

Sicherheitsbericht (PDSR) nach IAEA SSG-66

für das Endlager-Gebinde ELB 03 - PTH 04 DE

Gebinde für hoch radioaktive Reststoffe - HLW

Anlage zum Zulassungs-Antrag bei BASE / BAM

Verkehrsrechtliche Behälter Bauart-Zulassung

Transport- und Endlager-Behälter ELB 03 DE

in der Blei-Strahlenschutz-Hülle PTH 04 DE

Verfasser des Behälter-Klasse 7 Zulassungs-Antrags :

Sprecher der Konstruktors-Gruppe : Volker Goebel

Industriemeister Metall DE – Dipl.-Ing. Architektur

Bürgerbeteiligung Fachöffentlichkeit Deutschland

Stand / Version 01 vom 25.07.2026



Teil 1: Allgemeine Information und Spezifikationen

Vorl. Antragsteller : Ingenieurbüro Goebel, Ahrstr. 7, 58097 Hagen

Vorl. Hersteller : Ingenieurbüro Goebel, Ahrstr. 7, 58097 Hagen

Vorschlag Zulassungs-Nummer : D/5000/B(M) ELB in PTH

Qualitäts-Sicherungs-Management-System : ISO 19443 / ISO 9001

Voll-Antrag : GNS Essen oder Brenk-System-P. Aachen oder ähnlich

Spezifikation der zugelassenen Befüll-Inhalte :

„Spend Fuel“ - Abgebrannte Brennstab-Reste aus LWR und DWR

Mindest-Alter 10 Jahre ! seit der Entladung aus einem Reaktor.

NICHT zugelassen sind : abgebrannte MOX Brennstab-Reste

Chemische Form :

Sinterkörper-Reste aus Uranoxid (UO_2) hochschmelzend und chemisch stabil.

Physikalische Formen :

Granulat mit Korn-Grösse 0,1 bis 1 mm (dispergierend) das ist der Ausnahme-Fall - z.B. bei Befüllung von Gebinde-Prototyp und Schmelzen aus Plasma-Öfen (wenig dispergierend) das ist der Regel-Fall - Heiss-Befüllung mit 1.200 °C Schmelzen

Befüll-Hinweise : um Innen-Druck aus Temperatur zu vermeiden

Es darf (fast) keine Umgebungs-Luft im Behälter verbleiben !

Befüll-Menge: (bezogen auf 1 kg Schwermetall – mehr passt nicht rein)

- **Gesamt-Befüll-Menge** : maximal 1 kg UO_2 - aktiviertes Schwermetall
- **Uran gesamt** : ca. 0,95 kg – 95 % (**Restbestand an Uran-238 !** und verbleibendes Uran-235) – EU + Deutschland wollen das entsorgen !
- **Spaltprodukte** : ca. 0,033 – 0,035 kg (ca. 3 %) stabile und radioaktive Asche-Elemente
- **Plutonium** : ca. 0,009 – 0,011 kg (ca. 1 %) erbrütetes Plutonium (u. a. Pu-239, Pu-240) – in der Decay Kette liegt dann auch Pu-237 !
- **Minore Aktiniden** : ca. 0,008 – 0,01 kg (Neptunium, Americium, Curium)

Maximale radioaktive Strahlungs-Aktivität - ab hier pro Tonne

- **Frisch entladen (nach ca. 1 Jahr Abklingzeit):** ca. 10^{15} bis 10^{16} (Becquerel) pro Tonne Schwermetall.
- **Dominierende Strahlung:** Kurzlebige Spaltprodukte wie Cäsium-137 und Strontium-90 bestimmen die Wärme-Entwicklung und Aktivität in den ersten Jahrzehnten.

Spaltstoff-Eigenschaften

- **Uran-235:** Restgehalt sinkt von anfangs 3,5–5,0 % auf unter 1,0 % ab.
- **Spaltbarkeit:** Kettenreaktionen sind im Reststoff nicht mehr ökonomisch aufrechtzuerhalten, die Reststoffe der Kernenergie-Erzeugung sind hoch radioaktiv und thermisch selbst-erhitzend (Nachzerfalls-Wärme).
Achtung : Auslösung der Kettenreaktion im Reaktor war Neutronen-Beschuss ! - Im Endlager gibt es aber **KEINE Neutronen-Kanonen**.

