

# **Ausführungen**

## **zur Berücksichtigung neuer Radionuklide im geplanten Endlager Konrad**

Auftraggeber:

Stadt Salzgitter

Auftragnehmer:

*intac* GmbH i.L.

Inhalt

1. Sachstand .....	2
2. Bewertung zu Halbwertszeit und Dosiskoeffizient.....	4
3. Bewertung bezüglich weiterer Parameter .....	7
Zusammenfassung .....	9
Literaturverzeichnis .....	10

**Hannover, 12.02.2019**

## 1. Sachstand

### Endlagerungsbedingungen Konrad 1995.

Den dafür erstellten Sicherheitsanalysen lag ein Radionuklidspektrum mit 156 Radionukliden zugrunde. Diese 156 Radionuklide wurden auf Grundlage der Angaben der Abfallproduzenten zu in ihren unterschiedlichen Abfällen enthaltenen Radionukliden festgelegt. Gegen dieses Radionuklidspektrum hatten TÜV und NMU (Planfeststellungsbehörde) keine Einwände. Das BfS als Antragsteller ging davon aus, dass nur diese Radionuklide in den Abfällen enthalten sein können.

Mit dem Ergebnis der Sicherheitsanalysen wurde für 108 der 156 Radionuklide die Notwendigkeit gesehen, spezifische maximal zulässige Werte für deren Endlagerung festzulegen. Diese Werte sind in den Endlagerungsbedingungen 1995 aufgeführt. Von den anderen 48 Radionuklide haben 44 Halbwertszeiten  $\leq 10$  d (spielen keine Rolle, weil sie bei Abfallablieferung bereits abgeklungen sind) und sind 4 mit Halbwertszeiten mehr als  $10^{11}$  a primordial (spielen keine Rolle, weil die Zahl der Zerfälle pro Zeiteinheit so gering sind, dass sie radiologisch nicht relevant sind).

### Einlagerung ab 1994 ins ERAM

Die Situation im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird hier aufgeführt, weil darauf vom BfS in der Bewertung neuer Radionuklide für Konrad Bezug genommen wird.

Für 63 zusätzliche Radionuklide, die auch diejenigen für das Änderungsverfahren a) für Konrad in [NEUMANN 2018] sind, wurden Sicherheitsanalysen für das ERAM durchgeführt. Danach erfolgte in Bezug auf

- **Störfälle:** Festlegung von zulässigen Höchstwerten für 57 der 63 Radionuklide. Als Leitnuklide wurden Al-26, Cf-249, Cf 251, Cf-252, Cf-254, Cm-250, Ho-166m, K-40 und Th-229 festgelegt.
- **Langzeitsicherheit:** Festlegung von zulässigem Höchstwert für Th-229.

### Aussagen zur Langzeitsicherheit von BfS:

Eigenüberwachung (EÜ) 2009:

„aa) Radiologische Langzeitauswirkungen

*Vor dem Hintergrund, dass die kürzesten Fließzeiten für die charakteristischen Ausbreitungswege im Bereich zwischen 350 000 und 38,8 Millionen Jahren betragen, ist für 69 Radionuklide aufgrund ihrer kurzen Halbwertszeit eine langzeitsicherheitliche Relevanz auszuschließen. Für die restlichen 9 Radionuklide, die allein aufgrund ihrer Halbwertszeit geprüft wurden, ist aufgrund ihrer geringen Aktivitätsanteile festzustellen, dass von diesen keine signifikanten radiologischen Langzeitauswirkungen zu*

erwarten sind. Eine Erhöhung des Aktivitätsinventars wäre lediglich durch das natürlich vorkommende Radionuklid K-40 denkbar. Mit der vorgesehenen Regelung zur Begrenzung auf das  $10^4$ -fache der Aktivitätsgrenzwerte der nicht spezifizierten sonstigen Alpha- bzw. Beta / Gammastrahler wird dies jedoch unterbunden.“

BfS, Überprüfung des Radionuklidspektrums 2013 (in Kapitel 6.3.5) :

In Anhang II werden die weiteren 91 Radionuklide als „Tabelle 10: Zusätzliche Radionuklide, die in dioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können“ explizit angeben:

