

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3
Entscheidungskriterien sowie Kriterien
für Fehlerkorrekturen

**Beratungsunterlage zu TOP 3 der 14. Sitzung am 24. November 2015
Vorträge zu Behältertechnologien für den Zweck der Endlagerung hoch
radioaktiver Abfälle**

Rückholbarkeit / Bergbarkeit von Endlagerbehältern
Anforderungen an das Behälterdesign

Präsentation von Ralf Schneider-Eickhoff,
GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. /AG3-51</p>

Rückholbarkeit / Bergbarkeit von Endlagerbehältern

Anforderungen an das Behälterdesign

Ralf Schneider-Eickhoff

14. Sitzung der AG 3 der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
24.11.2015, Berlin

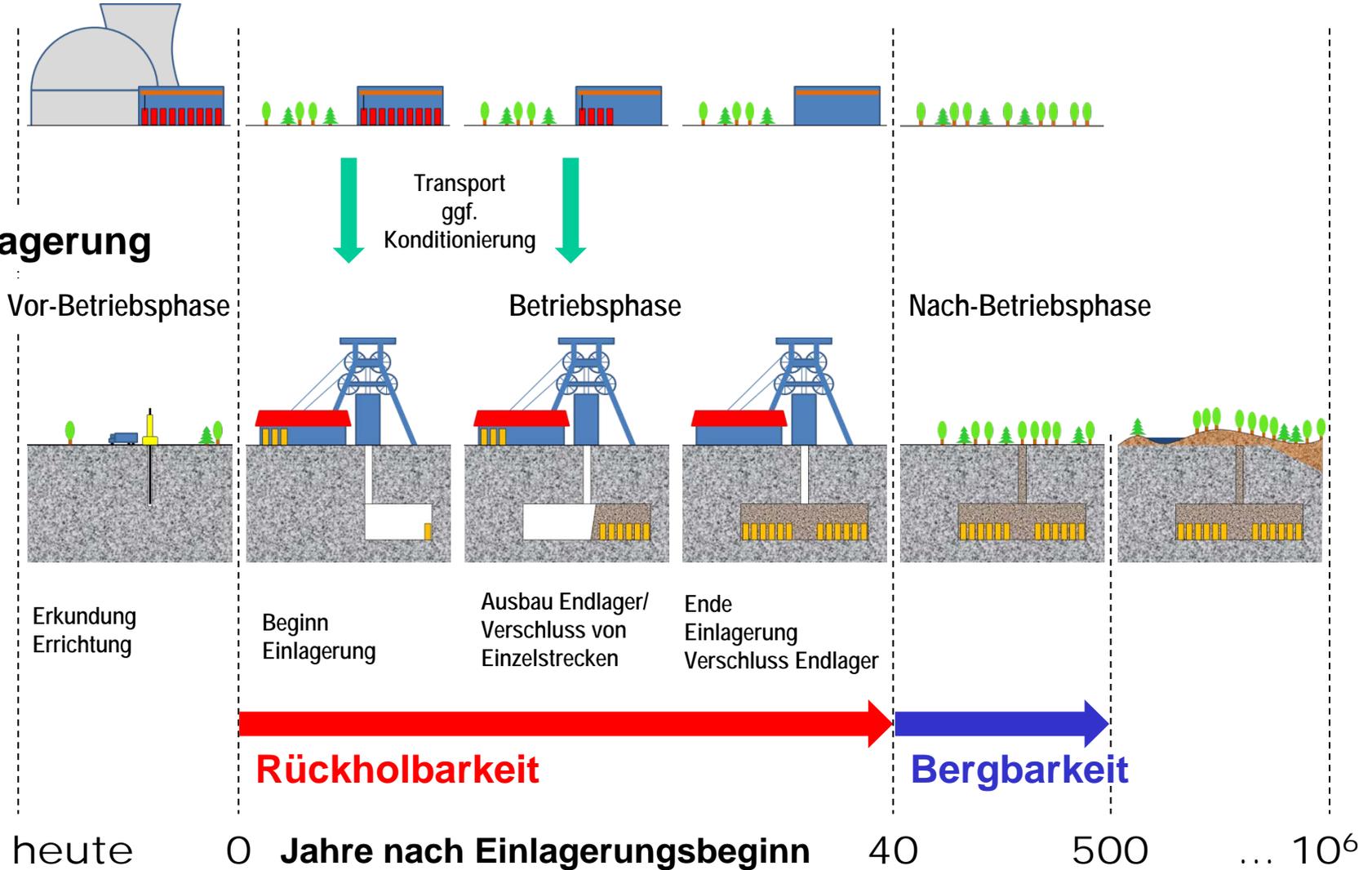
Gliederung

- Phasen der Endlagerung
- Rückholbarkeit/Bergbarkeit – Anforderungen an Behälter
- Einflüsse auf Endlagerbehälter
- Bewertung der existierenden Endlagerbehälter-Konzepte
- Fazit

Endlagerphasen

Zwischenlagerung

Endlagerung



Rückholbarkeit vs. Bergbarkeit



Quelle: ADAC e.V.



