

# Bundesamt für Strahlenschutz

## Genehmigungsunterlagen

Konrad

EU 261

---

**Gesamte Blattzahl dieser Unterlage: 22 Blatt**

Die Übereinstimmung der ~~vorstehender~~  
Abschrift - ~~auszugsweisen Abschrift~~ -  
~~Fotokopie~~ - mit der Urschrift wird beglaubigt.

Hannover, den

15. Jan. 98



Deckblatt

Projekt	PSP-Element	Obj Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite:
N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	X A A X X	A A	NNNN	NN	
9K	33219		LBA	RB	0003	05	Stand: 31.03.95

EU 261

Titel der Unterlage:

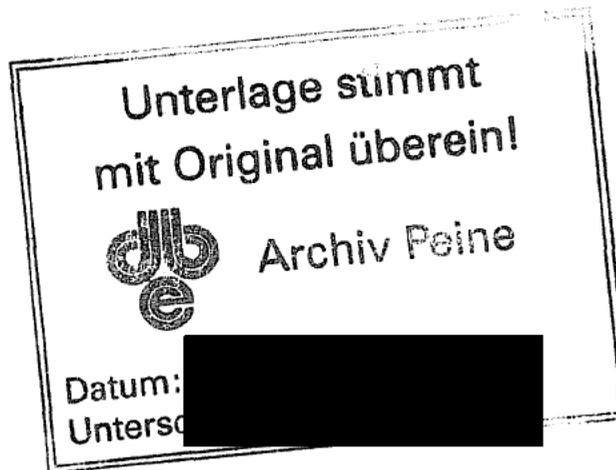
Systemanalyse Konrad, Teil 3: Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten für die betriebliche Praxis der Einlagerung radioaktiver Abfälle; GRS-A-1452

Ersteller:

GRS

Textnummer:

Stempelfeld:



Freigabe für Behörden:



Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt:



Datum und Unterschrift

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

# Revisionsblatt

002

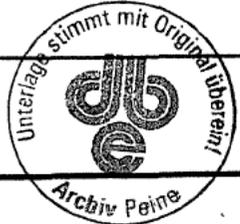
**BFS**

EU 261	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	33219	---	LBA	RB	0003	00

Titel der Unterlage: Systemanalyse Konrad, Teil 3 Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten für die betriebliche Praxis der Einlagerung radioaktiver Abfälle (GRS-A-1452)	Seite: II.
	Stand: Mai 1988

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
01	14.03.89	SE1.1	[REDACTED]	alle	S	Die EU 188 (GRS-A-1452, Mai 1988 ) wurde durch die EU 261 (GRS-A-1452, Februar 1989) als Revision 1 ersetzt
02	31.01.90	ET 2.3	[REDACTED]			geringfügige Modifikation des Berechnungsverfahrens im Kapitel 3.2 und 4.2, neue Aktivitätswerte für H 3 und C 14. Aufgrund von Seitenverschiebungen Revision des gesamten Berichtes
03	31.05.90	ET 2.3	[REDACTED]		S	Revision des gesamten Berichtes infolge des vollständigen Übergangs von Schleuder- auf Pumpversatz
04	31.01.91	ET 2.3	[REDACTED]	5-17	S	Zur Erfüllung der TÜV-Hinweise (2.1.2-02, 2.1.2-03) wurde ein neues Kapitel (Kap. 7) aufgenommen
05	31.03.95	ET 2.3	[REDACTED]	1,6 9,11 18	R	Literaturzitat aktualisiert
				2	R	Literaturzitat entfernt
				3	V	"Länge der Kammern" ersetzt durch "Gesamtlänge aller Kammern"
				6	V	Erläuterung der Formel präzisiert

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



Systemanalyse Konrad, Teil 3

Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten für die betriebliche Praxis der Einlagerung radioaktiver Abfälle

Revision 5



März 1995  
Auftrags-Nr.: 41 373

**Anmerkung:**

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muß nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

**INHALTSVERZEICHNIS**

	<b>Seite</b>	
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Relevante Parameter</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Ableitung eines längenbezogenen Grenzwertes R</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Ableitung des Gewichts-faktors <math>k_s</math></b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Beispielhafte Ermittlung von R</b>	<b>9</b>
5.1	Tritium in metallischen Feststoffen	9
5.2	Kohlenstoff -14 in unspezifizierter Form	10
<b>6</b>	<b>Anwendung von R</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Verfahren zur nachträglichen Änderung von R und der damit verknüpften Eingangswerte</b>	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>18</b>

