

BETRACHTUNGEN ZUR AKTIVITÄTSRÜCKHALTUNG ALS ALTERNATIVER NACHWEISWEG BEI BAUARTPRÜFUNGEN FÜR DAS ENDLAGER KONRAD

Vera Derya

WTI Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH
Karl-Heinz-Beckurts-Str. 8, 52428 Jülich
derya@wti-juelich.de

André Indenhuck

WTI Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH
Karl-Heinz-Beckurts-Str. 8, 52428 Jülich
indenhuck@wti-juelich.de

KURZFASSUNG

Alternativ zum Nachweis der Einhaltung der Dichtheitsanforderungen für Abfallbehälter der Abfallbehälterklasse (ABK) II kann bei Bauartprüfungen für das Endlager Konrad mit schutzzielorientierten Betrachtungen zur Aktivitätsrückhaltung belegt werden, dass im betrachteten Störfall keine radiologisch relevante Freisetzung gemäß dem Regelwerk Konrad zu erwarten ist.

Hierbei ist zu zeigen, dass die störfallbedingten Aktivitätsfreisetzungen auch ohne nachgewiesene Dichtheit geringer sind als die in den Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad abgeleiteten maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungen.

Die prinzipielle Vorgehensweise dieses alternativen Nachweiswegs zur Aktivitätsrückhaltung umfasst die Ermittlung der für die spezifischen Randbedingungen des betrachteten Ereignisses maßgeblichen Freisetzungspfade und die Quantifizierung der zugehörigen Freisetzungsanteile sowie die Bestimmung einer Summenformel für beladungsspezifische Nachweise.

EINLEITUNG

Im Rahmen von Bauartprüfungen für das Endlager Konrad ist für Abfallbehälter der Abfallbehälterklasse (ABK) II im Allgemeinen die Einhaltung der in den Endlagerungsbedingungen Konrad [1] genannten Dichtheitsanforderungen nachzuweisen. Diese Anforderungen resultieren aus dem Beleg der Erfüllung des Schutzziels Aktivitätsrückhaltung in den Sicherheitsanalysen des Endlagers Konrad.

Als alternativer Nachweisweg der Aktivitätsrückhaltung wird in der Produktkontrolle des Endlagers Konrad [2] eine Ausnahmeregelung („Prüfalternative“) bezüglich der Dichtheitsanforderungen der ABK II definiert, mit der in einer schutzzielorientierten Betrachtung belegt werden kann, dass die störfallbedingten Aktivitätsfreisetzungen auch ohne nachgewiesene Dichtheit geringer sind als die in den Sicherheitsanalysen des Endlagers Konrad abgeleiteten maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungen.

Die Anwendung der Prüfalternative kann über eine Quantifizierung der störfallbedingten Freisetzungsanteile und der hieraus resultierenden Aktivitätsfreisetzungen für die spezifischen Randbedingungen des Szenarios und des Abfallgebundes erfolgen. Die jeweils ermittelten Freisetzungsanteile können zur Formulierung einer Summenformel verwendet werden, mit der beladungsspezifisch auf Basis des Aktivitätsinventars gezeigt werden kann, dass im betrachteten Störfall keine radiologisch relevante Freisetzung gemäß dem Regelwerk Konrad zu erwarten ist.

Im Folgenden wird zunächst die prinzipielle Vorgehensweise zur Bewertung der Aktivitätsrückhaltung im thermischen oder mechanischen Störfall des Endlagers Konrad vorgestellt. Im Anschluss werden mögliche Herangehensweisen zur Ermittlung von Freisetzungsanteilen erläutert. Abschließend wird hierauf aufbauend das Konzept einer Summenformel skizziert, mit der ein beladungsspezifischer Nachweis erfolgen kann.

VORGEHENSWEISE DES ALTERNATIVEN NACHWEISWEGS

Als radiologisch nicht relevante Freisetzung ist eine Aktivitätsfreisetzung definiert, die für die folgende Summenformel einen Wert von $S < 0,1$ ergibt (vgl. Abschnitt 5.3 in [1] und Abschnitt 7.3.3 in [2]):

$$S = \sum_i \frac{A(i)}{G(i)}$$

mit:

S Summenwert,
 $A(i)$ freigesetzte Aktivität des Nuklids i ,
 $G(i)$ zulässige freigesetzte Aktivität des Nuklids i , zu entnehmen aus Tabelle 7.3.3 in [2], Spalte „freisetzbare Aktivität“.