Spezifikation der Verpackung :

Technische Zeichnungen und Fotos (z. Z. Prototypen)

- des Transport- und Endlager-Behälters ELB 03 DE
- in Blei-Abschirm-Strahlenschutz-Hülle PTH 04 DE

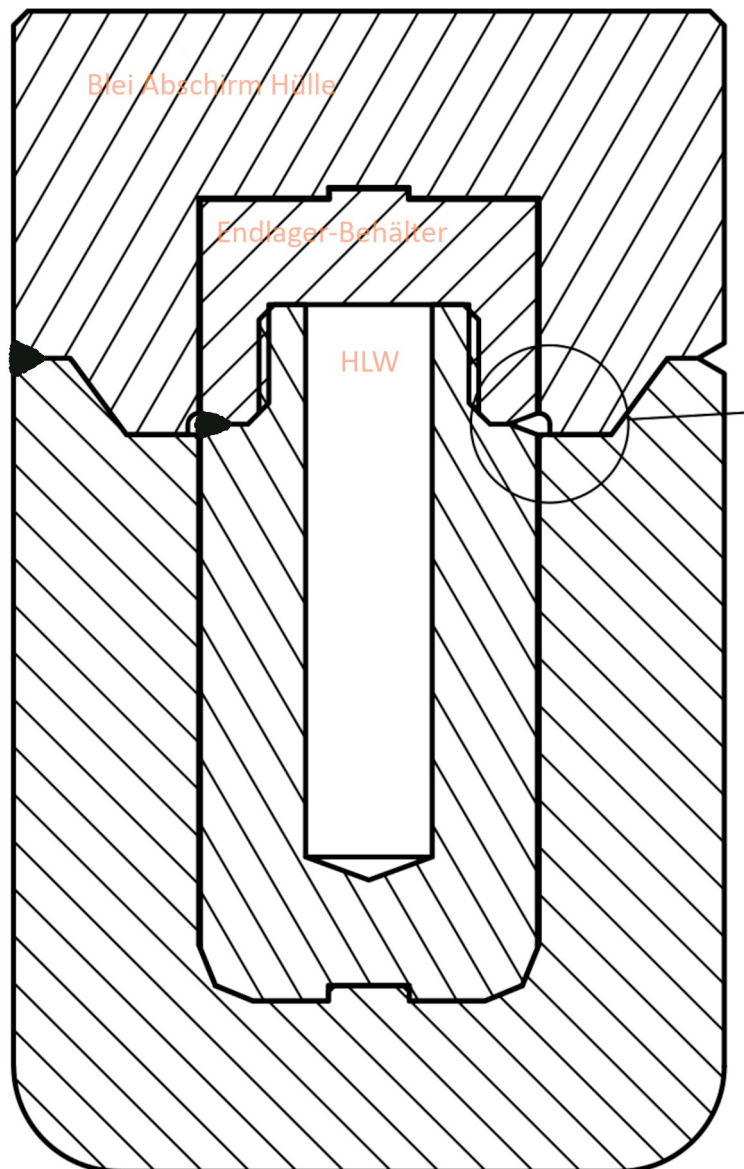
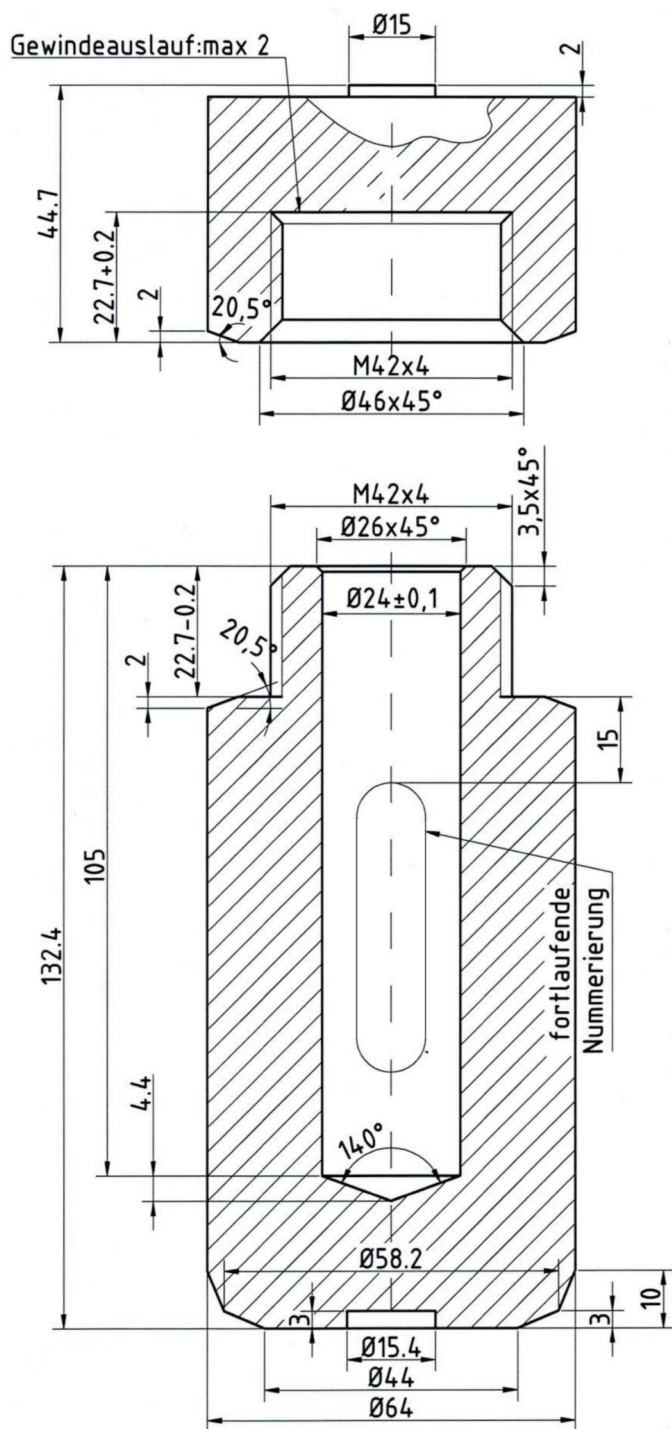
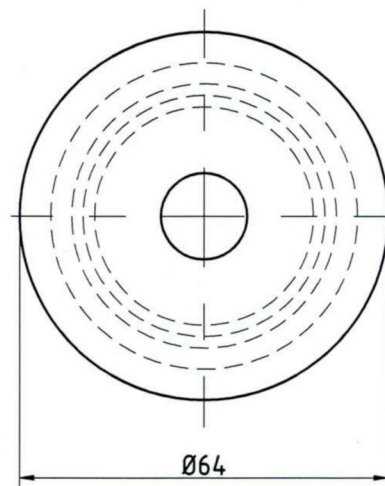