## 1 EINLEITUNG

In /MÜL 90/ werden Garantiewerte für die Aktivität pro Abfallbinde abgeleitet, bei deren Einhaltung keine weiteren Bedingungen an die Annahme derartiger Abfälle aus der Sicht des bestimmungsgemäßen Betriebes gestellt werden. Diese Garantiewerte ergeben sich aus der Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Endlagers auf der Basis eines Modellszenarios der Einlagerung.

| 05

Die Sicherheitsanalyse stellt den Zusammenhang zwischen den primären Grenzwerten (Dosisgrenzwerte bzw. -richtwerte) und den Eigenschaften des Endlagers und der Abfälle her. Sie dient damit dem Nachweis, daß beim Betrieb des Endlagers Konrad die Strahlenschutzvorschriften eingehalten werden.

Da das Modellszenario vereinfachende Annahmen trifft, weil naturgemäß zum Zeitpunkt der Planerstellung nicht alle betrieblichen Einflußgrößen und Verfahren fixiert sind, ergibt sich die Notwendigkeit, die durch die Detailplanung veränderten Randbedingungen mit den abgeleiteten Grenzwerten in Einklang zu bringen, um den o.g. Nachweis nicht in Frage zu stellen. Die Anpassung an die endgültigen Gegebenheiten soll aber auch die Flexibilität des Einlagerungsbetriebes nicht unnötig einschränken, d. h., sie soll den wechselnden betrieblichen Verhältnissen weitestgehend Rechnung tragen.

Dazu wird ein Konzept vorgestellt, das auf einem Aktivitätsgrenzwert beruht, der sich auf die Länge des mit Abfällen gefüllten Teils der Einlagerungskammern bezieht. Da der Querschnitt der Einlagerungskammern konstant ist, bedeutet dies eine implizite Begrenzung der mittleren Aktivitätskonzentration im Endlager. Die praktische Ableitung dieses im zeitlichen Mittel einzuhaltenden längenbezogenen Grenzwertes wird im folgenden dargestellt.



## 2 RELEVANTE PARAMETER

In den Nachweis der Einhaltung der Aktivitätsableitungs- und Dosisgrenzwerte im bestimmungsgemäßen Betrieb gehen eine Vielzahl von Einflußgrößen ein. Sie betreffen im wesentlichen die folgenden Bereiche:

- geologische Randbedingungen,
- bauliche Auslegung des Endlagerbergwerkes,
- Betriebsweise des Endlagers,
- Eigenschaften der eingelagerten Abfälle,
- behördliche Auflagen.

Ein Teil dieser Parameter steht von Beginn der Planungen an fest. Die meisten wurden oder werden im Zuge der Konzeptfindung, Planung und Errichtung des Endlagers festgelegt. Einzelne Größen, wie z. B. die tatsächlichen Eigenschaften der eingelagerten Abfälle, können endgültig erst bei der Einlagerung bzw. dem vorlaufenden Abrufverfahren ermittelt werden.

Der erste Teil der Parameter kann von Anfang an definitiv bei der Sicherheitsanalyse berücksichtigt werden. Hierzu zählen z. B. die geologischen Randbedingungen (Temperatur im Einlagerungsbereich).

Die zweite Gruppe von Einflußgrößen wurde zum größeren Teil mit der Planung festgelegt. Hierunter fallen

- die maximale Anzahl der Abfallgebinde pro Schicht,
- die Dimensionierung der Kammern (Kammerquerschnitt),
- der Befüllungsgrad der Kammern,
- die internen Richtwerte, die der Auslegung zugrunde gelegt werden (z. B. Antragswerte für die Aktivitätsableitung, Strahlenexposition des Personals),
- grundsätzliche Eigenschaften der Abfälle.

Auch diese Parameter können mittlerweile als feste Eingangsgrößen der Sicherheitsanalyse angesehen werden.