Quelle: Polizei Schweiz/Kapo TG

- **Rückholbarkeit:**
Geplante technische Möglichkeit zum Entfernen der eingelagerten radioaktiven Abfallbehälter aus dem Endlager
 - Lagerung erfolgt unter Randbedingungen des bestimmungsgemäßen Endlager-Betriebs
 - Nachweis der Behältersicherheit über die Betriebsdauer für konkrete Randbedingungen
- **Bergung:**
Ungeplante Rückholung von radioaktiven Abfällen aus einem verschlossenen Endlager als Notfallmaßnahme
 - Unvorhergesehene Veränderungen des Endlagersystems sind als Räumungsgrund zu unterstellen
 - Szenarien betreffen Zeiträume \gg 40 Jahre und sind dem Restrisikobereich zuzuordnen

Designanforderungen an Endlagerbehälter

ANFORDERUNGEN



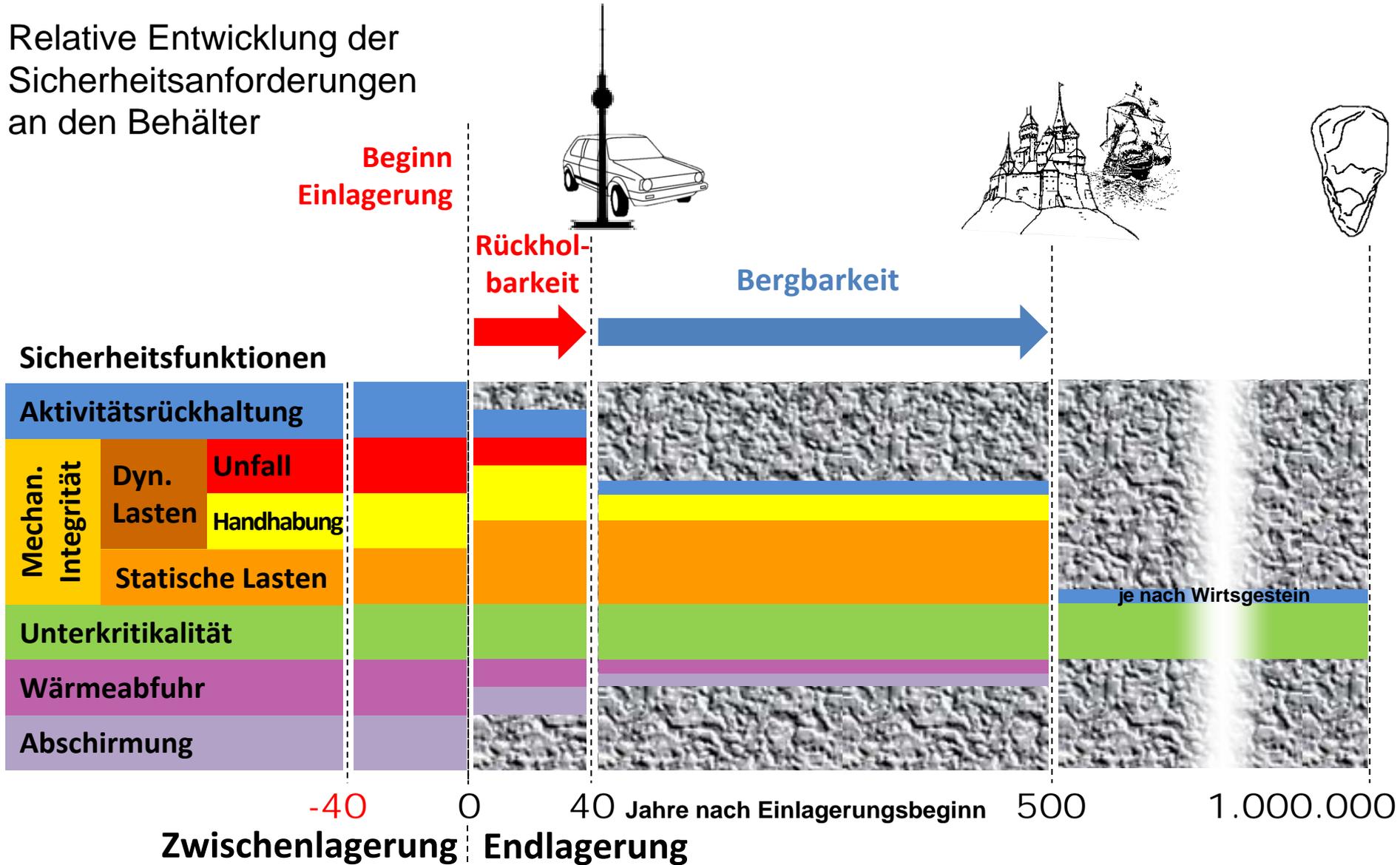
DESIGN

BEWERTUNG

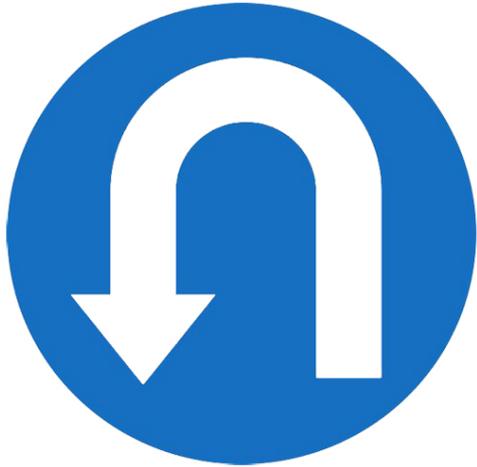
- **Allgemeine Anforderungen:**
 - **Dosisleistungs-Grenzwerte bei Einlagerung/ Rückholung** (zusammen mit Handhabungsequipment)
 - **Kritikalitätssicherheit**
 - **Freisetzungsgrenzwerte bei Einlagerung/ Rückholung**
- **Endlagerspezifische Anforderungen:**
 - **Zulässige Wärmeleistung**
 - **Zulässige Handhabungsmassen/ Behälterabmessungen**
 - **Schnittstellen zum Handhabungsequipment bei Einlagerung/Rückholung**
 - **Zu berücksichtigende Auslegungstörfälle**
- **Erst bei Kenntnis/nach Festlegung der Designanforderungen kann das Behälterkonzept für das vorgesehene Endlager abschließend bewertet werden.**

