




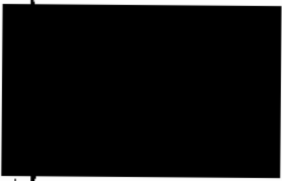
DECKBLATT

| | 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 |
| EU 080.2 | 9K | | --- | EE | R8 | 0003 | 00 |

| | |
|---|--------------------|
| Titel der Unterlage: Anforderungen an Abfallgebinde aufgrund der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins der Schachtanlage Konrad PTB-SE-15 | Seite: I. |
| | Stand: 01.09.86 |

| | |
|-------------------|-------------|
| Ersteller: PTB | Textnummer: |
|-------------------|-------------|

Stempelfeld:

| | | |
|--------------------------|---|--|
| PSP-Element TP...9K/2129 | zu Plan-Kapitel: 3.6 | |
| | PL 05.12.86  Freigabe für Behörden | PL 05.12.86  Freigabe im Projekt |

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

PHYSIKALISCH - TECHNISCHE BUNDESANSTALT

Abteilung Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle

Bericht SE-15

Anforderungen an Abfallgebäude aufgrund der thermischen
Beeinflussung des Wirtsgesteins der Schachanlage Konrad
Stand: 1.9.1986

von



Braunschweig, September 1986

ISSN 0721-0892

ISBN 3-88-314-579-3



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Zusammenfassung | 3 |
| 1. Einleitung | 4 |
| 2. Tabellen der Aktivitätswerte | 5 |
| | |
| Anhänge | 12 |
| | |
| Anhang 1: Auswahl der Leitnuklide | 12 |
| Anhang 2: Berechnung der Leitnuklidkorrektur | 16 |
| Anhang 3: Wärmeausbreitungsrechnungen zur verdünnten Einlagerung | 19 |
| | |
| Literaturhinweise | 20 |

Zusammenfassung

Radioaktive Abfälle, die in der Schachtanlage Konrad eingelagert werden sollen, haben gewisse Anforderungen zu erfüllen. Diese Anforderungen bestehen unter anderem aus Aktivitätsbegrenzungen, die aus den Analysen zum bestimmungsgemäßen Betrieb, zu den Störfällen, zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins und zur Kritikalitätssicherheit hergeleitet wurden. Im vorliegenden Bericht sind die Aktivitätswerte, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren, aufgeführt. Dabei handelt es sich im strengen Sinn nicht um Aktivitätsgrenzwerte, denn im Rahmen der verdünnten Einlagerung können durchaus Abfallgebinde endgelagert werden, deren Aktivitäten diese Aktivitätswerte überschreiten. Zu begrenzen ist dabei die Wärmeleistung je Längeneinheit Lagerstrecke - die entsprechenden Aktivitätsgrenzwerte sind ebenfalls in diesem Bericht aufgelistet.

1. Einleitung

Im vorliegenden Bericht sind die Aktivitätswerte, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren, tabelliert. Diese Daten entsprechen dem endgültigen Stand (September 1986). Dabei ergeben sich gegenüber dem bisherigen Daten (Plan Konrad bzw. /1/) in folgenden Punkten Änderungen:

1. Für die Radionuklide Fe 55 und Ni 59 wurden neue Werte für die Energiefreisetzung je Zerfall eingesetzt, /2/. Der Energieanteil des beim Zerfall dieser Radionuklide entstehenden Neutrinos wird nicht berücksichtigt. Es wurden folgende Werte für die Wärmefreisetzung je Zerfall verwendet:

$$Q_w(\text{Ni } 59) = 1.18 \cdot 10^{-15} \text{ J,}$$

$$Q_w(\text{Fe } 55) = 9.36 \cdot 10^{-16} \text{ J.}$$

Bei den anderen Radionukliden wurden weiterhin die Werte eingesetzt, die dem Programm KORIGEM entnommen wurden. Die zugehörigen Aktivitätswerte von Ni 59 und Fe 55 wurden gegenüber dem bisherigen Stand stark heraufgesetzt.

2. Das Radionuklid Ni 59 ist aufgrund der Änderung unter Punkt 1 kein Leitnuklid mehr; die Gesamtzahl der Leitnuklide reduziert sich somit auf 30 (vergl. Anhang 1). Das Radionuklid Fe 55 bleibt Leitnuklid, um nicht mit dem relativ geringen Wert für sonstige β/γ -Strahler belastet zu werden, vergl. /1/.

3. Der Faktor der Leitnuklidkorrektur wurde neu abgeschätzt, (vergl. Anhang 2). Dadurch wurden alle Aktivitätswerte geringfügig erhöht.

4. Radionuklide mit Halbwertszeiten unter 10 Tagen (Ausnahme: Aktiniden) werden nicht berücksichtigt, da sie keine spürbare Erwärmung des Wirtsgesteins ergeben. Dieses Abschneidekriterium wurde dem bei den Störfallanalysen angeglichen. Das Radionuklid I 131 mit einer Halbwertszeit von etwa 8 Tagen ist in den neuen Tabellen nicht mehr enthalten.

Insgesamt enthalten die Tabellen 106 Radionuklide, davon sind 30 Leitnuklide.

2. Tabellen der Aktivitätswerte

Tabelle 1: Aktivitätswerte für Leitnuklide und sonstige nicht spezifizierte Alpha- bzw. Beta/Gamma-Strahler in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

Tabelle 2: Aktivitätswerte für Radionuklide in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

Tabelle 1 a: Aktivitätswerte für Leitnuklide und sonstige nicht spezifizierete Alpha- bzw. Beta/Gamma-Strahler in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