Bis zur Inbetriebnahme stehen ferner die behördlichen Auflagen und die Betriebsvorschriften (Betriebshandbuch) fest. Die bis dahin möglicherweise anfallenden Änderungen müssen in der Sicherheitsanalyse jederzeit noch berücksichtigt werden können. Wenn man die grundsätzlichen Anforderungen an die Abfälle und das Endlagerbergwerk als festgeschrieben ansieht, muß hierfür eine u. U. zusätzliche limitierende Größe eingeführt werden. Sie muß die Möglichkeit bieten, die bei Erstellung des Plans noch nicht fixierten Parameter in der Betriebsweise des Endlagers so zu berücksichtigen, daß die grundsätzlichen Anforderungen nach wie vor eingehalten werden.

Bei den hiervon betroffenen Einflußgrößen handelt es sich vor allem um

- die Gesamtlänge aller Einlagerungskammern,
- die maximale Länge unversetzter Bereiche in den Einlagerungskammern,
- die Betriebsdauer des Endlagers,
- ggf. die Eigenschaften des Kammerabschlußbauwerks.

05

Ein Teil dieser Daten wird selbst bei der Inbetriebnahme nicht fixiert sein, sondern sich aus dem Einlagerungsbetrieb ergeben. Hierfür ist neben der Ableitung eines zusätzlichen Grenzwertes erforderlich, die Umsetzung in die betriebliche Praxis in Form von Anwendungs- oder Verfahrensvorschriften festzulegen.

Nachfolgend soll das hierfür notwendige Instrumentarium abgeleitet und die Anwendung erläutert werden. Hierzu wird zunächst die Ermittlung des längenbezogenen Grenzwertes beschrieben. Anschließend wird die Bestimmung des hierzu erforderlichen Gewichtungsfaktors der Freisetzung aus versetzten Einlagerungsbereichen dargestellt. Danach wird die praktische Anwendung des Grenzwertes für die Einlagerung erläutert. Im abschließenden Kapitel wird das Verfahren zur nachträglichen Änderung des längenbezogenen Grenzwertes und der damit verknüpften Parameter beschrieben.



### 3 ABLEITUNG EINES LÄNGENBEZOGENEN GRENZWERTES R

Um einen längenbezogenen Grenzwert R abzuleiten, wird zunächst die maximal von Abfällen eingenommene Kammerlänge in unversetzten Bereichen definiert als  $l_{\text{omax}}$ . Hieraus folgt, daß sich maximal die Aktivität

$$A_{\text{omax}} = R \cdot l_{\text{omax}} \quad (1)$$

in unversetzten Bereichen befindet.

Betrachtet man analog die maximal in versetzten Bereichen befindliche Aktivität  $A_{\text{amax}}$ , so erhält man:

$$A_{\text{amax}} = R \cdot l, \quad (2)$$

falls die gesamte Aktivität in versetzten Bereichen steht.  $l$  ist hierbei die Gesamtlänge aller vorgesehenen Einlagerungskammern. Statt  $l$  könnte zwar auch ein Wert  $l_a = l - l_o$  verwendet werden, wobei  $l_o$  die Länge der mit Abfällen befüllten unversetzten Bereiche meint. Um jedoch zu konservativen Ergebnissen zu kommen, wird hier  $l_a = l$  gesetzt.

Die Freisetzung von Aktivität aus dem Endlager läßt sich nun beschreiben mit:

$$F = R \cdot l_{\text{omax}} \cdot f_o + R \cdot l \cdot f_a \cdot k_a \leq G. \quad (3)$$

$G$  steht hierbei für den Antragswert der Ableitung von Aktivität mit der Fortluft und den Abwettern. Die Größe  $k_a$  beschreibt die für die Freisetzung aus versetzten Bereichen notwendige Korrektur zur Berücksichtigung des Einlagerungsablaufes und des durch die unterschiedliche lange Lagerzeit bedingten radioaktiven Zerfalls.  $f_o$  und  $f_a$  wiederum sind die für die Freisetzung aus den Abfallgebänden abgeleiteten jährlichen Freisetzungsteile in unversetzten bzw. versetzten Bereichen.

Aus der obigen Gleichung läßt sich R ableiten zu:

$$R = \frac{G}{l_{\text{omax}} \cdot f_o + l \cdot f_a \cdot k_a} \quad (4)$$



Geht man davon aus, daß die Antragswerte ( $\hat{G}$ ) und die Freisetzungseigenschaften ( $\hat{f}_o, f_a$ ) bereits feststehen, so folgt aus Gleichung (4), daß spätestens bis zur Aufnahme des Einlagerungsbetriebes die Größen  $l$  und  $l_{o_{max}}$  festgelegt werden müssen. Eine spätere Änderung ist dann möglich, wenn erkennbar ist, daß  $R$  nicht ausgeschöpft wird. Hierfür können verschiedene Gründe vorliegen, z.B.:

- die mittlere Aktivitätskonzentration der Abfälle ist geringer als durch  $R$  vorgegeben oder
- die Dauer der Betriebszeit des Endlagers ändert sich.

