

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 439	9K	---	---	EBK	RB	0009	01

Titel der Unterlage: Zusätzliche Kritikalitätsbetrachtung auf Basis der Hinweise im TÜV-Zwischenbericht (ET-B-47-REV-1)	Seite:	I.
	Stand:	01.12.1991

Ersteller:	BfS	Textnummer:
------------	-----	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP...../..:	zu Plan-Kapitel: 3.7
-------------------------	----------------------

	PL  14.01.1992 Freigabe für Behörden	PL  14.01.1992 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 des BfS.

Revisionsblatt

BfS

EU 439	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	---	---	EBK	RB	0009	00

Titel der Unterlage: Zusätzliche Kritikalitätsbetrachtung auf Basis der Hinweise im TÜV-Zwischenbericht	Seite: II.
Stand: Mai 1991	

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
01	01.12.91	ET 2.4	[REDACTED]	1	R	Datum, Rev. Nr.
				2	R	Seitennumerierung
				13	V	Unterscheidung einzelner Spaltstoffe
				14	R	Verschiebung von Absätzen
				15	S	Festlegung für die Notwendigkeit einer Einzelprüfung durch das BfS
				16	R	Seitennumerierung

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

BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ

Fachbereich Nukleare Entsorgung und Transport

**Zusätzliche Kritikalitätsbetrachtungen auf der Basis der Hinweise
im TÜV- Zwischenbericht**



INTERNER ARBEITSBERICHT

Salzgitter, Dezember 1991

ET-IB-47-REV-1 | Rev..

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
Zusammenfassung	3	
1. Einleitung	4	
2. Stapelanordnung der Abfallbinde in der Pufferhalle (TÜV- Hinweis 1.7.2.-4)	5	
3. Fixierung und Massenbegrenzung für Spaltstoffe in Abfallbinden (TÜV- Hinweis 1.7.2.-12 und 1.7.2-13)	12	
4. Mengengrenzung für Stoffe mit besonderen Moderator- und Reflektoreigenschaften für Spaltstoffe (TÜV- Hinweis 1.7.2.-14)	14	
5. Literatur	<u>16</u>	REV-

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Zwischenberichts zur Begutachtung des Endlagers Konrad für radioaktive Abfälle vom Juli 1990 hat der TÜV Hannover einige spezielle Punkte zur Kritikalitätssicherheit angesprochen, die in Ergänzung der bisher vorgelegten Unterlagen vertiefte Betrachtungen zu unterschiedlichen Fragestellungen notwendig machten.

Diese thematisch unterschiedlichen Einzelpunkte zur Kritikalitätssicherheit werden im vorliegenden Bericht behandelt.

1. Einleitung

Der TÜV Hannover hat als zugezogener Sachverständiger im Genehmigungsverfahren für das geplante Endlager Konrad in einem Zwischenbericht zur Begutachtung /1/ eine Reihe von Hinweisen auf Fragen der Kritikalitätssicherheit gegeben, die noch einer Klärung bedürfen.

Diese Fragen sind zum größten Teil in einem neu erstellten Bericht über Anforderungen an die zulässige Massenkonzentration und zulässige Massen an spaltbaren Stoffen in Abfallgebinden für das geplante Endlager Konrad /2/ behandelt worden. Auf einige Punkte wird im vorliegenden Bericht vertieft eingegangen.

Der vorliegende Bericht ist in Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, und der [REDACTED], Köln, erstellt worden.

2. Stapelanordnung der Abfallgebände in der Pufferhalle (TÜV-Hinweis H 1.7.2-4)

Im Hinweis H 1.7.2-4 wird darauf abgehoben, daß in den vorgelegten Nachweisen zur Kritikalitätssicherheit eine Anordnung von spaltbaren Abfällen in der Pufferhalle nicht betrachtet worden ist. Ein Verweis auf die Einhaltung der Transportvorschriften /3/ und auf die erbrachten Nachweise für Stapelabschnitte in der Einlagerungskammer wird vom Gutachter nicht als ausreichend angesehen.

Die Einhaltung der Transportvorschriften gewährleistet dabei auch die Kritikalitätssicherheit der geometrischen Konfigurationen der Anlieferungsfahrzeuge im geparkten Zustand auf dem Anlagengelände am Schacht Konrad 2 (s. Abb. 1). Dabei ist nach den Planungen vorgesehen, daß maximal 9 Lkw auf dem Anlagengelände stehen dürfen. Für diese Lkw sind vor der Trocknungsanlage 5 Lkw-Standplätze hintereinander geplant sowie in einer zweiten Reihe parallel dazu, aber mehrere Meter getrennt, 4 weitere Lkw-Standplätze (Nr. 14 in Abb. 1).