| Nr. | Radio- nuklid | Längen- bezogener Aktivitäts- grenzwert in Bq/m | A k t i v i t ä t s w e r t | | | | | |
|-----|------------------|---|-----------------------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| | | | Betonbehälter | | | Gußbehälter | | |
| | | | Typ I | Typ II | Typ III | Typ I | Typ II | Typ II* |
| 1 | Th 232 | 1.3E+11 | 6.8E+09 | 7.4E+09 | 1.6E+10 | 4.3E+09 | 7.4E+09 | 6.8E+09 |
| 2 | U 235 | 1.5E+11 | 7.4E+09 | 8.1E+09 | 1.7E+10 | 4.7E+09 | 8.1E+09 | 7.4E+09 |
| 3 | U 233 | 1.8E+11 | 9.0E+09 | 9.8E+09 | 2.1E+10 | 5.7E+09 | 9.8E+09 | 9.0E+09 |
| 4 | Th 230 | 1.9E+11 | 9.7E+09 | 1.1E+10 | 2.2E+10 | 6.1E+09 | 1.1E+10 | 9.7E+09 |
| 5 | Pa 231 | 2.0E+11 | 1.0E+10 | 1.1E+10 | 2.4E+10 | 6.5E+09 | 1.1E+10 | 1.0E+10 |
| 6 | U 234 | 2.6E+11 | 1.3E+10 | 1.4E+10 | 3.0E+10 | 8.3E+09 | 1.4E+10 | 1.3E+10 |
| 7 | Cm 248 | 3.0E+11 | 1.5E+10 | 1.7E+10 | 3.5E+10 | 9.7E+09 | 1.7E+10 | 1.5E+10 |
| 8 | Np 237 | 3.3E+11 | 1.7E+10 | 1.8E+10 | 3.9E+10 | 1.1E+10 | 1.8E+10 | 1.7E+10 |
| 9 | Cm 247 | 3.5E+11 | 1.8E+10 | 1.9E+10 | 4.1E+10 | 1.1E+10 | 1.9E+10 | 1.8E+10 |
| 10 | Pu 244 | 4.7E+11 | 2.4E+10 | 2.6E+10 | 5.5E+10 | 1.5E+10 | 2.6E+10 | 2.4E+10 |
| 11 | Ra 226 | 4.7E+11 | 2.4E+10 | 2.6E+10 | 5.5E+10 | 1.5E+10 | 2.6E+10 | 2.4E+10 |
| 12 | U 238 | 5.2E+11 | 2.7E+10 | 2.9E+10 | 6.1E+10 | 1.7E+10 | 2.9E+10 | 2.7E+10 |
| 13 | Cm 245 | 9.0E+11 | 4.6E+10 | 5.0E+10 | 1.1E+11 | 2.9E+10 | 5.0E+10 | 4.6E+10 |
| 14 | Ac 227 | 2.5E+12 | 1.3E+11 | 1.4E+11 | 3.0E+11 | 8.1E+10 | 1.4E+11 | 1.3E+11 |
| 15 | Am 242M | 3.6E+12 | 1.8E+11 | 2.0E+11 | 4.2E+11 | 1.2E+11 | 2.0E+11 | 1.8E+11 |
| 16 | Ra 228 | 3.7E+12 | 1.9E+11 | 2.1E+11 | 4.3E+11 | 1.2E+11 | 2.1E+11 | 1.9E+11 |
| 17 | Nb 94 | 5.0E+12 | 2.5E+11 | 2.8E+11 | 5.9E+11 | 1.6E+11 | 2.8E+11 | 2.5E+11 |
| 18 | Pu 238 | 8.9E+12 | 4.5E+11 | 4.9E+11 | 1.0E+12 | 2.8E+11 | 4.9E+11 | 4.5E+11 |
| 19 | Pb 210 | 1.5E+13 | 7.5E+11 | 8.1E+11 | 1.7E+12 | 4.7E+11 | 8.1E+11 | 7.5E+11 |
| 20 | Ca 41 | 1.7E+13 | 8.5E+11 | 9.2E+11 | 2.0E+12 | 5.4E+11 | 9.2E+11 | 8.5E+11 |
| 21 | Ag 108M | 2.6E+13 | 1.3E+12 | 1.4E+12 | 3.0E+12 | 8.3E+11 | 1.4E+12 | 1.3E+12 |
| 22 | Cl 36 | 2.6E+13 | 1.3E+12 | 1.4E+12 | 3.0E+12 | 8.3E+11 | 1.4E+12 | 1.3E+12 |
| 23 | Be 10 | 2.6E+13 | 1.3E+12 | 1.4E+12 | 3.0E+12 | 8.3E+11 | 1.4E+12 | 1.3E+12 |
| 24 | Sn 126 | 3.3E+13 | 1.7E+12 | 1.8E+12 | 3.9E+12 | 1.1E+12 | 1.8E+12 | 1.7E+12 |
| 25 | Rb 87 | 3.7E+13 | 1.9E+12 | 2.1E+12 | 4.4E+12 | 1.2E+12 | 2.1E+12 | 1.9E+12 |
| 26 | Co 60 | 5.2E+13 | 2.6E+12 | 2.9E+12 | 6.1E+12 | 1.7E+12 | 2.9E+12 | 2.6E+12 |
| 27 | Ar 39 | 5.3E+13 | 2.7E+12 | 2.9E+12 | 6.2E+12 | 1.7E+12 | 2.9E+12 | 2.7E+12 |
| 28 | Cs 137 | 8.8E+13 | 4.5E+12 | 4.9E+12 | 1.0E+13 | 2.8E+12 | 4.9E+12 | 4.5E+12 |
| 29 | Ni 63 | 7.5E+14 | 3.8E+13 | 4.1E+13 | 8.7E+13 | 2.4E+13 | 4.1E+13 | 3.8E+13 |
| 30 | Fe 55 | 2.9E+16 | 1.5E+15 | 1.6E+15 | 3.4E+15 | 9.4E+14 | 1.6E+15 | 1.5E+15 |
| 31 | Alpha | 1.2E+12 | 6.2E+10 | 6.8E+10 | 1.4E+11 | 4.0E+10 | 6.8E+10 | 6.2E+10 |
| 32 | Bet/Gam | 6.6E+13 | 3.4E+12 | 3.7E+12 | 7.8E+12 | 2.1E+12 | 3.7E+12 | 3.4E+12 |

Tabelle 1 b: Aktivitätswerte für Leitnuklide und sonstige nicht spezifizierte Alpha- bzw. Beta/Gamma-Strahler in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

| Nr. | Radio-nuklid | A k t i v i t ä t s w e r t | | | | | | |
|-----|--------------|-----------------------------|---------|---------|-----------------------------|---------|---------|---------|
| | | Gußbeh. Typ III | Typ I | Typ II | Container Typ III Typ IV | | Typ V | Typ VI |
| 1 | Th 232 | 5.8E+09 | 2.0E+10 | 2.2E+10 | 4.8E+10 | 4.0E+10 | 5.6E+10 | 2.8E+10 |
| 2 | U 235 | 6.3E+09 | 2.2E+10 | 2.4E+10 | 5.3E+10 | 4.4E+10 | 6.2E+10 | 3.1E+10 |
| 3 | U 233 | 7.7E+09 | 2.7E+10 | 2.9E+10 | 6.4E+10 | 5.3E+10 | 7.5E+10 | 3.7E+10 |
| 4 | Th 230 | 8.3E+09 | 2.9E+10 | 3.1E+10 | 6.9E+10 | 5.7E+10 | 8.0E+10 | 4.0E+10 |
| 5 | Pa 231 | 8.7E+09 | 3.0E+10 | 3.3E+10 | 7.2E+10 | 6.0E+10 | 8.4E+10 | 4.2E+10 |
| 6 | U 234 | 1.1E+10 | 3.9E+10 | 4.2E+10 | 9.3E+10 | 7.7E+10 | 1.1E+11 | 5.4E+10 |
| 7 | Cm 248 | 1.3E+10 | 4.5E+10 | 5.0E+10 | 1.1E+11 | 9.1E+10 | 1.3E+11 | 6.3E+10 |
| 8 | Nb 237 | 1.4E+10 | 5.0E+10 | 5.4E+10 | 1.2E+11 | 9.9E+10 | 1.4E+11 | 7.0E+10 |
| 9 | Cm 247 | 1.5E+10 | 5.3E+10 | 5.8E+10 | 1.3E+11 | 1.1E+11 | 1.5E+11 | 7.4E+10 |
| 10 | Pu 244 | 2.0E+10 | 7.0E+10 | 7.7E+10 | 1.7E+11 | 1.4E+11 | 2.0E+11 | 9.8E+10 |
| 11 | Ra 226 | 2.0E+10 | 7.1E+10 | 7.8E+10 | 1.7E+11 | 1.4E+11 | 2.0E+11 | 9.9E+10 |
| 12 | U 238 | 2.3E+10 | 7.8E+10 | 8.6E+10 | 1.9E+11 | 1.6E+11 | 2.2E+11 | 1.1E+11 |
| 13 | Cm 245 | 3.9E+10 | 1.3E+11 | 1.5E+11 | 3.2E+11 | 2.7E+11 | 3.8E+11 | 1.9E+11 |
| 14 | Ac 227 | 1.1E+11 | 3.8E+11 | 4.1E+11 | 9.1E+11 | 7.6E+11 | 1.1E+12 | 5.3E+11 |
| 15 | Am 242M | 1.6E+11 | 5.4E+11 | 5.9E+11 | 1.3E+12 | 1.1E+12 | 1.5E+12 | 7.6E+11 |
| 16 | Ra 228 | 1.6E+11 | 5.6E+11 | 6.1E+11 | 1.3E+12 | 1.1E+12 | 1.6E+12 | 7.8E+11 |
| 17 | Nb 94 | 2.2E+11 | 7.5E+11 | 8.2E+11 | 1.8E+12 | 1.5E+12 | 2.1E+12 | 1.1E+12 |
| 18 | Pu 238 | 3.8E+11 | 1.3E+12 | 1.5E+12 | 3.2E+12 | 2.7E+12 | 3.7E+12 | 1.9E+12 |
| 19 | Pb 210 | 6.4E+11 | 2.2E+12 | 2.4E+12 | 5.3E+12 | 4.4E+12 | 6.2E+12 | 3.1E+12 |
| 20 | Ca 41 | 7.2E+11 | 2.5E+12 | 2.7E+12 | 6.0E+12 | 5.0E+12 | 7.0E+12 | 3.5E+12 |
| 21 | Ag 108M | 1.1E+12 | 3.9E+12 | 4.2E+12 | 9.3E+12 | 7.8E+12 | 1.1E+13 | 5.4E+12 |
| 22 | Cl 36 | 1.1E+12 | 3.9E+12 | 4.2E+12 | 9.3E+12 | 7.8E+12 | 1.1E+13 | 5.4E+12 |
| 23 | Be 10 | 1.1E+12 | 3.9E+12 | 4.3E+12 | 9.3E+12 | 7.8E+12 | 1.1E+13 | 5.5E+12 |
| 24 | Sn 126 | 1.4E+12 | 5.0E+12 | 5.4E+12 | 1.2E+13 | 1.0E+13 | 1.4E+13 | 7.0E+12 |
| 25 | Rb 87 | 1.6E+12 | 5.6E+12 | 6.1E+12 | 1.3E+13 | 1.1E+13 | 1.6E+13 | 7.8E+12 |
| 26 | Co 60 | 2.2E+12 | 7.8E+12 | 8.5E+12 | 1.9E+13 | 1.6E+13 | 2.2E+13 | 1.1E+13 |
| 27 | Ar 39 | 2.3E+12 | 8.0E+12 | 8.7E+12 | 1.9E+13 | 1.6E+13 | 2.2E+13 | 1.1E+13 |
| 28 | Cs 137 | 3.8E+12 | 1.3E+13 | 1.4E+13 | 3.2E+13 | 2.6E+13 | 3.7E+13 | 1.8E+13 |
| 29 | Ni 63 | 3.2E+13 | 1.1E+14 | 1.2E+14 | 2.7E+14 | 2.2E+14 | 3.1E+14 | 1.6E+14 |
| 30 | Fe 55 | 1.3E+15 | 4.4E+15 | 4.8E+15 | 1.1E+16 | 8.8E+15 | 1.2E+16 | 6.2E+15 |
| 31 | Alpha | 5.3E+10 | 1.8E+11 | 2.0E+11 | 4.4E+11 | 3.7E+11 | 5.2E+11 | 2.6E+11 |
| 32 | Bet/Gam | 2.9E+12 | 1.0E+13 | 1.1E+13 | 2.4E+13 | 2.0E+13 | 2.8E+13 | 1.4E+13 |