Sofern man in diesen Fällen einen neuen längenbezogenen Grenzwert  $R$  anwenden will, wird folgendermaßen verfahren. Zunächst wird die Freisetzung aus den bis zum Umstellungszeitpunkt eingelagerten Abfällen für das letzte Betriebsjahr (nach derzeitiger Planung: 40 a) ermittelt. Die daraus resultierende Ableitung über den Diffusor wird von dem Antragswert  $G$  für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern abgezogen. Mit dem verbleibenden Wert  $G'$  wird für die restliche Betriebszeit gemäß der Gleichung (4) ein neuer Wert für  $R$  bestimmt. Eine detaillierte Beschreibung dieses Verfahrens findet sich im Kapitel 7.



#### 4 ABLEITUNG DES GEWICHTSFAKTORS $k_a$

Für die Ableitung eines Gewichtungsfaktors  $k_a$  müssen die zuvor beschriebenen Randbedingungen sowie die implizit zugrunde liegenden Annahmen darauf überprüft werden, inwieweit ihre Festlegung bereits erfolgt ist oder vor der Inbetriebnahme des Endlagers erfolgen muß.

Die Betrachtung wird in zwei Schritten durchgeführt. Zunächst wird für den Ausdruck  $f_a \cdot k_a$  in den Formeln (3) und (4) abgeleitet, wie ein verallgemeinertes Rechenverfahren hierfür aussehen muß. Danach wird der Gewichtungsfaktor im einzelnen hergeleitet.

Grundsätzlich beschreibt  $f_a \cdot k_a$  die relative jährliche Freisetzungsrates aller während der Betriebszeit des Endlagers eingelagerten Abfälle. Da diese Freisetzungsrates je nach dem Zeitpunkt der Einlagerung variiert, kann man dies auch ausdrücken in Form folgender Gleichung:

$$f_a \cdot k_a = \frac{\int_0^{t_a} f(t) dt}{t_a} \quad (5)$$

Das Integral stellt hierbei die Summe der relativen jährlichen Freisetzungen aus den in allen Betriebsjahren eingelagerten Aktivitäten dar. Um die Freisetzung auf ein Jahr zu beziehen, wie dies in den Gleichungen (3) und (4) geschieht, muß die relative jährliche Freisetzungsrates  $f_a \cdot k_a$  auf die in einem Jahr einlagerbare Aktivität bezogen werden. Da in den Gleichungen (3) und (4) die gesamte einlagerbare Aktivität, nämlich  $R \cdot I$  vorkommt, bewirkt eine Division durch die Betriebsdauer des Endlagers  $t_a$  die gewünschte Normierung.

Zur Ermittlung des Integrals in (5) ist zunächst zu berücksichtigen, daß wegen der Gasbildung und der Druckschwankungen in den Wettern mit einem Austausch von Luft in den Resthohlräumen der Einlagerungskammern mit der vorbeistreichenden Wetter zu rechnen ist. Dieser Austausch bewirkt im ungünstigsten Fall, daß die komplette aus den Abfällen freigesetzte Aktivität auch in die Wetter gelangt. Formelmäßig ausgedrückt heißt das (vgl. /MÜL 90/):

$$\lambda_2 \cdot A_2 = \lambda_1 \cdot A_{10} \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} \quad (6)$$

mit



$\lambda_1 =$  Ratenkonstante der Freisetzung aus den Abfallgebänden

$\lambda_2 =$  Ratenkonstante der Freisetzung in die wetterführenden Strecken

$\lambda =$  physikalische Zerfallskonstante

$A_{10} =$  Aktivität im Abfall zum Zeitpunkt des Versetzens, d.h. für  $t = 0$

$A_2 =$  Aktivität in der Kammeratmosphäre

Die Freisetzung in die wetterführenden Strecken bis zum Zeitpunkt  $t = T$  beträgt dann:

$$F_a = \int_0^T \lambda_2 \cdot A_2 dt = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda} \cdot A_{10} \cdot (1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda)T}) \quad (7)$$