Der in Abschnitt 7.3.3 in [2] in der Summenformel genannte Faktor F , der berücksichtigt, ob ein Abfallgebinde im Endlager Konrad allein (in diesem Fall hat F den Wert 1) oder gemeinsam (in diesem Fall hat F den Wert 2) mit einem weiteren Abfallgebinde auf einer Tauschpalette/Transportpalette gehandhabt wird, wird hier zur Vereinfachung mit $F = 1$ berücksichtigt.

Die in der Summenformel zu berücksichtigenden Nuklide sind in Tabelle 7.3.3 in [2] aufgeführt. Die in Tabelle 7.3.3 in [2] nuklidspezifisch genannte „freisetzbare Aktivität“ basiert auf der maximal zulässigen Aktivität im Behälter sowie den in der Systemanalyse Konrad [3] für einen Behälter der ABK II unter Annahme allgemeiner konservativer Randbedingungen für thermische und mechanische Störfälle abgeleiteten Freisetzungsanteilen. Die „freisetzbare Aktivität“ entspricht der freigesetzten Aktivität, die in den Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad bereits als zulässig bewertet wurde.

Im Rahmen von Betrachtungen zur Aktivitätsrückhaltung als alternativer Nachweisweg bei Bauartprüfungen für das Endlager Konrad können für die vorliegenden speziellen Randbedingungen gültige Freisetzungsanteile abgeleitet und anstatt den allgemeinen konservativen Randbedingungen aus [3] verwendet werden. Dabei können die Eigenschaften des betrachteten Behälters, Abfallprodukts und Szenarios sowie ggf. das unterschiedliche Freisetzungsverhalten verschiedener Inventarbestandteile (z. B. Kontamination und Aktivierung) berücksichtigt werden.

Unter Verwendung der für die Bauartprüfung abgeleiteten spezifischen Freisetzungsanteile kann als alternativer Nachweis der Aktivitätsrückhaltung geprüft werden, ob die störfallbedingten Aktivitätsfreisetzungen auch ohne nachgewiesene Dichtheit geringer sind als die in den Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad abgeleiteten maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungen.

FREISETZUNGSANTEILE

Zur Ermittlung von Freisetzungsanteilen kann eine Vorgehensweise verfolgt werden, die sich unmittelbar an der in der Systemanalyse Konrad [3] beschriebenen Methode orientiert, wobei zusätzlich der fortgeschriebene Wissensstand, wie z. B. die im Jahr 2009 veröffentlichte GRS-Transportstudie Konrad [4] und die ergänzende Abfalltransportrisikoanalyse Konrad [5], berücksichtigt werden können.

FREISETZUNGSANTEILE IM MECHANISCHEN STÖRFALL

Der zu unterstellende mechanische Störfall des Endlagers Konrad besteht aus einem Fall des Abfallgebundes aus 5 m Höhe auf eine unnachgiebige Unterlage.

Zur Ermittlung von Freisetzungsanteilen für den mechanischen Störfall kann auf die GRS-Transportstudie Konrad [4] zurückgegriffen werden. In [4] wird das Spektrum der anfallenden Abfallgebunde mit verschiedenen eingelagerten Abfallprodukten in Abfallgebindegruppen unterteilt mit der Zielsetzung, Abfallgebunde mit gleicher Freisetzungscharakteristik in einer Gruppe zusammenzufassen. Die in [4] für mechanische Einwirkungen genannten Freisetzungsanteile wurden mit der in der ergänzenden Abfalltransportrisikoanalyse Konrad [5] erläuterten Methodik auf Basis von Experimenten mit Flugasche und Zement ermittelt. Um die für das betrachtete Szenario gültigen Randbedingungen zu berücksichtigen, d. h. insbesondere eine Fallhöhe von 5 m sowie ggf. abweichende Behältervolumina und Ausströmanteile, kann analog zu [4] die Methodik aus [5] zur Bestimmung eines Freisetzungsanteils für den mechanischen Störfall verwendet werden.

FREISETZUNGSANTEILE IM THERMISCHEN STÖRFALL

Der zu unterstellende thermische Störfall besteht aus einem Schadensfeuer mit einer Temperatur von 800 °C während einer Stunde und einer Abkühlphase von 24 Stunden.

Für den thermischen Störfall werden in [3] die Freisetzungsmechanismen Verbrennen, Pyrolyse, Verdampfen von Wasser im Abfallprodukt und Sublimation bzw. Verdampfen radioaktiver Stoffe als potenziell relevante Freisetzungsmechanismen identifiziert.