Radionuklid			
Al-26	Cs-136	Pm-146	Sr-82
Ar-37	Es-253	Pm-148m	Sr-85
As-73	Es-254	Po-208	Ta-179
Au-195	Eu-156	Pr-143	Tb-160
Ba-140	Gd-153	Pt-193	Tc-95m
Be-7	Ge-68	Pu-246	Tc-97
Bi-205	Hf-172	Ra-225	Te-121m
Bi-207	Hf-178m	Rb-83	Te-123m
Bi-208	Ho-166m	Rb-84	Te-127m
Bi-210m	In-114m	Rb-86	Te-129m
Bk-249	Ir-192	Rh-101	Th-229
Cd-115m	K-40	Rh-102	Ti-44
Ce-139	Kr-81	Rh-102m	Tl-204
Ce-141	Lu-173	Sb-124	Tm-170
Cf-249	Lu-174	Sb-126	Tm-171
Cf-250	Lu-176	Se-75	V-48
Cf-251	Mn-53	Si-32	W-181
Cf-252	Nb-92	Sm-145	W-185
Cf-253	Nd-147	Sn-113	Xe-131m
Cf-254	Np-236 <sup>1)</sup>	Sn-117m	Y-88
Cm-241	P-32	Sn-119m	Y-91
Cm-250	P-33	Sn-121m	Yb-169
Co-56	Pm-145	Sn-123	

<sup>1)</sup> Np-236, Halbwertszeit  $1,54 \cdot 10^6$  a

## 2. Bewertung zu Halbwertszeit und Dosiskoeffizient

Im Folgenden die für Konrad nach gegenwärtigem Stand zu berücksichtigenden zusätzlichen Radionuklide aus der vorstehenden Tabelle 10 [BfS 2013], die Halbwertszeiten (HWZ) von größer ca.1 a und geringer  $10^{11}$  a haben. Neben der HWZ wird der Dosiskoeffizient (DK) in Sv/Bq für die Ingestion bei Kindern  $\leq 1$  a angegeben. Die Ingestion ist der wesentliche Belastungspfad für die Langzeitsicherheit (Trinkwasserbrunnen).

Al-26	HWZ 7,1 E+5 a	DK Ing. 3,3 E-8
Bi-207	HWZ 31,5 a	DK Ing. 1,0 E-8
Bi-208	HWZ 3,6 E+5 a	?
Bi-210m	HWZ 3 E+6 a	DK Ing. 2,1 E-7
Cf-249	HWZ 350,6 a	DK Ing. 9,0 E-6
Cf-250	HWZ 13 a	DK Ing. 5,7 E-6
Cf-251	HWZ 898 a	DK Ing. 9,1 E-6
Cf-252	HWZ 2,6 a	DK Ing. 5,0 E-6
Cm-250	HWZ 9,7 E+3 a	DK Ing. 7,8 E-5
Es-254	HWZ 275,7 d	DK Ing. 1,4 E-6
Hf-172	HWZ 1,8 a	DK Ing. 1,9 E-8
Hf-178m	HWZ 31 a	DK Ing. 7,0 E-8
Ho-166m	HWZ 1,3 E+3 a	DK Ing. 2,6 E-8
K-40	HWZ 1,2 E +9 a	DK Ing. 6,2 E-8
Kr-81	HWZ 2,3 E+5 a	?
Lu-173	HWZ 1,3 a	DK Ing. 2,7 E-9
Lu-174	HWZ 3,3 a	DK Ing. 3,2 E-9
Lu-176	HWZ 3,8 E+10 a	DK Ing. 2,4 E-8
Mn-53	HWZ 3,7 E+6	DK Ing. 1,2 E-8