Wählt man für  $T$  die Betriebszeit des Endlagers  $t_a$ , so ergibt  $F_a$  das gesuchte Integral in (5), wenn man auf die Freisetzung im ersten Jahr  $\lambda_1 \cdot A_{10}$  normiert:

$$\frac{1}{f_a} \cdot \int_0^{t_a} f(t) dt = w_a = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda} \cdot (1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda)t_a}) \quad (8)$$

Somit gilt, wenn man das Integral gemäß Formel (5) in (8) substituiert:

$$w_a = k_a \cdot t_a \quad (9)$$

und aus Formel (3) wird:

$$R \cdot I_{\text{omax}} \cdot f_o + \frac{R \cdot I}{t_a} \cdot \frac{f_a}{\lambda_1 + \lambda} \cdot (1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda)t_a}) \leq G \quad (10)$$

Die Größen  $f_a$  und  $\lambda_1$  beschreiben hier den gleichen Vorgang, nämlich die Freisetzung aus dem Abfall.  $f_a$  stellt hierbei die relative jährliche Freisetzungsrates dar, während  $\lambda_1$  die Ratenkonstante des gleichen Prozesses ist. Mathematisch sind beide Größen daher in folgender Weise verknüpft:

$$f_a = 1 - e^{-\lambda_1 t} \quad \text{für } t = 1 \text{ a}$$

oder



$$\lambda_1 = -\ln(1 - f_a).$$

Da  $f_a \ll 1$ , kann man näherungsweise

$$f_a = \lambda_1$$

setzen und erhält dann statt (10)

$$R \cdot I_{\text{omax}} \cdot f_o + \frac{R \cdot I}{t_a} \cdot \frac{f_a}{f_a + \lambda} \cdot (1 - e^{-(f_a + \lambda)t_a}) \leq G \quad (11)$$

Wie aus Gleichung (11) folgt, muß über die Größen  $I$  und  $I_{\text{omax}}$  hinaus noch die Betriebsdauer des Endlagers  $t_a$  vor Aufnahme der Einlagerung festgelegt werden. Die übrigen Größen  $f_o$ ,  $f_a$  und  $G$  stehen bereits fest, so daß  $R$  für den Einlagerungsbetrieb aus den genannten Werten abgeleitet werden kann.



## 5 BEISPIELHAFTE ERMITTLUNG VON R

Zur Erläuterung der vorausgegangenen Ableitungen soll R nachfolgend beispielhaft berechnet werden. Die hierzu verwendeten Eingangsparameter sind zum Teil willkürlich gewählt, da ihre endgültige Festlegung noch aussteht.

Die für die Rechnungen verwendeten Formeln werden nachfolgend noch einmal zusammengestellt und mit ihrer Nummerierung aus den vorangegangenen Kapiteln gekennzeichnet:

$$R = \frac{G}{I_{\text{omax}} \cdot f_o + I \cdot f_a \cdot k_a} \quad (4)$$

$$k_a = \frac{w_a}{I_a} \quad (9)$$

$$w_a = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda} (1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda)t_a}) \quad (8)$$

Zusätzlich wird zur Kontrolle G berechnet nach der Gleichung (4)

$$G = R \cdot (f_o \cdot I_{\text{omax}} + I \cdot f_a \cdot k_a).$$

Die Werte für I,  $I_{\text{omax}}$  und  $t_a$  werden vor Aufnahme des Einlagerungsbetriebes festgelegt. Die Freisetzungsraten sind bereits in /MÜL 90/ ermittelt worden. Die zulässigen Aktivitätsabgaben über den Diffusor werden mit dem Genehmigungsbescheid (Planfeststellungsbeschuß) festgelegt. Somit lassen sich unter diesen Vorgaben die übrigen Werte zur Bestimmung von R ( $k_a$ ,  $w_a$ ) eindeutig berechnen. Im folgenden wird eine solche Berechnung, einschließlich der von R, beispielhaft für zwei Radionuklide durchgeführt.

