aufgabe, während alle weiteren Messungen lediglich Auskunft über Änderungen der räumlichen und zeitlichen Anordnungen geben.

Die Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung wird im Endlager Konrad nicht für den Zweck einer Störfallerkennung benötigt. Diese erfolgt mit Hilfe konventioneller Einrichtungen. Somit sind die Anforderungen an Redundanz und Schnelligkeit der Meßwertabfrage grundsätzlich gering. Vor diesem Hintergrund liegen die Aufgaben der Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung in der Ermittlung dieser Größen bei bestimmungsgemäßem Betrieb und bei Störfällen.

Die Ortsdosisleistung wird je nach Betriebspunkt vor Ort und über das leittechnische System in der Zentralen Warte zusätzlich angezeigt. Überschreitungen von Schwellenwerten werden mit optischen bzw. akustischen Alarmeinrichtungen gemeldet.

Ortsdosis

Die Ortsdosisüberwachung erfolgt überwiegend an Betriebspunkten, an denen die Ortsdosisleistung niedrig ist oder nur in kurzen Zeitintervallen anfällt. Typisch für diese Betriebspunkte sind Örtlichkeiten, an denen

Abfallgebinde nicht direkt gehandhabt werden, eine Überwachung jedoch im Sinne einer erweiterten meßtechnischen Kontrolle durchgeführt werden soll. Die Ortsdosisüberwachung erfolgt in einem betrieblich bedingten Meßzeitraum mit Festkörperdosimetern.

Ortsdosisleistung

Bei der Eingangskontrolle der Abfallgebinde wird die Ortsdosisleistungsüberwachung so durchgeführt, daß eine Kontrolle des Grenzwertes von $1 \cdot 10^{-4}$ Sv/h in

2 m Abstand von der Oberfläche von Containern und
1 m Abstand von der Oberfläche von zylindrischen Abfallgebinden

möglich ist. Die Messung erfolgt dabei an repräsentativen Punkten durch mehrere Sonden zur Berücksichtigung von geometrischen Effekten bei mehr als einem Abfallgebinde auf dem Transportmittel. Bei Abweichungen von den Endlagerungsbedingungen wird, wie in Kapitel 3.4.8.1 beschrieben, verfahren.

Eine Ortsdosisleistungsüberwachung erfolgt außer bei der Eingangskontrolle im Sinne einer im Prinzip nicht erforderlichen, aber erweiterten meßtechnischen Kontrolle mit ortsfesten Geräten an folgenden Örtlichkeiten:

- in der Umladehalle,
- in der Pufferhalle,
- in dem Bereich Schachthalle Konrad 2,
- im Einlagerungsfüllort und
- in den Einlagerungskammern.

Die Ortsdosisleistung wird darüber hinaus an Seitenstapelfahrzeugen, an Transportwagen und an Stapelfahrzeugen, mit denen die Abfallgebinde innerbetrieblich

transportiert werden sowie in den Bereichen gemessen, in denen bei entsprechenden Tätigkeiten vorübergehend höhere Ortsdosisleistungen als beim ungestörten Ablauf auftreten können. Hierzu zählt z. B. der Sonderbehandlungsraum.

Es wird gewährleistet, daß die Arbeitsplätze in den genannten Bereichen den Anforderungen des § 54 StrlSchV genügen. Zur Einhaltung der Anforderungen des § 54 werden für die Arbeitsplätze in den genannten Bereichen Schwellenwerte festgelegt, bei deren Überschreitung optische bzw. akustische Alarme ausgelöst werden, die außer bei den Transportmitteln auch über das leittechnische System in der Zentralen Warte angezeigt werden. Von Fahrzeugen aus verständigt der Fahrer die Zentrale Warte.

Zusätzlich zu den fest installierten Ortsdosisleistungsmeßgeräten stehen tragbare Geräte unter und über Tage zur Verfügung.

Meßgeräte und Dokumentation

Zur Ortsdosisleistungsmessung werden insbesondere Ionisationskammern oder Geiger-Müller-Zählrohre eingesetzt. Die tragbaren Geräte sind teleskopierbar. Darüber hinaus werden Meßgeräte zur Messung der Neutronenstrahlung eingesetzt.

Alle Werte der Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung werden dokumentiert und aufbewahrt.

3.4.8.3 Wetter- und Raumluftüberwachung

Im Endlager Konrad wird mit konditionierten radioaktiven Abfällen umgegangen. Somit ist nur mit geringen Freisetzungen in die Wetter bzw. in die Raumluft zu rechnen.

Es kann unterschieden werden in

- Freisetzungen flüchtiger Nuklide aus den Abfallgebinden in den Einlagerungskammern,
- Freisetzungen infolge Ablösen von Oberflächenkontaminationen an den Abfallgebinden und
- Freisetzungen aufgrund von Remobilisationen abgelagerter kontaminierte Partikel.

Eine Freisetzung flüchtiger Nuklide ist trotz entsprechender Konditionierung der radioaktiven Abfälle nicht vollständig vermeidbar. Eine Freisetzung infolge Ablösen einer Oberflächenkontamination an den Abfallgebinden wird durch die in Kapitel 3.4.8.1 beschriebenen Maßnahmen so gering wie möglich gehalten. Einer Remobilisation des abgelagerten kontaminierten Staubes wird durch Staubbekämpfungsmaßnahmen entgegengewirkt.

Meßorte und Meßverfahren

Um die niedrigen Aktivitätskonzentrationen nachweisen zu können, wird eine regelmäßige Überwachung der Wetter und der Raumluft im Hinblick auf eine Freisetzung vorwiegend in der Nähe des Entstehungsortes durchgeführt.

Eine Überwachung erfolgt hinsichtlich der radioaktiven Aerosole und der Radonfolgeprodukte. I 129, Tritium und C 14 werden durch stichprobenartige Probenahme mit mobilen Geräten in festen Zeitabständen oder bei gegebenem Anlaß (z. B. Handhabungsstörfall) überwacht. Eine diskontinuierliche Überwachung ist ausreichend, da schnelle Änderungen der Aktivitätskonzentration in den Wettern

aufgrund der Eigenschaften des Einlagerungsgutes nicht zu erwarten sind.

Aufgrund der erwarteten niedrigen Aktivitätskonzentrationen sind Direktmessungen nicht möglich. Deshalb sind die radioaktiven Stoffe zunächst anzureichern, wobei sie entsprechend ihren Eigenschaften getrennt gesammelt werden wie nachstehend aufgeführt:

- Aerosole, Radonfolgeprodukte,
- Tritium,
- C 14 und
- I 129.

Die Anreicherung der aerosolförmig vorliegenden Radionuklide (Aerosole, Radonfolgeprodukte) erfolgt auf Schwebstofffiltern. I 129 wird durch Aufsammeln auf einem separaten Filter überwacht. Tritium und C 14 werden mit einem Molekularsieb gesammelt. Die Aktivitätskonzentrationen von Tritium in der chemischen Verbindung HT und von C 14-haltigen Kohlenwasserstoffen werden in unregelmäßigen Abständen stichprobenartig mit anderen geeigneten Verfahren bestimmt.

Meß- und Probenahmegeräte

Die Aerosol- und Radonfolgeproduktaktivitäten werden durch Monitore überwacht, wobei Schrittfiltergeräte eingesetzt werden. Diese sind fest installiert und werden kontinuierlich betrieben. Es werden Monitore eingesetzt, deren Nachweisgrenze den gestellten Anforderungen entsprechen. Die Monitore erfassen durch einen gleitenden Grenzwert die Überschreitung einer vorgegebenen Aerosolkonzentration. Zusätzlich stehen mobile Probenahmeeinrichtungen mit Festfilter zur Verfügung.

Bei allen Aerosolüberwachungsverfahren wird die Luft mit Hilfe eines Sauggerätes durch ein Absolutfilter gesaugt, das für die in Frage kommenden Aerosole ein

Rückhaltevermögen von größer als 99 % hat. Über die Bestaubungsdauer, den Durchsatz durch das Filter und die gemessene Alpha-/Betaaktivität auf dem Filter errechnet sich die Alpha-/Betaaktivitätskonzentration der Luft. Anschließende gammaspektrometrische Laboruntersuchungen können Auskunft über die Radionuklidzusammensetzung geben. I_{129} wird in einer mobilen Probenahmeeinheit auf einem Aktivkohlefilter gesammelt, der nach entsprechender Behandlung (Aktivierung des Jods) gammaskopmetrisch ausgewertet wird.

Für die Überwachung von Tritium und C 14 werden mobile Probenahmeeinheiten vorgesehen, die eine Anreicherung auf einem Molekularsieb vornehmen. Die Ausmessung der so gesammelten Aktivität erfolgt getrennt im Labor für Tritium und C 14 mit der Flüssigkeitszintillationsmethode.

Meßwerterfassung und Dokumentation

Die aus den ortsfesten Meßanordnungen resultierenden Meßwerte werden im leittechnischen System verarbeitet und gespeichert.

Daten, die im Rahmen der nuklidspezifischen Messungen im Strahlenschutzlabor anfallen, werden dokumentiert.

3.4.8.4 Personenüberwachung

Die Personenüberwachung gliedert sich in die Überwachungsmaßnahmen zur

- Überwachung der externen Strahlenexposition,
- Inkorporationsüberwachung und
- Kontaminationsüberwachung.

Entsprechend den endlagerspezifischen Gegebenheiten sind die drei Überwachungsmaßnahmen von unterschiedlicher Bedeutung. Eine externe Strahlenexposition ist aufgrund der Handhabung mit konditionierten radioaktiven Abfällen nicht zu vermeiden. Kontamination und Inkorporation werden aufgrund der Konditionierung der Abfälle weitgehend vermieden. Dabei wird im Endlager einer Personenkontamination bzw. Inkorporation dadurch vorgebeugt, daß die Abfallgebinde am Eingang entsprechend kontrolliert, relevante Teile der Anlage überwacht und geeignete administrative Maßnahmen getroffen werden.

Alle im Kontrollbereich tätigen Personen sind beruflich strahlenexponierte Personen und werden in die Strahlenschutzüberwachung einbezogen. Hierzu zählen insbesondere die Personen, die mit der Handhabung und Einlagerung der Abfallgebinde und der Versatzeinbringung beschäftigt sind, sowie das Strahlenschutzpersonal.

Externe Strahlung

Bei der Eingangskontrolle wird die Dosisleistung aller Abfallgebinde überprüft. Hiernach ist im bestimmungsgemäßen Betrieb keine Änderung dieser Dosisleistung bis zur Einlagerung möglich. Innerbetrieblich ist deshalb mit definierten Strahlenpegeln zu rechnen, die durch die Konfiguration der Abfallgebinde an dem jeweiligen Betriebspunkt bestimmt werden. Die Höhe der externen Strahlenexposition des Betriebspersonals wird durch die Aufenthaltsdauer in der Nähe der Abfallgebinde bestimmt.

Die empfangene Dosis aller im Kontrollbereich tätigen Personen wird durch Messung der Personendosis ermittelt. Fremdpersonal wird hierbei wie eigenes Personal behandelt.

Beruflich strahlenexponierte Personen tragen ein amtliches und ein nichtamtliches Dosimeter. Das amtliche Dosimeter wird in regelmäßigen Abständen ausgewertet und genügt § 63 Abs. 3 StrlSchV. Das nicht amtliche Dosimeter ist jederzeit auswertbar und genügt somit § 63 Abs. 5 StrlSchV. Abweichend von dieser Regelung tragen u. a. Besucher, deren Zutritt zum Kontrollbereich besonderen administrativen Regeln unterliegt, ein nichtamtliches Dosimeter.

Zusätzlich zu den genannten Dosimetertypen stehen für besondere Arbeiten, z. B. in der Nähe der Abfallgebinde bei erhöhter Ortsdosisleistung, Alarm- und Teilkörpersdosimeter zur Verfügung.

Inkorporation

Für die Inkorporation radioaktiver Stoffe ist zwischen den Hauptaufnahmearten Inhalation und Ingestion zu unterscheiden. Aufgrund der Konditionierung der radioaktiven Abfälle ist das Inkorporationsrisiko gering.

Durch die Eingangskontrolle wird eine wirksame Oberflächenkontaminationsüberwachung und durch die Wetterüberwachung eine Kontrolle langfristiger potentieller Freisetzungen aus Abfallgebinde durchgeführt und damit unzulässigen Inhalationen vorgebeugt.

Eine Ingestion im Kontrollbereich wird durch administrative Maßnahmen zuverlässig ausgeschlossen werden. Für die Nahrungs-, insbesondere Flüssigkeitsaufnahme unter Tage stehen dem Personal Pausencontainer außerhalb des Kontrollbereichs zur Verfügung.

Eine regelmäßige Inkorporationskontrolle wird deshalb aus den genannten Gründen nicht durchgeführt. Überwachungen aus besonderem Anlaß werden bei externen, routinemäßig mit derartigen Messungen befaßten Stellen durchgeführt.

Ärztliche Überwachungsmaßnahmen gemäß §§ 67 bis 71 StrlSchV sind hiervon nicht berührt, ebensowenig Untersuchungen nach den bergrechtlichen Bestimmungen.

Kontamination

Die Möglichkeit einer Kontaminierung im Endlager ist gering. Dementsprechend erfolgt eine Kontaminationskontrolle des Personals regelmäßig nur beim Verlassen des Kontrollbereichs über und unter Tage mit in ausreichender Anzahl verfügbaren Hand-Fuß-Kleider (HFK)-Monitoren. Die Benutzung dieser Monitore wird durch bauliche und administrative Maßnahmen sichergestellt. Bei der Aufstellung werden die Umgebungsbedingungen so berücksichtigt, daß der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte gemäß Anlage IX der StrlSchV geführt werden kann.

Soweit innerhalb des Kontrollbereichs eine Kontamination nicht auszuschließen ist, stehen entsprechende Meßgeräte zur Verfügung. Es handelt sich um Wandgeräte mit abnehmbarer Handsonde oder ggf. um HFK-Monitore. Das Personal kann bei Verdacht auf Kontamination, z. B. bei Handhabung kontaminierte Gegenstände, sich selbst oder Gegenstände ausmessen. Damit wird jede unzulässige Kontamination festgestellt und ihre Verschleppung vermieden.

Kontaminationen werden unverzüglich beseitigt. Für die Dekontamination steht Schutzkleidung zur Verfügung, die dekontaminiert oder als radioaktiver Abfall beseitigt wird.

Personendekontaminationen können sowohl unter Tage als auch über Tage vorgenommen werden. Die dabei anzuwendenden Verfahren richten sich nach dem Kontaminationsgrad, nach dem Erfolg der angewendeten Verfahren und nach der tolerierbaren Restkontamination. Im allgemeinen werden Wasser und Seife, seltener abrasive Mittel, eingesetzt.

Kontrollbereichsübergänge

Der Kontrollbereich kann über und unter Tage nur durch besonders ausgestattete Übergänge betreten werden (Kap. 3.4.6).

Am Übergang über Tage auf der Schachtanlage Konrad 2 befinden sich Einrichtungen

- zum Ablegen von Personendosimetern,
- zur Dosiserfassung beim Verlassen des Kontrollbereichs,
- zur Kontaminationsüberwachung,
- zur Personendekontamination und
- zur Ablage kontaminierter Kleidung.

Es wird sichergestellt, daß der Kontrollbereich nur mit betriebsbereiten und den Bestimmungen des § 63 StrlSchV Absatz 3 u. 5 genügenden Dosimetern betreten wird. Die Dosimeter werden nach Verlassen des Kontrollbereichs abgelegt. Das nichtamtliche Dosimeter wird sofort, das amtliche Dosimeter periodisch ausgewertet.

Außerdem wird beim Verlassen des Kontrollbereichs eine Kontaminationskontrolle durchgeführt. Kontaminierte Kleidung wird entweder dekontaminiert oder als radioaktiver Abfall beseitigt. An Personen können ebenfalls Dekontaminationsmaßnahmen vorgenommen werden.

Untertägige Kontrollbereichsübergänge (Kap. 3.4.6.4) verfügen über eine ähnliche, den Umgebungsbedingungen

angepaßte Ausstattung. Das Personal hat jedoch bereits über Tage auf der Schachtanlage Konrad 1 die Dosimeter entgegengenommen. Im Kontaminationsfall werden die über-tägigen Dekontaminationseinrichtungen auf der Schacht-anlage Konrad 2 genutzt. Dorthin werden die Personen unter entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen gebracht.

3.4.8.5 Aktivitätsabgabeüberwachung

Aufgabe der Aktivitätsabgabeüberwachung ist die Kontrolle der mit den Abwettern (Diffusor) und der Abluft (Kamin) sowie den Abwässern in die Umgebung abgeleiteten Aktivität. Die Ableitungen aus dem Endlager über diese Wege sind sehr gering. Bei Immissionsmessungen (Kap. 3.4.8.6) ist mit nicht meßbaren Aktivitätskonzentrationen zu rechnen. Deshalb kommt der Emissionsüberwachung besondere Bedeutung zu.

Die Ableitungen aus dem Endlager erfolgen unter Beachtung von § 45 StrlSchV. Aus den Antragswerten folgen Konzentrationsgrenzwerte, die für die Überwachung zu betrachten sind. Dem § 46 Abs. 1 StrlSchV wird Rechnung getragen.

Außerdem ist im Endlager damit zu rechnen, daß Betriebsstoffe, z. B. Öle kontaminiert werden können. Liegt die spezifische Aktivität der Betriebsstoffe unterhalb der Grenzwerte entsprechend § 4 Abs. 4, Satz 1, Nr. 2e StrlSchV, werden sie konventionell weiterbehandelt. Bei Überschreitung der Grenzwerte werden die Betriebsstoffe gesondert gesammelt und beseitigt.

Abwetter (Diffusor)

Eine Kontamination der Abwetter ist durch Nuklide, die aus den konditionierten Abfällen freigesetzt werden und in geringem Maße durch sich lösende Oberflächenkontamination der Abfallgebinde möglich. Relevante Nuklide sind Tritium und C 14. Außerdem wird Radon abgeleitet, das teilweise natürlichen Ursprungs ist und bereits heute aus dem anstehenden Gebirge freigesetzt wird.

Wegen der geringen Konzentrationen der Radionuklide in den Abwettern der Einlagerungskammern (Kap. 3.4.8.3) ist deren direkter Nachweis nicht möglich. Im Bereich

des Diffusors, wo nach dem Zusammenführen der unterschiedlichen Abwetterströme die Abgabeüberwachung durchgeführt wird, ist die Aktivitätskonzentration noch niedriger. Zur Aktivitätsabgabeüberwachung kommen daher anreichernde oder sammelnde Meßverfahren zum Einsatz.

Zur Überwachung und Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern werden deren Abgaberraten ermittelt.

Die Überwachung erfolgt mit Hilfe einer Bypassleitung zum Abwetterkanal. Die Leitung führt in einen Meßraum, in dem die Radionuklide für die eigentliche Messung auf entsprechenden Trägermaterialien angereichert bzw. gesammelt werden. Die Auswertung der Trägermaterialien für die Bilanzierung erfolgt im Labor. Analysen, die spezifische, im Endlager nicht vorhandene Meß- und Auswerteverfahren benötigen, werden extern durchgeführt, zum Beispiel für den Nachweis von I 129 durch eine Aktivierungsanalyse.

Bei nicht bestimmungsgemäßem Betrieb ist mit einer Freisetzung von Aerosolen zu rechnen. Aus diesem Grund wird zusätzlich als Überwachung die kontinuierliche Messung der Aerosolfilter vorgesehen. Die Meßwerte werden im leittechnischen System verarbeitet und Grenzwertüberschreitungen gemeldet. Als weitere Informationsquelle steht das innerbetriebliche Wetterüberwachungssystem zur Verfügung. Die Trägermaterialien der Probenahmegeräte werden in diesem Fall in kürzeren Zeitintervallen ausgewertet als bei bestimmungsgemäßem Betrieb.

Die Bilanzierung der Ableitungen erfaßt folgende Nuklide bzw. Nuklidgruppen (Kap. 3.4.7.1):

- Tritium,
- C 14,
- I 129,

- Radon/Radonfolgeprodukte,
- radioaktive Aerosole (Beta/Gammastrahler) und
- radioaktive Aerosole (Alphastrahler).

Die Überwachung erfolgt für

- radioaktive Aerosole und
- Radonfolgeprodukte.

Als Probenahmegeräte werden für die einzelnen Nuklide bzw. Nuklidgruppen vorgesehen

- Filter für radioaktive Aerosole, Sr 90 und Radonfolgeprodukte,
- Aktivkohlefilter für I 129 sowie
- Molekularsiebe für Tritium und C 14.

Um die Gesamtaktivitätsabgabe zu ermitteln, wird außerdem im Abwetterkanal der Volumenstrom der Abwetter gemessen.

Die bei der Abwetterüberwachung ermittelten Daten werden gesammelt.

Abluft (Kamin)

Die während der Handhabung der Abfallgebinde über Tage aus ihnen freigesetzte Radioaktivität und die bei der Handhabung über Tage aus einer Ablösung nichtfest haftender Oberflächenkontamination stammende Radioaktivität sind klein gegen die aus eingelagerten Abfallgebinden freigesetzte Radioaktivität (Kap. 3.4.2.3). Diese unter normalen betrieblichen Bedingungen sehr geringe Menge über Tage freigesetzter bzw. sich lösender Radioaktivität wird durch die Lüftungsanlagen über den Abluftkamin in die Umgebung abgeleitet. Zum Nachweis, daß die insgesamt beantragten Abgabewerte "Luft" eingehalten werden, findet eine laufende Überwachung und Bilanzierung statt.

In dem in der Pufferhalle eingerichteten Meßraum befinden sich ein Jod-Sammler, ein Tritium-/C 14-Sammler und ein Festfiltergerät (Aerosole) mit kontinuierlich betriebenem und on-line angeschlossenem Detektor. Die Sammler werden über eine Bypassleitung mit Abluft aus dem Kamin versorgt.

Für I 129, Tritium und C 14 erfolgt eine Bilanzierung durch Auswertung der Trägermaterialien im Labor, ggf. extern (s. o. Abwetter). Mit dem on-line betriebenen Festfiltergerät können unvorhergesehene Aktivitätsfreisetzungen (nicht bestimmungsgemäßer Betrieb) sofort erkannt werden (Überwachung).

Abwasser

Die Abwässer aus dem Kontrollbereich der Schachtanlage Konrad setzen sich zusammen aus

- möglicherweise kontaminiertem Abwasser (z. B. Anfall bei Dekontaminationsarbeiten) und
- Grubenwässern.

Das mögliches kontaminierte Abwasser (Kap. 3.4.4), das im Labor oder bei Dekontaminationsarbeiten anfällt, wird entweder vor Ort gesammelt und anschließend in übertägige, redundant ausgelegte Behälter gebracht oder direkt dorthin geleitet. Hiernach wird eine Probe genommen und mit einem Teil der Probe eine Entscheidungsmessung vorgenommen. Zusätzlich wird für Bilanzierungszwecke ein Teil der Probe im Labor analysiert, ein weiterer Teil wird zur Beweissicherung bzw. nach Bildung von Mischproben über längere Zeiträume archiviert.

Anhand des Ergebnisses der Entscheidungsmessung wird der Inhalt des jeweiligen Behälters entweder über die biologische Kläranlage in die Vorflut abgeleitet oder einer Konditionierung zugeführt. Ein Zulauf weiteren

Wassers vor der Ableitung wird durch Verriegelung ausgeschlossen.

Sollten bei nicht bestimmungsgemäßem Betrieb in der Umladehalle größere Wassermengen anfallen, die aufgrund ihrer Herkunft nicht sicher kontaminationsfrei sind, so wird dieses Wasser in dafür vorgesehenen Behältern im Kellergeschoß der Umladeanlage (Kap. 3.2.4.1) gesammelt. Erst nach Probenahme und Entscheidungsmessung erfolgt dessen Abgabe.

Grubenwässer (Kap. 3.4.4) werden unter Tage am Schacht Konrad 2 gesammelt und über diesen in Sammelbehälter nach über Tage gepumpt. Durch den Kontakt mit den Abwettern können die Grubenwässer Tritium und radioaktive Aerosole aufnehmen. Aus diesem Grund wird vor deren Ableitung in die Vorflut eine Messung durchgeführt, um entscheiden zu können, ob eine Ableitung möglich ist oder nicht (Entscheidungsmessung), und eine für die abzuleitende Menge repräsentative Probe genommen. Durch Ausmessung der repräsentativen Probe wird unter Berücksichtigung der abgeleiteten Menge eine Bilanzierung erreicht. Es ist durch Verriegelung sichergestellt, daß eine Zuspeisung von Grubenwässern zwischen Entscheidungsmessung, Probenahmen und Abgabe nicht möglich ist. Die Entscheidungsmessung und die Analyse der Proben erfolgt wie bei den möglicherweise kontaminierten Abwässern.

Anhand der Proben wird die Ableitung der Aktivität sowohl mit den Grubenwässern als auch mit dem möglicherweise kontaminierten Abwasser bilanziert (Kap. 3.4.7.2). Hierzu wird die Aktivität von Tritium durch Flüssigkeitsszintillation bestimmt und zusätzlich wird zur Ermittlung der Aktivität des Radionuklidgemisches ein Energiespektrum der Gammastrahlung aufgenommen. Sr 90 wird nach radiochemischer Abtrennung bilanziert. Neben

den genannten Verfahren besteht die Möglichkeit, Einzel-nuklide durch Spezialverfahren bei externen Laboratorien ermitteln zu lassen.

Die im Rahmen der Abwasserüberwachung ermittelten Werte werden dokumentiert.

3.4.8.6 Umgebungsüberwachung

Gemäß Richtlinie des BMI zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 16.10.1979 sind ein Betreibermeßprogramm und ein Programm einer unabhängigen Meßstelle mindestens zwei Jahre vor Inbetriebnahme zu beginnen. Die Richtlinie umfaßt Ortsdosismessungen und nuklidspezifische Einzelmessungen an den Proben. Das Betreibermeßprogramm hat bereits 1988 begonnen.

Die Überwachung der Immissionen während der Betriebsphase ergänzt die Überwachung der radioaktiven Stoffe, die mit den Abwettern, der Abluft und dem Abwasser in die Umgebung abgeleitet werden. Ihre Ergebnisse dienen der Beweissicherung, der Beurteilung der Einhaltung der Dosisgrenzwerte im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie der Beurteilung von Störfallauswirkungen. Die Festlegung der zu messenden Radionuklide und der erforderlichen Nachweisgrenzen erfolgte in sinngemäßer Anwendung der Richtlinie des BMI zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 16. Oktober 1979.

Die Überwachungsmaßnahmen werden

- am Zaun des Betriebsgeländes Schachtanlage Konrad 2,
- im außerbetrieblichen Überwachungsbereich und
- in Bereichen, die nicht Strahlenschutzbereiche sind,

durchgeführt.

Es wird eine Wetterstation auf dem Gelände der Schachtanlage Konrad 1 betrieben.

Luftpfad

Die Gammaortsdosis wird mit Festkörperdosimetern entlang des Zaunes der Schachtanlage Konrad 2 und an weiteren ausgewählten Stellen im außerbetrieblichen Überwachungsbereich gemessen.

Die Radioaktivität der Aerosole der bodennahen Luft wird am Anlagenzaun, am ungünstigsten Aufpunkt und an einem Referenzort durch gammaspektrometrische Messungen, auf Sr 90 und auf Gesamtalphaaktivität überwacht.

Die Radioaktivität von Boden- und Bewuchsproben des ungünstigsten Aufpunktes und eines Referenzortes wird durch gammaspektrometrische Messungen sowie durch nuklidspezifische Messungen für Tritium, C 14, Sr 90 und I 129 ermittelt.

Abwasserpfad

Das Abwasser wird in den Vorfluter Aue eingeleitet. Vor und hinter der Einleitungsstelle werden kontinuierliche Probenahmen durchgeführt.

Bei allen Wasserproben wird eine Gammaspektrometrie sowie eine gesonderte Aktivitätskonzentrationsbestimmung für Tritium, Pu 238 und Cm 244 durchgeführt.

Vorgesehene Meß- und Auswerteeinrichtungen

Für die durchzuführenden Überwachungsmaßnahmen werden handelsübliche Meß- und Auswerteeinrichtungen eingesetzt. Qualitätskontrollen erfolgen durch Teilnahme an den von den Leitstellen für die Überwachung der Radioaktivität durchgeführten Ringanalysen.

Im einzelnen werden die Überwachungsmaßnahmen wie folgt durchgeführt:

Die Ermittlung der Ortsdosis erfolgt mit Thermolumineszenzdosimetern, die mit einem im Strahlenschutzlabor deponierten Lesegerät ausgewertet werden. Im Rahmen der Störfallvorsorge werden tragbare Ortsdosisleistungsmeßgeräte bereitgehalten.

Die Ermittlung der Kontamination von Boden und Bewuchs erfolgt im Rahmen der Umgebungsüberwachung durch Probennahme und Analyse. Zur Störfallvorsorge wird zusätzlich ein tragbarer Kontaminationsmonitor bereitgehalten.

Die Ermittlung der Tritiumkonzentration in Wasserproben aus dem Vorfluter erfolgt mit dem Flüssigkeitsszintillationsverfahren (LSC). Das hierzu benötigte Meßgerät befindet sich im Strahlenschutzlabor.

Für die Auswertung der Wasser- und Aerosolfilterproben auf Gammastrahler steht im Strahlenschutzlabor ein Gammaspektroskopie-Meßplatz mit automatischer Auswertung zur Verfügung.

Für die Anreicherung der Aerosole der bodennahen Luft werden Festfilter eingesetzt. Darüber hinaus werden im Rahmen der Vorsorgemaßnahmen bei Störfällen tragbare Aerosolsammler bereitgehalten.

Dokumentation und Berichterstattung

Die Ergebnisse aus dem Immissionsüberwachungsprogramm werden aufgezeichnet. Die Aufzeichnungen enthalten

- überwachte Medien,
- überwachte Radionuklide,
- Lage und Anzahl der Probenahme- und Meßorte,
- Häufigkeit der Probenahmen und Messungen,
- Meßergebnisse,

- erreichte Nachweisgrenzen und
- Probenahmedatum bzw. Sammelzeitraum.

Es werden zusammenfassende Jahresberichte erstellt, die eine Bewertung der Meßergebnisse enthalten.

Ermittlung meteorologischer Ausbreitungsbedingungen

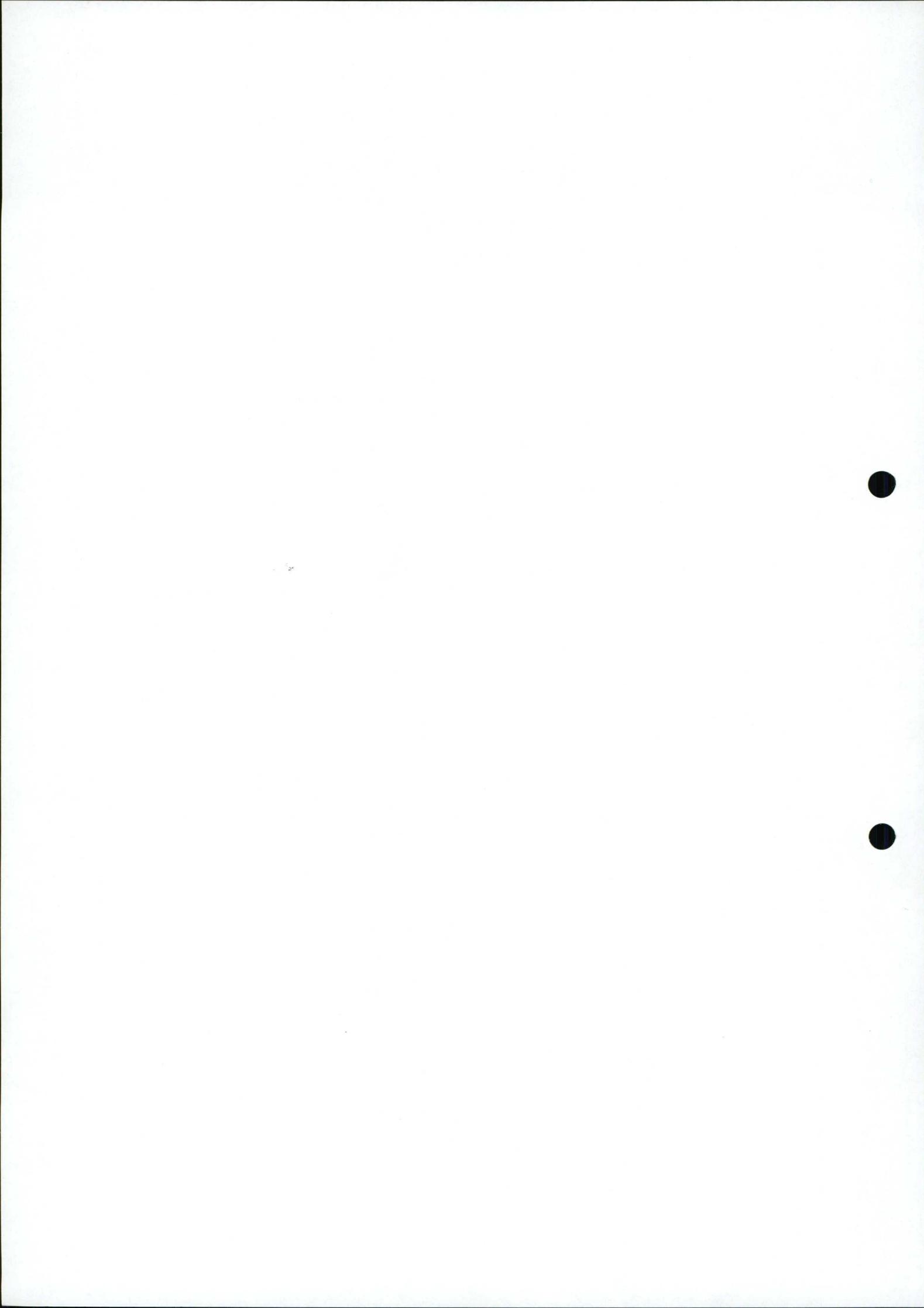
Die zur Bestimmung der Ausbreitungsfaktoren erforderlichen meteorologischen Einflußgrößen (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Strahlungsbilanz, Niederschlagsmenge) werden mit der auf dem Gelände der Schachtanlage Konrad 1 bestehenden Wetterstation gemessen und registriert.

3.4.9 Literaturverzeichnis

/1/ W. Jacobi, H. G. Paretzke, K. H. Ehling:
Strahlenexposition und Strahlenrisiko der Bevölkerung, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München, GSF-Bericht S-710, Februar 1981.

/2/ Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990, Bundesanzeiger 42 (1990) Nr. 64 a, S. 1-23.

/3/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I S. 2905) in der Neufassung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321) unter Berücksichtigung der Berichtigungen vom 16. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1262), zuletzt geändert durch Verordnung vom 3. April 1990 (BGBl. I S. 607).



Textband

3.5 Störfallanalyse

KAPITEL

3.5 STÖRFALLANALYSE

UNTERKAPITEL

3.5.1 Zusammenfassung

3.5.2 Auslegungsstörfälle

3.5.2.1 Störfälle der Klasse 1

3.5.2.1.1 Lastannahmen

3.5.2.1.2 Störfallbedingte Freisetzunganteile

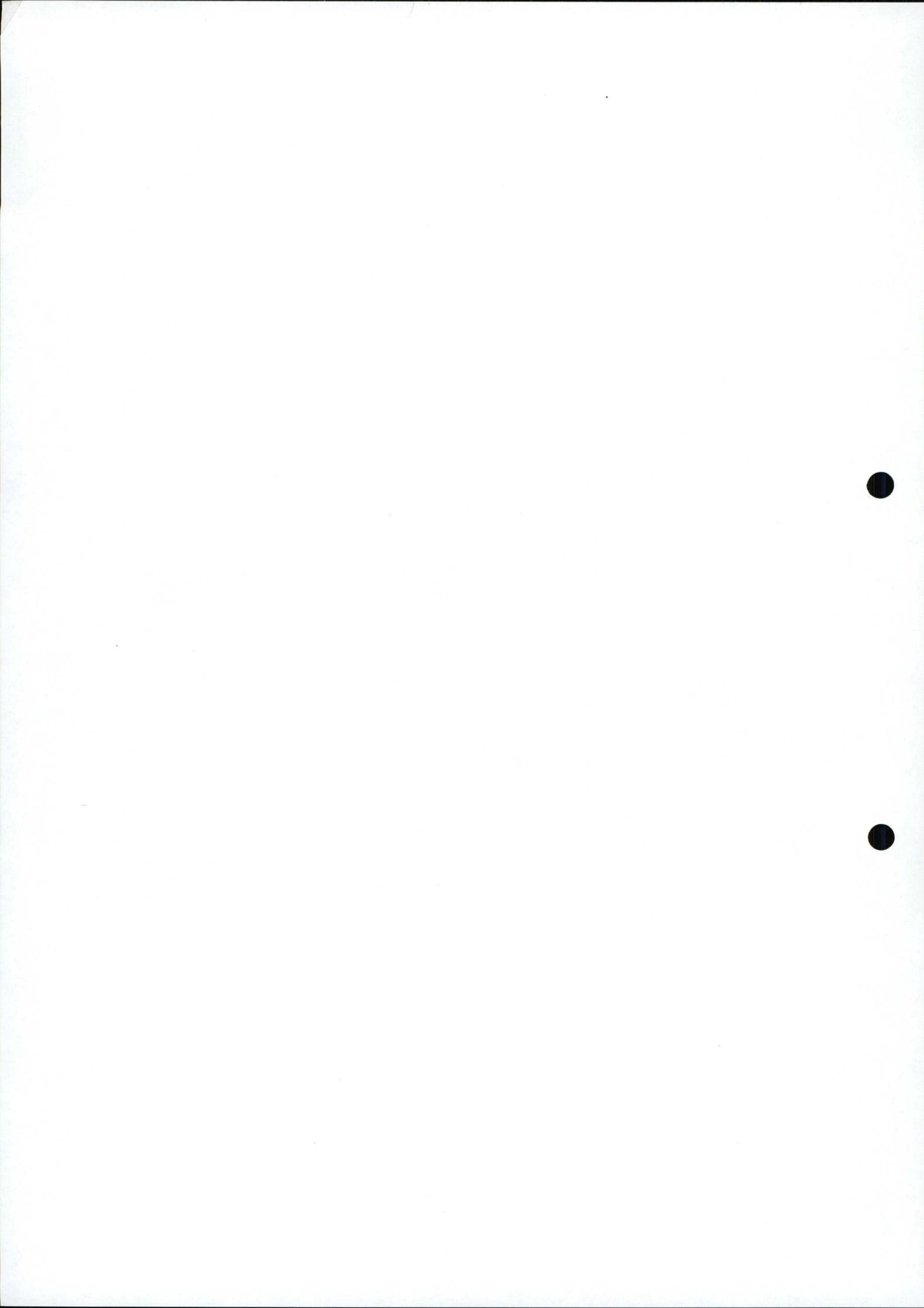
3.5.2.1.3 Rückhaltungen in der Anlage

3.5.2.1.4 Atmosphärische Ausbreitung und potentielle
Strahlenexposition in der Umgebung

3.5.2.2 Störfälle der Klasse 2

3.5.3 Ereignisse, die dem Restrisiko zugeordnet sind

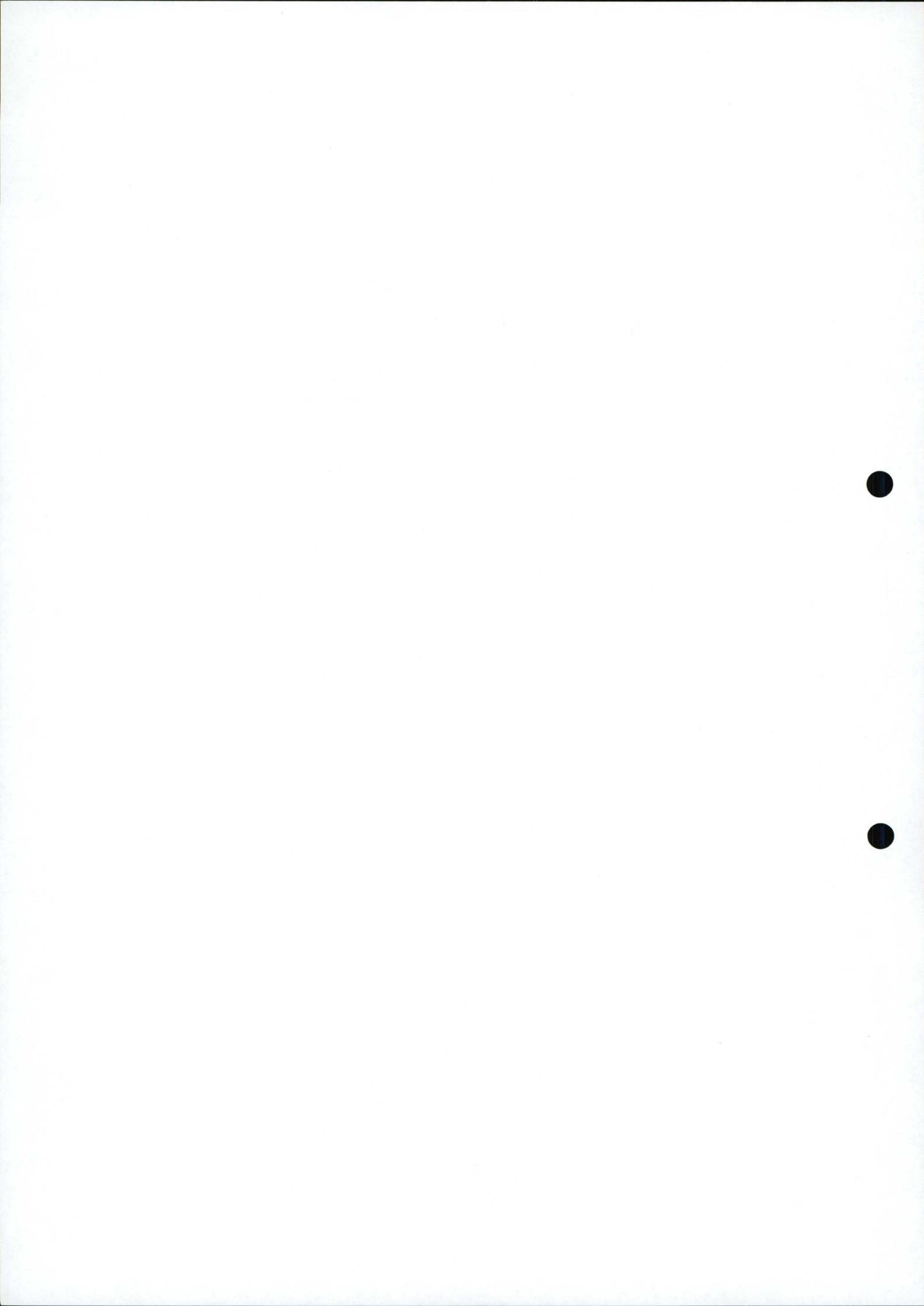
3.5.4 Literaturverzeichnis



3.5 STÖRFALLANALYSE

3.5.1 Zusammenfassung

Bei der Auslegung des Endlagers Konrad werden Störfälle auf der Basis einer systematischen Analyse der vorgesehenen Betriebsabläufe in der Anlage und der standortbedingten sowie der standortunabhängigen Einwirkungsmöglichkeiten auf die Anlage berücksichtigt. In den Störfallanalysen werden Ereignisabläufe untersucht, die während der Betriebszeit der Anlage zu einer Freisetzung von Radionukliden in ihre Umgebung führen können. Dabei wird zwischen Störfällen unterschieden, die durch Auslegungsmaßnahmen an der Anlage bzw. den Abfallgebinden vermieden werden und solchen, die in ihren radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung durch die Auslegung der Anlage bzw. der Abfallgebinde so begrenzt werden, daß Störfallplanungswerte nicht überschritten werden.



3.5.2 Auslegungsstörfälle

Bei den der Auslegung des Endlagers Konrad zugrunde liegenden Störfällen (Auslegungsstörfälle) handelt es sich um Ereignisabläufe, die gemäß Definition in Anlage I zu § 2 StrlSchV als Störfälle zu bezeichnen sind und die zu einer Freisetzung von Radionukliden in die Umgebung des Endlagers über den Luftpfad führen können. Für die Betriebsphase ist nur dieser Freisetzungspfad von Bedeutung.

Die Störfallanalysen beinhalten die Ermittlung von Störfällen, die aufgrund anlageninterner Ereignisse (EVI) sowie durch Einwirkungen von außen (EVA) bedingt sind. Sie bestehen in einer systematischen Analyse der vorgesehenen Betriebsabläufe und der standortbedingten und standortunabhängigen Einwirkungsmöglichkeiten auf die Anlage zur Identifizierung und Erfassung möglicher Störfälle.

Zur Ermittlung der durch anlageninterne Ereignisse bedingten Störfälle wird das Endlager Konrad unterteilt in die drei Anlagenbereiche

- übertägige Anlage,
- Schachtförderanlage und
- untertägige Anlage.

Diese werden auf die Möglichkeit von mechanischen bzw. thermischen Einwirkungen auf die Abfallgebinde untersucht. Unter der übertägigen Anlage und der Schachtförderanlage werden hier nur die Anlagen am Schacht Konrad 2 verstanden, da nur in diesen mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird.

Für die angegebenen Anlagenbereiche ergeben sich folgende Störfallmöglichkeiten:

Übertägige Anlage

- Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung,
- Absturz von Lasten auf Abfallgebinde,
- Kollision von Transportmitteln ohne Brand,
- Kollision von Transportmitteln mit Brand,
- Fahrzeugbrand,
- anlageninterner Brand und
- anlageninterne Explosion.

Schachtförderanlage

- Absturz von Abfallgebinden bei der Beschickung des Förderkorbes,
- Absturz von Abfallgebinden bei der Förderung nach unter Tage,
- Übertreiben des Förderkorbes,
- Absturz von Lasten auf Abfallgebinde im Förderkorb und
- anlageninterner Brand.

Untertägige Anlage

- Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung,
- Absturz von Lasten auf Abfallgebinde,
- Steinfall,
- Kollision von Transportmitteln ohne Brand,
- Kollision von Transportmitteln mit Brand,
- anlageninterner Brand an Sonderpunkten,
- anlageninterne Explosion und
- Fahrzeugbrand.

Ereignisse, die zur Gruppe der äußeren Einwirkungen zählen, sind

- Flugzeugabsturz,
- Explosionsdruckwelle,

- Hochwasser,
- Erdbeben und
- sonstige Einwirkungen von außen wie Blitzschlag, Wind, Eis, Schnee und äußere Brände.

Die Ereignisse Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle werden aufgrund ihrer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit dem Restrisiko zugeordnet. Sie zählen nicht zu den Auslegungsstörfällen. Besondere Maßnahmen zur Schadensvorsorge sind aufgrund der geringen Auswirkungen, die sich aus den Ergebnissen einer entsprechenden Sicherheitsanalyse ergeben, für diese Ereignisse nicht vorgesehen.

Ereignisse, gegen die durch entsprechende Auslegungsmaßnahmen an der Anlage, an den Abfallgebinden oder durch administrative Maßnahmen beim Betrieb der Anlage Vorsorge getroffen ist, werden den Auslegungsstörfällen zugeordnet.

Zur Ermittlung der Auslegungsstörfälle werden zunächst Störfälle zu Störfallgruppen zusammengefaßt, die hinsichtlich ihres Ereignisablaufs und der dabei für die Abfallgebinde auftretenden Belastungen vergleichbar sind. Darüber hinaus werden sie hinsichtlich der zu treffenden Vorsorgemaßnahmen bewertet.

Ein Störfall wird dahingehend bewertet, ob sein Eintritt durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen hinreichend sicher zu vermeiden ist oder ob durch Vorsorgemaßnahmen die radiologischen Auswirkungen beim Störfalleintritt derart zu begrenzen sind, daß Störfallplanungswerte unterschritten werden.

Zur Vermeidung eines Störfalls müssen Ursache, Ablauf und damit auch die auftretenden Lasten des angenommenen Ereignisses beeinflußt werden. Für die Begrenzung von Störfallauswirkungen ist die Verringerung der Emission von Schadstoffen durch Rückhaltungen hinreichend. Dies

gilt auch für eine entsprechende Abfallgebindeauslegung, die den Quellterm und damit die Freisetzung aus dem Abfallgebinde begrenzt.

Zur Vermeidung eines Störfalls müssen primär Maßnahmen im Rahmen der Anlagenauslegung getroffen werden. Zur Begrenzung der Auswirkungen dagegen kann sowohl eine entsprechende Auslegung der Anlage als auch eine Auslegung der Abfallgebinde beitragen. Im oben dargestellten Sinne werden die Auslegungsstörfälle hinsichtlich der Art ihres Vorsorgenachweises folgenden Klassen zugeordnet

Klasse 1: Störfälle, die in ihren radiologischen Auswirkungen durch die Auslegung der Anlage bzw. der Abfallgebinde begrenzt werden.

Klasse 2: Störfälle, die durch Auslegungsmaßnahmen an der Anlage bzw. den Abfallgebinden vermieden werden.

Bei Auslegungsstörfällen, die der Klasse 1 zugeordnet sind, wird, falls eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus Abfallgebinden nicht ausgeschlossen werden kann, durch radiologische Rechnungen gezeigt, daß die Störfallplanungswerte gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV eingehalten werden.

Bei Auslegungsstörfällen, die der Klasse 2 zugeordnet sind, wird in Kapitel 3.5.2.2 dargelegt, daß die getroffenen Vorsorgemaßnahmen hinreichend sind, um die Störfälle zu vermeiden.

Die der Auslegung des Endlagers Konrad zugrundeliegen den Störfälle sind in den Tabellen 3.5.2/1 und 3.5.2/2 aufgeführt. In Anlehnung an die in den Störfall-Leitlinien /1/ verwendete Terminologie ergibt sich die folgende Zuordnung:

- Tabelle 3.5.2/1 enthält Störfälle, die in ihren radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung durch die Auslegung der Anlage bzw. der Abfallgebinde begrenzt werden. Für sie muß der Nachweis der Einhaltung der Störfallplanungswerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV durch radioökologische Berechnungen geführt werden (Störfälle der Klasse 1).
- Tabelle 3.5.2/2 enthält die Störfälle, die durch Auslegungsmaßnahmen an der Anlage bzw. den Abfallgebinden vermieden werden. Für sie muß der Nachweis geführt werden, daß die getroffenen Vorsorgemaßnahmen ausreichend sind (Störfälle der Klasse 2).

In der 1. Spalte der Tabellen 3.5.2/1 und 3.5.2/2 werden die Störfallgruppen genannt. Die in der 2. Spalte bei der Tabellen wiedergegebenen Störfalldefinitionen hängen von der Auslegung und der Betriebsweise der Anlage ab. Dies trifft insbesondere für die Lastannahmen zu, die in Spalte 3 der Tabelle 3.5.2/1 aufgeführt sind.

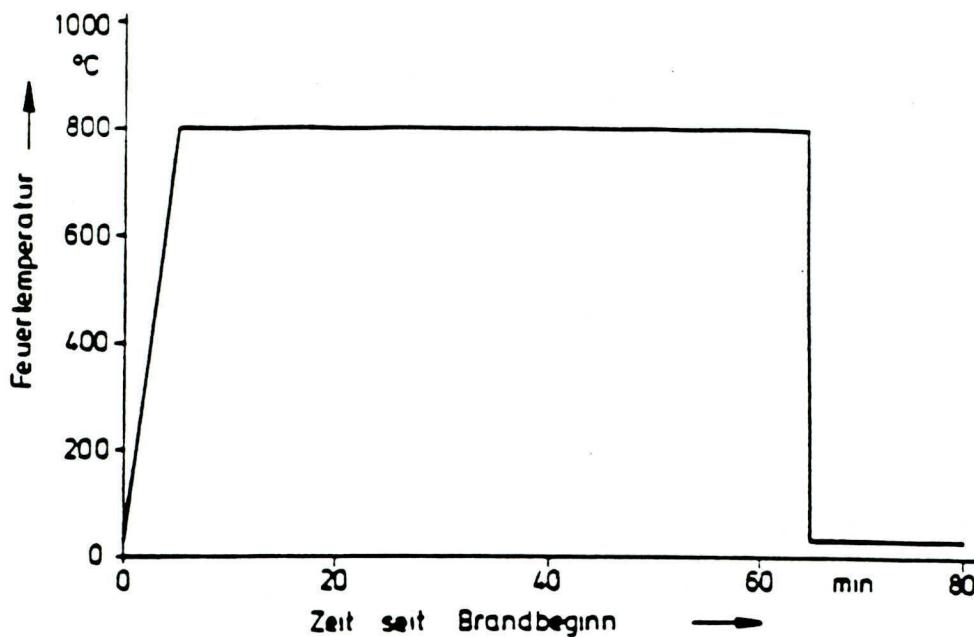


Abb. 3.5.2/1 Temperatur-Zeitverlauf für den Brand eines Transportmittels unter Tage

Störfallgruppe	Störfalldefinition		Bemerkungen
	Ergebnis	Lastannahme	
1.1 Überträgige Anlage			
1.1.1. Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung	Absturz von Containern oder Tauschpaletten mit Abfallgebinden von Transportmitteln oder Umschlagseinrichtungen (z. B. Kran) auf den Halbboden	- Lastart: Prall* - Absturzhöhe: 3 m - Aufprallgeschwindigkeit: 8 m/s	Für die Berechnung der radiologischen Auswirkungen wird der aus den Lastannahmen resultierende Quellterm zugrunde gelegt.
1.2 Schachtförderanlage	-	-	-
1.3 Untertägige Anlage			
1.3.1 Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung	Absturz von Containern oder Tauschpaletten von Transportmitteln oder Umschlagseinrichtungen	- Lastart: Prall* - Absturzhöhe: 5 m - Aufprallgeschwindigkeit: 10 m/s	Für die Berechnung der radiologischen Auswirkungen wird der aus den Lastannahmen resultierende Quellterm zugrunde gelegt.
1.3.2 Brand eines Transportmittels	Thermische Einwirkung auf Abfallgebinde infolge Fahrzeugbrand	- Temperatur-Zeitverlauf s. Abb. 3.5.2/1 - Brandgut: Dieselöl, Hydrauliköl und sonstige Öle (zus. ca. 700 l), Gummi	Für die Berechnung der radiologischen Auswirkungen wird der aus den Lastannahmen resultierende Quellterm zugrunde gelegt.

*) Unter Prall wird ein Stoß oder eine stoßartige Belastung der Abfallgebinde verstanden.

Tabelle 3.5.2/1: Auslegungsstörfälle der Klasse 1, die in ihren radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung durch die Auslegung der Anlage bzw. der Abfallgebinde begrenzt werden.

Störfallgruppe	Störfalldefinition/Ereignis	Bemerkungen
2.1 Übertägige Anlage		
2.1.1 Kollision von Transportmitteln mit Brand	Mechanische und thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Kollision mit Fahrzeugbrand	Diese Störfälle bzw. eine Freisetzung radioaktiver Stoffe werden durch Maßnahmen der Verkehrsführung sowie des aktiven und passiven Brandschutzes, wie Minimierung von Brandlasten und Fernhalten von Zündquellen und Bildung von Brandabschnitten, vermieden.
2.1.2 Fahrzeugbrand	Thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Fahrzeugbrand	siehe 2.1.1
2.1.3 Anlageninterner Brand	Thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge anlageninternem Brand (z. B. Brand in der elektrischen Anlage)	siehe 2.1.1
2.1.4 Anlageninterne Explosion	Mechanische und thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Explosion (z. B. Explosion von Chemikalien)	Diese Störfälle bzw. eine Freisetzung radioaktiver Stoffe werden durch Maßnahmen des aktiven und passiven Brandschutzes sowie durch Explosionsschutzmaßnahmen, wie Minimierung von Chemikalienmengen, vermieden.
2.1.5 Hochwasser, Blitzschlag, Wind, Eis, Schnee und äußere Brände	äußerer Brand	Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe wird durch Maßnahmen des aktiven und passiven Brandschutzes vermieden.
	Hochwasser	Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe kann aufgrund der Standortgegebenheiten nicht auftreten.
	sonstige naturbedingte Einwirkungen	Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe wird durch geeignete standortabhängige Maßnahmen (z. B. Blitzschutzanlagen) vermieden.
2.1.6 Erdbeben	Erdbebenauswirkungen auf Abfallgebinde in der Umladehalle und der Pufferhalle	Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe wird durch die erdbebensichere Auslegung der Umladehalle und der Pufferhalle sowie der Komponenten vermieden.
2.2 Schachtförderanlage		
2.2.1 Absturz von Abfallgebinden bei der Be- schickung des Förderkorbes	Mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Absturzes eines Plateauwagens in den Schacht	Durch Auslegung der Beschickungs- und Verriegelungseinrichtungen und durch Auslegung und Betrieb der Anlage gemäß bergbehördlicher technischer Vorschriften wird der Absturz vermieden.
2.2.2 Absturz von Abfallgebinden bei der Förderung nach unten Tage	Mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Förderkorbabsturzes	Durch Auslegung und Betrieb der Schachtförderanlage gemäß bergbehördlicher technischer Vorschriften und durch zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen werden diese Störfälle vermieden.
2.2.3 Übertreiben des Förderkorbes	Mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge schweren Übertreibens in den Schachtsumpf oder Festsetzen des Förderkorbes in der Spurlattenverdickung	Durch Auslegung und Betrieb der Schachtförderanlage gemäß bergbehördlicher technischer Vorschriften und durch zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen (z. B. spezielle Bremsenrichtungen) wird das schwere Übertreiben vermieden. Die beim Festsetzen in der Spurlattenverdickung auf die Abfallgebinde wirkenden Verzögerungskräfte werden durch die Auslegung der Abfallgebinde beherrscht.
2.2.4 Absturz von Lasten auf Abfallgebinde im Förderkorb	Mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Lastabsturzes	Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe wird durch Auslegung und Betrieb der Schachtförderanlage gemäß behördlicher technischer Vorschriften und durch zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen (z. B. Sicherung der Anschläge) vermieden.
2.2.5 Anlageninterner Brand	Thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge anlageninternem Brand	Diese Störfälle bzw. eine Freisetzung radioaktiver Stoffe werden durch Maßnahmen des aktiven und passiven Brandschutzes vermieden.
2.2.6 Erdbeben	Erdbebenauswirkungen auf die Schachtförderanlage	Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe wird durch die erdbebensichere Auslegung des Schachtförderturmes vermieden.
2.3 Untertägige Anlage		
2.3.1 Steinfall	Absturz von Gestein auf Abfallgebinde	Durch entsprechende technische Maßnahmen der Strecken- und Kammerauffahrung und des -ausbaus wird eine Freisetzung radioaktiver Stoffe durch Steinfall vermieden.
2.3.2 Kollision von Transportmitteln mit und ohne Brand	Mechanische und thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Kollision des Transportmittels	Diese Störfälle bzw. eine Freisetzung radioaktiver Stoffe werden durch Maßnahmen der Verkehrsführung und -regelung vermieden.
2.3.3 Anlageninterner Brand (Sonderpunkte, untertägiger Entladebereich)	Thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Brandes an Sonderpunkten mit erhöhtem Gefahrenpotential (z. B. Tankstelle, Ölager und Werkstätten) und am Füllort	Diese Störfälle bzw. eine Freisetzung radioaktiver Stoffe werden durch Maßnahmen des aktiven und passiven Brandschutzes und durch administrative Maßnahmen (z. B. Betanken nur unbeladener Transportfahrzeuge) vermieden.
2.3.4 Anlageninterne Explosion	Mechanische und thermische Einwirkungen auf Abfallgebinde infolge Explosion (z. B. bei Handhabung und Lagerung von Sprengmitteln)	Diese Störfälle bzw. eine Freisetzung radioaktiver Stoffe werden durch bergbehördliche technische Vorschriften und administrative Maßnahmen (z. B. Handhabung und Lagerung von Sprengmitteln nicht im Kontrollbereich) vermieden.

Tabelle 3.5.2/2: Auslegungsstörfälle der Klasse 2, die durch Auslegungsmaßnahmen an der Anlage bzw. den Abfallgebinden vermieden werden.



3.5.2.1 Störfälle der Klasse 1

3.5.2.1.1 Lastannahmen

Im folgenden werden zu den Auslegungsstörfällen der Klasse 1 (Kap. 3.5.2) die Lastannahmen abgeleitet. Sie sind durch das Anlagenkonzept für das Endlager Konrad und die endzulagernden Abfallgebinde festgelegt.

Für die einzelnen Anlagenbereiche ergeben sich die folgenden Störfälle, aus denen durch Zusammenfassung die Auslegungsstörfälle mit den jeweils größten Lastannahmen abgeleitet sind.

Störfälle mit mechanischer Einwirkung auf Abfallgebinde

ÜBERTÄGIGE ANLAGE

Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung

Die maximale Fallhöhe von Abfallgebinden beträgt 3 m aufgrund der Hubhöhenbegrenzung der Krananlagen und des Seitenstapelfahrzeugs sowie der äußereren Abmessungen der Abfallgebinde.