In /4/ sind zur Kritikalitätssicherheit von Abfallgebänden bei Transport und Zwischenlagerung in den übertägigen Anlagen bereits Rechnungen zur Betriebsphase des Endlagers Konrad durchgeführt worden. Dabei ist als konservativster Fall eine modellhafte Stapelanordnung von 2 x 2 x 2 Containern des Typs III (vgl. Abb. 2) mit nicht fixierten Plutonium-haltigen Abfällen zugrunde gelegt worden.

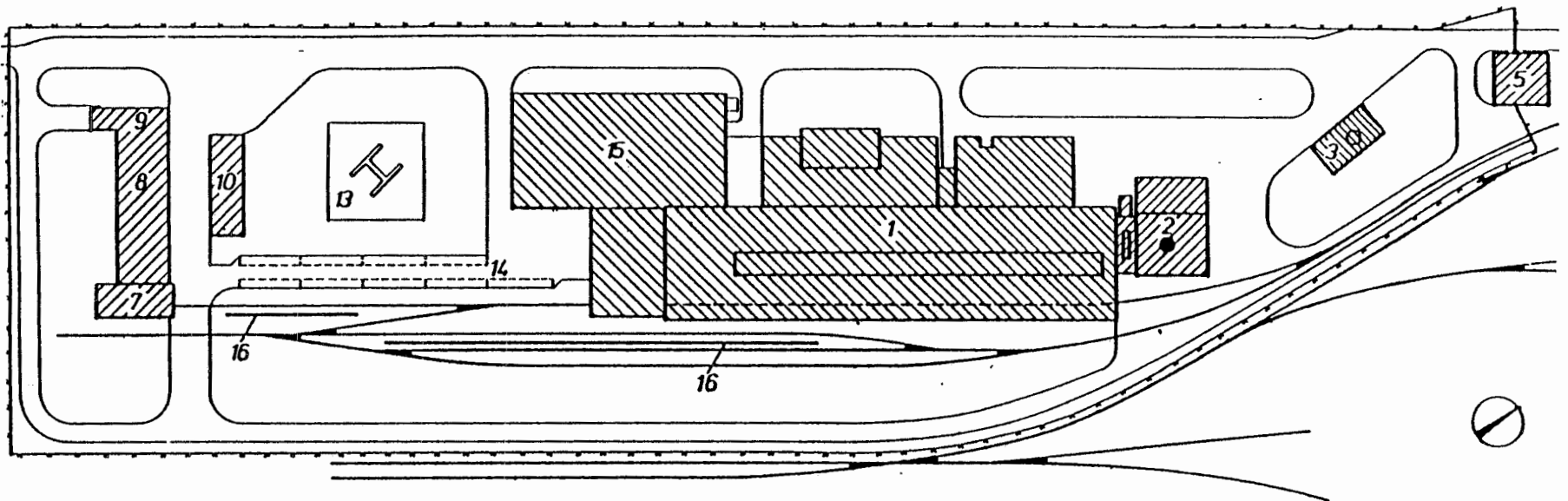
Ausgehend von einer Begrenzung der Massenkonzentration auf 50 g an spaltbaren Stoffen pro 100 l Abfallprodukt sind verschiedene Modelle der Spaltstoffverteilung im Container berechnet worden. Hierbei hat sich eine kugelförmige Verteilung von 50 g Pu 239 (bei optimaler Wassermoderation) je 100 l Würfelvolumen als reaktivste Konfiguration erwiesen (Abb. 3). Der berechnete Multiplikationsfaktor liegt für dieses Modell bei nur 0,5, obwohl durch die volle Ausschöpfung des Konzentrationsgrenzwertes die zulässige Pu-Masse je Container um das 25fache zu hoch angesetzt worden war (5,6 kg Pu 239 bei einem zulässigen Wert von 220 g).

Der Wert von 5,6 kg Plutonium ergibt sich dabei aus der gewählten Modellierung des Containers (vergl. Abb. 3).

Durch diese konservative Abschätzung wird auch der große Sicherheitsabstand verdeutlicht, der aufgrund der zusätzlich einzuhaltenden restriktiven Massenbegrenzungen für spaltbare Radionuklide gegeben ist.

Aufgrund der vorgesehenen Einlagerungs- und Pufferungsstrategie im geplanten Endlager Konrad ist als mögliche Konfiguration von Abfallgebänden in der Pufferhalle im ungünstigsten Fall eine einschichtige Anordnung von 12 x 13 Containern (vgl. Abb. 4) zu unterstellen. Dazu ist anzumerken, daß die maximale Belegung von 154 Stellplätzen in der Pufferhalle nur für den Fall einer innerbetrieblichen Störung vorgesehen ist und in der Praxis nicht damit zu rechnen ist, daß alle gepufferten Abfallgebände die in der Rechnung unterstellte Massenkonzentration spaltbarer Stoffe im Abfallprodukt ausschöpfen.