05

### 5.1 Tritium in metallischen Feststoffen

Folgende Eingangsparameter werden verwendet zur Ermittlung von R:

$$G = 1.5 \cdot 10^{13} \text{ Bq/a} \quad (\text{Antragswert für die Ableitung von Tritium})$$

$$f_o = f_a = 5 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1} \quad (\text{nach /MÜL 90/})$$



05

$$l_{\text{omax}} = 2000 \text{ m}$$

$$l = 26.000 \text{ m}$$

$$t_a = 40 \text{ a}$$

Hieraus ergeben sich die übrigen Werte zu

$$w_a = 15.8$$

$$k_a = 0.395.$$

Damit erhält man einen längenbezogenen Aktivitätsgrenzwert

$$R = 2.44 \cdot 10^{12} \text{ Bq/m.}$$

Ändert man in dem obigen Eingangsdatensatz den Wert  $l_{\text{omax}}$  auf 4000 m nimmt R folgenden Wert an:

$$R = 2.10 \cdot 10^{12} \text{ Bq/m.}$$

Bei doppelt so großer unversetzter, mit Abfällen befüllter Kammerlänge reduziert sich verständlicherweise der Grenzwert R, da der Beitrag zur Freisetzung aus unversetzten Einlagerungsbereichen steigt. Die Reduktion fällt in diesem Fall jedoch nur mäßig aus, da der wesentlich höhere Beitrag zur Freisetzung nach wie vor aus den versetzten Einlagerungsbereichen stammt.

Wählt man  $l_{\text{omax}} = 400 \text{ m}$  als repräsentativen Wert für den Pumpversatz bei ansonsten gleichen Randbedingungen, wird

$$R = 2.81 \cdot 10^{12} \text{ Bq/m.}$$

## 5.2 Kohlenstoff -14 in unspezifizierter Form

Mit den Eingangsparametern

$$G = 3.7 \cdot 10^{11} \text{ Bq/a} \quad (\text{Antragswert für C-14})$$



$$f = 0.05 \text{ a}^{-1} \quad (\text{nach /MÜL 90/})$$

$$f = 0.005 \text{ a}^{-1} \quad (\text{nach /MÜL 90/})$$

$$l_{\text{omax}} = 2000 \text{ m}$$

$$l = 26.000 \text{ m}$$

$$t_a = 40 \text{ a}$$

erhält man folgende Rechenergebnisse:

$$w_a = 36.2$$

$$k_a = 0.904$$

Damit wird der Aktivitätsgrenzwert R:

$$R = 1.70 \cdot 10^9 \text{ Bq/m.}$$

Die analoge Rechnung für  $l_{\text{omax}} = 400 \text{ m}$  liefert

$$R = 2.69 \cdot 10^9 \text{ Bq/m.}$$

015

05



## 6 ANWENDUNG VON R

Für die Anwendung von R in der Praxis wird folgendermaßen verfahren:

Vorgegeben sind gemäß Abschnitt 3 die Größen R nach (4),  $I_{o\max}$  und daraus resultierend  $A_{o\max}$  gemäß (1). In  $n_o$  ( $\leq 4$ ) offenen Einlagerungskammern befinde sich die bereits eingelagerte Aktivität

$$A_o = \sum_{n=1}^{n_o} A_{no} \tag{12}$$

in unversetztem Zustand. Die  $n_o$  Einlagerungskammern seien jeweils bis zur Länge  $I_{no}$  mit unversetztem Abfall befüllt, so daß gilt:

$$I_o = \sum_{n=1}^{n_o} I_{no} \tag{13}$$

Es ist nun eine Kampagne x angekündigt mit der Aktivität  $A_x$  und dem Platzbedarf entsprechend einer Kammerlänge  $I_x$ . Der Abfall wird in folgenden Schritten auf seine Einlagerfähigkeit überprüft:

### 1. Schritt

Falls gilt

$$\frac{A_x}{I_x} \leq R, \tag{14}$$

kann der Abfall in jedem Fall eingelagert werden. Die Überprüfung wird mit Schritt 5 fortgesetzt.

### 2. Schritt

Falls gilt

$$\frac{A_x}{I_x} > R \tag{15}$$

und



$$\frac{A_o + A_x}{l_o + l_x} \leq R, \quad (16)$$

bedeutet dies, daß die Aktivitätskonzentration des Abfalls nach (15) zu hoch ist, aber in den vorangegangenen Kampagnen der Grenzwert  $R$  nicht ausgeschöpft wurde, so daß noch Spielraum für die Einlagerung derartiger Abfälle besteht.