Absturz von Lasten auf Abfallgebinde

Die maximale Masse, die über Abfallgebinden mittels Krananlage gehandhabt wird, beträgt ca. 1 t (Lkw-Abdeckung). Die maximale Höhendifferenz zwischen Abfallgebindeoberkante und Unterkante der Lkw-Abdeckung beträgt 2 m.

Kollision von Transportmitteln ohne Brand

Die maximale Fahrgeschwindigkeit der Transportmittel in der Umladehalle ist 4 m/s, in der Pufferhalle 2 m/s.

Damit ergeben sich für den übertägigen Anlagenbereich folgende mögliche maximale Lastfälle:

1. Lastart: Prall*
 - Absturzhöhe: 3 m
 - Aufprallgeschwindigkeit: 8 m/s
2. Lastart: Crush/Impact**
 - Absturzhöhe: 2 m
 - Abstürzende Masse: 1 t
3. Lastart: Crush/Impact und Prall
 - Aufprallgeschwindigkeit: 4 m/s in der Umladehalle und 2 m/s in der Pufferhalle.

Bei diesen Lastfällen ist der massenspezifische Energieeintrag in das Abfallgebinde für die störfallbedingte Aktivitätsfreisetzung ausschlaggebend. Der höchste Energieeintrag in das Abfallgebinde ergibt sich für den Lastfall 1. Dieser ist daher für den übertägigen Anlagenbereich als repräsentativer mechanischer Lastfall anzusehen.

SCHACHTFÖRDERANLAGE

Im Bereich der Schachtförderanlage treten keine Störfälle der Klasse 1 auf.

- *) Unter Prall wird ein Stoß oder eine stoßartige Belastung der Abfallgebinde verstanden.
- **) Unter Crush/Impact wird eine Quetschbelastung der Abfallgebinde verstanden.

UNTERÄGIGE ANLAGE

Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung

Die maximale Fallhöhe von Abfallgebinden beträgt 5 m aufgrund der Firstenhöhe der Einlagerungskammern und der äußereren Abmessungen der Abfallgebinde. Absturz von Lasten auf Abfallgebinde

Absturz von Lasten auf Abfallgebinde

Die maximale Masse, die auf ein Abfallgebinde stürzen kann, entspricht der Masse des schwersten einzulagernden Abfallgebindes und beträgt 20 t. Aufgrund der Abfallanlieferung in Kampagnen werden jeweils nur solche zylindrischen Behälter oder Container eingelagert, deren Massen nahezu gleich sind, d. h. die Massen des abstürzenden und des beaufschlagten Abfallgebindes sind nahezu gleich. Die maximale Höhendifferenz zwischen Oberkante des beaufschlagten Abfallgebindes und Unterkante des abstürzenden Abfallgebindes beträgt aufgrund der Firstenhöhe in der Einlagerungskammer 4 m.

Kollision von Transportmitteln ohne Brand

Die maximale Fahrgeschwindigkeit eines beladenen Transportwagens beträgt 4 m/s.

Damit ergeben sich für den unterägigen Bereich folgende mögliche maximale Lastfälle:

1. Lastart: Prall
 - Absturzhöhe: 5 m
 - Aufprallgeschwindigkeit: 10 m/s

2. Lastart: Crush/Impact
 - Absturzhöhe: 4 m
 - Aufprallgeschwindigkeit: 9 m/s
 - Abstürzende Masse: 20 t

3. Lastart: Crush/Impact und Prall

- Aufprallgeschwindigkeit: 4 m/s.

Hinsichtlich des massenspezifischen Energieeintrages erweist sich der Lastfall 1 als abdeckend für die untertägigen Lastfälle; er ist daher für den untertägigen Anlagenbereich als repräsentativer mechanischer Lastfall anzusehen.

Damit ergeben sich folgende Auslegungsstörfälle mit mechanischer Einwirkung auf Abfallgebinde:

Übertägige Anlage:

Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung

Lastart: Prall

- Absturzhöhe: 3 m
- Aufprallgeschwindigkeit: 8 m/s.

Untertägige Anlage:

Absturz von Abfallgebinden bei der Handhabung

Lastart: Prall

- Absturzhöhe: 5 m
- Aufprallgeschwindigkeit: 10 m/s.

Störfälle mit thermischer Einwirkung auf Abfallgebinde

ÜBERTÄGIGE ANLAGE UND SCHACHTFÖRDERANLAGE

In diesen Anlagenbereichen treten keine Störfälle der Klasse 1 auf.

UNTERTÄGIGE ANLAGE

In der untertägigen Anlage kann es zum Brand eines Transportmittels (z. B. beim Transport von Abfallgebinden) kommen.

Der Lastannahme für dieses Ereignis wird folgender Temperatur-Zeitverlauf (Abb. 3.5.2/1) zugrunde gelegt, der die Einwirkung des tatsächlich auftretenden Temperatur-Zeitverlaufes abdeckt:

- für die Zeit von $t = 0$ min bis $t = 5$ min: linearer Anstieg der Temperatur von 30 C auf 800 C,
- für die Zeit von $t = 5$ min bis $t = 65$ min konstante Temperatur von 800 C,
- zum Zeitpunkt $t = 65$ min Temperaturabfall auf 30 C,
- ab $t = 65$ min konstante Temperatur von 30 C.

Als Brandgüter kommen Dieselöl, Hydrauliköl und sonstige Öle sowie Gummi und Kunststoffe in Frage.

Eine dem Brand möglicherweise vorausgehende mechanische Einwirkung infolge Kollision beeinflußt aufgrund der geringen Maximalgeschwindigkeit der Transportmittel von 4 m/s das Schadensbild nicht.

Für die Berechnung der störfallbedingten Aktivitätsfreisetzung aus den Abfallgebinden werden im folgenden die vorstehend aufgeführten Lastannahmen der Auslegungsstörfälle der Klasse 1 verwendet.

3.5.2.1.2 Störfallbedingte Freisetzunganteile

Zur Bestimmung der störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus Abfallgebinden werden Abfallgebinde mit vergleichbarem Freisetzungsverhalten zu Abfallbehälterklassen zusammengefaßt, die durch die Verpackung der Abfälle und das Abfallprodukt charakterisiert sind.

Die Verpackungen der Abfälle können zwei Abfallbehälterklassen zugeordnet werden:

Abfallbehälterklasse I

Verpackungen, bei denen bei einer Aufprallgeschwindigkeit größer 4 m/s eine freisetzungsmindernde Wirkung nicht berücksichtigt wird und die bei einer thermischen Einwirkung den Sauerstoffzutritt an das Abfallprodukt so begrenzen, daß brennbare Abfallprodukte mit Schmelzpunkten über 300 C nicht mit offener Flamme abbrennen, sondern pyrolysiert.

Abfallbehälterklasse II

Verpackungen, die gewährleisten, daß

- sie einem Fall aus 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage derart standhalten, daß die Gesamtleckrate (bezogen auf Standardbedingungen wie bei der Dichtheitsprüfung nach der Vakuummethode) nach dem Fall den Wert von $1 \cdot 10^{-4}$ Pa m³/s nicht überschreitet oder
- bei formstabil fixierten und in Innenbehältern verpackten radioaktiven Abfällen die Integrität der Innenbehälter nach einem Fall aus 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage erhalten bleibt und
- die Wandung der Verpackung bis zu einer Aufprallgeschwindigkeit von 4 m/s einen Wärmeleitwiderstand (Produkt aus Schichtdicke und reziproker Wärmeleitfähigkeit) $\geq 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ besitzt oder

- bei einem Schadensfeuer mit einer Temperatur von 800 C während einer Stunde sichergestellt ist, daß die Gesamtleckrate (bezogen auf Standardbedingungen wie bei der Dichtheitsprüfung nach der Vakuummethode) vor dem Brand $< 10^{-5}$ Pa · m³/s ist und die Stoffmenge des aus dem Behälter freigesetzten Gases während des Brandes und einer Abkühlphase von 24 Stunden den Wert von einem Mol nicht überschreitet.

Bei den verschiedenen Abfallprodukten lassen sich die folgenden sechs Abfallproduktgruppen (APG) unterscheiden (Kap. 3.3.2):

- APG 01 (z. B. Bitumen- und Kunststoffprodukte),
- APG 02 (z. B. Feststoffe),
- APG 03 (z. B. metallische Feststoffe),
- APG 04 (z. B. Preßlinge),
- APG 05 (z. B. zementierte/betonierte Abfälle) sowie
- APG 06 (z. B. Konzentrate).

Für jede Abfallproduktgruppe wird der maximal freisetzbare Aktivitätsanteil konservativ abgeschätzt.

Mechanische Einwirkung

Bei Abfallgebinden, die aufgrund ihrer Verpackung der Abfallbehälterklasse I zuzuordnen sind, werden die Freisetzunganteile für die genannten sechs Abfallproduktgruppen in Form von Partikelspektren Größenabhängig ermittelt. Für die einzelnen Abfallproduktgruppen sind die folgenden Arbeitshypothesen zugrunde gelegt worden:

ABFALLPRODUKTGRUPPEN 01 und 02

Zur Abdeckung möglicher Abfallformen in den Abfallproduktgruppen 01 und 02 werden feinpulverige Substanzen herangezogen, deren Größenverteilungen aerodynamisch und durch Siebanalysen ermittelt worden sind.

Der Quellterm ergibt sich als der Bruchteil eines abdeckenden Partikelsystems, der nach entsprechenden Abwurfversuchen (1 m bis 5 m) als luftgetragen gemessen worden ist.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 03

Materialien, die der Abfallproduktgruppe 03 zugeordnet sind, werden durch die mechanischen Beaufschlagungen der betrachteten Störfälle nicht zerkleinert, es können jedoch Abfallbestandteile pulverförmig vorliegen. Der pulverförmige Abfallanteil wird behandelt wie die feinpulverigen Substanzen der Abfallproduktgruppen 01 und 02.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 04

Die Abfälle, die der Abfallproduktgruppe 04 zugeordnet werden, sind formstabil kompaktiert. Derart kompaktierte Preßlinge werden durch die mechanischen Beaufschlagungen der unterstellten Störfälle nicht zerstört. Durch den Kompaktierungsvorgang können sich aber bis zu 1 % der Aktivität außerhalb des Preßlings befinden. Um diesen Anteil abzudecken, wird unterstellt, daß diese Aktivität in Form feinpulveriger Substanzen vorliegt, die bezüglich der Freisetzung wie die Abfälle der Abfallproduktgruppen 01 und 02 behandelt werden.

ABFALLPRODUKTGRUPPEN 05 und 06

Abfallprodukte der Abfallproduktgruppen 05 und 06 werden durch die mechanische Beaufschlagung bei den unterstellten Lastfällen zerkleinert. Der Ermittlung der aus der mechanischen Beaufschlagung resultierenden Partikelverteilung liegt ein auf experimentellen Untersuchungen basierender halbempirischer Ansatz zugrunde. Bei den Abfallproduktgruppen 05 und 06 wird unterstellt, daß alle freisetzbaren Partikel auch freigesetzt werden.

Dazu sind die Ergebnisse aus experimentellen Untersuchungen an kleinen Probenkörpern, aus Falltests an mittelgroßen Zementblöcken bis hin zu den Ergebnissen aus 1:1-Falltests mit Rollreifenfässern herangezogen worden. Die Druckfestigkeit der untersuchten Produkte liegt in Abhängigkeit von der Zementsorte und der Art des Abfalls zwischen 4 N/mm^2 und 60 N/mm^2 . Auf der Basis dieser Daten wird die Bildung der Partikelfraktionen in Abhängigkeit vom spezifischen Energieeintrag in das Abfallprodukt ermittelt. Die freigesetzten Aktivitätsanteile ergeben sich durch Extrapolation auf den bei den Auslegungsstörfällen auftretenden spezifischen Energieeintrag in das Abfallprodukt.

In Tabelle 3.5.2.1.2/1 sind die für die sechs Abfallproduktgruppen verwendeten Freisetzungssanteile aufgeführt, die aus einem Energieeintrag in das Abfallprodukt resultieren, der einem Fall aus 3 m oder 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage entspricht.

Abfallproduktgruppe	Freisetzungssanteil von Partikeln mit AED *)			
	Absturzhöhe 3 m		Absturzhöhe 5 m	
	$\leq 10 \text{ m}$	$\leq 50 \text{ m}$	$\leq 10 \text{ m}$	$\leq 50 \text{ m}$
01 und 02	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$
03 und 04	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$
05 und 06	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$

*) AED = Aerodynamic Equivalent Diameter (Aerodynamisch äquivalenter Durchmesser)

Tabelle Störfallbedingte Freisetzungssanteile bei 3.5.2.1.2/1 mechanischen Einwirkungen auf Abfallgebinde der Abfallbehälterklasse I

Bei Abfallgebinden, die aufgrund ihrer Verpackung der Abfallbehälterklasse II zuzuordnen sind, wird unterschieden zwischen

- Abfallgebinden mit formstabil fixiertem Abfallprodukt im Innenbehälter und
- Abfallgebinden mit spezifizierter Dichtigkeit nach mechanischer Beaufschlagung.

Bei Abfallgebinden mit formstabil fixiertem Abfallprodukt im Innenbehälter bleibt die Integrität des Innenbehälters nach mechanischer Beaufschlagung erhalten. Hierdurch wird gewährleistet, daß bei mechanischer Beaufschlagung die Aktivitätsfreisetzung unter der für den thermischen Lastfall ermittelten Aktivitätsfreisetzung liegt.

Bei Abfallgebinden mit spezifizierter Dichtigkeit nach mechanischer Beaufschlagung bleibt die Integrität des Abfallbehälters nach mechanischer Beaufschlagung erhalten. Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe ist dabei ausschließlich durch geringe Leckagen bedingt.

Aus der durch Behälterqualifikation für den mechanischen Lastfall sichergestellten Leckrate von $1 \cdot 10^{-4} \text{ Pa m}^3/\text{s}$ lässt sich der freigesetzte Aktivitätsanteil abschätzen, ohne auf die Freisetzungseigenschaften des Abfallproduktes zurückgreifen zu müssen.

Hierzu wird konservativ angenommen, daß die gesamte Aktivität an Aerosole mit einem AED $\leq 10 \mu\text{m}$ gebunden ist. Weiterhin wird von einem Behälterinnendruck von 0,2 MPa ausgegangen. Aus diesem Innendruck und der angegebenen Leckrate errechnet sich eine Ausströmrate. Bei Vernachlässigung aerosolmechanischer Effekte im Austrittsspalt ist die auf die Gasmasse bezogene Aerosolkonzentration - und damit auch die Aktivitätskonzentra-

tion - in der Behälteratmosphäre gleich der im austretenden Gasstrom.

Aus der Aerosolkonzentration und der Ausströmrate lässt sich für eine vorgegebene Freisetzungzeit der freigesetzte Anteil berechnen. Als Freisetzungzeit werden 10 Stunden angesetzt, da dieser Zeitraum für eventuelle Gegenmaßnahmen, zum Beispiel Abdichtungsmaßnahmen, ausreichend ist.

Mit den geschilderten Annahmen ergibt sich mit der o. a. Leckrate ein Freisetzunganteil von $3 \cdot 10^{-8}$.

Thermische Einwirkung

Wie bei der Abschätzung der Freisetzunganteile infolge mechanischer Belastung ist auch die Freisetzung bei thermischer Belastung der Abfallgebinde abfallbehälterklassenspezifisch unterschiedlich zu behandeln.

Bei Abfallgebinden, die aufgrund ihrer Verpackung der Abfallbehälterklasse I zuzuordnen sind, erfolgt die Ermittlung der Freisetzunganteile temperaturabhängig für die jeweiligen Abfallproduktgruppen.

Da das Freisetzungsverhalten eines Radionuklids von seiner chemischen Verbindung abhängt, mit der es im Abfallprodukt vorkommt, wird bei der Freisetzung zwischen Tritium, Halogenen, C 14 in leichtflüchtiger Form und sonstigen Radionukliden unterschieden. Es wird davon ausgegangen, daß bei allen o. g. Radionuklidgruppen die freigesetzte Aktivität lungengängig, d. h. gas- oder aerosolförmig mit einem AED $\leq 10 \mu\text{m}$ vorliegt. In diesem Fall wird auf die Angabe eines Partikelspektrums der freigesetzten Stoffe verzichtet.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 01

Radioaktive Abfälle der Abfallproduktgruppe 01 sind brennbar und werden als Stoffe mit Schmelzpunkten unter 300 C bezüglich der Aktivitätsfreisetzung sonstiger Radionuklide so behandelt, als würden sie mit offener Flamme abbrennen. Die freigesetzten Aktivitätsanteile werden auf der Basis experimenteller Werte für die Freisetzung aus brennendem Bitumen abgeleitet.

Für Tritium, Halogene und C 14 in leichtflüchtiger Form wird eine vollständige Aktivitätsfreisetzung angenommen.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 02

Bestimmend für die Aktivitätsfreisetzung sind die Sublimation bzw. das Verdampfen radioaktiver Stoffe und das Abbrennen des auf 1 % beschränkten Massenanteils brennbarer Abfälle mit einem Schmelzpunkt < 300 C. Die Freisetzunganteile werden theoretisch mit Stoffübergangsgesetzen und aus Experimenten zur Verbrennung von geschmolzenen Bitumenprodukten abgeleitet.

Für Tritium, Halogene und C 14 in leichtflüchtiger Form wird von einer vollständigen Freisetzung ausgegangen.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 03

Eine Aktivitätsfreisetzung bei der Aufheizung von radioaktiven Abfällen der Abfallproduktgruppe 03 kann aus einer vorhandenen Oberflächenkontamination erfolgen. Es wird konservativ unterstellt, daß die gesamte Aktivität als Oberflächenkontamination vorliegt. Die Freisetzung erfolgt über Verdampfung und Sublimation. Die Freisetzunganteile werden theoretisch mit Stoffübergangsgesetzen abgeleitet.

Für Tritium, Halogene und C 14 in leichtflüchtiger Form wird von einer vollständigen Freisetzung ausgegangen.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 04

Bestimmend für die Freisetzung aus radioaktiven Abfällen der Abfallproduktgruppe 04 bei thermischer Belastung ist die Pyrolyse brennbarer Abfallbestandteile. Es wird konservativ unterstellt, daß die gesamte Aktivität an brennbare Stoffe gebunden ist. Der Freisetzunganteil wird aus Experimenten zur Pyrolyse von Sägespänen abgeleitet.

Für Tritium, Halogene und C 14 in leichtflüchtiger Form wird von einer vollständigen Freisetzung ausgegangen.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 05

Bei Abfällen der Abfallproduktgruppe 05 erfolgt wegen der relativ niedrigen Wärmeleitfähigkeit der für diese Abfälle relevanten Zement-/Betonmatrix die Aufheizung des Abfallproduktes im Brandfall vor allem in den Randbereichen des Abfallgebindes.

Die Ermittlung der freigesetzten Aktivitätsanteile basiert auf Aufheizversuchen zementfixierter Abfallsimulate, ergänzt durch theoretische Temperaturfeldrechnungen.

Zur Abschätzung der Freisetzung von Tritium wird unterstellt, daß das gesamte im Porenwasser vorliegende Tritium im Teilvolumen mit Temperaturen über 100 C freigesetzt wird. Für die Halogene wird eine vollständige Freisetzung angenommen. Für C 14 wird unterstellt, daß infolge der Konditionierung C 14 nicht in leichtflüchtiger Form vorliegt und ein Freisetzungsverhalten wie die sonstigen Radionuklide aufweist.

Als bestimmend für die Freisetzung sonstiger Radionuklide wird für das Teilvolumen mit Temperaturen über 300 C die Pyrolyse des Abfallproduktes mit experi-

mentell ermittelten Werten unterstellt. Beim Teilvolumen, das im Temperaturbereich von 100 C bis 300 C liegt, wird davon ausgegangen, daß die Freisetzung mit dem ausgetriebenen Wasserdampf erfolgt. Der freigesetzte Anteil wird auf der Basis experimentell gewonnener Werte für die Freisetzung von Cäsium abgeschätzt.

ABFALLPRODUKTGRUPPE 06

Bei Tritium und Halogenen wird von einer vollständigen Aktivitätsfreisetzung ausgegangen. Für C 14 wird unterstellt, daß infolge der Konditionierung C 14 nicht in leichtflüchtiger Form vorliegt und ein Freisetzungsverhalten wie die sonstigen Radionuklide aufweist.

Eingedampfte und getrocknete radioaktive Abfälle der Abfallproduktgruppe 06 besitzen zum Teil Schmelzpunkte unter 100 C. Die Freisetzung wird im wesentlichen durch das Austreiben der wässrigen Komponente aus der Schmelze erfolgen. Der freisetzbare Aktivitätsanteil für sonstige Radionuklide wird über den Abstreiffaktor für das Eindampfen wässriger Lösungen abgeschätzt.

In Tabelle 3.5.2.1.2/2 sind die für die sechs Abfallproduktgruppen verwendeten Freisetzungsanteile aufgeführt, die aus den Lastannahmen für den untätigigen Störfall "Brand eines Transportmittels" resultieren.

Abfallproduktgruppe	Freisetzunganteil für			
	Halogene	Tritium	C 14	sonstige Radionuklide
01	1,0	1,0	1,0	0,5
02	1,0	1,0	1,0	0,01
03	1,0	1,0	1,0	$4 \cdot 10^{-3}$
04	1,0	1,0	1,0	$1,6 \cdot 10^{-3}$
05	1,0	0,5	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
06	1,0	1,0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$

Tabelle: Störfallbedingte Freisetzunganteile bei
3.5.2.1.2/2 thermischer Einwirkung auf Abfallgebinde der
Abfallbehälterklasse I

Bei Abfallgebinde mit spezifizierter Dichtigkeit, die aufgrund ihrer Verpackung der Abfallbehälterklasse II zuzuordnen sind, wird eine Aktivitätsfreisetzung ausschließlich über beschädigte Dichtungen angenommen, wobei als treibende Kraft der Überdruck im Behälter berücksichtigt wird, der dort durch die Bildung von Gasen aus dem Abfallprodukt entsteht. Hierbei werden die bei der Abfallbehälterklasse I beschriebenen Freisetzungsmechanismen der jeweiligen Abfallproduktgruppen in Abhängigkeit von der berechneten instationären Innenraumtemperatur des Behälters zugrunde gelegt.

Aufgrund der durch Behälterqualifikation sichergestellten Auslegung der Verpackung wird die Stoffmenge des während des Brandes und einer Abkühlphase von 24 Stunden freigesetzten Gases den Wert von einem Mol nicht überschreiten.

Unter der konservativen Annahme, daß die Aktivitätskonzentration des freigesetzten Gases mit der Aktivi-

tätskonzentration im Gasvolumen des Abfallbehälters übereinstimmt, ergibt sich die freigesetzte Aktivität.

Mit der o. a. Gasmenge von einem Mol und den der Abfallbehälterklasse I zugrunde gelegten Freisetzungsmechanismen ergeben sich als maximale Freisetzunganteile für Tritium $4 \cdot 10^{-3}$, für Halogene $4 \cdot 10^{-2}$, für C 14 $6 \cdot 10^{-3}$ und für sonstige Radionuklide $2 \cdot 10^{-5}$.

Falls die Verpackung nicht auf Dichtigkeit ausgelegt ist, wird durch eine entsprechende Auslegung des Behälters sichergestellt, daß die Erwärmung des Abfallprodukts zu keiner höheren Aktivitätsfreisetzung als die für Behälter mit spezifizierter Dichtigkeit ermittelte führt.

3.5.2.1.3 Rückhaltungen in der Anlage

Der Freisetzung störfallerzeugter radioaktiver Stoffe aus der Anlage in die Atmosphäre sind Rückhalteprozesse vorgeschaltet, die innerhalb der Anlage auf dem Transportweg vom Störfallort in die Umgebung wirksam werden.

Bei den Störfällen mit mechanischer Einwirkung werden die radioaktiven Stoffe aerosolgebunden freigesetzt, beim Störfall mit thermischer Einwirkung werden Tritium, Halogene und Kohlenstoff als gasförmig freigesetzt angenommen, während alle anderen radioaktiven Stoffe als Aerosole behandelt werden. Für gasförmig freigesetzte Radionuklide werden keine Rückhalteprozesse innerhalb der Anlage unterstellt. Die Maßnahmen zur Beseitigung von ggf. auftretenden Kontaminationen sind in Kap. 3.4.8.1 beschrieben.

Auf die Quantifizierung von Rückhalteprozessen für freigesetzte Aerosole bei den Störfällen der Klasse 1 wird im folgenden näher eingegangen.

Störfälle mit mechanischer Einwirkung in der
übertägigen Anlage

Umladehalle

Unterstellt wird als Ereignis der Absturz einer Transporteinheit vom Kran beim Umladen von einem Waggon oder Lkw auf einen Plateauwagen in der Umladehalle. Beim Aufprall auf den Hallenboden aus maximal 3 m Höhe werden aerosolgebundene radioaktive Stoffe aus der Transporteinheit freigesetzt. Es entsteht eine im Verhältnis zur lichten Hallenhöhe von ca. 16 m niedrige, bodennahe Staubwolke im Aufprallbereich.

Da während der Umladevorgänge die Hallentore in der Umladehalle geschlossen sind, ist eine Freisetzung luftgetragener Staubpartikel in die Umgebung nur über das Lüftungssystem der Umladehalle mit Umluft und definiertem Frisch- und Abluftanteil möglich. In Konkurrenz zu dieser Freisetzung steht als Rückhalteprozeß die Abscheidung durch Sedimentation auf horizontalen Flächen wie dem Hallenboden, die insbesondere für größere Aerosolpartikel wirksam wird.

Das Lüftungssystem der Halle ist für eine Luftwechselzahl von 2,5 pro Stunde ausgelegt. Der Volumenanteil der Frisch- bzw. Abluft an der Umluft beträgt 10 %, entsprechend einer Zu- und Abluftwechselzahl von 0,25 pro Stunde. Das Lüftungssystem verfügt über jeweils neun an beiden Hallenlängsseiten im Abstand von 12 m angeordnete Ansaugöffnungen, deren Unterkanten sich 1 m über dem Niveau des Hallenbodens befinden. Weitere 45 Ansaugöffnungen sind unter dem Hallendach in der Anordnung neun (Hallenlängsseite) mal fünf (Hallenbreite) verteilt. Alle einblasenden Öffnungen befinden sich ebenfalls unter dem Hallendach und sind mit Weitwurfdüsen versehen.

Es wird der ungünstigste Fall unterstellt, daß der Absturzort auf der Höhe einer der bodennahen Ansaugöffnungen der südöstlichen Hallenlängsseite liegt. In diesem Fall kann der kürzeste Abstand zu einer Ansaugöffnung 6 m betragen, wenn ein Waggon entladen wird und die Transporteinheit unmittelbar neben der zur Hallenmitte weisenden Längsseite des Waggons abstürzt.

Mit Hilfe der analytisch beschreibbaren zeitlichen Abnahme der luftgetragenen Aerosolkonzentration einer Staubwolke mit definierter Höhe, in der Aerosolpartikel mit einer bestimmten Sedimentationsgeschwindigkeit homogen verteilt sind, läßt sich zeigen, daß die Abscheidung durch Sedimentation für Staubpartikel mit aerodynamisch äquivalenten Durchmessern über 60 m praktisch vollständig auf dem Hallenboden erfolgt.

Für Partikel mit aerodynamisch äquivalenten Durchmessern unter 60 m wird angenommen, daß sie sofort vom Umlaufsystem über das Hallenvolumen verteilt werden. Ihre zeitliche Abnahme in der Hallenatmosphäre sowie ihre zeitliche Freisetzung in die Umgebung über die Lüftungsanlage läßt sich unter Berücksichtigung des konkurrierenden Prozesses der Ablagerung durch Sedimentation auf den Hallenboden berechnen.

Pufferhalle

Unterstellt wird als Ereignis der Absturz einer Transporteinheit von der Hebevorrichtung des Seitenstapelfahrzeugs bei Umladevorgängen. Die Fallhöhe auf den Hallenboden beträgt maximal 3 m. Die Pufferung der Transporteinheiten erfolgt in zwei Schiffen (Hallenabschnitte). Jedes Schiff besitzt zwei 2 m hohe Sockel (Anl. 3.2.4.1.3/2 und 3.2.4.1.3/5). In diese Sockel, die als Rammerschutz für das Seitenstapelfahrzeug dienen und auch als Abstellfläche für die Transporteinheiten verwendet werden, sind Ansaugöffnungen und jeweils ein Lüftungskanal der Lüftungsanlage integriert.

Beim Absturz einer Transporteinheit von der Hebevorrichtung des Seitenstapelfahrzeugs entsteht eine im Verhältnis zur lichten Hallenhöhe von ca. 10 m niedrige, bodennahe Staubwolke im Aufprallbereich. Eine Freisetzung luftgetragener Staubpartikel in die Umgebung kann durch das Lüftungssystem der Pufferhalle über den Abluftkamin erfolgen. Für die Berechnungen ist ein abdeckender Luftdurchsatz von 46 000 m³/h entsprechend einer Luftwechselzahl von 2,5 pro Stunde angenommen worden, in der Praxis werden Luftdurchsatz und Luftwechselzahl niedriger sein.

Frischluft wird der Pufferhalle durch in Hallenlängsrichtung in jedem Schiff jeweils an der Außenwand und zur Mitte hin befindliche Zuluftkanäle zugeführt. Die Einspeisung erfolgt über Weitwurfdüsen, die eine gute Verteilung der Frischluft in der Hallenatmosphäre gewährleisten, ohne daß ihr Strömungseinfluß im Bodenbereich noch spürbar ist. Die Abluftabsaugung erfolgt über die Ansaugöffnungen eines Außenwandsockels. Diese sind in Längsrichtung in geringem Abstand alternierend in ca. 20 cm und 170 cm Höhe angeordnet. Abgesaugt wird jeweils durch den Abluftkanal des Hallenschiffs, in dem das Seitenstapelfahrzeug nicht operiert.

In bezug auf wirksam werdende Rückhalteprozesse durch Sedimentation von luftgetragenen Staubpartikeln auf horizontalen Flächen wie dem Hallenboden und der damit konkurrierenden Ableitung über das Abluftsystem ist ein Absturz einer Transporteinheit nahe dem zur Hallenmitte befindlichen Sockel eines Schiffes am ungünstigsten. In diesem Fall beträgt der minimale Abstand der anfänglichen Staubwolke zu den Abluftöffnungen im Außensockel des anderen Schiffes 17 m. Die Transportzeiten von Staubpartikeln zu den Ansaugöffnungen des Abluftkanals liegen über 15 Minuten.

Für die Modellierung der Freisetzung von störfallerzeugten Aerosolpartikeln in der Pufferhalle gelten folgende Randbedingungen:

- Luftgetragene Staubpartikel mit aerodynamisch äquivalenten Durchmessern über 40 m (Sedimentationsgeschwindigkeit $> 4,8 \text{ cm/s}$) werden vor Erreichen der Ansaugöffnungen abgelagert.
- Für Partikel mit aerodynamisch äquivalenten Durchmessern unter 40 m wird angenommen, daß sie über die gesamte lichte Hallenhöhe homogen verteilt vorliegen.
- Auf dem Transportweg innerhalb der Abluftkanäle des Lüftungssystems und im 30 m hohen Abluftkamin wird keine Rückhaltung unterstellt. Der über das Abluftsystem abgesaugte und der durch Sedimentation auf dem Hallenboden zurückgehaltene Anteil an Aerosolpartikeln wird analytisch berechnet.

Die oben genannten Randbedingungen zur Modellierung der Freisetzung von störfallerzeugten Aerosolpartikeln in der Pufferhalle decken auch niedrigere Luftwechselzahlen pro Stunde ab, insbesondere den Fall, daß die Lüftungsanlage vollständig ausgeschaltet wird, wenn das Seitenstapelfahrzeug in die Pufferhalle einfährt. Die zuletzt genannte Fahrweise der Lüftungsanlage soll dabei der Regelfall sein.

In Tabelle 3.5.2.1.3/1 sind die berechneten Rückhaltefaktoren in der Umladehalle und der Pufferhalle für verschiedene Partikelgrößenintervalle angegeben.

Konservativ wurde für ein Partikelgrößenintervall jeweils die für die untere Intervallgrenze geltende Sedimentationsgeschwindigkeit verwendet.

Partikelgrößen- intervall in μm	Sedimentations- geschwindigkeit in m/s	Rückhaltefaktor	
		Umladehalle	Pufferhalle
0 - 5	0	0	0
5 - 10	$7,5 \cdot 10^{-4}$	0,40	0,10
10 - 20	$3,0 \cdot 10^{-3}$	0,73	0,31
20 - 30	$1,2 \cdot 10^{-2}$	0,91	0,64
30 - 40	$2,7 \cdot 10^{-2}$	0,96	0,80
40 - 50	$4,8 \cdot 10^{-2}$	0,98	1
50 - 60	$7,5 \cdot 10^{-2}$	0,99	1

Tabelle Rückhaltefaktoren in der Umladehalle
3.5.2.1.3/1 und der Pufferhalle

Störfall mit mechanischer Einwirkung in der untertägigen Anlage

Unterstellt wird als Ereignis der Absturz eines Abfallgebines beim Stapelvorgang in einer Einlagerungskammer aus maximal 5 m Höhe auf die Sohle. Einlagerungskammern in den vorgesehenen Einlagerungsfeldern sind mehrere 100 m lang. Die Abwetter aus Einlagerungskammern werden zunächst saugend durch Lutten geführt. Es schließen sich Abwetterstrecken vom Einlagerungsfeld zum Abwetterschacht an, die mehrere Kilometer lang sein können.

Als ungünstigste Bedingung in bezug auf wirksam werdende Rückhalteprozesse wird der Störfalleintritt zu einem Zeitpunkt unterstellt, in dem die Einlagerung in einer Einlagerungskammer nahezu abgeschlossen ist. In diesem Fall ist der Abwetterweg aus der Einlagerungskammer durch Lutten nur kurz. Die Einlagerungskammer kann ihrerseits innerhalb des Einlagerungsfeldes so liegen, daß der Transportweg der Abwetter durch eine Lutte bis zur Einmündung in eine Abwetterstrecke minimal ist. Daher wird von Rückhalteprozessen innerhalb der Lutten kein Kredit genommen.

Auf den sich anschließenden Abwetterstrecken vom Einlagerungsfeld zum Abwetterschacht werden Rückhalteprozesse wirksam, die von der Transportzeit der Aerosole mit den Abwettern und von der Größenverteilung störfall erzeugter Aerosolpartikel abhängt. Die Transportzeit ergibt sich dabei aus der Länge der Strecke und der Wettergeschwindigkeit.

Die in bezug auf Rückhalteprozesse ungünstigsten Randbedingungen liegen für das Einlagerungsfeld 5a vor. Dort beträgt die Transportzeit zum Abwetterschacht ca. 160 Sekunden. Für die Störfallanalyse wird eine minimale Transportzeit von 100 s unterstellt.

Die Quantifizierung der großenabhängigen Abscheideprozesse von Störfallerzeugten Aerosolpartikeln auf der Abwetterstrecke bis in den Abweterschacht erfolgt auf der Grundlage von Ausbreitungsexperimenten, die in der Schachtanlage Konrad durchgeführt worden sind. Hiernach nimmt die luftgetragene Aerosolkonzentration für Partikel mit aerodynamisch äquivalenten Durchmessern bis ca. 30 μm exponentiell mit der Ausbreitungszeit ab. Für Partikel mit aerodynamisch äquivalenten Durchmessern über 30 μm führt die rechnerische Behandlung ihres Abscheideverhaltens mit einem Exponentialgesetz zu einer Unterschätzung der Abscheidung, da sich der Schwerpunkt der luftgetragenen Partikel mit der Ausbreitungszeit zum Boden hin bewegt. Beispielsweise sind Partikel mit einem aerodynamisch äquivalenten Durchmesser von 60 μm bei einer Streckenhöhe von 3 m bis 4 m und einer Ausbreitungszeit von etwa 40 s durch Sedimentation abgeschieden. Diese Zeit ist kurz im Vergleich zu einer Transportzeit der Aerosole von 100 s. Für Aerosolpartikel mit aerodynamisch äquivalenten Durchmessern über 60 μm wird daher die vollständige Abscheidung auf dem Transportweg vom Störfallort bis zur Einmündung in den Abweterschacht unterstellt.

In Tabelle 3.5.2.1.3/2 sind Rückhaltefaktoren für verschiedene Partikelgrößenintervalle für die genannte Abwetterstrecke aufgeführt.

Partikelgrößenintervall in μm	Rückhaltefaktor
0 - 5	0
5 - 10	0,15
10 - 20	0,15
20 - 30	0,26
30 - 40	0,49
40 - 50	0,69
50 - 60	0,84
> 60	1

Tabelle Rückhaltefaktoren in der Abwetter-
3.5.2.1.3/2 strecke des Einlagerungsfeldes 5a

An der Anbindung dieser Abwetterstrecke an den Abwetterschacht, die in einer Teufe von 778 m erfolgt, werden die bis hier noch luftgetragenen störfallergzeugten Aerosolpartikel umgelenkt, mit dem Abwetterstrom schachtaufwärts transportiert und können nach zwei weiteren Umlenkungen, zunächst in den Abwetterkanal und dann in den Diffusor, in die Umgebung freigesetzt werden. Der Schacht hat einen lichten Durchmesser von 7 m und ist nur mit wenigen Einbauten versehen. Hierzu zählen insbesondere die Einbauten der Schachtförderanlage mit den Stahlspurlatten und deren an den Schachtwänden in regelmäßigen Abständen verankerten Konsolen.

Eine Abscheidung von Aerosolpartikeln kann zum einen an vom Abwetterstrom angeströmten Flächen bei Umlenkungen erfolgen, zum anderen an den Schachtwänden und an horizontalen und vertikalen Oberflächen von Schachteinbauten. Mit dem Ziel, Daten zum großenabhängigen Abscheideverhalten von Aerosolpartikeln zu ermitteln, wurden auch im Abwetterschacht der Schachtanlage Konrad Aerosolausbreitungsexperimente mit Testaerosolen durchgeführt.

Diese Experimente sind im Jahre 1984 im damaligen Abwetterschacht durchgeführt worden, der sich bezüglich der eingebauten Strukturen und der Wettervolumenströme von der für einen Endlagerbetrieb vorgesehenen Konfiguration unterscheidet. Die Experimente haben eine mit der Staubpartikelgröße anwachsende Abscheidung bei der Umlenkung in den Schacht und auf dem Transportweg im Schacht ergeben.

Von dem gemessenen Rückhaltefaktor von etwa 0,5 für Partikel im Partikelgrößenintervall von 16 μm bis 32 μm und etwa 0,8 für Partikel im Bereich von 32 μm bis 64 μm bei der Umlenkung des Wetterstroms in den Schacht wird kein Kredit genommen, da sich in der geplanten Anlage die Konfiguration der bei der Umlenkung der Wetter angeströmten Flächen von den den Experimenten zugrunde liegenden Verhältnissen unterscheiden wird.

In der nachfolgenden Tabelle 3.5.2.1.3/3 sind größenabhängige Rückhaltefaktoren für einen Transportweg von 778 m im Abwetterschacht für drei verschiedene Bedingungen gegenübergestellt.

- a) Meßergebnisse im Schacht mit den Schachteinbauten im Jahre 1984 (Wettergeschwindigkeit 2,3 m/s).
- b) Extrapolation der Meßergebnisse auf eine höhere Wettergeschwindigkeit (6,2 m/s) unter der Annahme, daß die Abscheidung ausschließlich an den Schachtwänden erfolgt.
- c) Extrapolation der Meßergebnisse auf eine höhere Wettergeschwindigkeit (6,2 m/s) und eine achtfach kleinere horizontale Fläche der Schachteinbauten gegenüber den Verhältnissen bei den genannten Experimenten unter der Annahme, daß die Abscheidung ausschließlich an den horizontalen Flächen der Schachteinbauten erfolgt.

AED in μm	Rückhaltefaktor		
	a	b	c
0 - 10	0	0	0
10 - 20	0,66	0,33	0,05
20 - 30	0,87	0,52	0,08
30 - 40	0,87	0,52	0,08
40 - 50	0,89	0,55	0,09
50 - 60	0,91	0,58	0,10

a: Anlagen im Jahr 1984
 b: Abscheidung nur an der Schachtwand
 c: Abscheidung nur auf horizontalen Flächen der Schachteinbauten

Tabelle Rückhaltefaktoren im Abwetterschacht
3.5.2.1.3/3

Da die bisher durchgeführten Experimente keine eindeutige Differenzierung zwischen den relativen Beiträgen der Abscheidung an Schachtwänden und Einbauten zulassen, wird von den obengenannten Werten für Fall c ausgegangen. Gegebenfalls treten bei bestimmten Betriebszuständen auch höhere Abwettergeschwindigkeiten bis zu 7 m/s auf. Der Einfluß auf die in den Störfallanalysen zugrunde gelegten Rückhaltefaktoren ist aber so gering, daß er durch die im Vergleich zum Minimalwert von 160 s niedrig gewählte Transportzeit von 100 s vom Einlagerungsfeld bis zum Abwetterschacht überkompensiert wird.

Störfall mit thermischer Einwirkung in der untertägigen Anlage

Unterstellt wird als Ereignis der Brand eines beladenen Transportfahrzeuges in einer Transportstrecke. Von der thermischen Einwirkung können Container oder eine Tauschpalette mit Einzelbehältern betroffen sein. Das Ereignis kann in den Transportstrecken auf dem Wege vom Füllort zu einer Einlagerungskammer eintreten. In bezug auf wirksam werdende Rückhalteprozesse innerhalb des Grubengebäudes ist ein Brandort nahe am Füllort und damit nahe am Abwetterschacht am ungünstigsten. Dieser Fall wird im weiteren unterstellt. Im Brandfall werden sowohl Brandaerosole als auch gasförmige Radionuklide aus den Abfallgebinden freigesetzt.

Messungen von Partikelgrößenverteilungen von Brand-aerosolen, auch bei Treibstoffbränden, ergaben Massen-medianwerte* im Größenbereich von einigen Zehntel m bis etwa 5 m. Die o. g. Aerosolausbreitungsexperimente in der Schachtanlage Konrad haben für diesen Partikelbereich nur geringe Abscheidung ergeben. Daher wird für die beim Brand freigesetzten gasförmigen (Tritium, Kohlenstoff, Halogene) und aerosolförmigen Radionuklide keine Rückhaltung in der Abwetterstrecke und im Abwetterschacht unterstellt. Für Halogene wird dabei angenommen, daß sie in elementarer Form vorliegen.

* Massenmedianwert = Wert derjenigen Partikelgröße, bei der der Massenanteil zu 50 % über und zu 50 % unter diesem Wert liegt.

3.5.2.1.4 Atmosphärische Ausbreitung und potentielle Strahlenexposition in der Umgebung

Die für die Störfälle der Klasse 1 in Abhängigkeit von den Behältereigenschaften und der Abfallproduktgruppe ermittelten Freisetzunganteile und die innerhalb der Anlage wirksam werdenden Rückhalteprozesse bestimmen, welcher Bruchteil des Aktivitätsinventars vom Störfall betroffener Transporteinheiten aus der Anlage in die Umgebung freigesetzt wird.

Die sich aus solchen Emissionen ergebenden potentiellen Strahlenexpositionen in der Umgebung der Anlage werden für eine Vielzahl von einzelnen Radionukliden berechnet, von denen jeweils angenommen wird, daß sie mit einer Einheitsaktivität in einem Abfallgebinde vorliegen. Aus diesen Berechnungen werden dann Anforderungen in Form von Aktivitätsgrenzwerten für einzelne Radionuklide in Abfallgebinden abgeleitet, die sicherstellen, daß aus Störfällen resultierende Strahlenexpositionen auch unter den ungünstigsten Konstellationen die Störfallplanungswerte des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung unterschreiten. Folgende Expositionspfade werden bei der Ermittlung von Strahlenexpositionen berücksichtigt

- äußere Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion),
- äußere Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion),
- äußere Exposition durch Gammastrahlung über kontaminiertem Boden (Bodenstrahlung),
- innere Exposition durch Radionuklide, die mit der Luft inhaliert werden (Inhalation) und
- innere Exposition durch Verzehr kontaminiert Nahungsmittel (Ingestion).

Im Falle der inneren Exposition durch Inhalation oder Ingestion wird dabei zunächst die Aktivitätsaufnahme einzelner Radionuklide durch die kritische Person berechnet und in einem anschließenden Schritt die daraus resultierende Folgedosis bestimmt. Hierbei kommen Dosisfaktoren (Dosis pro aufgenommene Aktivität) zur Anwendung, die dosisbestimmende strahlenphysikalische und strahlenbiologische Parameter berücksichtigen. Die Dosisfaktoren basieren auf Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP). Durch die Festschreibung in der Strahlenschutzverordnung ist die Anwendung der Dosisfaktoren im Genehmigungsverfahren grundsätzlich verbindlich.

Im folgenden wird auf die Vorgehensweise bei der Berechnung von Strahlenexpositionen und der Ableitung von Aktivitätsbegrenzungen eingegangen.

Die potentielle Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage wird gemäß den in den Störfallberechnungsgrundlagen /2/ festgelegten Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung von Modifikationen, die sich aus der Neufassung der Strahlenschutzverordnung /3/ sowie der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung /4/ ergeben, ermittelt. Diese Berechnungsgrundlagen enthalten die Modelle und Parameter zur Berechnung der Ausbreitung in der Atmosphäre, der Ablagerung am Boden, des Transfers durch Nahrungsketten und zur Dosisberechnung. Diese Berechnungsverfahren sind Standardverfahren und auch beim Endlager anwendbar.

Soweit es sich beim Ingestionspfad um die Verwendung von Nahrungs- oder Futtermitteln handelt, die sich im Umkreis mit einem Radius von 2 000 m vom Freisetzungsort befinden und über oberirdische Pflanzenteile kontaminiert sind, wird bei der Berechnung potentieller Strahlenexpositionen entsprechend den Festlegungen in den Störfallberechnungsgrundlagen davon ausgegangen,

daß deren Aufnahme einen Tag nach der ersten störfallbedingten Aktivitätsfreisetzung eingestellt wird.

Modifikationen der Störfallberechnungsgrundlagen aufgrund der Änderung der Strahlenschutzverordnung beziehen sich auf die Nahrungsmittelpakete des Kleinkindes und Erwachsenen und auf die Dosisfaktoren bei äußerer und innerer Strahlenexposition. Diese Dosisfaktoren für Betasubmersion, Gammasubmersion, Gammabodenstrahlung, Inhalation und Ingestion sind in /5/ zusammengestellt. Bei den Dosisfaktoren wird in Abhängigkeit von der chemischen Form bei Inhalation zwischen maximal 3 verschiedenen Stoffklassen (Lungenretentionsklassen) und bei Ingestion i. a. zwischen bis zu zwei Stoffklassen unterschieden. Den Rechnungen wird bei der Auswahl zwischen mehreren Stoffklassen für jedes Organ jeweils derjenige Dosisfaktor zugrundegelegt, der zur höchsten Dosis führt. Dieses Maximierungsverfahren stellt sicher, daß eine ungünstigere Dosisfaktorkonstellation auf keinen Fall möglich ist.

Durch die Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) /4/ bedingte Modifikationen der Störfallberechnungsgrundlagen beziehen sich auf

- die Ausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion
- Änderungen von Parametern bei der trockenen und nassen Ablagerung
- Änderungen beim Ingestionspfad, wie Anteil der durch Niederschlag auf der Pflanze abgelagerten Aktivität, Transferfaktoren, Berücksichtigung von im Wurzelbereich von Pflanzen nach Ablagerung eines primären Radionuklides gebildeten Folgenukliden, sowie die Einführung einer Verweilkonstanten für das Verbleiben eines Radionuklids im Wurzelbereich der Pflanze. Dabei sind explizit Verweilkonstanten für die Elemente Technetium, Strontium, Ruthen, Jod und Caesium aufgeführt

und pauschal für die Aktiniden, deren Verweilkonstanten jedoch so gering sind, daß sich ein Transport in tiefere Bodenschichten über einen Zeitraum von 50 Jahren nach störfallbedingter Ablagerung auf dem Boden nicht bemerkbar macht. Mit Ausnahme der Elemente Chlor und Kalzium, denen aufgrund einer breiten Datenbasis Verweilkonstanten entsprechend Technetium bzw. Strontium zugeordnet werden können, sind alle übrigen nicht aufgeführten Elemente in bezug auf ihre Verweilkonstanten für Acker- und Weideboden der Gruppe der Aktiniden zugeordnet worden. Auch beim Ingestionspfad werden Folgenuklide (Tochternuklide), die sich nach Ablagerung eines primären Radionuklids (Mutternuklid) im Boden durch radioaktiven Zerfall gebildet haben, berücksichtigt.

Die Berechnungsgrundlagen machen keine Angaben zum Ablagerungsverhalten von größeren Aerosolpartikeln, wie sie bei den Störfällen mit mechanischer Einwirkung auftreten. Die folgende Tabelle faßt die verwendeten Ablagerungsgeschwindigkeiten und Washoutkonstanten in Abhängigkeit von der Partikelgröße zusammen. Den Washoutkonstanten liegt eine Regenintensität von 5 mm/h zugrunde.

Partikelgrößen- intervall μm	Ablagerungsge- schwindigkeit m/s	Washout- konstante s^{-1}
0 - 5	0,0015	$2,5 \cdot 10^{-4}$
5 - 10	0,003	$7,2 \cdot 10^{-4}$
10 - 20	0,01	$1,1 \cdot 10^{-3}$
20 - 40	0,04	$1,4 \cdot 10^{-3}$
40 - 60	0,15	$1,4 \cdot 10^{-3}$

Tabelle Ablagerungsgeschwindigkeit und Washout-
3.5.2.1.4/1 konstante in Abhängigkeit von der Parti-
kelgröße

Die Randbedingungen für die Freisetzung in die Atmosphäre und für die Ermittlung der kritischen Aufpunkte sind:

- Störfälle mit mechanischer Einwirkung in der über-tägigen Anlage.

Die Freisetzung erfolgt über den 30 m hohen Abluftkamin auf der Nordwestseite der Umladehalle, über den die Abluft der Umlade- und der Pufferhalle abgeleitet wird. Die kürzeste Entfernung vom Freisetzungsort zum Anlagenzaun beträgt 23 m. Bei dieser Ausbreitungsrichtung ist

gemäß den Störfallberechnungsgrundlagen dem Gebäudeeinfluß der im Luv befindlichen Umladehalle auf die atmosphärische Ausbreitung Rechnung zu tragen. Die effektive Freisetzungshöhe beträgt 25 m.

- Störfälle mit mechanischer bzw. thermischer Einwirkung in der untertägigen Anlage.

Die Freisetzung erfolgt über den 45 m hohen Diffusor. Die kürzeste Entfernung des Diffusors zum Anlagenzaun beträgt 28 m, wobei die Schachthalle mit Förderturm die atmosphärische Ausbreitung nicht beeinflußt. Bei einer Windrichtung, bei der ein Gebäudeeinfluß der Schachthalle mit Förderturm auf die atmosphärische Ausbreitung gegeben ist, beträgt die ungünstigste Entfernung zum Anlagenzaun 55 m.

- Die Ausbreitungsparameter der Störfallberechnungsgrundlagen, die sich auf Freisetzungszeiten unter acht Stunden beziehen, werden verwendet.

Die Analysen der Störfälle der Klasse 1 führen zu Anforderungen an die Radionuklidzusammensetzung, die Aktivität, das Abfallprodukt und die Verpackung von Abfallgebinden. Die Einhaltung dieser Anforderungen stellt sicher, daß bei störfallbedingter Aktivitätsfreisetzung aus Abfallgebinden auch unter den ungünstigsten Konstellationen von Störfallrandbedingungen und Aktivitätsinventar betroffener Abfallgebinde die Störfallplanungswerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV /4/ nicht überschritten werden. Die Anforderungen an das Abfallprodukt und die Verpackung der Abfälle sind in den Kapiteln 3.3.2 und 3.3.3 beschrieben. Anforderungen an die Radionuklidzusammensetzung und die Aktivität von Abfallgebinden führen zu dem in Kapitel 3.3.4 angegebenen Summenkriterium. Grundlage für die Anwendung dieses Summenkriteriums sind Aktivitätsgrenzwerte für Einzelnuklide.

Wegen des unterschiedlichen Freisetzungsvorhalts bei den Störfällen der Klasse 1 sind diese Aktivitätsgrenzwerte abhängig von der Abfallproduktgruppe und der Verpackung der Abfälle.

Zur Bestimmung von Aktivitätsgrenzwerten für Einzelnuklide sind Rechnungen jeweils mit dem gleichen Aktivitätswert (Einheitsaktivität) durchgeführt worden. Bei der Auswahl von Einzelnukliden sind in den zur Endlagerung im Endlager Konrad vorgesehenen radioaktiven Abfällen vorkommende Radionuklide mit Halbwertszeiten größer zehn Tagen berücksichtigt worden.

In einem ersten Schritt zur Herleitung eines Aktivitätsgrenzwertes für ein Radionuklid ist unter der Annahme, daß in einem Abfallgebinde nur dieses Radionuklid (Einzelnuklid) mit einer Einheitsaktivität vorliegt, für jeden radiologisch repräsentativen Störfall die Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage für das kritische Organ nach Ableitung in der Atmosphäre berechnet worden.

In einem zweiten Schritt wird durch Vergleich der für eine Einheitsaktivität im Abfallgebinde berechneten Dosis für das kritische Organ mit dem organspezifischen Störfalldosisgrenzwert (Störfallplanungswert gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV) diejenige Aktivität des betrachteten Radionuklids bestimmt, die für das jeweilige Störfallereignis im Abfallgebinde zulässig wäre, so daß die Störfallplanungswerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV noch eingehalten werden.

In einem dritten Schritt wird schließlich für ein betrachtetes Einzelnuklid derjenige unter den radiologisch repräsentativen Störfällen identifiziert, der zur restriktivsten zulässigen Aktivität führt. Abgesehen von einem kleineren Korrekturfaktor, der mit der Unterscheidung zwischen Leitnukliden, sonstigen Alpha- und Beta/Gammastrahlern und weiteren Einzelnukliden bei der

Anwendung eines Summenkriteriums zusammenhängt, entspricht die so bestimmte restriktivste Aktivität dem Aktivitätsgrenzwert für ein Einzelnuklid.

Soweit ein unterschiedliches Freisetzungerverhalten aus einem Abfallgebinde bei Störfallbedingter Beaufschlagung für einzelne Abfallproduktgruppen gegeben ist, sind diese Einzelnuklidrechnungen getrennt nach Abfallproduktgruppen und Behälterklassen durchgeführt worden. Die aus diesen Einzelnuklidanalysen resultierenden Aktivitätsgrenzwerte sind in den Tabellen 3.3.4/2 und 3.3.4/3 zusammengestellt. Bei ihrer Ermittlung hat sich ergeben, daß die übertägigen Störfälle der Klasse 1 in keinem Fall maßgeblich für die Festlegung von Aktivitätsgrenzwerten sind. Für die Abfallproduktgruppe 02 (Feststoffe) der Abfallbehälterklasse I sind die untertägigen Störfälle mit mechanischer und thermischer Einwirkung gleichermaßen maßgeblich. Für die übrigen Abfallproduktgruppen der Abfallbehälterklasse I sowie für die Abfallbehälterklasse II resultieren die Aktivitätsgrenzwerte ausschließlich aus dem Störfall mit thermischer Einwirkung in der untertägigen Anlage.

Insgesamt wird durch die Anwendung dieser Aktivitätsgrenzwerte in Verbindung mit einem Summenkriterium bei Vorliegen mehrerer Radionuklide sichergestellt, daß für alle radiologisch repräsentativen Störfälle und für alle Abfallgebinde, die den verschiedenen Anforderungen an Abfallprodukt, Behältereigenschaften und Aktivitätsinhalt genügen, auch im ungünstigsten Fall die Störfallplanungswerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV (z. B. 50 mSv effektive Dosis, 300 mSv Knochenoberfläche und 150 mSv für die meisten übrigen Organe und Gewebe) eingehalten und überwiegend deutlich unterschritten werden.

Das Eintreten dieses ungünstigsten Falles setzt voraus, daß gleichzeitig eine Reihe von ungünstigen Bedingungen zusammentreffen müssen, die bei der Ableitung der nu-

klidspezifischen Aktivitätsgrenzwerte abdeckend zugrunde gelegt worden sind. So ist von allen betrachteten Störfällen jeweils derjenige gewählt worden, der zu den höchsten radiologischen Auswirkungen in der Umgebung führt. Entsprechend sind auch andere Randbedingungen wie z. B. Störfallorte und Lastannahmen festgelegt worden. Weiterhin ist die Annahme, daß nur ein Radionuklid im Abfallgebinde vorliegt und seine Aktivität den entsprechenden Aktivitätsgrenzwert ausschöpft, am ungünstigsten. Vergleichsrechnungen zeigen, daß unter gleichen Störfallbedingungen allein beim Vorliegen mehrerer Radionuklide in einem Abfallgebinde, die den Summenwert ausschöpfen, die berechneten Strahlenexpositionen rd. um einen Faktor 2 unter den Störfallplanungswerten liegen.

Die in den Tabellen 3.3.4/2 und 3.3.4/3 aufgeführten Aktivitätsgrenzwerte werden in der Regel von den Abfallgebinden bei weitem nicht ausgeschöpft werden; dies gilt insbesondere für die bereits vorhandenen radioaktiven Abfälle.

In der Tabelle 3.3.4/2 sind für die Abfallbehälterklassen I und II und die sechs Abfallproduktgruppen die Aktivitätsgrenzwerte der radiologisch wichtigsten Radionuklide (Leitnuklide) getrennt nach Alpha- und Beta/Gammastrahlern aufgeführt. Ferner enthält diese Tabelle auch die Aktivitätsgrenzwerte für nicht speziizierte Alpha- und Beta/Gammastrahler.

Für Radionuklide, die nicht zu den Leitnukliden gehören, ist der zugehörige Aktivitätsgrenzwert für die Abfallbehälterklassen I und II der Tabelle 3.3.4/3 zu entnehmen.

3.5.2.2 Störfälle der Klasse 2

Im folgenden wird - getrennt für die drei Anlagenbereiche - gezeigt, durch welche Vorsorgemaßnahmen die Auslegungsstörfälle der Klasse 2 (Kap. 3.5.2) vermieden werden.

Übertägige Anlage

Auslegungstörfälle der Klasse 2 in der übertägigen Anlage sind

- Kollision von Transportmitteln mit Brand,
- Fahrzeugbrand,
- anlageninterner Brand,
- anlageninterne Explosion,
- Erdbeben und
- sonstige Einwirkungen von außen.

In der übertägigen Anlage ist durch bauliche Auslegung (Anprallschutz) der Gebäude die Standsicherheit auch bei etwaigen Kollisionsergebnissen von Transportmitteln mit Gebäuden gewährleistet. Durch diese Auslegung werden Freisetzungungen radioaktiver Stoffe infolge von mechanischen Einwirkungen auf Abfallgebinde vermieden.

Störfälle, die zu thermischen Einwirkungen auf die Abfallgebinde führen können, werden im folgenden gemeinsam behandelt.

Brand und Explosion

Zu den Brandereignissen zählen Kollision von Transportmitteln mit Brand, Fahrzeugbrand, anlageninterner Brand sowie im Rahmen der EVA-Störfälle äußere Brände, die zu Bränden in der Umladehalle und in der Pufferhalle führen können.

Mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde bei einer anlageninternen Explosion sind aufgrund der geringen Mengen an explosionsfähigen Stoffen in der Umladeanlage gegenüber den thermischen Einwirkungen, die bei diesem Ereignis auftreten können, zu vernachlässigen.

Die Brandereignisse bzw. eine daraus resultierende Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Abfallgebinden werden durch die in Kapitel 3.2.3.3 beschriebenen Brandschutzmaßnahmen vermieden. Durch Art und Umfang der dort aufgeführten Vorsorgemaßnahmen wird der Entstehung und Ausbreitung von Schadensfeuern vorgebeugt. Auftretende Brände werden in der Entstehung erkannt, gemeldet und wirksam bekämpft. Aufgrund der aktiven (abwehrenden) und passiven (vorbeugenden) Brandschutzmaßnahmen haben Brandereignisse keine radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung.

Erdbeben

Die seismologischen Verhältnisse in der Umgebung des Standortes des Endlagers Konrad sind im Kapitel 3.1.9.3 beschrieben. Die Umladehalle der Schachtanlage und ihre Umschlagseinrichtungen für die Transporteinheiten sowie die Pufferhalle sind gemäß KTA 2201.1 klassifiziert worden (Kap. 3.2.3.4). Grundlage für die Beschleunigungswerte ist die standortspezifische Intensität für das Sicherheitsbeben $I_s = VII$ (MSK-Skala).