Abb. 1: Tagesanlagen am Schacht Konrad 2



Legende

- 1 Umladeanlage
- 2 Förderturm mit Schachthalle
- 3 Lüftergebäude mit Diffusor und Abwetterkanal
- 5 Wachgebäude
- 7 -Betriebshof
- 10
- 13 Hubschrauberlandemöglichkeit
- 14 LKW Parkplätze
- 15 Pufferhalle
- 16 Abschirmwand

Tagesanlagen Konrad 2

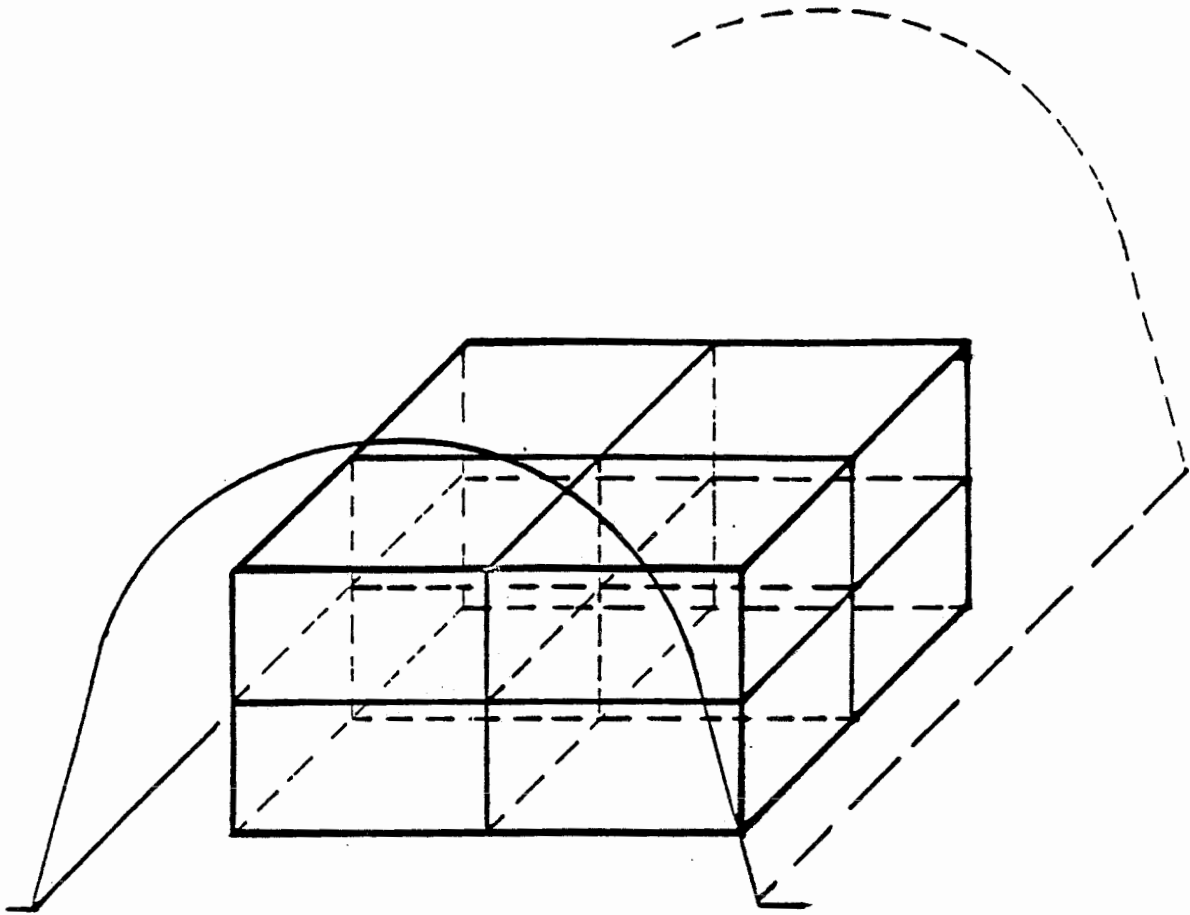


Abb. 2: Stapelung von Containern im Kammerquerschnitt

In einer Kritikalitätsrechnung hierzu wurde eine in zwei Dimensionen infinite, einstöckige Containerlagerung berechnet. Für den Inhalt der Container wurde das oben beschriebene Modell gewählt, als Bodenreflektor wurden 50 cm Beton, als Deckenreflektor volle Wasserreflektion angesetzt (Abb. 5). Die Dichte des Moderators zwischen den kugelförmigen Spaltstoffzonen wurde in verschiedenen Rechenläufen variiert. Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Rechnungen (SCALE 27 Gruppen Wirkungsquerschnitte, KENO 4) sind in Tabelle 1 dargestellt. Die berechneten k-Werte liegen in allen Fällen nahe bei oder unterhalb von 0.5.