### 3. Schritt

Der einzulagernde Abfall soll auf die  $n_o$  Einlagerungskammern so verteilt werden, daß in einzelnen Kammern die Aktivität  $A_{nx}$  auf der Länge  $l_{nx}$  eingebracht wird. Wenn nun für alle  $n_o$  Einlagerungskammern gilt:

$$\frac{A_{no} + A_{nx}}{l_{no} + l_{nx}} \leq R, \quad (17)$$

kann der Abfall ebenfalls eingelagert werden. Die Überprüfung wird mit Schritt 5 fortgesetzt.

### 4. Schritt

Wird für eine oder mehrere der  $n_o$  Einlagerungskammern

$$\frac{A_{no} + A_{nx}}{l_{no} + l_{nx}} > R \quad (18)$$

festgestellt, so ist der anstehende Abfall für die Einlagerung grundsätzlich nicht geeignet. In Ausnahmefällen kann eine Einlagerung aber dann infrage kommen, wenn sichergestellt ist, daß durch nachfolgende Kampagnen der längenbezogene Grenzwert  $R$  für jede betroffene Kammer bis zur kompletten Befüllung wieder eingehalten wird.

### 5. Schritt

Ist die Einlagerbarkeit aufgrund der vorausgegangenen Prüfschritte gewährleistet, muß noch über die Abwicklung der Einlagerung entschieden werden. Hierzu ist zu prüfen, ob

$$A_o + A_x \leq A_{\text{omax}}$$



ist. D. h., es ist zu klären, ob der in unversetzten Bereichen befindliche Abfall die maximal zulässige Aktivität in unversetzten Bereichen übersteigt. Ist dies aufgrund der Höhe von  $A_x$  zu erwarten, so ist entweder dafür zu sorgen, daß vor der Einlagerung der Kampagne  $x$  ein Einlagerungsabschnitt versetzt wird oder die Kampagne ist in zwei kleinere aufzuspalten, so daß ein Teil sofort eingelagert werden kann. Der Rest wird dann nach Versetzen des nächsten befüllten Einlagerungsbereiches angeliefert. An der Einlagerbarkeit dieses Abfalls ändert sich hierdurch nichts. Es wird lediglich der Aktivitätszufluß den jeweiligen technischen Gegebenheiten untertage angepaßt. Ein solcher Fall, in dem  $A_{\text{omax}}$  überschritten werden könnte, sollte jedoch aufgrund der vorlaufenden Planung praktisch ausgeschlossen sein.



## 7 VERFAHREN ZUR NACHTRÄGLICHEN ÄNDERUNG VON R UND DER DAMIT VERKNÜPFTEN EINGANGSWERTE

Die Größe R ist nicht zwangsläufig konstant über die gesamte Betriebszeit des Endlagers. Falls beispielsweise

- die mittlere Aktivitätskonzentration der Abfälle geringer ist als durch R vorgegeben wird,
- die Dauer der Betriebszeit des Endlagers sich ändert oder
- die Gesamtlänge von unversetzten oder die Gesamtlänge aller Einlagerungskammern sich ändert,

kann eine nachträgliche Änderung von R sinnvoll oder sogar notwendig werden. Das hierzu anzuwendende Verfahren wurde in Kapitel 3 bereits angedeutet und soll an dieser Stelle ausführlicher beschrieben werden.

Zunächst wird die Freisetzung aus den bis zum Umstellungszeitpunkt eingelagerten Abfällen für das letzte Betriebsjahr ermittelt. Die daraus resultierende Ableitung über den Diffusor wird von dem Antragswert G für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern abgezogen. Mit dem verbleibenden Wert G' wird für die restliche Betriebszeit nach dem in Kapitel 3 beschriebenen Verfahren ein neuer Wert R' bestimmt.