Damit wird eine Freisetzung radioaktiver Stoffe durch mechanische Einwirkung auf Abfallgebinde aufgrund der in Kapitel 3.2.3.4 beschriebenen erdbebensicheren Auslegung der Gebäude und Komponenten (z. B. Kran) vermieden.

Sonstige Einwirkungen von außen

Zu den sonstigen Einwirkungen von außen zählen

- Hochwasser,
- äußere Brände sowie
- Blitzschlag, Wind, Eis und Schnee.

Hochwasser ist im Bereich des Endlagers Konrad auszuschließen, da Hochwasser im Standortbereich allein auf die durch Starkniederschläge verursachten Überschwemmungen von Gewässern zweiter Ordnung und damit auf deren eng begrenztes natürliches Überschwemmungsgebiet in Bachniederungen beschränkt ist.

Blitzeinwirkungen wird im Rahmen der bautechnischen Maßnahmen mit Blitzschutzeinrichtungen begegnet.

Äußere Brände sind im Rahmen der Brandereignisse behandelt worden.

Gegen Belastungen durch Wind, Eis und Schnee sind die Bauwerke ausgelegt. Etwaige mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde durch abstürzende Bauwerksteile sind daher nicht zu berücksichtigen.

Diese Einwirkungen von außen, die als Auslegungsstörfälle der Klasse 2 behandelt werden, führen zu keinen Aktivitätsfreisetzungen aus der Anlage und haben somit keine radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung.

Schachtförderanlage

Auslegungsstörfälle der Klasse 2 in der Schachtförderanlage sind

- Absturz von Abfallgebinden bei Beschickung des Förderkorbes,

- Absturz von Abfallgebinden bei der Förderung nach unter Tage,
- Übertreiben des Förderkorbes,
- Absturz von Lasten auf Abfallgebinde im Förderkorb,
- anlageninterner Brand und
- Erdbeben.

Über den Betrieb von Schachtförderanlagen liegen umfangreiche Betriebserfahrungen vor. Diese Erfahrungen haben sich in den Technischen Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS) und weiteren bergbehördlichen Anforderungen an Auslegung, Betrieb und Überwachung von Schachtförderanlagen niedergeschlagen. Damit ist ein hoher Sicherheitstandard beim Betrieb von Schachtförderanlagen gewährleistet.

Wie in Kapitel 3.2.4.4 beschrieben, ist die Schachtförderanlage des Schachtes Konrad 2 nach dem Stand der Technik ausgelegt. Wesentliche Maßnahmen, die der Schadensvorsorge dienen, sind:

- Für Schacht Konrad 2 ist eine Achtseilförderanlage vorgesehen.
- Im Bereich der Schachtschleuse sind wegen der depressionsbedingten hohen Wettergeschwindigkeit an den Wetterdurchtrittsstellen alle Bauteile, einschließlich der Spieldeckel am Schleusenabschluß, unbrennbar ausgeführt.
- Die Anschläge werden überwacht.
- Die Masse der Transporteinheit wird bereits am Kran kontrolliert.
- Der Plateauwagen wird auf dem Absetzboden und durch das Fördergestell arretiert.
- Die Stahlspurlatten einschließlich sonstiger Schachteinbauten werden überwacht.
- An den Enden der Spurlatten sind Übertreibsicherungen vorhanden, um das Fördergestell/Gegengewicht abzubremsen.

- Die Fahrtregelung wird punktweise und kontinuierlich überwacht.
- Es werden zwei unabhängige Bremssysteme verwendet. Jedes System besitzt eine unabhängige Steuerung.
- Die Seilrutschsicherheit ist bedingt durch die eintrümige Förderung mit Gegengewicht groß.
- Es werden Festhaltevorrichtungen (Absetzklinken für den Absetzboden des Fördergestells) an der Rasenhängebank und am Füllort verwendet, die in den Sicherheitsstromkreis der Fördermaschine einbezogen sind.
- Die Schachthalle, der Schachtkeller sowie der Fördersturm der Schachtförderanlage sind gegen seismische Einwirkungen ausgelegt.

Die getroffenen anlagentechnischen Vorsorgemaßnahmen sind hinreichend, um die o. a. Auslegungsstörfälle in der Schachtförderanlage zu vermeiden.

Aufgrund der getroffenen Brandschutzmaßnahmen haben Brandereignisse keine radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung.

Untertägige Anlage

Auslegungsstörfälle der Klasse 2 in der untertägigen Anlage sind

- Steinfall,
- Kollision von Transportmitteln mit und ohne Brand,
- anlageninterner Brand und
- anlageninterne Explosion.

Steinfall

Die Ausbaumaßnahmen der Strecken, Einlagerungskammern und alle übrigen Grubenbaue sind in Kapitel 3.2.5.1 beschrieben. Die Erfahrungen beim Betrieb des Eisenbergwerkes Konrad bestätigen, daß die getroffenen anlagentechnischen Vorsorgemaßnahmen ausreichend sind,

um Steinfall zu vermeiden, der eine Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Abfallgebinden bewirken kann. Dies gilt auch für die Auswirkungen eines Erdbebens.

Kollision von Transportmitteln mit und ohne Brand

Dieser Auslegungsstörfall wird durch bauliche und administrative Maßnahmen zur Verkehrsführung und -regelung vermieden. Diese Maßnahmen sind in den Kapiteln 3.2.4.9 und 3.2.5.3 aufgeführt.

Anlageninterner Brand

Ein Brand unter Tage, der zu thermischen Einwirkungen auf Abfallgebinde führt, wird durch die in Kapitel 3.2.3.3 beschriebenen Brandschutzmaßnahmen vermieden.

Anlageninterne Explosion

Sprengmittel werden nur im Auffahrbereich in Kleinmengen gelagert und verwendet (Kap. 3.2.5.1). Eine Explosion dieser Sprengmittel führt aufgrund der räumlichen Distanz des Auffahrbereiches zum Einlagerungsbereich nicht zu Einwirkungen auf Abfallgebinde, die eine Freisetzung radioaktiver Stoffe zur Folge haben. Explosive Stoffe an besonderen Betriebspunkten (z. B. Werkstätten) sind nur in geringen Mengen vorhanden. Ihre Explosion führt aufgrund der räumlichen Trennung dieser Betriebspunkte von den Transportstrecken und Einlagerungskammern nicht zu Einwirkungen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus Abfallgebinden.

3.5.3 Ereignisse, die dem Restrisiko zugeordnet sind

Zu den Ereignissen, die wegen ihres geringen Risikos nach den Störfall-Leitlinien /1/ keine Auslegungsstörfälle sind, zählen Ereignisse infolge

- Flugzeugabsturzes,
- äußerer Einwirkungen gefährlicher Stoffe und
- äußerer Druckwellen aus chemischen Reaktionen.

Zu allen drei Ereignissen sind entsprechende Risiko-untersuchungen für das Endlager Konrad durchgeführt worden. Die Ergebnisse zeigen, daß in allen Fällen eine Zuordnung zum Restrisiko gerechtfertigt ist und Maßnahmen gegen diese Ereignisse, die der Risikominimierung dienen, nicht erforderlich sind. Bei der Untersuchung des Ereignisses Flugzeugabsturz ist sowohl der zivile als auch der militärische Überflugverkehr sowie der derzeitige flugplatzbezogene Luftverkehr durch den benachbarten Verkehrslandeplatz Salzgitter-Drütte berücksichtigt worden. Auch bei der geplanten Nutzungsänderung des Verkehrslandeplatzes Salzgitter-Drütte (Flugbetrieb durch Luftfahrzeuge mit maximalem Startgewicht von 12 000 kg) ist die Zuordnung des Ereignisses Flugzeugabsturz zum Restrisiko gegeben.

3.5.4 Literaturverzeichnis

/1/ Der Bundesminister des Innern:

Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung -Störfall-Leitlinien-. Bundesanzeiger 35 Nr. 245a (1983), S. 3-9.

/2/ Der Bundesminister des Innern:

Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien des BMI zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV. Bundesanzeiger 35 Nr. 245a (1983), S. 11-24.

/3/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I S. 2905) in der Neufassung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321) unter Berücksichtigung der Berichtigungen vom 16. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1262), zuletzt geändert durch Verordnung vom 3. April 1990 (BGBl. I S. 607).

/4/ Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990, Bundesanzeiger 42 (1990) Nr. 64 a, S. 1-23.

/5/ Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

Bekanntmachung der Zusammenstellung der Dosisfaktoren Teil I - Teil III vom 05. September 1989, Bundesanzeiger 41 (1989) Nr. 185 a, S. 29-677.

Textband

3.6 Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

3.6 THERMISCHE BEEINFLUSSUNG DES WIRTSGESTEINS

Begrenzung_der_Temperaturerhöhung_am_Kammerstoß

In das Endlager Konrad werden radioaktive Abfälle eingelagert, deren Wärmeabgabe so gering ist, daß die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins vernachlässigt werden kann. Die durch die Zerfallswärme der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide verursachte Temperaturerhöhung darf am Kammerstoß im Mittel 3 K nicht überschreiten. Dieser Wert entspricht etwa der Temperaturdifferenz bei einem Teufenunterschied von 100 m im natürlichen Temperaturfeld und ist, verglichen mit der durch die Bewetterung verursachten Temperaturveränderung, gering. Aufgrund vorliegender Betriebserfahrungen sind sicherheitstechnisch signifikante Auswirkungen durch die mit der Einlagerung der radioaktiven Abfälle im Zusammenhang stehenden Temperaturänderungen nicht zu erwarten.

Wird modellmäßig die Wärmeleistung von Radionukliden homogen in einer Einlagerungskammer verteilt, so beträgt die durch die Zerfallswärme verursachte Temperaturerhöhung am Kammerstoß nicht mehr als 3 K in einem Zeitraum bis zu 100 000 Jahren. Aus diesen Vorgaben werden Anforderungen an die Abfallgebinde abgeleitet.

Grenzwärmeleistungen

Die Temperaturerhöhungen in den Abfallgebinden, in den Einlagerungskammern und im Wirtsgestein setzen sich aufgrund der Linearität der Wärmeleitungsgleichung additiv aus den Temperaturerhöhungen der einzelnen im Abfall enthaltenen Radionuklide zusammen. Deshalb sind die von den verschiedenen Radionukliden verursachten Temperaturerhöhungen unabhängig voneinander berechenbar. Die maximale Temperaturerhöhung kann die Summe der durch

die Einzelnuklide verursachten maximalen Temperaturerhöhungen nicht überschreiten, da die Temperaturmaxima zu verschiedenen Zeitpunkten auftreten.

Für ein Radionuklid N wird eine Grenzwärmeleistung $W^*(N)$ so bestimmt, daß bei Abwesenheit von anderen Wärmequellen die maximale Temperaturerhöhung am Kammerstoß 3 K beträgt. Dabei wird als Grenzwärmeleistung die maximal zulässige Wärmeleistung eines Radionuklids je Längeneinheit Einlagerungskammer definiert. Um bei verschiedenen Radionuklidzusammensetzungen die o. a. Temperaturbegrenzung einzuhalten, müssen die längenbezogenen Anfangswärmeleistungen der Radionuklide in einem Abfallgebinde folgendem Summenkriterium genügen:

$$\sum_N \frac{W(N)}{W^*(N)} < 1$$

Dabei bedeutet $W(N)$ die Wärmeleistung des Radionuklids N je Längeneinheit Einlagerungskammer.

Bei kurzlebigen Radionukliden mit Halbwertszeiten bis zu wenigen Jahren sind die endliche Kammerlänge sowie die gegenseitige thermische Beeinflussung der nebeneinander liegenden Einlagerungskammern vernachlässigbar. Das Temperaturfeld wird mit einem eindimensionalen zylindersymmetrischen Modell berechnet. Bei Radionukliden mit größeren Halbwertszeiten ist ein solches Vorgehen nicht mehr zulässig. In diesem Fall werden modellmäßig neun parallele Kammern mit einer Länge von je 1 000 m bei der Berechnung der maximalen Temperaturerhöhung in der Mitte der mittleren Kammer berücksichtigt. Das Temperaturfeld wird mit Hilfe der analytischen Lösung der Wärmeleitungsgleichung für Linienquellen berechnet, wobei der Nahbereich der Kammern mit einer quasistationären Näherung erfaßt wird.

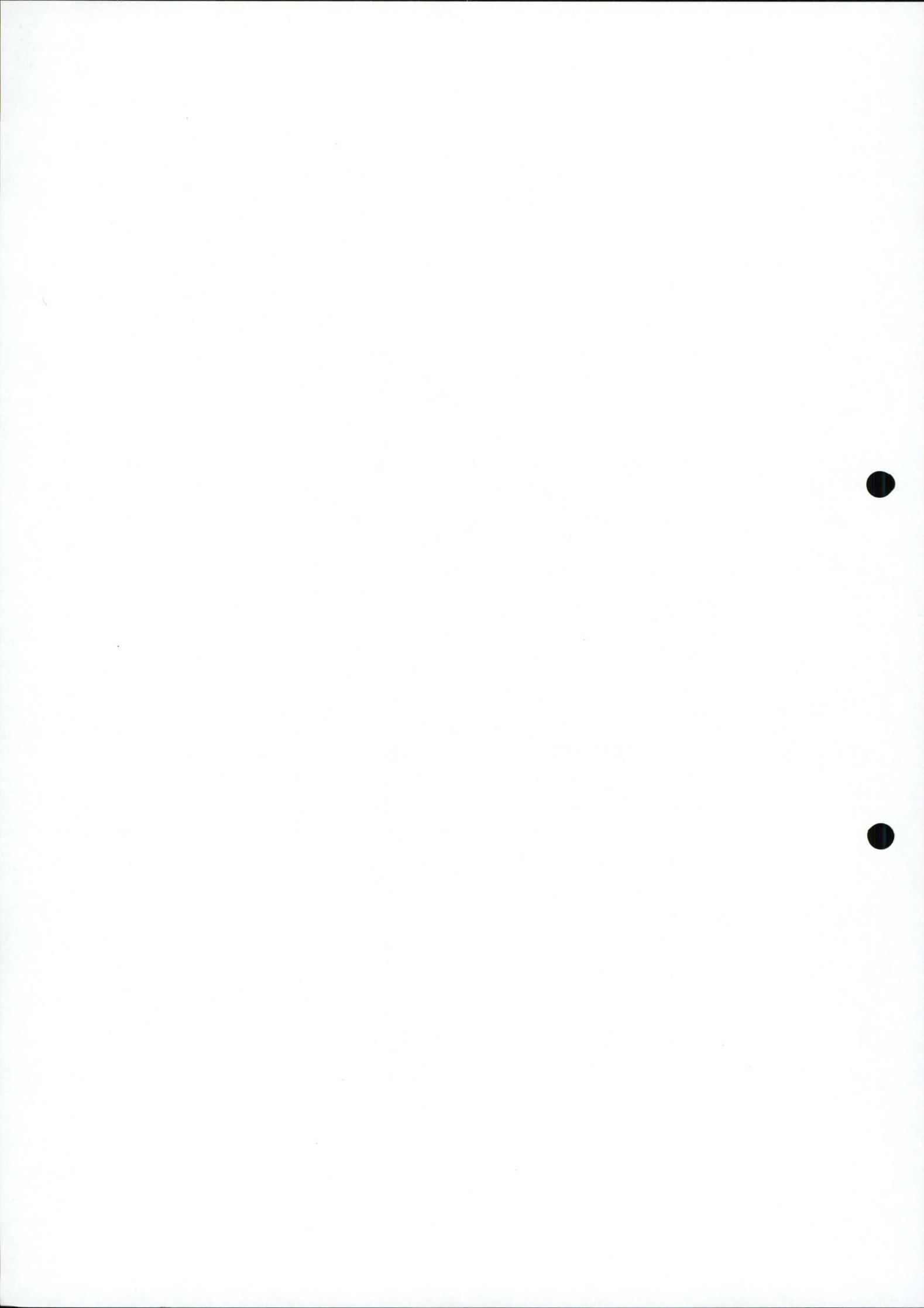
Gemischte Einlagerung

Da innerhalb weniger Jahre ein weitgehender Temperaturausgleich in den Einlagerungskammern zu erwarten ist, werden die Wärmeleistungen der einzelnen Abfallgebinde rechnerisch über den Querschnitt der Einlagerungskammern homogen verteilt. Daher ist es möglich, Abfallgebinde mit verschieden hohen Wärmeleistungen zusammen einzulagern, wobei die gemittelte Wärmeabgabe im Sinne der obigen Betrachtungen begrenzt wird.

Abfallgebinde, die dem Summenkriterium nicht genügen, können gegebenenfalls zusammen mit anderen Abfallgebinden eingelagert werden, die entsprechend geringe Wärmeleistungen aufweisen. Dabei ist eine Mischung von Abfallgebinden im Kammerquerschnitt wie auch in axialer Richtung der Einlagerungskammer über maximal drei Stapelreihen möglich.

Aktivitätsgrenzwerte

Die Grenzwärmeleistungen werden in längenbezogene Aktivitätsgrenzwerte und in gebindespezifische Aktivitätswerte umgerechnet (Kap. 3.3.4). Dabei werden so genannte Gebindefaktoren berücksichtigt, die von der Anzahl der Abfallgebinde im Querschnitt einer Einlagerungskammer sowie den Längen der Stapelreihen abhängen. Ferner geht die Energiefreisetzung pro Zerfall in die Umrechnung ein.



Textband

3.7 Kritikalitätssicherheit

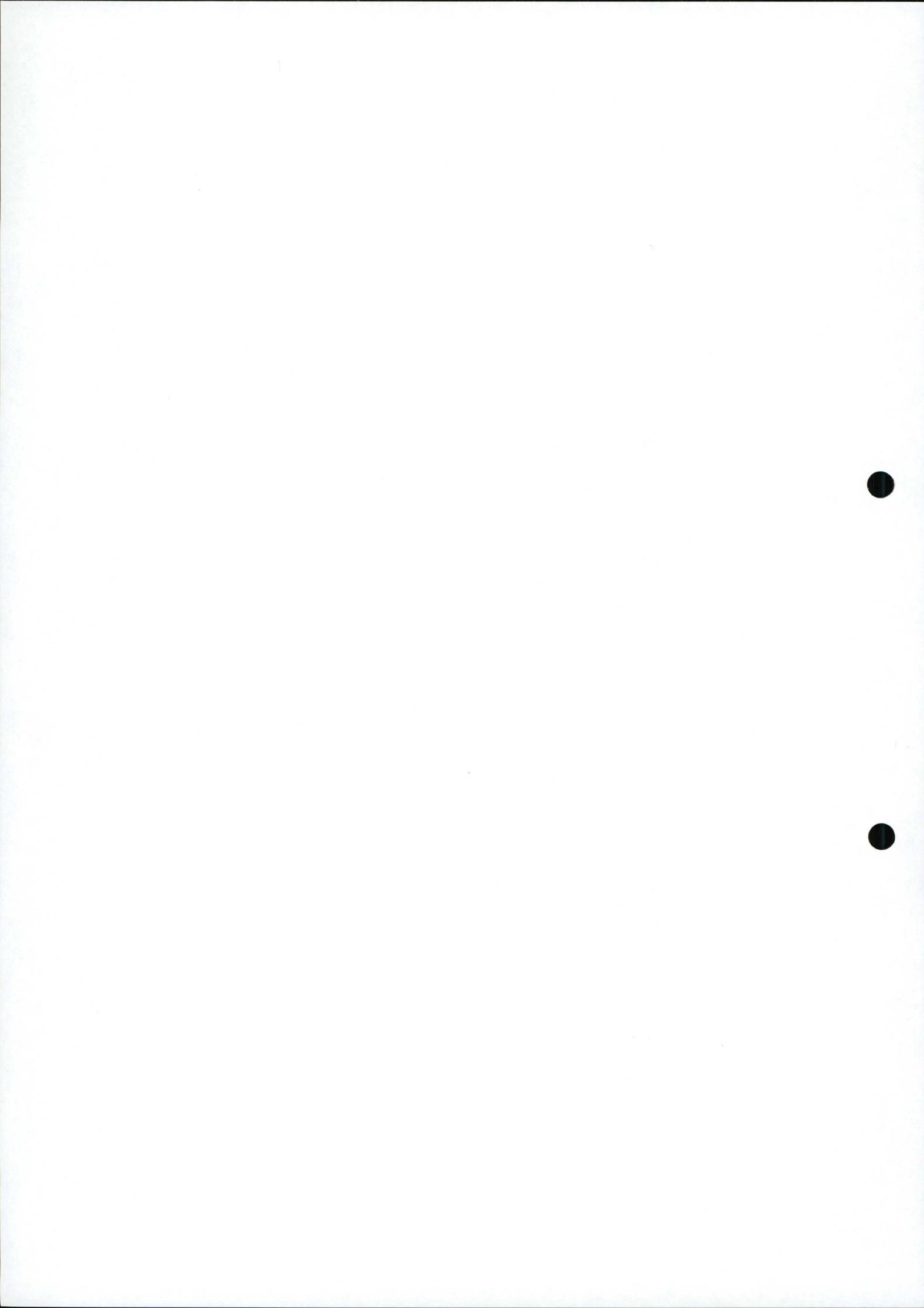
3.7 Kritikaltätssicherheit

KAPITEL

3.7 KRITIKALITÄTSSICHERHEIT

UNTERKAPITEL

- 3.7.1 Kritikalitätssicherheit in der Betriebsphase
- 3.7.2 Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase
- 3.7.2.1 Kritische Spaltstoffkonzentration bei homogener Verteilung
- 3.7.2.2 Kritische Spaltstoffkonzentration bei inhomogener Verteilung



3.7 KRITIKALITÄTSSICHERHEIT

3.7.1 Kritikalitätssicherheit in der Betriebsphase

Durch die Einhaltung der Transportvorschriften ist bei der Anlieferung von Abfallgebinden die Kritikalitätssicherheit gewährleistet. Bei der Handhabung einzelner Abfallgebinde oder Transporteinheiten sowie bei der Lagerung von Transporteinheiten in der Pufferhalle und der Einlagerung von Abfallgebinden in den Einlagerungskammern sind die zulässige Massenkonzentration spaltbarer Stoffe im Abfallprodukt (Kap. 3.3.2) und die zulässige Masse an spaltbaren Stoffen bzw. Aktivität pro Abfallgebinde (Kap. 3.3.4) so begrenzt, daß die Kritikalitätssicherheit gegeben ist.

3.7.2 Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase

Zur Untersuchung der Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase wird ein Wasserzutritt in das verfüllte Endlager nach Beendigung des Einlagerungsbetriebs unterstellt. Es wird angenommen, daß eine mit spaltstoffhaltigen Abfällen gefüllte Einlagerungskammer mit Wasser volläuft und nach Korrosion der Abfallgebinde-matrix die Spaltstoffreste ausgelaugt werden. Dazu sind Kritikalitätsberechnungen unter verschiedenen Randbedingungen durchgeführt worden.

3.7.2.1 Kritische Spaltstoffkonzentration bei homogener Verteilung

Zur Berechnung der kritischen Spaltstoffkonzentration bei homogener Verteilung sind im ersten Schritt nur material- und konzentrationsabhängige Kritikalitätsdaten (unabhängig von geometrischen Randbedingungen) berechnet worden. Dabei sind für dreidimensional infinite Systeme, d. h. ohne geometrisch bedingte Neutronenverluste, kritische Spaltstoffkonzentrationen berechnet worden. Als spaltbares Material ist reines Pu 239, in einer Matrix aus Zement bzw. Erzgestein homogen verteilt, unterstellt worden. Dies ist konservativ und deckt alle real zu erwartenden Gemische von spaltbaren Stoffen ab.

Verteilt man die sich aufgrund von Schätzungen über das Abfallaufkommen ergebende Menge an einzulagerndem Plutonium homogen über das gesamte Einlagerungsvolumen, so ergibt sich eine mittlere Plutoniumkonzentration von $8 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$. Bei Verschmierung der gesamten Plutoniummenge über das Volumen einer Einlagerungskammer (Modellannahmen: 40 m^2 Querschnittsfläche, 500 m Länge) erhält man einen Konzentrationswert von $2,1 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$ in der Lösung.

Ein Vergleich mit den kritischen Plutoniumkonzentrationen für infinit berechnete Spaltstoffsysteme zeigt, daß bei den o. g. Konzentrationswerten die Kritikalitäts-sicherheit gewährleistet ist.

3.7.2.2 Kritische Spaltstoffkonzentrationen bei inhomogener Verteilung

Zur Untersuchung einer inhomogenen Verteilung von Spaltstoffen wird für eine begrenzte Anzahl von Abfallgebinden unterstellt, daß nach Korrosion der Abfallgebindematrix (Zement) das gesamte Spaltstoffinventar ausgelaugt wird und sich dann auf der Kammersohle im Bereich einer zufällig vorhandenen Vertiefung absetzt. Dabei wird mit einer Aufkonzentration der Spaltstofflösung gerechnet. Hinsichtlich Geometrie und Spaltstoffdichte sind die unter den gegebenen Umständen konservativsten Randbedingungen unterstellt worden. Es ist in Kugelgeometrie mit einem 30 cm dicken Betonreflektor gerechnet worden.

Eine zu erwartende Vermischung des spaltbaren Materials mit Korrosionsprodukten aus den Abfallgebinden oder dem vor Ort vorhandenen Eisenerz ist konservativ vernachlässigt worden; lediglich der experimentell bestimmte Salzgehalt der Grubenwässer, der aufgrund des Chloranteils reaktivitätsmindern wirkt, ist in die Berechnungen eingegangen.

Die unter den o. g. Annahmen abgeleiteten kritischen Massen der spaltbaren Radionuklide U 233, U 235, Pu 239 und Pu 241 bilden die Grundlage für die Festsetzung von Massenbegrenzungen pro Stapelabschnitt in der Einlagerungskammer bzw. pro Abfallgebinde. Dabei sind neben den reinen spaltbaren Isotopen auch Radionuklidgemische untersucht worden, die in einer Reihe von Abfallgebinden zu erwarten sind.

Die festgelegte zulässige Massenkonzentration spaltbarer Stoffe im Abfallprodukt (Kap. 3.3.2) und die festgelegten zulässigen Massen an spaltbaren Stoffen bzw. zulässigen Aktivitäten pro Abfallgebinde (Kap. 3.3.4) stellen sicher, daß keine kritische Spaltstoffanordnung entstehen kann.

Darüber hinaus ist die Möglichkeit einer kritischen Anordnung durch höhere spaltbare Aktiniden (Np 237, Am- und Cm-Isotope) sowie durch spezielle Moderator- und Reflektormaterialien wie schweres Wasser, Graphit oder Beryllium untersucht worden. Hierbei hat sich gezeigt, daß aufgrund der vorgesehenen geringen Einlagerungsmengen für diese Materialien auch unter konservativsten Annahmen die Kritikalitätssicherheit gegeben ist.

Textband

3.8 Erdbebensicherheit des Grubengebäudes

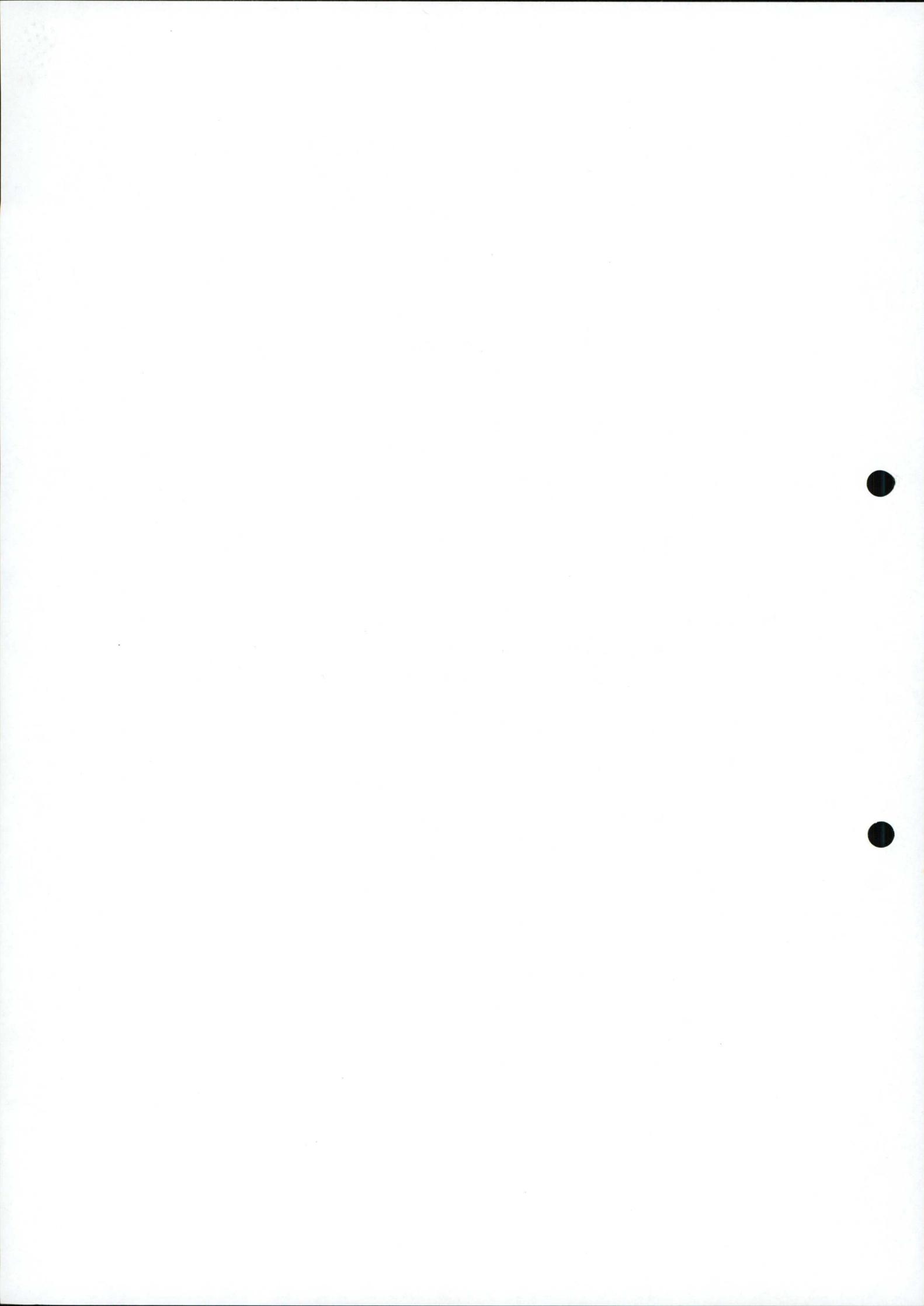
3.8 ERDBEBENSICHERHEIT DES GRUBENGEBAÜDES

Die seismologischen Verhältnisse in der Umgebung des Standortes der Schachtanlage Konrad und die Ableitung der seismischen Lastannahmen für das Grubengebäude des Endlagers Konrad enthält Kapitel 3.1.9.3. In Analogie zu der im Kapitel 3.5.2.2 erläuterten Vorgehensweise wird auch beim Grubengebäude bezüglich des zu unterstellenden Lastfalles vom Sicherheitserdbeben ausgangen. Die für das Sicherheitserdbeben im unverritzten Gebirge anzusetzenden dynamischen Zusatzlasten sind nicht in der Lage, dort Schäden hervorzurufen. Es liegen daher keine Anhaltspunkte vor, aus denen auf eine Gefährdung der geologischen Barriere als Folge einer Bebeneinwirkung (Sicherheitserdbeben) geschlossen werden könnte.

Bei den für den Lastfall Sicherheitserdbeben in der nahen Umgebung untertägiger Hohlräume anzusetzenden dynamischen Zusatzspannungen liegen keine Anhaltspunkte vor, aus denen auf eine Beeinträchtigung der Standsicherheit der Grubenbaue des Endlagers Konrad, die ursächlich auf eine Bebeneinwirkung zurückzuführen wäre, geschlossen werden könnte. Lediglich eine zusätzliche Auflockerung des Gebirges in der unmittelbaren Umgebung der Grubenbaue erscheint denkbar, wenn ein solches Ereignis vor dem Verfüllen der Hohlräume eintritt.

Bei den Standsicherheitsnachweisen des Füllortes auf der 850-m-Sohle, des Schachtausbaus von Schacht Konrad 2 und der Schachteinbauten von Schacht Konrad 2 ist die Belastung aus Erdbebenanregung berücksichtigt.

Der Absturz von Abfallgebinden ist in Kapitel 3.5 behandelt.



Textband

3.9 Langzeitsicherheit

KAPITEL

3.9 LANGZEITSICHERHEIT

UNTERKAPITEL

3.9.1 Zusammenfassung

3.9.2 Grundlagen der Langzeitsicherheit

3.9.3 Szenario einer Schadstoffausbreitung

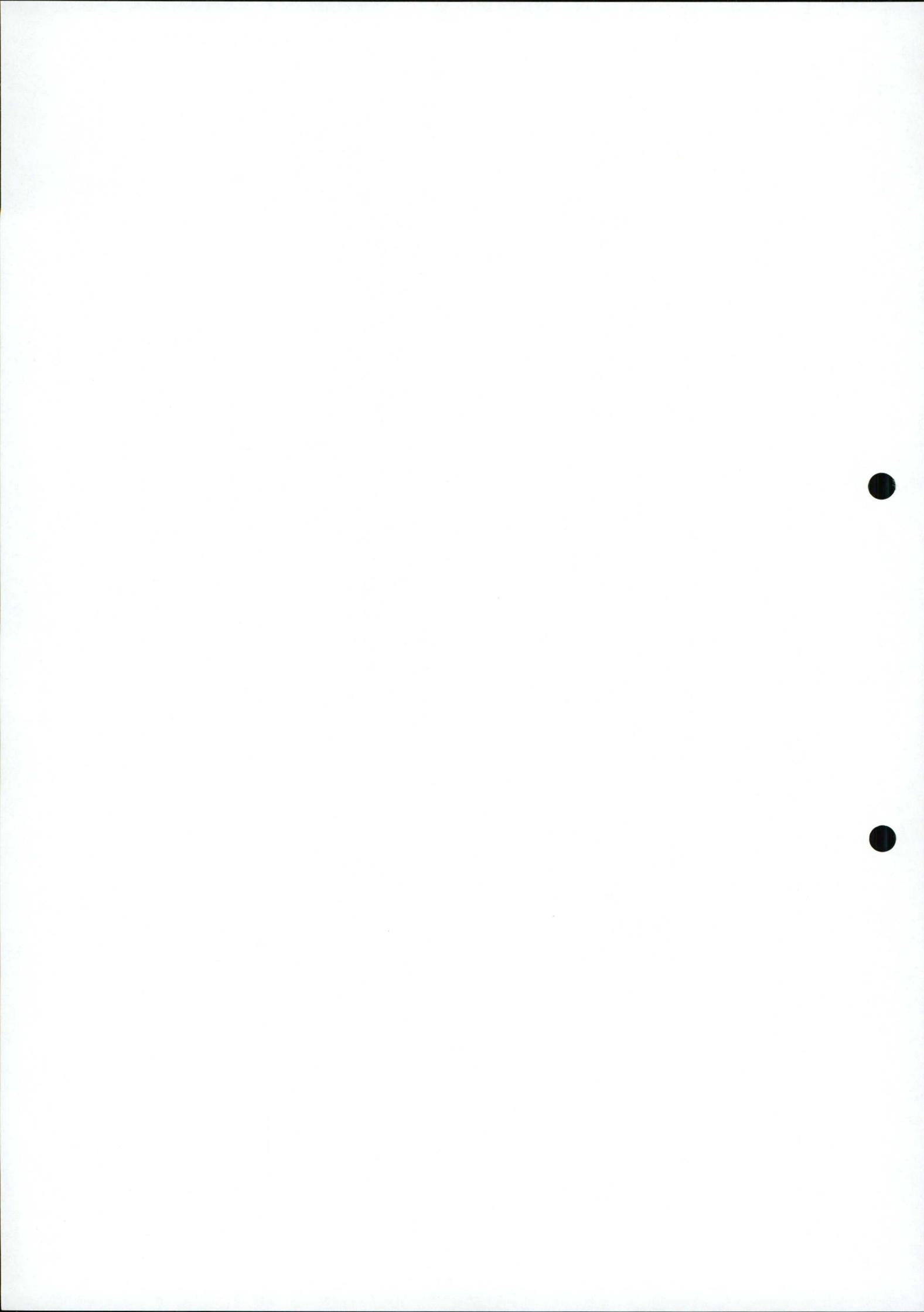
3.9.4 Ausbreitung von Radionukliden im Grubengebäude

3.9.5 Ausbreitung von Radionukliden in der Geosphäre

3.9.6 Ausbreitung von Radionukliden in der Biosphäre

3.9.7 Potentielle Strahlenexposition und Barrierenbewertung

3.9.8 Literaturverzeichnis



3.9 LANGHEITSICHERHEIT

3.9.1 Zusammenfassung

Für die Nachbetriebsphase wird ein Zutritt von Formationswässern an die endgelagerten radioaktiven Abfälle unterstellt. Der Übertritt von Radionukliden aus den Abfällen in die Formationswässer, ihre Ausbreitung mit den Wässern aus dem Bereich des Endlagers durch die Geosphäre bis in oberflächennahe Grundwässer wird modellmäßig behandelt. Den Modellrechnungen werden Randbedingungen zugrunde gelegt, die gegenwärtigen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort des Endlagers Konrad entsprechen. Ebenso wird bei der Berechnung der Ausbreitung von Radionukliden in der Biosphäre und bei der Berechnung von Individualdosen von derzeitigen Verhältnissen und Vorstellungen ausgegangen.

Aufbauend auf Ergebnissen von dreidimensionalen Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung (Kap. 3.1.10.4), die drei potentielle Radionuklidausbreitungswege aufzeigen, ist durch eindimensionale Rechnungen die Radionuklidausbreitung aus dem Endlagerbereich auf diesen Ausbreitungs wegen berechnet worden. Die vergleichsweise größten Strahlenexpositionen und kürzesten Schadstofflaufzeiten ergeben sich für den Fall einer Radionuklidausbreitung im Oxford, bei dem der Aufstiegsbereich kontaminiert Wässer ca. 30 km nordöstlich des Endlagers Konrad liegt.

Die Nuklidausbreitungsrechnungen zeigen, daß in dem für Sicherheitsanalysen mit Individualdosenberechnung zu betrachtenden Nachweiszeitraum von etwa 10 000 Jahren keine Kontamination der Biosphäre auftritt.

Radionuklide, die wie I 129 von den Gesteinen wenig zurückgehalten werden, breiten sich etwa mit der - sehr langsam - Grundwassergeschwindigkeit aus. Sie führen nach über 300 000 Jahren zu einer Kontamination des

oberflächennahen Grundwassers, aus der sich Äquivalentdosen im Schwankungsbereich der natürlichen Strahlenexposition ergeben.

Überwiegend treten die Radionuklide erst nach Zeiträumen an die Erdoberfläche, die etwa dem grundsätzlich erreichbaren Isolationspotential von Endlagern im tiefen Untergrund entsprechen und außerhalb der Prognosemöglichkeiten von etwa 1 Mio. Jahren liegen. Es handelt sich bei diesem Ergebnis daher um eine reine Rechengröße, die nur aufzeigt, daß die Grundwasserbewegung das mit Endlagern erreichbare Isolationsvermögen nicht gefährdet.

3.9.2 Grundlagen der Langzeitsicherheit

Die Möglichkeiten und Grenzen der Deponie von Schadstoffen werden aufgezeigt, wenn man unter Berücksichtigung der Entwicklung der Erde den Einfluß geologischer Abläufe auf die irdische Stoffverteilung betrachtet. Diese Stoffverteilung wird geprägt durch Kreislaufprozesse innerhalb sowie zwischen den einzelnen Teilbereichen der Erde. Diese Kreislaufprozesse sind das Ergebnis eines über 4 Milliarden Jahre währenden Entwicklungsprozesses, der sich auch noch in Zukunft fortsetzen wird /1-4/.

Die im Zusammenhang mit der Deponie anthropogener Schadstoffe interessierenden Kreisläufe verursachen um Größenordnungen unterschiedliche Aufenthaltszeiten der natürlichen Elemente und Verbindungen. Sie charakterisieren das grundsätzlich erreichbare Isolationspotential von Deponien, also die Aufenthaltsdauer von Elementen und Verbindungen in den Stoffkreisläufen bis zum möglichen Eintritt in die Biosphäre. Oberflächennah in der Pedosphäre deponierte Schadstoffe können z. B. größenordnungsmäßig hundert Jahre von den natürlichen Kreisläufen in der Biosphäre isoliert werden. Dagegen ist es möglich, die in tiefe Gesteinsformationen der Lithosphäre eingebrochenen Schadstoffe bis zu Millionen von Jahren von der Biosphäre fernzuhalten /1-4/.

Deponierte Schadstoffe nehmen an den Stoffkreisläufen teil. Dabei können sich aber durchaus Unterschiede zum Kreislauf natürlicher Elemente und Verbindungen in den gesteinsbildenden Stoffen und im Wasser ergeben, da keine über geologische Zeiträume stabilisierten Gleichgewichte vorliegen.

Daher kann auch der durch die hydrogeologische Situation einer Endlagerformation bedingte Schadstofftransport das aufgrund des Kreislaufs der gesteinsbildenden Stoffe er-

reichbare Isolationspotential verringern. Andererseits können aber durch Diffusion, Dispersion und Zumischung nicht schadstoffbelasteter Wässer hohe Schadstoffkonzentrationen verdünnt werden. Eine ideale Endlagerformation hält Schadstoffe für Zeiträume zurück, die durch die Kreisläufe der gesteinsbildenden Stoffe bestimmt sind; verbleibende Schadstoffreste erfahren bis zum Eintritt in die Biosphäre eine Verdünnung auf Werte, deren Auswirkungen mit denen natürlicher Stoffkonzentrationen vergleichbar sind.

Die geologischen Prozesse der Kreisläufe der gesteinsbildenden Stoffe laufen nach Naturgesetzen ab, die hinsichtlich ihrer zukünftigen Einwirkungen auf ein Endlager erkannt und bewertet werden müssen.

Die Komplexität dieser Prozesse und ihrer Wechselwirkungen machen es notwendig - in der Regel unter vereinfachenden, konservativen Annahmen - Modellvorstellungen zu entwickeln. Diese Vorstellungen müssen an ihrer Fähigkeit gemessen werden, aufgrund der heutigen geologischen Gesamtsituation eines Endlagerstandortes das geologische "Gestern" zu erklären. Da letzteres sich über viele Millionen Jahre erstrecken kann, berechtigen am "Gestern" getestete Modellvorstellungen Prognosen über den Kreislauf der gesteinsbildenden Stoffe unter Einbeziehung der Veränderungen durch die eingelagerten Schadstoffe. Der Prognosezeitraum ist abhängig vom betrachteten geologischen Prozeß und kann sich nach heutiger Kenntnis auf bis zu etwa 1 Mio. Jahre erstrecken.

Die möglichen Auswirkungen endgelagerte Schadstoffe bis hin zum Menschen hängen über die Hydrogeologie, die oberflächennahen Bereiche und die Biosphäre auch vom Klima ab.

Über die auch ohne menschliche Einwirkung erwartete zukünftige Klimaentwicklung gibt es zahlreiche Hypothesen. In /5/ wird ausgeführt, daß man heute auf der

Basis der himmelsmechanisch begründeten "Strahlungskurven" von Milankovitch eine "Eiszeit nach 10 000 Jahren oder ähnlich" als wahrscheinlicher unterstellt als ein gleichbleibendes Klima. In der Vergangenheit haben auch bereits rein natürliche Änderungen irdischer Einflußgrößen (z. B. CO₂-Gehalt) innerhalb geologisch kurzer Zeiten zu Klimaänderungen mit einer Häufigkeit von 1 pro 3 000 Jahren bis 10 000 Jahren geführt /6/. Vor diesem Hintergrund ist auch ohne Berücksichtigung menschlicher Einwirkungen mit wesentlichen klimabedingten Veränderungen der heutigen Umgebung des Menschen einschließlich der hydrogeologischen Verhältnisse über Zeiträume von etwa 10 000 Jahren zu rechnen.

Die Vorhersagbarkeit solcher Veränderungen stößt aus heutiger Sicht an prinzipielle Grenzen /7/. Daher werden die Berechnungsmöglichkeiten von Auswirkungen durch deponierte Schadstoffe auf Individuen insbesondere wegen der klimabedingten abnehmenden Verlässlichkeit der Berechnungsgrundlagen auf einen Zeitraum von höchstens etwa 10 000 Jahren begrenzt. Längerfristige quantitative Analysen sind nur im Rahmen allgemeiner Sicherheitsbetrachtungen sinnvoll, z. B. bei vergleichenden bzw. nuklidspezifischen Bewertungen geologischer Systeme /8/.

Auf der Basis dieser Grundlagen können für die Endlagerung Schutzziele formuliert werden, die weit über das hinausgehen, was mit der oberflächennahen Deponie erreichbar ist.

Gemäß der gemeinsamen Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und der Strahlenschutzkommission /9/ muß für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Bergwerken insbesondere erreicht werden, daß Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen können, nicht zu Individualdosen in einem Nachweiszeitraum von etwa 10 000 Jahren führen, die die Schwankungsbreite der natürlichen

Strahlenexposition überschreiten. Der Nachweis der Einhaltung dieses Schutzzieles muß auf der Basis einer standortspezifischen Sicherheitsanalyse geführt werden /10/.

3.9.3 Szenario einer Schadstoffausbreitung

Ausgangspunkt aller Überlegungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern ist die Frage nach möglichen Ereignisabläufen, die zu einem Lösungszufluß an die endgelagerten Abfälle führen können. Ist ein Zutritt von Wässern in die Einlagerungskammern nicht vollständig auszuschließen, muß nach /10/ die Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus den endgelagerten Abfällen und ihre Ausbreitung im Endlager sowie durch die Endlagerformation, das Deck- und Nebengebirge und in die Biosphäre rechnerisch modelliert und die potentielle Strahlenexposition dort bestimmt werden. Diese Betrachtungen haben den Standortverhältnissen Rechnung zu tragen. Die Beschreibung eines derartigen Ereignisablaufes wird als Szenario bezeichnet. Es bildet die Grundlage der in den Sicherheitsanalysen durchzuführenden Modellrechnungen zur Schadstoffausbreitung und Schadstoffaufnahme durch den Menschen.

Das Wirtsgestein des geplanten Endlagers, das Oxford, ist ein gering durchlässiger Poren-/Kluftwasserleiter, der durch das in ihm aufgefahrenen Grubengebäude entwässert wird. Diese Entwässerung erfolgt über Tropf- und Sickerstellen, das Anfahren wasserführender Klüfte bei der Hohlraumauffahrung und durch Verdunstung der Formationswässer am Stoß der Grubenräume. Die Grube ist für ein Eisenerzbergwerk sehr trocken. Angeschlagene Klüfte verringern ihre Wasserführung meist in kurzer Zeit oder versiegen völlig. Die mittlere Zuflußrate der Wässer in die Grube beträgt etwa 50 l/min, wobei der überwiegende Teil dieses Zuflusses in Form von Wasserdampf erfolgt, der mit den Grubenwettern nach außen abgeführt wird.

Wenn der Wasseraustrag aus der Grube in der Nachbetriebsphase aufhört, wird sich der durch die Entwässerung des Oxford in der direkten Umgebung des Grubengebäudes gebildete Druckabsenkungstrichter des tiefen Grundwassers langsam wieder auffüllen, wobei zuerst mit

einem Lösungszutritt in die Resthohlräume des Grubengebäudes und damit an die eingelagerten Abfälle zu rechnen ist. Modellrechnungen zeigen, daß die anthropogene hydrostatische Druckabsenkung nach ca. 1 000 Jahren nahezu ausgeglichen ist und die natürliche regionale Tiefenwasserbewegung wieder beginnt. Von diesem Zeitpunkt an können Radionuklide aus dem Bereich des Grubengebäudes mit dem Wasser wegtransportiert werden. Das Szenario für die Modellierung der Schadstoffausbreitung aus demendlager lässt sich dann wie folgt formulieren:

- unmittelbare Auffüllung der Resthohlräume des Grubengebäudes nach der Stilllegung mit Formationswässern,
- Mobilisierung von Radionukliden aus Abfallgebinden,
- Ausfällung und Sorption von Radionukliden im Grubengebäude,
- Freisetzung von Radionukliden aus dem Grubengebäude mit dem Grundwasser,
- Ausbreitung von Radionukliden mit dem Grundwasser in der Geosphäre; Sorption und Dispersion der Schadstoffe,
- Ausbreitung von Radionukliden in der Biosphäre und Transfer des kontaminierten Grundwassers zum Menschen über die Nutzungsarten
 - * Trinkwasser für den Menschen
 - * Beregnungswasser für Pflanzen
 - * Tränkwasser für Vieh
 - * Lebensraum für Fische
- Externe Exposition durch Aufenthalt auf beregneten Flächen.

3.9.4 Ausbreitung von Radionukliden im Grubengebäude

Zur Beschreibung der Vorgänge im Grubengebäude wird von einem Modellvolumen ausgegangen, das den gesamten Nahbereich des Endlagers umfaßt. Hierzu gehören das wasserfüllte Resthohlraumvolumen des Grubengebäudes und das Feststoffvolumen z. B. des Versatzes und der Auflockerungszone. Innerhalb des Modellvolumens können die aus den Abfallgebinden mobilisierten Radionuklide gelöst, an die Feststoffmasse gebunden oder bei Erreichen der Löslichkeit ausgefällt werden. Zugrunde gelegt wird eine homogene Verteilung der Aktivitätsinventare in den Einlagerungskammern sowie ihre homogene Durchströmung.

Die Durchströmung des Grubengebäudes aufgrund der großräumigen Grundwasserbewegung bewirkt die Freisetzung von Radionukliden aus dem Grubengebäude in das Gebirge. Die höhere Durchlässigkeit der verfüllten Strecken im Vergleich zum umgebenden Gebirge führt zu einer Grundwasserbewegung vor allem im Bereich der Hohlräume des Grubengebäudes. Entsprechend der geometrischen Anordnung der Einlagerungskammern werden diese sowohl nacheinander als auch parallel durchflossen, so daß eine Vermischung der Nuklide im Grubengebäude und eine Freisetzung entsprechend der mittleren Nuklidkonzentration erfolgt.

Nuklidinventare

Im Endlager Konrad werden radioaktive Abfälle mit einem Gesamtvolumen von ca. 650 000 m³ eingelagert. Je nach Herkunft und Abfallart sind die Abfälle unterschiedlich fixiert und verpackt.

Hinsichtlich ihres Volumens stellen die Abfälle einen Anteil von mehr als 95 %, hinsichtlich ihrer Aktivität einen Anteil von weniger als 1 % der insgesamt in der Bundesrepublik Deutschland endzulagernden Abfälle dar.

Der zeitabhängige Toxizitätsindex der Abfälle für das Endlager Konrad ist in Abbildung 3.9.4/1 dargestellt. Zu Beginn der Nachbetriebsphase beträgt die Aktivität der Beta/Gammastrahler ca. $5 \cdot 10^{18}$ Bq und die der Alpha-strahler ca. $1,5 \cdot 10^{17}$ Bq.

Die Gesamtaktivität der Abfälle sowie ihre Nuklidzusammensetzung sind mit Hilfe von konservativen Abschätzungen über die einzulagernden Abfälle abgeleitet worden. Für die Modellierung der Radionuklidausbreitung wird eine Auswahl von Radionukliden betrachtet, die sich an den Erfordernissen einer Langzeit-sicherheitsanalyse orientiert. Bei den Angaben zu den Aktivitätsinventaren werden jeweils die Abfallgebinde zusammengefaßt, die hinsichtlich ihrer Fixierung und ihrer Verpackung ähnlich sind, so daß für die Mobilisierungsmodelle ein einheitlicher Datensatz verwendet werden kann. Die entsprechenden Mobilisierungsgruppen werden mit Zement, Bitumen, Metalle und Sonstige bezeichnet. In Tabelle 3.9.4/1 sind die Inventare der vier Mobilisierungsgruppen und das Gesamtinventar für relevante Nuklide aufgeführt.

Neben den Radionukliden werden auch inaktive Nuklide eingelagert. Diese wirken sich auf die Ausfällungsvorgänge und die Sorption aus. Die Abhängigkeit der Sorptionsdaten von den maximal auftretenden Elementkonzentrationen wird betrachtet. Tabelle 3.9.4/1 enthält daher auch die Massen der berücksichtigten inaktiven Nuklide.

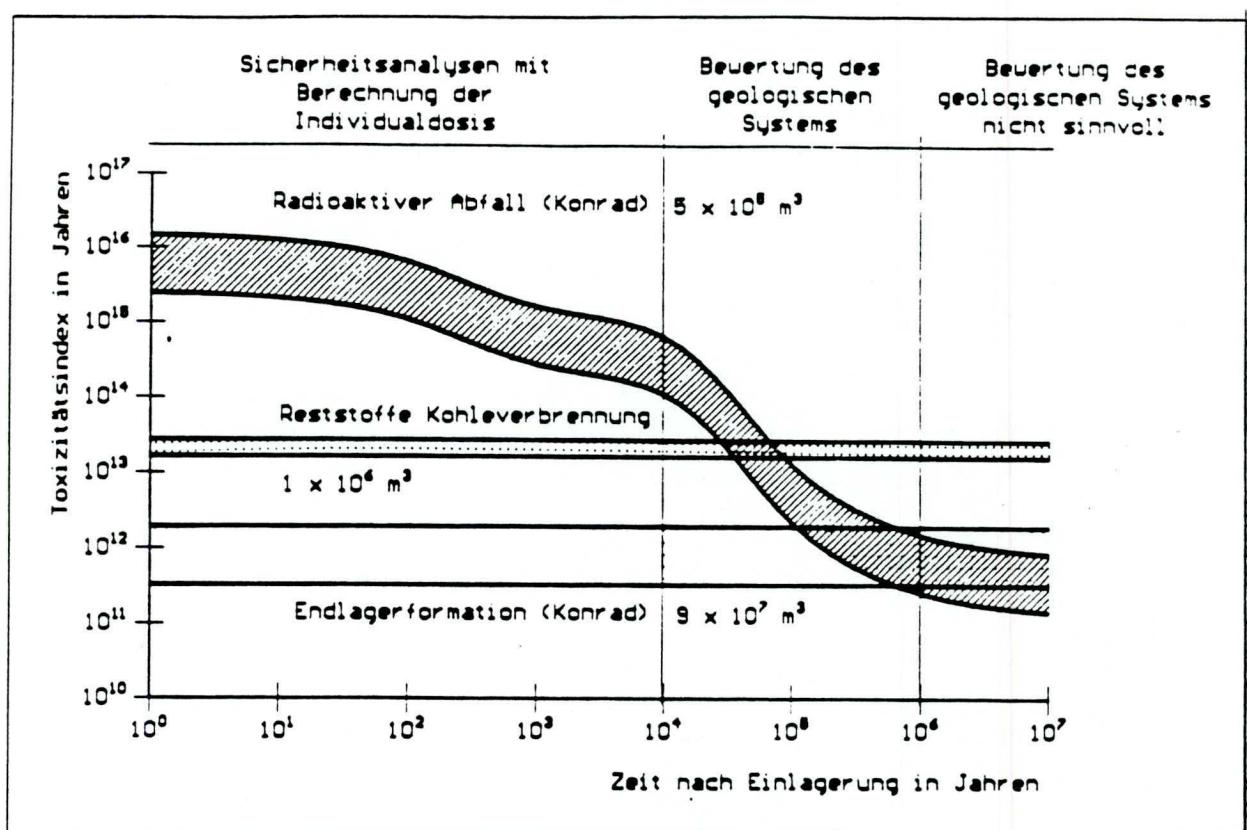


Abbildung 3.9.4/1: Zeitabhängiger Toxizitätsindex der Abfälle für das Endlager Konrad und Vergleich mit der natürlichen Radiotoxizität der Endlagerformation.

Radio-nuklid/ Element	Halbwerts- zeit in a	Mobilisierungsgruppe					Gesamt
		Zement	Bitumen	Metalle	Sonstige		
C 14	$5,7 \cdot 10^{+03}$	$4,9 \cdot 10^{-02}$	$2,7 \cdot 10^{-02}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-01}$	$5,0 \cdot 10^{-01}$	
Cl 36	$3,0 \cdot 10^{+05}$	$6,4 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-02}$	0,0	$4,0 \cdot 10^{-02}$	$8,9 \cdot 10^{-02}$	
Ca 41	$8,1 \cdot 10^{+04}$	$2,8 \cdot 10^{-01}$	0,0	0,0	$3,5 \cdot 10^{-02}$	$3,8 \cdot 10^{-02}$	
Ni 59	$8,0 \cdot 10^{+04}$	$9,7 \cdot 10^{-02}$	$1,6 \cdot 10^{+00}$	$9,1 \cdot 10^{+01}$	$6,5 \cdot 10^{+01}$	$1,6 \cdot 10^{+02}$	
Se 79	$6,5 \cdot 10^{+04}$	$4,7 \cdot 10^{-02}$	0,0	0,0	0,0	$4,7 \cdot 10^{-02}$	
Rb 87	$4,7 \cdot 10^{+10}$	$2,2 \cdot 10^{-02}$	0,0	0,0	0,0	$2,2 \cdot 10^{-02}$	
Zr 93	$1,5 \cdot 10^{+06}$	$1,1 \cdot 10^{+01}$	$8,5 \cdot 10^{-03}$	0,0	$2,1 \cdot 10^{-02}$	$1,1 \cdot 10^{+01}$	
Nb 94	$2,0 \cdot 10^{+04}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	
Mo 93	$3,5 \cdot 10^{+03}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	0,0	0,0	0,0	$1,1 \cdot 10^{-06}$	
Tc 99	$2,1 \cdot 10^{+05}$	$4,1 \cdot 10^{+01}$	$7,2 \cdot 10^{-01}$	0,0	$3,6 \cdot 10^{-01}$	$4,2 \cdot 10^{+01}$	
Pd 107	$6,5 \cdot 10^{+06}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	0,0	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	
Sn 126	$1,0 \cdot 10^{+05}$	$3,3 \cdot 10^{-01}$	$4,9 \cdot 10^{-03}$	0,0	$6,2 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-01}$	
I 129	$1,6 \cdot 10^{+07}$	$1,2 \cdot 10^{+00}$	$2,2 \cdot 10^{+01}$	0,0	$2,0 \cdot 10^{-01}$	$2,4 \cdot 10^{+01}$	
Cs 135	$2,3 \cdot 10^{+06}$	$5,9 \cdot 10^{+00}$	$2,2 \cdot 10^{+00}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-01}$	$8,8 \cdot 10^{+00}$	
Pu 240	$6,5 \cdot 10^{+07}$	$2,3 \cdot 10^{+02}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$3,1 \cdot 10^{+00}$	$2,5 \cdot 10^{+02}$	
U 236	$2,3 \cdot 10^{+10}$	$1,8 \cdot 10^{+04}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$	0,0	$8,0 \cdot 10^{-01}$	$1,8 \cdot 10^{+04}$	
Th 232	$1,4 \cdot 10^{+04}$	$5,4 \cdot 10^{+04}$	$6,1 \cdot 10^{-10}$	0,0	$2,3 \cdot 10^{+03}$	$5,7 \cdot 10^{+04}$	
Pu 241	$1,4 \cdot 10^{+01}$	$4,7 \cdot 10^{+01}$	$3,8 \cdot 10^{+00}$	0,0	$1,3 \cdot 10^{+00}$	$5,2 \cdot 10^{+01}$	
Am 241	$4,3 \cdot 10^{+02}$	$5,0 \cdot 10^{+00}$	$5,4 \cdot 10^{-02}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-01}$	$5,5 \cdot 10^{+00}$	
Np 237	$2,1 \cdot 10^{+06}$	$6,7 \cdot 10^{+00}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	0,0	$4,6 \cdot 10^{-03}$	$6,8 \cdot 10^{+00}$	
U 233	$1,6 \cdot 10^{+05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$	0,0	$1,7 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	
Th 229	$7,4 \cdot 10^{+03}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
U 238	$4,5 \cdot 10^{+09}$	$5,1 \cdot 10^{+05}$	$7,1 \cdot 10^{+03}$	0,0	$1,7 \cdot 10^{+04}$	$5,4 \cdot 10^{+05}$	
Pu 238	$8,8 \cdot 10^{+01}$	$1,9 \cdot 10^{+01}$	$1,1 \cdot 10^{+00}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-01}$	$2,1 \cdot 10^{+01}$	
U 234	$2,4 \cdot 10^{+05}$	$3,4 \cdot 10^{+00}$	$7,4 \cdot 10^{-07}$	0,0	$2,3 \cdot 10^{-01}$	$3,7 \cdot 10^{+00}$	
Th 230	$7,7 \cdot 10^{+04}$	$5,9 \cdot 10^{-02}$	$6,9 \cdot 10^{-12}$	0,0	$2,2 \cdot 10^{-02}$	$8,1 \cdot 10^{-02}$	
Ra 226	$1,6 \cdot 10^{+03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-16}$	0,0	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$3,8 \cdot 10^{-03}$	
Pb 210	$2,2 \cdot 10^{+01}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	0,0	0,0	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	
Pu 239	$2,4 \cdot 10^{+04}$	$5,4 \cdot 10^{+02}$	$3,6 \cdot 10^{+01}$	$5,1 \cdot 10^{-03}$	$8,1 \cdot 10^{+00}$	$5,8 \cdot 10^{+02}$	
U 235	$7,0 \cdot 10^{+08}$	$2,2 \cdot 10^{+03}$	$5,5 \cdot 10^{+00}$	0,0	$2,7 \cdot 10^{+02}$	$2,5 \cdot 10^{+03}$	
Pa 231	$3,3 \cdot 10^{+04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	0,0	$9,5 \cdot 10^{-03}$	$9,7 \cdot 10^{-03}$	
Ac 227	$2,2 \cdot 10^{+01}$	$1,1 \cdot 10^{-07}$	0,0	0,0	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	
Cl		$4,1 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-02}$	0,0	$2,6 \cdot 10^{-02}$	$5,7 \cdot 10^{-02}$	
Ca		$4,1 \cdot 10^{+00}$	0,0	0,0	$5,1 \cdot 10^{+01}$	$5,5 \cdot 10^{+01}$	
Ni		$8,1 \cdot 10^{+01}$	$1,8 \cdot 10^{+02}$	$8,6 \cdot 10^{+03}$	$4,4 \cdot 10^{+03}$	$1,3 \cdot 10^{+04}$	
Se		$4,4 \cdot 10^{-01}$	0,0	0,0	0,0	$4,4 \cdot 10^{-01}$	
Rb		$9,0 \cdot 10^{-03}$	0,0	0,0	0,0	$9,0 \cdot 10^{-03}$	
Zr		$4,3 \cdot 10^{+01}$	$3,4 \cdot 10^{-02}$	0,0	$8,3 \cdot 10^{-02}$	$4,3 \cdot 10^{+01}$	
Nb		$8,1 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{+00}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	
Mo		$6,9 \cdot 10^{-04}$	0,0	0,0	0,0	$6,9 \cdot 10^{-03}$	
Pd		$3,7 \cdot 10^{-01}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	0,0	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-01}$	
Sn		$5,0 \cdot 10^{-01}$	$7,2 \cdot 10^{-03}$	0,0	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-01}$	
I		$3,7 \cdot 10^{-01}$	$6,7 \cdot 10^{+00}$	0,0	$5,9 \cdot 10^{-02}$	$7,1 \cdot 10^{+00}$	
Cs		$5,4 \cdot 10^{+01}$	$2,0 \cdot 10^{+01}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{+00}$	$8,0 \cdot 10^{+01}$	
Pb		$2,4 \cdot 10^{+00}$	0,0	0,0	$1,2 \cdot 10^{+00}$	$3,5 \cdot 10^{+00}$	

Tabelle 3.9.4/1 Masse relevanter Nuklide in kg zu Beginn der Nachbetriebsphase

Anmerkung: Halbwertszeiten nach KORIGEN /11/. Durch die Angabe der Massen auf zwei signifikante Stellen ergeben sich durch das Runden der Zahlen Differenzen zwischen den Angaben zur Gesamtmasse in Spalte sieben und der Summe der Massen der Mobilisierungsgruppen aus den Spalten drei bis sechs.