Nb-92	HWZ 3,6 E+7 a	?	
<b>Np-236</b>	<b>HWZ 1,54 E+5 a</b>	<b>DK Ing. 1,9 E-7</b>	(1,15 E+5 a HWZ)
Pm-146	HWZ 5,5 a	DK Ing. 1,0 E-8	
Pm-147	HWZ 17,7 a	DK Ing. 3,6 E-9	
Po-208	HWZ 2,8 a	?	
Pt-193	HWZ 50 a	DK Ing. 3,7 E-10	
Rh-101	HWZ 3,3 a	DK Ing. 4,9 E-9	
Si-32	HWZ 172 a	DK Ing. 7,3 E-9	
Sn-121m	HWZ 50 a	DK Ing. 4,6 E-9	
Tc-97	HWZ 4 E+6 a	DK Ing. 9,9 E-10	
Tl-204	HWZ 3,7 a	DK Ing. 1,3 E-8	
<b>Th-229</b>	<b>HWZ 7,8 E+3 a</b>	<b>DK Ing. 1,1 E-5</b>	
Tm-171	HWZ 1,9 a	DK Ing. 1,5 E-9	

Die gelb markierten Radionuklide haben einen besonders hohen Dosiskoeffizienten (sind also höher radiotoxisch). Das bedeutet, schon geringe Mengen können größere Auswirkungen verursachen. Auswirkungen kann es aber nur geben, wenn Radionuklide auch in der Biosphäre ankommen. Dafür sind natürlich vor allem Radionuklide mit längerer Halbwertszeit interessant. Das sind auf jeden Fall Th-229, Np-236, Bi-210m und etwas geringer Cm-250 sowie evtl. Cf-251. Für die anderen gelb markierten Radionuklide gilt, dass sie eine für die im Planfeststellungsbeschluss berücksichtigten Laufwege bis zur Biosphäre zu geringe Halbwertszeit haben.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich alle auf die „Überprüfung des Radionuklidspektrums aus den Endlagerungsbedingungen Konrad ...“ [BfS 2013].

ES-254 wird von BfS als relevant ausgeschlossen, weil es eine zu geringe Halbwertszeit habe [BfS 2013, S. 53]. Ob das trotz des sehr hohen Dosiskoeffizienten trägt, ist zu hinterfragen. Vor allem wenn deutlich kürzere Laufzeiten, z.B. über alte Bohrungen, unterstellt würden. Dies wurde im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung zum Planfeststellungsbeschluss getan. Das Ergebnis für das dort berücksichtigte Radionuklidspektrum waren „erhebliche Überschreitungen der Grenzwerte“

[DPU 1993]. Auf diese Tatsache wird im Planfeststellungsbeschluss nicht eingegangen, siehe [NMU 2002, S. C II 2.1.2.9-11].

Bi-210m wird von BfS offenbar ausgeschlossen, weil es trotz Nennung in Zerfallsprogrammen bisher von Abfallerzeugern in Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nicht deklariert wurde<sup>1</sup> und in Langzeitsicherheitsnachweisen für ausländische Endlager nicht berücksichtigt wurde [BfS 2013, S. 54].

Th-229 wird von BfS als relevant ausgeschlossen, weil es nur in geringen Mengen in den Abfällen vorkommen soll [BfS 2013, S. 54].<sup>2</sup>

Np-236 wird von BfS als relevant ausgeschlossen, weil es in ERAM-Abfällen und in fünf Abfallchargen des KfK in „vergleichsweise sehr geringen“ Umfang enthalten ist und in Langzeitsicherheitsnachweisen für ausländische Endlager nicht berücksichtigt wurde [BfS 2013, S. 54].

Bezüglich der geringen Mengen für Bi-210m, Th-229 und Np-236 fragt sich ob die Argumentation trotz der hohen Dosiskoeffizienten ausreichend ist. Die Nichtberücksichtigung in Langzeitsicherheitsnachweisen für andere Endlager hat keine große Aussagekraft für Konrad, da es sich dabei - wie BfS selbst sagt, jeweils um standort-spezifische Nachweise handelt. Davon abgesehen wird aber die unzutreffende Behauptung aufgestellt, in diesen Langzeitsicherheitsnachweisen würde keines der vorgenannten Radionuklide berücksichtigt [BfS 2013, S. 55]. Zu den vom BfS in Tabelle 19 selbst gelisteten Radionukliden gehört aber Th-229. Die Behauptung ist also falsch, was für den Ausschluss sicherheitstechnischer Auswirkungen wegen des sehr hohen Dosiskoeffizienten besonders problematisch ist. Dies gilt verschärft, wenn kürzere Laufwege als im Planfeststellungsbeschluss unterstellt würden.