Sicherheitsanforderungen an die Behälter

Relative Entwicklung der Sicherheitsanforderungen an den Behälter

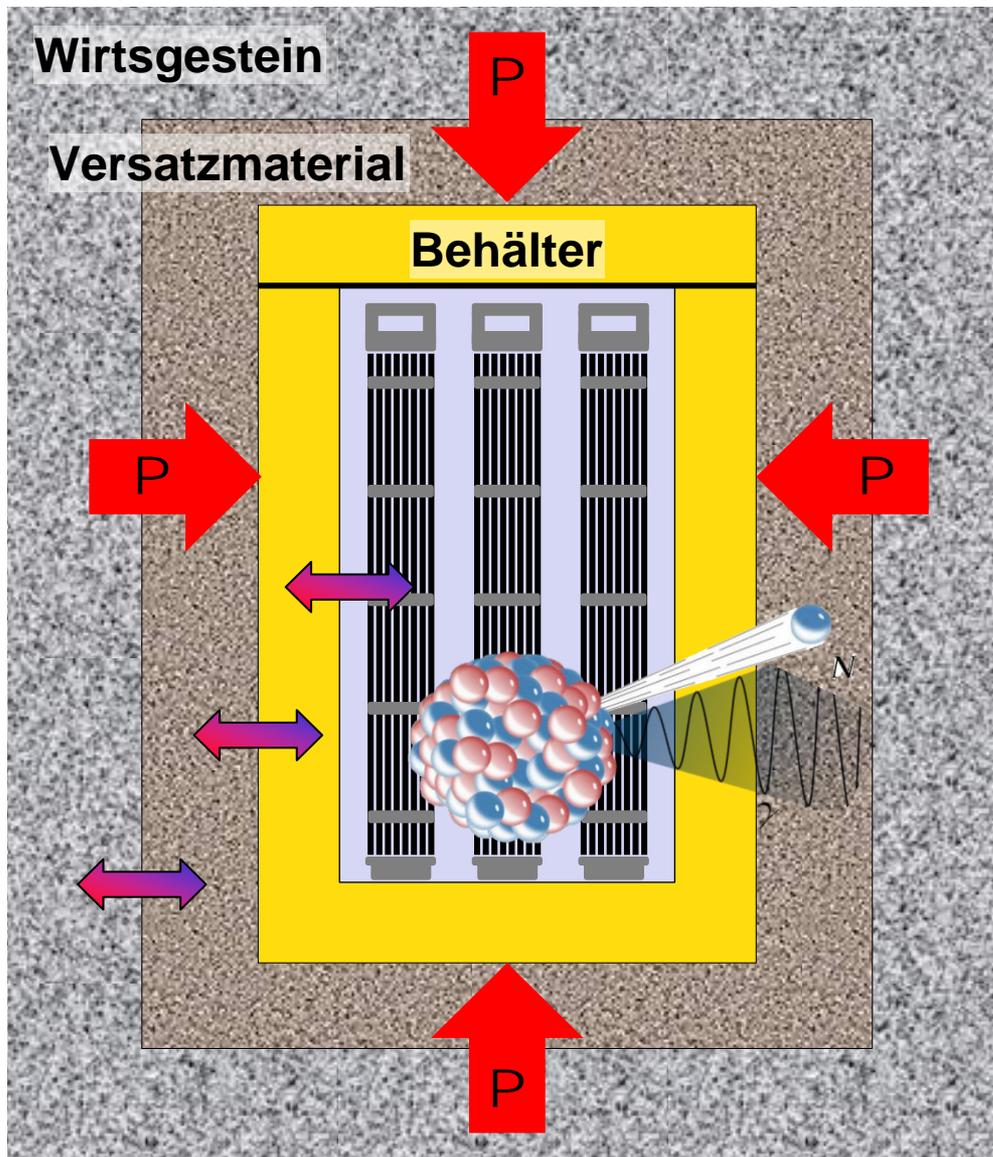


Zusätzliche Anforderungen aus Rückholung/Bergung



- Rückholbarkeit/Bergbarkeit bedeutet, dass wesentliche Sicherheitsanforderungen über lange Zeiträume vom Behälter erfüllt werden müssen:
 - Zusätzliche Designmaßnahmen zur Gewährleistung der Behältersicherheit sind erforderlich
 - Keine Kreditnahme bei der Behälterauslegung von der Barrierewirkung des Wirtsgestein bzw. des Versatzmaterials/der Verrohrung
- Designanforderungen an den Behälter resultieren nicht nur aus der Endlagerung selbst:
 - Zugang von Personal bei der Rückholung/Bergung muss möglich sein → Sicherstellung von Abschirmung und Aktivitätsrückhaltung
 - Handhabung des Behälters bei der Rückholung/Bergung → Aufrechterhaltung der mechanischen Integrität (Berücksichtigung dynamischer Belastungen bei der Handhabung)

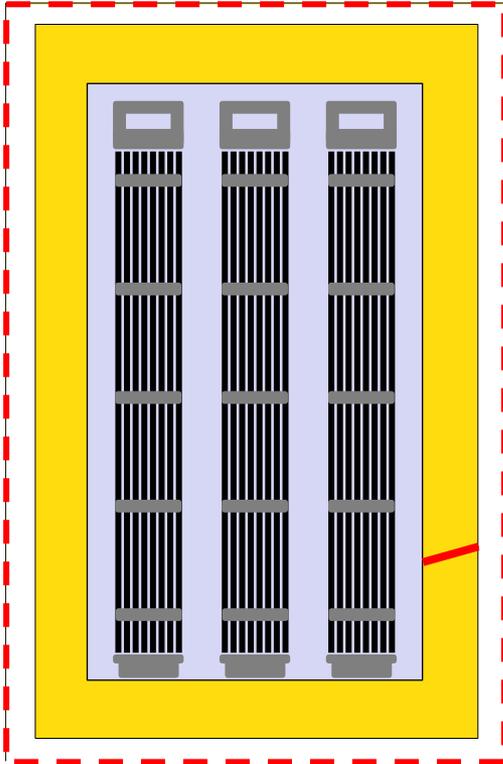
Einflüsse auf Endlagerbehälter



- Langzeitverhalten des Behälters wird bestimmt durch:
 - Radioaktive Strahlung des Inventars