Das verwendete Rechenmodell deckt auch mögliche Konfigurationen von anderen Abfallgebinden in der Pufferhalle ab. Bei Beton- und Gußbehältern gilt ebenfalls die Konzentrationsbegrenzung von 50 g Spaltstoff pro 100 l Abfallprodukt. Wegen der kleineren Behältervolumina und der größeren Wanddicken (ca. 15 cm Beton bzw. 3 cm Guß) ist eine stärkere Separation der Spaltstoffteilmengen in den einzelnen Abfallgebinden gegeben als im Containermodell, so daß hier noch niedrigere k-Werte zu erwarten sind.

Dieser zuletzt genannte Aspekt gilt auch für die Berechnungen zur Stapelung von Abfallgebinden in der Einlagerungskammer; daher ist aufgrund der Separation der Abfallgebinde und der Begrenzung der Masse an spaltbaren Stoffen auf weniger als 45 % der kleinsten kritischen Kugelmasse auch eine Ausschöpfung von Summenwerten oberhalb von 1 bei der Mischung von Abfallgebinden in einem Stapelabschnitt gerechtfertigt.

Zwischenmod. /g/cm ³ /	k-eff	1 sigma
1.0	0.494	0.005
0.6	0.430	0.004
0.3	0.395	0.005
0.0001	0.496	0.005