Tabelle 2 a: Aktivitätswerte für Radionuklide in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

| Radio- nuklid | Längen- bezogener Aktivitäts- grenzwert in Bq/m | A k t i v i t ä t s w e r t | | | | | |
|------------------|---|-----------------------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| | | Betonbehälter | | | Gußbehälter | | |
| | | Typ I | Typ II | Typ III | Typ I | Typ II | Typ II* |
| Ac 228 | 1.6E+15 | 8.2E+13 | 8.9E+13 | 1.9E+14 | 5.2E+13 | 8.9E+13 | 8.2E+13 |
| Ag 110M | 9.8E+13 | 5.0E+12 | 5.4E+12 | 1.2E+13 | 3.2E+12 | 5.4E+12 | 5.0E+12 |
| Am 241 | 4.4E+12 | 2.2E+11 | 2.4E+11 | 5.2E+11 | 1.4E+11 | 2.4E+11 | 2.2E+11 |
| Am 243 | 1.7E+12 | 8.4E+10 | 9.1E+10 | 1.9E+11 | 5.3E+10 | 9.1E+10 | 8.4E+10 |
| Am 244 | 2.7E+15 | 1.4E+14 | 1.5E+14 | 3.1E+14 | 8.6E+13 | 1.5E+14 | 1.4E+14 |
| Ba 133 | 2.1E+14 | 1.0E+13 | 1.1E+13 | 2.4E+13 | 6.6E+12 | 1.1E+13 | 1.0E+13 |
| Bi 210 | 2.0E+15 | 1.0E+14 | 1.1E+14 | 2.3E+14 | 6.4E+13 | 1.1E+14 | 1.0E+14 |
| Bi 214 | 1.1E+15 | 5.6E+13 | 6.0E+13 | 1.3E+14 | 3.5E+13 | 6.0E+13 | 5.6E+13 |
| C 14 | 2.2E+14 | 1.1E+13 | 1.2E+13 | 2.6E+13 | 7.2E+12 | 1.2E+13 | 1.1E+13 |
| Ca 45 | 4.2E+15 | 2.2E+14 | 2.3E+14 | 5.0E+14 | 1.4E+14 | 2.3E+14 | 2.2E+14 |
| Cd 109 | 2.0E+15 | 1.0E+14 | 1.1E+14 | 2.4E+14 | 6.6E+13 | 1.1E+14 | 1.0E+14 |
| Cd 113M | 3.4E+14 | 1.7E+13 | 1.9E+13 | 4.0E+13 | 1.1E+13 | 1.9E+13 | 1.7E+13 |
| Ce 144 | 1.9E+14 | 9.8E+12 | 1.1E+13 | 2.3E+13 | 6.2E+12 | 1.1E+13 | 9.8E+12 |
| Cm 242 | 6.1E+13 | 3.1E+12 | 3.4E+12 | 7.1E+12 | 2.0E+12 | 3.4E+12 | 3.1E+12 |
| Cm 243 | 1.3E+13 | 6.5E+11 | 7.0E+11 | 1.5E+12 | 4.1E+11 | 7.0E+11 | 6.5E+11 |
| Cm 244 | 1.6E+13 | 8.0E+11 | 8.7E+11 | 1.8E+12 | 5.0E+11 | 8.7E+11 | 8.0E+11 |
| Cm 246 | 2.1E+12 | 1.1E+11 | 1.1E+11 | 2.4E+11 | 6.7E+10 | 1.1E+11 | 1.1E+11 |
| Co 57 | 3.2E+14 | 1.6E+13 | 1.8E+13 | 3.8E+13 | 1.0E+13 | 1.8E+13 | 1.6E+13 |
| Co 58 | 4.7E+14 | 2.4E+13 | 2.6E+13 | 5.5E+13 | 1.5E+13 | 2.6E+13 | 2.4E+13 |
| Cr 51 | 2.1E+16 | 1.1E+15 | 1.2E+15 | 2.5E+15 | 6.8E+14 | 1.2E+15 | 1.1E+15 |
| Cs 134 | 1.1E+14 | 5.5E+12 | 6.0E+12 | 1.3E+13 | 3.5E+12 | 6.0E+12 | 5.5E+12 |
| Cs 135 | 9.3E+13 | 4.7E+12 | 5.1E+12 | 1.1E+13 | 3.0E+12 | 5.1E+12 | 4.7E+12 |
| Eu 152 | 7.8E+13 | 3.9E+12 | 4.3E+12 | 9.1E+12 | 2.5E+12 | 4.3E+12 | 3.9E+12 |
| Eu 154 | 7.6E+13 | 3.9E+12 | 4.2E+12 | 8.9E+12 | 2.5E+12 | 4.2E+12 | 3.9E+12 |
| Eu 155 | 1.1E+15 | 5.7E+13 | 6.2E+13 | 1.3E+14 | 3.6E+13 | 6.2E+13 | 5.7E+13 |
| Fe 59 | 3.8E+14 | 1.9E+13 | 2.1E+13 | 4.4E+13 | 1.2E+13 | 2.1E+13 | 1.9E+13 |
| H 3 | 1.8E+16 | 9.1E+14 | 9.9E+14 | 2.1E+15 | 5.8E+14 | 9.9E+14 | 9.1E+14 |
| Hf 175 | 7.8E+14 | 4.0E+13 | 4.3E+13 | 9.1E+13 | 2.5E+13 | 4.3E+13 | 4.0E+13 |
| Hf 181 | 5.9E+14 | 3.0E+13 | 3.3E+13 | 7.0E+13 | 1.9E+13 | 3.3E+13 | 3.0E+13 |
| Hg 203 | 1.2E+15 | 6.0E+13 | 6.5E+13 | 1.4E+14 | 3.8E+13 | 6.5E+13 | 6.0E+13 |
| I 125 | 2.9E+15 | 1.5E+14 | 1.6E+14 | 3.4E+14 | 9.3E+13 | 1.6E+14 | 1.5E+14 |
| I 129 | 6.7E+13 | 3.4E+12 | 3.7E+12 | 7.9E+12 | 2.2E+12 | 3.7E+12 | 3.4E+12 |
| Kr 85 | 4.3E+14 | 2.2E+13 | 2.3E+13 | 5.0E+13 | 1.4E+13 | 2.3E+13 | 2.2E+13 |
| Mn 54 | 3.0E+14 | 1.5E+13 | 1.7E+13 | 3.5E+13 | 9.7E+12 | 1.7E+13 | 1.5E+13 |
| Mo 93 | 7.9E+14 | 4.0E+13 | 4.4E+13 | 9.3E+13 | 2.5E+13 | 4.4E+13 | 4.0E+13 |
| Na 22 | 7.2E+13 | 3.6E+12 | 4.0E+12 | 8.4E+12 | 2.3E+12 | 4.0E+12 | 3.6E+12 |
| Nb 93M | 3.3E+15 | 1.7E+14 | 1.8E+14 | 3.9E+14 | 1.1E+14 | 1.8E+14 | 1.7E+14 |
| Nb 95 | 8.3E+14 | 4.2E+13 | 4.6E+13 | 9.7E+13 | 2.7E+13 | 4.6E+13 | 4.2E+13 |
| Ni 59 | 9.7E+14 | 4.9E+13 | 5.4E+13 | 1.1E+14 | 3.1E+13 | 5.4E+13 | 4.9E+13 |
| Pa 233 | 3.3E+15 | 1.7E+14 | 1.8E+14 | 3.8E+14 | 1.1E+14 | 1.8E+14 | 1.7E+14 |
| Pa 234M | 2.8E+15 | 1.4E+14 | 1.6E+14 | 3.3E+14 | 9.1E+13 | 1.6E+14 | 1.4E+14 |
| Pa 234 | 9.8E+14 | 4.9E+13 | 5.4E+13 | 1.1E+14 | 3.1E+13 | 5.4E+13 | 4.9E+13 |
| Pb 214 | 4.4E+15 | 2.2E+14 | 2.4E+14 | 5.1E+14 | 1.4E+14 | 2.4E+14 | 2.2E+14 |
| Pd 107 | 5.3E+14 | 2.7E+13 | 2.9E+13 | 6.1E+13 | 1.7E+13 | 2.9E+13 | 2.7E+13 |
| Pm 147 | 2.8E+15 | 1.4E+14 | 1.6E+14 | 3.3E+14 | 9.1E+13 | 1.6E+14 | 1.4E+14 |
| Po 210 | 6.5E+13 | 3.3E+12 | 3.6E+12 | 7.6E+12 | 2.1E+12 | 3.6E+12 | 3.3E+12 |
| Pu 236 | 2.7E+13 | 1.4E+12 | 1.5E+12 | 3.2E+12 | 8.7E+11 | 1.5E+12 | 1.4E+12 |
| Pu 239 | 1.6E+12 | 8.1E+10 | 8.8E+10 | 1.9E+11 | 5.1E+10 | 8.8E+10 | 8.1E+10 |
| Pu 240 | 2.0E+12 | 1.0E+11 | 1.1E+11 | 2.4E+11 | 6.5E+10 | 1.1E+11 | 1.0E+11 |