Mobilisierung aus Abfallgebinden

Bei der Auffüllung der Resthohlräume im Grubengebäude kommen die Abfallgebinde mit Wässern in Kontakt. Da die Auffülldauer des Grubengebäudes kurz gegenüber den Transportzeiten der Nuklide durch die Geosphäre ist, wird ein unverzögerter Kontakt von Wässern mit Abfallgebinden angenommen.

Die Mobilisierung der Nuklide aus den Abfallgebinden wird durch Behälter und Abfallmatrix verzögert. Der Behälter verhindert den Kontakt der Wässer mit der Abfallmatrix bis zum Ausfall des Behälters. Als Ursachen für den Behälterausfall kommen Korrosion und mechanische Einwirkung des Gebirges durch Konvergenz in Betracht. Die für diese Belastungen ermittelten Behälterstandzeiten betragen nur wenige Jahre. Wegen der im Vergleich zu den Nuklidausbreitungsvorgängen kurzen Zeitdauer wird die Wirkung der Behälter vernachlässigt. Die Mobilisierung von Nukliden aus den Abfällen beginnt somit modellmäßig mit dem Beginn der Nachbetriebsphase.

Wegen der Vernachlässigung der Behälterbarriere bei der Mobilisierung ist eine Unterscheidung von Abfallgebinden mit verschiedenen Behältern nicht erforderlich. Die Mobilisierungsgruppen werden daher allein durch die Fixierungsart bestimmt. Die Zeitdauer der Mobilisierung der Nuklide ist je nach Mobilisierungsgruppe und Element unterschiedlich. Die elementspezifische Mobilisierungsdauer für vier Mobilisierungsgruppen ist jeweils aus Experimenten abgeleitet und in Tabelle 3.9.4/2 angegeben.

Der Zeitverlauf der Mobilisierung für eine gegebene Mobilisierungsdauer ergibt sich aus der Annahme einer konstanten Mobilisierungsrate, die von dem radioaktiven Zerfall überlagert wird. Zusätzlich wird nach Ablauf ihrer eigenen Mobilisierungsdauer die Mobilisierung der Nuklide berücksichtigt, die aus dem Zerfall noch nicht vollständig mobilisierter Mutternuklide herrühren. Nach

Ablauf der längsten Mobilisierungsdauer von 600 Jahren ist das gesamte eingelagerte Inventar der Nuklide aus den Abfallgebinden freigesetzt.

Radionuklidrückhaltung durch Ausfällung und Sorption

Nach der Mobilisierung der Nuklide aus den Abfallgebinden kann ihre weitere Mobilität im Grubengebäude unter anderem durch Ausfällung und Sorption eingeschränkt werden. Beide Effekte sind elementspezifisch und verzögern die Freisetzung zugehöriger Nuklide in das Gebirge.

Löslichkeiten

Fällungsreaktionen setzen ein, wenn bei der Mobilisierung von Nukliden aus den Abfallgebinden die Löslichkeit des betreffenden chemischen Elements erreicht wird. Bei einer weiteren Mobilisierung bildet der die Löslichkeit überschreitende Anteil einen Niederschlag, der im Grubengebäude zurückgehalten wird.

Die Löslichkeit eines chemischen Elements in einer wässrigen Lösung wird wesentlich von den jeweils herrschenden physikalisch-chemischen Randbedingungen (z. B. Zusammensetzung, pH-Wert und Redoxpotential) bestimmt. Diese wurden bei der Ableitung der in Tabelle 3.9.4/3 aufgeführten Löslichkeiten für das Milieu im Grubengebäude berücksichtigt. Die Werte sind auf der Basis experimenteller Untersuchungen abgeleitet worden.

Die aufgeführten Werte stehen mit den bekannten chemischen Eigenschaften der betreffenden Elemente im Einklang. So weisen drei-, vier- und fünfwertige Ionen aufgrund ihrer Neigung zur Hydrolyse im alkalischen Milieu des Grubengebäudes geringe Löslichkeiten auf. Dagegen sind für Elemente, die in Form anionischer Komplexe vor-

Mobilisierungsgruppe	Mobilisierungs-dauer in a	Elemente
Bitumen	10	Cl, Ca, I, Ra
	20	C, Ni, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Tc, Pd, Sn, Cs, Pb
	200	Aktiniden
Zement	0	Cl, Rb, Cs
	15	Ca, Ra
	40	C, Ni, Se, Zr, Nb, Mo, Tc, Pd, Sn, Pb
	600	Aktiniden
Metall	50	alle Elemente
Sonstige	0	alle Elemente

3.9.4/2 Tabelle Mobilisierungsdauer für Elemente und Mobilisierungsgruppen

liegen, unter diesen Bedingungen hohe Löslichkeiten zu berücksichtigen.

Sorption

Die durch Mobilisierung aus Abfallgebinden gelösten Radionuklide verteilen sich aufgrund von Sorptionseffekten auf die Wässer und die festen Stoffe im Grubengebäude.

Allgemein wird die Verteilung von Nukliden zwischen einer festen und einer flüssigen Phase durch elementspezifische Sorptions (R_s)- und Desorptionskoeffizienten (R_D) beschrieben. Im Falle vollständiger Reversibilität sorptiver Vorgänge stimmen R_s - und R_D -Wert überein und können durch den Verteilungskoeffizienten (K_d) ausgedrückt werden. Der Verteilungskoeffizient ist der Quotient aus den Radionuklidkonzentrationen am Festgestein und in der Lösung.

Das Sorptions- und Desorptionsverhalten von Radionukliden in den natürlichen Systemen aus Gesteinen des Einlagerungshorizontes und der zugehörigen Formationswässer ist experimentell untersucht worden. Weiterhin sind Experimente durchgeführt worden, um die Abhängigkeit möglicher Einflußparameter wie pH-Wert, Radionuklidkonzentration und Verhältnis von Volumen der Lösung V_{fl} zur Masse des Sorbens m_s festzustellen.

Untersucht wurde auch der Einfluß technischer Komplexbildner, da diese die Mobilität von Radionukliden erhöhen können. Technische Komplexbildner können in den endgelagerten Abfallgebinden enthalten sein und werden zusammen mit den Radionukliden mobilisiert. Bei den im Grubengebäude unterstellten Komplexbildnerkonzentrationen werden die K_d -Werte von komplexbildenden Nukliden im wesentlichen von EDTA (Ethylen-Diamin-Tetra-Acetat) beeinflußt.

Element	L mol/dm ³	K _d cm ³ /g
C	1 · 10 ⁻⁴	2
Cl	1 · 10 ⁻²	0
Ca	1 · 10 ⁻²	0
Ni	1 · 10 ⁻³	0,9
Se	1 · 10 ⁻²	0,1
Rb	1 · 10 ⁻²	1
Zr	5 · 10 ⁻⁷	200
Mo	1 · 10 ⁻⁴	0,2
Nb	5 · 10 ⁻⁷	1 000
Tc	7 · 10 ⁻⁴	0,4
Pd	1 · 10 ⁻⁴	0,2
Sn	1 · 10 ⁻⁴	0,6
I	1 · 10 ⁻²	0
Cs	1 · 10 ⁻²	30
Am	7 · 10 ⁻⁷	500
Cm	7 · 10 ⁻⁷	500
Pu	2 · 10 ⁻⁷	500
Np	3 · 10 ⁻⁵	70
Pa	1 · 10 ⁻⁵	1 000
Th	1 · 10 ⁻⁷	200
U	1 · 10 ⁻⁴	8
Ra	1 · 10 ⁻³	1,7
Pb	1 · 10 ⁻⁴	0,6
Ac	1 · 10 ⁻⁵	30

Tabelle Löslichkeiten L und Verteilungskoeffizienten K_d für das Modellvolumen des Grubengebäudes (EDTA-Konzentration: 10⁻³ mol/dm³, pH ≤ 12, V_{f1}/m_s = 0,2 cm³/g)

Für die Modellierung der Sorption wird der aus den experimentellen R_s -Daten abgeleitete K_d -Wert herangezogen.

Aus der Menge des Lösungsmittels, der Menge des Sorbensmaterials und dem Inventar der einzelnen Nuklide werden unter Berücksichtigung von K_d -Werten die Nuklidkonzentrationen in der Lösung berechnet.

In Tabelle 3.9.4/3 sind die bei der Modellierung verwendeten K_d -Werte aufgeführt. Die Daten berücksichtigen die chemischen und physikalischen Verhältnisse im Grubengebäude. Die K_d -Werte für Chlor, Calcium, Rubidium, Molybdän, Palladium und Zinn sind aus Meßwerten an Elementen mit chemisch ähnlichem Verhalten abgeleitet worden.

Durchströmung des Grubengebäudes

Nach Auffüllung der Resthohlräume des Grubengebäudes und Annäherung an die ungestörten Druckverhältnisse im Bereich des Endlagers wird eine Grundwasserbewegung einsetzen, durch die der Endlagerbereich durchströmt wird. Die Durchströmungsrate lässt sich aus den Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung ermitteln (Kap. 3.1.10.4). Hierzu werden die Volumenströme aller Elemente des Grundwassersmodells für das Oxford im Bereich des Grubengebäudes bilanziert.

Der Endlagerbereich wird weitgehend horizontal innerhalb des Korallenoolith, im wesentlichen von Süden nach Norden, durchströmt. Die Durchströmungsraten des Endlagerbereichs sind von der Durchlässigkeit der Unterkreidetonsteine abhängig. Für einen Durchlässigkeitsbeiwert von $1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ beträgt die Durchströmungsrate $3\ 200 \text{ m}^3/\text{a}$. Bei einer Reduktion des Durchlässigkeitsbeiwertes der Unterkreidetonsteine um zwei Größenordnungen verringert sich die Durchströmungsrate durch den Endlagerbereich um etwa einen Faktor zwei auf $1\ 620 \text{ m}^3/\text{a}$.

Die den Endlagerbereich durchströmende Wassermenge wird wegen der höheren Durchlässigkeit des Streckensystems bevorzugt durch die Strecken fließen. Dies wird dadurch verstärkt, daß die Hauptrichtung des Streckensystems mit der Hauptströmungsrichtung der Tiefenwässer übereinstimmt, so daß von einer Längsdurchströmung des Streckensystems auszugehen ist.

Mit Hilfe von analytischen Abschätzungen und numerischen Berechnungen wird untersucht, in welchem Umfang Strecken und Einlagerungskammern im Vergleich zum umgebenden Gestein durchströmt werden. Bei den analytischen Abschätzungen wird eine einzelne Strecke großer Länge in einem weniger durchlässigen Medium betrachtet. In den numerischen Berechnungen wird vereinfacht das Streckensystem mit den zugehörigen Festen als ein gut durchlässiges homogenes Gebiet innerhalb einer weniger durchlässigen Schicht dargestellt. Aus beiden Abschätzungen ergibt sich, daß bei einem Durchlässigkeitsbeiwert der Streckenverfüllung von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s und einem Durchlässigkeitsbeiwert des umgebenden Mediums von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s der überwiegende Teil der den Endlagerbereich durchfließenden Wässer durch das Streckensystem fließt. Für die Sicherheitsanalyse wird deshalb angenommen, daß sämtliche Wässer im Endlagerbereich durch das Streckensystem fließen.

Bei den Strecken und Kammern im Grubengebäude handelt es sich teilweise um alte Abbaufelder, in denen keine Einlagerung stattfindet. Aufgrund der geometrischen Anordnung ist zu erwarten, daß die Durchströmung von Abbaufeldern und Einlagerungsfeldern weitgehend getrennt voneinander erfolgt, so daß zwei Drittel der Wässer durch die Einlagerungsfelder fließen werden. Es wird jedoch unterstellt, daß die Durchströmung des Grubengebäudes allein auf die Einlagerungsfelder beschränkt ist. Bezuglich der Radionuklidfreisetzung aus dem Grubengebäude bedeutet dies eine schnellere Frei-

setzung mit geringeren Konzentrationen als bei der Durchströmung aller Felder. Bei Annahme einer getrennten Durchströmung von Einlagerungsfeldern und Abbaufeldern würde eine anschließende Durchmischung mit entsprechenden Konzentrationsverringerungen eintreten. Vor diesem Hintergrund ist die Annahme der alleinigen Durchströmung der Einlagerungsfelder gerechtfertigt.

Freisetzung aus dem Grubengebäude

Zur Beschreibung der Freisetzung von Radionukliden aus dem Grubengebäude wird ein Modellvolumen betrachtet, das den gesamten Nahbereich des Endlagers umfaßt. Das Modellvolumen setzt sich aus einem Lösungsvolumen und einem Feststoffvolumen zusammen. Die Radionuklidinventare der Abfallgebinde sind zunächst nicht Bestandteil des Modellvolumens. Erst im Zusammenhang mit der Mobilisierung gehen die Radionuklide aus den Abfallgebinden in das Modellvolumen über. Nach der Mobilisierung wird eine homogene Verteilung der Nuklide innerhalb des Lösungsvolumens angenommen. Durch Ausfällungs- und Sorptionsvorgänge wird die Freisetzung von Nukliden aus dem Grubengebäude verzögert.

Aufgrund der Durchströmung des Endlagerbereichs wird kontinuierlich ein Teil der gelösten Nuklide aus dem Modellvolumen freigesetzt. Das Inventar des Modellvolumens ändert sich somit durch die Mobilisierungsrate, die Freisetzungsraten und den radioaktiven Zerfall.

Eine schematische zusammenfassende Darstellung der Modellierung des Grubengebäudes, insbesondere der Vorgänge im Modellvolumen, ist in Abb. 3.9.4/2 gegeben.

Zur Berechnung der Vorgänge im Grubengebäude und der Radionuklidfreisetzung in das Gebirge wird das Programm EMOS2 verwendet. Das Programm behandelt Modelle mit Kompartimentstrukturen, wobei die beschreibenden

Gleichungen zeitdiskret gelöst werden. Für die Modellierung des Grubengebäudes werden die folgenden zwei Kompartimenttypen verwendet:

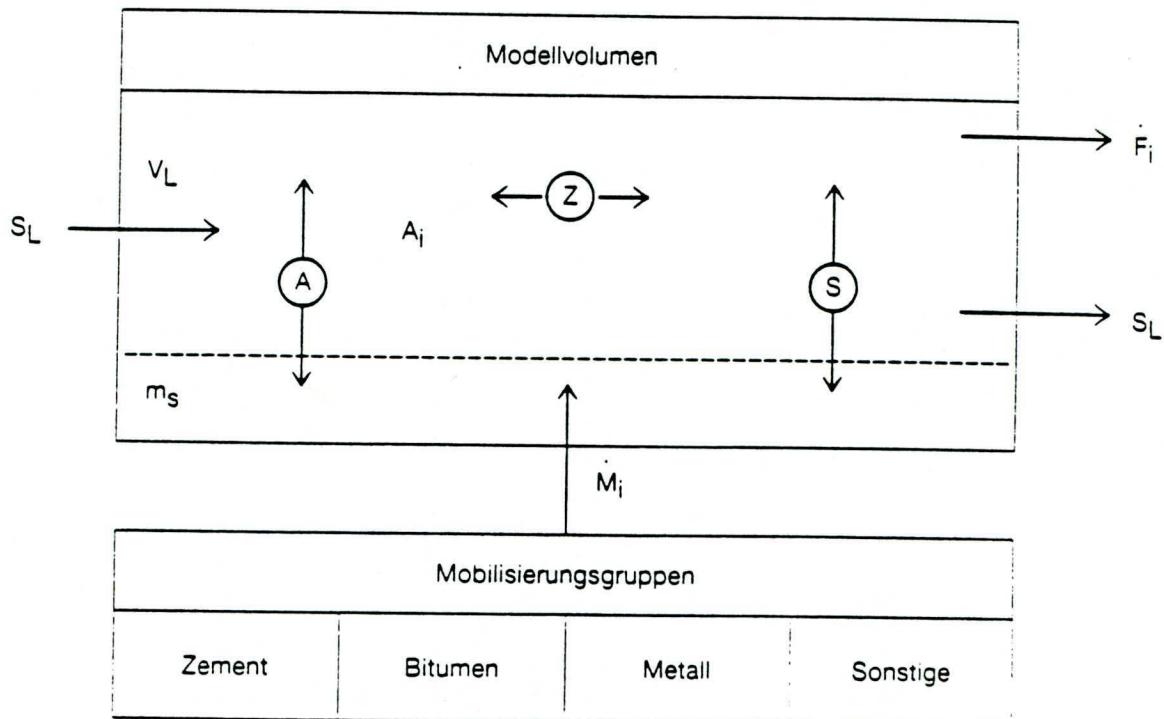
- Mobilisierung von Radionukliden aus Abfallgebinden unter Verwendung elementspezifischer Mobilisierungsraten.
- Behandlung der Vorgänge im Grubengebäude hinsichtlich der gelösten Nuklidkonzentration und der Freisetzung in das Gebirge. Als Vorgänge werden Ausfällung, Sorption, radioaktiver Zerfall und Änderungen des Aktivitätsinventars durch Mobilisierung und Freisetzung behandelt.

Die Hauptergebnisse einer Berechnung sind die Zeitverläufe der Radionuklidfreisetzungen aus dem Grubengebäude in das umgebende Gestein. Für ausgewählte Spaltprodukte und Aktiniden zeigen die Abbildungen 3.9.4/3 und 3.9.4/4 die Freisetzungsraten bei einer Durchströmungsrate von $1\ 620\ m^3/a$ als Funktion der Zeit. Bei einigen Spaltprodukten, z. B. I 129, erkennt man, daß mit dem Ende der Mobilisierung die Maximalkonzentrationen und damit auch die maximalen Freisetzungsraten erreicht werden.

Für nicht sorbierte Radionuklide wie I 129 klingen die Freisetzungsraten allein entsprechend den Durchströmungsraten ab. Mit ansteigender Sorption werden die Freisetzungsverläufe zeitlich gestreckt. Dies wird bei den Aktiniden besonders deutlich, wo eine Streckung bis zu 100 000 Jahren bei Uran und mehreren Millionen Jahren bei Plutonium erfolgt.

Die in das Endlager eingebrachten Aktivitätsinventare werden bei den langlebigen Radionukliden vollständig freigesetzt. Sorptions- und Löslichkeitseffekte wirken sich hier nur verzögernd aus. Sind die Halbwertszeiten

- (A) : Konzentrationsverringerung durch Ausfällung
- (S) : Konzentrationsverringerung durch Sorption
- (Z) : Konzentrationsänderung durch radioaktiven Zerfall



V_L : Lösungsvolumen

m_s : Sorbensmasse

s_L : Durchströmungsrate

F_i : Nuklidfreisetzungsrates

M_i : Mobilisierungsrate

A_i : Aktivitätsinventar

Abbildung 3.9.4/2: Schematische Darstellung der Modellierung des Grubengebäudes

im Vergleich zur Freisetzungsdauer kurz, so können die Radionuklide vor der Freisetzung zerfallen. Dies führt z. B. bei Pu 239 mit einer Halbwertszeit von 24 000 Jahren bei einer Durchströmungsrate von 1 620 m³/a zu einer Freisetzung von nur 3 % des eingelagerten Inventars.

Die zeitliche Streckung der Freisetzungsverläufe wird hauptsächlich durch Sorptionsvorgänge bewirkt. Löslichkeitseffekte wirken sich nur bei Thorium aus. Eine Beeinflussung der Zeitverläufe der Nuklidfreisetzungen durch kurzzeitige Effekte wie Behälterstandzeit und Mobilisierungsdauer ist kaum gegeben.

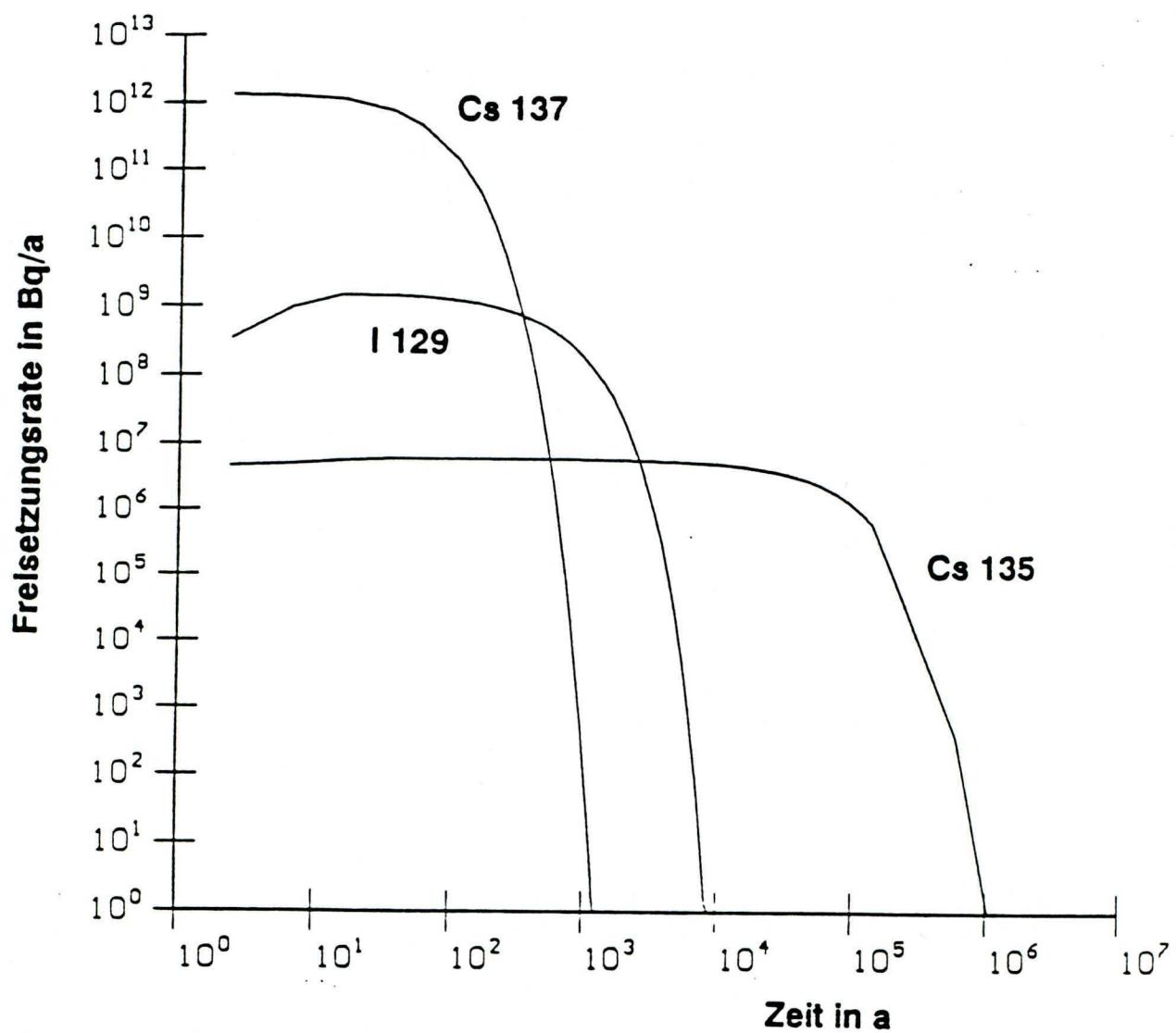


Abbildung 3.9.4/3: Freisetzungverläufe ausgewählter Spaltprodukte

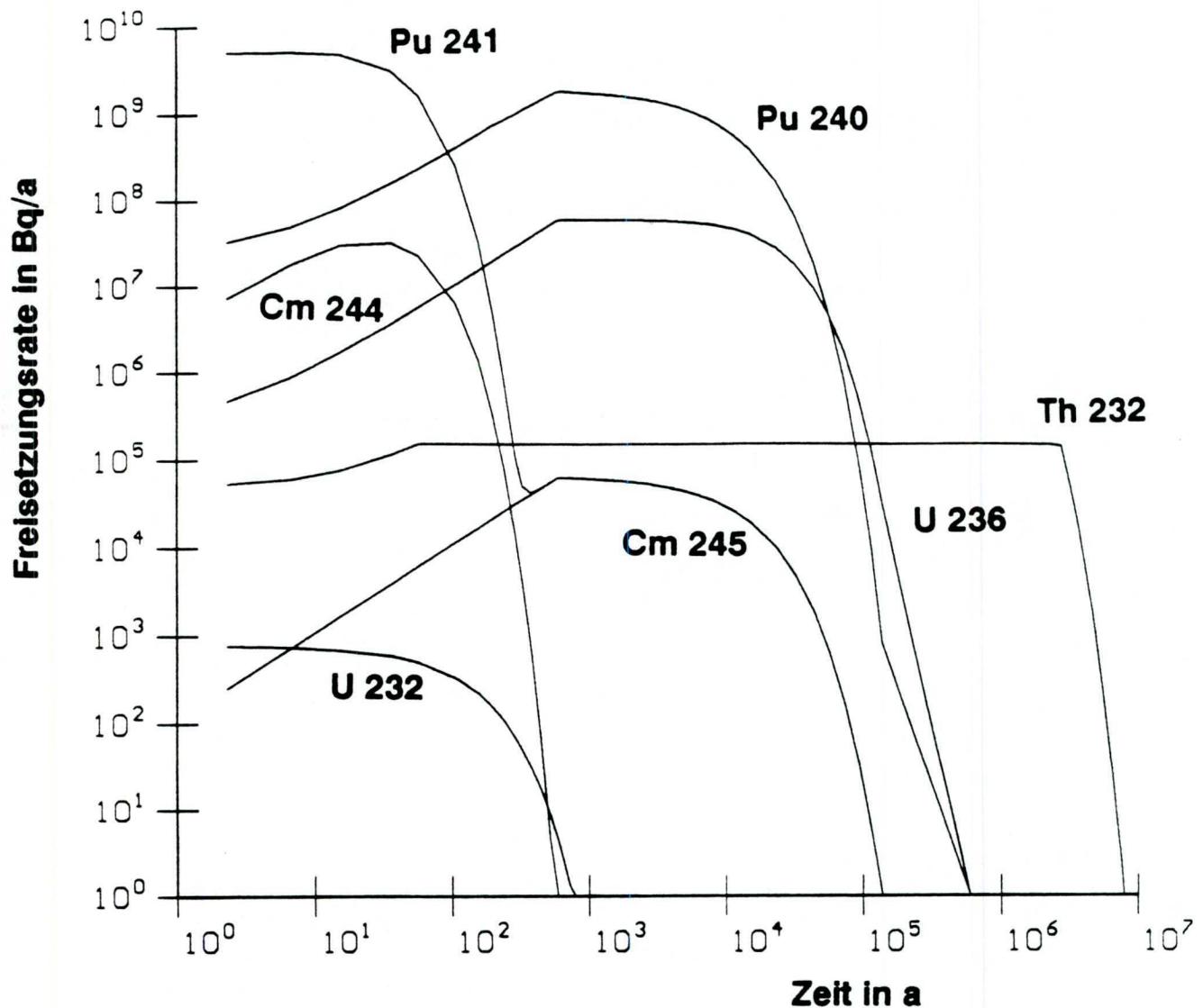


Abbildung 3.9.4/4: Freisetzungsverläufe ausgewählter Aktiniden

3.9.5 Ausbreitung von Radionukliden in der Geosphäre

Die aufgrund der Durchströmung des Grubengebäudes freigesetzten Radionuklide gelangen zunächst in die umgebende Wirtsformation. Der weitere Ausbreitungsweg ergibt sich aus dem Geschwindigkeitsfeld der Formationswässer. Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 3.1.10.4 werden dazu zwei Geschwindigkeitsfelder betrachtet, die sich aus einer unterschiedlichen Modellierung der Unterkreidetonsteine mit Durchlässigkeitsbeiwerten von $1 \cdot 10^{-10}$ m/s und $1 \cdot 10^{-12}$ m/s (Tab. 3.1.10.4/1) ergeben. Die beiden Fälle führen auf drei verschiedene Ausbreitungsmöglichkeiten für die Radionuklide. Diese sind schematisch in Abbildung 3.1.10.4/2 in Kapitel 3.1.10.4 dargestellt.

Zur Modellierung der Ausbreitung über Unterkreide und Oxford werden eindimensionale Modelle erstellt. Diese werden numerisch berechnet. Die Ausbreitung über den dritten Weg wird analytisch abgeschätzt.

Die Ausbreitung der Radionuklide durch die geologischen Formationen erfolgt konvektiv mit dem Wasser. Durch Diffusion und Dispersion im porösen Medium ergibt sich eine zusätzliche Verteilung der Nuklide im Wasser. Die Bewegung der Radionuklide kann durch Sorptionsvorgänge zusätzlich gegenüber der Wasserbewegung verzögert werden.

Grundwasserbewegung auf den Ausbreitungswegen

Zur Bestimmung von Ausbreitungswegen werden die Berechnungen zur Grundwasserbewegung herangezogen (Kap. 3.1.10.4). Für die beiden Modellvarianten mit unterschiedlichen Durchlässigkeitsbeiwerten für die Unterkreidetonsteine werden Stromlinien mit Startpunkten im

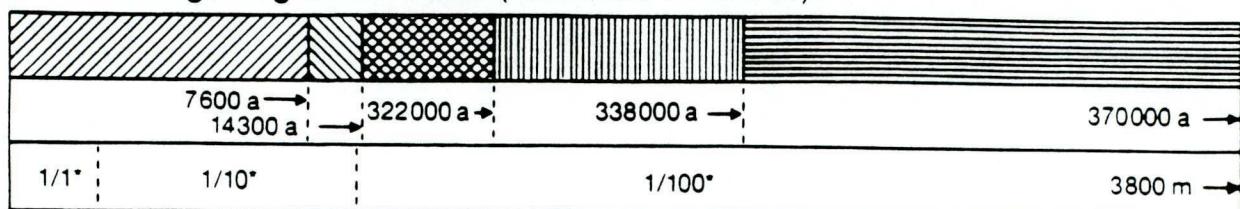
Bereich des Grubengebäudes berechnet. Damit werden die Laufzeiten von Wasserteilchen bis zum Eintritt in die oberste Schicht sowie die zugehörigen Weglängen ermittelt. Für die beiden Durchlässigkeitsbeiwerte sind die Stromlinien auf drei Ausbreitungswegen gebündelt. Daher ist eine eindimensionale Modellierung der Radio-nuklidausbreitung für jeden Ausbreitungsweg naheliegend.

Zur Beschreibung der Strömungsverhältnisse werden für jeden Ausbreitungsweg die Stromlinien mit den kürzesten Laufzeiten herangezogen. Für diese werden jeweils die in den einzelnen geologischen Schichten zurückgelegten Wege und die zugehörigen Laufzeiten ermittelt. Hierbei wird die Laufzeit im Bereich des Endlagers nicht berücksichtigt. Dadurch ergeben sich leicht veränderte Transportzeiten gegenüber den Angaben in Kapitel 3.1.10.4. Die Ausbreitungsmodelle sind in Abbildung 3.9.5/1 dargestellt.

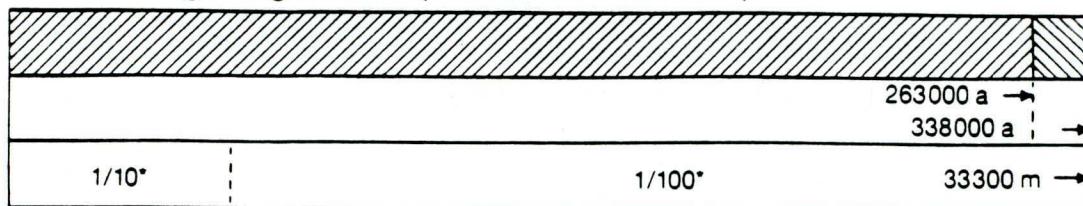
Eine Ausbreitung durch die Unterkreidetonsteine erfolgt bei größerer Durchlässigkeit der Unterkreidetonsteine. Dabei verläuft der Fließweg zunächst eine kurze Strecke durch Oxford und Kimmeridge. Nach etwa einem Kilometer beginnt ein weitgehend senkrechter Aufstieg durch die Unterkreidetonsteine. In den Plänerkalken des Cenoman und Turon findet ein weiterer Transport in Richtung Norden statt, so daß in der Nähe von Groß Gleidingen das Quartär erreicht wird.

Bei geringerer Durchlässigkeit der Unterkreide verbleiben die Stromlinien über etwa 30 km im Oxford. Danach erfolgt ein Transport durch den Kimmeridge zum oberflächennahen Grundwasserleiter in der Gegend von Calberlah. Der Ausbreitungsweg über das Oxford ist mit 33 km deutlich länger als beim vertikalen Aufstieg durch die Unterkreide.

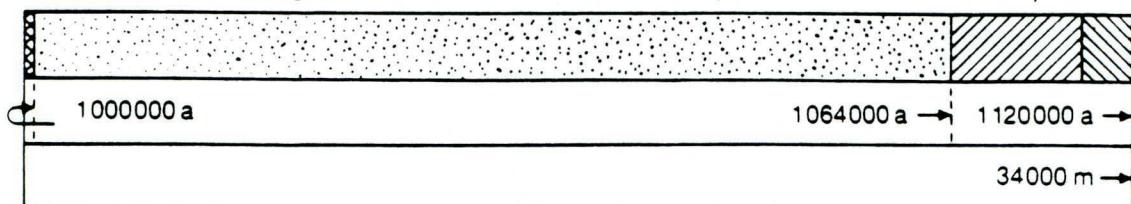
Ausbreitungsweg Unterkreide (Maßstab 1:20000)



Ausbreitungsweg Oxford (Maßstab 1:200000)



Ausbreitungsweg »Cornbrash«-Sandstein (Maßstab 1:200000)



* Verdünnungsfaktor zur Festlegung der K_d Werte

■ Tone (Dogger, Unterkreide) ■ »Cornbrash«- Sandstein

■ Oxford ■ Kimmeridge ■ Cenoman ■ Turon

Abbildung 3.9.5/1 Modellierung der Nuklidausbreitung durch eindimensionale Modelle mit Angabe der Grundwassertransportzeiten

Im Fall der geringeren Durchlässigkeit der Unterkreidetonsteine ist auch eine Ausbreitung durch den "Cornbrash"-Sandstein möglich. Ein kleiner Anteil der Wassermenge, die den Endlagerbereich durchströmt, gelangt durch die Doggertonsteine in den "Cornbrash"-Sandstein. Der Anteil der Wassermenge beträgt etwa 6 %. Nach dem Eintritt in den "Cornbrash"-Sandstein verbleiben die Stromlinien dort über eine Entfernung von rund 28 km. An der Überschiebungszone von Meine ist der "Cornbrash"-Sandstein gegen das Oxford versetzt, so daß die weitere Ausbreitung über Oxford und Kimmeridge erfolgt. Die Transportzeit von ca. 1,1 Mio. Jahren wird vor allem durch die geringe Geschwindigkeit in den Doggertonsteinen bestimmt.

Einfluß von Dispersion und Diffusion

Dispersion und Diffusion führen zu einem Konzentrationsausgleich der Radionuklide im Wasser. Dieser Ausgleich kann sowohl in Strömungsrichtung als auch quer dazu erfolgen. In den eindimensionalen Modellen werden Diffusion und Dispersion in Ausbreitungsrichtung berücksichtigt.

Die longitudinale Dispersion wird durch eine Dispersionslänge charakterisiert. Für diese ergibt sich aus Feldversuchen eine deutliche Abhängigkeit von der Weglänge. Für die Ausbreitung durch die Unterkreidetonsteine ist eine Dispersionslänge von 30 m angenommen worden. Für die Ausbreitung durch Oxford und "Cornbrash"-Sandstein wird aufgrund des längeren Weges eine Dispersionslänge von 200 m verwendet.

Die Diffusion wird durch den Diffusionskoeffizienten charakterisiert. Dieser wurde aus Laborversuchen an Festgesteinssproben aus der Schachtanlage Konrad abgeleitet. Als Mittelwert aus verschiedenen Versuchen ergibt sich ein Wert von $1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Für den Weg durch

die Doggertonsteine ist ein wesentlicher Beitrag der Diffusion gegenüber der Dispersion zu erwarten.

Konzentrationsverringerung durch Verdünnung

Beim Transport von Radionukliden entlang eines Ausbreitungspfades treten Verdünnungseffekte durch Zumischung nicht kontaminiertes Wässer auf, die in den eindimensionalen Ausbreitungsrechnungen nicht erfaßt werden können. Diese Verdünnungseffekte werden jedoch abgeschätzt und berücksichtigt.

Ein erster Verdünnungseffekt kann beim Übergang vom Grubengebäude in das Wirtsgestein erfolgen. Da die im Grubengebäude fließenden Wassermengen mit denjenigen des Oxford im wesentlichen identisch sind, wird hier keine Verdünnung angenommen.

Für den Aufstieg durch die Unterkreidetonsteine ist aufgrund des großen Aufstiegsgebietes in den Tonsteinen, das der Volumenstrom aus dem Grubengebäude einnimmt, eine weitere Verdünnung nicht zu erwarten. Erst beim Übergang in das Quartär treten wegen des großen oberflächennahen Grundwasserumsatzes Verdünnungseffekte auf. Für das Gebiet um Groß Gleidingen beträgt der quartäre Grundwasserstrom über dem Aufstiegsgebiet der Formationswässer etwa $30\ 000\ m^3/a$. Bezogen auf den Volumenstrom der kontaminierten Formationswässer bedeutet dies eine Verdünnung um den Faktor zehn.

Bei der Ausbreitung durch das Oxford wird diesem auf seiner gesamten Länge Wasser aus den Doggertonsteinen zugeführt. Da sich die Fließgeschwindigkeiten im Oxford wenig ändern, ist von einem Abstrom in den darüberliegenden Kimmeridge auszugehen. Aus einer Bilanzierung der Grundwasserströme an der Grenzfläche Dogger/Oxford ergibt sich ein Zustrom von etwa $12\ 000\ m^3/a$. Bezogen auf den Volumenstrom durch das Grubengebäude bedeutet dies,

daß eine Verdünnung entlang des Ausbreitungsweges Oxford um den Faktor sieben auftritt.

Nach der Durchströmung von Oxford und Kimmeridge gelangen die Wässer in den oberflächennahen Bereich. Im Gebiet von Calberlah beträgt der quartäre Grundwasserstrom über dem Aufstiegsgebiet der Formationswässer etwa $16\ 000\ m^3/a$. Bezogen auf den Volumenstrom der kontaminierten Formationswässer bedeutet dies eine Verdünnung um den Faktor zehn. Insgesamt wird für die Ausbreitung über das Oxford und den Eintritt in das Quartär eine Konzentrationsverringerung um den Faktor 70 berücksichtigt.

Beim Übertritt durch die Doggertonsteine in den "Cornbrash"-Sandstein erfolgt eine erste Verdünnung beim Übergang in den "Cornbrash"-Sandstein. Aus dem Volumenstrom von $90\ m^3/a$, der vom Oxford kommend die Doggertonsteine quert, und dem Grundwasserstrom von $2\ 030\ m^3/a$ im "Cornbrash"-Sandstein ergibt sich eine Verdünnung um mehr als den Faktor 20. Eine zweite Verdünnung erfolgt durch den Zustrom von Formationswässern in den "Cornbrash"-Sandstein entlang des Ausbreitungsweges. Für den Zustrom in den "Cornbrash"-Sandstein von unten lässt sich aus den Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung abschätzen, daß dieser etwa so groß wie der Zustrom in das Oxford ist. Eine dritte Verdünnung ergibt sich beim Eintritt in das Quartär. Hierfür werden die Verhältnisse wie bei der Ausbreitung über das Oxford angesetzt.

Insgesamt ergibt sich für die Verdünnung entlang des Ausbreitungsweges durch den "Cornbrash"-Sandstein ein Faktor von etwa 1 300. Hierin ist der Übergang Doggertonsteine/"Cornbrash"-Sandstein, der Zustrom in den "Cornbrash"-Sandstein aus dem Liegenden und der Übergang "Cornbrash"-Sandstein/Quartär enthalten.

Radionuklidrückhaltung durch Sorption

Wie bereits erläutert, kann der Transport der Radionuklide mit dem Grundwasser insbesondere durch Fällungsreaktionen und Sorption verzögert werden. Im Gebirge werden infolge von Verdünnungsvorgängen die Löslichkeiten nicht erreicht. Daher sind hier nur Sorptionseffekte zu berücksichtigen.

Sorption

Die Sorptionseigenschaften der Gesteine sind in Laborexperimenten untersucht worden. Aus den ermittelten Sorptions- und Desorptionskoeffizienten werden, wie für das Grubengebäude beschrieben, Verteilungskoeffizienten (K_d -Werte) abgeleitet.

Sorptionsdaten sind nur für solche Radionuklide erforderlich, die mit merklichen Konzentrationen die Biosphäre erreichen können. Bei den zu betrachtenden Grundwassertransportzeiten trifft dies nur für sehr langlebige Radionuklide und ggf. deren Töchter zu. Tabelle 3.9.5/1 enthält die verwendeten Verteilungskoeffizienten für die entsprechenden Elemente und für die geologischen Formationen in den Ausbreitungsgebieten. Für das in der Tabelle nicht genannte Chlor werden keine Sorptionseffekte berücksichtigt. Für die Elemente Wismut und Polonium, bei denen nur sehr kurzlebige Radionuklide relevant sind, werden die Sorptionsdaten abgeschätzt. Für Wismut werden als konservative Schätzung die Werte für das zweiwertige Blei (Turon: $12 \text{ cm}^3/\text{g}$ und Kimmeridge: $40 \text{ cm}^3/\text{g}$) verwendet. Für das stark sorbierende Polonium wird der Wert von Protactinium ($1\,000 \text{ cm}^3/\text{g}$) übernommen.

Element	Element-konzentration mol/dm ³	EDTA-Konzentration mol/dm ³	Dogger-tone	Cornbrash	Oxford	Kimmeridge	Unterkreide-tone	Cenoman	Turon
Ca	1,8 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Se	8,4 · 10 ⁻⁹	1 · 10 ⁻³	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,4	0,5
Tc	5,7 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻³	0,5	0,4	0,7	0,3	0,5	0,0	0,0
I	3,3 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻³	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	2,0
U	3,1 · 10 ⁻³	1 · 10 ⁻³	2,0	-	1,8	1,6	12	1,3	1,3
	3,1 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁻⁴	2,0	-	2,0	1,9	15	2,0	2,4
	3,1 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵	3,0	3,0	3,0	2,6	20	6,0	6,0
Th	3,3 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁻³	80	-	70	50	80	150	300
	3,3 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁴	80	-	70	50	80	200	600
	3,3 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁵	1 000	900	1 000	750	1 000	200	600
NP	3,9 · 10 ⁻⁸	1 · 10 ⁻³	50	11	30	30	60	500	400
Ra	2,3 · 10 ⁻¹³	1 · 10 ⁻⁵	-	-	-	4	-	-	110
Pb	2,3 · 10 ⁻¹⁰	1 · 10 ⁻⁵	-	-	-	40	-	-	12
Pa	5,7 · 10 ⁻¹³	1 · 10 ⁻⁵	-	-	-	1 000	-	-	1 000
Ac	3,7 · 10 ⁻¹⁶	1 · 10 ⁻⁵	-	-	-	60	-	-	300

Tabelle 3.9.5/1: Verteilungskoeffizienten K_d in cm^3/g für die geologischen Formationen in den Ausbreitungs wegen

Diffusion und Dispersion im Ausbreitungsgebiet führen zu einer Verringerung der Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe. Bei den in Tabelle 3.9.5/1 aufgeführten Nukliden wird der K_d -Wert des Urans von der Elementkonzentration beeinflußt; beim Thorium ist eine Abhängigkeit des K_d -Wertes von der EDTA-Konzentration berücksichtigt.

Für Uran und Thorium sind daher K_d -Werte sowohl für die maximalen Element- und EDTA-Konzentrationen im Grubengebäude (Tabelle 3.9.4/3) als auch unter den Randbedingungen von um den Faktor zehn und 100 verringerten Konzentrationen verwendet worden.

Die Konzentrationen der Tochternuklide des Urans und des Thoriums am Ende des Ausbreitungswege werden aus den Konzentrationen der entsprechenden Mutternuklide an dieser Stelle über das radioaktive und das sorptive Gleichgewicht ermittelt. Es werden dazu die K_d -Werte für 100fache Verdünnung herangezogen.

Um eine Zuordnung der konzentrationsabhängigen Sorptionsdaten in den Ausbreitungsmodellen zu ermöglichen, werden Ausbreitungsrechnungen für U 238 mit konstanten K_d -Werten für die Konzentration der Wässer im Grubengebäude durchgeführt. Hieraus ergibt sich der Ort einer Konzentrationsabnahme auf 0,1. Für die weitere Verdünnung auf 0,01 wird entsprechend verfahren. Auf diese Weise werden die ortsabhängigen K_d -Werte für Uran und Thorium abgeleitet. Die Orte der Konzentrationsabnahme um jeweils eine Größenordnung sind in Abbildung 3.9.5/1 enthalten.

Die K_d -Werte für die Ausbreitungsrechnung werden dann so zugeordnet, daß bis zum Ort der zehnfachen Verdünnung die Sorptionswerte für die Konzentrationen im Grubengebäude verwendet werden. Für den anschließenden Be-

reich bis zum Ort der 100fachen Verdünnung werden die Sorptionswerte für zehnfache Verdünnung angesetzt. Danach berücksichtigen die K_d -Werte einen Verdünnungsfaktor von 100.

Retardationsfaktoren

Für die Ausbreitungsrechnungen werden K_d -Werte in Retardationsfaktoren umgerechnet. Der Retardationsfaktor beschreibt das Verhältnis von Grundwassergeschwindigkeit zur Nuklidgeschwindigkeit. Die Umrechnung erfolgt unter Verwendung von Dichte und Porosität des Gesteins.

Ergebnisse zur Ausbreitung in der Geosphäre

Für die Ausbreitung im Oxford und in der Unterkreide sind numerische Berechnungen mit den vorgestellten eindimensionalen Modellen durchgeführt worden. Dazu wird wie bei der Modellierung der Grundwasserbewegung das Programm SWIFT verwendet. Aus den Modellrechnungen ergeben sich Konzentrationsverläufe entlang des Ausbreitungsweges als Funktion der Zeit. Für das Ende des Ausbreitungsweges sind ihre Maximalwerte und die zugehörigen Zeitpunkte ermittelt worden.

In die Berechnung der Maximalkonzentrationen werden konvektiver Transport, diffusive und disperse Ausbreitung, radioaktiver Zerfall und Rückhaltung durch Sorption einbezogen. Zur Berücksichtigung von Verdünnungseffekten entlang des Weges und beim Übergang in das Quartär werden die so ermittelten Konzentrationen am Ende des Ausbreitungsweges um die angegebenen Verdünnungsfaktoren reduziert.

Numerische Ausbreitungsrechnungen sind nur für solche Radionuklide durchgeführt worden, die aufgrund ihres Verhältnisses von Halbwertszeit zu Transportzeit im Gebirge die Biosphäre in merklichen Konzentrationen erreichen können. Zur Auswahl solcher Nuklide wird wie folgt vorgegangen. Ausgehend von den eingelagerten Aktivitätsinventaren und dem Resthohlraumvolumen im Grubengebäude werden Konzentrationen im Grubengebäude berechnet. Anschließend wird die Abnahme der Konzentrationen durch den radioaktiven Zerfall während der Transportzeit im Gebirge ermittelt. Für die Transportzeit des Grundwassers werden 300 000 Jahre mit entsprechender Verlängerung durch die Sorption angesetzt. Für jedes Element werden als Sorptionswerte die Minimalwerte für die geologischen Formationen verwendet.

Die sich ergebenden Konzentrationswerte werden in Strahlenexpositionen umgerechnet. Radionuklide, die aufgrund dieser Abschätzung zu Strahlenexpositionen größer als $1 \cdot 10^{-7}$ Sv/a führen, werden für die Ausbreitungsrechnungen ausgewählt. Dies sind die Spalt- und Aktivierungsprodukte Cl 36, Ca 41, Se 79, Tc 99 und I 129 sowie die Aktiniden Th 232, U 234, U 235, U 236 und U 238 und deren Folgeprodukte. Bei den Zerfallsreihen werden die langlebigen Töchter der genannten Radionuklide in den numerischen Rechnungen berücksichtigt. Die Beiträge der kurzlebigen Töchter sind aus den Aktivitätskonzentrationen der Mütter unter Verwendung der Zerfalls- und Sorptionsgleichgewichte berechnet worden. Die Ergebnisse für die angegebenen Radionuklide und die drei Ausbreitungswege enthält Tabelle 3.9.5/2. Neben den Maximalkonzentrationen am Ende der Ausbreitung im Quartär sind auch die Maximalkonzentrationen im Grubengebäude angegeben. Das Verhältnis beider Werte kann als Maß für die Barrierenwirkung des Gebirges betrachtet werden.

Bei der Ausbreitung durch die Unterkreide beträgt die Konzentrationsabnahme ohne Sorption und radioaktiven Zerfall etwa vier Größenordnungen. Dies wird am Bei-

spiel des Cl 36 deutlich. Ohne den Verdünnungseffekt beim Eintritt in das Quartär ergeben sich für die disperse Konzentrationsabnahme für den Ausbreitungsweg Unterkreide etwa drei Größenordnungen.

Eine Veränderung der Konzentrationsverteilung ergibt sich bei der Ausbreitung durch eine Folge geologischer Formationen mit unterschiedlichen Sorptionseigenschaften. Insgesamt beträgt die Konzentrationsabnahme z. B. für das Uran etwa fünf Größenordnungen. Weitere Konzentrationsabnahmen ergeben sich bei einigen Radionukliden wie Se 79 durch den radioaktiven Zerfall während des Transports.

Bei der Ausbreitung durch das Oxford beträgt die Konzentrationsabnahme ohne Zerfallseffekte ebenfalls vier Größenordnungen. Dies wird an allen Radionukliden unabhängig von Sorptionsvorgängen deutlich. Ohne die Verdünnungseffekte bei der Zumischung von Wässern aus dem Dogger und beim Übergang in das Quartär verbleiben für die disperse Konzentrationsabnahme beim Ausbreitungsweg Oxford etwa zwei Größenordnungen.

Für das Ende des Ausbreitungsweges sind in Abbildung 3.9.5/2 die Zeitverläufe der Nuklidkonzentrationen bei der Ausbreitung über das Oxford aufgetragen. Für die nichtsorbierten Radionuklide (I 129, Cl 36 und Ca 41) treten die Maximalkonzentrationen etwa nach der Grundwassertransportzeit auf. Für die Nuklide in den Zerfallsreihen verschieben sich die Zeitpunkte der Konzentrationsmaxima entsprechend der verzögerten Wanderung des Urans auf ca. 10 Mio. Jahre.

		Radio-nuklid	$T_{1/2}$ in a	C_G in Bq/dm ³	C_Q in Bq/dm ³	$t(C_Q)$ in a	C_G/C_Q
Ausbreitungswege	Unterkreide	Cl 36	$3,0 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^2$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^4$
		Ca 41	$8,1 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^2$	$9,0 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^6$
		Se 79	$6,5 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^6$	$7,0 \cdot 10^{10}$
		Tc 99	$2,1 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$
		I 129	$1,6 \cdot 10^7$	$8,9 \cdot 10^2$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^5$
		U 236	$2,3 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^5$
		Th 232	$1,4 \cdot 10^{10}$	$9,7 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^3$
		Np 237	$2,1 \cdot 10^6$	6,6	$< 5,8 \cdot 10^{-11}$	$> 5,0 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^{11}$
		U 233	$1,6 \cdot 10^5$	1,7	$< 3,8 \cdot 10^{-9}$	$> 5,0 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^8$
		Th 229	$7,3 \cdot 10^3$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$< 3,9 \cdot 10^{-11}$	$> 5,0 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^8$
	Oxford	U 238	$4,5 \cdot 10^9$	$6,5 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^7$	$5,9 \cdot 10^4$
		U 234	$2,4 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^5$
		U 235	$7,0 \cdot 10^8$	6,8	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^4$
		Cl 36	$3,0 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^4$
		Ca 41	$8,1 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^2$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$
	Braunbachtal	Se 79	$6,5 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^7$
		Tc 99	$2,1 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^8$
		I 129	$1,6 \cdot 10^7$	$9,2 \cdot 10^2$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^4$
		U 236	$2,3 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^1$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^4$
		Th 232	$1,4 \cdot 10^{10}$	$9,7 \cdot 10^{-2}$	$7,6 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^4$
		Np 237	$2,1 \cdot 10^6$	6,7	$< 5,3 \cdot 10^{-11}$	$> 5,0 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^{11}$
		U 233	$1,6 \cdot 10^5$	3,1	$< 6,0 \cdot 10^{-10}$	$> 5,0 \cdot 10^7$	$5,2 \cdot 10^9$
		Th 229	$7,3 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$< 2,1 \cdot 10^{-12}$	$> 5,0 \cdot 10^7$	$7,6 \cdot 10^9$
		U 238	$4,5 \cdot 10^9$	$6,6 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^4$
		U 234	$2,4 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^7$	$8,0 \cdot 10^4$
		U 235	$7,0 \cdot 10^8$	7,0	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^4$
Coronation	Braunbachtal	Cl 36	$3,0 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^7$
		Ca 41	$8,1 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$
		Se 79	$6,5 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^{10}$
		Tc 99	$2,1 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^9$
		I 129	$1,6 \cdot 10^7$	$9,0 \cdot 10^2$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^7$
	Coronation	U 236	$2,3 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^7$	$3,3 \cdot 10^6$
		Th 232	$1,4 \cdot 10^{10}$	$9,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^8$	$7,2 \cdot 10^5$
		U 238	$4,5 \cdot 10^9$	$6,6 \cdot 10^1$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^6$
		U 234	$2,4 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^7$
		U 235	$7,0 \cdot 10^8$	7,0	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^6$

$T_{1/2}$: Halbwertszeit
 C_G : Maximalkonzentration im Grubengelände
 C_Q : Maximalkonzentration im Quartär
 $t(C_Q)$: Zeitpunkt der Maximalkonzentration im Quartär

Tabelle 3.9.5/2: Konzentrationsabnahme im Gebirge für die drei Ausbreitungswege

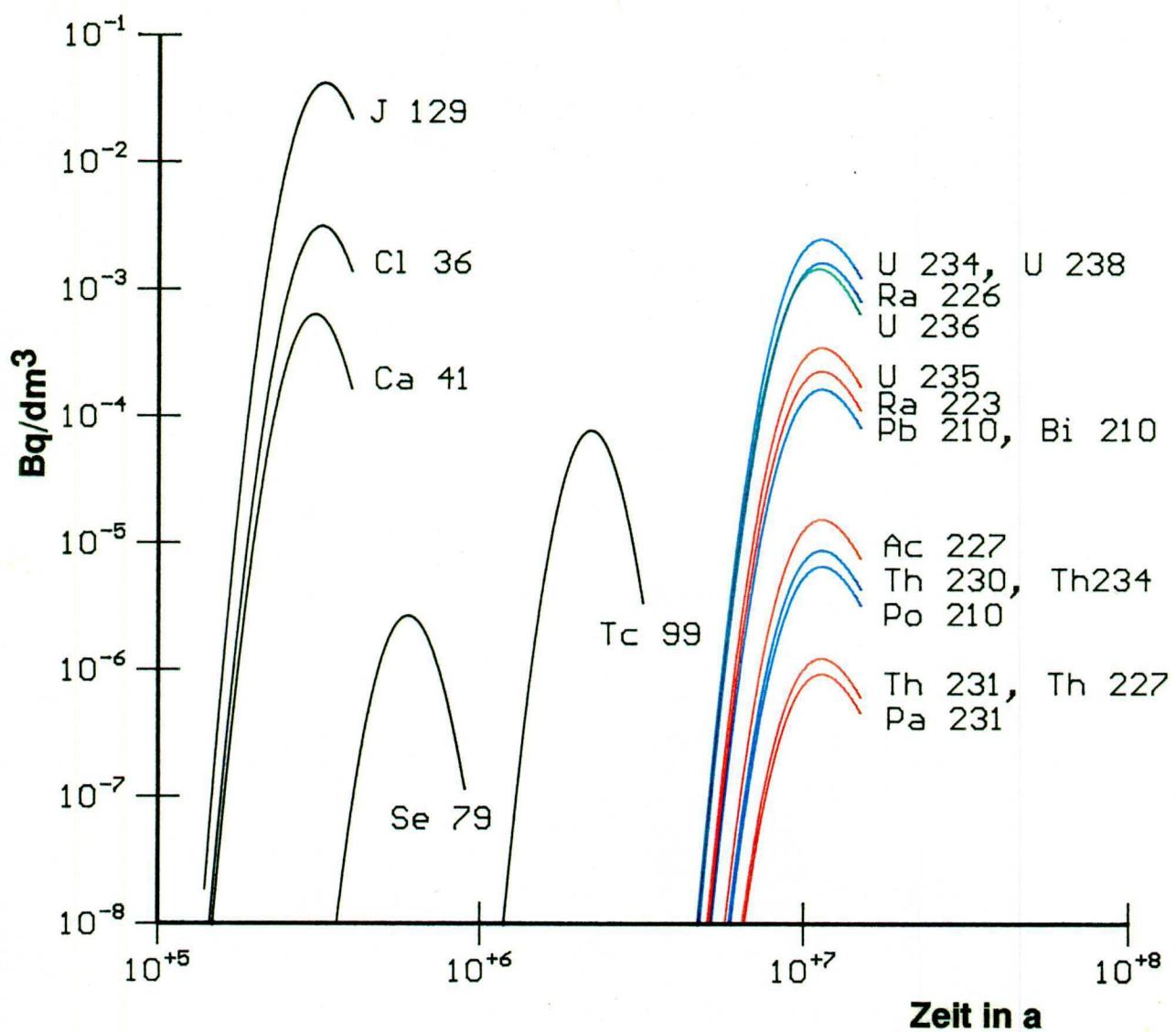
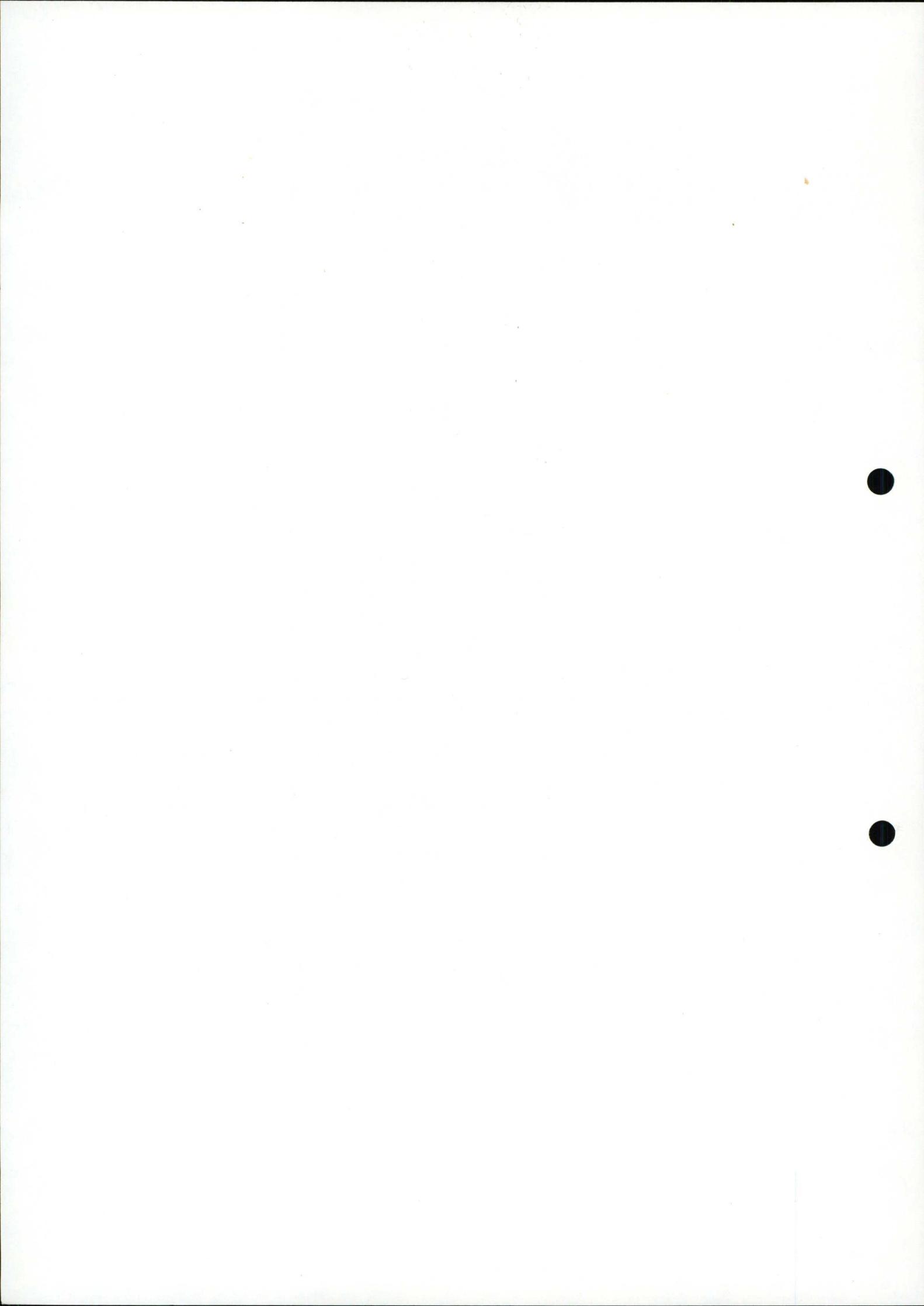


Abbildung 3.9.5/2:

Zeitlicher Verlauf der Radionuklidkonzentrationen in Bq/l im Quartär bei der Ausbreitung über das Oxford

Blau: Uran-Radium-Zerfallsreihe
 Rot : Actinium-Zerfallsreihe



Für die Ausbreitung über den "Cornbrash"-Sandstein sind numerische Berechnungen nicht durchgeführt worden. Aufgrund der langen Laufzeiten und zusätzlicher Verdünnungseffekte kann die untergeordnete Bedeutung dieses Weges durch einfache Abschätzungen gezeigt werden. Hierzu wird allein die Ausbreitung durch die ca. 100 m mächtigen Doggertonsteine betrachtet. Nach einer pulsförmigen Freisetzung wird die eindimensionale Ausbreitung in einem homogenen Medium unter Berücksichtigung von Dispersion, Diffusion, Sorption und radioaktivem Zerfall analytisch berechnet. Als Freisetzungsmenge wird derjenige Anteil des Inventars betrachtet, der sich aus dem Verhältnis des Volumenstroms von $90 \text{ m}^3/\text{a}$ in die Doggertonsteine zur Durchströmungsrate des Endlagerbereichs von $1\ 620 \text{ m}^3/\text{a}$ ergibt. Ein Verdünnungsfaktor von 1 300 wird für den gesamten Ausbreitungsweg angenommen.

