

Spaltbare Stoffe sind für das Endlager Konrad im Hinblick auf die sichere Einhaltung der Unterkritikalität zu deklarieren.

Die Begrenzungen für spaltbare Stoffe sind u. a. abhängig von der Mischung mit reaktivitätsmindernden Isotopen (Anreicherungsgrad für U-233/U-238- sowie U-235/U-238-Gemische). Sofern von diesen reaktivitätsmindernden Eigenschaften Kredit genommen wird, muss sichergestellt sein, dass die chemisch-physikalische Form der jeweiligen Isotope (z.B. U-235 und U-238) gleich ist und eine homogene Mischung dieser Isotope vorliegt, so dass eine Abtrennung nur mit Verfahren der Isotopentrennung möglich ist. In Tabelle 1 sind die für das Endlager Konrad relevanten spaltbaren Stoffe sowie deren Mischungen mit reaktivitätsmindernden Isotopen aufgeführt.

Tabelle 1: Spaltbare Stoffe

spaltbares Isotop	reaktivitätsminderndes Isotop	Anreicherungsgrad bzw. Anteil spaltbare Isotope	1/20tel der kleinsten kritischen Masse
U-233	U-238	≤5%	55 g
		> 5%	26 g
U-235	U-238	≤Natururan (0,72%)	∞
		≤5 %	94 g
		≤20%*	50 g
		> 20%	40 g
Pu-239	Pu-240	≤65%*	57 g
		≤70%*	52 g
		≤75%*	47 g
		≤80%*	42 g
		≤85%*	37 g
		≤90%*	32 g
		≤95%*	28 g
		> 95%	25 g
Pu-241	---	---	13 g
Np-237	---	---	1000 g
Am-241	---	---	800 g
Am-242m	---	---	0,65 g
Am-243	---	---	1250 g
Cm-243	---	---	4,5 g
Cm-244	---	---	150 g
Cm-245	---	---	1,5 g
Cm-247	---	---	45 g
Cf-249	---	---	0,5 g
Cf-251	---	---	0,25 g

* Die markierten Mischungen von spaltbaren Isotopen mit reaktivitätsmindernden Isotopen sind nur im Hinblick auf die Begrenzung der Massenkonzentration spaltbarer Stoffe auf ein Zwanzigstel der kleinsten kritischen Masse in jedem beliebig angeordneten kubischen 100-l-Volumen relevant.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	Fachnotiz Deklaration spaltbarer Stoffe	9KE/6111/DA/EP/000300 B2007056
		Stand: Rev. 2, 20.11.2019
		Seite: 2 von 4

Unabhängig von der Relevanz für die sichere Einhaltung der Unterkritikalität im Endlager Konrad sind die spaltbaren Nuklide bei den Summenwerten Störfall und thermische Beeinflussung sowie beim Gesamtinventar Konrad zu berücksichtigen.