Tabelle 2 b: Aktivitätswerte für Radionuklide in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

| Radio- nuklid | Längen- bezogener Aktivitäts- grenzwert in Bq/m | A k t i v i t ä t s w e r t | | | | | |
|------------------|---|-----------------------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| | | Betonbehälter | | | Gußbehälter | | |
| | | Typ I | Typ II | Typ III | Typ I | Typ II | Typ II* |
| Pu 241 | 1.3E+14 | 6.7E+12 | 7.3E+12 | 1.6E+13 | 4.3E+12 | 7.3E+12 | 6.7E+12 |
| Pu 242 | 1.3E+12 | 6.4E+10 | 7.0E+10 | 1.5E+11 | 4.1E+10 | 7.0E+10 | 6.4E+10 |
| Ra 223 | 9.3E+13 | 4.7E+12 | 5.1E+12 | 1.1E+13 | 3.0E+12 | 5.1E+12 | 4.7E+12 |
| Ra 224 | 2.2E+14 | 1.1E+13 | 1.2E+13 | 2.6E+13 | 7.2E+12 | 1.2E+13 | 1.1E+13 |
| Rn 222 | 3.1E+14 | 1.5E+13 | 1.7E+13 | 3.6E+13 | 9.8E+12 | 1.7E+13 | 1.5E+13 |
| Ru 103 | 1.1E+15 | 5.7E+13 | 6.2E+13 | 1.3E+14 | 3.6E+13 | 6.2E+13 | 5.7E+13 |
| Ru 106 | 1.4E+14 | 7.2E+12 | 7.9E+12 | 1.7E+13 | 4.6E+12 | 7.9E+12 | 7.2E+12 |
| S 35 | 2.6E+15 | 1.3E+14 | 1.4E+14 | 3.0E+14 | 8.2E+13 | 1.4E+14 | 1.3E+14 |
| Sb 125 | 2.5E+14 | 1.3E+13 | 1.4E+13 | 2.9E+13 | 8.0E+12 | 1.4E+13 | 1.3E+13 |
| Sc 46 | 2.1E+14 | 1.0E+13 | 1.1E+13 | 2.4E+13 | 6.6E+12 | 1.1E+13 | 1.0E+13 |
| Se 79 | 1.7E+14 | 8.8E+12 | 9.6E+12 | 2.0E+13 | 5.6E+12 | 9.6E+12 | 8.8E+12 |
| Sm 151 | 2.6E+15 | 1.3E+14 | 1.4E+14 | 3.0E+14 | 8.2E+13 | 1.4E+14 | 1.3E+14 |
| Sr 89 | 9.6E+14 | 4.9E+13 | 5.3E+13 | 1.1E+14 | 3.1E+13 | 5.3E+13 | 4.9E+13 |
| Sr 90 | 6.6E+13 | 3.4E+12 | 3.7E+12 | 7.8E+12 | 2.1E+12 | 3.7E+12 | 3.4E+12 |
| Ta 182 | 2.5E+14 | 1.3E+13 | 1.4E+13 | 3.0E+13 | 8.1E+12 | 1.4E+13 | 1.3E+13 |
| Tc 99 | 7.7E+13 | 3.9E+12 | 4.3E+12 | 9.0E+12 | 2.5E+12 | 4.3E+12 | 3.9E+12 |
| Te 125M | 3.7E+15 | 1.9E+14 | 2.0E+14 | 4.3E+14 | 1.2E+14 | 2.0E+14 | 1.9E+14 |
| Th 227 | 5.1E+13 | 2.6E+12 | 2.8E+12 | 5.9E+12 | 1.6E+12 | 2.8E+12 | 2.6E+12 |
| Th 228 | 5.3E+12 | 2.7E+11 | 2.9E+11 | 6.2E+11 | 1.7E+11 | 2.9E+11 | 2.7E+11 |
| Th 231 | 2.5E+16 | 1.3E+15 | 1.4E+15 | 2.9E+15 | 8.0E+14 | 1.4E+15 | 1.3E+15 |
| Th 234 | 5.6E+14 | 2.8E+13 | 3.1E+13 | 6.5E+13 | 1.8E+13 | 3.1E+13 | 2.8E+13 |
| U 232 | 1.3E+12 | 6.5E+10 | 7.1E+10 | 1.5E+11 | 4.1E+10 | 7.1E+10 | 6.5E+10 |
| U 236 | 1.2E+12 | 6.2E+10 | 6.8E+10 | 1.4E+11 | 4.0E+10 | 6.8E+10 | 6.2E+10 |
| V 49 | 5.8E+16 | 2.9E+15 | 3.2E+15 | 6.8E+15 | 1.9E+15 | 3.2E+15 | 2.9E+15 |
| Zn 65 | 4.7E+14 | 2.4E+13 | 2.6E+13 | 5.5E+13 | 1.5E+13 | 2.6E+13 | 2.4E+13 |
| Zr 93 | 1.1E+14 | 5.4E+12 | 5.9E+12 | 1.2E+13 | 3.4E+12 | 5.9E+12 | 5.4E+12 |
| Zr 95 | 5.8E+14 | 2.9E+13 | 3.2E+13 | 6.8E+13 | 1.9E+13 | 3.2E+13 | 2.9E+13 |