Bild 1 - Schnitt - techn. Zeichnung - Behälter in Strahlenschutz-Hülle



Draufsicht Deckel

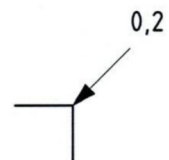


Danke an Herrn Frank Dreher
GF + Industrie-Meister Metall
Für die exzellente Fertigungs-
Zeichnung (Hand / Schablone)

Die "Erfindung" des Endlager-Behälters
ELB 03 DE und Blei-Transport-Hülle Typ
PTH 04 DE ist von Dipl.-Ing. Architektur
Volker Goebel - Industriemeister Metall

Der Behälter hat die Endlager-Branche
geradezu "revolutioniert", weil er max.
1 kg hoch radioaktive Reststoffe fasst,
und damit der Nachweis einer ewigen
Unterkritikalität bei Druck und Wärme
in geologischen Endlagern möglich ist !

(Gewicht:
Deckel: 000g
Behälter: 000g)



DIN ISO 2768	Längenmaße			
	Grenzabmaße in mm			
Toleranzklasse	0,5 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 30	über 30 bis 120
f (fein)	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15
m (mittel)	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3
g (grob)	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

Prüfplan-Nr.: 595DA	Datum:	Name:	Firma: Geb. Dreher Drehteile und Gasfedern GmbH	
	Gezeichnet:	F.Dreher		
	Geprüft:	18.06.2026 Dipl.-Ing. V. Goebel		
	Geändert:	17.06.26 F.Dreher		
Maßstab: 1:1	Benennung: 1 kg Endlager-Behälter ELB 03 DE DBHD / ART-TEL / DBD Materialien	Index: 12	Zeichnungs-Nr.: 595DA	Werkstoff: 1.4571

Bild 2 - Schnitt - Fertigungs-Zeichnung des CNC Drehteil Herstellers

Hurra - die ersten Endlager-Behälter sind gefertigt worden
Da passt gar keine kritische Masse rein - der 1 Kg Behälter
20 mm Wandstärke - befüllbar - verschliessbar - 1.4571



Bild 3 - Foto - Prototyp 00.000.002 - Behälter Typ ELB 03 DE

Der 1 kg Inventory GDF Container - Prototype Version 3
Design Made in Germany - Product made in Germany