Formelmäßig ergibt sich damit folgendes Vorgehen. Die Freisetzung  $F^*$  aus den bislang eingelagerten und versetzten Abfällen im letzten Betriebsjahr beträgt in Anlehnung an das Verfahren in Kapitel 4 (vgl. Formel (6) und (7)):

$$F^* = \sum_{n=0}^{t_2-t_1-1} \int_{t_1+n}^{t_1+n+1} \lambda_1 \cdot A_{on} \cdot e^{-(\lambda_1+\lambda)t} dt \quad (20)$$

mit

$A_{on}$  = die im  $(t_2-t_1-n)$ -ten Betriebsjahr eingelagerte Aktivität

$t_1$  =  $t_a^* - t^*$  restliche Betriebszeit des Endlagers nach neuer Planung

$t_a^*$  = voraussichtliche neue Betriebszeit des Endlagers



$t^*$  = absolvierte Betriebszeit des Endlagers

$t_2$  =  $t_a^*$

$\lambda$  = physikalische Zerfallskonstante

$\lambda_1$  = Ratenkonstante der Freisetzung aus den Abfallgebänden.

Aus (20) erhält man

$$F^* = \sum_{n=0}^{t_2-t_1-1} \frac{\lambda_1 A_{0n}}{\lambda_1 + \lambda} (e^{-(\lambda_1+\lambda)(t_1+n)} - e^{-(\lambda_1+\lambda)(t_1+n+1)}). \quad (21)$$

Subtrahiert man nun  $F^*$  als die bislang resultierende Freisetzung im letzten Betriebsjahr vom Antragswert  $G$ , so erhält man den neuen Ausgangswert  $G'$ :

$$G' = G - F^*. \quad (22)$$

Legt man nun zusätzlich  $I_{\text{omax}}$  und  $I$  neu fest, so ergibt sich mit den in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Verfahren:

$$R^* = \frac{G'}{I_{\text{omax}} \cdot f_o + I \cdot f_a \cdot K_a^*} \quad (23)$$

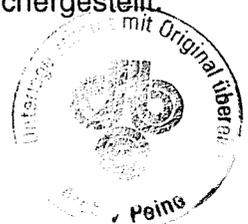
mit

$$K_a^* = \frac{w_a^*}{t_1} \quad (24)$$

$w_a^*$  kann wie zuvor nach (8), Kapitel 4 für  $t_1$  bestimmt werden.  $I^*$  bedeutet hierbei die ab dem Zeitpunkt  $t^*$  zu befüllende Gesamtlänge der Einlagerungskammern.

In der betrieblichen Praxis ist es zweckmäßig, die Aktivitätswerte  $R^*$  für die Dauer eines Betriebsjahres festzuschreiben. Die Beibehaltung oder Änderung von  $R^*$  wird nach dem dargestellten Verfahren vor Beginn eines neuen Betriebsjahres routinemäßig überprüft. Erforderlichenfalls wird  $R^*$  neu festgelegt.

Durch den Vergleich der berechneten mit den tatsächlichen Aktivitätsableitungen wird die Konservativität des Berechnungsverfahrens überprüft und sichergestellt.



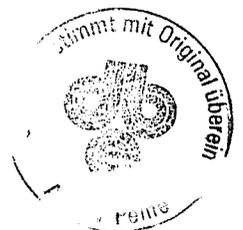
Betriebszustände, die zu erkennbaren Erhöhungen der bestimmungsgemäßen Ableitungen geführt haben, können dann ggf. durch Modifikation des Berechnungsverfahrens zusätzlich berücksichtigt werden.

Somit ist ein Verfahren gegeben, das sicherstellt, daß die Antragswerte für die Aktivitätsableitungen sicher eingehalten und soweit wie sinnvoll möglich unterschritten werden.

Unabhängig von der hier dargestellten Ableitung von Aktivitätsgrenzwerten für die betriebliche Praxis der Einlagerung radioaktiver Abfälle gilt zusätzlich, daß alle übrigen Begrenzungen /BFS 90/ aus den Bereichen

- Störfallanalyse für die Betriebsphase des Endlagers,
- thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins,
- Kritikalitätssicherheit und
- radiologische Langzeitauswirkungen

eingehalten werden müssen.



**8 LITERATUR**

/BFS 90/ Bundesamt für Strahlenschutz (BFS)  
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle  
(Vorläufige Endlagerungsbedingungen)  
- Schachtanlage Konrad -  
ET-3/90; Erläuternde Unterlage 117  
BfS-Dok,-Nr. 212621/D/ED/0235

/MÜL 90/ W. Müller,  
Grundlagen der Ableitung von Aktivitätsbegrenzungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Schachtanlage Konrad  
GRS-A-1522, Erläuternde Unterlage 262,  
BfS-Dok,-Nr. 33219/LBA/RB/0002.

05