Tabelle 2 c: Aktivitätswerte für Radionuklide in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

| Radio- nuklid | A k t i v i t ä t s w e r t | | | | | | |
|------------------|-----------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| | Gußbeh. | | Container | | | | |
| | Typ III | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V | Typ VI |
| Ac 228 | 7.0E+13 | 2.4E+14 | 2.7E+14 | 5.8E+14 | 4.9E+14 | 6.8E+14 | 3.4E+14 |
| Ag 110M | 4.3E+12 | 1.5E+13 | 1.6E+13 | 3.5E+13 | 3.0E+13 | 4.1E+13 | 2.1E+13 |
| Am 241 | 1.9E+11 | 6.6E+11 | 7.3E+11 | 1.6E+12 | 1.3E+12 | 1.9E+12 | 9.3E+11 |
| Am 243 | 7.1E+10 | 2.5E+11 | 2.7E+11 | 5.9E+11 | 5.0E+11 | 6.9E+11 | 3.5E+11 |
| Am 244 | 1.2E+14 | 4.0E+14 | 4.4E+14 | 9.6E+14 | 8.0E+14 | 1.1E+15 | 5.6E+14 |
| Ba 133 | 8.9E+12 | 3.1E+13 | 3.4E+13 | 7.4E+13 | 6.2E+13 | 8.7E+13 | 4.3E+13 |
| Bi 210 | 8.6E+13 | 3.0E+14 | 3.3E+14 | 7.1E+14 | 5.9E+14 | 8.3E+14 | 4.2E+14 |
| Bi 214 | 4.7E+13 | 1.6E+14 | 1.8E+14 | 3.9E+14 | 3.3E+14 | 4.6E+14 | 2.3E+14 |
| C 14 | 9.7E+12 | 3.4E+13 | 3.7E+13 | 8.1E+13 | 6.7E+13 | 9.4E+13 | 4.7E+13 |
| Ca 45 | 1.8E+14 | 6.4E+14 | 7.0E+14 | 1.5E+15 | 1.3E+15 | 1.8E+15 | 8.9E+14 |
| Cd 109 | 8.8E+13 | 3.1E+14 | 3.4E+14 | 7.4E+14 | 6.1E+14 | 8.6E+14 | 4.3E+14 |
| Cd 113M | 1.5E+13 | 5.1E+13 | 5.6E+13 | 1.2E+14 | 1.0E+14 | 1.4E+14 | 7.2E+13 |
| Ce 144 | 8.3E+12 | 2.9E+13 | 3.2E+13 | 6.9E+13 | 5.8E+13 | 8.1E+13 | 4.0E+13 |
| Cm 242 | 2.6E+12 | 9.1E+12 | 1.0E+13 | 2.2E+13 | 1.8E+13 | 2.6E+13 | 1.3E+13 |
| Cm 243 | 5.5E+11 | 1.9E+12 | 2.1E+12 | 4.6E+12 | 3.8E+12 | 5.4E+12 | 2.7E+12 |
| Cm 244 | 6.8E+11 | 2.4E+12 | 2.6E+12 | 5.7E+12 | 4.7E+12 | 6.6E+12 | 3.3E+12 |
| Cm 246 | 9.0E+10 | 3.1E+11 | 3.4E+11 | 7.5E+11 | 6.2E+11 | 8.7E+11 | 4.4E+11 |
| Co 57 | 1.4E+13 | 4.8E+13 | 5.3E+13 | 1.2E+14 | 9.6E+13 | 1.3E+14 | 6.7E+13 |
| Co 58 | 2.0E+13 | 7.0E+13 | 7.7E+13 | 1.7E+14 | 1.4E+14 | 2.0E+14 | 9.8E+13 |
| Cr 51 | 9.1E+14 | 3.2E+15 | 3.5E+15 | 7.6E+15 | 6.3E+15 | 8.9E+15 | 4.4E+15 |
| Cs 134 | 4.7E+12 | 1.6E+13 | 1.8E+13 | 3.9E+13 | 3.2E+13 | 4.5E+13 | 2.3E+13 |
| Cs 135 | 4.0E+12 | 1.4E+13 | 1.5E+13 | 3.4E+13 | 2.8E+13 | 3.9E+13 | 2.0E+13 |
| Eu 152 | 3.4E+12 | 1.2E+13 | 1.3E+13 | 2.8E+13 | 2.3E+13 | 3.3E+13 | 1.6E+13 |
| Eu 154 | 3.3E+12 | 1.1E+13 | 1.3E+13 | 2.8E+13 | 2.3E+13 | 3.2E+13 | 1.6E+13 |
| Eu 155 | 4.9E+13 | 1.7E+14 | 1.8E+14 | 4.0E+14 | 3.4E+14 | 4.7E+14 | 2.4E+14 |
| Fe 59 | 1.6E+13 | 5.6E+13 | 6.2E+13 | 1.4E+14 | 1.1E+14 | 1.6E+14 | 7.9E+13 |
| H 3 | 7.8E+14 | 2.7E+15 | 3.0E+15 | 6.5E+15 | 5.4E+15 | 7.6E+15 | 3.8E+15 |
| Hf 175 | 3.4E+13 | 1.2E+14 | 1.3E+14 | 2.8E+14 | 2.3E+14 | 3.3E+14 | 1.6E+14 |
| Hf 181 | 2.6E+13 | 8.9E+13 | 9.7E+13 | 2.1E+14 | 1.8E+14 | 2.5E+14 | 1.2E+14 |
| Hg 203 | 5.1E+13 | 1.8E+14 | 1.9E+14 | 4.2E+14 | 3.5E+14 | 4.9E+14 | 2.5E+14 |
| I 125 | 1.2E+14 | 4.3E+14 | 4.7E+14 | 1.0E+15 | 8.7E+14 | 1.2E+15 | 6.1E+14 |
| I 129 | 2.9E+12 | 1.0E+13 | 1.1E+13 | 2.4E+13 | 2.0E+13 | 2.8E+13 | 1.4E+13 |
| Kr 85 | 1.8E+13 | 6.4E+13 | 7.0E+13 | 1.5E+14 | 1.3E+14 | 1.8E+14 | 8.9E+13 |
| Mn 54 | 1.3E+13 | 4.5E+13 | 5.0E+13 | 1.1E+14 | 9.1E+13 | 1.3E+14 | 6.3E+13 |
| Mo 93 | 3.4E+13 | 1.2E+14 | 1.3E+14 | 2.9E+14 | 2.4E+14 | 3.3E+14 | 1.7E+14 |
| Na 22 | 3.1E+12 | 1.1E+13 | 1.2E+13 | 2.6E+13 | 2.2E+13 | 3.0E+13 | 1.5E+13 |
| Nb 93M | 1.4E+14 | 5.0E+14 | 5.4E+14 | 1.2E+15 | 1.0E+15 | 1.4E+15 | 7.0E+14 |
| Nb 95 | 3.6E+13 | 1.2E+14 | 1.4E+14 | 3.0E+14 | 2.5E+14 | 3.5E+14 | 1.7E+14 |
| Ni 59 | 4.2E+13 | 1.5E+14 | 1.6E+14 | 3.5E+14 | 2.9E+14 | 4.1E+14 | 2.0E+14 |
| Pa 233 | 1.4E+14 | 4.9E+14 | 5.4E+14 | 1.2E+15 | 9.9E+14 | 1.4E+15 | 6.9E+14 |
| Pa 234M | 1.2E+14 | 4.2E+14 | 4.6E+14 | 1.0E+15 | 8.5E+14 | 1.2E+15 | 5.9E+14 |
| Pa 234 | 4.2E+13 | 1.5E+14 | 1.6E+14 | 3.5E+14 | 2.9E+14 | 4.1E+14 | 2.1E+14 |
| Pb 214 | 1.9E+14 | 6.6E+14 | 7.2E+14 | 1.6E+15 | 1.3E+15 | 1.8E+15 | 9.2E+14 |
| Pd 107 | 2.3E+13 | 7.9E+13 | 8.6E+13 | 1.9E+14 | 1.6E+14 | 2.2E+14 | 1.1E+14 |
| Pm 147 | 1.2E+14 | 4.2E+14 | 4.6E+14 | 1.0E+15 | 8.5E+14 | 1.2E+15 | 5.9E+14 |
| Po 210 | 2.8E+12 | 9.8E+12 | 1.1E+13 | 2.3E+13 | 2.0E+13 | 2.7E+13 | 1.4E+13 |
| Pu 236 | 1.2E+12 | 4.1E+12 | 4.5E+12 | 9.8E+12 | 8.2E+12 | 1.1E+13 | 5.7E+12 |
| Pu 239 | 6.9E+10 | 2.4E+11 | 2.6E+11 | 5.7E+11 | 4.8E+11 | 6.7E+11 | 3.4E+11 |
| Pu 240 | 8.8E+10 | 3.1E+11 | 3.3E+11 | 7.3E+11 | 6.1E+11 | 8.5E+11 | 4.3E+11 |