 - Bauteiltemperaturen entspr. der Nachzerfallsleistung und Wärmeabfuhr
 - Gebirgsdruck
 - Chemische Wechselwirkungen in Abhängigkeit von den eingesetzten Werkstoffen und den vorhandenen Mineralien sowie dem Wasserangebot

Die Alterungseinflüsse sind sowohl vom Wirtsgestein und dem Endlagerkonzept als auch vom Endlagerbehälter abhängig.

Theoretisch mögliche Korrosionseinflüsse



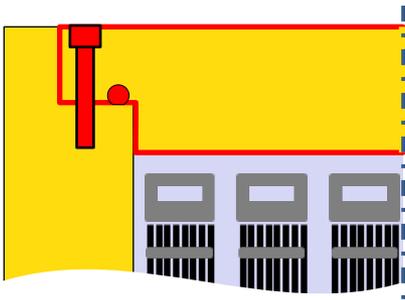
- Gleichmäßige Flächenkorrosion
 - Gleichmäßige Wanddicken-Schwächung
 - Beeinträchtigung der Integrität
- Lochfraß
 - Ausbildung punktförmiger Löcher bei Anwesenheit von chlor-/bromithaltigen Elektrolyten
 - Verlust der Dichtheit
- Spannungsrisskorrosion
 - Inter-/transkristalline Rissbildung bedingt durch Bauteilspannungen und chemische Angriffsmittel
 - Bruchmechanisches Bauteilversagen
- Spaltkorrosion, Kontaktkorrosion
 - Korrosiver Angriff in Spalten / an Kontaktstellen mit lokal ungünstigen chemischen Bedingungen
 - Korrosion an eigentlich korrosionsbeständigen Komponenten möglich

Begrenzung von Korrosionsschäden ist durch Werkstoffauswahl und konstruktive Maßnahmen möglich.