Cm-250 wird vom BfS in der Tabelle 19 mit den für die Langzeitsicherheit als relevant angesehenen Radionukliden ohne Begründung nicht aufgeführt. Es fällt in Abfällen aus Betrieb und Stilllegung aber an (Tabelle 2) und wurde auch schon von Abfallerzeugern deklariert. Die Halbwertszeit beträgt immerhin ca. 10.000 Jahre und Cm-250 hat einen sehr hohen Dosiskoeffizienten. Allein wegen dieser Kombination hätte die Langzeitsicherheit bezüglich dieses Radionuklids, auch bei in normal konditionierten Abfällen vermeintlich geringem Radioaktivitätsinventar, detailliert untersucht und bewertet werden müssen.

---

<sup>1</sup> Das Auftreten ist also durchaus möglich, allerdings nach bisherigen Kenntnissen nur in kleinen Mengen.

<sup>2</sup> Für Th-229 wurde in den Endlagerungsbedingungen für das ERAM eine Begrenzung eingeführt [BfS 2013, S. 21].

Ähnlich verhält es sich mit Cf-251. Dessen HWZ ist mit knapp 1.000 Jahre geringer, aber es hat einen vergleichbaren Dosiskoeffizient. Cf-151 war auch im Radionuklid-spektrum für den Planfeststellungsbeschluss enthalten. Es wurde damals aber nur für den Kritikalitätssicherheitsnachweis berücksichtigt. Dies wird vom BfS in der Überprüfung ohne weitere Begründung referiert [BfS 2013, S. 20].

### **3. Bewertung bezüglich weiterer Parameter**

Eine belastbare Überprüfung der Radionuklide Bi-210m, Th-229, Np-236, Cm-250 und Cf-251 auf ihre konradspezifische Langzeitwirksamkeit muss über die oben genannten Aspekte Halbwertszeit und Dosiskoeffizient hinausgehen. Es müssen zusätzliche Eigenschaften wie das Sorptionsverhalten der Radionuklide, ihr Löslichkeitsverhalten sowie noch weitere Merkmale (z.B. Komplexierungsverhalten, Gesteinsmerkmale) berücksichtigt werden.

Insbesondere die Sorption spielt bei der Ausbreitung von Radionukliden im Grundwasser eine ausgesprochen wichtige Rolle, denn eine hohe Sorption ist eine Voraussetzung für ein hohes Rückhaltevermögen des Gebirges.<sup>3</sup> Die Sorption wird üblicherweise mit dem  $K_d$ -Wert beschrieben ( $K_d=0$ : keine Sorption,  $K_d > 0$  bedeutet Sorption). Der  $K_d$ -Wert eines Radionuklides hängt von nuklid-, gesteins- und milieuspezifischen Bedingungen ab, die auf komplexe Weise zusammenwirken. Die Bestimmung der  $K_d$ -Werte ist deshalb von vielen Einflüssen abhängig und gilt genau nur für die Situation, die bei der Messung im Labor gegeben ist. Es handelt sich also immer um ungefähre Werte, die je nach Versuchsbedingungen mehr oder weniger deutlich auseinander liegen können und die standortspezifische Wirklichkeit nicht exakt (oder rein zufällig) beschreiben. Dennoch ist eine möglichst gute Annäherung an die jeweils standortspezifischen  $K_d$ -Werte anzustreben. Dies auch deshalb, um überhaupt die Konservativität von  $K_d$ -Werten plausibel zu machen..