Tabelle 2 d: Aktivitätswerte für Radionuklide in Bq pro Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren.

| Radio- nuklid | A k t i v i t ä t s w e r t | | | | | | |
|------------------|-----------------------------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| | Gußbeh. | | | Container | | | |
| | Typ III | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V | Typ VI |
| Pu 241 | 5.7E+12 | 2.0E+13 | 2.2E+13 | 4.8E+13 | 4.0E+13 | 5.6E+13 | 2.8E+13 |
| Pu 242 | 5.5E+10 | 1.9E+11 | 2.1E+11 | 4.5E+11 | 3.8E+11 | 5.3E+11 | 2.7E+11 |
| Ra 223 | 4.0E+12 | 1.4E+13 | 1.5E+13 | 3.3E+13 | 2.8E+13 | 3.9E+13 | 1.9E+13 |
| Ra 224 | 9.7E+12 | 3.4E+13 | 3.7E+13 | 8.1E+13 | 6.7E+13 | 9.4E+13 | 4.7E+13 |
| Rn 222 | 1.3E+13 | 4.6E+13 | 5.0E+13 | 1.1E+14 | 9.2E+13 | 1.3E+14 | 6.4E+13 |
| Ru 103 | 4.8E+13 | 1.7E+14 | 1.8E+14 | 4.0E+14 | 3.4E+14 | 4.7E+14 | 2.3E+14 |
| Ru 106 | 6.2E+12 | 2.1E+13 | 2.3E+13 | 5.1E+13 | 4.3E+13 | 6.0E+13 | 3.0E+13 |
| S 35 | 1.1E+14 | 3.8E+14 | 4.2E+14 | 9.2E+14 | 7.7E+14 | 1.1E+15 | 5.4E+14 |
| Sb 125 | 1.1E+13 | 3.8E+13 | 4.1E+13 | 9.0E+13 | 7.5E+13 | 1.1E+14 | 5.3E+13 |
| Sc 46 | 8.9E+12 | 3.1E+13 | 3.4E+13 | 7.4E+13 | 6.2E+13 | 8.7E+13 | 4.3E+13 |
| Se 79 | 7.5E+12 | 2.6E+13 | 2.9E+13 | 6.3E+13 | 5.2E+13 | 7.3E+13 | 3.7E+13 |
| Sm 151 | 1.1E+14 | 3.8E+14 | 4.2E+14 | 9.2E+14 | 7.7E+14 | 1.1E+15 | 5.4E+14 |
| Sr 89 | 4.1E+13 | 1.4E+14 | 1.6E+14 | 3.4E+14 | 2.9E+14 | 4.0E+14 | 2.0E+14 |
| Sr 90 | 2.9E+12 | 1.0E+13 | 1.1E+13 | 2.4E+13 | 2.0E+13 | 2.8E+13 | 1.4E+13 |
| Ta 182 | 1.1E+13 | 3.8E+13 | 4.2E+13 | 9.1E+13 | 7.6E+13 | 1.1E+14 | 5.3E+13 |
| Tc 99 | 3.3E+12 | 1.2E+13 | 1.3E+13 | 2.8E+13 | 2.3E+13 | 3.2E+13 | 1.6E+13 |
| Te 125M | 1.6E+14 | 5.5E+14 | 6.0E+14 | 1.3E+15 | 1.1E+15 | 1.5E+15 | 7.7E+14 |
| Th 227 | 2.2E+12 | 7.6E+12 | 8.3E+12 | 1.8E+13 | 1.5E+13 | 2.1E+13 | 1.1E+13 |
| Th 228 | 2.3E+11 | 8.0E+11 | 8.8E+11 | 1.9E+12 | 1.6E+12 | 2.2E+12 | 1.1E+12 |
| Th 231 | 1.1E+15 | 3.7E+15 | 4.1E+15 | 9.0E+15 | 7.5E+15 | 1.0E+16 | 5.2E+15 |
| Th 234 | 2.4E+13 | 8.3E+13 | 9.1E+13 | 2.0E+14 | 1.7E+14 | 2.3E+14 | 1.2E+14 |
| U 232 | 5.5E+10 | 1.9E+11 | 2.1E+11 | 4.6E+11 | 3.9E+11 | 5.4E+11 | 2.7E+11 |
| U 236 | 5.3E+10 | 1.8E+11 | 2.0E+11 | 4.4E+11 | 3.7E+11 | 5.2E+11 | 2.6E+11 |
| V 49 | 2.5E+15 | 8.7E+15 | 9.5E+15 | 2.1E+16 | 1.7E+16 | 2.4E+16 | 1.2E+16 |
| Zn 65 | 2.0E+13 | 7.1E+13 | 7.8E+13 | 1.7E+14 | 1.4E+14 | 2.0E+14 | 9.9E+13 |
| Zr 93 | 4.6E+12 | 1.6E+13 | 1.7E+13 | 3.8E+13 | 3.2E+13 | 4.5E+13 | 2.2E+13 |
| Zr 95 | 2.5E+13 | 8.7E+13 | 9.5E+13 | 2.1E+14 | 1.7E+14 | 2.4E+14 | 1.2E+14 |

Anhänge

Anhang 1: Auswahl der Leitnuklide (Stand: 1.9.1986)

Die 106 Radionuklide werden nach aufsteigendem Aktivitätswert geordnet, vergl. Tab. 3. Die ersten 13 α -Strahler:

Th 232, U 235, U 233, Th 230, Pa 231, U 234, Cm 243, Np 237, Cm 247,
Pu 244, Ra 226, U 238, Cm 245

und die ersten 13 β/γ -Strahler:

Ac 227, Am 242M, Ra 228, Nb 94, Pb 210, Ca 41, Ag 108M, Cl 36, Be 10,
Sn 126, Rb 87, Co 60, Ar 39

in dieser Liste werden Leitnuklide. Dazu kommen die häufig vorkommenden Radionuklide:

Pu 238, Cs 137, Ni 63, Fe 55,

die zu den Leitnukliden gezählt werden, um unnötige Konservativitäten zu vermeiden. Alle diese letzteren Radionuklide haben Aktivitätswerte, die weit größer sind als die Aktivitätswerte für sonstige Strahler. Das führt dazu, daß sie am Summenwert einen relativ geringen Anteil haben.