Die sich aus der Ausbreitung in den Doggertonsteinen unter Berücksichtigung der Verdünnungseffekte ergebenen Konzentrationen sind ebenfalls in Tabelle 3.9.5/2 eingetragen. Die Konzentrationsabnahme beträgt ohne Berücksichtigung des Zerfalls etwa sechs Größenordnungen. Ohne Verdünnungseffekte verbleiben für die disperse Konzentrationsabnahme bei der Ausbreitung in den Doggertonsteinen etwa drei Größenordnungen.

3.9.6 Ausbreitung von Radionukliden in der Biosphäre

Nach Ausbreitung der Radionuklide durch die geologischen Formationen wird das Grundwasser im oberflächennahen Bereich kontaminiert. Dieses Wasser kann vielfältig verwendet werden, wodurch ein Transfer der Radionuklide bis hin zum Menschen ermöglicht wird.

Die Modellierung der Radionuklidausbreitung in der Biosphäre geschieht mit dem Modell und Parametern der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV (AVV) /12/. Obwohl eine Kontamination des Grundwassers bei den unterstellten Szenarien erst in ferner Zukunft auftreten wird, sind die heutigen Verhältnisse in der Standortregion und die derzeitigen Ernährungsgewohnheiten der Menschen der Modellierung zugrunde gelegt worden. Hierdurch können die vorhandenen Barrieren nuklidspezifisch bewertet werden.

Boden- und Klimaverhältnisse am Standort

Im Bereich der Standortregion sind hauptsächlich Löß- und Lößlehmböden und im Bereich nördlich des Mittellandkanals auch sandige Böden anzutreffen. Südlich des Mittellandkanals erlauben die günstigen Bodenverhältnisse den Anbau aller Feldfrüchte des mitteleuropäischen Klimaraums. Der Großteil der Standortumgebung wird daher landwirtschaftlich genutzt, wobei hauptsächlich Ackerbau betrieben wird. Nördlich des Mittellandkanals ist das Speichervermögen der Böden für Wasser und Nährstoffe deutlich geringer, hier kommt der Grünlandnutzung und der Tierhaltung eine größere Bedeutung zu. Aufgrund der hohen Grundwasserstände im Bereich der Vorfluter ist auch die Fischhaltung in grundwasserge- speisten Gewässern zu betrachten.

Die klimatischen Verhältnisse der Standortregion werden durch den Übergang vom maritimen zum kontinentalen Klima bestimmt. Für die Standortregion und die weitere Umgebung ergibt sich während der Vegetationsperiode ein Niederschlagsdefizit von etwa 70 mm bis 100 mm. Südlich des Mittellandkanals ist die daraus resultierende Beregnungsbedürftigkeit aufgrund des guten Wasserspeichervermögens der Böden eher kleiner und im nördlichen Bereich durch die sandigen Böden eher größer. Unter konservativen Gesichtspunkten wird für das gesamte Gebiet wie in der AVV von einer Zusatzberegnung von 180 mm/a ausgegangen.

Radionuklidtransport in Nahrungsmittel

Bezüglich der landwirtschaftlichen Nutzung werden wie in der AVV drei Pflanzengruppen betrachtet: Weidegras, Blattgemüse und sonstige Pflanzen. Für alle drei Gruppen wird ein Anbau in der gesamten Standortregion angenommen. Die Zufuhr von Radionukliden erfolgt durch die Beregnung der Pflanzen. Für Weidegras wird eine Wachstumszeit von 30 Tagen mit einem Ertrag von $0,85 \text{ kg/m}^2$ angenommen. Für die übrigen Pflanzen beträgt die Wachstumszeit 60 Tage. Beim Blattgemüse wird ein Ertrag von $1,6 \text{ kg/m}^2$ und bei den sonstigen Pflanzen ein Ertrag von $2,4 \text{ kg/m}^2$ angesetzt, wobei jeweils vom Frischgewicht ausgegangen wird.

Für den Transfer des kontaminierten Grundwassers zum Menschen werden zunächst die Nutzungsarten des Wassers betrachtet. Diese sind

- Trinkwasser für den Menschen,
- Beregnungswasser für die Pflanzen,
- Tränkwasser für Vieh und
- Lebensraum der Fische,

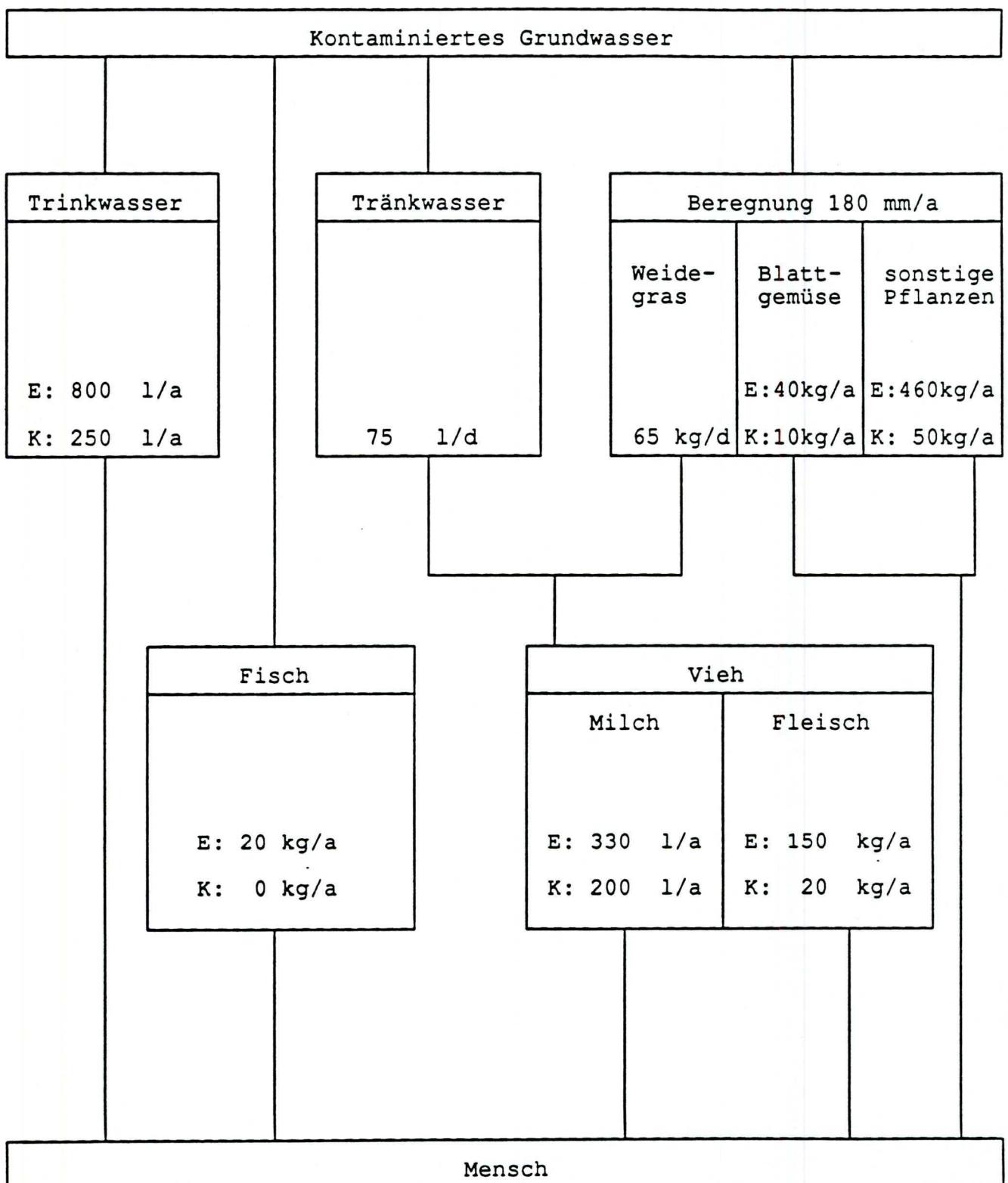
wobei in allen Fällen eine ausschließliche Verwendung des kontaminierten Grundwassers unterstellt wird. Für die Trinkwasseraufnahme wird eine jährliche Menge von 800 l für Erwachsene und 250 l für Kleinkinder angenommen.

Die Berechnung der Pflanzen in der Vegetationsperiode führt zu einer Kontamination der drei Pflanzengruppen. Über das Weidegras und das Tränkwasser gelangen Radionuklide in das Vieh und von dort mit der Milch und dem Fleisch zum Menschen. Für die Kontamination von Milch und Fleisch wird von einer Tränkwassermenge von 75 l/d und von einer Grasaufnahme von 65 kg/d ausgegangen. Die Zufuhr zum Menschen erfolgt entsprechend einem Fleischverzehr von 150 kg/a für Erwachsene und 20 kg/a für Kleinkinder sowie einem Milchverbrauch von 330 l/a für Erwachsene und 200 l/a für Kleinkinder.

Für den Nuklidtransfer in Fische wird angenommen, daß die Kontamination des Gewässers mit derjenigen des Grundwassers übereinstimmt. Die Radionuklidzufuhr zum Menschen ergibt sich aus einem Fischfleischverzehr von 20 kg/a für Erwachsene. Die Ausbreitungsmöglichkeiten der Radionuklide in der Biosphäre sind in Abbildung 3.9.6/1 dargestellt.

Kontamination pflanzlicher Nahrungsmittel

Die Kontamination der Pflanzen erfolgt durch die Berechnung, wobei jeweils die Radionuklidaufnahme über Wurzeln und Blattwerk betrachtet wird. Bei der Aufnahme über das Blattwerk wird angenommen, daß die Pflanze während ihrer gesamten Wachstumszeit mit einer konstanten Rate von 1 mm/d berechnet wird. 30 % des Nuklidstroms aus der Berechnung gelangt über das Blattwerk in die Pflanze und wird dort akkumuliert. Eine Abnahme der Kontamination erfolgt durch den radioaktiven Zerfall und durch Abwitterungsprozesse.

Abbildung
3.9.6/1

Ausbreitung der Radionuklide in der Biosphäre und Lebensmittelverbrauch (Ernährungsgewohnheit) der Referenzperson (E: Erwachsener, K: Kleinkind)

Bei der Aufnahme über die Wurzeln ist die Aktivität der Nährbodenschicht zu berechnen. Sie ergibt sich aus der jährlichen Aktivitätszufuhr mit dem Beregnungswasser einerseits und der Aktivitätsabnahme durch radioaktiven Zerfall und Auswaschung der Radionuklide in tiefere Bodenschichten andererseits. Zusätzlich wird für Radionuklide aus den Zerfallsketten der Aufbau von Tochternukliden berücksichtigt.

Aus der Kontamination des Nährbodens ergibt sich die Kontamination der Pflanzen. Das Verhältnis beider Konzentrationen wird durch den Transferfaktor Boden/Pflanze beschrieben. Die Transferfaktoren werden der AVV entnommen.

Kontamination tierischer Nahrungsmittel

Die Aktivitätsaufnahme der Weidetiere resultiert aus der Aufnahme von Weidegras und Tränkwasser. Die Höhe der Kontamination des Weidegrases ergibt sich aus den vorstehend beschriebenen Modellvorstellungen. Die Kontamination des Tränkwassers wird mit der Kontamination des Grundwassers gleichgesetzt.

Bezüglich tierischer Nahrungsmittel wird zwischen Fleisch und Milch unterschieden. Für die Kontamination der Nahrungsmittel wird eine Proportionalität zur Radioaktivitätsaufnahmerate angenommen. Die Proportionalitätsfaktoren werden als Transferfaktoren Futter/Milch und Futter/Fleisch aus der AVV übernommen.

Die Kontamination von Fischen erfolgt aufgrund der Kontamination ihres Lebensraums. Hierzu wird angenommen, daß die Fische aus grundwassergespeisten Teichen stammen, bei denen die Nuklidkonzentration im Wasser mit derjenigen des Grundwassers identisch ist. Konzentrationsverringerungen durch Oberflächenzuflüsse oder Re-

genwasser und Konzentrationsänderungen durch Wegfall der Sorption werden somit nicht betrachtet.

Für die Aktivitätskonzentration im Fischfleisch wird wie in der AVV eine Proportionalität zur Aktivitätskonzentration im Wasser angenommen. Die Proportionalitätsfaktoren werden als Konzentrationsfaktoren Wasser/Fischfleisch der AVV entnommen.

Externe Exposition

Durch den Aufenthalt auf beregneten Flächen wird eine externe Strahlenexposition verursacht. Diese ergibt sich aus der Aktivität im Boden, der Aufenthaltsdauer auf den beregneten Flächen sowie der Dosisfaktoren für externe Bestrahlung. Um die Selbstabschirmung des Bodens zu berücksichtigen, wird zur Berechnung der Bodenaktivität nur eine Bodenschichtdicke von 0 cm bis 5 cm betrachtet. Für die Aufenthaltsdauer werden 1 000 Stunden pro Jahr unterstellt. Die entsprechenden Dosisfaktoren sind /13/ entnommen, wobei für die Berechnung der Strahlenexposition des Kleinkindes zur Berücksichtigung der geringen Körpergröße und der geringeren Selbstabschirmung der Organe ein Faktor 1,5 aufgeschlagen wird.

Berechnung der Strahlenexposition

Die gesamte Strahlenexposition ergibt sich als Summe aus der externen Exposition durch Aufenthalt auf beregneten Flächen und der internen Exposition durch Aufnahme von Radionukliden mit der Nahrung. Die Strahlenexposition durch Ingestion ergibt sich aus der jährlich mit der Nahrung einschließlich Trinkwasser zugeführten Aktivität und Ingestionsdosisfaktoren, die /13/ entnommen werden. Diese Dosisfaktoren schließen die Folgeäquivalentdosis bis zum 70. Lebensjahr nach Aktivitätsaufnahme nach dem 1. Lebensjahr (Kleinkind) bzw. 20. Lebensjahr (Erwachsener) mit ein.

Sie basieren auf Modellen und Daten von ICRP 30 /14/ und ermöglichen neben der Berechnung von Organdosen auch die Ermittlung einer effektiven Äquivalentdosis, die sich aus der gewichteten Summation der Organdosen ergibt.

Die Strahlenexposition wird sowohl für das Kleinkind als auch für den Erwachsenen berechnet, da signifikante Unterschiede hinsichtlich der Selbstabschirmung der Organe, der Verzehrgewohnheiten und des Stoffwechsels der Radionuklide zwischen beiden Gruppen bestehen.

Bei der Berechnung der Strahlenexposition sind nur solche Radionuklide berücksichtigt, deren Konzentration im quartären Grundwasser durch numerische Ausbereitungsrechnungen ermittelt oder durch Betrachtung von Zerfalls- und Sorptionsgleichgewichten für Zerfallsprodukte in den Zerfallsreihen berechnet wurden. Dabei wurden nur die Radionuklide in den Hauptzerfallswegen betrachtet, da nur sie relevante Beiträge zur Strahlenexposition liefern. Hierbei bleiben Radionuklide mit einer Halbwertszeit kleiner als ein Tag unberücksichtigt, da sie wegen ihrer geringen Dosisfaktoren nicht merklich zur Strahlenexposition beitragen.

Wenn im Nährboden Tochternuklide entstehen, wird auch für sie die Strahlenexposition berechnet und denen der Mutternuklide zugeschlagen.

3.9.7 Potentielle Strahlenexposition und Barrierenbewertung

Aus der modellmäßigen Betrachtung der Radionuklidfreisetzungen aus dem Grubengebäude und den sich anschließenden Radionuklidausbreitungen in der Geosphäre ergeben sich Aktivitätskonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser. Die Verwendung dieses Grundwassers führt zu einer Aktivitätsaufnahme und zu einer Strahlenexposition des Menschen.

Zur Bewertung der Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad werden die jährlichen potentiellen Strahlenexpositionen zum Zeitpunkt des Konzentrationsmaximums eines jeden Radionuklids berechnet. Die entsprechenden Werte sind in den Tabellen 3.9.7/1 bis 3.9.7/4 für die Ausbreitung über die Unterkreidetonsteine und das Oxford angegeben und der zeitliche Verlauf der effektiven Äquivalentdosen für den Erwachsenen und das Kleinkind in den Abbildungen 3.9.7/1 und 3.9.7/2 dargestellt. In den Abbildungen ist der Zeitbereich bei $1 \cdot 10^8$ Jahre und die Strahlenexposition bei $1 \cdot 10^{-11}$ Sv/a abgeschnitten worden. Für die Ausbreitung über den "Cornbrash"-Sandstein werden Dosiswerte nicht bestimmt, da die Aktivitätskonzentrationen deutlich kleiner als bei der Ausbreitung über das Oxford sind. Der Eintrittsort in das Quartär ist bei diesen beiden Ausbreitungswegen identisch.

Die Strahlenexpositionen ergeben sich aus den Maximalkonzentrationen in Tabelle 3.9.5/2. Dort sind die Konzentrationen im Quartär für die langlebigen Radionuklide angegeben, die nach einer Ausbreitung durch das Gebirge die Biosphäre erreichen. Die Konzentrationen der Tochternuklide im Grundwasser werden unter Verwendung von Aktivitäts- und Sorptionsgleichgewichten errechnet.

Aus den Aktivitätskonzentrationen im Grundwasser errechnen sich die Aktivitätszufuhren für Erwachsene und für Kleinkinder. Durch Anwendung von Dosisfaktoren aus der Strahlenschutzverordnung /15/ werden anschließend die Strahlendosen für 21 Organe und außerdem effektive Folgeäquivalentdosen errechnet.

Nennenswerte potentielle Strahlenexpositionen ergeben sich auch wegen der langen Laufzeiten des Transportmediums Wasser vom Endlager bis zur Biosphäre nur für langlebige Radionuklide und deren Zerfallsprodukte erst nach hunderttausenden von Jahren. Jährliche effektive Äquivalentdosen im Bereich von 10^{-5} Sv errechnen sich für eine eingelagerte Aktivität von $7 \cdot 10^{11}$ Bq durch I 129 in einem Zeitraum von ca. 300 000 Jahren bis ca. 360 000 Jahren. Zwei bis fünf Zehnerpotenzen geringere effektive Äquivalentdosen, die ohne Bedeutung für eine Strahlenexposition sind, resultieren für die Radionuklide Cl 36, Ca 41, Se 79 und Tc 99 zwischen ca. 300 000 Jahren und ca. 2 Mio. Jahren. Erst nach deutlich längeren Zeiten, d. h. mehreren Millionen Jahren, können weitere Strahlenexpositionen durch langlebige Aktiniden und deren Folgeprodukte auftreten. Als relevantes Aktinid erweist sich insbesondere U 238 wegen seiner Folgeprodukte U 234, Ra 226 und Pb 210. Den Sicherheitsanalysen wurde für U 238 eine Aktivität von $1,9 \cdot 10^{12}$ Bq zugrunde gelegt. Die errechneten Strahlenexpositionen liegen in allen Fällen unter den Grenzwerten, die in § 45 StrlSchV angegeben sind.

Die von derzeitigen Verhältnissen ausgehende rechnerische Behandlung von Lösungszutritten an die endgelagerten Abfälle zeigt, daß in dem durch Sicherheitsanalysen mit Individualdosenberechnung zu betrachtenden Nachweis von ca. 10 000 Jahren keine Kontamination der Biosphäre auftritt, und damit die in /9, 10/ vorgegebenen Schutzziele eingehalten werden.

Radionuklide, die wie I 129 von den Gesteinen wenig zurückgehalten werden, breiten sich etwa mit der - sehr langsam - Grundwassergeschwindigkeit aus. Sie führen nach über 300 000 Jahren zu effektiven Äquivalentdosen im Schwankungsbereich der natürlichen Strahlenexposition.

Die vom Gestein stark zurückgehaltenen Radionuklide der U, -Ra- und Ac-Reihen und U 236 erreichen nach diesen Modellrechnungen die Biosphäre dagegen erst nach Zeiträumen, die außerhalb der Prognosemöglichkeiten von etwa 1 Mio. Jahren liegen. Es handelt sich bei diesem Ergebnis also um eine reine Rechengröße, die nur aufzeigt, daß die Grundwasserbewegung das mit Endlagern erreichbare Isolationsvermögen nicht gefährdet. Die Betrachtung des Kreislaufs der gesteinsbildenden Stoffe am Beispiel möglicher Auswirkungen der Erosion verdeutlicht dies. Bei der in Kapitel 3.1.10.6 angegebenen Erosionsrate von 0,1 mm/a wäre der Salzgitter-Höhenzug als Ursache der betrachteten Grundwasserbewegung nach etwa 1 Mio. Jahren nicht mehr vorhanden.

Die berechneten Rückhaltungszeiträume müssen vor dem Hintergrund bewertet werden, daß die Radiotoxizität der Abfälle nach einigen 100 000 Jahren mit der natürlichen Radiotoxizität der Endlagerformation vergleichbar ist (Abb. 3.9.4/1).

Die nuklidspezifische Bewertung der vorhandenen Barrieren bestätigt damit, daß die für die Endlagerung vorgesehenen Radionuklide überwiegend erst nach einem Zeitraum von Millionen Jahren an die Erdoberfläche gelangen können und somit das mit geologischen Systemen prognostizierbare Isolationsvermögen beim Endlager Konrad erreicht wird.

Die geologischen Langzeitprognosen in Kapitel 3.1.10.6 über das Verhalten der vorhandenen geologischen Barrieren, z. B. unter Berücksichtigung von möglichen Eiszeiten, Abtragungen, epirogenen Bewegungen und von Magmatismus, zeigen ebenfalls, daß das mit geologischen Systemen prognostizierbare Isolationsvermögen am Standort des Endlagers Konrad gegeben ist.

Radio-nuklid	Strahlenexposition (Sv/a)							Leber	Lunge	
	Blase	Brust	Oberer Dickdarm	Unterer Dickdarm	Dünndarm	Gehirn	Haut	Hoden	Knochen-ober-fläche	
Cl	36	1.6·10 ⁻⁰⁷								
Ca	41	4.1·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³	2.7·10 ⁻¹²	7.1·10 ⁻¹²	7.8·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	4.2·10 ⁻¹³	3.1·10 ⁻¹³	4.3·10 ⁻¹³
Se	79	2.6·10 ⁻¹²	2.6·10 ⁻¹²	3.2·10 ⁻¹²	4.4·10 ⁻⁰⁸	4.4·10 ⁻⁰⁸	2.7·10 ⁻¹²	2.6·10 ⁻¹²	2.6·10 ⁻¹²	2.6·10 ⁻¹²
Tc	99	4.9·10 ⁻⁰⁹	4.9·10 ⁻⁰⁹	3.2·10 ⁻⁰⁸	8.9·10 ⁻⁰⁹	9.7·10 ⁻⁰⁹	4.9·10 ⁻⁰⁹	4.9·10 ⁻⁰⁹	4.9·10 ⁻⁰⁹	4.9·10 ⁻⁰⁹
I	129	5.5·10 ⁻⁰⁹	1.4·10 ⁻⁰⁸	5.7·10 ⁻⁰⁹	5.7·10 ⁻⁰⁹	5.6·10 ⁻⁰⁹	5.7·10 ⁻⁰⁹	1.0·10 ⁻⁰⁸	6.8·10 ⁻⁰⁹	6.8·10 ⁻⁰⁹
U	236	4.4·10 ⁻⁰⁷	4.6·10 ⁻⁰⁹	3.1·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	9.0·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻⁰⁹	5.0·10 ⁻⁰⁹	4.6·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻⁰⁹
Th	232	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁸	3.7·10 ⁻⁰⁷	5.7·10 ⁻⁰⁷	2.7·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁵	2.5·10 ⁻⁰⁷
Ra	228	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.8·10 ⁻⁰⁸	4.3·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸
Th	228	1.4·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻⁰⁹	5.3·10 ⁻⁰⁹	3.0·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰
Ra	224	2.3·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	9.1·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	1.8·10 ⁻⁰⁷	2.3·10 ⁻⁰⁹
Np	237	6.6·10 ⁻¹⁵	8.5·10 ⁻¹⁵	3.1·10 ⁻¹⁴	8.2·10 ⁻¹⁴	1.1·10 ⁻¹⁴	7.4·10 ⁻¹⁵	1.0·10 ⁻¹⁴	3.4·10 ⁻¹³	1.3·10 ⁻¹²
U	233	3.0·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹²	8.8·10 ⁻¹²	3.4·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	3.1·10 ⁻¹⁰	3.3·10 ⁻¹²
Th	229	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	2.8·10 ⁻¹³	1.2·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.2·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³
U	238	3.5·10 ⁻⁰⁸	3.8·10 ⁻⁰⁸	2.6·10 ⁻⁰⁷	7.4·10 ⁻⁰⁷	7.3·10 ⁻⁰⁸	3.5·10 ⁻⁰⁸	4.3·10 ⁻⁰⁸	3.7·10 ⁻⁰⁸	3.5·10 ⁻⁰⁸
Th	234	2.4·10 ⁻¹³	9.8·10 ⁻¹⁴	3.8·10 ⁻¹⁰	1.1·10 ⁻⁰⁹	6.5·10 ⁻¹¹	1.3·10 ⁻¹⁴	4.2·10 ⁻¹⁴	7.0·10 ⁻¹⁴	1.1·10 ⁻¹³
U	234	1.8·10 ⁻⁰⁷	1.8·10 ⁻⁰⁷	3.6·10 ⁻⁰⁷	7.4·10 ⁻⁰⁷	2.1·10 ⁻⁰⁷	1.8·10 ⁻⁰⁷	1.9·10 ⁻⁰⁷	1.8·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻¹⁴
Th	230	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	6.4·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	5.8·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁷
Ra	226	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	3.6·10 ⁻⁰⁷	2.6·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	1.9·10 ⁻⁰⁵	2.5·10 ⁻⁰⁷
Pb	210	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁷	3.3·10 ⁻⁰⁷	3.5·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁷	5.2·10 ⁻⁰⁵	2.9·10 ⁻⁰⁷
Bi	210	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹	6.8·10 ⁻⁰⁹	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.3·10 ⁻⁰⁹	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹
Po	210	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	5.5·10 ⁻⁰⁸	7.3·10 ⁻⁰⁸	4.8·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸
U	235	5.3·10 ⁻⁰⁸	5.7·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁷	3.4·10 ⁻⁰⁷	6.9·10 ⁻⁰⁸	5.3·10 ⁻⁰⁸	6.0·10 ⁻⁰⁸	9.7·10 ⁻⁰⁸	5.3·10 ⁻⁰⁸
Th	231	7.0·10 ⁻¹⁵	3.7·10 ⁻¹⁵	4.2·10 ⁻¹²	7.6·10 ⁻¹²	1.0·10 ⁻¹²	5.6·10 ⁻¹⁶	1.3·10 ⁻¹⁵	2.5·10 ⁻¹⁵	1.7·10 ⁻¹⁶
Pa	231	3.6·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻⁰⁹	1.0·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁸	4.8·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻⁰⁶	9.9·10 ⁻⁰⁹
Ac	227	1.4·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹³	4.2·10 ⁻¹⁰	1.0·10 ⁻⁰⁹	1.9·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.4·10 ⁻⁰⁶	3.0·10 ⁻⁰⁷
Th	227	7.2·10 ⁻¹³	6.2·10 ⁻¹³	8.2·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹¹	5.5·10 ⁻¹³	5.9·10 ⁻¹³	2.3·10 ⁻¹⁰	5.5·10 ⁻¹³
Ra	223	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	1.9·10 ⁻⁰⁹	4.3·10 ⁻⁰⁹	8.7·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	4.6·10 ⁻⁰⁸	6.5·10 ⁻¹⁰

Tabelle 3.9.71: Strahlenexposition des Erwachsenen bei der Radionuklidabreitung über Unterkreidetone

Radio- nuklid	Strahlenexposition (Sv/a)										
	Magen	Milz	Neben- nieren	Nieren	Ovarien	Pancreas	Rotes Knochen- mark	Schild- drüse	Thymus	Uterus	Effektive Äquivalent- dosis
Ci 36	2.2·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷
Ca 41	6.4·10 ⁻¹³	4.9·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³	4.2·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³	4.4·10 ⁻¹⁰	4.5·10 ⁻¹³	4.1·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³	4.1·10 ⁻¹¹
Ca 79	2.8·10 ⁻¹²	1.3·10 ⁻¹¹	2.6·10 ⁻¹²	3.5·10 ⁻¹¹	2.6·10 ⁻¹²	1.1·10 ⁻¹¹	2.6·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻¹²	2.6·10 ⁻¹²	2.6·10 ⁻¹²	2.7·10 ⁻¹²
Sc 99	2.8·10 ⁻⁰⁷	4.9·10 ⁻⁰⁹	1.3·10 ⁻⁰⁵	4.9·10 ⁻⁰⁹	2.6·10 ⁻⁰⁹	7.0·10 ⁻⁰⁸					
I- 129	9.3·10 ⁻⁰⁹	5.9·10 ⁻⁰⁹	5.3·10 ⁻⁰⁹	5.8·10 ⁻⁰⁹	5.5·10 ⁻⁰⁹	5.6·10 ⁻⁰⁹	8.6·10 ⁻⁰⁹	9.0·10 ⁻⁰⁹	1.4·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁹	3.2·10 ⁻⁰⁶
U- 234	6.4·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻⁰⁹	8.1·10 ⁻⁰⁷	4.4·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻⁰⁷	4.4·10 ⁻⁰⁹	1.3·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻⁰⁹	2.7·10 ⁻⁰⁶
Th 232	2.6·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.6·10 ⁻⁰⁷	2.6·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	4.4·10 ⁻⁰⁸	1.4·10 ⁻⁰⁶	2.5·10 ⁻⁰⁷	4.4·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷
Pa 228	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	1.6·10 ⁻⁰⁷	3.4·10 ⁻⁰⁸	2.5·10 ⁻⁰⁷	6.1·10 ⁻⁰⁷
Th 228	2.0·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰	1.5·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰	7.5·10 ⁻⁰⁹	1.4·10 ⁻¹⁰	1.3·10 ⁻¹⁰	3.4·10 ⁻⁰⁸	9.3·10 ⁻⁰⁸
Pa 224	2.7·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	2.4·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	1.7·10 ⁻⁰⁸	2.3·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	4.4·10 ⁻⁰⁹
Th 237	6.7·10 ⁻¹⁵	6.7·10 ⁻¹⁵	6.4·10 ⁻¹⁵	9.4·10 ⁻¹⁵	3.5·10 ⁻¹⁵	6.3·10 ⁻¹⁵	3.0·10 ⁻¹⁵	6.4·10 ⁻¹⁵	7.0·10 ⁻¹⁵	2.3·10 ⁻¹⁵	1.1·10 ⁻⁰⁸
U- 233	3.4·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	2.0·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	6.4·10 ⁻¹²	6.4·10 ⁻¹²	7.0·10 ⁻¹²	6.2·10 ⁻¹²	1.6·10 ⁻¹²
Th 229	1.2·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	2.6·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	3.0·10 ⁻¹²	1.6·10 ⁻¹¹
U- 238	5.1·10 ⁻⁰⁸	3.5·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	1.0·10 ⁻¹²	1.0·10 ⁻¹²	1.0·10 ⁻¹²	1.0·10 ⁻¹²	5.7·10 ⁻¹³
Th 234	2.5·10 ⁻¹¹	7.9·10 ⁻¹⁴	4.6·10 ⁻¹⁴	1.1·10 ⁻¹³	7.9·10 ⁻¹³	9.4·10 ⁻¹⁴	4.6·10 ⁻¹⁴	1.5·10 ⁻¹⁴	3.7·10 ⁻¹⁴	3.5·10 ⁻¹⁴	7.5·10 ⁻¹¹
U- 234	2.0·10 ⁻⁰⁷	1.8·10 ⁻⁰⁷	1.8·10 ⁻⁰⁷	5.0·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁷	1.8·10 ⁻⁰⁷	1.0·10 ⁻⁰⁷	1.0·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻¹⁴	3.3·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻⁰⁶
Th 230	5.7·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	1.0·10 ⁻⁰⁷	1.0·10 ⁻⁰⁷	1.0·10 ⁻⁰⁷	1.0·10 ⁻⁰⁷	9.3·10 ⁻⁰⁷
Pa 226	2.6·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁶
Pb 210	2.9·10 ⁻⁰⁷	5.8·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁷	6.8·10 ⁻⁰⁶	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁶	2.9·10 ⁻⁰⁶	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁶
Bi 210	5.4·10 ⁻¹⁰	2.1·10 ⁻¹⁰	2.7·10 ⁻¹⁰	7.0·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹⁰	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹	2.7·10 ⁻¹¹	3.6·10 ⁻⁰⁶
Po 210	4.6·10 ⁻⁰⁸	2.5·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	1.4·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	2.0·10 ⁻⁰⁹
U- 235	6.1·10 ⁻⁰⁹	5.3·10 ⁻⁰⁸	5.2·10 ⁻⁰⁸	6.4·10 ⁻⁰⁷	5.2·10 ⁻⁰⁸	9.3·10 ⁻⁰⁸	5.2·10 ⁻⁰⁸	8.1·10 ⁻⁰⁷	5.5·10 ⁻⁰⁸	5.5·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁷
Th 231	4.2·10 ⁻¹³	4.2·10 ⁻¹³	4.4·10 ⁻¹⁴	3.5·10 ⁻¹⁵	4.8·10 ⁻¹⁴	4.4·10 ⁻¹⁴	2.3·10 ⁻¹⁴	2.3·10 ⁻¹⁴	6.3·10 ⁻¹⁶	1.1·10 ⁻¹³	5.6·10 ⁻⁰⁷
Pa 231	4.3·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻¹⁰	8.9·10 ⁻⁰⁹	8.9·10 ⁻⁰⁹	8.9·10 ⁻⁰⁹	8.9·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻⁰⁹	5.5·10 ⁻⁰⁸
Ac 227	1.7·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.7·10 ⁻¹⁰	1.7·10 ⁻¹⁰	1.1·10 ⁻¹⁰	1.1·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰	1.4·10 ⁻¹⁰
Th 227	5.4·10 ⁻¹²	6.2·10 ⁻¹³	5.0·10 ⁻¹³	6.2·10 ⁻¹³	6.2·10 ⁻¹³	6.2·10 ⁻¹³	6.2·10 ⁻¹³	6.2·10 ⁻¹³	5.5·10 ⁻¹³	5.5·10 ⁻¹³	7.7·10 ⁻¹¹
Pa 223	7.4·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	4.4·10 ⁻⁰⁹	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	3.3·10 ⁻⁰⁹
Pa 223	7.4·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	4.4·10 ⁻⁰⁹	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	6.5·10 ⁻¹⁰	2.6·10 ⁻⁰⁹

Tabelle 3.9.7.1: Strehlenerposition des Erwachsenen bei der Redonuktildauerspeisung über Unterkreidetone (Fortsetzung)

Radio-nuklid	Blase	Brust	Oberer Darm	Unterer Darm	Strahlenexposition (Sv/a)				Leber	Lunge
					Dünndarm	Gehirn	Haut	Hoden		
Cl 36	$3.1 \cdot 10^{-07}$	$3.1 \cdot 10^{-07}$	$3.1 \cdot 10^{-07}$	$3.1 \cdot 10^{-07}$	$3.1 \cdot 10^{-07}$	$3.1 \cdot 10^{-07}$				
Ca 41	$7.8 \cdot 10^{-18}$	$1.4 \cdot 10^{-14}$	$2.5 \cdot 10^{-13}$	$5.8 \cdot 10^{-14}$	$7.1 \cdot 10^{-14}$	$2.2 \cdot 10^{-13}$	$9.6 \cdot 10^{-10}$	$3.9 \cdot 10^{-14}$	$5.8 \cdot 10^{-14}$	$5.8 \cdot 10^{-14}$
Se 79	$8.5 \cdot 10^{-12}$	$8.5 \cdot 10^{-09}$	$1.0 \cdot 10^{-11}$	$1.4 \cdot 10^{-11}$	$8.8 \cdot 10^{-08}$	$8.5 \cdot 10^{-09}$	$8.5 \cdot 10^{-12}$	$8.5 \cdot 10^{-11}$	$5.3 \cdot 10^{-12}$	$8.5 \cdot 10^{-12}$
Tc 99	$4.5 \cdot 10^{-09}$	$4.5 \cdot 10^{-09}$	$3.2 \cdot 10^{-08}$	$6.9 \cdot 10^{-08}$	$9.1 \cdot 10^{-08}$	$4.5 \cdot 10^{-09}$	$4.5 \cdot 10^{-09}$	$4.5 \cdot 10^{-09}$	$5.3 \cdot 10^{-09}$	$4.5 \cdot 10^{-09}$
I 129	$1.5 \cdot 10^{-06}$	$2.7 \cdot 10^{-09}$	$1.5 \cdot 10^{-08}$	$1.5 \cdot 10^{-08}$	$1.5 \cdot 10^{-08}$	$1.3 \cdot 10^{-08}$	$1.6 \cdot 10^{-08}$	$2.1 \cdot 10^{-08}$	$4.3 \cdot 10^{-08}$	$2.0 \cdot 10^{-08}$
U 236	$6.2 \cdot 10^{-09}$	$6.4 \cdot 10^{-09}$	$5.0 \cdot 10^{-08}$	$1.4 \cdot 10^{-07}$	$1.4 \cdot 10^{-07}$	$1.7 \cdot 10^{-11}$	$7.1 \cdot 10^{-09}$	$6.4 \cdot 10^{-09}$	$1.3 \cdot 10^{-06}$	$6.2 \cdot 10^{-09}$
Th 232	$2.7 \cdot 10^{-07}$	$4.2 \cdot 10^{-07}$	$2.7 \cdot 10^{-07}$	$6.1 \cdot 10^{-07}$	$2.9 \cdot 10^{-08}$	$2.7 \cdot 10^{-08}$	$2.8 \cdot 10^{-07}$	$1.1 \cdot 10^{-05}$	$3.0 \cdot 10^{-07}$	$2.8 \cdot 10^{-07}$
Ro 228	$6.3 \cdot 10^{-08}$	$6.3 \cdot 10^{-08}$	$6.6 \cdot 10^{-08}$	$6.9 \cdot 10^{-08}$	$6.0 \cdot 10^{-08}$	$1.0 \cdot 09$	$6.4 \cdot 10^{-08}$	$6.3 \cdot 10^{-08}$	$2.3 \cdot 10^{-06}$	$6.3 \cdot 10^{-08}$
Th 228	$1.5 \cdot 10^{-10}$	$1.5 \cdot 10^{-10}$	$6.6 \cdot 10^{-09}$	$1.7 \cdot 10^{-09}$	$6.2 \cdot 10^{-09}$	$3.4 \cdot 10^{-10}$	$2.7 \cdot 10^{-11}$	$1.6 \cdot 10^{-10}$	$8.5 \cdot 10^{-08}$	$1.6 \cdot 10^{-10}$
Ro 224	$3.0 \cdot 10^{-09}$	$3.0 \cdot 10^{-09}$	$3.0 \cdot 10^{-09}$	$2.1 \cdot 10^{-08}$	$4.9 \cdot 10^{-08}$	$4.5 \cdot 10^{-09}$	$9.0 \cdot 10^{-12}$	$4.2 \cdot 10^{-09}$	$3.6 \cdot 10^{-07}$	$4.2 \cdot 10^{-09}$
Ro 237	$9.4 \cdot 10^{-15}$	$3.0 \cdot 10^{-14}$	$1.2 \cdot 10^{-14}$	$3.4 \cdot 10^{-14}$	$8.2 \cdot 10^{-14}$	$1.4 \cdot 10^{-14}$	$9.7 \cdot 10^{-15}$	$1.5 \cdot 10^{-14}$	$3.7 \cdot 10^{-13}$	$1.0 \cdot 10^{-14}$
U 233	$2.9 \cdot 10^{-12}$	$2.9 \cdot 10^{-12}$	$4.4 \cdot 10^{-12}$	$7.3 \cdot 10^{-12}$	$3.3 \cdot 10^{-13}$	$2.5 \cdot 10^{-13}$	$2.9 \cdot 10^{-12}$	$2.9 \cdot 10^{-12}$	$2.3 \cdot 10^{-10}$	$2.9 \cdot 10^{-12}$
Th 229	$1.1 \cdot 10^{-13}$	$1.1 \cdot 10^{-13}$	$1.5 \cdot 10^{-13}$	$2.0 \cdot 10^{-13}$	$1.2 \cdot 10^{-13}$	$8.1 \cdot 10^{-15}$	$1.1 \cdot 10^{-13}$	$1.1 \cdot 10^{-13}$	$8.9 \cdot 10^{-12}$	$1.2 \cdot 10^{-13}$
U 238	$4.8 \cdot 10^{-08}$	$5.3 \cdot 10^{-08}$	$3.6 \cdot 10^{-07}$	$1.1 \cdot 10^{-06}$	$1.0 \cdot 10^{-06}$	$1.6 \cdot 10^{-08}$	$6.1 \cdot 10^{-08}$	$5.2 \cdot 10^{-08}$	$7.3 \cdot 10^{-06}$	$5.0 \cdot 10^{-08}$
Th 234	$2.0 \cdot 10^{-07}$	$7.1 \cdot 10^{-14}$	$4.8 \cdot 10^{-10}$	$1.4 \cdot 10^{-09}$	$8.0 \cdot 10^{-09}$	$1.7 \cdot 10^{-14}$	$2.1 \cdot 10^{-14}$	$2.7 \cdot 10^{-13}$	$6.2 \cdot 10^{-13}$	$3.5 \cdot 10^{-14}$
U 234	$1.7 \cdot 10^{-07}$	$1.8 \cdot 10^{-07}$	$4.5 \cdot 10^{-07}$	$1.8 \cdot 10^{-07}$	$2.2 \cdot 10^{-07}$	$5.3 \cdot 10^{-10}$	$1.8 \cdot 10^{-07}$	$2.7 \cdot 10^{-07}$	$1.3 \cdot 10^{-13}$	$1.3 \cdot 10^{-07}$
Th 230	$5.4 \cdot 10^{-08}$	$4.5 \cdot 10^{-08}$	$5.5 \cdot 10^{-08}$	$5.8 \cdot 10^{-08}$	$5.4 \cdot 10^{-08}$	$1.0 \cdot 10^{-10}$	$5.4 \cdot 10^{-08}$	$5.4 \cdot 10^{-08}$	$1.8 \cdot 10^{-07}$	$1.8 \cdot 10^{-07}$
Th 226	$2.8 \cdot 10^{-07}$	$7.1 \cdot 10^{-10}$	$2.8 \cdot 10^{-07}$	$2.8 \cdot 10^{-07}$	$2.0 \cdot 10^{-05}$	$2.8 \cdot 10^{-07}$				
Pb 210	$1.6 \cdot 10^{-07}$	$1.6 \cdot 10^{-11}$	$1.8 \cdot 10^{-07}$	$2.2 \cdot 10^{-07}$	$1.6 \cdot 10^{-07}$	$1.6 \cdot 10^{-07}$	$1.6 \cdot 10^{-07}$	$1.6 \cdot 10^{-07}$	$2.1 \cdot 10^{-05}$	$1.6 \cdot 10^{-07}$
Bi 210	$3.7 \cdot 10^{-10}$	$3.7 \cdot 10^{-08}$	$1.0 \cdot 10^{-08}$	$2.9 \cdot 10^{-08}$	$1.9 \cdot 10^{-08}$	$3.5 \cdot 10^{-12}$	$3.7 \cdot 10^{-11}$	$3.7 \cdot 10^{-11}$	$4.9 \cdot 10^{-11}$	$3.7 \cdot 10^{-11}$
Po 210	$1.9 \cdot 10^{-08}$	$1.9 \cdot 10^{-08}$	$2.3 \cdot 10^{-08}$	$3.1 \cdot 10^{-08}$	$2.0 \cdot 10^{-08}$	$1.0 \cdot 10^{-08}$	$1.9 \cdot 10^{-08}$	$1.9 \cdot 10^{-08}$	$8.8 \cdot 10^{-08}$	$1.9 \cdot 10^{-08}$
U 235	$5.7 \cdot 10^{-08}$	$6.3 \cdot 10^{-08}$	$9.6 \cdot 10^{-08}$	$4.0 \cdot 10^{-07}$	$6.3 \cdot 10^{-08}$	$2.4 \cdot 10^{-08}$	$6.9 \cdot 10^{-08}$	$1.3 \cdot 10^{-07}$	$5.4 \cdot 10^{-06}$	$3.3 \cdot 10^{-08}$
Th 231	$1.2 \cdot 10^{-14}$	$3.2 \cdot 10^{-15}$	$5.9 \cdot 10^{-12}$	$1.1 \cdot 10^{-11}$	$1.4 \cdot 10^{-12}$	$1.0 \cdot 10^{-16}$	$7.8 \cdot 10^{-16}$	$5.7 \cdot 10^{-14}$	$1.3 \cdot 10^{-14}$	$1.5 \cdot 10^{-15}$
Po 231	$3.7 \cdot 10^{-09}$	$3.8 \cdot 10^{-09}$	$3.9 \cdot 10^{-09}$	$2.6 \cdot 10^{-08}$	$3.8 \cdot 10^{-09}$	$2.4 \cdot 10^{-10}$	$3.8 \cdot 10^{-09}$	$1.3 \cdot 10^{-08}$	$5.3 \cdot 10^{-07}$	$3.7 \cdot 10^{-09}$
Ac 227	$1.6 \cdot 10^{-10}$	$1.6 \cdot 10^{-13}$	$2.0 \cdot 10^{-10}$	$1.3 \cdot 10^{-09}$	$1.7 \cdot 10^{-11}$	$1.5 \cdot 10^{-11}$	$1.7 \cdot 10^{-10}$	$3.2 \cdot 10^{-08}$	$5.3 \cdot 10^{-07}$	$1.6 \cdot 10^{-10}$
Th 227	$8.2 \cdot 10^{-09}$	$7.1 \cdot 10^{-13}$	$9.9 \cdot 10^{-11}$	$3.6 \cdot 10^{-10}$	$5.0 \cdot 10^{-11}$	$6.7 \cdot 10^{-13}$	$8.2 \cdot 10^{-13}$	$2.5 \cdot 10^{-10}$	$3.8 \cdot 10^{-12}$	$6.8 \cdot 10^{-13}$
Po 223	$1.2 \cdot 10^{-09}$	$1.2 \cdot 10^{-09}$	$1.2 \cdot 10^{-09}$	$8.6 \cdot 10^{-09}$	$1.2 \cdot 10^{-09}$	$2.3 \cdot 10^{-12}$	$1.2 \cdot 10^{-09}$	$9.6 \cdot 10^{-12}$	$1.2 \cdot 10^{-09}$	$1.2 \cdot 10^{-09}$

Tabelle 3.9.7/2: Strahlenexposition des Kleinkindes bei der Radionuklidabreitung über Unterkreidetone

radio- nuklid	Strahlenexposition (Sv/a)								effektive Äquivalent- dosis		
	Magen	Milz	Haben- nieren	Nieren	Ovarien	Pankreas	Rotes Knochen- mark	Schild- drüse	Thymus	Uterus	
C1 36	4.2·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷
C1 41	5.1·10 ⁻¹⁴	2.3·10 ⁻¹³	9.3·10 ⁻¹²	7.1·10 ⁻¹²	1.3·10 ⁻¹²	1.2·10 ⁻¹²	5.6·10 ⁻¹²	7.4·10 ⁻¹²	1.7·10 ⁻¹²	3.1·10 ⁻¹⁶	1.0·10 ⁻¹⁰
C8 79	9.1·10 ⁻¹²	3.9·10 ⁻⁰⁷	6.5·10 ⁻⁰⁹	7.5·10 ⁻¹²	6.5·10 ⁻¹²	5.0·10 ⁻¹¹	8.5·10 ⁻¹²	8.5·10 ⁻¹²	8.5·10 ⁻¹²	3.1·10 ⁻¹²	2.0·10 ⁻⁰⁸
S ³⁵ 90	2.5·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	3.1·10 ⁻⁰⁸
Tc 129	2.1·10 ⁻⁰⁸	1.6·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁸	1.6·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁸	2.2·10 ⁻⁰⁶
U 236	9.3·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	7.0·10 ⁻⁰⁷	6.2·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻⁰⁷
Tb 232	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	5.3·10 ⁻⁰⁸	2.9·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁶	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	0.0·10 ⁻⁰⁷
Rb 228	6.4·10 ⁻⁰⁸	6.3·10 ⁻⁰⁸	6.8·10 ⁻⁰⁸	6.4·10 ⁻⁰⁸	6.3·10 ⁻⁰⁸	6.3·10 ⁻⁰⁸	6.3·10 ⁻⁰⁸	6.4·10 ⁻⁰⁸	6.3·10 ⁻⁰⁸	6.3·10 ⁻⁰⁸	1.6·10 ⁻⁰⁸
Th 228	2.3·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	4.3·10 ⁻¹⁰	1.7·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.5·10 ⁻¹⁰	1.0·10 ⁻⁰⁹	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.5·10 ⁻¹⁰	4.5·10 ⁻⁰⁹
Rb 224	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁹	4.2·10 ⁻⁰⁹	2.4·10 ⁻⁰⁸
Na 224	1.2·10 ⁻¹⁴	9.9·10 ⁻¹⁵	8.8·10 ⁻¹⁵	1.2·10 ⁻¹⁴	1.6·10 ⁻¹³	8.8·10 ⁻¹³	8.8·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹²	1.2·10 ⁻¹⁴	9.9·10 ⁻¹⁵	6.1·10 ⁻¹³
Hp 237	3.2·10 ⁻¹²	2.9·10 ⁻¹²	2.9·10 ⁻¹²	1.7·10 ⁻¹²	2.9·10 ⁻¹²	2.9·10 ⁻¹²	2.5·10 ⁻¹²	2.9·10 ⁻¹²	2.9·10 ⁻¹²	2.9·10 ⁻¹²	1.4·10 ⁻¹¹
U 233	1.3·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	9.9·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	4.9·10 ⁻¹³
Tn 229	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.5·10 ⁻⁰⁶	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	6.5·10 ⁻⁰⁷
U 230	6.9·10 ⁻⁰⁸	4.9·10 ⁻⁰⁸	4.9·10 ⁻⁰⁸	3.7·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	4.7·10 ⁻⁰⁸	6.5·10 ⁻⁰⁸	5.1·10 ⁻⁰⁸	4.9·10 ⁻⁰⁸	4.7·10 ⁻⁰⁸	1.2·10 ⁻¹⁰
Tn 234	2.9·10 ⁻¹¹	8.1·10 ⁻¹⁶	5.2·10 ⁻¹⁶	8.5·10 ⁻¹⁴	6.9·10 ⁻¹³	9.6·10 ⁻¹⁴	5.7·10 ⁻¹³	2.3·10 ⁻¹⁴	2.3·10 ⁻¹⁴	2.3·10 ⁻¹⁴	1.3·10 ⁻⁰⁶
U 234	1.9·10 ⁻⁰⁷	1.8·10 ⁻⁰⁷	4.3·10 ⁻⁰⁶	1.9·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁷	2.0·10 ⁻⁰⁶	1.7·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁷
Th 230	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	2.3·10 ⁻⁰⁷
Rb 226	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁶
U 210	1.6·10 ⁻⁰⁵	4.3·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻⁰⁵	2.6·10 ⁻⁰⁵	1.6·10 ⁻⁰⁵	1.6·10 ⁻⁰⁵	1.6·10 ⁻⁰⁵	1.6·10 ⁻⁰⁵	1.6·10 ⁻⁰⁵	1.6·10 ⁻⁰⁵	1.6·10 ⁻⁰⁶
Pb 210	7.5·10 ⁻¹⁰	2.1·10 ⁻¹⁰	3.7·10 ⁻¹¹	3.7·10 ⁻¹¹	3.7·10 ⁻¹¹	3.7·10 ⁻¹¹	2.9·10 ⁻⁰⁹				
Po 210	2.0·10 ⁻⁰⁸	9.7·10 ⁻⁰⁷	1.9·10 ⁻⁰⁸	3.8·10 ⁻⁰⁷	1.9·10 ⁻⁰⁸	1.9·10 ⁻⁰⁸	1.9·10 ⁻⁰⁸	1.9·10 ⁻⁰⁸	1.9·10 ⁻⁰⁸	1.9·10 ⁻⁰⁸	1.0·10 ⁻⁰⁷
U 235	6.2·10 ⁻⁰⁸	5.7·10 ⁻⁰⁸	5.7·10 ⁻⁰⁸	5.8·10 ⁻¹⁵	6.9·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	6.1·10 ⁻⁰⁷	6.2·10 ⁻⁰⁸	5.9·10 ⁻⁰⁸	5.5·10 ⁻⁰⁸	3.8·10 ⁻⁰⁷
Th 231	5.5·10 ⁻¹³	3.6·10 ⁻¹⁵	2.1·10 ⁻¹⁵	3.8·10 ⁻⁰⁹	6.7·10 ⁻¹⁴	6.0·10 ⁻¹⁵	1.9·10 ⁻¹⁴	7.5·10 ⁻¹⁶	8.0·10 ⁻¹⁶	5.1·10 ⁻¹²	1.1·10 ⁻⁰⁶
Po 231	3.9·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻¹⁰	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻¹⁰	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.8·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.2·10 ⁻⁰⁸
Ac 227	1.7·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	1.6·10 ⁻¹⁰	3.8·10 ⁻⁰⁸
Th 227	5.9·10 ⁻¹²	6.9·10 ⁻¹³	7.1·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻¹²	7.1·10 ⁻⁰⁹	3.1·10 ⁻¹³	6.8·10 ⁻¹³	6.7·10 ⁻⁰⁹	6.7·10 ⁻⁰⁹	6.7·10 ⁻⁰⁹	4.1·10 ⁻¹¹
Na 223	1.2·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻¹⁰	1.2·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻¹⁰	1.2·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻⁰⁹	5.7·10 ⁻⁰⁹

Tabelle 3.9.7/2: Strahlenexposition des Kleinkindes bei der Redonuklidabreitung über Unterkelektone
(Fortsetzung)