ing-goebel.shop und Frank.Dreher@Gebrueder-Dreher.de

Bild 4 - Foto - Prototyp 00.000.002 - Behälter Typ ELB 03 DE

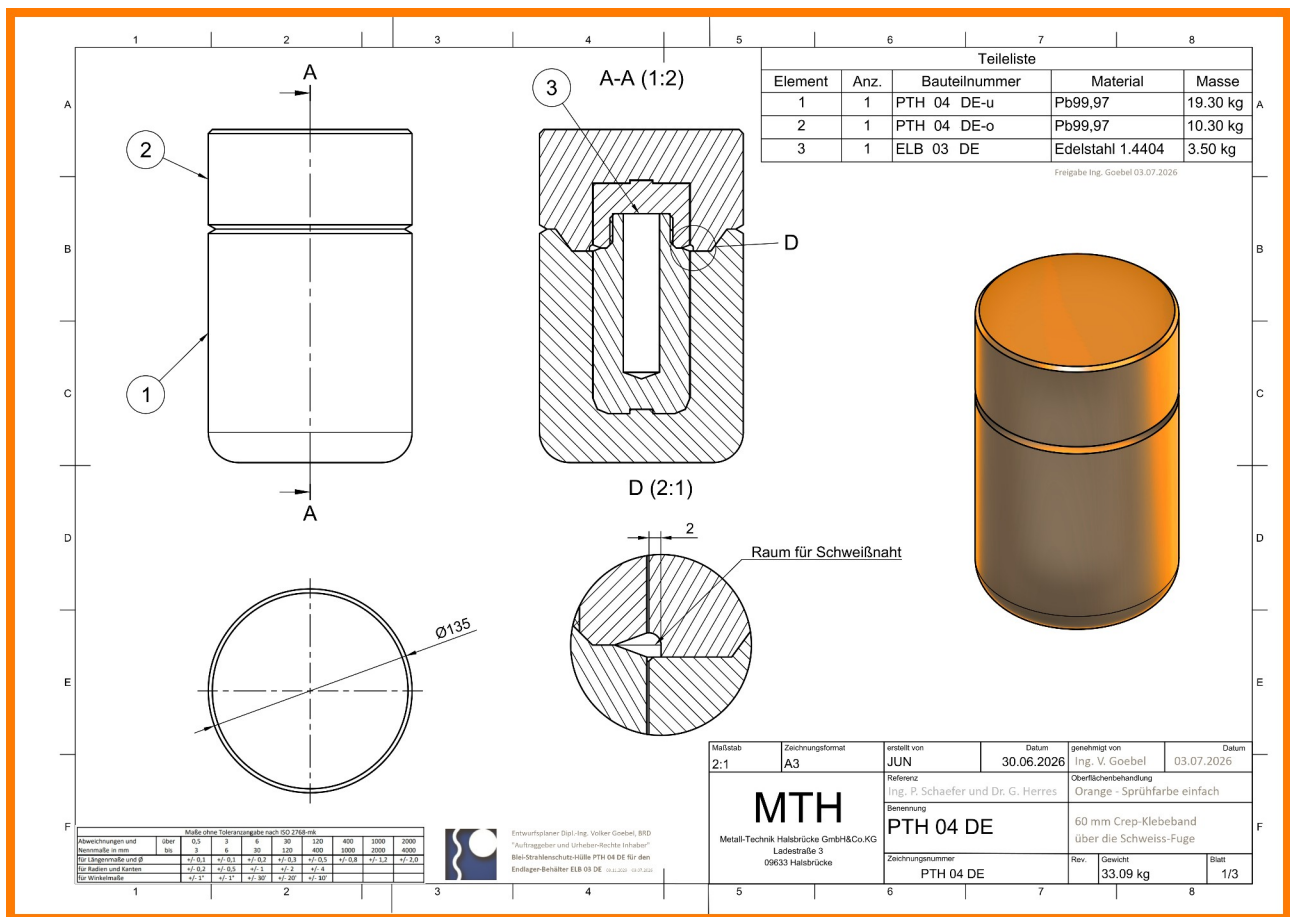


Bild 5 - Schnitt - Isometrie - Blei-Strahlenschutz-Hülle Typ PTH 04 DE
Fotos und korrigierte technische Zeichnung erst ab PDSR Version 02

Material-Spezifikationen :

1.4571 - Werkstoff Nr. - Edelstahl - V4 - Titan-Stabilisiert - Werkstoff
für Hochtemperatur-Anwendungen - Rostet nicht - selbst-passivierend
Kurz-Bezeichnung : X6CrNiMoTi17-12-2 - Herstellung bitte in der BRD

Schweisdraht 1.4576 (auch Titan-stabilisiert): Ein artgleicher, titan-
legierter Draht, der exakt zu den stabilisierten Eigenschaften des
Grundwerkstoffs 1.4571 passt. WIG Schweißen unter Argon Wasserstoff

Pb 99,97 - Blei - Strahlenschutz-Hülle - hoher Absorptions-Koeffizient
Blei-Verschweissung Deckel und Topf im WIG oder Autogen-Verfahren

Alphastrahlung: Wird bereits durch wenige Zentimeter Luft oder ein Blatt Papier vollständig gestoppt. Blei blockiert sie absolut, ist dafür aber nicht nötig.

Betastrahlung: Wird von wenigen Millimetern Blei (oder auch Aluminium) komplett absorbiert.

Gammastrahlung und Röntgenstrahlung: Haben keine definierte Reichweite, sondern werden durch Blei exponentiell abgeschwächt

Die „berechnete“ Gesamt-Absorption des Endlager-Gebindes erreicht 99,3 % - das hört sich gut an - aber - die restlichen 0,7 % Gamma-Strahlung sind für Menschen immer noch eine Gefahr - Deshalb sind Gebinde-Mengen von grösser als 1 Stück in einer Strahlenschutz-Transport-Kiste PTK 01 DE zu bewegen. Diese PT-Kisten 01 DE umfassen jedes Gebinde mit einem 20 mm Wolfram-Kunststoff Compound, das als Neutronen-Fänger dient. In Mini-DBD 5227 Deep-Borehole-Disposal Endlagern kommen Neutronen-Fänger-Scheiben zwischen den Gebinden zum Einsatz - im DBHD und ART-TEL Endlagern arbeitet man hingegen mit **Abständen**, die mit Salz-Gruss gefüllt sind. - Es gibt eine Theorie, nach der auch die Decay-Kette noch Neutronen freisetzen könnte !!! - **Der Planverfasser des Endlager-Gebindes ist ein Architektur-Planer, der „wissenschaftliche Daten“ zu möglichen ? Neutronen aus den Decay-Vorgängen benötigt !!!**

Barrieren des Endlager-Gebindes im Transport-Fall :

Edelstahl 20 mm rund-herum (geringe Abweichungen im Bereich des Zapfens und der Nut - Zentrische Aufnahme für Verschweissung.