Tabelle 1: Ergebnisse der Monte-Carlo-Rechnungen am Containermodell

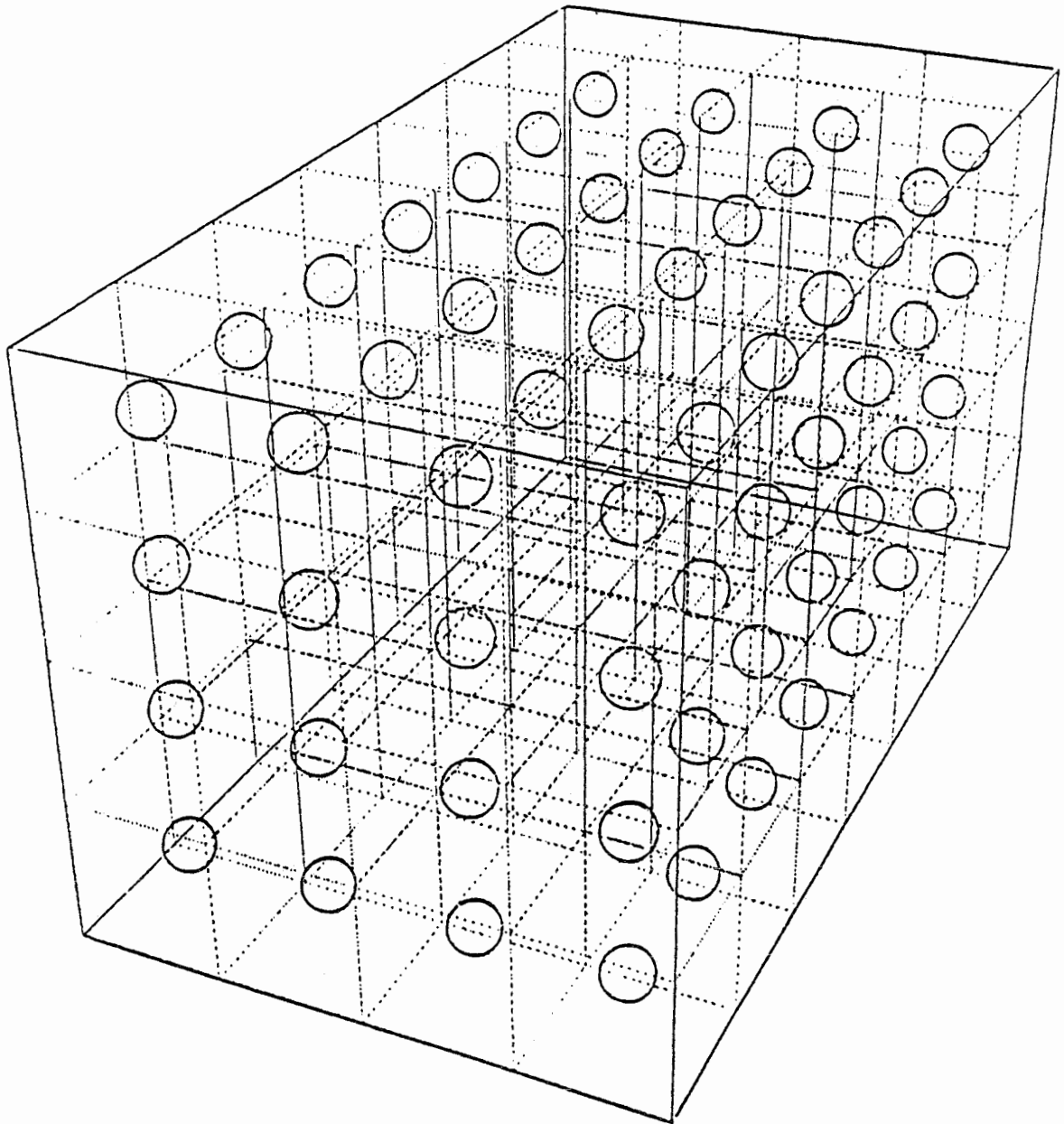


Abb. 3: Rechenmodell für die