Radio-nuklid	Blase	Brust	Oberer Dickearm	Unterer Dickearm	Dünndarm	Gehirn	Haut	Hoden	Knochen-ober-fläche	Leber	Strahlenexposition (Sv/a)	
											Blase	Brust
Cl 36	8.0·10 ⁻⁰⁸	8.0·10 ⁻⁰⁸										
Ca 41	2.9·10 ⁻¹¹	3.3·10 ⁻¹⁰	1.9·10 ⁻¹⁰	5.1·10 ⁻¹⁰	5.6·10 ⁻¹⁰	3.6·10 ⁻¹¹	4.4·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻¹¹	2.2·10 ⁻⁰⁸	3.1·10 ⁻¹¹	3.1·10 ⁻¹¹	3.1·10 ⁻¹¹
Se 79	5.1·10 ⁻⁰⁹	6.2·10 ⁻⁰⁹	5.1·10 ⁻¹⁰	8.5·10 ⁻⁰⁹	5.3·10 ⁻⁰⁹	5.1·10 ⁻⁰⁹	5.1·10 ⁻⁰⁹					
Tc 99	5.9·10 ⁻¹¹	3.9·10 ⁻¹⁰	1.1·10 ⁻⁰⁹	1.2·10 ⁻¹⁰	5.9·10 ⁻¹¹	5.9·10 ⁻¹¹						
I 129	2.7·10 ⁻⁰⁸	7.1·10 ⁻⁰⁸	2.8·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	5.1·10 ⁻⁰⁵	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸					
U 236	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.5·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁷	6.5·10 ⁻⁰⁷	6.8·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.8·10 ⁻⁰⁸	3.5·10 ⁻⁰⁸	3.5·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸
Th 232	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	2.0·10 ⁻⁰⁷	3.1·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷
Ra 228	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	7.0·10 ⁻¹⁰	8.0·10 ⁻¹⁰	6.4·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.4·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷
Th 228	7.4·10 ⁻¹¹	7.2·10 ⁻¹⁰	7.1·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁹	1.6·10 ⁻¹⁰	7.2·10 ⁻¹⁰	7.3·10 ⁻¹¹	7.2·10 ⁻¹¹	5.1·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻¹⁰	7.2·10 ⁻⁰⁸	7.2·10 ⁻⁰⁸
Ra 224	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻¹⁵	1.7·10 ⁻⁰⁷	4.2·10 ⁻⁰⁷	6.5·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁸					
NP 237	6.0·10 ⁻¹³	7.7·10 ⁻¹³	2.8·10 ⁻¹³	7.5·10 ⁻¹⁴	9.9·10 ⁻¹⁵	6.7·10 ⁻¹⁵	9.4·10 ⁻¹⁵	3.1·10 ⁻¹³	3.4·10 ⁻¹³	1.2·10 ⁻¹²	6.7·10 ⁻¹³	6.7·10 ⁻¹³
U 233	4.7·10 ⁻¹⁵	4.8·10 ⁻¹⁵	7.3·10 ⁻¹⁵	1.4·10 ⁻¹⁴	5.3·10 ⁻¹⁵	4.7·10 ⁻¹⁵	4.8·10 ⁻¹⁵	4.8·10 ⁻¹⁵	4.8·10 ⁻¹⁵	5.2·10 ⁻¹³	4.7·10 ⁻¹⁵	4.7·10 ⁻¹⁵
Th 229	5.8·10 ⁻⁰⁸	5.8·10 ⁻¹⁵	8.4·10 ⁻¹⁵	1.5·10 ⁻¹⁴	6.4·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹⁵	5.9·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹⁵	6.4·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹⁵
U 238	7.9·10 ⁻⁰⁸	6.6·10 ⁻⁰⁸	6.0·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁶	1.7·10 ⁻⁰⁷	8.0·10 ⁻⁰⁸	9.9·10 ⁻⁰⁸	8.5·10 ⁻⁰⁸	8.5·10 ⁻⁰⁸	2.6·10 ⁻⁰⁵	7.9·10 ⁻⁰⁸	8.2·10 ⁻⁰⁸
Th 234	1.9·10 ⁻¹³	7.8·10 ⁻¹⁴	3.0·10 ⁻¹⁰	8.6·10 ⁻¹⁰	5.2·10 ⁻¹¹	1.0·10 ⁻¹⁴	3.4·10 ⁻¹⁴	5.6·10 ⁻¹⁴	5.6·10 ⁻¹⁴	4.7·10 ⁻¹³	8.9·10 ⁻¹⁴	2.0·10 ⁻¹⁴
Th 234	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	8.1·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁶	4.8·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.2·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	5.3·10 ⁻⁰⁵	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷
Th 230	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	5.1·10 ⁻⁰⁸	6.8·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	3.6·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸
Ra 226	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	7.5·10 ⁻⁰⁶	9.8·10 ⁻⁰⁶	6.9·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	5.1·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶
Pb 210	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	9.7·10 ⁻⁰⁸	8.7·10 ⁻⁰⁷	8.7·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁵	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸
Bi 210	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	2.0·10 ⁻⁰⁹	5.2·10 ⁻⁰⁹	3.8·10 ⁻¹⁰	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	1.2·10 ⁻¹¹	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²
Po 210	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁹	7.2·10 ⁻⁰⁷	4.7·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	2.4·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹
U 235	1.2·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	3.5·10 ⁻⁰⁷	8.0·10 ⁻¹²	1.6·10 ⁻¹³	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁷	2.3·10 ⁻⁰⁵	2.3·10 ⁻⁰⁵	1.9·10 ⁻⁰⁶	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷
Th 231	5.8·10 ⁻¹⁵	3.1·10 ⁻¹⁵	3.5·10 ⁻¹²	6.3·10 ⁻¹²	8.3·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹⁶	1.1·10 ⁻¹⁵	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.4·10 ⁻¹⁴	7.2·10 ⁻¹⁶	7.2·10 ⁻¹⁶
Pa 231	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁸	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻⁰⁸	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹
Ac 227	7.0·10 ⁻¹⁰	7.0·10 ⁻¹³	2.1·10 ⁻¹¹	5.2·10 ⁻¹⁰	9.6·10 ⁻¹⁰	7.1·10 ⁻¹⁰	7.2·10 ⁻¹⁰	7.0·10 ⁻¹⁰	7.0·10 ⁻¹⁰	1.5·10 ⁻⁰⁶	7.2·10 ⁻¹⁰	7.2·10 ⁻¹⁰
Th 227	5.9·10 ⁻¹³	6.8·10 ⁻¹¹	2.5·10 ⁻¹⁰	1.1·10 ⁻¹¹	4.6·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	3.1·10 ⁻¹²	4.6·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³
Re 223	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	5.3·10 ⁻⁰⁸	1.2·10 ⁻⁰⁷	2.4·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸					

Tabelle 3.9.7/3: Strahlenexposition bei der Radionuklidabreitung über das Oxford

Radio- nuklid	Strahlenexposition (Sv/a)								effektive Äquivalent- dosis		
	Magen	Milz	Nieren	Nieren	Ovarien	Pankreas	Rotes Knochen- mark	Schild- drüse	Thymus	Uterus	
Cl 36	1.1·10 ⁻⁰⁷	8.0·10 ⁻⁰⁸	8.0·10 ⁻⁰⁸	8.0·10 ⁻⁰⁸	8.0·10 ⁻⁰⁸	8.0·10 ⁻⁰⁸					
Co 41	4.6·10 ⁻¹¹	3.5·10 ⁻¹¹	3.3·10 ⁻¹¹	3.2·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻⁰⁹	3.3·10 ⁻¹¹	1.0·10 ⁻¹¹	1.0·10 ⁻⁰⁸	3.2·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻⁰⁹
Sc 70	5.5·10 ⁻⁰⁹	2.6·10 ⁻⁰⁸	5.1·10 ⁻⁰⁹	6.0·10 ⁻⁰⁸	5.1·10 ⁻⁰⁹	2.2·10 ⁻⁰⁸	5.1·10 ⁻⁰⁹	5.1·10 ⁻⁰⁹	5.1·10 ⁻⁰⁹	5.1·10 ⁻⁰⁹	5.1·10 ⁻⁰⁸
Tc 99	3.3·10 ⁻⁰⁹	5.9·10 ⁻¹¹	1.6·10 ⁻⁰⁹	5.9·10 ⁻¹¹	5.9·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻¹⁰					
U 129	4.6·10 ⁻⁰⁸	2.9·10 ⁻⁰⁸	2.6·10 ⁻⁰⁸	2.9·10 ⁻⁰⁸	2.7·10 ⁻⁰⁸	2.8·10 ⁻⁰⁸	4.3·10 ⁻⁰⁸	4.3·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	6.9·10 ⁻⁰⁸	2.6·10 ⁻⁰⁸
U 236	4.9·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁷	6.1·10 ⁻⁰⁸	3.3·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁷	9.5·10 ⁻⁰⁷	9.5·10 ⁻⁰⁷	3.4·10 ⁻⁰⁷	3.3·10 ⁻⁰⁸	1.0·10 ⁻⁰⁸
Th 232	1.4·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	7.4·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	4.3·10 ⁻⁰⁷
Ra 228	6.4·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.4·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷	6.3·10 ⁻⁰⁷
Th 228	1.1·10 ⁻¹⁰	7.2·10 ⁻¹¹	8.0·10 ⁻¹¹	7.1·10 ⁻¹¹	7.6·10 ⁻¹¹	7.1·10 ⁻¹¹	7.1·10 ⁻¹¹	7.3·10 ⁻¹¹	7.2·10 ⁻¹⁰	7.3·10 ⁻¹¹	1.7·10 ⁻⁰⁶
Ag 224	5.1·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.4·10 ⁻¹⁵	4.2·10 ⁻¹⁵	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁷	4.2·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁵
Wp 237	8.0·10 ⁻¹⁵	6.4·10 ⁻¹⁵	6.6·10 ⁻¹⁵	3.2·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹³	3.2·10 ⁻¹³	2.8·10 ⁻¹²	7.6·10 ⁻¹⁵	6.4·10 ⁻¹⁵	5.7·10 ⁻¹⁵	2.1·10 ⁻⁰⁷
U 233	5.3·10 ⁻¹³	4.7·10 ⁻¹³	3.1·10 ⁻¹²	4.7·10 ⁻¹³	4.7·10 ⁻¹³	4.7·10 ⁻¹³	4.1·10 ⁻¹²	6.4·10 ⁻¹³	6.4·10 ⁻¹³	5.7·10 ⁻¹³	1.5·10 ⁻¹²
U 233	5.3·10 ⁻¹⁵	4.7·10 ⁻¹⁵	3.1·10 ⁻¹⁵	4.7·10 ⁻¹⁵	4.7·10 ⁻¹⁵	4.7·10 ⁻¹⁵	4.7·10 ⁻¹⁵	6.7·10 ⁻¹³	6.7·10 ⁻¹³	6.7·10 ⁻¹³	2.5·10 ⁻¹²
Th 229	6.6·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹⁵	5.7·10 ⁻¹⁵	6.1·10 ⁻¹⁵	5.7·10 ⁻¹⁵	5.7·10 ⁻¹⁵	5.5·10 ⁻¹⁴	5.5·10 ⁻¹⁵	5.8·10 ⁻¹⁵	5.7·10 ⁻¹⁵	3.1·10 ⁻¹⁴
U 238	1.2·10 ⁻⁰⁷	7.9·10 ⁻⁰⁸	9.7·10 ⁻⁰⁸	7.8·10 ⁻⁰⁸	7.8·10 ⁻⁰⁸	7.7·10 ⁻⁰⁸	7.7·10 ⁻⁰⁸	7.7·10 ⁻⁰⁸	8.0·10 ⁻⁰⁸	7.7·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁶
Th 234	2.0·10 ⁻¹¹	6.3·10 ⁻¹⁴	3.7·10 ⁻¹⁴	6.7·10 ⁻¹⁴	6.3·10 ⁻¹³	7.5·10 ⁻¹⁴	3.7·10 ⁻¹³	1.2·10 ⁻¹³	1.3·10 ⁻¹⁴	2.7·10 ⁻¹³	7.4·10 ⁻¹⁷
U 234	4.4·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁵	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁶	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁷	3.2·10 ⁻⁰⁶
Th 230	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	3.2·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁸	4.5·10 ⁻⁰⁷
Ag 226	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	4.5·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	6.8·10 ⁻⁰⁶	2.7·10 ⁻⁰⁵
Pb 210	8.6·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁷	8.6·10 ⁻⁰⁸	2.0·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	1.1·10 ⁻⁰⁶	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	8.6·10 ⁻⁰⁸	1.1·10 ⁻⁰⁶
Bi 210	1.6·10 ⁻¹⁰	6.1·10 ⁻¹¹	7.9·10 ⁻¹²	2.1·10 ⁻⁰⁹	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	7.9·10 ⁻¹²	6.0·10 ⁻¹⁰
Po 210	4.6·10 ⁻⁰⁹	2.4·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	4.5·10 ⁻⁰⁹	2.8·10 ⁻⁰⁸
U 235	1.4·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻¹⁵	1.2·10 ⁻¹⁵	1.2·10 ⁻¹⁵	1.9·10 ⁻¹⁴	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁶
Th 231	3.5·10 ⁻¹³	2.3·10 ⁻¹⁵	2.3·10 ⁻¹⁵	1.2·10 ⁻¹⁵	2.9·10 ⁻¹⁵	4.0·10 ⁻¹⁵	3.6·10 ⁻¹⁵	1.9·10 ⁻¹⁵	6.8·10 ⁻¹⁵	5.2·10 ⁻¹⁵	6.7·10 ⁻¹³
Po 231	4.4·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	9.1·10 ⁻⁰⁹	9.1·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	9.2·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁹	5.7·10 ⁻⁰⁸
Ac 227	0.5·10 ⁻¹⁰	7.1·10 ⁻¹⁰	7.3·10 ⁻¹⁰	8.6·10 ⁻¹⁰	7.3·10 ⁻¹³	7.3·10 ⁻¹³	5.6·10 ⁻¹⁰	7.1·10 ⁻¹⁰	7.1·10 ⁻¹⁰	7.1·10 ⁻¹⁰	3.9·10 ⁻⁰⁷
Th 227	4.5·10 ⁻¹²	5.1·10 ⁻¹³	4.8·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	5.1·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³	2.7·10 ⁻¹¹
Ag 223	2.1·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	1.8·10 ⁻⁰⁸	7.9·10 ⁻⁰⁸

Tabelle 3.9.7/3: Strahlenexposition des Erwachsenen bei der Radionuklideabreitung über das Oxford (Fortsetzung)

Radio-nuklid	Strahlenexposition (Sv/a)								Lunge
	Blaue	Brust	Oberer Dickearm	Unterer Dickearm	Dünndarm	Gehirn	Haar	Knochen-ober-fläche	
Cl 346	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷
Ca 41	5.6·10 ⁻¹⁶	1.0·10 ⁻¹¹	5.8·10 ⁻¹²	4.1·10 ⁻¹²	5.1·10 ⁻¹²	1.5·10 ⁻¹¹	2.3·10 ⁻¹³	6.9·10 ⁻⁰⁸	2.8·10 ⁻¹²
Se 79	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁸	2.0·10 ⁻⁰⁸	2.7·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.0·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁸
Tc 99	5.6·10 ⁻¹¹	5.4·10 ⁻¹¹	3.9·10 ⁻¹⁰	1.1·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻¹⁰	5.4·10 ⁻¹¹	5.4·10 ⁻¹¹	5.4·10 ⁻¹¹	1.7·10 ⁻⁰⁸
— 129	7.5·10 ⁻⁰⁸	1.6·10 ⁻⁰⁷	7.7·10 ⁻⁰⁸	7.7·10 ⁻⁰⁸	6.5·10 ⁻⁰⁸	8.1·10 ⁻⁰⁸	1.0·10 ⁻⁰⁷	2.1·10 ⁻⁰⁷	5.4·10 ⁻¹¹
U 236	4.7·10 ⁻⁰⁷	4.9·10 ⁻⁰⁸	3.8·10 ⁻⁰⁷	1.1·10 ⁻⁰⁶	1.1·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻¹⁰	5.4·10 ⁻⁰⁸	4.9·10 ⁻⁰⁸	9.9·10 ⁻⁰⁸
Th 232	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁶	2.2·10 ⁻⁰⁷	3.3·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁶	1.4·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁷	4.7·10 ⁻⁰⁸	4.7·10 ⁻⁰⁷
Rs 228	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.3·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.9·10 ⁻⁰⁸	1.2·10 ⁻⁰⁶	6.1·10 ⁻⁰⁶	1.6·10 ⁻⁰⁶
Th 228	8.0·10 ⁻¹¹	8.1·10 ⁻¹¹	8.9·10 ⁻¹⁰	3.4·10 ⁻⁰⁹	8.8·10 ⁻¹⁰	1.5·10 ⁻¹¹	8.6·10 ⁻¹¹	1.2·10 ⁻¹⁰	1.2·10 ⁻⁰⁶
Rs 224	5.6·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁸	3.9·10 ⁻⁰⁷	9.0·10 ⁻⁰⁸	8.4·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻¹⁰	7.9·10 ⁻⁰⁸	6.6·10 ⁻⁰⁸	1.2·10 ⁻⁰⁶
Rs 237	8.6·10 ⁻¹⁵	1.1·10 ⁻¹⁴	3.1·10 ⁻¹⁴	7.5·10 ⁻¹⁴	1.2·10 ⁻¹⁴	8.9·10 ⁻¹⁵	1.4·10 ⁻¹⁴	3.4·10 ⁻¹³	7.9·10 ⁻⁰⁸
U 233	4.5·10 ⁻¹³	4.6·10 ⁻¹³	7.0·10 ⁻¹³	1.2·10 ⁻¹²	5.2·10 ⁻¹³	3.9·10 ⁻¹⁶	4.6·10 ⁻¹³	3.7·10 ⁻¹¹	9.5·10 ⁻¹³
Th 229	6.0·10 ⁻¹⁵	6.0·10 ⁻¹⁵	7.8·10 ⁻¹⁵	1.1·10 ⁻¹⁴	6.7·10 ⁻¹⁵	4.3·10 ⁻¹⁶	6.2·10 ⁻¹⁵	4.9·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³
U 238	1.1·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁷	2.4·10 ⁻⁰⁷	2.3·10 ⁻⁰⁷	3.6·10 ⁻⁰⁸	6.1·10 ⁻¹⁵	6.2·10 ⁻¹⁵	4.8·10 ⁻¹³	6.0·10 ⁻¹⁵
Th 234	1.6·10 ⁻⁰⁷	5.7·10 ⁻¹⁴	3.8·10 ⁻¹⁰	1.1·10 ⁻⁰⁹	6.1·10 ⁻¹¹	1.3·10 ⁻¹⁶	1.4·10 ⁻¹⁴	1.7·10 ⁻⁰⁷	1.1·10 ⁻⁰⁷
U 234	3.9·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	1.0·10 ⁻⁰⁶	2.3·10 ⁻⁰⁶	4.9·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁹	4.1·10 ⁻⁰⁷	4.9·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³
Th 230	4.3·10 ⁻⁰⁶	4.3·10 ⁻⁰⁶	4.6·10 ⁻⁰⁶	4.6·10 ⁻⁰⁶	4.3·10 ⁻⁰⁶	1.4·10 ⁻¹⁰	4.3·10 ⁻⁰⁸	4.0·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷
Rs 226	7.5·10 ⁻⁰⁶	7.5·10 ⁻⁰⁶	7.5·10 ⁻⁰⁶	7.5·10 ⁻⁰⁶	7.5·10 ⁻⁰⁶	1.9·10 ⁻⁰⁸	7.5·10 ⁻⁰⁶	3.2·10 ⁻⁰⁶	4.3·10 ⁻⁰⁶
Pb 210	4.8·10 ⁻⁰⁸	4.8·10 ⁻⁰⁸	5.3·10 ⁻⁰⁸	6.5·10 ⁻⁰⁸	6.6·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁸	5.4·10 ⁻⁰⁴	7.5·10 ⁻⁰⁶
Bi 210	1.1·10 ⁻¹¹	1.1·10 ⁻¹¹	3.0·10 ⁻⁰⁹	8.5·10 ⁻⁰⁹	5.5·10 ⁻¹⁰	1.0·10 ⁻¹²	4.8·10 ⁻⁰⁸	6.2·10 ⁻⁰⁶	2.0·10 ⁻⁰⁶
Po 210	1.9·10 ⁻⁰⁹	1.9·10 ⁻⁰⁹	2.3·10 ⁻⁰⁹	3.1·10 ⁻⁰⁸	2.0·10 ⁻⁰⁹	9.9·10 ⁻¹⁸	1.9·10 ⁻⁰⁹	1.9·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻¹¹
U 235	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻¹⁵	2.3·10 ⁻⁰⁷	9.5·10 ⁻¹²	1.5·10 ⁻⁰⁷	5.6·10 ⁻⁰⁸	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁵	1.9·10 ⁻⁰⁷
Th 231	9.9·10 ⁻¹⁵	2.7·10 ⁻¹⁵	4.8·10 ⁻¹²	8.7·10 ⁻¹²	1.1·10 ⁻¹²	8.6·10 ⁻¹⁷	6.5·10 ⁻¹⁶	4.7·10 ⁻¹⁴	1.4·10 ⁻¹⁵
Po 231	3.8·10 ⁻⁰⁹	3.9·10 ⁻⁰⁹	4.1·10 ⁻⁰⁹	2.7·10 ⁻⁰⁸	3.9·10 ⁻⁰⁹	2.5·10 ⁻¹⁰	3.9·10 ⁻⁰⁸	5.5·10 ⁻⁰⁷	4.1·10 ⁻⁰⁸
Ac 227	8.2·10 ⁻¹⁰	8.4·10 ⁻¹⁰	1.0·10 ⁻⁰⁹	6.6·10 ⁻⁰⁹	8.5·10 ⁻¹⁰	7.7·10 ⁻¹³	8.5·10 ⁻¹⁰	2.7·10 ⁻⁰⁶	6.5·10 ⁻¹⁰
Th 227	6.7·10 ⁻¹³	5.8·10 ⁻¹³	8.2·10 ⁻¹¹	1.1·10 ⁻¹¹	4.1·10 ⁻¹³	6.6·10 ⁻¹³	6.7·10 ⁻¹³	3.1·10 ⁻¹²	5.6·10 ⁻¹³
Rs 223	3.3·10 ⁻⁰⁸	3.3·10 ⁻⁰⁸	3.3·10 ⁻⁰⁸	3.3·10 ⁻⁰⁸	2.4·10 ⁻⁰⁷	3.3·10 ⁻¹¹	3.3·10 ⁻⁰⁸	2.6·10 ⁻⁰⁶	3.3·10 ⁻⁰⁸

Tabelle 3.9-7/4: Strahlenexposition des Kleinkindes bei der Radionuklidausträumung über das Oxford

Radio-nuklid	Magen	Milz	Neben-nieren	Nieren	Ovarien	Pankreas	Rotes Knochen-mark	Schild-drüse	Thymus	Uterus	Strahlenexposition (Sv/a)	
											effektive Äquivalent-dosis	
Cl	36	2.1·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁷								
Ca	41	3.7·10 ⁻¹²	1.6·10 ⁻¹¹	6.7·10 ⁻¹²	5.1·10 ⁻¹²	9.1·10 ⁻¹³	6.3·10 ⁻¹²	4.1·10 ⁻⁰⁸	5.3·10 ⁻¹²	1.2·10 ⁻¹²	1.6·10 ⁻¹⁴	7.1·10 ⁻⁰⁹
Se	79	1.6·10 ⁻⁰⁸	7.5·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.7·10 ⁻⁰⁸	9.7·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.7·10 ⁻⁰⁸	1.2·10 ⁻⁰⁸	2.2·10 ⁻⁰⁸	3.9·10 ⁻⁰⁸
Tc	99	3.0·10 ⁻⁰⁷	5.4·10 ⁻¹¹	5.4·10 ⁻⁰⁷	5.4·10 ⁻¹¹	5.4·10 ⁻¹¹	5.4·10 ⁻¹¹	5.4·10 ⁻¹¹	2.3·10 ⁻⁰⁹	5.4·10 ⁻¹¹	1.7·10 ⁻¹⁰	3.9·10 ⁻¹⁰
-	129	1.0·10 ⁻⁰⁷	7.8·10 ⁻⁰⁸	7.3·10 ⁻⁰⁸	7.7·10 ⁻⁰⁸	7.9·10 ⁻⁰⁸	7.6·10 ⁻⁰⁸	2.6·10 ⁻⁰⁸	3.3·10 ⁻⁰⁸	7.8·10 ⁻⁰⁷	1.2·10 ⁻⁰⁷	1.1·10 ⁻⁰⁵
U	236	7.0·10 ⁻⁰⁸	4.7·10 ⁻⁰⁷	4.7·10 ⁻⁰⁸	5.3·10 ⁻⁰⁷	4.7·10 ⁻⁰⁷	4.7·10 ⁻⁰⁷	8.5·10 ⁻⁰⁷	4.7·10 ⁻⁰⁸	4.7·10 ⁻⁰⁸	4.7·10 ⁻⁰⁸	8.5·10 ⁻⁰⁷
Th	232	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁶	2.9·10 ⁻⁰⁷	1.6·10 ⁻⁰⁶	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁶	8.9·10 ⁻⁰⁶	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.5·10 ⁻⁰⁷	4.3·10 ⁻⁰⁷
Ra	228	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.3·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	6.4·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	1.2·10 ⁻⁰⁶	3.0·10 ⁻⁰⁶	
Th	228	1.2·10 ⁻¹⁰	8.5·10 ⁻¹¹	2.3·10 ⁻¹⁰	9.0·10 ⁻¹¹	8.9·10 ⁻¹¹	8.3·10 ⁻¹⁰	5.5·10 ⁻⁰⁹	8.6·10 ⁻¹⁰	8.5·10 ⁻¹⁰	8.5·10 ⁻¹¹	2.4·10 ⁻⁰⁹
Ra	226	7.9·10 ⁻⁰⁸	7.9·10 ⁻⁰⁸	7.9·10 ⁻⁰⁷	7.9·10 ⁻⁰⁸	8.4·10 ⁻⁰⁸	7.9·10 ⁻⁰⁸	8.4·10 ⁻⁰⁷	7.9·10 ⁻⁰⁸	7.9·10 ⁻⁰⁸	7.9·10 ⁻⁰⁸	4.4·10 ⁻⁰⁷
Mp	237	1.1·10 ⁻¹⁴	9.1·10 ⁻¹⁵	8.1·10 ⁻¹⁵	1.1·10 ⁻¹⁴	1.5·10 ⁻¹⁵	8.1·10 ⁻¹⁵	1.0·10 ⁻¹²	1.1·10 ⁻¹⁴	9.1·10 ⁻¹⁵	8.1·10 ⁻¹⁵	5.6·10 ⁻¹³
U	233	5.1·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³	2.7·10 ⁻¹²	4.6·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³	1.0·10 ⁻¹²	4.6·10 ⁻¹³	4.5·10 ⁻¹³	2.2·10 ⁻¹²
Th	229	6.7·10 ⁻¹⁵	6.0·10 ⁻¹⁵	5.9·10 ⁻¹⁵	6.2·10 ⁻¹⁵	5.9·10 ⁻¹⁵	5.9·10 ⁻¹⁵	5.4·10 ⁻¹⁴	6.0·10 ⁻¹⁵	5.4·10 ⁻¹⁵	6.0·10 ⁻¹⁵	2.6·10 ⁻¹⁴
U	230	1.6·10 ⁻⁰⁷	1.1·10 ⁻⁰⁷	8.4·10 ⁻⁰⁸	1.1·10 ⁻⁰⁷	1.1·10 ⁻⁰⁷	1.1·10 ⁻⁰⁷	6.0·10 ⁻⁰⁷	6.0·10 ⁻⁰⁷	5.9·10 ⁻⁰⁷	5.9·10 ⁻⁰⁷	2.6·10 ⁻⁰⁷
Th	234	2.3·10 ⁻¹¹	6.5·10 ⁻¹⁴	4.2·10 ⁻¹⁴	6.8·10 ⁻¹⁴	5.5·10 ⁻¹³	7.7·10 ⁻¹⁴	1.5·10 ⁻¹⁰	1.2·10 ⁻¹⁴	1.1·10 ⁻¹³	1.1·10 ⁻¹³	1.5·10 ⁻¹¹
U	234	4.4·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	4.0·10 ⁻⁰⁷	9.6·10 ⁻⁰⁸	4.2·10 ⁻⁰⁷	4.5·10 ⁻⁰⁶	1.8·10 ⁻⁰⁷	2.3·10 ⁻¹³	9.6·10 ⁻⁰⁷	
Th	230	4.3·10 ⁻⁰⁸	3.9·10 ⁻⁰⁸	3.9·10 ⁻⁰⁷	3.9·10 ⁻⁰⁷	3.9·10 ⁻⁰⁷	2.8·10 ⁻⁰⁸					
Ra	226	7.5·10 ⁻⁰⁶	6.6·10 ⁻⁰⁵	7.5·10 ⁻⁰⁶	7.5·10 ⁻⁰⁶	7.5·10 ⁻⁰⁶	3.1·10 ⁻⁰⁵					
Pb	210	4.8·10 ⁻⁰⁸	1.3·10 ⁻⁰⁷	4.8·10 ⁻⁰⁸	7.6·10 ⁻⁰⁷	4.8·10 ⁻⁰⁸	4.8·10 ⁻⁰⁸	5.6·10 ⁻⁰⁷	4.8·10 ⁻⁰⁸	4.8·10 ⁻⁰⁸	4.8·10 ⁻⁰⁸	4.6·10 ⁻⁰⁷
Bi	210	2.2·10 ⁻¹⁰	6.1·10 ⁻¹¹	4.1·10 ⁻¹⁰	1.8·10 ⁻⁰⁹	1.1·10 ⁻¹¹	8.5·10 ⁻¹⁰					
Po	210	1.9·10 ⁻⁰⁹	9.6·10 ⁻⁰⁸	1.9·10 ⁻⁰⁹	3.7·10 ⁻⁰⁸	1.9·10 ⁻⁰⁹	1.0·10 ⁻⁰⁸					
U	235	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁶	1.4·10 ⁻⁰⁶	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁶	1.5·10 ⁻⁰⁷	1.4·10 ⁻⁰⁷	1.3·10 ⁻⁰⁷	1.0·10 ⁻⁰⁷
Th	231	4.5·10 ⁻¹³	3.1·10 ⁻¹⁵	1.7·10 ⁻¹⁵	3.1·10 ⁻¹⁵	7.2·10 ⁻¹⁴	5.0·10 ⁻¹⁴	1.6·10 ⁻¹⁴	1.6·10 ⁻¹⁴	1.6·10 ⁻¹⁴	1.6·10 ⁻¹⁴	9.4·10 ⁻¹³
Po	231	4.0·10 ⁻⁰⁹	3.6·10 ⁻¹⁰	3.6·10 ⁻⁰⁹	3.9·10 ⁻¹⁰	7.3·10 ⁻⁰⁹	3.8·10 ⁻⁰⁹	6.1·10 ⁻⁰⁸	3.9·10 ⁻⁰⁹	3.8·10 ⁻⁰⁹	3.8·10 ⁻⁰⁹	3.3·10 ⁻⁰⁸
Ac	227	8.7·10 ⁻¹⁰	8.3·10 ⁻¹⁰	8.3·10 ⁻¹⁰	8.3·10 ⁻¹⁰	8.3·10 ⁻¹³	8.3·10 ⁻¹³	2.9·10 ⁻¹⁰	8.4·10 ⁻¹⁰	8.3·10 ⁻¹⁰	8.2·10 ⁻¹⁰	2.0·10 ⁻⁰⁷
Th	227	4.9·10 ⁻¹²	5.8·10 ⁻¹³	5.7·10 ⁻¹²	5.9·10 ⁻¹³	9.3·10 ⁻¹³	5.9·10 ⁻¹³	5.6·10 ⁻¹³	5.6·10 ⁻¹³	5.6·10 ⁻¹³	5.6·10 ⁻¹³	2.0·10 ⁻¹³
Ra	223	3.3·10 ⁻⁰⁸	3.4·10 ⁻⁰⁷									
												1.6·10 ⁻⁰⁷

Tabelle 3.9.7/4: Strahlenexposition des Kleinkindes bei der Radionuklideaufreitung über das Oxford (Fortsetzung)

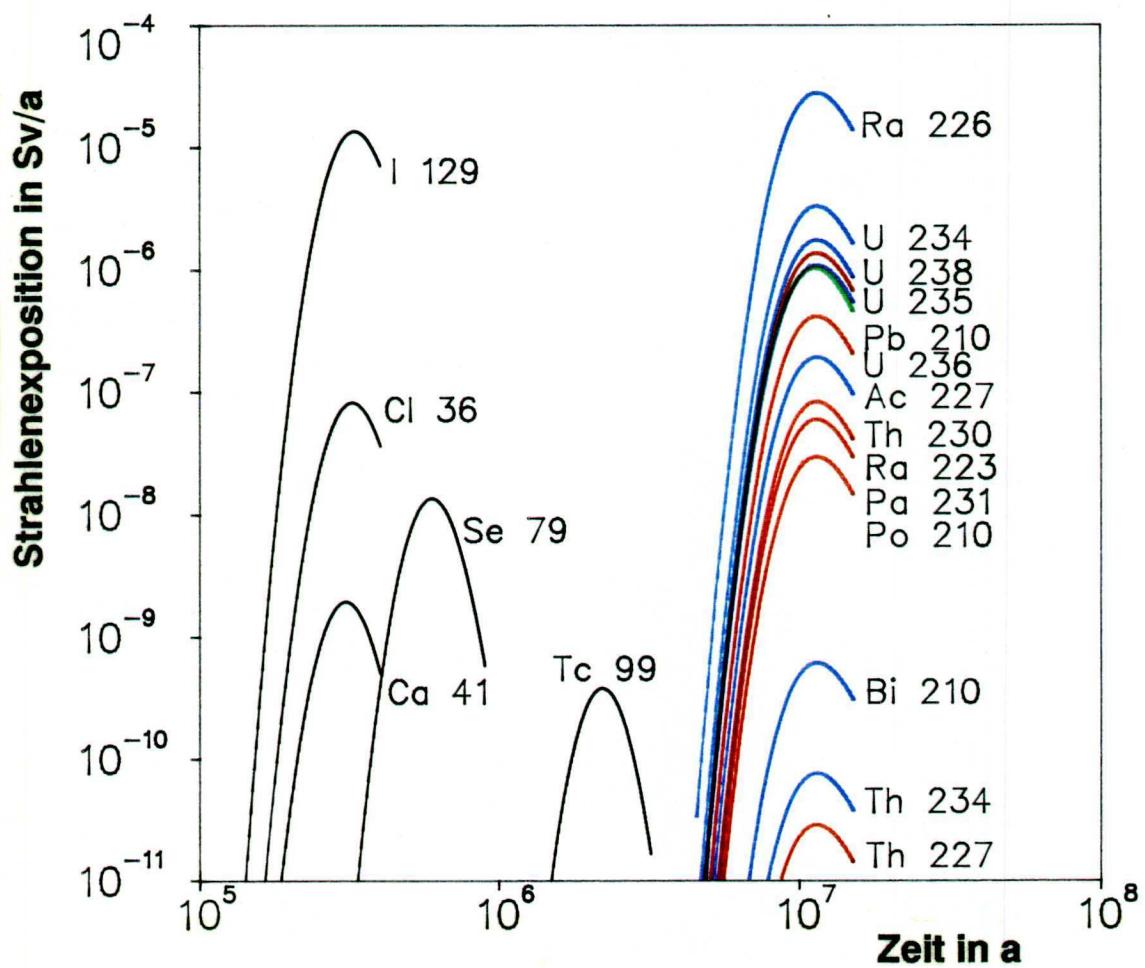
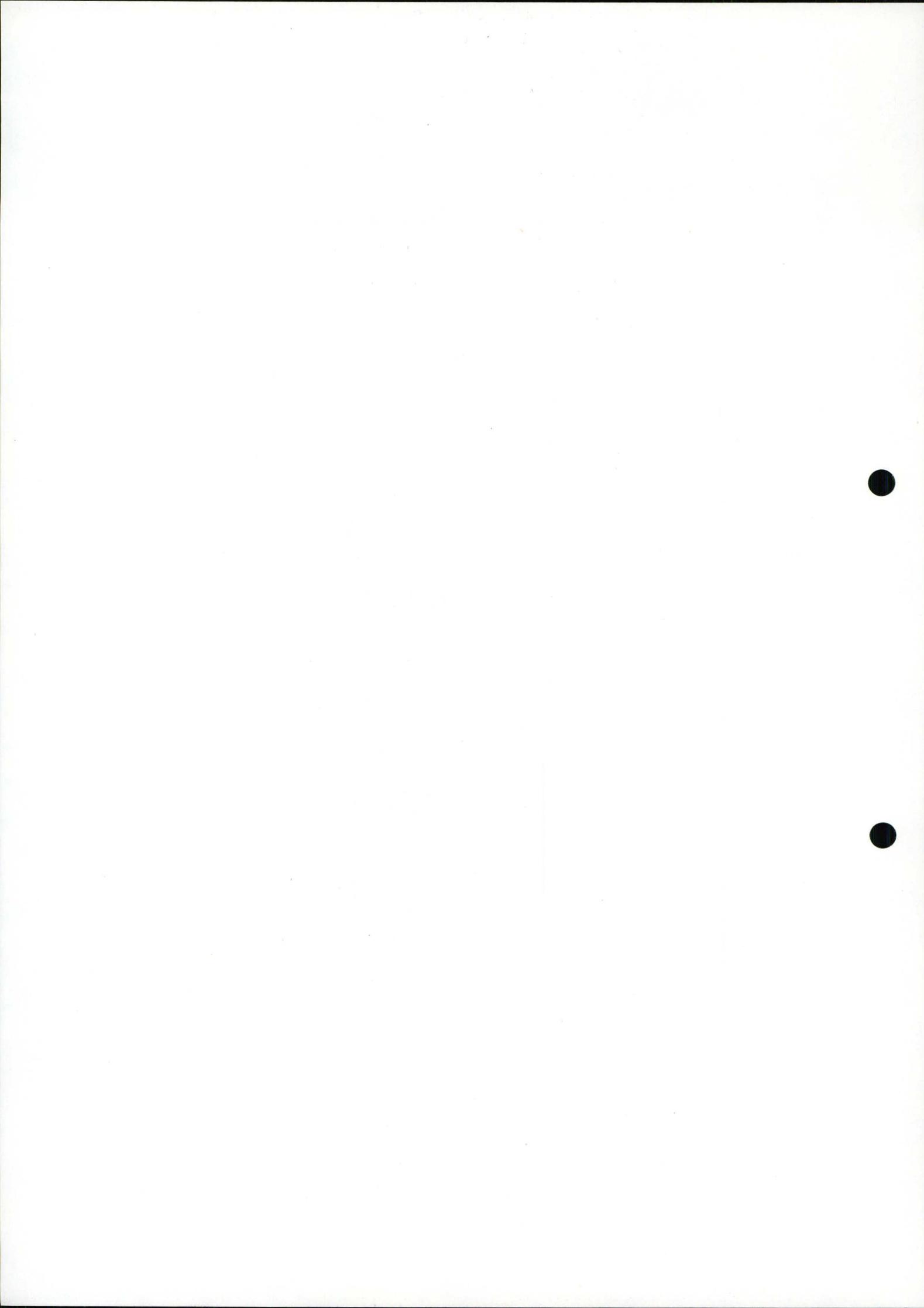


Abbildung 3.9.7/1: Zeitverläufe der effektiven Äquivalentdosen für den Erwachsenen bei der Radionuklidausbreitung über das Oxford
 Blau: Uran-Radium-Zerfallsreihe
 Rot: Actinium-Zerfallsreihe



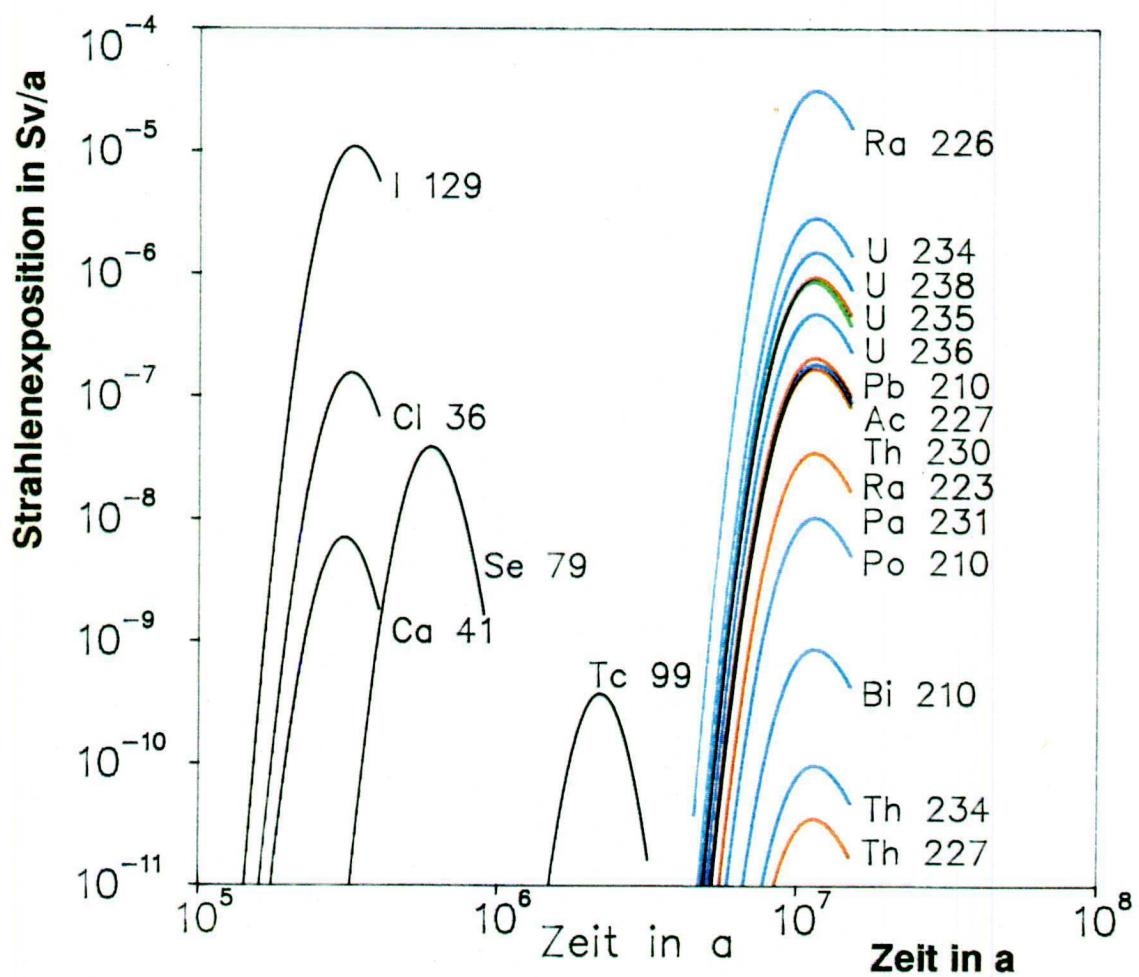
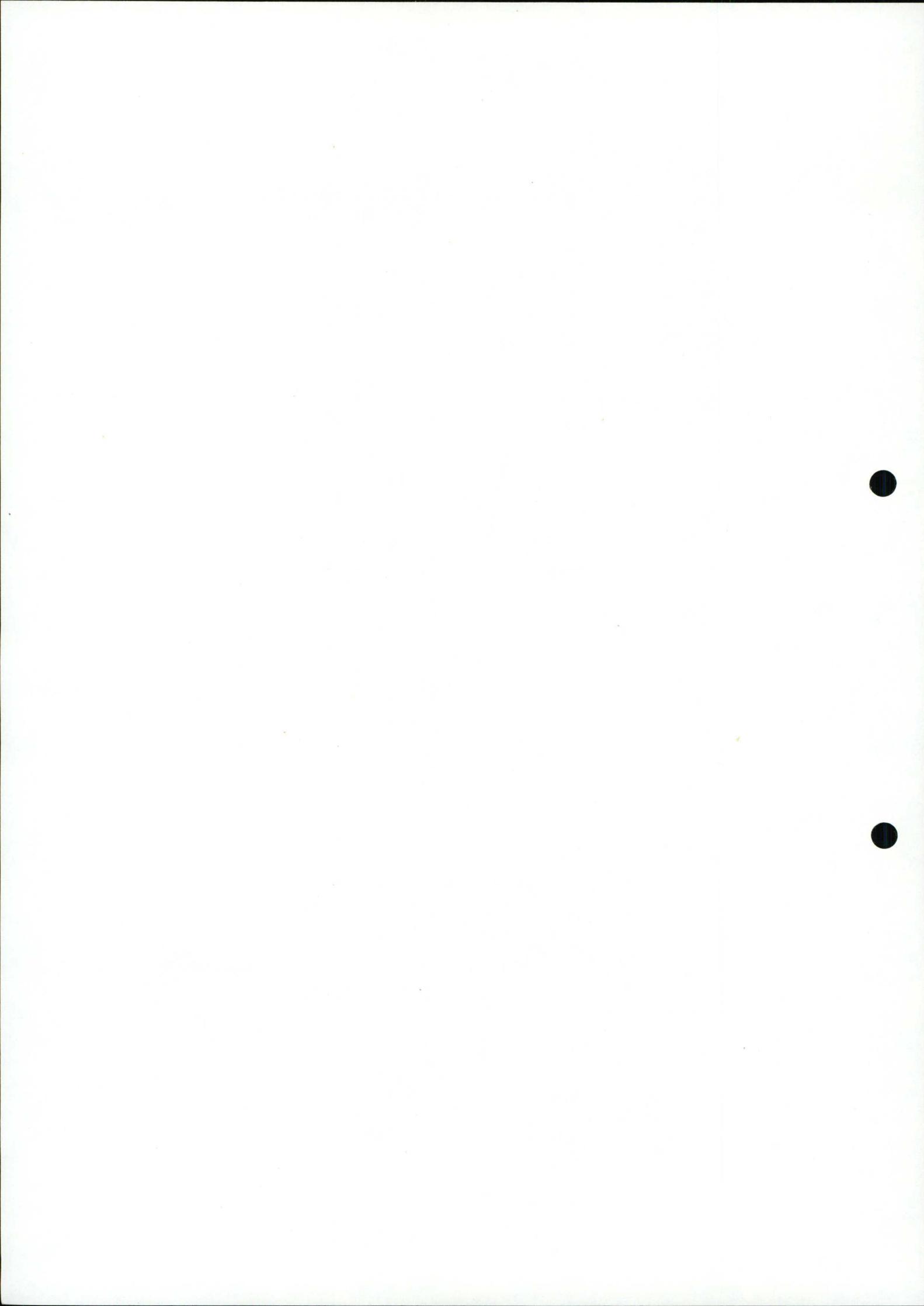


Abbildung 3.9.7/2: Zeitverläufe der effektiven Äquivalentdosen für das Kleinkind bei der Radionuklidausbreitung über das Oxford
 Blau: Uran-Radium-Zerfallsreihe
 Rot: Actinium-Zerfallsreihe



3.9.8 Literaturverzeichnis

/1/ HERRMANN, A.G.: Möglichkeiten und Grenzen einer Deponie von Schadstoffen im Untergrund. Vortrag auf der Geotagung 1985, Königstein im Taunus, 27.09. - 01.10.1985.

/2/ HERRMANN, A.G.; BRUMSACK, H.J.; HEINRICH, H.: Notwendigkeit, Möglichkeiten und Grenzen der Untergrund-Deponie anthropogener Schadstoffe. Naturwissenschaften 72 (1985), S. 408-418.

/3/ HERRMANN, A.G.: Notwendigkeit, Möglichkeiten und Grenzen der Untergrunddeponierung anthropogener Schadstoffe. In: IWS-Schriftenreihe 1, Symposium "Die Deponie, ein Bauwerk?", Hrsg.: Trägerverein des Instituts für wassergefährdende Stoffe e.V. an der Technischen Universität Berlin, 1987, S. 229-243.

/4/ HERRMANN, A.G.: Untergrund-Deponie anthropogener Schadstoffe. Fortschr. Miner. 65 (1987), S. 307-323.

/5/ SCHWARZBACH, M.: Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie. 3. Auflage, 380 S., 191 Abb., 41 Tab.; F. Enke Verlage, Stuttgart, 1974.

/6/ FLOHN, H.: Belastung der Atmosphäre - Treibhauseffekt - Klimawandel?
Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften Vorträge, N 348 (1986).
ders.: Treibhauseffekt und Klima-Stand und Perspektiven. Energiewirtschaftl. Tagesfragen, 36 Jg. (1986), Heft 12.

/7/ FORTAK, H.: Prinzipielle Grenzen der Vorhersagbarkeit atmosphärischer Prozesse. Die Erde: Dynamische Entwicklung, menschliche Eingriffe, globale Risiken. K. Germann, G. Warnecke, M. Huch (Hrsg.), Springer Verlag, 1988.

/8/ EHRLICH, D; RÖTHEMEYER, H.; STIER-FRIEDLAND, G.; THOMAUSKE, B.: Langzeitsicherheit von Endlagern. Zeitrahmen für Sicherheitsbetrachtungen. Bewertung der Subrosion des Salzstockes Gorleben. Atom- wirtschaft, Atomtechnik 31, Nr. 5 (1986), S. 231 - 236.

/9/ Zeitrahmen für die Beurteilung der Langzeitsicherheit eines Endlagers für radioaktive Abfälle. Geinsame Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und der Strahlenschutzkommission (SSK). (233. Sitzung der RSK am 22. Juni 1988, 84. Sitzung der SSK am 30. Juni 1988).

/10/Der Bundesminister des Innern:
Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk.
BAnz. 35, Nr. 2 (1983), S. 45 ff.

/11/FISCHER, U.; WIESE, H.W.: Verbesserte konsistente Berechnung des nuklearen Inventars abgebrannter DWR-Brennstoffe auf der Basis von Zell-Abbrand-Verfahren mit KORIGEN. KfK 3014. Karlsruhe: KfK, Januar 1983.

/12/Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990, BAnz. 42, Nr. 64 a (1990), S. 1-23.

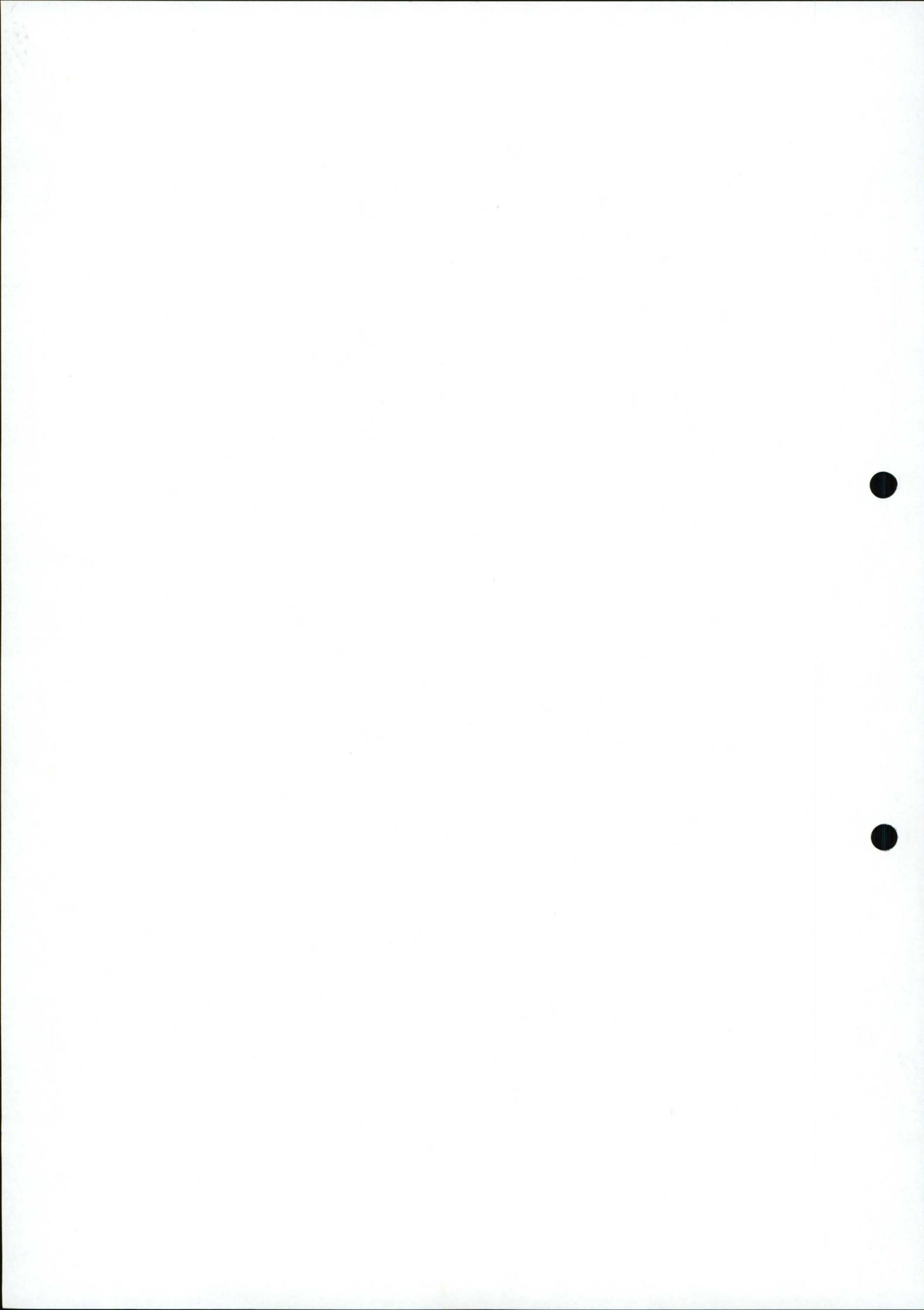
/13/Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:

Bekanntmachung der Zusammenstellung der Dosisfaktoren Teil I - Teil III vom 05. September 1989, BAnz. 41, Nr. 185 a (1989), S. 29-677.

/14/International Commission on Radiological Protection:

Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30, Part 1. Annals of the ICRP, Vol. 2, No. 3/4, 1979; ICRP Publication 30, Supplement to Part 1. Annals of the ICRP, Vol. 3, No. 1 - 4, 1979, ICRP Publication 30, Part 2, Annals of the ICRP, Vol. 4, No. 4/4, 1980, ICRP Publication 30, Supplement to Part 2. Annals of the ICRP, Vol. 5., No. 1 - 6, 1981.

/15/Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I S. 2905) in der Neufassung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321) unter Berücksichtigung der Berichtigungen vom 16. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1262), zuletzt geändert durch Verordnung vom 3. April 1990 (BGBl. I S. 607).



Textband

3.10 Sonstige Emissionen der Anlage

3.10 Sonstige Emissionen der Anlage

3.10 SONSTIGE EMISSIONEN DER ANLAGE

Das Endlager Konrad ist mit Anlagen ausgestattet, deren Errichtung und Betrieb nach der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4.BImSchV) einer Genehmigung bedürfen.

Es sind dies

- die Heizzentrale Konrad 1 und
- die Heizzentrale Konrad 2.

Der Betrieb der übrigen Anlagenteile des Endlagers Konrad, z. B. der Verladeanlage Konrad 1 und des Hauptgrubenlüfters Konrad 2, führt zu keinen unzulässigen Emissionen im Sinne der Technischen Anleitung zur Reinhal tung der Luft (TA Luft) und Immissionen nach der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm).

Heizzentrale Konrad 1

Die Heizzentrale Konrad 1 (Kap. 3.2.4.1.2) versorgt die Schachtanlage Konrad 1 mit Warmwasser und Wärme. Hierfür sind zwei Kohlekesselleinheiten mit einer Leistung von je 550 kW installiert. Zusätzlich wird ein Ölkessel mit einer Leistung von 50 kW betrieben, der mit Heizöl EL befeuert wird. Alle Kessel erfüllen die Forderungen der TA Luft.

Für die Abführung der Verbrennungsabgase wird für jede Kesselleinheit ein separates Rauchrohr in einer Schorn-

steinanlage errichtet. Im einzelnen werden

- über zwei Rauchrohre für Kohlekessel je ca. 709 m³/h und
- über ein Rauchrohr für Ölkessel ca. 70 m³/h

abgeführt.

Die Höhe der Schornsteinanlage beträgt 29 m und entspricht den Vorschriften der TA Luft. Aus den Kohlekesseleinheiten werden bei Vollast durchschnittlich 2,94 kg/h SO₂ und 0,72 kg/h NO₂ emittiert.

Heizzentrale Konrad 2

Die Heizzentrale Konrad 2 befindet sich in den Betriebs-technikzentralen der Umladeanlage (Kap. 3.2.4.1.3) und versorgt die Schachtanlage Konrad 2 mit Warmwasser und Wärme. Sie besteht aus zwei Kesseleinheiten mit einer Leistung von je 1 030 kW für Kohlefeuerung und einer Kesseleinheit mit einer Leistung von 150 kW für Ölfeuerung, die mit Heizöl EL befeuert wird. Die Kesseleinheiten entsprechen den Forderungen der TA Luft.

Für die Abführung der Verbrennungsabgase wird für jede Kesseleinheit ein separates Rauchrohr in einer Schornsteinanlage errichtet. Im einzelnen werden

- über zwei Rauchrohre für Kohlekessel je ca. 1 400 m³/h und
- über ein Rauchrohr für Ölkessel ca. 310 m³/h

abgeführt.

Die Höhe der Schornsteinanlage beträgt 36 m und entspricht den Vorschriften der TA Luft. Aus den Kohlekesseleinheiten werden bei Vollast durchschnittlich 5,8 kg/h SO₂ und 1,4 kg/h NO₂ emittiert.

Verladeanlage Konrad 1

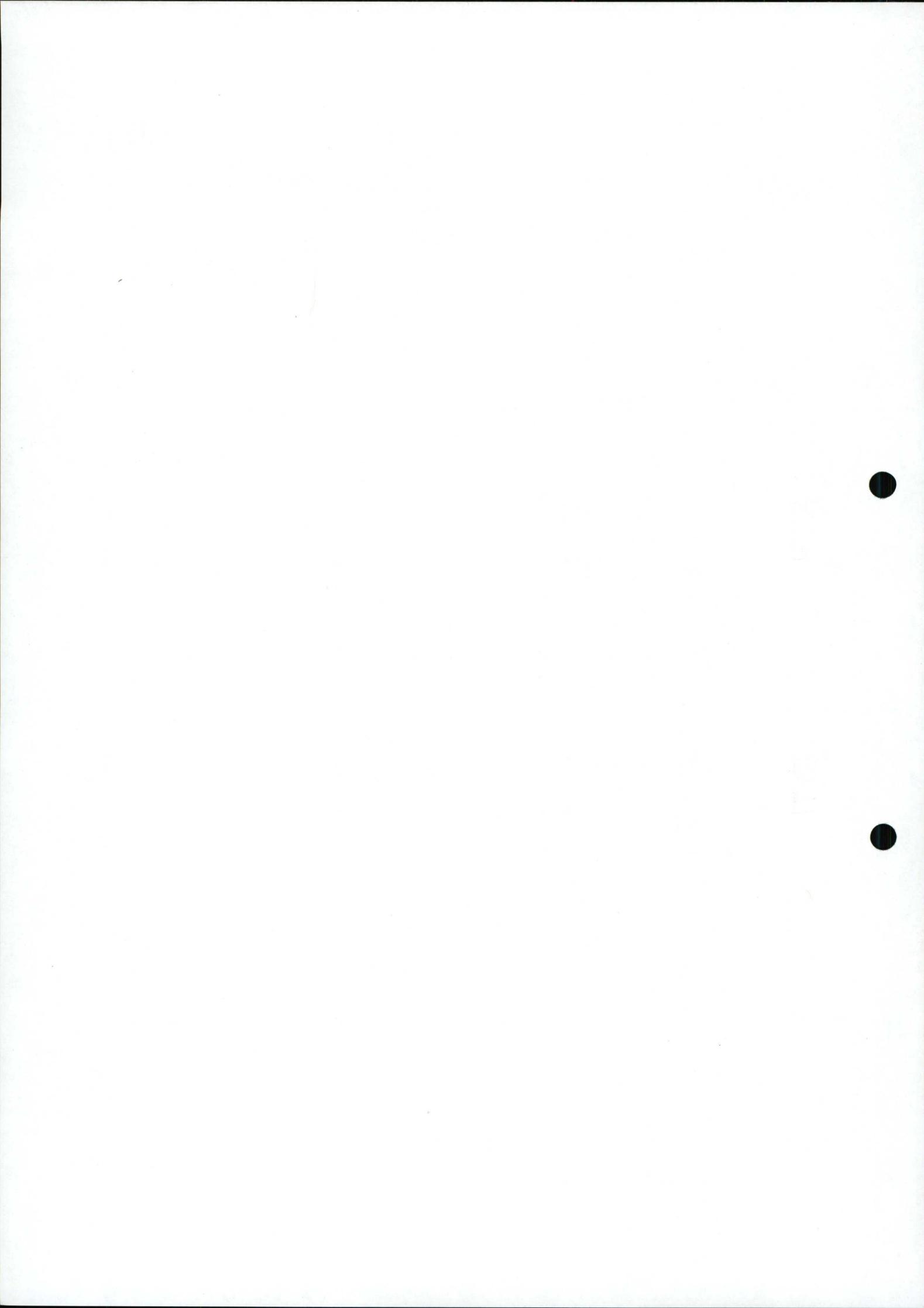
Das bei der Auffahrung von Grubenräumen anfallende Haufwerk wird im Schacht Konrad 1 nach über Tage gefördert und dort über eine Band- und Verladeanlage (Kap. 3.2.4.1.2) in Eisenbahnwaggons verladen. Über eine Übergabeschurre rutscht das Haufwerk in die Waggons. Die Anlage ist für einen maximalen Durchsatz von 200 t/h ausgelegt.

Der Betrieb dieser Anlage führt nicht zu einer Überschreitung der in der TA Lärm festgesetzten Immissionsrichtwerte in der Nachbarschaft der Schachtanlage Konrad 1. Die Anlage verursacht keine im Sinne der TA Luft relevanten Emissionen.

Hauptgrubenlüfter Konrad 2

Die Abwetter aus den untertägigen Anlagen des Endlagers Konrad werden mit einem regelbaren Hauptgrubenlüfter über den Schacht Konrad 2 und einen Diffusor von ca. 45 m Höhe und einem lichten Durchmesser, der sich von ca. 3,2 m auf ca. 6,2 m aufweitet, abgeleitet (Kap. 3.2.4.1.3 und 3.2.4.3).

Schalldämpfungseinrichtungen der Anlage stellen sicher, daß die Immissionsrichtwerte der TA Lärm in der Nachbarschaft der Anlage Konrad 2 unterschritten werden.