Begrenzungen des Inventars spaltbarer Stoffe für das Endlager Konrad

Tabelle 2: Anforderungen und Deklarationsschwellen für spaltbare Stoffe

Anforderung	Betroffene Isotope	Deklarationsschwelle
Begrenzung der Massenkonzentration von durch thermische Neutronen spaltbaren Stoffen auf bis zu 50 g pro 0,1 m ³ Abfallprodukt	U-233, U-235, Pu-239, Pu-241, Am-242m, Cm-243, Cm-245, Cm-247, Cf-249, Cf-251	Keine besonderen Anforderungen
Begrenzung der Massenkonzentration spaltbarer Stoffe auf ein Zwanzigstel der kleinsten kritischen Masse in jedem beliebig angeordneten kubischen 100-l-Volumen	U-233, U-235, Np-237, Pu-239, Pu-241, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249, Cf-251	Keine besonderen Anforderungen
Begrenzung der Masse spaltbarer Stoffe auf 1 g pro Abfallgebinde bei brennbaren Abfällen	U-233, U-235, Np-237, Pu-239, Pu-241, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249, Cf-251	Keine besonderen Anforderungen
Bei mehr als 15 g spaltbarer Stoffe pro Abfallgebinde ist der Nachweis zu erbringen, dass bei thermischer Belastung eine lokale Aufkonzentrierung ausgeschlossen werden kann	U-233, U-235, Np-237, Pu-239, Pu-241, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249, Cf-251	Keine besonderen Anforderungen
Einhaltung des Summenkriteriums Kritikalität gemäß Abschnitt III.4 der Endlagerungsbedingungen Konrad	U-233	1,8 · 10 ⁹ Bq / Abfallgeb.
	U-235, Pu-239, Pu-241	1 % des Aktivitätswerts gem. Tabelle 7a der Endlagerungsbedingungen
Einhaltung der zulässigen Aktivitäten bzw. Massen von höheren spaltbaren Actinoiden gemäß Tabelle III.4-1 der Endlagerungsbedingungen Konrad	Np-237, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249, Cf-251	Keine besonderen Anforderungen**

** Es ist beabsichtigt, die abweichenden Vorgaben gemäß den Endlagerungsbedingungen Stand: Dezember 2014 und den zurückgezogenen Endlagerungsbedingungen Stand: Februar 2017 in der nächsten Revision der Endlagerungsbedingungen entsprechend anzupassen.

 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	Fachnotiz Deklaration spaltbarer Stoffe	9KE/6111/DA/EP/000300 B2007056
		Stand: Rev. 2, 20.11.2019
		Seite: 3 von 4

Anforderung	Betroffene Isotope	Deklarationsschwelle
Einzelfallprüfung bei Vorliegen von Moderator- und Reflektormaterialien (D ₂ O, Beryllium, Graphit)	U-233, U-235, Pu-239, Pu-241	Keine besonderen Anforderungen

Ermittlung des Inventars spaltbarer Stoffe

Die sichere Einhaltung der Unterkritikalität im Endlager Konrad wird gewährleistet durch die Einhaltung gebindespezifischer Anforderungen bzw. durch Mittelung über wenige Abfallgebinde bei gemischter Einlagerung (maximaler Summenwert Kritikalität zwischen 1 (KC Typen III, IV und V) und 7 (Gussbehälter Typ I)). Der Summenwert Kritikalität ist daher auf Grundlage eines für das jeweilige Einzelbinde abdeckenden Inventars spaltbarer Stoffe zu ermitteln (Prognosewerte).

Ermittlung des Anreicherungsgrads bzw. Anteils spaltbarer Isotope

Der Anreicherungsgrad bzw. Anteil spaltbarer Isotope ist aus der Masse der spaltbaren Isotope und der Masse der zusammen mit diesen in gleicher chemisch-physikalischer Form in einer homogenen Mischung vorliegenden reaktivitätsmindernden Isotopen gemäß folgender Formel zu ermitteln:

$$A = \frac{\sum M_S}{\sum M_S + \sum M_R}$$

Dabei bedeuten:

- A : Anreicherungsgrad bzw. Anteil spaltbarer Isotope
M_S : Masse spaltbare Isotope
M_R : Masse reaktivitätsmindernde Isotope

Bei der Ermittlung des Anreicherungsgrads bzw. Anteils spaltbarer Isotope sind nur die Anteile reaktivitätsmindernder Isotope zu berücksichtigen, die in gleicher chemisch-physikalischer Form in einer homogenen Mischung mit den spaltbaren Isotopen vorliegen, so dass eine Abtrennung nur mit Verfahren der Isotopentrennung möglich ist. Liegen spaltbare Stoffe in verschiedenen Anreicherungsgraden bzw. Isotopenverhältnissen in einem Abfallbinde vor, so sind die unterschiedlichen Anreicherungsgrade bzw. Isotopenverhältnisse getrennt gegen die jeweiligen Begrenzungen zu prüfen und die einzelnen Ausschöpfungen aufzusummieren.