Spaltstoffverteilung in einem Container Typ III nach /4/

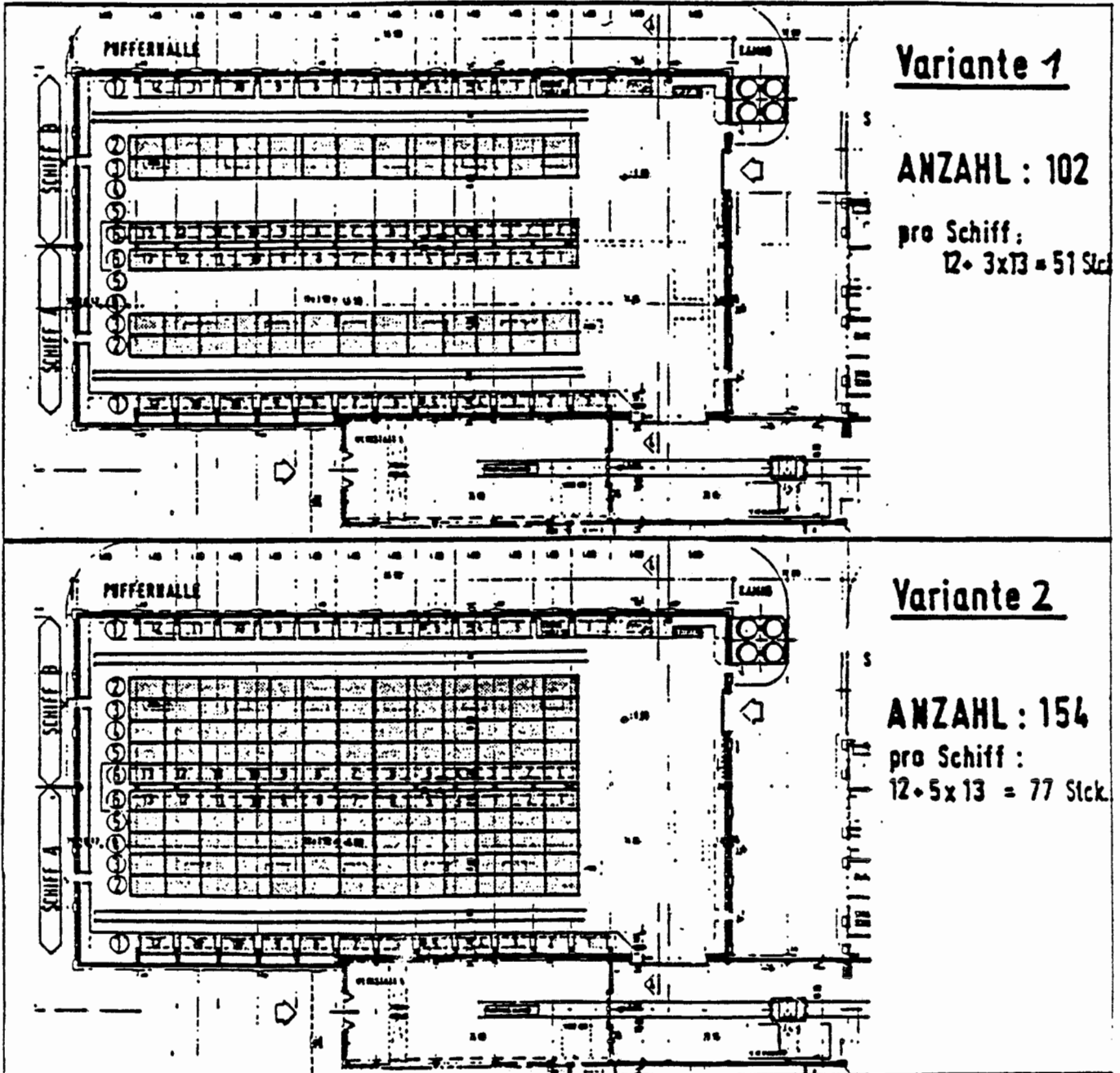
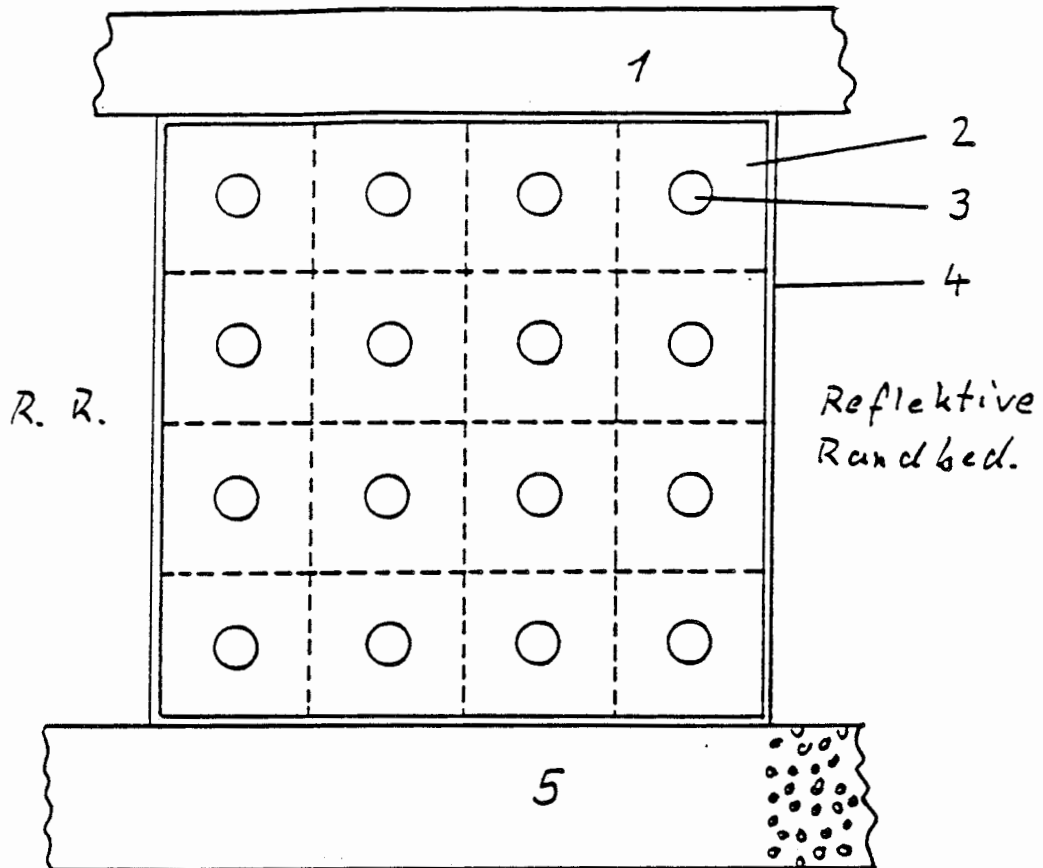