Blei 35 mm rund-herum - nur stabil bis kurz vor Schmelz-Temperatur

Barrieren des Endlager-Gebindes im HLW GDF - Endlager-Fall :

Steinsalz 50 m - rund-herum - Einsatzfall Mini DBD - mind. -1.100 m

Steinsalz 200 m - rund-herum - Einsatzfall ART-TEL - mind. 500 m

Steinsalz 300 m - rund-herum - Einsatzfall DBHD - mind. 1.100 m

Alterungs-Verhalten des Endlager-Gebindes :

Edelstahl zeigt unter reiner Gammastrahlung ein **äußerst stabiles Alterungsverhalten**, da hochenergetische Photonen im Gegensatz zu Neutronen kaum atomare Gitterverschiebungen (Gitterfehler) verursachen. Mechanische Kennwerte bleiben weitgehend unverändert, während die Passiv-Schicht an der Oberfläche je nach Dosis minimal beeinflusst wird.

Physikalische und Mechanische Effekte

- **Keine Versprödung:** Gammastrahlung besitzt keine nennenswerte Masse oder Impulsübertragung zur Erzeugung von Versetzungen im

Kristallgitter, weshalb makroskopische Härte und Festigkeit konstant bleiben.

- **Fehlen von Aktivierung:** Reine Gammastrahlung induziert in Edelstahl kaum signifikante radioaktive Aktivierung oder Kernumwandlungen (im Gegensatz zum Neutronenfluss im Reaktorkern).
- **Temperaturkopplung:** Tritt gleichzeitig starke Erwärmung auf, kann es zu üblichen thermischen Oxydationen oder Anlassfarben kommen, die jedoch rein thermisch bedingt sind. (passiert in DBD, ART-TEL und DBHD Endlager NICHT – die Grenztemperaturen sind dafür um den Faktor 3 bis 10 zu niedrig – Bezug Thermodynamische Berechnungen von Physiker Dr. Herres.

Chemisches Verhalten und Korrosion

- **Passivschicht:** Die schützende Chromoxidschicht auf der Oberfläche bleibt stabil. Experimente an austenitischen Stählen (wie AISI 304) zeigen, dass hohe Gamma-Dosen (ab ca. 150 kGy) die Passivität sogar unterstützen können, während mittlere Dosen in seltenen Fällen lokale Effekte an mikrostrukturellen Schwachstellen begünstigen.

Es ist davon auszugehen, dass bei geologischer Endlagerung im Salz gar keine relevanten Mengen an freiem Sauerstoff vorliegen können.

Die Antragsteller beantragen das es 2 Prüf-Verfahren gibt :

Das Endlager-Gebinde in Transportkiste als Versand-Stück

Das Endlager-Gebinde als Endlager-Gebinde im Endlager.

Die beiden Anwendungs-Fälle unterscheiden sich in Ihren

„Real-Umgebungs-Bedingungen“ wie Feuer und Wasser.

Hinweise zu Transport und Umgang mit den Endlager-Gebinden

- **Niemals die Blei-Abschirm-Hülle öffnen und den Behälter entnehmen !** - das geht nur in „heissen Zellen“ von Fachbetrieben
Möglicher Grund - Temperatur-Abweichungen nach oben - die eine System-Fehler Prüfung hoffentlich nie erforderlich macht.
- **Im Unterschied** zu einem 107 bis 117 Tonnen schweren Castor-Behälter, der nur sehr schwierig durch Diebstahl zu entwenden ist - ist ein **befülltes Endlager-Gebinde von 35 kg** quasi in der Einkaufs-Tasche beförderbar und somit einer großen **Diebstahls-Gefahr** ausgesetzt. - Die Gebinde müssen wie Millionen-Summen an Bargeld in stark gesicherten Transport LKWs unter Polizei-Schutz transportiert werden. (Non-Proliferation)
- Aufgrund geringer Fertigungs-Kapazität im Bereich der WAAs, dann mit Plasma-Öfen - ca. 11 bis 19 Mio. Einzel-Schmelzen und Behälter-Befüllungen ist eine Vor-Lagerung in einem Salz-Bergwerk unter XL Zugangs-Schutz-Bedingungen notwendig.
- Die hohe Anzahl von Endlager-Gebinden ist in der Herstellung, Kisten-Verpackung, und in der Entnahme und Auslegung in die Lager-Bohrungen in den Endlagern immer mit Robotic-Remote Technologien zu bewegen. - Der Umgang mit befüllten Prototypen ist durch 2 Personen mit langen 1 m Zangen möglich.