Tabelle 3: Grenzwärmeleistungen und Aktivitätswerte für Einzel-
nuklide nach aufsteigendem Aktivitätswert geordnet

(Stand: 1.9.1986 - - - Programm: GREWATB3 - - - PTE SE 1.1/Pl)

| Nr. | Radio- nuklid | | Grenzwärme- leistung in W/m | Aktivitäts- grenzwert in Bq/m |
|-----|------------------|------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Th 232 | (L) | 8.712E-02 | 1.332E+11 |
| 2 | U 235 | (L) | 1.098E-01 | 1.465E+11 |
| 3 | U 233 | (L) | 1.402E-01 | 1.781E+11 |
| 4 | Th 230 | (L) | 1.462E-01 | 1.914E+11 |
| 5 | Pa 231 | (L) | 1.659E-01 | 2.011E+11 |
| 6 | U 234 | (L) | 2.008E-01 | 2.580E+11 |
| 7 | Cm 248 | (L) | 1.015E+00 | 3.021E+11 |
| 8 | Np 237 | (L) | 2.629E-01 | 3.311E+11 |
| 9 | Cm 247 | (L) | 3.023E-01 | 3.527E+11 |
| 10 | Pu 244 | (L) | 3.659E-01 | 4.667E+11 |
| 11 | Ra 226 | (L) | 3.689E-01 | 4.730E+11 |
| 12 | U 238 | (L) | 3.576E-01 | 5.228E+11 |
| 13 | Cm 245 | (L) | 8.106E-01 | 8.997E+11 |
| 14 | U 236 | (S1) | 9.015E-01 | 1.232E+12 |
| 15 | Pu 242 | | 1.008E+00 | 1.263E+12 |
| 16 | U 232 | | 1.114E+00 | 1.284E+12 |
| 17 | Pu 239 | | 1.341E+00 | 1.596E+12 |
| 18 | Am 243 | | 1.439E+00 | 1.653E+12 |
| 19 | Pu 240 | | 1.712E+00 | 2.033E+12 |
| 20 | Cm 246 | | 1.841E+00 | 2.080E+12 |
| 21 | Ac 227 | (L) | 3.303E-02 | 2.521E+12 |
| 22 | Am 242M | (L) | 3.871E-02 | 3.618E+12 |
| 23 | Ra 228 | (L) | 7.727E-03 | 3.715E+12 |
| 24 | Am 241 | | 3.992E+00 | 4.421E+12 |
| 25 | Nb 94 | (L) | 1.380E+00 | 5.018E+12 |
| 26 | Th 228 | | 4.720E+00 | 5.339E+12 |
| 27 | Pu 238 | (L1) | 7.955E+00 | 8.878E+12 |
| 28 | Cm 243 | | 1.265E+01 | 1.275E+13 |
| 29 | Pb 210 | (L) | 9.242E-02 | 1.476E+13 |
| 30 | Cm 244 | | 1.485E+01 | 1.570E+13 |
| 31 | Ca 41 | (L) | 1.143E+00 | 1.671E+13 |
| 32 | Ag 108M | (L) | 6.802E+00 | 2.586E+13 |
| 33 | Cl 36 | (L) | 1.023E+00 | 2.590E+13 |
| 34 | Be 10 | (L) | 8.409E-01 | 2.595E+13 |
| 35 | Pu 236 | | 2.561E+01 | 2.724E+13 |
| 36 | Sn 126 | (L) | 1.118E+00 | 3.319E+13 |
| 37 | Rb 87 | (L) | 8.409E-01 | 3.721E+13 |
| 38 | Th 227 | | 4.985E+01 | 5.061E+13 |
| 39 | Co 60 | (L) | 2.170E+01 | 5.205E+13 |
| 40 | Ar 39 | (L) | 4.818E+00 | 5.323E+13 |
| 41 | Cm 242 | | 6.061E+01 | 6.085E+13 |
| 42 | Po 210 | | 5.636E+01 | 6.508E+13 |
| 43 | Sr 90 | (S2) | 2.083E+00 | 6.635E+13 |
| 44 | I 129 | | 8.409E-01 | 6.727E+13 |
| 45 | Na 22 | | 2.743E+01 | 7.180E+13 |
| 46 | Eu 154 | | 1.849E+01 | 7.640E+13 |
| 47 | Tc 99 | | 1.048E+00 | 7.702E+13 |
| 48 | Eu 152 | | 1.591E+01 | 7.760E+13 |
| 49 | Cs 137 | (L1) | 2.629E+00 | 8.792E+13 |
| 50 | Ra 223 | | 8.864E+01 | 9.252E+13 |

Tabelle 3 - Fortsetzung 1

| Nr. | Radio- nuklid | Grenzwärme- leistung in W/m | Aktivitäts- grenzwert in Bq/m |
|-----|------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 51 | Cs 135 | 8.409E-01 | 9.323E+13 |
| 52 | Ag 110M | 4.437E+01 | 9.839E+13 |
| 53 | Zr 93 | 3.330E-01 | 1.061E+14 |
| 54 | Cs 134 | 2.974E+01 | 1.082E+14 |
| 55 | Pu 241 | 1.106E-01 | 1.328E+14 |
| 56 | Ru 106 | 2.288E-01 | 1.430E+14 |
| 57 | Se 79 | 1.172E+00 | 1.741E+14 |
| 58 | Ce 144 | 3.447E+00 | 1.926E+14 |
| 59 | Sc 46 | 7.019E+01 | 2.065E+14 |
| 60 | Ba 133 | 1.722E+01 | 2.067E+14 |
| 61 | C 14 | 1.774E+00 | 2.237E+14 |
| 62 | Ra 224 | 2.083E+02 | 2.245E+14 |
| 63 | Sb 125 | 2.119E+01 | 2.508E+14 |
| 64 | Ta 182 | 6.100E+01 | 2.531E+14 |
| 65 | Mn 54 | 4.076E+01 | 3.019E+14 |
| 66 | Rn 222 | 2.735E+02 | 3.052E+14 |
| 67 | Co 57 | 4.301E+01 | 3.209E+14 |
| 68 | Cd 113M | 1.558E+01 | 3.423E+14 |
| 69 | Fe 59 | 9.455E+01 | 3.752E+14 |
| 70 | Kr 85 | 1.722E+01 | 4.251E+14 |
| 71 | Co 58 | 7.580E+01 | 4.679E+14 |
| 72 | Zn 65 | 4.480E+01 | 4.731E+14 |
| 73 | Pd 107 | 8.409E-01 | 5.256E+14 |
| 74 | Th 234 | 6.121E+00 | 5.565E+14 |
| 75 | Zr 95 | 7.950E+01 | 5.803E+14 |
| 76 | Hf 181 | 9.748E+01 | 5.944E+14 |
| 77 | Ni 63 (L1) | 8.000E+00 | 7.477E+14 |
| 78 | Hf 175 | 7.642E+01 | 7.806E+14 |
| 79 | Mo 93 | 2.003E+00 | 7.919E+14 |
| 80 | Nb 95 | 1.074E+02 | 8.265E+14 |
| 81 | Sr 89 | 8.936E+01 | 9.567E+14 |
| 82 | Ni 59 | 1.145E+00 | 9.701E+14 |
| 83 | Pa 234 | 3.788E+02 | 9.763E+14 |
| 84 | Bi 214 | 3.788E+02 | 1.095E+15 |
| 85 | Ru 103 | 1.014E+02 | 1.118E+15 |
| 86 | Eu 155 | 2.214E+01 | 1.124E+15 |
| 87 | Hg 203 | 9.266E+01 | 1.177E+15 |
| 88 | Ac 228 | 3.788E+02 | 1.619E+15 |
| 89 | Bi 210 | 1.235E+02 | 1.982E+15 |
| 90 | Cd 109 | 3.522E+01 | 2.048E+15 |
| 91 | Sm 151 | 8.086E+00 | 2.551E+15 |
| 92 | S 35 | 6.868E+01 | 2.563E+15 |
| 93 | Am 244 | 3.788E+02 | 2.668E+15 |
| 94 | Pm 147 | 2.735E+01 | 2.823E+15 |
| 95 | Pa 234M | 3.788E+02 | 2.827E+15 |
| 96 | I 125 | 8.189E+01 | 2.884E+15 |
| 97 | Pa 233 | 2.015E+02 | 3.287E+15 |
| 98 | Nb 93M | 1.591E+01 | 3.321E+15 |
| 99 | Te 125M | 8.336E+01 | 3.672E+15 |
| 100 | Ca 45 | 5.263E+01 | 4.244E+15 |