Sofern gezeigt werden kann, dass im thermischen Störfall an keiner Stelle des Abfallprodukts eine Temperatur von 80 °C erreicht wird, ist keine relevante Freisetzung zu unterstellen. In diesem Fall ist der Nachweis der Aktivitätsrückhaltung als alternativer Nachweisweg unabhängig vom Aktivitätsinventar erbracht.

Andernfalls sind die vier oben genannten potenziell relevanten Freisetzungsmechanismen zur Ermittlung von Freisetzungsanteilen für die gegebenen Randbedingungen, d. h. insbesondere unter Berücksichtigung der Eigenschaften des betrachteten Behälters und Abfallprodukts, hinsichtlich ihrer Relevanz zu bewerten. In die Bewertung können z. B. die stoffliche Zusammensetzung des Abfallprodukts, die Konditionierungsart, die ggf. eine Partikeldichtheit sicherstellen kann, und weitere chemisch-physikalische Eigenschaften einfließen.

Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Freisetzungsmechanismen sind bei der Bewertung die während und nach dem Brand im Abfallprodukt vorliegenden Temperaturen zu berücksichtigen. Um diese zu ermitteln, müssen thermische Berechnungen durchgeführt werden. Ergebnisse aus einer Beispielrechnung zur Bestimmung der Zeitabhängigkeit der Temperaturverteilung eines Containers im thermischen Störfall sind in Abbildung 1 dargestellt. In diesem Beispiel ist zu sehen, dass es mehrere Stunden dauert, bis sich die Temperatur in einem größeren Abfallvolumen signifikant erhöht hat.

Zur Quantifizierung von Freisetzungsanteilen kann je nach Detaillierungsgrad der zeitliche Verlauf von Temperatur-Volumenanteilen oder die Maximaltemperatur im Abfallprodukt berücksichtigt werden. Für die thermischen Berechnungen sind dabei ggf. verschiedene Modell-Variationen durchzuführen, um Fälle mit unterschiedlicher thermischer Trägheit, die entweder zu abdeckend hohen Temperaturen des Abfallprodukts oder zu abdeckend hohen Volumenmitteltemperaturen des Abfallprodukts führen, zu berücksichtigen.

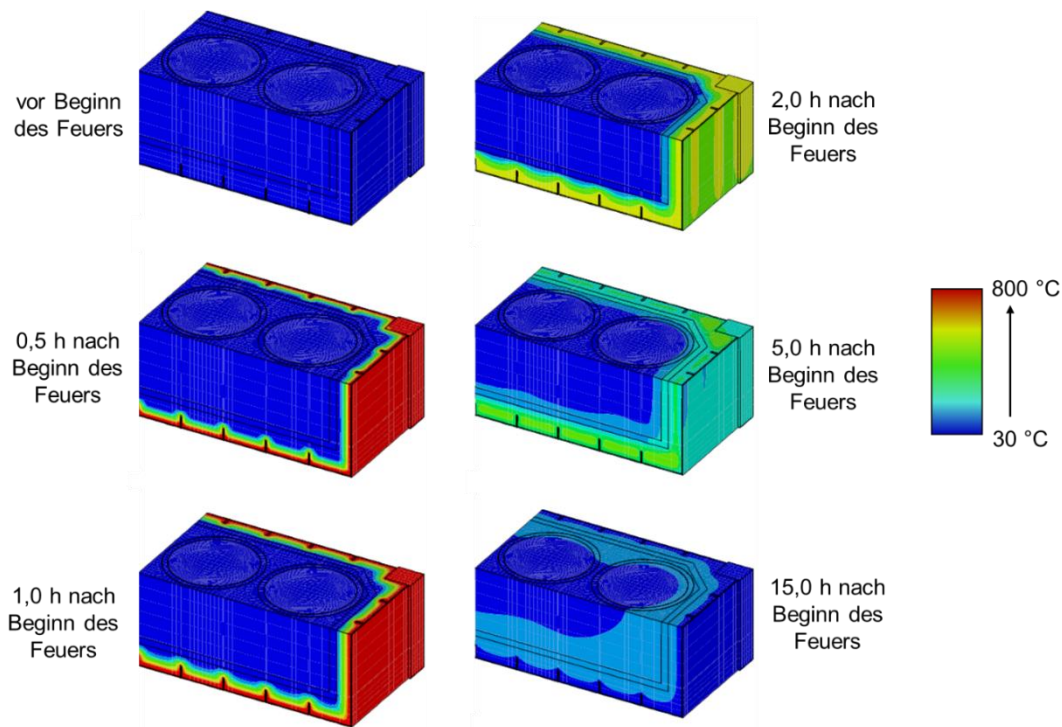


Abbildung 1: Zeitabhängigkeit der Temperaturverteilung im thermischen Störfall (Beispielrechnung)