Strahlenschutz-Ziele sind :

10 mSv/h = 10 Milli-Sievert pro Stunde - offizieller IAEA Grenzwert für die direkte Behälter Oberfläche.

Die IAEA sieht 0,1 mSv/h in 1 Meter Entfernung als richtig an !?

Erwünscht sind vom Ministerium BMUKN DE aber 0,2 mSv/h in einer Distanz von 2 Metern um : Fahrer, Polizisten und andere Transport- und Auslegungs-Beteiligte zu schützen. - Die Befüllung und radiologische Messung der Endlager-Gebinde-Prototypen soll nachweisen ob diese Strahlenschutz-Ziel tatsächlich eingehalten werden !? Das prüfen ist mit der 125 Stück Gebinde-Transport-Kiste zu wiederholen.

Jeder, der in die Nähe von befüllten Endlager-Gebinden geht, hat ein geeichtes Dosis-Leistungs-Messgerät in der Hand zu tragen und ein auf-summierendes Dosimeter direkt auf der Brust zu tragen.

Teil 2: Technische Sicherheitsanalysen (Hauptteil)

Struktur-Analyse :

Mechanische Festigkeit, Sturz- und Aufprallprüfungen.

Mechanische Festigkeit :

Vergleich Zugfestigkeit und Druckfestigkeit Edelstahl 1.4571 zu Grauguss

Edelstahl 1.4571 ist ein zäher, korrosionsbeständiger Austenit mit hoher Zugfestigkeit, während Grauguss (EN-GJL) ein spröder, gießbarer Werkstoff ist, der seine größte Stärke bei Druckbelastungen und Schwingungsdämpfung ausspielt.

Der direkte Vergleich zeigt folgende mechanische Richtwerte (jeweils bei Raumtemperatur):

Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit gibt an, bei welcher Zugkraft der Werkstoff reißt. Hier ist der Edelstahl dem Grauguss deutlich überlegen.

- **Edelstahl 1.4571:** 500 bis 700 N/mm²
- **Grauguss (EN-GJL):** 150 bis 400 N/mm² (z.B. EN-GJL-200 bis EN-GJL-300)

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit gibt an, welcher Belastung der Werkstoff bei Stauchung standhält. []

- **Edelstahl 1.4571:** Bei austenitischen Stählen verhält sich die Druckfestigkeit im elastischen Bereich ähnlich wie die Zugfestigkeit (Streckgrenze liegt bei min. 200 N/mm²).
- **Grauguss (EN-GJL):** Hier liegt eine Besonderheit des Materials. Grauguss ist extrem druckfest. Die Druckfestigkeit ist etwa 3- bis 4-mal so hoch wie die Zugfestigkeit und liegt bei ca. **600 bis 960 N/mm²** (je nach Gussklasse).

Mechanisches Verhalten & Eigenschaften im Detail

1. Edelstahl 1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2 / V4A) [\[1\]](#)

- **Verhalten:** Zäh, duktil und dehnbar. Der Edelstahl verformt sich unter extremer Last, anstatt sofort zu brechen (hohe Bruchdehnung).
- **Vorteil:** Hervorragende Beständigkeit gegen Korrosion und Säuren, sehr gut schweißbar.
- **Nachteil:** Schlechter zu zerspanen als Grauguss, teurer in der Anschaffung.

2. Grauguss (EN-GJL / nach alter Norm GG)

- **Verhalten:** Spröde. Die im Material enthaltenen Graphitlamellen wirken wie kleine Kerben. Daher hat der Werkstoff unter Zugspannung eine geringe Festigkeit und kaum Bruchdehnung. [\[1\]](#)
- **Vorteil:** Überragende Druckfestigkeit, sehr gute Dämpfungseigenschaften (ideal für Maschinenbetten, Motorengehäuse) und dank des Graphits exzellente Notlaufeigenschaften sowie einfache Zerspanbarkeit. Zudem ist es ein sehr günstiger Werkstoff.
- **Nachteil:** Empfindlich gegen plötzliche Stoß- und Schlagbelastungen sowie sehr schlechte Schweißeigenschaften.

Sturz- und Aufprallprüfungen.

Die Sturzprüfung (Fallprüfung) wird erneut von der BAM ausgeführt.

Wir sind absolut zuversichtlich das der ELB 03 DE diese besteht.

Die Sturzprüfung (Fallversuch) für die Zulassung von Transportbehältern (Versandstücken) der Klasse 7 (radioaktive Stoffe) richtet sich nach den internationalen Gefahrgutvorschriften (wie ADR/RID Kapitel 6.4). Die Fallhöhe beträgt je nach Versandstücktyp und Masse des Behälters im Regelfall **0,3 bis 9 Meter** auf eine harte, unnachgiebige Prallfläche.