Behälterverschluss

Geschraubter Deckel

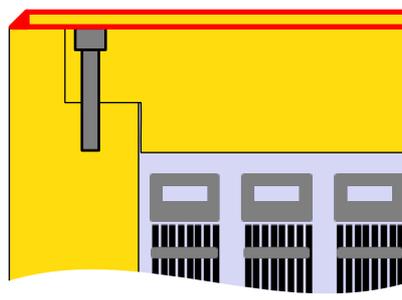
- Dichtfunktion wird bestimmt durch:
 - Metalledichtung
 - Schraubenvorspannung



- Abnahme der Dichtwirkung durch Kriechprozesse und Korrosion

Geschraubter Deckel mit verschweißter Membrane

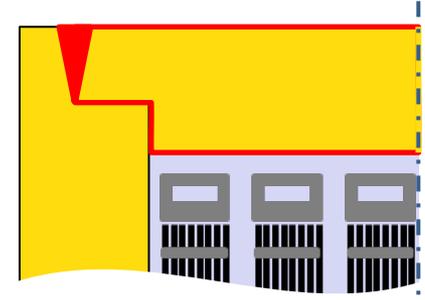
- Dichtfunktion wird bestimmt durch:
 - Ein- bis zweilagige Dichtnaht



- Empfindlich gegen mech. Belastungen
- Gefahr von Spannungsrisskorrosion (SCC)

Schweißdeckel

- Dichtfunktion wird bestimmt durch:
 - Mehrlagige, mech. tragende Schweißnaht



- Stoffliche Verbind. mit gleichwertigen Eigenschaften wie das Grundmaterial

Zugänglichkeit zum Inventar

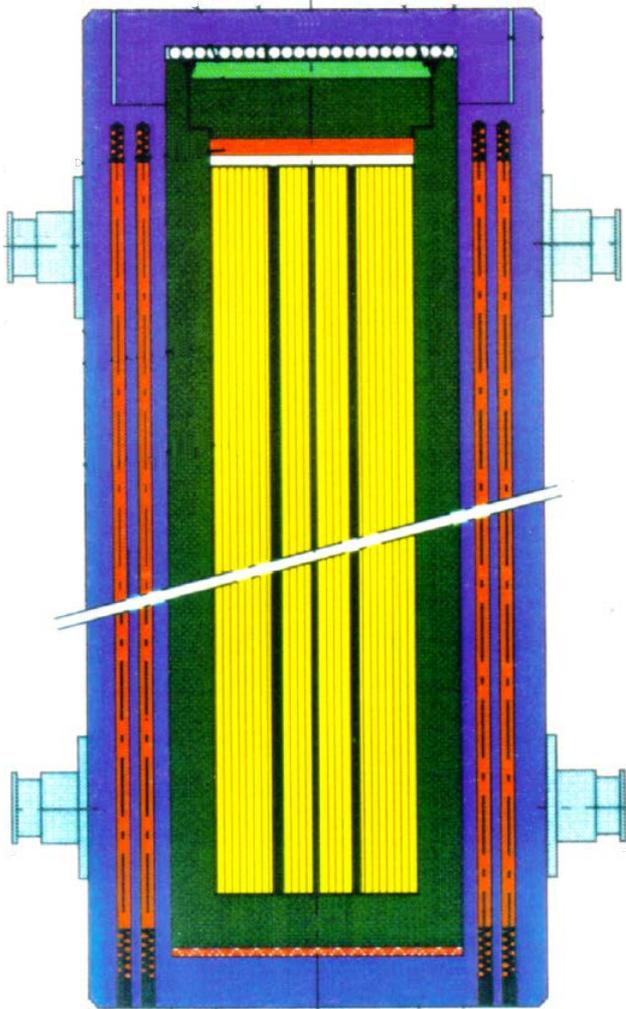
Robustheit /
Langzeitbeständigkeit

Bewertung von Alterungseffekten



- **Stand aktueller Zulassungen und Genehmigungen**
 - **Nachweis Langzeitverhalten für mind. 40-jährige Zwischenlagerung von CASTOR[®]-Behältern**
 - **Kreditnahme in der Nachweisführung von Inspektionen und wiederkehrenden Prüfungen**
- **Mit steigender Bewertungsdauer nimmt die Bedeutung langsam ablaufender Prozesse zu.**
 - **Zunehmende Wechselwirkungen zwischen Wirtsgestein, Inventar und Behälter**
 - **Nachweisfähigkeit und Prognosesicherheit**
 - **Steigt mit der Robustheit des Behälterdesigns**
 - **Sinkt mit der Komplexität des Behälterdesigns**
 - **Sinkt mit der Betriebsdauer**
- **Für einen Behälter im verschlossenen Endlager kann die Bergbarkeit für wenige 100 Jahre plausibel gezeigt werden.**

Referenzkonzept POLLUX[®]