BELADUNGSSPEZIFISCHER NACHWEIS

Die für die spezifischen Randbedingungen des Szenarios und der Abfallgebinde ermittelten Freisetzungssanteile können zur Bestimmung von Referenzaktivitäten und zur Formulierung einer Summenformel verwendet werden. Hierbei kann das ggf. unterschiedliche Freisetzungsverhalten verschiedener Inventarbestandteile (hier zwei Inventarbestandteile I_1 und I_2 , z. B. Kontamination und Aktivierung) berücksichtigt werden.

Für eine im Abfallgebinde im Inventarbestandteil I_1 vorliegende Aktivität $A_1(i)$ und eine im Abfallgebinde im Inventarbestandteil I_2 vorliegende $A_2(i)$ der in Tabelle 7.3.3 in [2] genannten Nuklide i kann folgende Formel zur Bestimmung des Summenwerts verwendet werden:

$$S = \sum_{FSA_1(i) > 0} \frac{A_1(i)}{G_1(i)} + \sum_{FSA_2(i) > 0} \frac{A_2(i)}{G_2(i)}.$$

Die in der Summenformel mit $G_1(i)$ bzw. $G_2(i)$ bezeichneten Referenzaktivitäten der Inventarbestandteile I_1 bzw. I_2 ergeben sich unmittelbar aus den ermittelten zugehörigen Freisetzungssanteilen ($FSA_1(i)$ bzw. $FSA_2(i)$) und der den Sicherheitsanalysen des Endlagers Konrad zugrunde liegenden „freisetzbaren Aktivität“ $G(i)$ aus Tabelle 7.3.3 in [2]:

$$G_1(i) = \frac{G(i)}{FSA_1(i)} \text{ bzw. } G_2(i) = \frac{G(i)}{FSA_2(i)}.$$

Ein Summenwert von $S = 1$ würde sich für das jeweilige Nuklid bei der im Abfallgebinde als Aktivität im Inventarbestandteil I_1 bzw. I_2 vorliegenden Referenzaktivität G_1 bzw. G_2 ergeben.

Um zu zeigen, dass im betrachteten Störfall keine radiologisch relevante Freisetzung vorliegt, ist die Einhaltung eines Summenwerts von $S < 0,1$ nachzuweisen.

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Alternativ zum Nachweis der Einhaltung der Dichtheitsanforderungen der ABK II kann bei Bauartprüfungen für das Endlager Konrad mit schutzzielorientierten Betrachtungen zur Aktivitätsrückhaltung belegt werden, dass im betrachteten Störfall keine radiologisch relevante Freisetzung gemäß dem Regelwerk Konrad zu erwarten ist. Dabei bleibt das Erfordernis zur Einhaltung der maßgeblichen Aktivitätsgrenzwerte aus den Endlagerungsbedingungen [1] unberührt.

Der alternative Nachweisweg zur Aktivitätsrückhaltung bietet sich insbesondere bei Bauartprüfungen zur Qualifizierung als Behälter der ABK II für Stahlblechcontainer, die typischerweise mit druckentlastenden Maßnahmen ausgestattet sind, oder bei zu unterstellendem Verlust einer spezifizierten Dichtheit an.

Durch die Erwirkung von Bauartprüfungen für ausgewählte Abfallprodukt-Abfallbehälter-Kombinationen kann gezielt auf die sich aus Betrieb, Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen ergebenden Erfordernisse eingegangen werden und eine größere Flexibilität, Kosteneffizienz und Planungssicherheit bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle erreicht werden.

REFERENZEN

- [1] Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle
(Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 2014)
- Endlager Konrad -
Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung
SE-IB-29/08-REV-2
- [2] Endlager Konrad
Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, radiologische Aspekte
- Endlager Konrad - Stand: Oktober 2010
Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung
SE-IB-30/08-REV-1
- [3] D. Gründler
Systemanalyse Konrad, Teil 3
Bestimmung störfallbedingter Aktivitätsfreisetzung
GRS-A-1389 (November 1987)
- [4] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)
Transportstudie Konrad 2009, Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum
Endlager Konrad, Stand: Dezember 2009 mit Corrigendum vom April 2010
GRS-256, ISBN 978-3-939355-31-1
- [5] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)
Vertiefung und Ergänzung ausgewählter Aspekte der Abfalltransportrisikoanalyse für die
Standortregion der Schachanlage Konrad
GRS-A-3684, 2013