Prüfarten und Fallhöhen

- **Normaler Fall (0,3 bis 1,2 Meter):** Gilt für leichtere Versandstücke (z. B. Industrieverpackungen Typ IP oder Typ A), wobei die Fallhöhe vom Gewicht des Versandstücks abhängt (unter 5.000 kg oft 1,2 Meter).
- **Verstärkter Fallversuch (9 Meter):** Vorgeschrieben für Typ B-Versandstücke (z. B. für hochradioaktive Stoffe), bei dem der Behälter aus 9 Metern Höhe auf eine starre Zielplatte fallen muss.
- **Stab- oder Durchschlagprüfung (1 Meter):** Ein zusätzlicher Fall aus 1 Meter Höhe auf einen senkrechten, starren Stahldorn, um die Festigkeit der Behälterwand zu testen.

Durchführung und Anforderungen

- **Ausrichtung des Musters:** Der Fall wird in der Position simuliert, bei der die größte Beschädigung oder der Verlust der Abschirmung zu erwarten ist.
- **Zuständige Stelle:** In Deutschland prüft und erteilt die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) oder das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) die Bauartzulassungen.

Thermische Analyse / Prüfung :

Verhalten bei extremen Umgebungstemperaturen sowie beim standardisierten + 800°C Feuertest über 30 min.

1. Hier ist der Transport- und Endlager-Behälter allein zu prüfen.

Der Edelstahl 1.4571 ist hochtemperaturfest und besteht diese Prüfung. 2. Es ist aber auch das Gebinde mit Hülle zu prüfen, das Blei schmilzt auf, aber verzögert natürlich den Wärmeeintrag.

Dichtheits- und Einschluss-Prüfung :

Nachweis, dass keine unzulässigen Mengen an radioaktiven Stoffen freigesetzt werden.

Das dickwandige, doppelwandige Gebinde wird gar keine radioaktiven Stoffe freisetzen. Wir gehen davon aus, dass keine Prüfmaschine (z. B. Hydraulische Presse) der BAM in der Lage sein wird, den Behälter oder das Gebinde bis zu einer Freisetzung zu zerstören.

Abschirmungs-Analyse (Dosis-Leistungen) :

Die Berechnungen weisen auf eine 99,3 % tige Absorption von Alpha, Beta und Gamma-Strahlung hin - der Grenzwert der IAEA beträgt 10 mSv/h an der Oberfläche und 0,1 mSv/h in einem Meter Entfernung - ob diese Grenzwerte vom Gebinde eingehalten werden kann nur eine Behälter-Befüllung mit anschliessender radiologischer Messung zeigen.

Welche elektromagnetische Strahlung geht von 1 kg spent fuel aus, das 10 Jahre aus dem Reaktor ist ?

Nach 10 Jahren Abklingzeit wird die elektromagnetische Strahlung von 1

kg hochradioaktivem Kernbrennstoff (*spent fuel*) fast vollständig von

Gammastrahlung (hochenergetische Photonen) dominiert. Die

Intensität ist extrem hoch; die Strahlendosis in unmittelbarer Nähe wäre
i
n kurzer Zeit tödlich.

Ursachen und Eigenschaften der Strahlung

Nach 10 Jahren sind die kurzlebigeren Spaltprodukte weitgehend zerfallen. Das Spektrum und die Intensität der verbleibenden Gammastrahlung werden nun durch bestimmte mittelschwere Zerfallsprodukte und Transurane dominiert.

- **Hauptverursacher der Gammastrahlung:**
 - **Cäsium-134** und **Cäsium-137**
 - **Europium-154**
 - **Americium-241**
- **Energiespektrum:** Die emittierten Gamma-Quanten bewegen sich typischerweise in einem Energiebereich von ca. 0,6 MeV bis zu etwa 2,0 MeV.
- **Wärmestrahlung:** Zusätzlich zur ionisierenden Gammastrahlung gibt das abgebrannte Material noch eine erhebliche Menge an **Infrarotstrahlung (Wärme)** ab, da die radioaktiven Zerfälle Energie in Form von Wärme freisetzen. Von einem Kilogramm spent fuel gehen nach 10 Jahren noch etwa 1 bis 2 Watt an Nachzerfallswärme aus.
- **(Dr. Herres rechnete auf Vorschlag in Goebel immer mit 4,31 Watt)**

Die berechneten Thermodynamischen Nachweise sind also nach der Endlager-Gebinde-Messung erneut zu überarbeiten.

Dosisleistung

Die Gammastrahlen-Dosisleistung von abgebrannten Brennelementen ist enorm. Befindet sich 1 kg dieses Materials nach 10 Jahren un-
abgeschirmt an der Luft, baut sich in unmittelbarer Nähe eine
Dosisleistung von mehreren Sievert pro Stunde auf. Zum Vergleich:
Eine einmalige Dosis von ca. 5 Sievert gilt für den Menschen als tödlich.