Beim Endlager Konrad ist diese Annäherung an die Wirklichkeit grundsätzlich anzuzweifeln. Im Planfeststellungsbeschluss wurden die  $K_d$ -Werte an insgesamt 25 Gesteinsproben durchgeführt [NMU 2002, Kap. B II 4.5]. Diese 25 Proben sollen repräsentativ sein für das Modellgebiet Konrad. Zudem sollen sie für eine Vielzahl geologischer Einheiten innerhalb des Modellgebietes Gültigkeit besitzen. An der Realitätsnähe der bei Konrad benutzten  $K_d$ -Werte bestehen jedoch seit langem grundsätzliche Zweifel. So ist nicht möglich, mit nur 25 Gesteinsprobe, die noch dazu überwiegend

---

<sup>3</sup> Unter Sorption versteht man die dauerhafte oder zeitweise Anbindung von RN an Feststoffteilchen (v.a. Tonminerale) während ihres Transports mit Grundwasser.

dem näheren Umfeld des Grubengebäudes entstammen, die  $K_d$ -Werte für ein mehrere 10er Kilometer langes, einige Kilometer breites und rund zwei Kilometer tiefes Modellgebiet mit 18 unterschiedlichen Gesteinsschichten (s. [NMU 2002, Tab. B II.4/4]) repräsentativ abzubilden.

Nicht nachvollziehbar ist zudem die bei Konrad vorgenommene Übertragung von  $K_d$ -Werten aus lithologisch und hydrogeologisch ähnlichen Gesteinsschichten auf nicht beprobte Gesteinsschichten. Laut Planfeststellungsbeschluss haben die durchgeführten Parametervariationen der Sorptionswerte gezeigt, dass die  $K_d$ -Werte nicht nur durch die unterschiedlichen Gesteinstypen beeinflusst werden, sondern wesentlich von der Salinität der Grundwässer, von Komplexbildnern und von der Radionuklidkonzentration abhängig sind. Diese Aussage ist trivial, weil entsprechende Zusammenhänge schon seit langem bekannt sind. Eine Aussage über realitätsnahe Sorptionswerte für alle geologischen Einheiten und das gesamte Modellgebiet können deshalb nicht getroffen werden.

Dies zeigt, dass die Genehmigungsbehörde damals einem eingeschränkten geowissenschaftlichen Untersuchungsprogramm zustimmte, das weder repräsentative noch belastbare Befunde zur Sorption lieferte. Diese Tatsache erfüllte schon zum Zeitpunkt des Erörterungstermins nicht mehr den Stand von Wissenschaft und Technik.

Von den in Kapitel 2 als möglicherweise langzeitsicherheitsrelevant identifizierten Radionuklide Thorium (Th), Curium (Cm) und Neptunium (Np) wurden im Planfeststellungsverfahren die in der folgenden Tabelle dargestellten  $K_d$ -Werte für die berechneten Transportpfade und wesentlichen Gesteinstypen herangezogen [NMU 2002, Tab. B II.4/5]:

	Alb (tonige Unter- kreide) $K_d$ -Wert (ml/g)	Apt bis Basis (tonige Unter- kreide) $K_d$ -Wert (ml/g)	Oxford (Wirtsgestein) (Jura) $K_d$ -Wert (ml/g)	Cornbrash- Sandstein (Jura) $K_d$ -Wert (ml/g)
Thorium <sup>x)</sup>	90	90	80	20
Curium <sup>x)</sup>	1000	1000	1000	700
Neptunium <sup>x)</sup>	60	60	50	10

<sup>x)</sup> Die  $K_d$ -Werte sind in erster Näherung für alle Isotope eines chemischen Elementes gleich.

Für Bismuth (Bi) und Californium (Cf) liegen nach unserer Erkenntnis bis heute keine konradspezifischen Sorptionswerte vor.

**Ergebnis:** Einige der vom BfS in Tab. 18 und in Anhang II, Tab. 10 (siehe Kap. 2) aufgeführten, möglicherweise langzeitsicherheitsrelevanten Radionuklide (v.a. Cm-250, Bi-210m, Np-236, Th-229 und ggf. Cf-251) stellen aus sicherheitstechnischer Sicht eine wesentliche Änderung des Planfeststellungsbeschlusses dar. Die von BfS genannten Ausschlussgründe für die sicherheitstechnische Relevanz der Radionuklide sind nicht nachvollziehbar, weil für Bi-210m und Cf-251 die Ermittlung konradspezifischer Sorptionswerte fehlt und die ermittelten Sorptionswerte für Th-229, Cm-250 und Np-236 weder belastbar noch repräsentativ sind. Ohne Kenntnis des langfristigen Verhaltens dieser Radionuklide bei ihrem angenommenen advektiven Transport durch die Geosphäre können keine belastbaren Aussagen zur Langzeitsicherheit gemacht werden.