Von einer gleichen chemisch-physikalischen Form in einer homogenen Mischung der Uran-Isotope U-235 und U-238, bei der eine Abtrennung nur durch Verfahren der Isotopentrennung möglich ist, kann z.B. in folgenden Fällen ausgegangen werden:

PKT-HA Fachnotiz	Zuständige OE: PKT-HA
------------------	-----------------------

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	Fachnotiz Deklaration spaltbarer Stoffe	9KE/6111/DA/EP/000300 B2007056
		Stand: Rev. 2, 20.11.2019
		Seite: 4 von 4

- Wenn aufgrund des Herstellungsprozesses eine untrennbare Mischung vorliegt (z.B. Sintern von Brennstoffpellets)
- Wenn aufgrund des Behandlungsverfahrens von einer untrennbaren Mischung auszugehen ist, z.B. bei der Verbrennung oder beim Einschmelzen

Ist eine Sicherstellung der gleichartigen chemisch-physikalischen Form nicht durch das Behandlungs- oder Herstellungsverfahren sichergestellt, kann dieses über die Herkunft der Abfälle oder gleichwertige Argumentationen plausibel dargelegt werden. Bei Abfällen, die die gleiche Herkunft, d.h. den gleichen Entstehungspfad, und damit belegbar den gleichen Grad der Urananreicherung (Natururan, abgereichertes Uran, U-235/U-238-Gemisch mit ≤ 5 Mass.-% U-235) besitzen, liegt eine homogene Mischung von U-238 und U-235 vor. Bei der Mischung von Abfallströmen unterschiedlicher Herkunft und damit ggf. unterschiedlicher Urananreicherungsgraden ist i.d.R. eine gleiche chemisch-physikalische Form nur sichergestellt, wenn entsprechende Behandlungsverfahren (s.o.) angewendet werden.

Bei U-233/U-238-Gemischen ist ohne weitere Nachweise nicht von einer gleichen chemisch-physikalischen Form auszugehen, da U-233 typischerweise aus Th-232 gebildet wird.

Ermittlung der Konzentration spaltbarer Stoffe

Im Hinblick auf die Begrenzung der Konzentration von durch thermische Neutronen spaltbaren Stoffen auf 50 g pro 0,1 m³ Abfallprodukt und von Spaltstoffen auf ein Zwanzigstel der kleinsten kritischen Masse des Spaltstoffs pro kubischem 100-l-Volumen ist die maximal mögliche Masse spaltbarer Stoffe pro 100-l-Volumen zu betrachten. Sofern keine Nachweise für eine Verteilung vorliegen, ist davon auszugehen, dass das gesamte Spaltstoffinventar des Gebindes in einem 100-l-Volumen konzentriert vorliegt. Als Nachweis für die Verteilung können

- die technische Auslegung des Konditionierungsverfahrens oder
- die Prozessüberwachung mittels Prozessinstrumentierung oder
- die mindestens zweimalige Ermittlung der lokalen Spaltstoffverteilung

herangezogen werden.

Liegen in einem kubischen 100-l-Volumen mehrere spaltbare Stoffe nebeneinander vor, müssen diese folgendem Summenkriterium genügen:

$$S_{\frac{1}{20}tel} = \sum_i \frac{m(i)}{m_{\frac{1}{20}tel}(i)} \quad \text{mit} \quad S_{\frac{1}{20}tel} < 1$$

Dabei bedeuten:

- $S_{\frac{1}{20}tel}$: Summenwert ($\frac{1}{20}tel$ = Index für ein Zwanzigstel der kleinsten kritischen Masse)
- $m(i)$: Masse des spaltbaren Stoffs i im kubischen 100-l-Volumen
- $m_{\frac{1}{20}tel}(i)$: Ein Zwanzigstel der kleinsten kritischen Masse des Spaltstoffs i (siehe Tabelle 1)