Abb. 4: Maximale Belegung der Pufferhalle mit Transporteinheiten.



- 1 Deckenreflektor 30 cm Wasser
 - 2 Zwischenmoderator Wasser, variable Dichte
 - 3 PuO₂-H₂O-Gemisch, 30 g Pu 239 pro Liter
 - 4 Containerwandung, 3 mm Stahl
 - 5 Bodenreflektor, 50 cm Beton
- an den übrigen vier Seiten reflektive Randbedingung.

Abb. 5: Rechenmodell der Konfiguration der Abfallgebinde in der Pufferhalle

3. Fixierung und Massenbegrenzung für Spaltstoffe in Abfallgebinden (TÜV-Hinweise H 1.7.2-12 und H 1.7.2-13)

Die Anforderungen an die Konditionierung von radioaktiven Abfällen lassen es zu, Abfälle in zylindrische Behälter und in Container auch unfixiert einzubringen. Beim Nachweis der Kritikalitätssicherheit wurde deshalb nicht von einer Fixierung der spaltbaren Radionuklide in Zement/Beton Kredit genommen.

Nur für das Rechenmodell von Fässern im Container, bei dem die Zwischenräume zwischen den einzelnen Fässern mit Zement/Beton ausgefüllt sind, ist das "Füllmaterial" berücksichtigt worden /4/; für den Inhalt der Fässer wurde Spaltstoff bei optimaler Wassermoderation unterstellt. Die Festlegung eines Bindemittels bei der Konditionierung von Abfällen mit mehr als 1 g Spaltstoff pro Abfallbinde ist deshalb nicht erforderlich. Die Betonqualität wurde auf Grund der aus den Störfallanalysen abgeleiteten Anforderungen in Bezug auf Druckfestigkeit und freibewegliches Wasser bei zementierten Abfällen (d. h. Abbindegrad) festgelegt und muß im Rahmen der Produktkontrolle geprüft werden. Weitergehende Anforderungen hierzu werden aus der Sicht der Kritikalitätssicherheit nicht für erforderlich gehalten.

In einem Fachgespräch im September 1990 hat der TÜV Hannover dazu erläutert, daß er die Anforderung der Fixierung auch aus anderen Gründen gestellt hat.

Im Rahmen von Störfallbetrachtungen ist vom TÜV Hannover eine Reihe von Ereignissen betrachtet worden, die unter Kritikalitätsgesichtspunkten von Bedeutung sind. Dabei sind sowohl Versagen von Konditionierungseinrichtungen als auch Störfälle im Endlager betrachtet worden.

Zu den Störfällen im geplanten Endlager Konrad zählen dabei insbesondere die Brandereignisse in der Pufferhalle und in der Einlagerungskammer. Bei einem solchen Ereignis könnte dann nach Meinung des Gutachters (TÜV Hannover) eine Akkumulierung von spaltbaren Stoffen (insbesondere im Fall von brennbaren Abfallprodukten) stattfinden und im Zusammenwirken mit dem Löschwasser zu möglicherweise kritischen Anordnungen führen. Diese Störfallbetrachtungen liefern darüber hinaus die Argumentation für eine generelle Senkung der zulässigen Masse an spaltbaren Stoffen pro Abfallbinde im Container für nicht fixierte Abfälle.

Dazu ist folgendes anzumerken:

Auch wenn es in den Kritikalitätsbetrachtungen nicht üblich ist, die Frage der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Störfalls mit in Betracht zu ziehen, soll dieser Aspekt nicht völlig außeracht gelassen werden.

Dabei zeigt sich nach den Ergebnissen einer durchgeführten Anlagenbewertung für das geplante Endlager Konrad /5/, daß für eine störfallbedingte thermische Einwirkung auf Abfallbinde in der Pufferhalle mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von kleiner 10^{-5} / a zu rechnen ist. Berücksichtigt man darüber hinaus die Tatsache, daß nur ein sehr geringer Bruchteil der angelieferten radioaktiven Abfälle die Eigenschaften "brennbar", "spaltstoffhaltig" und "unfixiert in einem Container" zugleich erfüllt, dann ist ein solches Ereignis eindeutig im Bereich des Restrisikos anzusiedeln.

Beim untertägigen Brandfall in der Einlagerungskammer in der Nähe der gestapelten Abfallgebinde beträgt die Eintrittswahrscheinlichkeit rd. $2 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr und ist damit etwas höher als im übertägigen Anlagenbereich; dafür wird unter Tage nur mit wasserstofffreiem Pulver gelöscht, so daß eine mit Wasser vergleichbare Moderatorwirkung durch das Löschmittel nicht gegeben ist.

Trotz dieser Argumente ist in /2/ festgelegt worden, daß brennbare radioaktive Abfälle, die spaltbare Stoffe außer Natururan und abgereichertem Uran mit einer Masse von mehr als 1 g pro Abfallgebinde enthalten, in einer nicht brennbaren Abfallmatrix fixiert sein müssen. Diese Anforderung entfällt, wenn das Abfallprodukt allseitig von einer inaktiven Schicht mit einem Wärmeleitwiderstand von mindestens $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ umgeben ist oder in einem Abfallbehälter verpackt ist, der der Abfallbehälterklasse II zugeordnet wird, weil das o. g. Schutzziel in diesem Fall durch die Eigenschaften der Verpackung gewährleistet ist.

REV-1

Aufgrund dieser Anforderungen an brennbare radioaktive Abfälle und den Sicherheitsfaktoren, die sich aus den in den Kritikalitätsrechnungen ohnehin enthaltenen konservativen Randbedingungen ergeben, sind die zulässigen Massen pro Abfallgebinde, insbesondere pro Container, nicht reduziert worden.