## Zusammenfassung

Nach Erteilung des Planfeststellungsbeschlusses für das geplante Endlager Konrad (PFB) im Jahr 2002 hat sich der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Bestimmung von Abfallradioaktivitätsinventaren verändert. Daraus ergibt sich, dass neben den im PFB für die Sicherheitsnachweise berücksichtigten Radionukliden zusätzliche Radionuklide endgelagert werden müssen. Die Einbeziehung dieser Radionuklide in den Planfeststellungsbeschluss wurde vom Betreiber BfS und der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde BfS/EÜ im Rahmen von „unwesentlichen Änderungen“ vollzogen. An der Zulässigkeit dieses Vorgehens gibt es aus sicherheitstechnischer Sicht erhebliche Bedenken. In Bezug auf die Langzeitsicherheit werden diese Bedenken folgendermaßen begründet:

Die die Einstufung der Änderung als unwesentlich wird vom BfS hauptsächlich mit den in bisherigen Abfällen nur in sehr geringen Mengen enthaltenen zusätzlichen Radionuklide begründet. Als Hilfsargument wird darauf verwiesen, dass in Langzeitsicherheitsnachweisen für ausländische Anlagen die zusätzlichen Radionuklide nicht berücksichtigt werden. Auf der Basis wurde eine Regelung zur Summenbegrenzung der zulässigen Radioaktivität in die Endlagerbedingungen eingeführt. Gleichzeitig wurde aber auch eine Ermächtigungsklausel festgelegt, nach der bei künftigen Abweichungen von den Endlagerungsbedingungen hinsichtlich des Radionuklidinventars der Betreiber des Endlagers für die Annahme der Abfälle in eigener Verantwortung eine Einzelfallprüfung durchführen kann.

Es kann hier nicht beurteilt werden, ob Radioaktivitätsinventare für die zusätzlichen Radionuklide, die die Begrenzung unterschreiten, einen relevanten Einfluss auf den bisherigen Langzeitsicherheitsnachweis für das geplante Endlager haben. Es gibt jedoch davon unabhängig Gründe, die Aufnahme der zusätzlichen Radionuklide in die Endlagerungsbedingungen als wesentliche Änderung zu betrachten. Das bedeutet, es müssen Sicherheitsnachweise geführt werden, die mindestens dem Niveau der im PFB enthaltenen Sicherheitsnachweise entsprechen. Diese Gründe sind:

- Die formalen Vorgaben für Sicherheitsnachweise entsprechend dem PFB sind einzuhalten.
- Die zusätzlichen Radionuklide, auch die mit langen Halbwertszeiten, haben zum Teil sehr hohe Dosiskoeffizienten. Deshalb können geringe Mengen möglicherweise relevant höhere Strahlenbelastungen verursachen.
- Die Radioaktivitätsinventare der zusätzlichen Radionuklide können sich erhöhen, wenn:
  - erneuter Fortschritt bei der Bestimmbarkeit des Inventars erreicht wird,
  - neue Konditionierungsmethoden die Abtrennung bestimmter Radionuklidfraktionen erfordern,
  - bisher nicht deklarierte Abfälle aus Forschungseinrichtungen anfallen.
- Jeder Langzeitsicherheitsnachweis ist standortspezifisch. Die für andere Standorte nicht berücksichtigten Radionuklide können deshalb nicht aus der Sicherheitsbewertung ausgeschlossen werden.

## Literaturverzeichnis

BfS 2013 Bundesamt für Strahlenschutz: „Überprüfung des Radionuklidspektrums aus den Endlagerungsbedingungen Konrad vom Dezember 1995 – Stand September 2013“, SE-IB-32/08-Rev-03, 15.09.2013

DPU 1993 Deutsche Projekt Union GmbH: „Umweltverträglichkeitsgutachten Endlager Schacht Konrad – Endbericht“; erstellt im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministerium, 1993

NMU 2002 Niedersächsisches Umweltministerium: „Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung“; Az.: 41 – 40326/3/10, 22. Mai 2002