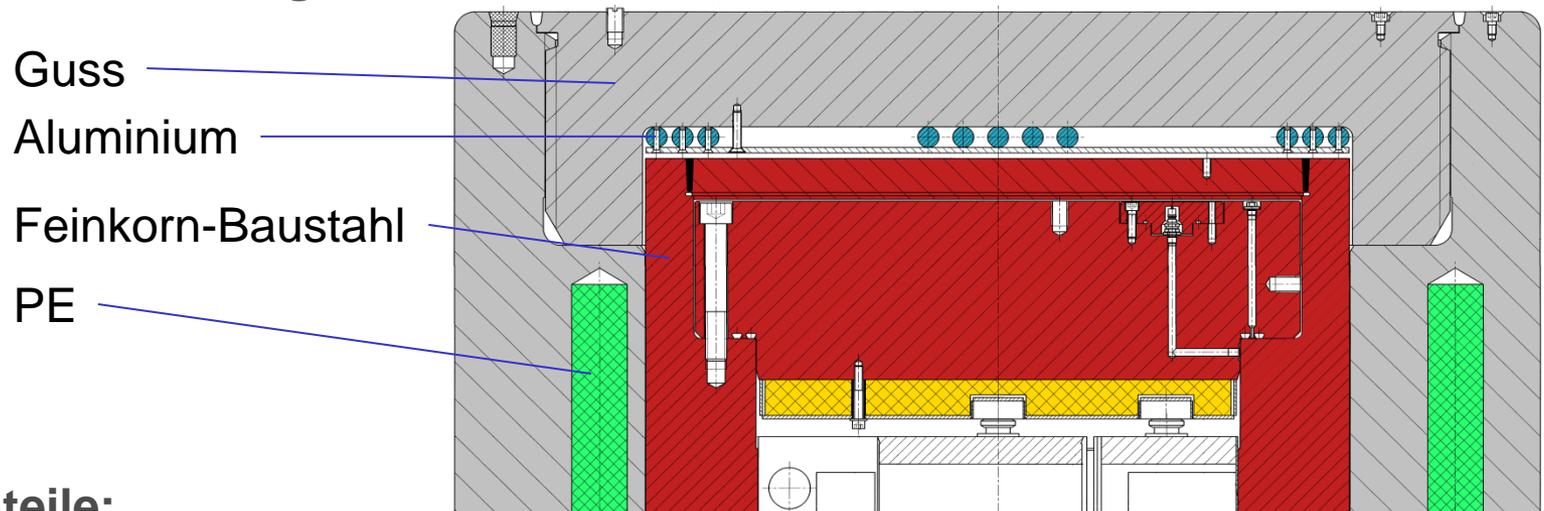


- **Doppelbehälter-Konzept zur Streckenlagerung**
 - Äußerer Abschirmbehälter aus Gusseisen (GGG)
 - Deckel mit Außen-Trapezgewinde wird in den Abschirmbehälter eingeschraubt
 - Innenbehälter aus Feinkorn-Baustahl (1.6210), durch Engspaltschweißung des Sekundärdeckels dicht verschlossen, Primärdeckel verschraubt
 - PE als Moderator in der Wand des Abschirmbehälters sowie in Edelstahl gekapselt im Bodenbereich zw. Innen- und Abschirmbehälter
 - Graphit als Moderator unter Primärdeckel
 - Tragkorb aus Edelstahl und Brennstab-Büchsen aus Edelstahl
 - Verschraubte Tragzapfen aus Edelstahl
 - Innere Stoßdämpfer aus Aluminium-Stangen unter Abschirmdeckel
- Aufnahme von Brennstäben aus 10 DWR- bzw. 30 SWR-BE (ca. 5,4 MgSM)
- Masse beladen: ca. 64 Mg

Referenzkonzept POLLUX®

■ Vorteile:

- Relative große und kompakt angeordnete Brennstoffmenge
- Dichter Einschluss erfolgt über Schweißdeckel
- Verwendung eines korrosionsbeständigen, dickwandigen Abschirmbehälters als Barriere gegen äußere Beanspruchungen der dichten Umschließung



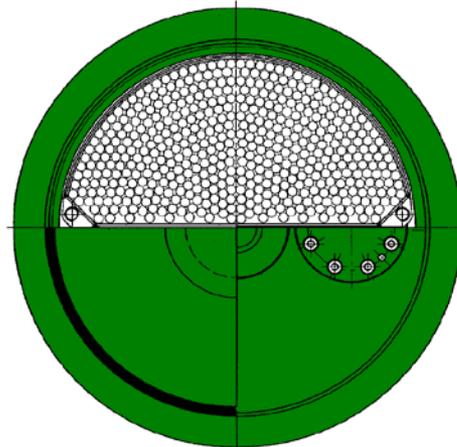
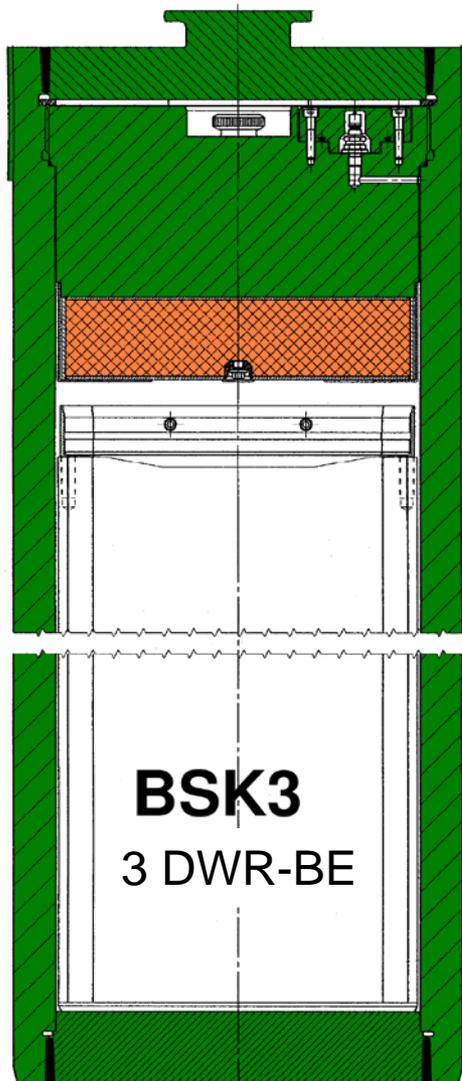
■ Nachteile:

- Hohe Handhabungsmasse/großes Volumen
- „Verlorener“ Abschirmbehälter
- „Werkstoffmix“ erschwert die Nachweisfähigkeit hinsichtlich Korrosion
- Dichtungskonzept für Abschirmdeckel muss noch festgelegt werden

Alternativkonzept BSK3

- **Brennstabkokille für die Bohrlochlagerung**

- Behälterkörper und Deckelsystem bestehen analog zum POLLUX aus Feinkorn-Baustahl (1.6210)
- Geschraubter Primärdeckel für Abschirmung/Rückhaltung
- Dichter Einschluss durch verschweißten Sekundärdeckel (Engspalt-Schweißnaht)
- Aufnahme der Brennstäbe in 2 inneren Büchsen aus Edelstahl
- Graphit als Moderator unter dem Primärdeckel angeordnet



- Brennstäbe aus 3 DWR-BE bzw. 9 SWR-BE (ca. 1,6 MgSM)
- Masse beladen: ca. 5,5 Mg

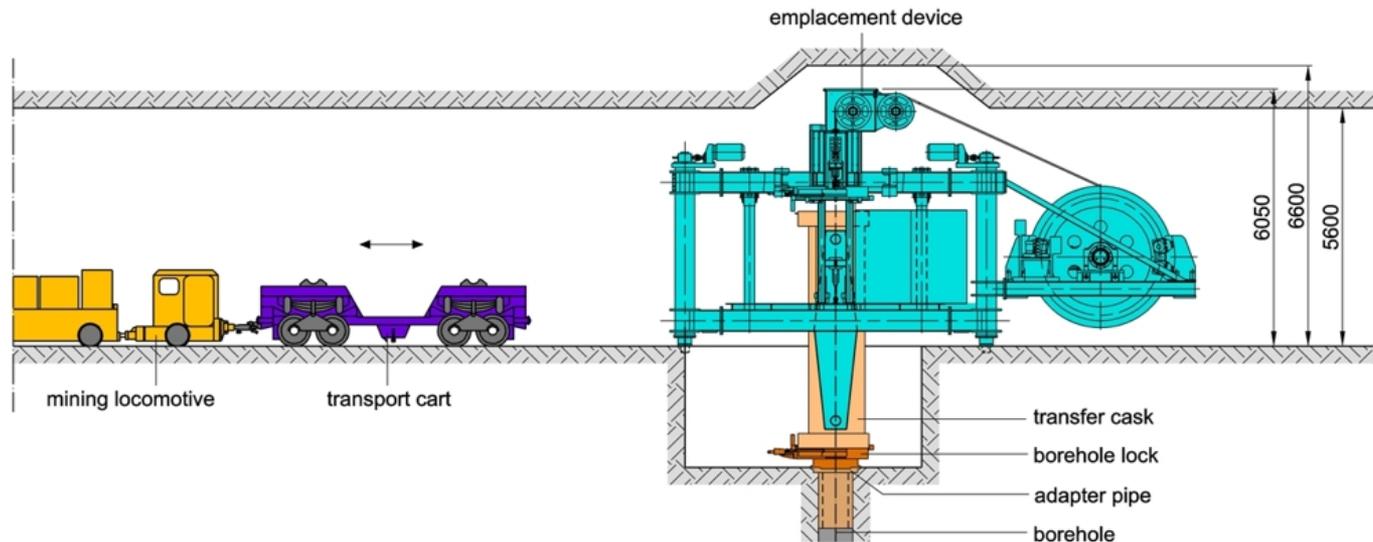
Alternativkonzept BSK3

■ Vorteile:

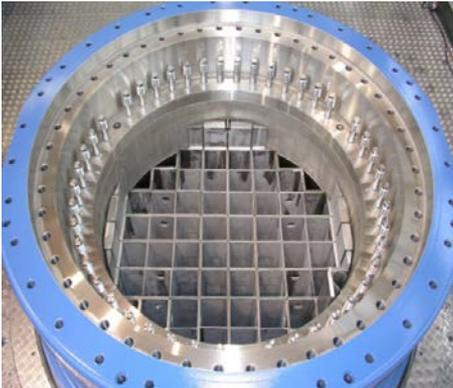
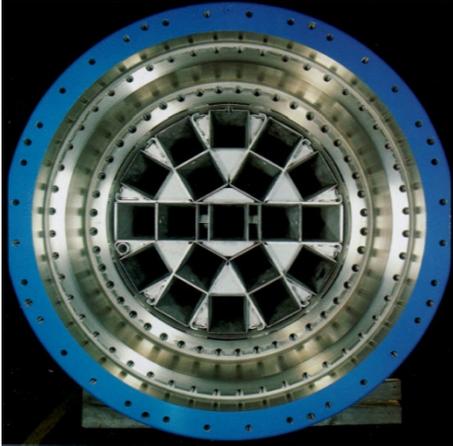
- Kompakte Anordnung
- Glatte, spaltfreie Außenkontur
- Dichter Einschluss erfolgt über Schweißdeckel
- Kein „verlorener“ Abschirmbehälter
- Keine organischen Stoffe als Bestandteil der Verpackung

■ Nachteile:

- Große Anzahl an Gebinden erforderlich
- Geringe Eigenabschirmung
- Korrosionsschutz für Kokillenbehälter ist erforderlich
- Zusätzliche Verrohrung des Bohrlochs notwendig



Alternativkonzept DIREGT



- DIREGT – Direkte Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern
 - Bereits beladene Transport- und Lagerbehälter werden für die Endlagerung weiterverwendet
 - Keine Handhabung/Konditionierung der Brennelemente, ggf. Verfüllen des freien Schachtvolumens mit Magnetit aus Gründen der Kritikalitätssicherheit
 - Aufnahme von z.B. 19 DWR-BE / 52 SWR-BE (ca. 10 MgSM)
 - Masse beladen/verfüllt: bis zu 145 Mg

Alternativkonzept DIREGT



■ Vorteile:

- Keine weitere Handhabung der Brennelemente
- Gute Eigenabschirmung
- Keine zusätzlichen Behälter – weniger Sekundärabfälle
- Große Schwermetall-Masse je Behälter

■ Nachteile:

- Hohe Handhabungsmasse/großes Volumen
- Große Wärmeleistung je Behälter
- „Voralterung“ durch Zwischenlagerung
- Eine Vielzahl verschiedener Bauarten (CASTOR[®] Ia, IIb, V/19, V/52, HAW 20/28 CG, HAW28M, THTR/AVR, 440/84, KNK, KRB-MOX, ...) ist zu bewerten

Behälterrelevante Endlagereigenschaften

Wirtsgestein		Steinsalz	Ton/Tonstein	kristallines Gestein
Wärmeleitfähigkeit		hoch	gering	mittel
Zutritt von Lösungen		Zutritt unwahrscheinlich	Wasser in geringen Mengen vorhanden	wasserführend
Gebirgsdruck		30 – 40 MPa	30 – 35 MPa	< 30 MPa
		isotrop	anisotrop	anisotrop
Hohlraumstabilität		hoch	Ausbau notwendig	hoch
Eignung		in Steinsalz	in Tonstein	in Granit
Behälterkonzept	POLLUX	Detailanpassungen ggf. erforderlich	Wärmeabfuhr	Wärmeabfuhr
	BSK3	Detailanpassungen ggf. erforderlich	anisotroper Gebirgsdruck	anisotroper Gebirgsdruck
	DIREGT	Detailanpassungen ggf. erforderlich	Größe/Wärmeabfuhr	Größe/Wärmeabfuhr

- Eignung der Behälterkonzepte ist vom Standort abhängig
- Rückholbarkeit erfordert weitere Designprüfungen, ggf. Anpassungen



- Bei der hier unterstellten vernünftigen Abgrenzung der Endlagerphasen sind Rückholbarkeit und Bergbarkeit für alle relevanten Wirtsgesteine technisch umsetzbar.
 - Die abschließende Behälterauslegung kann erst nach Festlegung des Endlagerstandortes erfolgen.
- Durch die zusätzlichen Anforderungen aus der Rückhol-/Bergbarkeit ergibt sich für alle bestehenden Endlagerbehälter-Konzepte die Notwendigkeit von Designüberprüfungen.
 - Die Entwicklung/Genehmigung eines Endlagerbehälters auf Basis der aktuellen Konzepte wird mindestens 5 bis 7 Jahre in Anspruch nehmen.
- Unter Zugrundelegung aktueller Nachweisanforderungen kann die Genehmigungsfähigkeit des Behälters für die Phase der Rückholbarkeit (40 Jahre) sowie die Plausibilität der Bergbarkeit (wenige 100 Jahre) gezeigt werden.

Das bedeutet nicht, dass die Behälter nach diesem Zeitraum versagen.