Tabelle 3 - Fortsetzung 2

| Nr. | Radio- nuklid | Grenzwärme- leistung in W/m | Aktivitäts- grenzwert in Bq/m |
|-----|------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 101 | Pb 214 | 3.788E+02 | 4.394E+15 |
| 102 | H 3 | 1.644E+01 | 1.801E+16 |
| 103 | Cr 51 | 1.223E+02 | 2.116E+16 |
| 104 | Th 231 | 3.788E+02 | 2.492E+16 |
| 105 | Fe 55 (L1) | 2.744E+01 | 2.931E+16 |
| 106 | V 49 | 3.991E+01 | 5.792E+16 |

Erläuterungen zu Tabelle 3:

- (L) Leitnuklid,
- (S1) ... Wert für sonstige α -Strahler,
- (S2) ... Wert für sonstige β/γ -Strahler,
- (L1) ... zusätzliche Leitnuklide

Anhang 2: Berechnung der Leitnuklidkorrektur

Bei der Überprüfung der Anforderungen an Abfallgebinde, die aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren, ist folgender Summenwert zu bilden, vergl. /1/:

$$\begin{aligned}
 S_L = & \sum_i \frac{A(i)}{\text{Leitn. } G_w(i, B)} + \frac{A(\text{sonst. } \alpha)}{G_w(\text{sonst. } \alpha, B)} \\
 & + \frac{A(\text{sonst. } \beta/\gamma)}{G_w(\text{sonst. } \beta/\gamma, B)} \quad (1) \\
 & + \sum_{\text{spez. } \alpha\text{-Strahler } i} \frac{A(i)}{G_w(i, B)} + \sum_{\text{spez. } \beta/\gamma\text{-Strahler } i} \frac{A(i)}{G_w(i, B)}
 \end{aligned}$$

Dabei sind:

- $A(i)$ die Aktivität des Radionuklids i im Abfallgebinde,
- $G_w(i, B)$ der Aktivitätswert für das Radionuklid i und den Behälter B ,
- $A(\text{sonst. } \alpha)$ die Restaktivität der nicht aufgeschlüsselten α -Strahler im Abfallgebinde,
- $A(\text{sonst. } \beta/\gamma)$ die Restaktivität der nicht aufgeschlüsselten β/γ -Strahler im Abfallgebinde,
- $G_w(\text{sonst. } \alpha, B)$ der Aktivitätswert für die nicht aufgeschlüsselten α -Strahler im Abfallgebinde,
- $G_w(\text{sonst. } \beta/\gamma, B)$ der Aktivitätswert für die nicht aufgeschlüsselten β/γ -Strahler im Abfallgebinde.

Die erste Summe in (1) erstreckt sich über alle Leitnuklide, deren Aktivität nicht unter dem sogenannten Meldewert von 1 % des Aktivitätswerts liegt; die letzten beiden über alle darüber hinaus spezifizierten α - bzw. β/γ -Strahler. Auch bei den nicht spezifizierten sonstigen Strahlern kann der Summand weggelassen werden, wenn der Meldewert nicht erreicht wird. Für die aufgeführten Aktivitäten gilt also:

$$A_i \geq G_w(i,B) * \frac{1}{100} \quad (2)$$

gilt. Außerdem ist, vergl. /1/:

$$G_w(i,B) = A^*(i,B) * k_L \quad (3)$$

(A^* Aktivitätswert ohne Leitnuklidkorrektur). Sei n_L die Anzahl der Leitnuklide, dann ist die Leitnuklidkorrektur k_L durch:

$$k_L = \frac{1}{1 + \frac{n_L + 2}{100}} \quad (4)$$

gegeben. Nehmen wir an, für ein gewisses Abfallgebinde sei die Bedingung:

$$S_L \leq 1 \quad (5)$$

nachgewiesen. Dann kann man abschätzen:

$$S' = \sum_i \frac{A(i)}{\text{Leitn. } A^*(i, B)} + \frac{A(\text{sonst. } \alpha)}{A^*(\text{sonst. } \alpha, B)} + \frac{A(\text{sonst. } \beta/\gamma)}{A^*(\text{sonst. } \beta/\gamma, B)} \quad (6)$$

$$+ \sum_{\text{spez. } \alpha\text{-Strahler } i} \frac{A(i)}{A^*(i, B)} + \sum_{\text{spez. } \beta/\gamma\text{-Strahler } i} \frac{A(i)}{A^*(i, B)} \leq$$

$$\leq k_L \left(S_L + \frac{n_L + 2}{100} \right)$$

$$\leq k_L \left(1 + \frac{n_L + 2}{100} \right) = 1$$

nach Voraussetzung. Die Bedingung (4.5) in /1/ ist also dann erfüllt.

Für 30 Leitnuklide ergibt sich aus (4):

$$k_L = 0.758.$$

Anhang 3: Wärmeausbreitungsrechnungen zur verdünnten Einlagerung

Bei der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins kommt es nicht auf die genaue Verteilung der Wärmequellen in den Einlagerungskammern an. Wesentlich ist nur eine über den Streckenquerschnitt und einen gewissen Bereich in axialer Richtung gemittelte Wärmeleistung. Aus diesem Grund können Abfallgebände mit vergleichsweise hohen Wärmeleistungen, die dem Summenkriterium nicht genügen, zusammen mit Abfallgebänden geringer Wärmeabgabe eingelagert werden, wenn nur die gemittelte Wärmeleistung begrenzt ist. Der Nachweis dafür kann wieder mit einem Summenkriterium erfolgen, vergl /1/.

In diesem Zusammenhang wurden einige Wärmeausbreitungsrechnungen durchgeführt, um die Temperaturen in den Abfallgebänden, die nur im Zusammenhang mit der verdünnten Einlagerung endgelagert werden können, zu berechnen.

Bei der Verdünnung im Querschnitt wurde modellmäßig eine Kette von Abfallgebänden betrachtet, die die maximal zulässigen Summenwerte von 20 besitzen - vergl. /1/, S. 52. Die Berechnung der Temperaturentwicklung im Abfallgebäude wurde für das Radionuklid Co 60 sowie andererseits für konstante Wärmeleistung durchgeführt. Die Temperatur im Gebäude steigt innerhalb von 5 Jahren um weniger als 10 K. Bei kurzlebigen Radionukliden ist kurzfristig eine größere Temperaturerhöhung möglich. Für diese Berechnungen wurde das FORTRAN-Programm WAUZYLL verwendet, /3/.

Bei der axialen Verdünnung können Abfallgebäude mit noch höheren Summenwerten eingelagert werden. Die Wärmeleistungen werden rechnerisch über drei Stapelabschnitte verschmiert. Bei einer Modellrechnung, für die das Programm WAU2D eingesetzt wurde /4/, ergaben sich für Co 60 innerhalb von fünf Jahren weniger als 10 K maximale Temperaturerhöhung im Gebäude. Dabei wurde die maximal mögliche Wärmeleistung zugelassen.

Literaturhinweise

- /1/ F. Piefke: Berechnungen zur thermischen Einwirkung von schwachwärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen auf das Wirtsgestein in der Schachtanlage Konrad, Bericht: PTB-SE 10, Februar 1986.
- /2/ [REDACTED], Kernforschungszentrum Karlsruhe, private Mitteilung, 6.5.1986.
- /3/ [REDACTED] Numerische Lösung der Wärmeleitungs- und Diffusionsgleichung für einen unendlich langen Kreiszyylinder mit dem Programm WAUZYL, (in Vorbereitung).
- /4/ [REDACTED]: Wärmeausbreitungsrechnungen in zweidimensionalen Geometrien bei verschiedenen Randbedingungen mit dem Programm WAU2D, (in Vorbereitung).