Textband

4 Abschluß des Betriebes

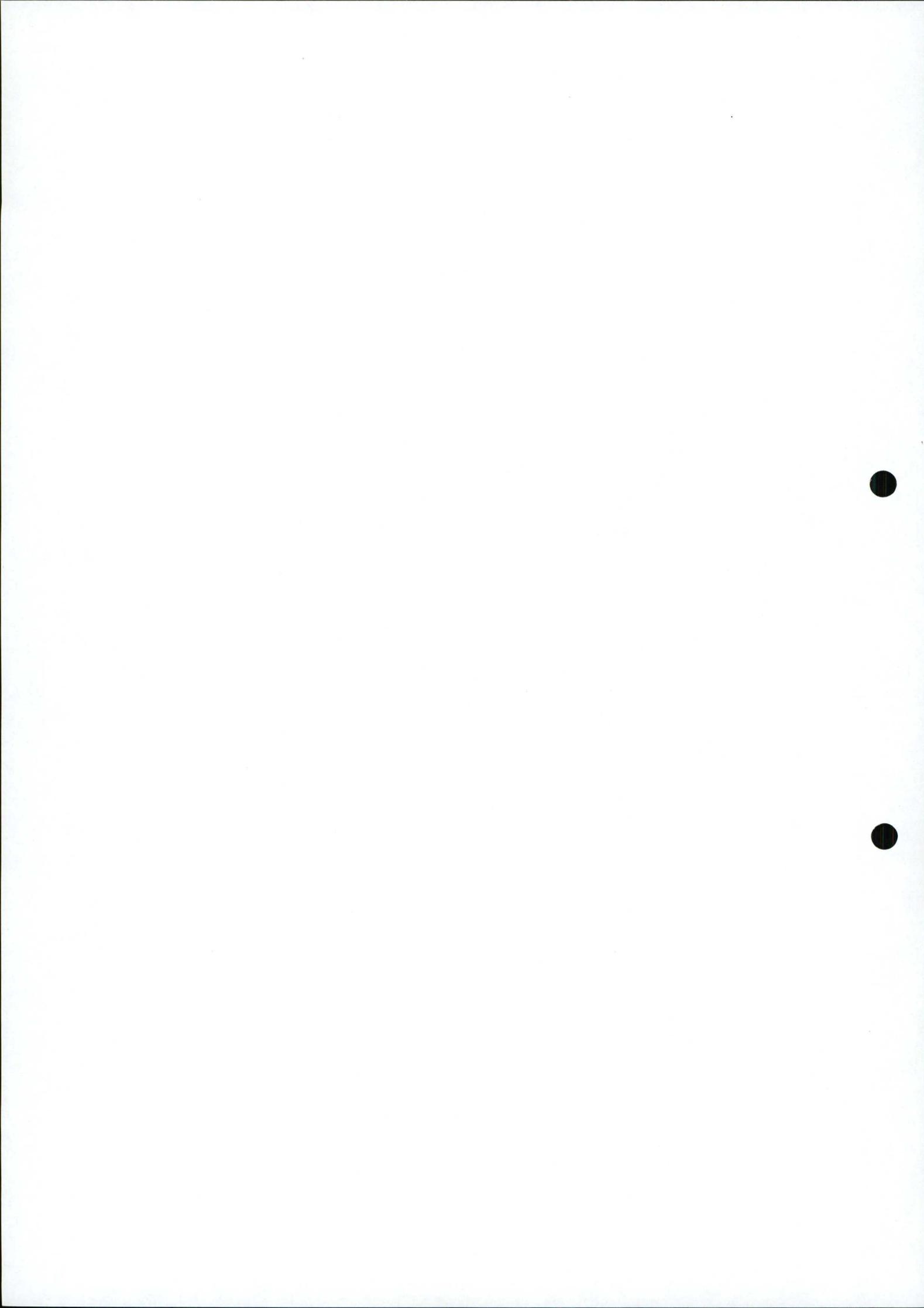
4 Abschluß des Betriebes

HAUPTKAPITEL

4 ABSCHLUß DES BETRIEBES

KAPITEL

- 4.1 Restverfüllung des Grubengebäudes
- 4.2 Schachtverfüllung
- 4.3 Abbruch der Tagesanlagen
- 4.4 Überwachung



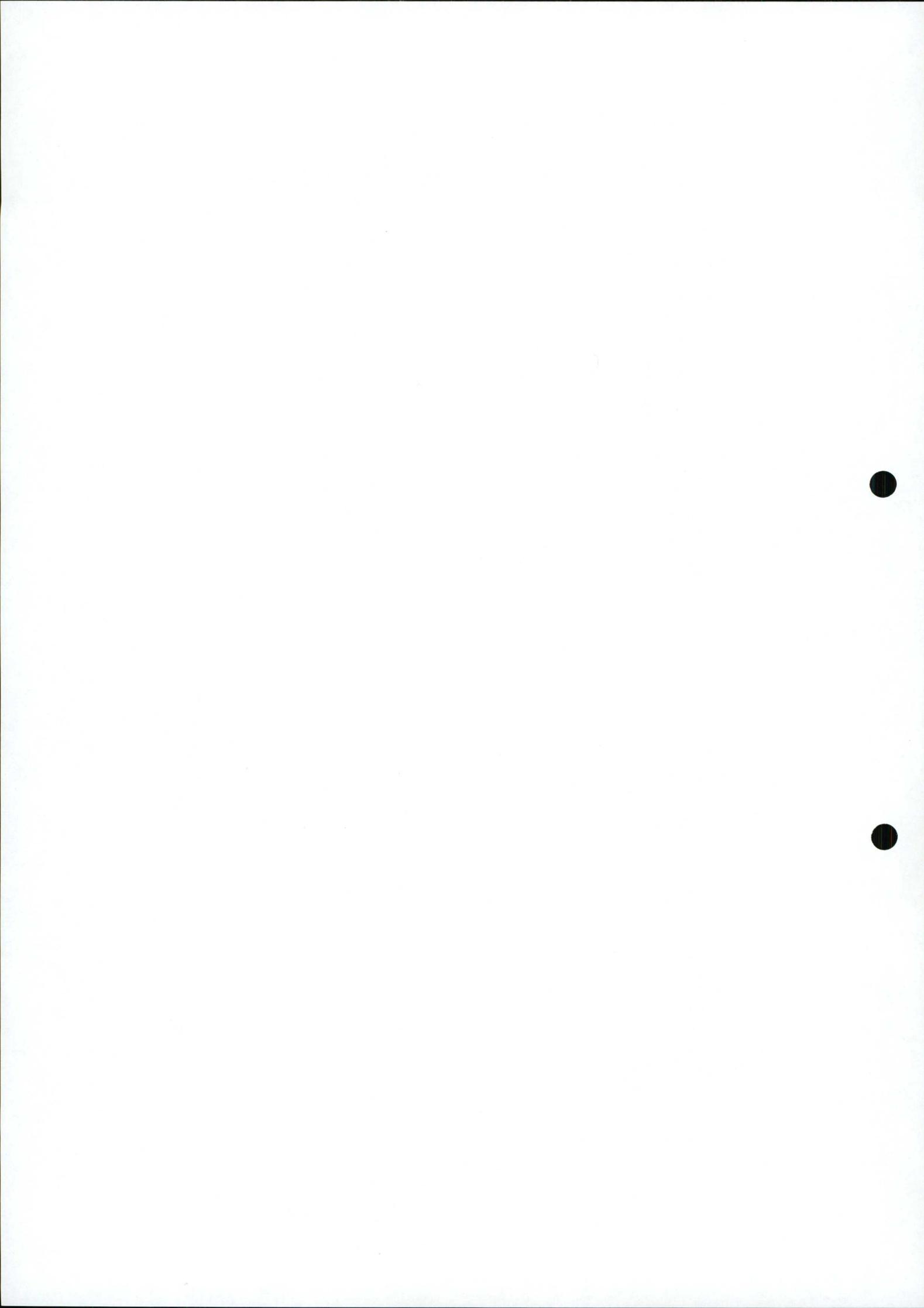
4 Abschluß des Betriebes

4.1 RESTVERFÜLLUNG DES GRUBENGEBAUDES

Nach Beendigung der Einlagerung werden alle für den Endlagerbetrieb aufgefahrenen und offengehaltenen Grubenbaue verfüllt. Da diese zu großen Teilen bereits während der Betriebsphase im Rahmen des Abwerfens von Einlagerungsfeldern versetzt werden, handelt es sich bei der Art dieser Arbeiten um einen fließenden Übergang von der Betriebsphase zum Abschluß des Betriebes.

Versatzgut wird von über Tage den noch zu verfüllenden Teilen des Grubengebäudes zugeführt. Zur Verfüllung sind bergbauübliche Verfahren wie z. B. die Schütt- und Schleuderversatztechnik vorgesehen.

Als Versatzgut kann sowohl aufgehaldetes Haufwerk aus der Grube Konrad als auch geeignetes Fremdversatzmaterial verwendet werden.



KAPITEL

4.2 SCHACHTVERFÜLLUNG

UNTERKAPITEL

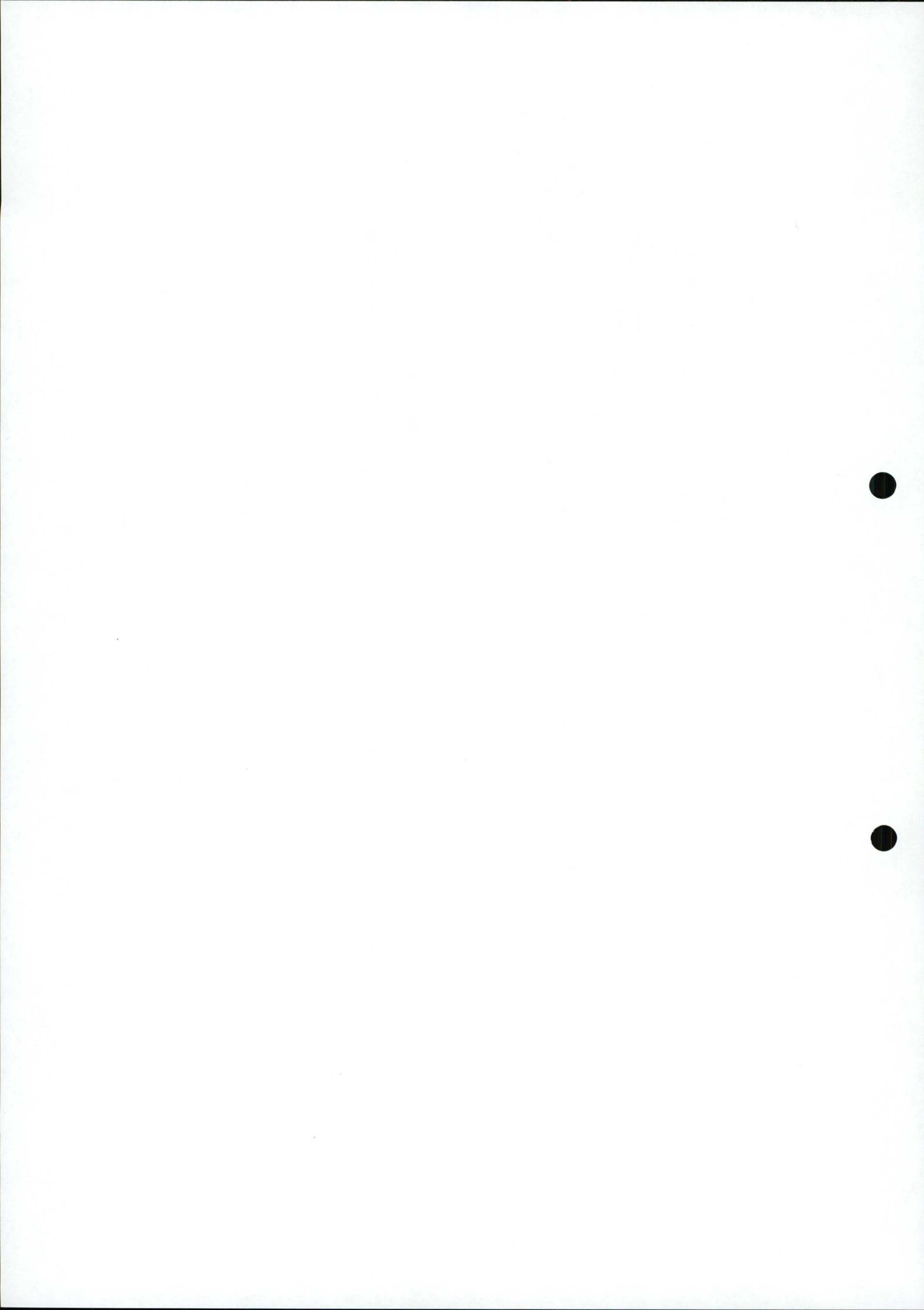
4.2.1 Aufgabenstellung

4.2.2 Beschreibung der Schachtverfüllung

4.2.2.1 Die hydrostatische Asphaltabdichtung

4.2.2.2 Mineralische Abdichtung

**4.2.2.3 Stützsäule unterhalb der mineralischen
Abdichtung**



4.2 SCHACHTVERFÜLLUNG

4.2.1 Aufgabenstellung

Nach Beendigung der Betriebsphase muß das gesamte Endlager sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen werden. Auch nach der Stilllegung dürfen Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgängen aus dem verschlossenen Endlager im Bereich der Schächte in die Biosphäre gelangen können, nicht zu unzulässigen Individualdosen führen.

Dies gilt nicht nur für die zu verfüllenden Schachtquerschnitte als potentielle Wegsamkeit, sondern auch für die die Schächte umgebenden Auflockerungszonen.

Aufgabe der Schachtverfüllung und gleichzeitig auch der Abdichtung der Auflockerungszone ist es, den Zutritt des Transportmediums Wasser aus oberflächennahen wasserführenden Schichten zu den radioaktiven Abfällen zu erschweren und eine mögliche Radionuklidfreisetzung mit dem Transportmedium Wasser aus dem vollgelaufenen Endlager über den Bereich der Schächte derart zu begrenzen, daß die für die Endlagerung radioaktiver Abfälle bestehenden Schutzziele eingehalten werden.

Die Schachtverfüllung muß über einen Zeitraum von etwa 10 000 Jahren (Kap. 3.9) wirksam sein; die Funktionsfähigkeit wird weit darüber hinaus bestehen bleiben.

4.2.2 Beschreibung der Schachtverfüllung

Ausgehend von der aufgeschlossenen Schichtenfolge in den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (Abb. 3.1.9.1/1) wird die Schachtverfüllung hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungen in drei Bereiche unterteilt.

Die Abbildungen 4.2/1 und 4.2/2 geben einen Überblick über die Verfüllung der Schächte Konrad 1 und Konrad 2.

Eine hydrostatische Asphaltabdichtung soll im Bereich des Quartärs und der Oberkreide mögliche Zuflüsse von Tages- und Grundwasser bereits unmittelbar nach Einbringen der Verfüllung reduzieren und möglichst weitgehend verhindern.

Der Bereich der Unterkreide (Unterhauterive bis Oberalb) bildet die Hauptbarriere bei einer Ausbreitung von radionuklidbelasteten Wässern aus dem Endlager in die Biosphäre. Für diesen Bereich ist ein mineralisches Material vorgesehen, mit dem die Schächte verfüllt bzw. abgedichtet werden.

Im Bereich des Malm und des Dogger unterhalb der oben genannten Hauptbarriere wird eine Stützsäule die Auflasten so aufnehmen, daß die darüber liegende mineralische Abdichtung ihre Funktion erfüllen kann. Die Stützsäule wird so an das verfüllte Grubengebäude angebunden, daß ein Abrutschen oder Auslaufen der Stützsäule in mögliche Hohlräume des schachtnahen Grubengebäudes nicht möglich ist und dadurch eine Gefährdung der Wirksamkeit der Schachtverfüllung insgesamt ausgeschlossen werden kann.

4.2.2.1 Die hydrostatische Asphaltabdichtung

Allgemeines

Hydrostatische Asphaltabdichtungen werden im Bergbau seit etwa drei Jahrzehnten als Regelabdichtung dort verwendet, wo extreme Dichtigkeitsanforderungen an die Ausbau-systeme gestellt werden (Schachtausbauten im Wasser bzw. laugeführenden Gebirge, Gasspeicherverschlüsse). Sie sind im Bergbau Stand der Technik. Sie haben auch bei tiefen Schächten und langen Betriebszeiten Wässer von Grubenräumen abgeriegelt, und zwar auch dort, wo anfänglich Wasserzutritte beobachtet worden waren.

Beschreibung der hydrostatischen Asphaltabdichtung für die Schächte Konrad

Asphalt, wie er für hydrostatische Dichtungen in den Schächten Konrad vorgesehen ist, wird durch Mischung von Normbitumen nach DIN 1995 und einem Kalksteinmehlfüller hergestellt. Wegen des hohen Bitumenüberschusses sind alle Hohlräume zwischen den Gesteinsteilchen vollständig mit Bitumen ausgefüllt. Derartige Asphalte sind wasser- undurchlässig und wasserunlöslich sowie bei allen für die Schächte denkbaren Temperaturen beständig gegen die Lösungen von Chloriden, Sulfaten und Nitraten. In der Form des Naturasphalts haben Asphalte ihre Beständigkeit über geologische Zeiträume erwiesen. In dem für die Schächte Konrad in Betracht kommenden Temperaturbereich und bei der hier vorgegebenen langen Belastungsdauer zeigt der Asphalt viskoses Verhalten. Die Dichte des Asphalt wird durch die Zugabe des Kalksteinmehlfüllers so eingestellt, daß sie deutlich über der im Gebirge anstehenden Wässer liegt. Dadurch steht der viskose Asphalt unter einem höheren hydrostatischen Druck als die Gebirgswässer. Diese werden durch den in die im Gebirge vorhandenen Poren und Risse eindringenden Asphalt verdrängt; Poren und Risse werden verstopft. So

dichtet der Asphalt den Schachtquerschnitt und die ihn umgebende Auflockerungszone aktiv ab. Ein sich durch Gebirgsbewegungen neu bildender Riß füllt sich mit Asphalt und wird verschlossen. Beobachtungen am Schacht ausbau mit Asphaltdichtung zeigen, daß der Eindringvorgang nahezu zur Ruhe kommt. Das anfängliche Absenken des Asphaltspiegels wird durch Nachverfüllung von Asphalt ausgeglichen. Damit der hydrostatische Druck des Asphalts stets höher ist als der Druck der Gebirgswässer dürfen die Füllerteilchen nur in beschränktem Maße aussedimentieren. Da, wo Füllerteilchen aussedimentieren können (im tagesoberflächennahen Schachtabschnitt), kann die Asphaltdichte absinken. Dies wird bei der Auslegung hydrostatischer Asphaltdichtungen berücksichtigt.

Aufbau der hydrostatischen Asphaltdichtung

Die hydrostatische Asphaltdichtung (Abbildungen 4.2/1 und 4.2/2) besteht bis zu einer Teufe von ca. 280 m aus einer mehrschichtigen Asphaltäule mit Asphalten unterschiedlicher Viskosität im Zusammenwirken mit Bohrungen und Injektionen. Im Bereich der Unterkreide und in der unteren Oberkreide wird als schnell wirksame Dichtung ein niedrigviskoser Asphalt eingebaut, um die Auflockerungszonen um die Schächte in möglichst kurzer Zeit zu verschließen. Darüber wird bis zum Schachtdeckel als langsam wirkende Dichtung ein hochviskoser Asphalt eingebaut. Er dringt langsam in die Klüfte des Gebirges ein und ersetzt im unteren Bereich die schnell in das Gebirge eingedrungenen Anteile an niedrigviskosem Asphalt. Um das Eindringen des Asphaltts in die Auflockerungszone zu erleichtern, wird der Schachtausbau und die gesamte Auflockerungszone durch ein dichtes Netz von Vollbohrungen perforiert. Dadurch werden auch die entfernten Bereiche der Auflockerungszone schnell mit Asphalt versorgt. Die Zähigkeit des Asphaltts ist hoch genug, daß er auch in 10000 Jahren nicht so weit in das Gebirge,

insbesondere in die Kluftwasserleiter des Turons und Cenomans, eindringt, daß die Wirksamkeit der hydrostatischen Dichtung beeinträchtigt wird. Zusätzlich wird dort, wo größere Klüfte zu erwarten sind, der Bereich vom Ende der Auflockerungszone bis ca. 10 m hinter der Schachtwand durch Injektionen mit Tonsuspension vorgedichtet.

Zwischen der Unterkante des niedrigviskosen Asphalt und der Oberkante der mineralischen Abdichtung ist ein besonderes Dichtsystem angeordnet, das verhindert, daß Asphalt aus der hydrostatischen Säule in den Bereich der mineralischen Abdichtung abläuft. Es besteht aus Asphaltten, deren Viskosität von oben nach unten abnimmt.

Einbau der hydrostatischen Asphaltabdichtung

Zu Beginn der Arbeiten erfolgt das Rauben der Schacht-einbauten, die Durchführung der baubegleitenden gebirgs-physikalischen Untersuchungen, das Perforieren des Schachtausbaus und der Auflockerungszone mit den Asphaltversorgungsbohrlöchern sowie das Vorabdichten der Klüfte in Turon und Cenoman. Der Einbau der Asphalt säule erfolgt mit schachtbautechnisch erprobten Verfahren. Die Spiegelabsenkung der hydrostatischen Säule, die durch das gewollte Eindringen des Asphalt in das Gebirge entsteht, wird durch Nachverfüllungen mit Asphalt ausgeglichen.

4.2.2.2 Mineralische Abdichtung

Allgemeines

Mineralgemische mit hohen Feinkornanteilen (Rohton, Schluff) werden im Staudammbau seit vielen Jahrzehnten für die Herstellung von Dichtungskernen verwendet. Auch bei Basisabdichtungen von Deponien kommen Mineralgemische mit hohen Tonanteilen bevorzugt zum Einsatz.

Für die Schachtverfüllung ist deshalb im Bereich der Unterkreide die Verwendung eines tonreichen Mineralgemisches vorgesehen, mit dem die geforderte Dichtigkeit ohne Schwierigkeiten erreicht werden kann.

Zur Abdichtung der Klüfte und Risse in der die Schächte umgebenden Auflockerungszone ist die Einpressung von Tonsuspension vorgesehen. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß sich auch Quellvorgänge in den Tonsteinen der Unterkreide und eine damit verbundene Selbstabdichtung günstig auswirken. Nach den vorliegenden Ergebnissen tonmineralischer Untersuchungen enthalten die Tonsteine der Unterkreide quellfähige Tonminerale (Smektit), im Alb z. B. mit wenigen Ausnahmen über 20 %.

Wirkungsweise der mineralischen Abdichtung

Bei der Herstellung der Schächte wurden hinter der Ausmauerung aus Betonformsteinen und Ziegeln Gittersteine eingelegt, die ebenso wie die Auflockerungszone im angrenzenden Gebirge eine im Vergleich zum ungestörten Gebirge erhöhte Wasserwegsamkeit besitzen. Aus diesem Grunde ist es notwendig, das Mauerwerk und einen Teil der Auflockerungszone zu entfernen. Zeitlich parallel zu dieser Aufweitung, die von unten nach oben erfolgt, werden die Schächte mit einem Mineralgemisch mit hohem Tonanteil verfüllt und damit abgedichtet.

Eventuell außerhalb des Ausbruchquerschnitts im Gebirge verbleibende Auflockerungszonen werden in den Bereichen, in denen eine Selbstabdichtung durch Quellen des anstehenden Tonsteins nicht als gesichert angesehen werden kann, durch Einpressen von Tonsuspensionen abgedichtet.

Das eingebrachte Mineralgemisch bewirkt zunächst durch den Verdichtungsdruck und mit zunehmender Füllhöhe durch den aus dem Eigengewicht und der Querdehnung resultierenden Erddruck eine horizontale nach außen gerichtete Belastung der Schachtwandungen. Durch Quellvorgänge, die durch Zugabe quellfähiger Tonminerale gesteuert werden, kann sich diese Belastung noch vergrößern. Dadurch wird der Hohlraum stabilisiert und eine infolge der Schataufweitung mögliche Ausdehnung der Auflockerungszonen um die Schächte herum begrenzt. Der auf die Schachtwandungen nach außen gerichtete Druck wirkt außerdem den Quellverformungen des Tongesteines entgegen und begünstigt dadurch die Selbstheilung evtl. vorhandener, nicht verpreßter offener Risse oder Klüfte.

Eigenschaften der mineralischen Abdichtung

Für die mineralische Abdichtung kommen natürliche Tone oder aufbereitete Gemische aus Ton, Schluff und grobkörnigen Anteilen in Betracht, deren Eigenschaften unter den herrschenden *in situ*-Bedingungen langfristig erhalten bleiben.

Das zur Verwendung kommende tonhaltige Mineralgemisch soll homogen sein und mit möglichst großer Dichte eingebaut werden. Dadurch kann neben der geforderten geringen Wasserdurchlässigkeit auch eine begrenzte Zusammendrückbarkeit der Verfüllung erreicht werden. Die aus dem Eigengewicht des Mineralgemisches und der darüberliegenden Asphaltssäule resultierenden Setzungen werden

dann auch weitgehend während der Einschüttung ausgeglichen. Durch eine hohe Lagerungsdichte werden beim späteren Anstieg des Grundwasserspiegels auch unerwünschte Sackungen vermieden. Im Hinblick auf eine Selbstheilung möglicherweise in der Füllsäule durch Setzungen oder Gebirgsverformungen entstehender Risse soll das Mineralgemisch auch ein gewisses Quellvermögen besitzen.

Bei aufbereiteten mineralischen Böden lassen sich die geforderten bodenphysikalischen Eigenschaften durch die Wahl der Ausgangsstoffe und deren Korngrößenzusammensetzungen erreichen.

Aufbau der mineralischen Abdichtung

Die mineralische Abdichtung für die Schächte Konrad ist auf den Abbildungen 4.2/1 und 4.2/2 dargestellt. Sie besteht im Schacht 1 zwischen ca. 280 m und ca. 820 m Teufe und im Schacht 2 zwischen ca. 280 m und ca. 700 m Teufe aus einem lagenweise eingebrachten, homogenen Mineralgemisch. Alle im Bereich dieser Dichtung liegenden Strecken (Untersuchungs- und Wasserstrecken sowie Sandbunker) werden im Zuge des geplanten Schachtumbaus verfüllt.

An den Unterkanten der mineralischen Abdichtung in ca. 820 m bzw. ca. 700 m Teufe werden zweistufige Kies-Sand-Filter angeordnet, um die Gefahr einer Erosion der feinkörnigen Böden der Dichtung in die darunterliegenden statischen Stützsäulen im Grubengebäude zu verhindern.

Einbau der mineralischen Abdichtung

Die Aufweitung der Schächte und der Einbau der mineralischen Abdichtung erfolgen in mehreren Arbeitsgängen, die sich teilweise überschneiden können:

1. Entfernen der Schachtausmauerung in kurzen Abschnitten unter Sicherung des darüber liegenden Ausbaus und der freigelegten Schachtstöße.
2. Ausbruch eines Teils der den Schacht umgebenden Auflockerungszone unter Anwendung zusätzlicher Sicherungsmaßnahmen.
3. Fassen und Ableiten eventuell anfallender Sickerwasser.
4. Einbringen und Verdichten des über Tage aufbereiteten Mineralgemisches in Lagen.
5. Abdichten der in der verbliebenen Auflockerungszone vorhandenen offenen Risse und Klüfte durch systematisches Einpressen von Tonsuspension.

4.2.2.3 Stützsäule unterhalb der mineralischen Abdichtung

Unterhalb der mineralischen Abdichtung werden die Schächte mit einem nichtwasserlöslichen Füllgut verschlossen. Diese Stützsäulen werden nach den Regeln der Erdbautechnik eingebaut und verdichtet. Damit die Vertikallasten aus der mineralischen Abdichtung und der Asphaltfüllung ohne nennenswerte Setzungen der Stützsäulen aufgenommen werden können, ist das eingebaute Füllgut möglichst verformungsarm. Weiterhin wird ein Auslaufen des Füllgutes in die mit den Schächten verbundenen Grubenbaue verhindert, in dem die an die Füllörter anschließenden Strecken auf eine bestimmte Länge kraftschlüssig verfüllt werden.

Als Füllgut ist ein nicht bindiges Mineralgemisch vorgesehen. Die Korngrößenverteilung wird so gewählt, daß eine möglichst dichte Lagerung und hohe Scherfestigkeit erreicht wird.

Der Einbau der Stützsäulen in den Schächten erfolgt lagenweise mit geeigneten Verdichtungsgeräten nach den Regeln der Erdbautechnik.

Die Verfüllung der Strecken im Bereich der Füllörter erfolgt auf den statisch erforderlichen Längen.

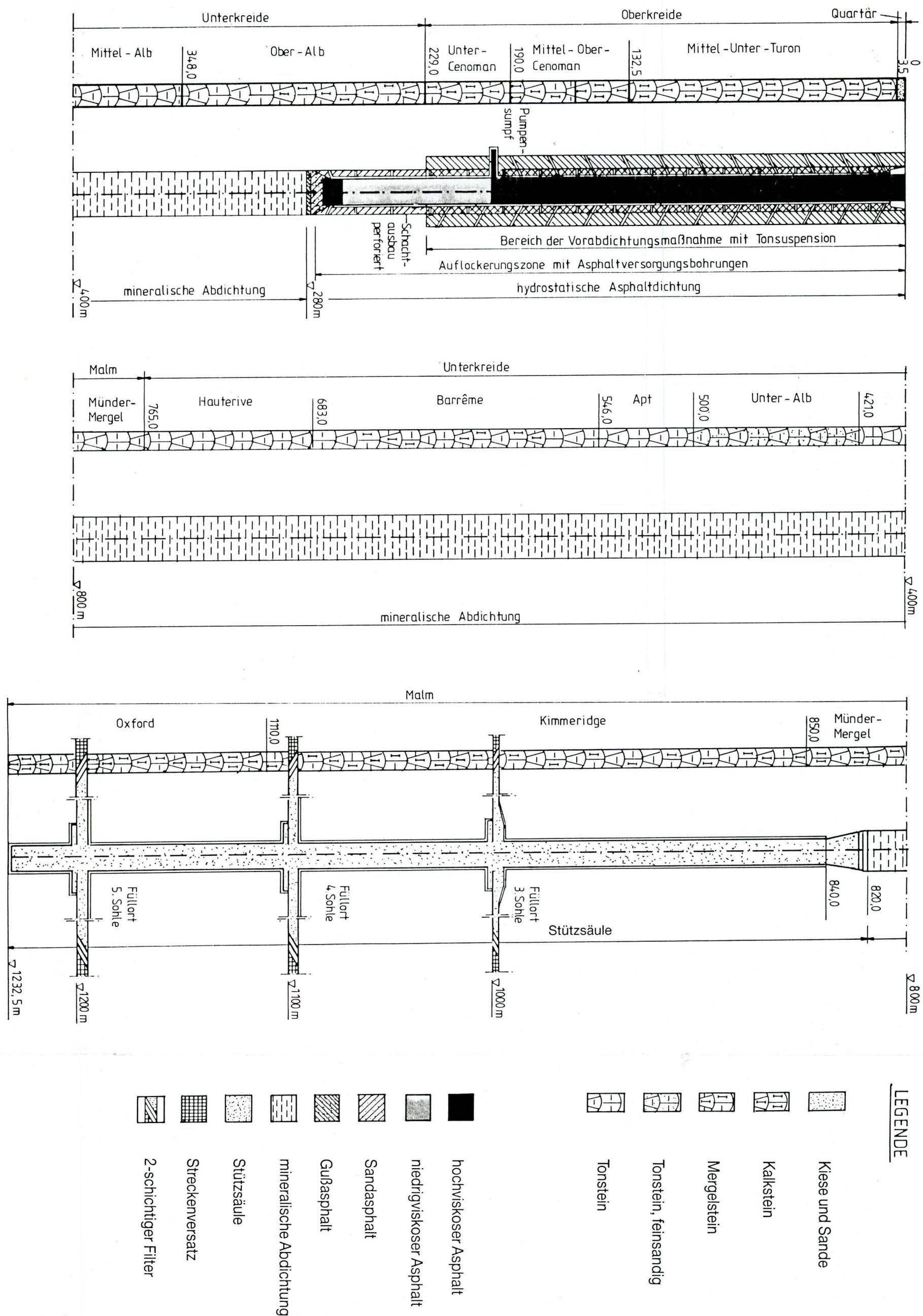
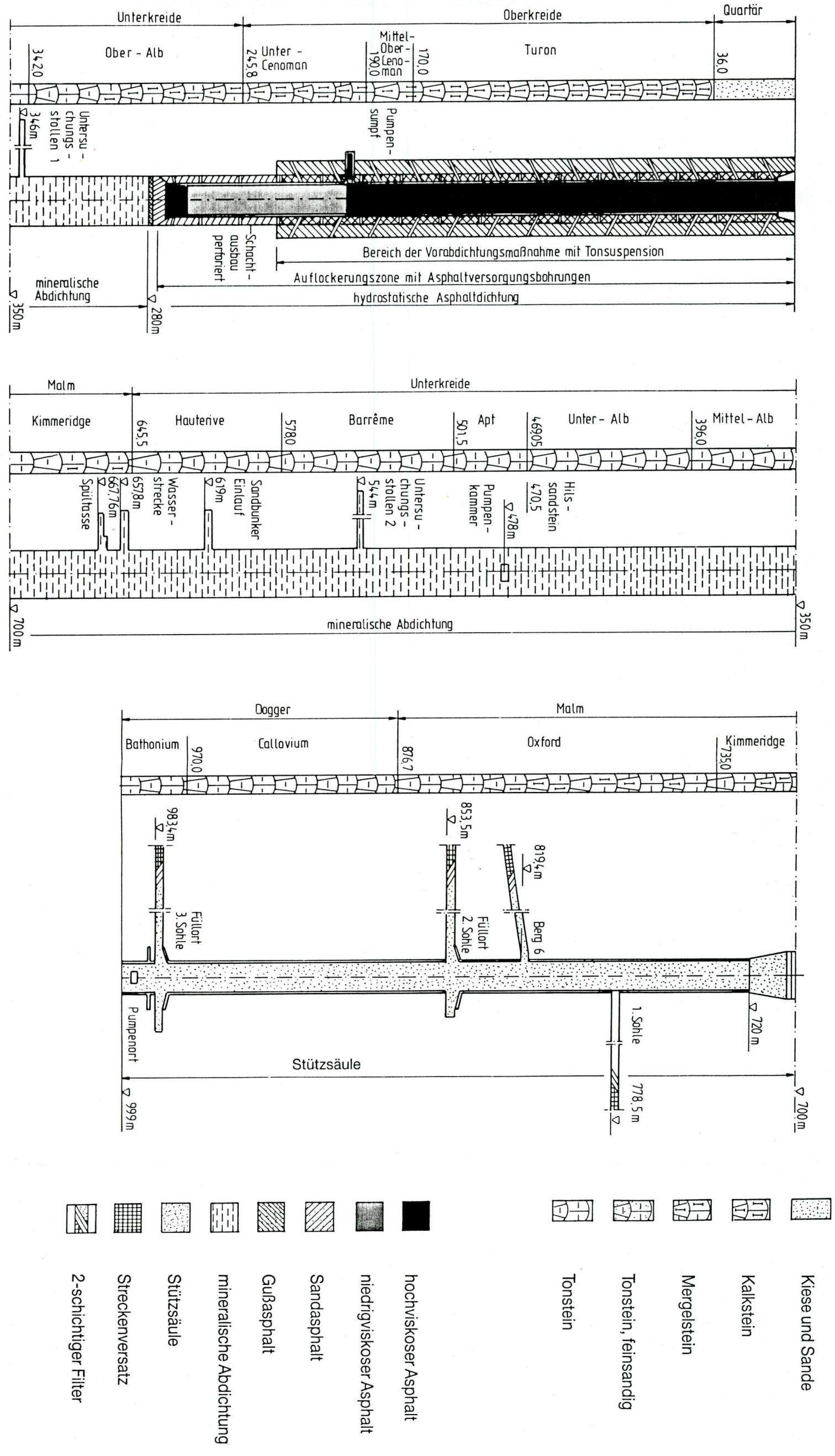


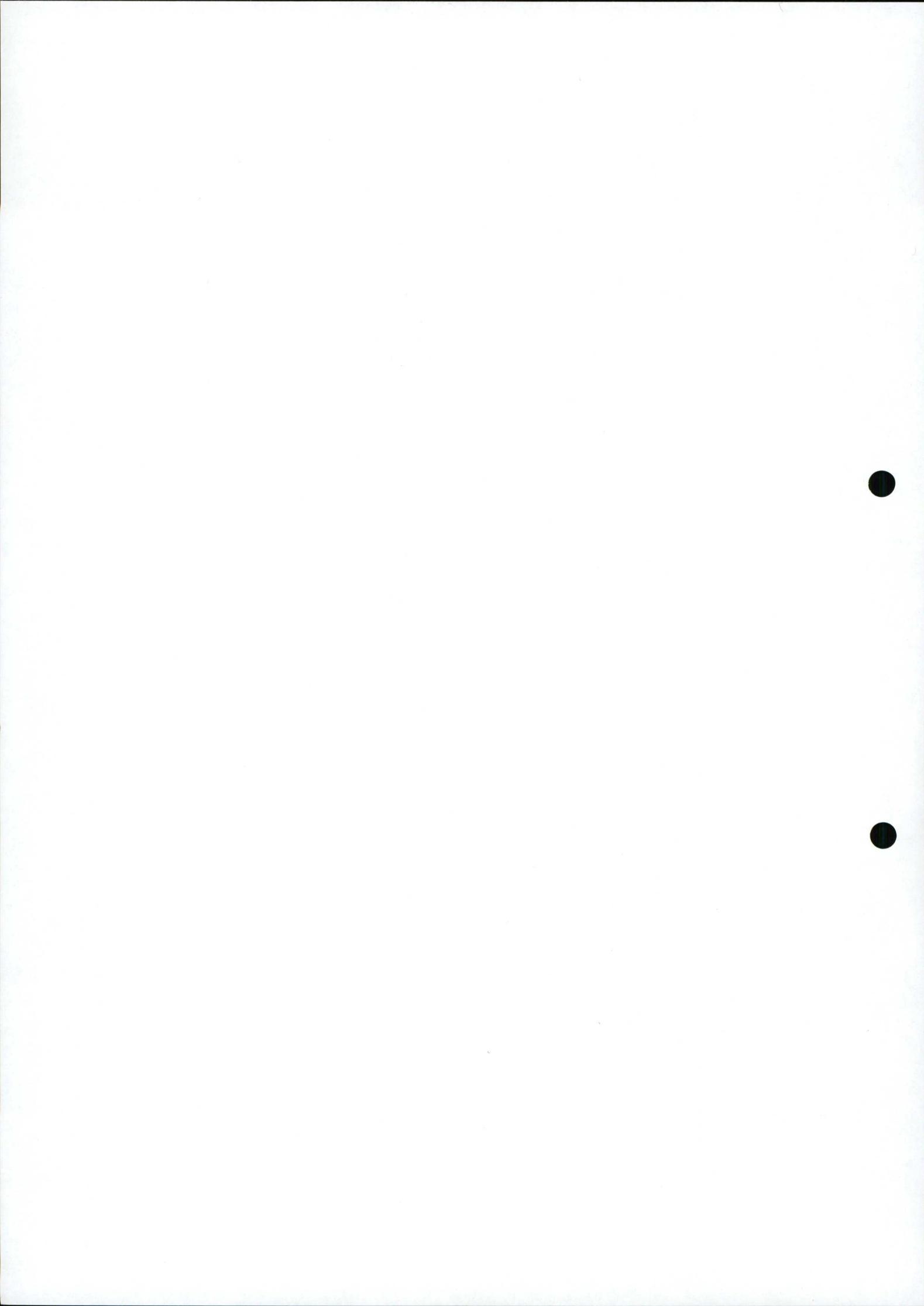
Abbildung 4.2/2: Verfüllung des Schachtes Konrad 2



KAPITEL

4.3

ABBRUCH DER TAGESANLAGEN



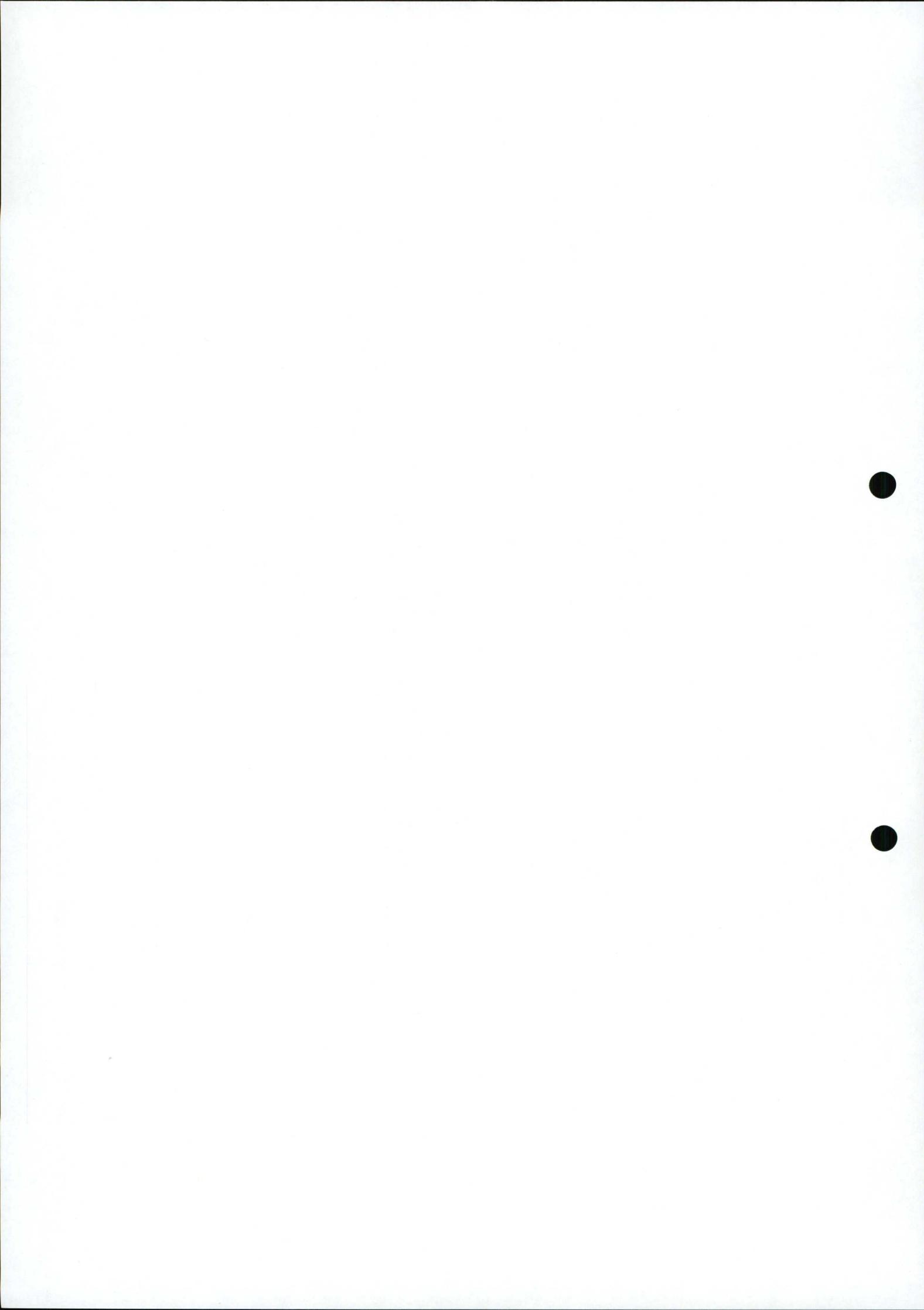
4.3 ABBRUCH DER TAGESANLAGEN

Nach Beendigung des Einlagerungsbetriebes werden die zum Kontrollbereich gehörenden Tagesanlagen einer Kontaminationskontrolle und ggf. einer Dekontamination unterzogen. Teile, die danach noch die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte überschreiten, werden als radioaktiver Abfall, erforderlichenfalls nach Konditionierung, endgelagert.

Die baulichen Anlagen werden entweder einer anderweitigen Nutzung zugeführt oder abgebrochen und auf einer Deponie gelagert.

Über das gegenwärtig unter Denkmalschutz stehende Schachtfördergerüst Konrad 1 wird gesondert entschieden.

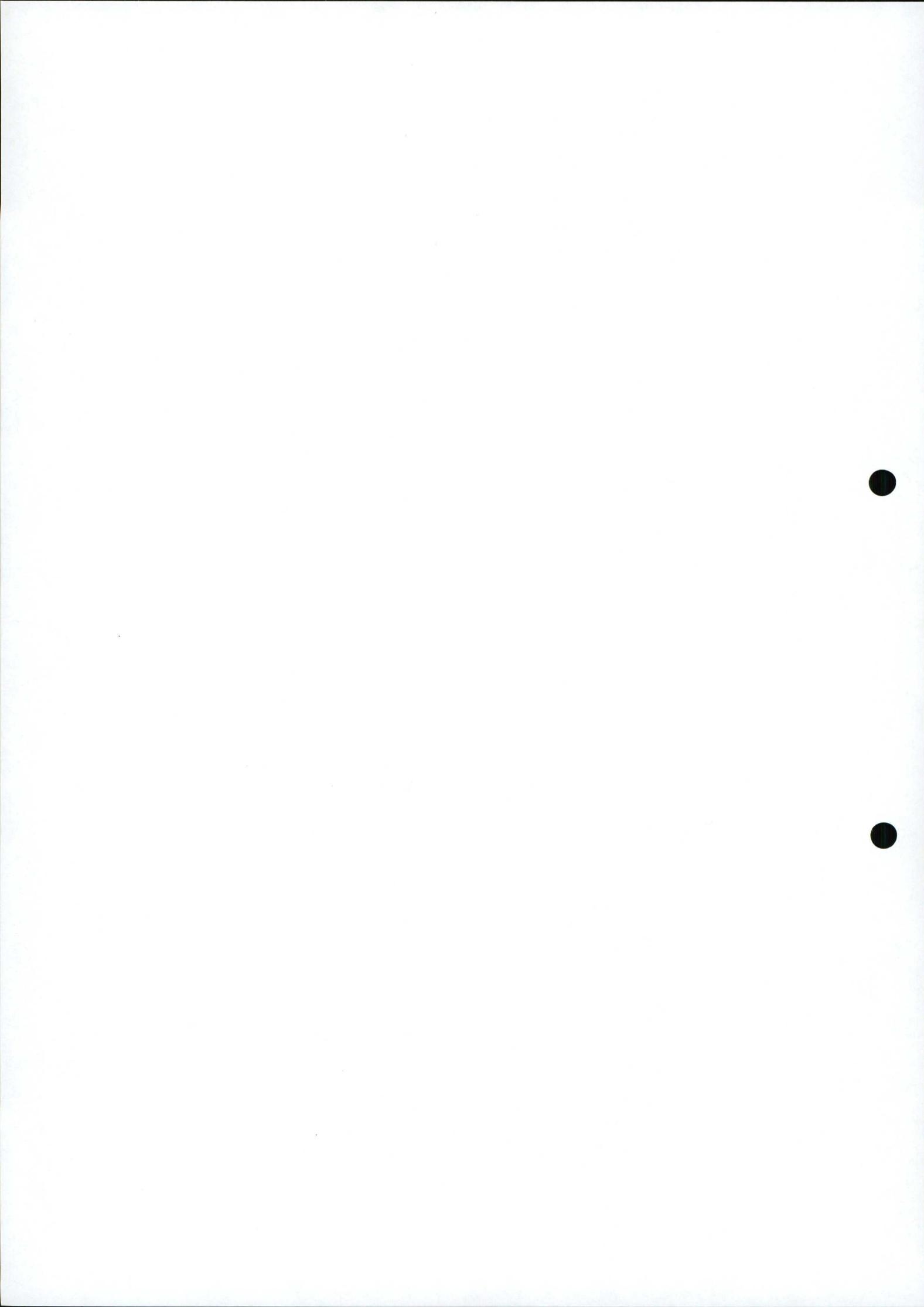
Das Gelände wird nach Maßgabe eines Abschlußbetriebsplanes hergerichtet.



KAPITEL

4 . 4

ÜBERWACHUNG



4.4 ÜBERWACHUNG

Errichtung, Betrieb und Stilllegung des Endlagerbergwerks werden so durchgeführt und überwacht, daß in der Nachbetriebsphase ein gesondertes Kontroll- und Überwachungsprogramm entbehrlich ist. Meßbare Einwirkungen auf die Biosphäre könnten - falls überhaupt - erst in ferner Zukunft auftreten (Kap. 3.9).

Routinemäßig durchgeführte allgemeine Umweltschutzmessungen sowie Geländevermessungen geben Aufschluß über die Radiologie und das langfristige thermomechanische Verhalten der Endlagerformation, des Deckgebirges und des Nebengesteins.

Nach heutiger Kenntnis ist auch in Zukunft eine Gefährdung der Biosphäre durch die Endlagerung auszuschließen.

Überwachung in der Phase des Abschlusses des Betriebes

In der Phase des Abschlusses des Betriebes wird die Betriebsüberwachung wie folgt weitergeführt:

Überwachung der Wetterführung

Die Überwachung der Wetterführung wird, wie im Kapitel 3.2.4.3 beschrieben, zunächst noch fortgesetzt, wobei die festinstallierten Meßgeräte dem Fortschritt der Verfüllung des Grubengebäudes entsprechend außer Betrieb genommen werden. Bei der Restverfüllung der letzten Verbindungsstrecke und Unterbrechung der durchgehenden Bewetterung wird die gesamte Überwachung der Wetterführung allein auf Handmessungen umgestellt.

Strahlungsüberwachung

In der Phase des Abschlusses des Betriebes wird die Strahlungsüberwachung wie in Kap. 3.4.8 beschrieben durchgeführt. Sie wird um den Umfang reduziert, der unmittelbar aus der Handhabung von angelieferten Abfallgebinden folgt.

Kontaminationsüberwachung

Die Kontaminationsüberwachung umfaßt insbesondere Kontaminationskontrollen

- bei Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie
- an internen Transportmitteln und Geräten bei Verlassen des Kontrollbereichs.

Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsüberwachung

Die Ortsdosis und Ortsdosisleistung wird allein durch die Dosisleistung der Gebinde sowie durch ihre räumliche und zeitliche Anordnung an einem Betriebspunkt bestimmt. Die Überwachung der Ortsdosis und Ortsdosisleistung wird in der Phase des Abschlusses des Betriebes den spezifischen Gegebenheiten angepaßt.

Wetter- und Raumluftüberwachung

Im Endlager Konrad ist, wie in der Betriebsphase auch, in der Phase des Abschlusses des Betriebes mit nur geringen Freisetzungen in die Wetter bzw. in die Raumluft zu rechnen. Die Wetter- und Raumluftüberwachung lehnt sich an die Überwachung der Betriebsphase an.

Personenüberwachung

Die Personenüberwachung wird wie in der Betriebsphase durchgeführt.

Aktivitätsabgabenüberwachung

Zur Überwachung und Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern werden deren Abgaberaten ermittelt. Die Überwachung erfolgt durch

- Anreicherung und Sammlung der Radionuklide auf geeigneten Trägermaterialien und
- Auswertung der Trägermaterialien für die Bilanzierung.

Die Bilanzierung und Überwachung umfaßt das in Kap. 3.4.8.5 beschriebene Nuklidspektrum.

Abwässer des Endlagers werden wie in Kap. 3.4.8.5 beschrieben ausgemessen.

Umgebungsüberwachung

Die Überwachung der Immissionen in der Umgebung des Endlagers wird in der Phase des Abschlusses des Betriebes wie in der Betriebsphase weitergeführt.

Überwachung in der Nachbetriebsphase

Nach dem Verschluß der Schächte (Kap. 4.2) und dem Abbruch der Tagesanlagen sowie der Eingliederung des Betriebsgeländes in die Landschaft (Kap. 4.3), also in der Nachbetriebsphase, werden nur noch die nachstehend genannten beiden Überwachungsmaßnahmen vorübergehend durchgeführt.

Übertägige Senkungsmessungen

Die zur Beweissicherung in der Errichtungs- und Betriebsphase sowie in der Phase des Abschlusses des Betriebes in festgelegten Abständen durchgeföhrten Senkungsmessungen mittels Nivellement im Einwirkungsbereich des Grubengebäudes werden zunächst weitergeföhrt bis die Senkungsgeschwindigkeit an der Erdoberfläche unter 2 mm/a liegt. Sofern sich keine besonderen Abweichungen gegenüber den vorausberechneten Senkungen ergeben, werden die Senkungsmessungen dann eingestellt.

Überwachung des Asphaltspiegels in den Schächten

Wie in Kapitel 4.2.4 ausgeführt, ist damit zu rechnen, daß Asphalt aus der hydrostatischen Dichtung in den Schächten noch für einige Zeit nach Einbringen der Dichtung in das Gebirge abwandert. Daher wird der Asphaltspiegel noch über einen Zeitraum von zunächst fünf Jahren regelmäßig überwacht und ggf. Asphalt nachgefüllt. Die Abstände der regelmäßigen Überwachung betragen während des ersten Jahres nach Einbringen der Dichtung einen Monat, während des zweiten Jahres ein viertel Jahr, während des dritten Jahres ein halbes Jahr und im vierten und fünften Jahr ein Jahr. Sofern sich bei dieser Überwachung keine Besonderheiten ergeben, wird sie danach ebenfalls eingestellt.

Textband

5 Abkürzungsverzeichnis mit Erklärung von Fachwörtern

5 Abkürzungsverzeichnis mit Erklärung von Fachwörtern

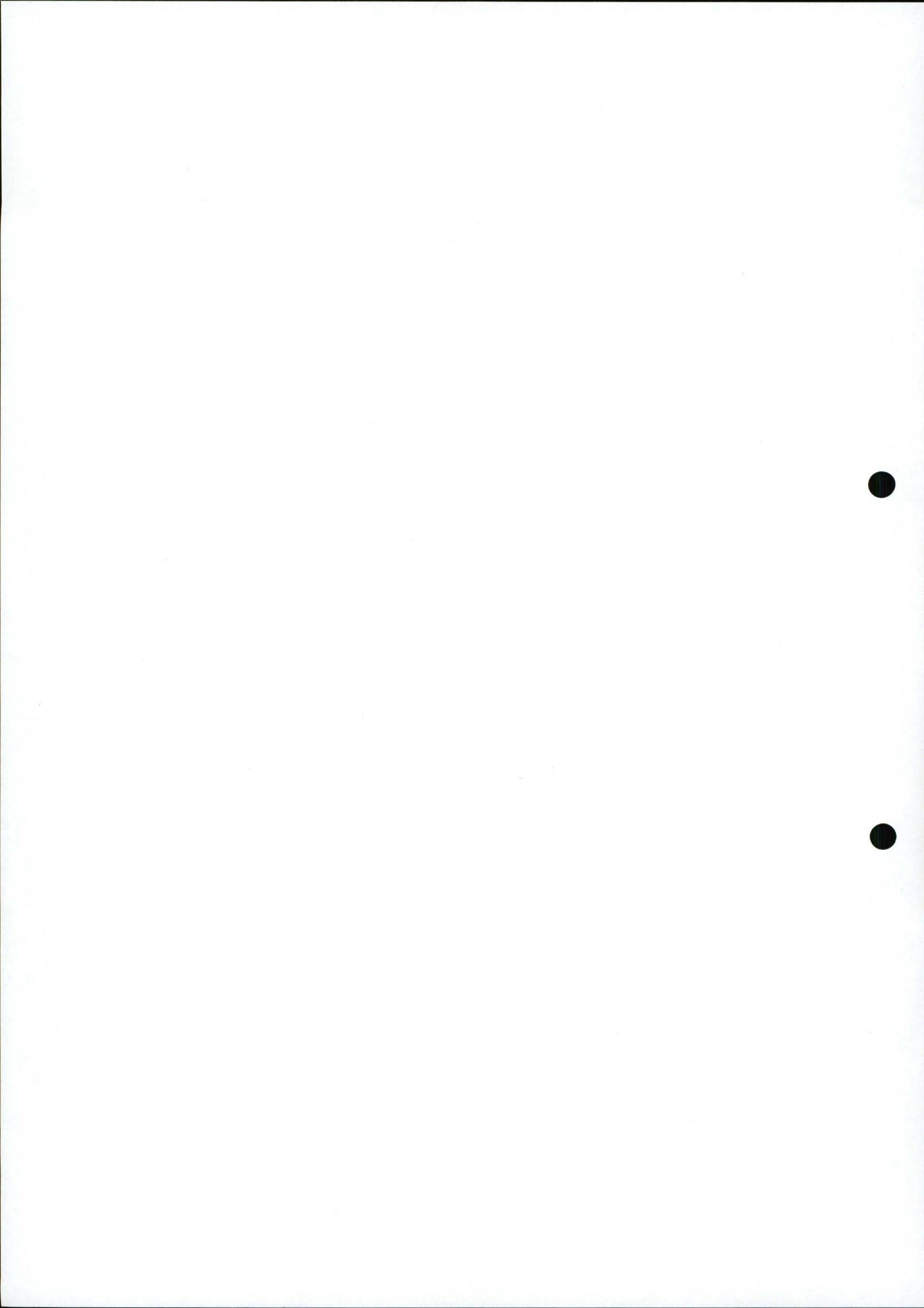
HAUPTKAPITEL

5 Abkürzungsverzeichnis und Erklärung von Fachwörtern

KAPITEL

5.1 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

5.2 ERKLÄRUNG VON FACHWÖRTERN



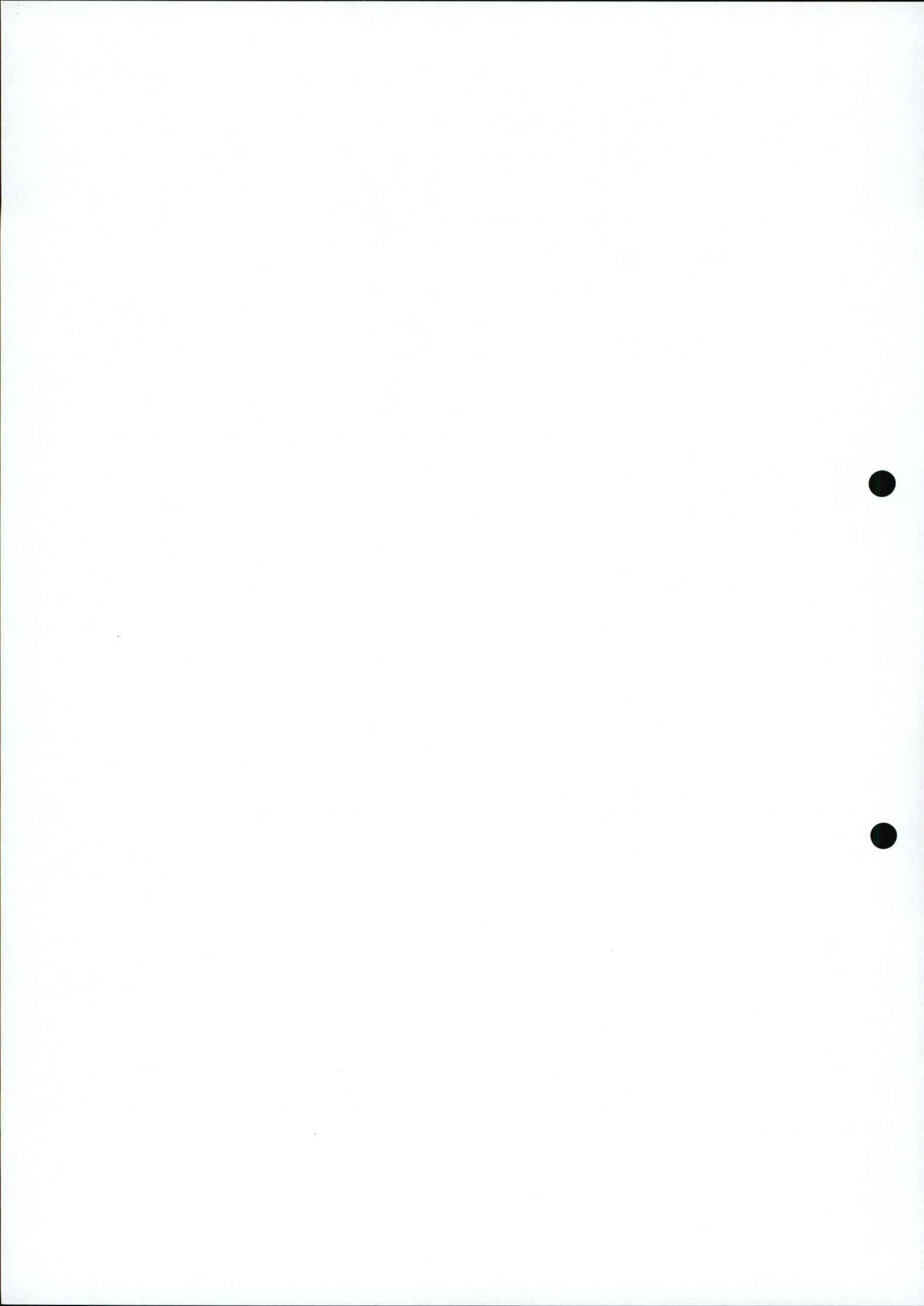
5 Abkürzungsverzeichnis und Erklärung von Fachwörtern

5.1 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AEC	Atomic Energy Commission, bzw. United States Atomic Energy Commission; wurde 1974 aufgelöst, Aufgaben gingen auf DOE und NRC über
AED	Aerodynamic Equivalent Diameter (Aerodynamisch äquivalenter Durchmesser)
ALI	Annual Limit of Intake; nach ICRP 30 Grenzen der Aktivitätszufuhr durch Ingestion bzw. Inhalation, bezogen auf ein Jahr
APG	Abfallproduktgruppe
ARI	Annual Radiotoxicity Index; jährlicher Radiotoxizitätsindex für Ingestion (Wasser)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter (gegründet am 01.11.1989)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn
BMI	Bundesministerium des Innern, Bonn
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn
BNFL	British Nuclear Fuel Ltd.; britische Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung und Herstellung von Brennelementen, Risley, Warrington, England
bzw.	beziehungsweise - hier verwendet im Sinne von "und/oder"
COGEMA	Compagnie Générale des Matières Nucléaires; Unternehmen, Betreiberin der französischen Wiederaufbereitungsanlage
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine
DIN	Deutsche Industriennorm
DOE	Department of Energy; Energieministerium in den USA
DWK	Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH, Hannover
DWR	Druckwasserreaktor
EGW	Einwohnergleichwert
EPA	Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA
EVA	Einwirkung von außen
EVU	Energieversorgungsunternehmen

FEM	Finite-Element-Methode
FM	Frischmasse
FS	Frischsubstanz (Frischgewicht)
GGVE	Gefahrgutverordnung Eisenbahn
GGVS	Gefahrgutverordnung Straße
GNS	Gesellschaft für Nuklear Service, Hannover
GOK	Geländeoberkante
GRS	Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Köln
GSF	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Neuherberg bei München
IAEA	International Atomic Energy Agency, Wien
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation (amtliche deutsche Übersetzung für die IAEA)
ICRP	International Commission on Radiological Protection; Internationale Strahlenschutzkommission
ICRU	International Commission on Radiological Units and Measurements
IRPA	International Radiation Protection Association
JAZ	nuklidspezifische Grenzwerte der Jahres-Aktivitätszufuhr durch Ingestion (Wasser, Nahrung) oder Inhalation (Luft)
KFA	Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
KfK	Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
KTA	Kerntechnischer Ausschuß
LHD	Load-Haul-Dump; d. h. aufnehmen-fördern-abwerfen
LLS	Radioaktive Stoffe in fixierter Form (Low Level Solids)
MPC _a	Maximum Permissible Concentration in Air; zulässige Maximalkonzentration eines Radionuklids in der Atemluft
MPC _w	Maximum Permissible Concentration in Water; zulässige Maximalkonzentration eines Radionuklids in Trinkwasser
NCRP	National Council for Radiation Protection, Washington, DC, USA
NMB	Der Niedersächsische Minister für Bundesangelegenheiten, Hannover
NMU	Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover
NRC	Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC; Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde für kerntechnische Anlagen in den USA
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development, Paris

PSE	Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin
QS	Qualitätssicherung
RHB	Rasenhängebank
RBW	Relative biologische Wirksamkeit
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
RWE	Rheinisch-Westfälische-Elektrizitätswerke AG, Essen
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SSK	Strahlenschutzkommission
SWIFT	Simulator for Waste Injection Flow and Transport
SWR	Siedewasserreaktor
TE	Transporteinheit
TLD	Thermolumineszenzdosimeter
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz (Trockengewicht)
TSM	Teilschnittmaschine
TU	Tritium units
TÜV	Technischer Überwachungs-Verein
WA	Wiederaufarbeitung
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe



5.2 ERKLÄRUNG VON FACHWÖRTERN

Abbau:	Bergmännische Tätigkeit zur planmäßigen Heraingewinnung von nutzbarem Mineral.
Abfall, radioaktiver:	Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 und 2 des Atomgesetzes, die nach § 9a Abs. 1 Nr. 2 des Atomgesetzes geordnet beseitigt werden müssen.
Abfallart:	Art des anfallenden radioaktiven Rohabfalls (z. B. brennbare feste Stoffe, Schrott, Ionenaustauscherharze).
Abfallbehälter:	Behälter zur Aufnahme eines Abfallprodukts (z. B. Faß, Betonbehälter, Gußbehälter, Container; für das Endlager Konrad sind Fässer in Container zu verpacken).
Abfallbehandlung:	Verarbeitung von ggf. vorbehandelten radioaktiven Rohabfällen zu Abfallprodukten (z. B. durch Verfestigen, Einbinden, Vergießen oder Trocknen).
Abfallcharakterisierung:	Ermittlung der endlagerrelevanten Eigenschaften von Abfallgebinden mit Angabe von Bandbreiten.
Abfalldatenblatt:	Datenblatt mit endlagerrelevanten Angaben über Abfallgebinde.
Abfallgebinde:	Endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter.
Abfallbehälterklasse:	Umfäßt Abfallbehälter mit vergleichbarem Freisetzungsvorverhalten von radioaktiven Stoffen.
Abfallmatrix:	Ausgehärtetes Fixierungsmittel, in dem radioaktiver Abfall fixiert ist.
Abfallprodukt:	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung oder unverarbeiteter radioaktiver Abfall in einem Behälter verpackt.
Abfallproduktgruppe:	Abfallproduktgruppe mit vergleichbarem Freisetzungsvorverhalten von radioaktiven Stoffen.
Abfallverarbeitung:	Abfallvorbehandlung und Abfallbehandlung.
Abfallvorbehandlung:	Vorstufen der Abfallbehandlung (z. B. Kalzinieren, Konzentrieren, Verbrennen).
Abgaberate von Aktivität:	Quotient aus der Aktivität der in einer Zeiteinheit abgeleiteten radioaktiven Stoffe und dieser Zeiteinheit.
Ableitung radioaktiver Stoffe:	Abgabe flüssiger, aerosolgebundener oder gasförmiger radioaktiver Stoffe aus der Anlage auf hierfür vorgesehenen Wegen.
Abluft:	Die aus einem Raum abgeführte Luft.