REV-1

4. Mengenbegrenzung für Stoffe mit besonderen Moderator- und Reflektoreigenschaften für spaltbare Stoffe (TÜV-Hinweis 1.7.2-14)

In den Analysen zur Kritikalitätssicherheit für das geplante Endlager Konrad sind verschiedene konservative Modelle von Störfallszenarien berechnet und daraus Grenzwerte für die Einlagerung spaltstoffhaltiger Abfälle abgeleitet worden. Dabei wurden als Moderator- und Reflektormaterialien im wesentlichen Wasser, Wasser mit dem Chlorgehalt des Hilswassers und Beton in Betracht gezogen. Da jedoch bestimmte Materialien (D_2O , Graphit, Beryllium) bei Verwendung als Moderator und/oder Reflektor einer Spaltstoffanordnung zu kleineren kritischen Spaltstoffmassen führen können als Wasser oder Beton, soll diesem Sachverhalt durch entsprechende Hinweise in den Endlagerungsbedingungen Rechnung getragen werden. Es ist zwar nicht zu erwarten, daß schweres Wasser oder Beryllium in größeren Mengen für eine Endlagerung anfallen werden, aber die Entsorgung solcher "exotischen" Stoffe sollte nicht gänzlich unberücksichtigt bleiben. Der TÜV Hannover hat deshalb für die Materialien mit besonderen Moderator- und Reflektoreigenschaften Grenzwerte oder Hinweise auf die Prüfung des Einzelfalls gefordert.

Für Graphit, schweres Wasser und Beryllium werden deshalb Massenbegrenzungen festgelegt. Die Massen werden so begrenzt, daß die pro Abfallgebinde zulässige Menge nicht ausreicht, um für ein kugelförmiges wassermoderiertes Spaltstoffsystem einen Reflektor zu bilden, der zu höherer Reaktivität führen könnte, als ein Wasser- oder Betonreflektor am gleichen System.

Zur Bestimmung dieser Grenzwerte wurde das erforderliche Reflektorvolumen des jeweiligen Materials für verschiedene kritische Spaltstoffsysteme (hochangereichertes UO_2 , wassermoderiert 60 g U/l; $Pu(95/5) O_2$ wassermoderiert, 30 g Pu / l) für Kugelgeometrie ermittelt und mit dem Sicherheitsfaktor 0.75 gewichtet.

Die Massenbegrenzungen pro Abfallgebinde sind in Tabelle 2 aufgeführt.

_____ 2 Absätze gestrichen! | REV-1

Material	Zulässige Masse

D_2O	275
Beryllium	360
Graphit	420

Tabelle 2: Mengenbegrenzung pro Abfallgebinde für spezielle Reflektormaterialien von Spaltstoffsystemen. Angaben in kg pro Abfallgebinde

Es ist in den Kritikalitätsrechnungen jedoch davon ausgegangen worden, daß diese Materialien getrennt von den spaltstoffhaltigen Abfällen konditioniert werden, also nicht mit spaltbarem Material vermischt oder kontaminiert sind. Liegt eine Vermischung oder Kontamination mit spaltbarem Material vor, muß eine gesonderte Prüfung der Kritikalitätssicherheit erfolgen.

| REV-1

Dabei gilt:

Bei radioaktiven Abfällen, die Moderator- und Reflektormaterialien enthalten, ist bei Überschreitung von 1 % der Aktivitätswerte von U 233, U 235, Pu 239 und Pu 241 (vgl. /2/) eine Einzelprüfung durch das BfS erforderlich, falls das betreffende Abfallgebilde

- mehr als 27,5 kg D₂O, 36 kg Beryllium oder 42 kg Graphit, gemischt mit spaltbaren Stoffen, oder
- mehr als die in Tabelle 2 genannten Massen, unvermischt mit spaltbaren Stoffen,

enthält.

5. Literatur

- /1/ TÜV Hannover:
Endlager Konrad - Zwischenbericht zur Begutachtung, Juli 1990.
- /2/ H. P. Berg:
Anforderungen an die zulässige Massenkonzentration und zulässige Massen an spaltbaren Stoffen in Abfallgebinden für das geplante Endlager Konrad, BfS-Bericht ET-IB-46-REV-2, Salzgit-ter, Januar 1992.
- /3/ K. Ridder:
Gefahrgut- Handbuch, Anlage A zur GGVS / zum ADV, 22. Erg. Lfg 8/85.
- /4/ B. Gmal:
Systemanalyse Konrad, Teil 3,
Kritikalitätsrechnungen zur Massen- und Konzentrationsbegrenzung für Spaltstoffreste in Abfallgebinden, GRS-A-1302, Köln, November 1986.
- /5/ Gesellschaft für Reaktor Sicherheit:
Systemanalyse Konrad, Teil 3,
Anlagenbewertung des geplanten Endlagers Konrad, 1. Revision,
GRS- A- 1493, Köln, Mai 1989.