Abschirmung:	Vorrichtung, die eine Quelle ionisierender Strahlung umgibt, um das Umfeld vor dieser Strahlung zu schützen.
Abstandsgeschwindigkeit:	Tatsächliche Geschwindigkeit des strömenden Grundwassers in porösen Gesteinen
Abteufen:	Herstellen eines seigeren Grubenbaus wie Schacht oder Bohrloch mit unterschiedlichen Verfahrenstechniken, wie Sprengarbeit oder Bohren.
Abwasser:	Wasser aus der Anlage, das zur Ableitung bestimmt ist oder abgeleitet worden ist.
Abwerfen:	Außenbetriebsetzen von Grubenbauen, die nicht mehr benötigt werden.
Abwetter:	Wetterstrom hinter einem untertägigen Betriebspunkt bis zum Ausziehschacht.
Äquivalentdosis:	Produkt aus der Energiedosis und dem Bewertungsfaktor. Die Einheit ist das Sievert (Sv) (1 Sv = 1 J/kg).
Aerosol:	Schwebefähige, feinste Verteilung eines flüssigen oder festen Stoffes in gasförmigen Medien.
Aktivierung:	Vorgang, durch den ein Material durch Beschuß mit Neutronen, Protonen oder anderen Teilchen radioaktiv gemacht wird.
Aktivität:	Anzahl der in einem Zeitintervall auftretenden Kernumwandlungen eines Radionuklids oder Radionuklidgemisches dividiert durch die Länge des Zeitintervalls. Die Einheit ist das Becquerel (Bq). Ein Becquerel ist die Anzahl der radioaktiven Zerfälle innerhalb einer Sekunde (früher Curie; 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq).
Aktivität, spezifische:	Aktivität je Masseneinheit.
Aktivitätskonzentration:	Aktivität je Volumeneinheit.
Alter Mann:	Verlassener, abgesperrter, versetzter oder zu Bruch geworfener Grubenbau oder -raum.
Alphastrahlung:	Emission von aus zwei Neutronen und zwei Protonen bestehenden Alphateilchen, die beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids entstehen. Dabei nimmt die Ordnungszahl um zwei Einheiten und die Massenzahl um vier Einheiten ab.
Ankerausbau:	Vorgefertigte Stahlstangen, die in Bohrlöcher eingebracht und befestigt werden und zum Zusammendübeln von Gebirgsschichten dienen.
Anlage, kerntechnische:	Anlage zur Erzeugung oder zur Spaltung oder Aufarbeitung von Kernbrennstoffen oder zur Verwahrung, Bearbeitung, Verarbeitung oder sonstigen Verwendung von Kernbrennstoffen.

Anschlag:	Haltepunkt einer Schachtförderanlage zum Übergang auf eine Sohle oder Teilsohle.
Anstehen:	Vorhandensein von Lagerstättenteilen oder Gestein im festen Gebirgsverband.
Antagonismus:	Zusammenwirken von Substanzen und Faktoren, die sich gegenseitig abschwächen.
Audit:	Stichprobenweise oder periodische Prüfung der Anwendung und Wirksamkeit festgelegter organisatorischer Maßnahmen.
Auffahren:	Herstellen einer söhigen oder geneigten Strecke oder eines Grubenbaus.
Aufhauen:	Im Einfallen der Lagerstätte steigend aufgefahrener Grubenbau.
Aufschließen:	Herstellen des Zuganges zur Lagerstätte durch Grubenbaue der Ausrichtung.
Ausbau:	Sammelbegriff für alle Mittel, die zum Offenhalten und Sichern von Grubenbauen in diese eingebracht werden, z. B. Ankerausbau mit Maschendraht.
Ausbiß:	Siehe Ausstrich.
Ausbreitungsrechnungen:	Berechnung der Auswirkungen der Abgabe von Radioaktivität mit der Abluft unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse am Standort.
Auskeilen:	Allmähliches Dünnerwerden einer Gesteinsschicht.
Auslegungserdbeben:	Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität, das unter Berücksichtigung einer näheren Umgebung des Standortes (50 km Umkreis) in der Vergangenheit aufgetreten ist.
Auslegungsstörfall:	Störfall im Sinne des § 28 Abs. 3 Satz 4 der Strahlenschutzverordnung.
Ausrichtung:	Herstellen von Grubenbauen zur Erschließung einer Lagerstätte für den späteren Abbau.
Ausrüstung, maschinelle:	Maschinen und Fahrzeuge im konventionellen Bereich des Endlagerbergwerks.
Außenluft:	Die aus der Umgebung angesaugte Luft.
Ausstrich (Ausgehendes, Ausbiß):	Schnitt eines Gesteinskörpers mit der Erdoberfläche.
Ausziehschacht:	Abwetteröffnung einer Grube.
Bank:	Kompakte, mächtige Gesteinsschicht.
Barrieren:	Hindernisse zwischen den Quellen ionisierender Strahlung und der Biosphäre.

Barrieren, geologische:	Geologische Gegebenheiten zur Verhinderung von unzulässigen Freisetzen von radioaktiven Stoffen (z. B. Endlagerformation, Nebengestein, Deckgebirge).
Barrieren, technische:	Technische Maßnahmen zur Verhinderung unzulässige Freisetzen von radioaktiven Stoffen (z. B. Abfallprodukt, Verpackung, Versatz, Schachtverschluß).
Bauwürdigkeit:	Wertmaßstab für die Wirtschaftlichkeit der Gewinnung eines Minerals.
Begleitpapiere:	Alle mitzuführenden Papiere, insbesondere Abfalldatenblatt und Lieferschein von Abfallgebinden gemäß Endlagerungsbedingungen.
Begleitschein:	Siehe Lieferschein.
Begutachtung:	Eine von der zuständigen Behörde gegebenenfalls unter Hinzuziehung von Sachverständigen durchgeführte Beurteilung der Antragsunterlagen.
Bentonit:	Quellfähiger Ton mit einem hohen Gehalt an Montmorillonit.
Berauben:	Herunterreißen loser Gesteinsschalen von der Ortsbrust, der Firste oder den Stößen, um die Gefährdung durch Steinfall zu verringern.
Bereißen:	Siehe Berauben.
Berg:	Geneigte Strecken im Gestein oder im Flöz.
Berge:	Bei der Auffahrung anfallendes taubes (nichthaltiges) Gestein.
Betastrahlung:	Emission von Elektronen positiver oder negativer Ladung, die beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids entstehen.
Betrieb, anomaler:	Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebs sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen.
Betrieb, bestimmungsgemäßer:	Der bestimmungsgemäße Betrieb umfaßt 1) Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist (Normalbetrieb); 2) Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebs sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen (anomaler Betrieb); 3) Instandhaltungsvorgänge (Inspektion, Wartung, Instandsetzung).

Betriebsereignisse, vorhersehbare:	Alle Betriebsvorgänge, die vom Normalbetrieb abweichen und von denen zu erwarten ist, daß sie einmal oder mehrmals während der Lebensdauer der Anlage auftreten werden und die angesichts geeigneter Vorkehrungen in der Auslegung weder nennenswerten Schaden an sicherheitstechnisch wichtigen Teilen verursachen noch zu Störfallbedingungen führen.
Betriebshandbuch:	Enthält alle betriebstechnischen und sicherheitstechnischen Anweisungen an das Betriebspersonal.
Betriebsplanverfahren:	Verfahren zur vorgängigen Betriebsüberwachung. Nach dem Bundesberggesetz (BBergG) darf ein Bergbaubetrieb nur aufgrund vorher von der Bergbehörde zugelassener Betriebspläne geführt werden.
Betriebspunkt:	Arbeitsplatz im Untertagebetrieb, an dem bergmännische Arbeiten durchgeführt werden (Streckenvortrieb, Abbau, Kippstelle usw.).
Bewetterung:	Planmäßige Versorgung der Grubenbaue mit frischer Luft.
Bilanzierung:	Identifizierung und Aktivitätsbestimmung von Radionukliden oder Radionuklidgruppen und deren Vergleich mit den zugehörigen Genehmigungswerten.
Biosphäre:	Gesamtheit des von Lebewesen besiedelten Teils der Erde.
Bituminierung:	Fixierung von radioaktivem Abfall in einer Bitumenmatrix.
Bobine:	Seilträger einer Fördermaschine, die als Förderseil ein Flachseil benutzt. Das Flachseil hat keinen Drall und kann übereinanderliegend aufgewickelt werden.
Brandlast:	Verbrennungswärme der in einem Raum bzw. Abschnitt enthaltenen Brandgüter.
Brecher:	Maschine zur Zerkleinerung des Haufwerks, um die für den Betriebszweck erforderlichen Korngrößen des Gesteins herzustellen.
Brekzie:	Verfestigtes Trümmergestein, aus eckigen Bruchstücken.
Brennelement:	Spaltstoff enthaltendes Bauteil, das beim Laden und Entladen eines Reaktors eine Einheit bildet.
Brennstab:	Ein beidseitig verschlossenes, mit Kernbrennstoff gefülltes Metallrohr.
Brennstoffkreislauf:	Verfahrensstufen bei der Versorgung und Entsorgung von Kernreaktoren mit Kernbrennstoff, bestehend aus Uranbergbau, Brennstoffanreicherung, Fertigung der Brennelemente, Wiederaufarbeitung, Brennelementlagerung und Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Bunker:	Grubenräume im Bergbau unter Tage oder betriebliche Einrichtungen, die vorwiegend zur Speicherung von Haufwerk und zum Ausgleich von Fördergutmengenschwankungen eingesetzt werden.
Calmen:	Windgeschwindigkeiten von weniger als 1 Knoten/h = 0,51 m/s.
Crush/Impact:	Quetsch- oder Penetrationsbelastung der Abfallgebinde.
Deckgebirge:	Eine Lagerstätte überdeckende Gebirgsschichten.
Dekontamination:	Säuberung der Oberfläche nicht radioaktiver Gegenstände, die mit radioaktiven Teilchen behaftet sind, mit chemischen oder physikalischen Verfahren (z. B. Abwaschen oder Reinigung mit Chemikalien). Dekontamination von Stoffströmen wie Luft oder Wasser wird mit Filtern bzw. Verdampfen und Ausfällen durchgeführt.
Denudation:	Flächenhafte Abtragung der Erdoberfläche durch Wasser, Wind u. a.
Diagenese:	Verfestigung lockerer Sedimente zu Festgesteinen, z. B. Sand zu Sandstein.
Diapirismus:	Durchdringung der überlagernden Schichten durch Gesteinsmassen, insbesondere durch Steinsalz, infolge seiner höheren Plastizität und seiner geringeren Dichte.
Dichtheit:	Ein Behälter gilt als dicht, wenn mit dem gewählten Prüfverfahren und der erforderlichen Prüfempfindlichkeit bzw. der dem Verfahren entsprechenden Nachweisempfindlichkeit das Durchtreten des Prüfmediums von einem Raum in den anderen oder nach außen nicht nachgewiesen werden kann.
Dichtigkeit:	Siehe Dichtheit.
Diffusor:	Trichterförmig erweitertes Rohr zur allmählichen Verzögerung der Abwetter, um eine Verwirbelung der Strömung und damit Strömungsverluste zu verhindern.
Dokumentation:	Systematische Zusammenstellung von Unterlagen.
Dosimeter:	Instrument zur Messung der Ionendosis, Energiedosis oder Äquivalentdosis.

Dosis:	Strahlenenergie, die bei der Wechselwirkung einer ionisierenden Strahlung mit Materie an diese abgegeben wird. Die verschiedenen Strahlungsarten unterscheiden sich durch ihre biologische Wirksamkeit. Um dieser verschiedenen Wirksamkeit Rechnung zu tragen, multipliziert man die Energiedosis mit einem Bewertungsfaktor und erhält so ein neues Maß für die Dosis, die man als Äquivalentdosis (Röntgenäquivalent) für den Menschen bezeichnet und durch die Abkürzung Sv (Sievert) charakterisiert, (früher rem) "roentgen equivalent man", 1 rem = 1000 mrem, 1 rem = 0,01 Sv.
Dosis, effektive:	(Kurzbezeichnung für effektive Äquivalentdosis) Summe der nach Anlage X Tabelle X 2 der StrlSchV gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben.
Dosisleistung:	Quotient aus der Dosis und der Zeit.
Durchlässigkeitsbeiwert:	Größe, welche den Widerstand eines vom Wasser durchflossenen porösen Gesteins beschreibt.
Dynamometamorphose:	An Störungszonen gebundene Metamorphose, die lokal zum Bruch und damit zur Zerstörung der Minerale und ihres Gefüges führt.
Effekte, synergistische:	Wirkungsverstärkungen, infolge des Zusammenwirkens von Substanzen oder Faktoren.
Einbinden:	Einbettung von festem, nicht formstabilem radioaktivem Abfall in ein Fixierungsmittel (z. B. Asche, Pulver, Granulat).
Eindunstung, isotherme:	Verdunstung von Wasser bei gleichbleibender Temperatur.
Eindunstung, statische:	Kontinuierliche Eindunstung eines bestimmten Meerwasser-Volumens ohne Zufuhr von frischem Meerwasser bei dem Konzentrationsvorgang und ohne Abfluß konzentrierter Lösungen in den offenen Ozean.
Einfallen:	Neigungswinkel einer Gebirgsschicht gegen die Horizontalebene nach Größe und Richtung.
Einlagerungseinheit:	Container oder von der Tauschpalette abgenommene Abfallgebinde, welche in der Einlagerungskammer eingelagert werden.
Einlagerungsfeld:	Begrenzter Bereich im Grubengebäude, in dem mehrere Einlagerungskammern in festgelegten Abständen zueinander aufgefahren sind, die für die Einlagerung radioaktiver Abfälle genutzt werden.
Einlagerungskammer:	Für die Endlagerung radioaktiver Abfälle hergestellter Grubenbau mit ca. 40 m ² Querschnitt.

Einlagerungsstelle:	Endlagerstelle der Einlagerungseinheit.
Einrichtung, maschinelle:	Maschinen und Fahrzeuge im Kontroll- bereich des Endlagerbergwerks.
Einstriche:	In Schächten horizontal angeordnete Einbauten zur Unterteilung der Schachtscheibe in Trume und zur Be- festigung von Spurlatten.
Einwirkungsstelle, ungünstigste:	Stelle in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung, bei der auf Grund der Ver- teilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt unter Berücksichti- gung realer Nutzungsmöglichkeiten durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort er- zeugter Lebensmittel die höchste Strah- lenexposition der Referenzperson zu er- warten ist.
Einziehschacht:	Schacht, durch den Frischwetter in das Grubengebäude einziehen.
Emission:	Aussendung, Ausstrahlung, Ausströmen.
Endlagerung:	Wartungsfreie, zeitlich unbefristete und sichere Beseitigung von radioaktivem Abfall ohne beabsichtigte Rückholbarkeit.
Endlagerungsbedingungen:	Unter Berücksichtigung von standort- spezifischen Gegebenheiten festgelegte Anforderungen an endzulagernde Abfall- gebinde.
Energiedosis:	Quotient aus der Energie, die durch ion- isierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit ist das Gray (Gy) (1 Gy=1 J/kg).
Entladekammer:	Umladestelle zwischen Transportwagen und Stapelfahrzeug.
Entsorgung, integrierte:	Entsorgungskonzept mit getrennten Standorten für Wiederaufarbeitung, MOX- Brennelement-Fertigung und Endlagerung.
Entwässerung:	Entzug des freien Wassers aus wasserhal- tigem radioaktivem Rohabfall bis zu einem Restfeuchtegehalt.
epirogen:	Großräumige, tektonische Vorgänge inner- halb der Erdkruste, die über lange geolo- gische Zeiten andauern und die das Ge- steinsgefüge intakt lassen.
Epizentrum:	Senkrecht über einem Erdbebenherd an der Erdoberfläche liegende Stelle.
Erdkruste:	Äußerer Teil des Planeten Erde, welcher der geologischen Forschung bevorzugt zugänglich ist.
Erosion:	Abtragung der Erdkruste durch Wasser, Wind usw.

Ersatzstromanlage:	Vom Versorgungsnetz unabhängige, bei Ausfall des Netztromes sich selbsttätig einschaltende Stromquelle zur Beleuchtung der Rettungswege und zum Betrieb notwendiger technischer Anlagen.
Evaporite:	Aus wässrigen Lösungen durch starke oder vollständige Verdunstung des Lösungsmittels Wasser gebildete Minerale und Gesteine.
Exploration:	Maßnahmen zum Aufsuchen einer Lagerstätte oder zur Ermittlung der Gesteinseigenschaften und Lagerungsverhältnisse eines geologischen Körpers.
Expositionspfad:	Weg der radioaktiven Stoffe von der Ableitung aus einer Anlage oder Einrichtung über einen Ausbreitungs- oder Transportvorgang bis zu einer Strahlenexposition des Menschen.
Fahrung:	Fortbewegung der Bergleute unter Tage.
Fallout:	Radioaktives Material, das - z. B. nach einer Kernexplosion - bei trockener Wetterlage auf die Erde zurückfällt.
Fazies:	Gesamtheit der gesteinskundlichen und paläontologischen Merkmale einer Ablagerung.
Feld:	Raum, innerhalb dessen einem Bergwerkseigentümer das alleinige Recht zum Aufsuchen und zur Gewinnung eines Minerals zusteht. Allgemein gebräuchlicher Begriff zur betrieblichen Orientierung innerhalb eines Grubengebäudes.
Feste:	Zwischen Grubenräumen stehend bleibender Lagerstättenteil, der den Zusammenhang des Gebirges gewährleistet und nicht abgebaut wird.
Festkörperdosimeter:	Strahlendetektor, bei dem festkörperphysikalische Veränderungen das Vorhandensein von ionisierender Strahlung anzeigen.
Filtergeschwindigkeit:	Verhältnis der Wassermenge je Zeiteinheit zu dem durchflossenen Filterquerschnitt.
Firste:	Obere Grenzfläche eines Grubenbaus.
Fixierung:	Verfestigen, Einbinden oder Vergießen von ggf. vorbehandeltem radioaktivem Abfall.
Fixierungsmittel:	Material zur Fixierung von radioaktivem Abfall (z. B. Glas, Zement/Beton, Bitumen, Kunststoff).
fluviatil:	Von fließendem Wasser bewirkt oder fortgetragen, abgelagert bzw. angereichert.
Formation:	Einheit genetisch zusammengehöriger Gesteine, früher nur im stratigraphischen Sinne verwendet.

Formationswässer:	In Gesteinsschichten gespeicherte wässrige Lösungen aus der geologischen Vergangenheit.
Fortluft:	An die Umgebung abgeführte Abluft.
Fossil:	Allgemeiner Begriff für "Überlieferung" (z. B. Grundwasser) aus der geologischen Vergangenheit. Gegensatz: rezent.
Freimeßung (Freigabemessung):	Messung der Dosisleistung bzw. Kontamination von Personen und Gegenständen zum Zwecke des Nachweises der Einhaltung von Grenzwerten an Strahlungsschutzbereichsübergängen.
Freisetzung:	Entweichen von radioaktiven Stoffen aus einem durch eine oder mehrere Barrieren begrenzten Bereich (z. B. aus Abfallprodukt, Abfallgebinde, Einlagerungskammer, Endlager).
Freisetzungsszenarium:	Beschreibung eines Vorgangs, der zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen führen kann einschließlich des Freisetzungsweges.
Füllort:	Übergangsbereich vom Schacht zum Grubengebäude.
Gammastrahlung:	Hochenergetische, kurzwellige Strahlung, die von einem Atomkern ausgestrahlt wird. Sie tritt häufig zusammen mit der Alpha- und Betastrahlung und immer zusammen mit der Kernspaltung auf, da sich die entstehenden Kerne in einem energetisch angeregten Zustand befinden können und erst durch Aussenden eines oder mehrerer Gammaquanten bestimmter Energie in den Grundzustand übergehen. Auch beim Einfang eines Elektrons aus der K-Schale oder bei einer inneren Konversion an der K-Schale wird hochenergetische, kurzwellige Strahlung (charakteristische Röntgenstrahlung) ausgesandt.
Ganzkörperdosis:	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers.
Garantiewerte:	Aktivitätswerte, bei deren Einhaltung pro Abfallgebinde an die Abnahme derartiger Abfälle aus der Sicht des bestimmungsgemäßen Betriebes keine weiteren Bedingungen geknüpft werden.
Gebirgsdruck, lithostatischer:	Druck, den das darüberliegende Gestein in einer bestimmten Tiefe ausübt.
Gefäßförderung:	Schachtförderung, bei der das Haufwerk in Fördergefäßen (Skips) zutage gefördert wird.
Geleucht:	Bergmännischer Sammelbegriff für die im Untertagebetrieb verwendeten Beleuchtungseinrichtungen.

Geochronologie:	Bestimmung des Alters geologischer Ereignisse sowie von Mineral- und Gesteinsbildungen.
Gesteine, künstliche:	Sammelbegriff für kristalline Verbindungen, in deren Kristallstrukturen Radionuklide fixiert werden sollen.
Gesteine, magmatische:	Durch die Kristallisation von Mineralen aus einer Schmelze entstandenes Gestein.
Gesteine, metamorphe:	Durch Druck- und Temperaturerhöhung sowie durch Einwirkung mobiler Phasen auf bereits vorhandene Magmatite und Sedimente entstandenes Gestein.
Gesteine, sedimentäre:	Durch die Ablagerung von Verwitterungsprodukten sowie durch Mineralbildungen aus eindunstenden Salzlösungen (z. B. Meerwasser) entstandenes Gestein.
Gestellförderung:	Schachtförderung, bei der Förderwagen im Förderkorb zutage gefördert werden.
Gleisförderereinrichtung:	Einrichtung zum Verschieben der Plateauwagen, zwischen den Schienen angeordnet.
Gleitsicherung:	Auf Waggon- und Lkw-Ladefläche angeordnete Verschiebesicherung der Transporteinheiten.
Gonadendosis:	Dosis der Keimdrüsen (Hoden bzw. Eierstöcke). Die mittlere Gonadendosis der Bevölkerung ist relevant für das genetische Risiko (Mutationen) der Bevölkerung.
Großbohrloch:	Bohrloch von mehr als 65 mm Durchmesser.
Grubenbau:	Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum unter Tage.
Grubengebäude:	Sammelbegriff für alle bergmännisch hergestellten Hohlräume eines Bergwerks.
Grubenwasser:	Dem Grubengebäude zufließende Wässer unterschiedlicher Herkunft.
Hängebank:	Bühne, von der aus bei Seilfahrt das Fördermittel betreten werden kann.
Halbwertszeit:	Charakteristisches Zeitintervall, in dem die Aktivität eines Nuklids auf die Hälfte abfällt.
Halokinese:	Verformungsvorgänge, die auf Dichteunterschiede zwischen Evaporiten einerseits sowie dem Deckgebirge und Nebengestein andererseits zurückzuführen sind.
Halotektonik:	Bewegungen von Salz, die auf tektonische Vorgänge zurückgeführt werden können.
Hangendes:	Das eine Bezugsschicht überlagernde Gestein.
Haufwerk:	Bergmännisch gewonnenes Gestein.

Hauptgrubenlüfter:	Für die Bewetterung benötigter Lüfter, der den Gesamtwetterstrom aufrecht erhält.
Heiße Werkstatt:	Werkstatt, die bestimmungsgemäß zur Bearbeitung von solchen radioaktiven Teilen vorgesehen ist, mit denen aufgrund einer Genehmigung nach § 3 der Strahlenschutzverordnung umgegangen werden darf.
Höhenstrahlung:	Verschiedenartige Strahlung, die direkt oder indirekt aus Quellen außerhalb der Erde herröhrt. Sie ist Teil des natürlichen Strahlungspiegels.
Immission:	Einwirkung von Luftverunreinigungen, Schadstoffen, Lärm, Strahlen u. ä. auf Menschen, Tiere und auf die Vegetation.
Individualdosis:	Ganz- oder Teilkörperfosis, die von einer Person akkumuliert wird.
Ingestion:	Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Organismus durch Nahrungsmittel.
Inhalation:	Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Organismus durch Einatmen.
Injektion:	Injizieren oder Einpressen von Kunstharzen, Zementmilch oder Magnesiabinder mittels Bohrlöcher in z. B. durch Gebirgsdruck oder Sprengarbeit aufgerissene Gebirgsschichten.
Inkorporation:	Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Organismus (Körper).
Innenbehälter:	Behälter zur Aufnahme von Abfallprodukten, der in Abfallbehälter eingesetzt wird.
Intensität:	Maß für die lokalen makroseismischen Wirkungen eines Erdbebens an der Erdoberfläche auf Menschen, Bauwerke und die Landschaft. Zur Klassifizierung wird die 12stufige Skala MSK 1964 (MEDVEDEV, SPINHEUER, KARNIK) verwendet. Eine Kurzcharakteristik dieser Skala siehe 5.2-26.
Intrusion:	Vorgang, bei dem Magma zwischen die Gesteine der Erdkruste eindringt und erstarrt.
Isotope:	Atome derselben Kernladungszahl, jedoch unterschiedlicher Neutronenzahl.
Kammer:	Abbauraum von meist rechteckigem Grundriß mit großen Abmessungen. Zwischen den Kammern bleiben Bergfesten oder Pfeiler zum Schutz der Kammer bzw. der Lagerstätte stehen.
Kammer-Pfeilerbau:	Abbauverfahren mit kammerartiger Bauweise.
Kategorisierung:	Einteilung des radioaktiven Abfalls nach Herkunft, Behälter, Fixierung und Abfallart.

Kaue:	Wasch- und Umkleideraum.
Kernbrennstoffe:	Spaltbare Materialien in Form von Uran als Metall, Legierung oder chemischer Verbindung (einschließlich natürlichen Urans), Plutonium als Metall, Legierung oder chemische Verbindung.
Kettenkratzerförderer:	Meist im Abbaubereich eingesetzte Förderer, die das Fördergut mittels an Ketten befestigten Kratzern in einer Förderrinne bewegen.
Klassifizierung:	Qualitative Einteilung des radioaktiven Abfalls, z. B. auf der Basis des Radioaktivitätsinventars. Ältere gebräuchliche Bezeichnung: schwach-, mittel- und hochradioaktiver Abfall.
Klima:	Einwirkung der Umgebungsbedingungen auf den menschlichen Organismus (Trocken-temperatur, Feuchttemperatur, Wettergeschwindigkeit, Wärmestrahlung).
Klüfte:	Im Gebirge durch tektonische Vorgänge entstandene Risse.
Kodierung:	Kennzeichnung des kategorisierten radioaktiven Abfalls, z. B. mit Kennbuchstaben und Kennziffern.
Koepemaschine:	Fördermaschine, bei der die Förderseile über die Treibscheibe zu den an den Förderseilen sich befindenden Fördergestellen geführt werden.
Kollektiv-äquivalentdosis:	Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Äquivalentdosis. Die Einheit ist das man-Sievert (früher manrem).
Kompaktierung:	Zusammenpressen von festem radioaktiven Abfall zu Preßlingen.
Kompartiment:	Teilsystem mit definierten Schnittstellen zur Umgebung.
Konditionierung:	Herstellung von Abfallgebinden durch Verarbeitung bzw. Verpackung von radioaktivem Abfall.
Konglomerat:	Verfestigtes, grobkörniges Ablagerungsgestein aus abgerundeten Gesteinstrümmern entstanden.
Kontamination:	Durch radioaktive Stoffe verursachte Verunreinigung
Kontaminationsmeßplatz:	Stelle in der Umladehalle zur Ermittlung der Oberflächenkontamination an den Abfallgebinden.

Kontrollbereich:	Bereiche, in denen Personen infolge des Umgangs mit radioaktiven Stoffen oder des Betriebs von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen durch äußere oder innere Strahlenexposition im Kalenderjahr höhere Körperdosen als die Grenzwerte der Anlage X Tabelle X 1 Spalte 3 der StrlSchV bei einem Aufenthalt von 40 Stunden je Woche und 50 Wochen im Kalenderjahr erhalten können.
Konvergenz:	Natürlicher Prozeß der Volumenreduzierung von untätigten Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung aufgrund des Gebirgsdrucks.
Kristallwasser:	In der Kristallstruktur einer Verbindung fixiertes Wasser.
Kritikalität:	Ein Spaltstoffsystem ist kritisch, wenn die Zahl der durch Spaltung erzeugten Neutronen gleich oder größer ist als die Zahl der durch Kernreaktionen absorbierten Neutronen und das System damit den Zustand einer sich selbst unterhaltenden Kettenreaktion erreicht. Die Kenngröße für die Kritikalität ist der infinite Multiplikationsfaktor K_{∞} . Ein Spaltstoffsystem ist unterkritisch, wenn $K_{\infty} < 1$ ist.
Kunststofffixierung:	Fixierung von radioaktivem Abfall in einer Kunststoffmatrix.
Lagerstätte:	Anreicherungszonen von mineralischen Rohstoffen im Bereich der Erdkruste.
Lagerung:	Räumliche Anordnung von Gesteinskörpern.
Leckagerate:	Siehe Leckrate
Leckrate:	Die Menge des Prüfmediums, die infolge einer Druckdifferenz in einer bestimmten Zeit durch die Lecks eines Behälters strömt.
Leichtwasserreaktor:	Kernreaktoren, die natürliches Wasser H_2O zur Bremsung (Moderierung) von schnellen Neutronen und zur Wärmeabfuhr benutzen; im Gegensatz dazu stehen z. B. Schwerwasserreaktoren, die mit schwerem Wasser D_2O (Deuterium) arbeiten. Je nach Bauart unterscheidet man Druckwasserreaktoren (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR).
Leittechnik:	Führung technischer Prozesse mit den Mitteln der Steuerung und Regelung.
LHD-Verfahren:	Bezeichnung für ein Arbeitsverfahren, bei dem gummitbereifte Diesel- Fahrlader Haufwerk an einer Stelle aufnehmen (engl.: Load), zu einer Abwurfstelle fördern (engl.: Haul) und dort in einen Bunker oder ein Rolloch abwerfen (engl.: Dump).

Lieferschein:	Datenblatt mit beförderungsrelevanten Angaben über Abfallgebinde.
Liegendes:	Das eine Bezugsschicht unterlagernde Gestein.
Lock-up:	Bei eingeschaltetem Lock-up wird der Dieselmotor mit dem Lastschaltgetriebe starr verbunden.
Löslichkeit, inkongruente:	Komponenten einer chemischen Verbindung (Mineral) werden nicht entsprechend ihren Massenanteilen (stöchiometrischen Verhältnissen) in die Lösungsphase überführt.
Lösungsmetamorphose:	Mineralumbildungen und -reaktionen in Gegenwart von Lösungen. Verbreitet in Salzablagerungen.
Luftpfad:	Der Pfad, auf dem in einer Anlage freigesetzte, radioaktive Stoffe in die Atmosphäre gelangen (z. B. Diffusor) und sich dort unter entsprechender Verdünnung ausbreiten.
Lutte:	Rohr zum Leiten eines Teilwetterstromes.
Magnitude:	Logarithmisches Maß der von einem Beben freigesetzten seismischen Wellenenergie. Sie wird aus seismischen Registrierungen abgeleitet. Man unterscheidet (abhängig vom Frequenz - bzw. Periodenbereich) die Magnitudenarten: Oberflächenwellen-Magnitude MS, Raumwellen-Magnitude MB, Lokalbeben-Magnitude ML.
Markscheide:	Begrenzung eines Grubenfeldes.
Markscheider:	Konzessionierter Vermessungsingenieur eines Bergwerksbetriebes.
Mehrbarrierensystem:	Kombination von geologischen und technischen Einzelbarrieren. Durch einzelne oder die Summe der Barrieren muß sichergestellt werden, daß nach menschlichem Ermessen keine unzulässige Freisetzung von radioaktiven Stoffen erfolgt.
Metamorphose:	Unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen sowie auch in Gegenwart von Lösungen stattfindende Mineralumbildungen in Gesteinen.
Migration:	Bewegung von Wasser, Lösungen, Öl und Gas durch poröse und permeable Gesteine sowie Gesteinsschichten.
Migration von Radionukliden:	Wanderung von Radionukliden z. B. in Gesteinsschichten.
Mikropaläontologie:	Beschäftigt sich speziell mit den mikroskopisch kleinen Tierresten vergangener, geologischer Zeiten, im Hinblick auf deren altersmäßige Datierung.
Mineralassoziation:	Miteinander verwachsene bzw. nebeneinander vorkommende Minerale in einem Gestein und Erz.

Mineralbildungen, metastabile:	Verbindungen, die nach ihrer Kristallisation aus Salzlösungen nicht stabil bleiben und sich bald in Minerale mit anderer chemischer Kristallstruktur umwandeln.
Mineralbildungen, stabile:	Verbindungen, die in ihrer chemischen Zusammensetzung unter den entsprechenden Gleichgewichtsbedingungen (Druck, Temperatur, Lösungen) beständig sind.
MOX-Brennstoff:	Mischoxid-Brennstoff; Mischung von UO_2 und PuO_2 . Verwendung in Leichtwasserreaktoren möglich.
Muten:	Antrag an die Bergbehörde auf Verleihung eines Grubenfeldes.
Mutternuklid:	Erstes Glied einer Zerfallsreihe.
Mylonit:	Feinkörniges Gesteinszerreibsel unterschiedlichen Verfestigungsgrades, das durch mechanische Zerstörung bei Bewegungen entsteht, z. B. entlang von tektonisch bedingten Störungszonen.
Nachbetriebsphase:	Zeitraum nach der Stilllegung des Endlagerbergwerks.
Nahrungskette:	Beziehung zwischen Organismen, bei denen das folgende Glied vom Verzehr des vorhergehenden lebt.
Naßveraschung:	Oxidativer Abbau von brennbarem radioaktivem Abfall in wässriger Lösung.
Nebengesteine:	Im Hangenden und Liegenden einer Lagerstätte unmittelbar angrenzendes Gestein.
Nuklid:	Atome bestehen aus Kern und Hülle; die Bestandteile des Kernes - Neutronen und Protonen - werden als Nukleonen bezeichnet; unterschiedliche Anzahl von Protonen und Neutronen ergeben die Atomarten, die als Nuklide bezeichnet werden.
Onkoide:	Rundliche Körner mit anorganischem oder organischem Kern, umgeben von einer meist organogen gebildeten Schale.
Oolith:	Aus zahlreichen Ooiden zusammengesetztes Gestein. Als Ooid wird ein kugelförmiger Partikel aus Kalk oder anderen Stoffen bezeichnet, bei dem sich um einen Kristallisationskern konzentrische Schalen abgeschieden haben.
Orbitrol:	Hydraulische Lenkhilfe.
Ort, vor Ort:	Arbeitsplatz, an dem ein bergmännischer Hohlraum erstellt wird.
Ortsbrust:	Ende einer Strecke während der Auffahrung.
Ortsdosis:	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort.

Paläontologie:	Umfäßt sämtliche Wissenschaftszweige, die sich mit der Untersuchung der vorzeitlichen Tier- und Pflanzenwelt befassen. Mit Hilfe der in den Gesteinsschichten vorkommenden fossilen Lebewesen ist eine zeitliche Zuordnung dieser Schichten möglich.
Permeabilität:	Durchlässigkeit eines Gesteins für Flüssigkeiten und Gase, abhängig von der Querschnittsgröße und -form der einzelnen Fließkanäle, deren räumlichem Verlauf und ihrer gegenseitigen Verknüpfung.
Petrographie (Gesteinskunde):	Wissenschaftszweig, der sich mit der Zusammensetzung der Gesteine, ihrem natürlichen Vorkommen, ihrem Verhältnis zueinander und ihrer Bildung und Umbildung befaßt.
Pfeiler:	Für eine bestimmte Zeit zur Sicherheit von Grubenbauen oder der Tagesoberfläche stehend bleibender Lagerstättenteil, der später abgebaut werden kann.
Plateauwagen:	Nichtangetriebenes, gleisgebundenes Fahrzeug.
Pollenanalyse:	Zweig der Paläontologie, der sich mit dem Nachweis von Pollen in Gesteinsschichten und deren Interpretation befaßt.
Polytherme:	Graphische Darstellung der Salzkristallisation bei unterschiedlichen Temperaturen.
Porosität:	Das Gesamtvolumen eines Gesteins setzt sich aus dem Volumen der festen Bestandteile und dem Volumen der Hohlräume oder Poren im Gestein zusammen. Die Gesamtporosität ist definiert als das Verhältnis von Porenvolumen zu dem Gesamtvolume des Gesteins. Die effektive Porosität ist definiert als das Verhältnis des für die Grundwasserdurchströmung nutzbaren Porenvolumens zu dem Gesamtvolume des Gesteins.
Prall:	Stoß oder stoßartige Belastung von Abfallgebinden.
Preßling:	Mit hohem Druck ggf. in einer Metallkartusche oder -trommel zusammengepreßter fester radioaktiver Abfall.
Produktkontrolle:	Nachweis der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen von Abfallgebinden.
Proliferation:	Abzweigung von spaltbarem Material aus dem Brennstoffkreislauf für militärische Zwecke.
Prüfhandbuch:	Enthält alle Anweisungen zur Durchführung von Prüfungen und deren Dokumentation.

Qualifizierung:	Durch Erfahrung oder Prüfung nachzuweisende Befähigung oder Eignung einer Person, Organisation oder eines Verfahrens zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabenstellung.
Qualität:	Beschaffenheit, die ein Produkt oder eine Tätigkeit benötigt, um die vorgegebenen Anforderungen zu erfüllen.
Qualitätssicherung:	Einhaltung der Beschaffenheitsanforderungen.
Quellterm:	Mathematische Funktion, die die Freisetzung von radioaktiven Stoffen (z. B. aus Abfallprodukt, Abfallgebinde, Einlagerungskammer, Endlager) beschreibt.
Querschlag:	Etwa rechtwinklig zum Streichen der Lagerstätte aufgefahrene Strecke.
Radioaktivität:	Vorgang des spontanen, ohne äußere Einwirkung stattfindenden Zerfalls von Atomkernen, sogenannten Radionukliden. Radionuklide wandeln sich in andere Nuklide um, wobei eine charakteristische Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlung ausgesendet wird. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende natürliche Radionuklide als auch durch kernphysikalische Prozesse erzeugte Radionuklide.
Radioisotop:	Radioaktives Isotop eines chemischen Elements.
Radiolyse:	Veränderung in einem chemischen System durch die Einwirkung ionisierender Strahlung.
Radionuklid:	Instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemision zerfällt. Über 1 200 natürliche und künstliche Radionuklide sind bekannt.
Radionuklidinventar:	Radionuklide und entsprechende Aktivitäten, die z. B. in einem Abfallgebinde oder in einer Einlagerungskammer enthalten sind.
Radiotoxizität:	Auf der Wirkung ionisierender Strahlung im menschlichen Körper beruhende "Giftigkeit" eines Stoffes.
Radiotoxizitätsindex:	Maß für die Radiotoxizität eines Stoffes, z. B. in der Einheit "Jahre". Anschauliche Bedeutung: Verteilung der Inkorporation des Stoffes auf X Jahre derart, daß jährliche Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden.
Radon 222 - Gleichgewichtsfaktor (G):	Maß dafür, inwieweit in einem Gemisch aus Rn 222 und seinen kurzlebigen Folgeprodukten radioaktives Gleichgewicht vorliegt. In offenen Systemen, wie einer untertägigen bewetterten Strecke, liegt auch langfristig radioaktives Gleichgewicht nicht vor ($G<1$) im Gegensatz zu geschlossenen Systemen, z. B. einem abgeschlossenen, nicht belüfteten Kellerraum ($G=1$).

Rampe:	Befahrbare, überwiegend geradlinige Verbindung zwischen den Sohlen.
Rasenhängebank:	Schachtbereich im Niveau der Tagesoberfläche.
Redundanz:	Vorhandensein von gleichartigen und gleichzeitig funktionsbereiten technischen Systemen in einer größeren als zur Erfüllung der vorgesehenen Funktion notwendigen Anzahl.
Referenzabfall:	Kategorisierter und im Rahmen von Bandbreiten sicherheitsanalytisch überprüfter radioaktiver Abfall für dieendlagerung.
Reflexionsseismik:	Geophysikalische Methode zur Ermittlung von Tiefe und Lagerung von Gesteinschichten durch Reflexion künstlich zu der Erdoberfläche erzeugter Wellen an Schichtgrenzen des Untergrundes.
Regelwerk, konventionelles:	Rechtsvorschriften, Richtlinien und Regeln für die konventionelle und nicht speziell nuklearspezifische Sicherheitstechnik.
Rheologie:	Zweig der Mechanik, der sich mit dem realen Deformationsverhalten der Stoffe, (insbesondere unter Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit) unter der Einwirkung äußerer Kräfte befaßt.
Ressourcen:	Vorkommen von Rohstoffen, die in der Gegenwart wirtschaftliche Bedeutung haben oder in der Zukunft haben könnten.
Reststoff:	Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallende, nicht direkt verwertbare Stoffe.
Retarder:	Hydrodynamische Strömungsbremse.
Rezyklierung:	Rückführung eines Stoffes in einen (Brennstoff-) Kreislauf.
Richtstrecke:	Im Streichen der Lagerstätte aufgefahrenen Strecke.
Rift-Zone:	Senke von großer Länge, deren Absenkung an mehr oder weniger parallelen tektonischen Brüchen erfolgt (z. B. Oberrheintalgraben).
Röntgenfluoreszenz- analyse:	Methode zur Bestimmung von Elementgehalten in Proben durch induzierte Emission charakteristischer Röntgenstrahlung.
Rohabfall:	Unverarbeiteter radioaktiver Abfall.
Salzdiapir:	Siehe Salzstock.
Salzhang:	Unter der Erdoberfläche befindliche schräge Auflösungsfläche an den Rändern flach gelagerter Salzvorkommen.
Salzkissen:	Flache kuppelförmige Salzaufwölbung.

Salzmauern:	Lange, zum Teil über 1000 km zusammenhängende Gebilde, sogenannte Salzmauern. Wo im Untergrund besonders viel Salz vorhanden war, bildeten sich beim Salzaufstieg nicht mehr einzelne Salzstücke.
Salzspiegel:	Oberfläche diapirischer Salzkörper oder flach gelagerter Salzgesteine etwa parallel zum Grundwasserspiegel, entstanden durch flächenhafte Lösung des Salzsteins.
Salzstock (Salzdiapir, Salzdom):	Stockartige Salzmassen, die in Schwächezonen der Erdkruste aufsteigen und überlagernde Schichten durchbrechen.
Salztektonik:	Im Gegensatz zur Halokinese wird bei der Salztektonik das Salz als passives Medium verformt.
Schachthalle:	Gebäude um den Schacht.
Schachtscheibe:	Schachtquerschnitt mit Ausbau und Einteilung in die verschiedenen Trume.
Schäden, somatische:	Körperliche Schäden.
Schleichwetter:	Unkontrollierte Wetterströme durch abgeworfene Grubenbaue und den "Alten Mann".
Schleuderversatz:	Technik zum Einbringen des Versatzes mittels Bandschleudern.
schrämen:	Herstellen eines Schramms, d. h. eines Schlitzes parallel zur Lagerstättenebene mit Schrämmaschinen (schneidende Gewinnung).
seiger:	Senkrecht.
Seilfahrt:	Personenbeförderung im Schacht mit Hilfe der Schachtfördereinrichtungen.
Seismizität:	Häufigkeit und Intensität der Erdbeben einer Region.
Seitenstapelfahrzeug:	Fahrzeug zur Handhabung der Transporteinheiten zwischen Umladehalle und Pufferhalle.
Senkschachtverfahren:	Abteufverfahren in lockerem, auch wasserführendem Gebirge bis rund 30 m Teufe.
Sensitivitätsanalyse:	Analytisches Verfahren, das die Abhängigkeit einer Problemlösung von Änderungen der eingesetzten Daten untersucht.
Sicherheitsanalyse:	Berechnungen und Untersuchungen möglicher radiologischer Auswirkungen eines Endlagers im bestimmungsgemäßen Betrieb, in der Nachbetriebsphase und bei Störfällen.
Sicherheitserdbeben:	Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität, das unter Berücksichtigung einer größeren Umgebung des Standortes (200 km Umkreis) nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann.

Skyshine:	Rückstreuung der von einer Strahlenquelle ausgesandten Gamma- oder Neutronenstrahlung an der sie umgebenen Luftsicht.
söhlig:	Horizontal.
Sohle:	1. Gesamtheit der annähernd in einem Niveau aufgefahrenen Grubenbaue. 2. Untere Grenzfläche eines Grubenbaus.
Sonderbewetterung:	Versorgung von nicht durchschlägigen Grubenbauen mit Luft durch Lutten und Luttenlüfter.
Sorption:	Aufnahme eines Gases oder gelösten Stoffes durch einen anderen festen oder flüssigen Stoff.
Spallation:	Kernumwandlung, bei der ein energiereiches Geschoßteilchen aus dem getroffenen Atomkern zahlreiche einzelne Teilchen (Protonen, Neutronen) herausschlägt.
Spaltprodukte:	Nuklide, die durch Spaltung oder den nachfolgenden radioaktiven Zerfall der durch Spaltung direkt entstandenen Nuklide entstehen.
Spreader:	Übernahmeeinrichtung zum Anschlagen der verschiedene Transporteinheiten und der Lkw-Containerhauben.
Spurlatte:	Führungsschiene des Schachtfördermittels, z. B. Förderkorb, Fördergefäß.
Stapelfahrzeuge:	Fahrzeug zum Transport der Transporteinheit von der Entladekammer zur Einlagerungsstelle und zum Einlagern der Einlagerungseinheit.
Stapeltechnik:	Einlagerungstechnik radioaktiver Abfälle durch Stapeln der Abfallgebinde in Einlagerungskammern.
Störfall:	Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage auszulegen ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind.
Stoß (bergbaulich):	1. Angriffsfläche für die Gewinnung. 2. Die seitliche Begrenzungsfläche eines Grubenbaus.
Strahlenexposition:	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper. Äußere Strahlenexposition ist die Strahlenexposition durch Strahlenquellen außerhalb des Körpers, innere Strahlenexposition ist die Strahlenexposition durch Strahlenquellen innerhalb des Körpers.

Strahlenschutz:	Voraussetzungen und Maßnahmen zum Schutz des Menschen vor schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlen.
Strahlung, ionisierende:	Jede Strahlung, die direkt oder indirekt ionisiert, z. B. Alpha-, Beta-, Gamma-, Neutronenstrahlung.
Stratigraphie (Formationskunde):	Lehre von der Aufeinanderfolge der Gesteinsschichten und Formationen sowie deren altersmäßige Zuordnung.
Strecke:	Tunnelartiger Grubenbau, der nahezu söhlig aufgefahrene ist.
Streichen:	Richtung der Schnittlinie einer geologischen Fläche mit der Horizontalebene bezogen auf die Nordrichtung.
Submersion:	Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Organismus aus einer in Luft großräumig verteilten Quelle.
Subrosion:	Unter der Erdoberfläche stattfindende Auflösung von Salzgesteinen durch Grundwässer.
Synergismus:	Das Zusammenwirken von Substanzen oder Faktoren, die sich gegenseitig fördern.
syngenetisch:	Gleichzeitig mit ihrer Umgebung entstandene Bildungen.
Szenario:	Ausgewählter hypothetischer Ereignisablauf, der die Freisetzung radioaktiver Stoffe ermöglichen könnte.
Tauschpalette:	Wiederverwendbare Vorrichtung zur Beförderung von zylindrischen Abfallgebinden.
Teilschnittmaschine:	Vortriebsmaschine zum Auffahren von Grubenbauen mit abschnittsweiser Bearbeitung des Stoßes.
Tektonik:	Lehre vom Bau der Erdkruste und den Bewegungsvorgängen innerhalb der Krusten.
terrestrisch:	Bezeichnung für alle Vorgänge, Kräfte und Formen, die auf dem Festland vorkommen.
Teufe:	Tiefenlage unter der Tagesoberfläche.
Thermolumineszenzdosimeter:	Radiothermolumineszenz ist die Eigenschaft eines Kristalls, bei Erwärmung Licht auszusenden, wenn dieser vorher ionisierender Strahlung ausgesetzt war. Man nutzt zur Dosisbestimmung z. B. den Radiothermolumineszenzeffekt von Kalzium- oder Lithiumfluorid.
Tiefe:	Lage unter NN.
Tochternuklid:	Das beim radioaktiven Zerfall entstehende Nuklid. Es kann selbst radioaktiv sein und besitzt dann eine eigene charakteristische Strahlung und Halbwertszeit.

Toxizität:	Auf der chemischen Wirkung im menschlichen Körper beruhende "Giftigkeit" eines Stoffes.
Toxizitätsindex:	Maß für die Toxizität eines Stoffes, z. B. in der Einheit "Jahre". Vergleiche auch Radiotoxizitätsindex.
Transgression:	Vordringen des Meeres über größere Gebiete des Festlands.
Transportbehälter:	Wiederverwendbarer Behälter zum Transport von radioaktiven Stoffen.
Transporteinheit:	Container Typ I bis Typ VI und Tauschpalette mit Abfallgebinden.
Tritium:	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs (H 3) mit zwei Neutronen und einem Proton im Kern, das mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren zerfällt.
Trocknung:	Überführung von wasserhaltigem radioaktivem Rohabfall in ein festes Abfallprodukt durch thermischen Entzug von Wasser.
Trocknungsanlage:	Gebäude vor der Umladehalle zum Trocknen der eingehenden Waggons und Lkw.
Trum:	Teil der Schachtscheibe, z. B. Fördertrum.
Überhauen:	Im Erzbergbau von unten nach oben hergestellter Grubenbau.
Umladehalle:	Übernahmehalle der Transporteinheiten vom Wagon oder Lkw bzw. Übergabe der Tauschpalette an Wagon und Lkw.
Unterwerksbau:	Abbau unterhalb der tiefsten an einen Schacht angeschlossenen Fördersohle.
Veraschung:	Überführung (z. B. Verbrennung, Pyrolyse) von brennbarem radioaktivem Abfall in Asche.
Verfahrensqualifikation:	Nachweis, daß mit einem Konditionierungsverfahren Abfallgebinde mit Eigenschaften innerhalb der zulässigen Bandbreiten hergestellt werden.
Verfestigen:	Überführung von flüssigem oder flüchtigem radioaktivem Abfall in ein festes Abfallprodukt, z. B. mit Hilfe eines Fixierungsmittels.
Verfüllen:	Einbringen von Haufwerk geeigneter Korngröße in befüllte Einlagerungskammern und sonstige Grubenräume mit dem Ziel der Minimierung verbleibender Resthohlräume.
Vergießen:	Verfüllen von Hohlräumen in und zwischen festem, formstabilem radioaktivem Abfall, z. B. Schrott (incl. Vergießen z. B. von Innenbehältern oder Preßlingen im Abfallbehälter).

Verglasung:	Fixierung von radioaktivem Abfall in einer Glasmatrix.
Verhieb:	Art und Weise, in der der in Angriff genommene Lagerstättenteil in einem Bergwerk hereingewonnen wird.
Verpackung:	Gesamtheit der ein Abfallprodukt umschließenden nicht wiederverwendbaren Behälter.
Versandstück:	Versandfertige Verpackung mit radioaktivem Inhalt.
Versatz:	Verfüllgut für die Verfüllung der beim Abbau entstandenen bzw. Verringerung der nach der Einlagerung von radioaktiven Abfällen noch offenen Hohlräume.
Verschließen:	Abtrennung befüllter Einlagerungshohlräume gegen das offene Grubengebäude mit Dämmen.
Vorflut:	Natürliche (Fluß, Bach) oder künstlich geschaffene Möglichkeit (Kanal, Pumpwerk), zufließendes Wasser abzuführen.
Vorrichtung:	Auffahren von Grubenbauen zur Vorbereitung des Abbaus einer Lagerstätte.
Vortrieb:	Bergmännisches Auffahren von Hohlräumen.
Voruntersuchungen:	Im Zusammenhang mit einer Verfahrensqualifikation oder der Abfallverarbeitung erforderliche Untersuchungen, z. B. an Rohabfall und Fixierungsmittel.
Washout:	Aerosole, die durch Regen ausgewaschen werden.
Wasserhaltung:	Alle Maßnahmen und Einrichtungen, die dazu dienen, die Wässer in der Grube zu sammeln und nach über Tage zu heben.
Wendel:	Befahrbare Verbindung zwischen Sohlen, die den Höhenunterschied serpentinenartig oder spiralförmig überwindet.
Wetter:	Grubenluft.
Wetterabteilung:	Einheit von Grubenbauen, die wettertechnisch voneinander getrennt sind.
Wetterführung:	Planmäßige Lenkung der Wetter durch das Grubengebäude.
Wiederaufarbeitung:	Anwendung chemischer Verfahren, um aus verbrauchtem Kernbrennstoff nach seiner Nutzung im Reaktor die Wertstoffe - das noch vorhandene Uran und den neu entstandenen Spaltstoff Plutonium - von den Spaltprodukten, den radioaktiven Abfällen, zu trennen.
Wipper:	Kippvorrichtung für Förderwagen.
Wischtest:	Dient zum Feststellen von Kontamination an Gegenständen.

Zechenbuch/ Betriebshandbuch:	U. a. Sammlung sämtlicher Betriebsan- weisungen, Abkürzung ZB/BHB
Zementierung:	Fixierung von radioaktivem Abfall in einer Zementstein-/Betonmatrix.
Zerfallsreihe, radioaktive:	Gesamtheit der Radionuklide, die aus nacheinander erfolgenden Umwandlungen hervorgehen.

Kurzform der zwölfteiligen makroseismischen Intensitäts-skala MSK 1964 (SPONHEUER, 1965)

<u>Intensität</u>	<u>Beobachtungen</u>
I	Unmerklich. Nur von Erdbebeninstrumenten registriert.
II	Kaum merklich. Nur ganz vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	Schwach, nur teilweise beobachtet.
IV	Größtenteils beobachtet. In den Häusern von vielen, im Freien von wenigen ver-spürt.
V	Aufweckend. In den Häusern von allen, im Freien von vielen Personen beobachtet.
VI	Erschreckend. Erste leichte Schäden an Gebäuden.
VII	Schäden an Gebäuden.
VIII	Zerstörungen an Gebäuden.
IX	Allgemeiner Gebäudeschaden. Erdrutsche.
X	Allgemeine Gebäudezerstörung. Spalten im Boden bis 1 m Breite.
XI	Katastrophe. Schwere Zerstörungen selbst an bestkonstruierten Gebäuden. Zahlreiche Hangrutschungen und Spalten im Boden.
XII	Landschaftsverändernd. Erdoberfläche wird tiefgreifend umgestaltet.