Andere Strahlungsarten (Teilchenstrahlung)

Obwohl Gammastrahlung die einzige nennenswerte
elektromagnetische Strahlung ist, gibt das Material physikalisch
bedingt auch Teilchenstrahlung ab:

- **Betastrahlung:** Hochenergetische Elektronen (entstehen beim Betazerfall der Spaltprodukte).
- **Alphastrahlung:** Heliumkerne (werden hauptsächlich von den Transuranen wie Plutonium und Americium emittiert).

Gebinde-Abschirmung durch Edelstahl 20 mm und Blei 35 mm

Eine Kombination aus **20 mm Edelstahl** und **35 mm Blei** reduziert die Intensität der dominanten Gammastrahlung ^{137}Cs mit 0,662MeV auf ca. **0,4 % bis 1 %** des ursprünglichen Wertes (Schwächungsfaktor von rund 100 bis 250).

Diese Abschirmung ist sehr wirksam, reicht jedoch bei 1 kg hoch-radioaktivem abgebrannten Kernbrennstoff (*spent fuel*) nach 10 Jahren noch nicht aus, um die Strahlung auf ein für Menschen völlig sicheres Niveau zu senken.

1. Schwächung durch die einzelnen Schichten

Die Berechnung basiert auf dem exponentiellen Schwächungsgesetz für die Hauptenergiekomponente von 0,662 MeV :

- **20 mm Edelstahl (Dichte 7,8 g/cm³) :**
 - Der lineare Schwächungs-Koeffizient m⁻¹ beträgt etwa 0,57 cm⁻¹.
 - Die Transmission liegt bei e 0,32.
 - **Ergebnis:** Edelstahl reduziert die Strahlung auf etwa **32 %**.
-
- **35 mm Blei (Dichte 11,35 g/cm³):**
 - Der lineare Schwächungs-Koeffizient m⁻¹ beträgt etwa 1,24 cm⁻¹
 - Die Transmission liegt bei e 0,13.
 - **Ergebnis:** Blei reduziert die verbleibende Strahlung auf etwa **1,3 %**

2. Gesamteffekt und der „Buildup-Effekt“

Kombiniert man beide Schichten, ergibt sich rein rechnerisch eine Verringerung auf:

$$0,32 \times 0,013 = 0,00416 > 0,42 \%$$

In der Realität kommt es in den dicken Abschirmmaterialien jedoch zur Compton-Streuung. Dadurch entstehen sekundäre Gamma-Quanten, die die Dosisleistung hinter dem Schild wieder leicht erhöhen (sogenannter **Buildup-Faktor**). Unter Berücksichtigung dieses Effekts kommt am Ende noch etwa **0,8 % bis 1 %** der Strahlung durch.

3. Auswirkung auf die Dosisleistung

- **Ohne Abschirmung:** Unmittelbar an 1 kg ungeschirmtem *spent fuel* (10 Jahre alt) herrscht eine lebensgefährliche Dosisleistung von geschätzt mehreren hundert Millisievert bis einigen Sievert pro Stunde.
- **Mit dieser Abschirmung (55 mm Gesamtstärke):** Die Dosisleistung sinkt um das Hundert- bis Zweihundertfache. Sie liegt danach im Bereich von einigen Millisievert pro Stunde

Fazit und Anwendung

Die Gesamt-Abschirmungs-Leistung den betrachteten Endlager-Gebindes liegt bei ca. 99,3 %

Kritikalitäts-Sicherheit :

Die wesentliche Eigenschaft des 1 kg Inventar Behälters / Gebindes ist, dass es gar nicht möglich ist eine kritische Masse einzufüllen. Der Kritikalitäts-Test gilt damit schon jetzt als erfolgreich bestanden.

Teil 3: Betrieb, Wartung und Managementsystem

Betriebs-Vorschriften

Handlungsanweisungen für das sichere Beladen, Verschließen, Prüfen und Entladen des Transport- und Endlager Behälters und den Gesamt-Gebindes mit Blei-Strahlenschutz-Hülle.

Die Befüllung von Behälter-Prototypen ist nur in heissen Zellen von Fachbetrieben der Nuklear-Branche unter Aufwand möglich.

Das WIG Zuschweissen hat mit einer sogenannten Orbital-Zange zu erfolgen, und muss vorher an Behälter-Dummys geübt werden. Das einlegen des befüllten Behälters hat mit Distanz-Handling Zangen zu erfolgen.

Die Gross-Serien-Behälter-Befüllung macht eine Robotic-Remote Fertigungs-Linie in einer grossen Heissen Zelle notwendig - darin ist eine erhebliche technische und finanzielle Herausforderung zu sehen. - ELB 03 DE

Auch das Einlegen des Endlager-Behälters in die Strahlenschutz-Hülle aus Blei macht eine Robotic Remote Fertigungs-Linie notwendig. - Auch darin ist eine erhebliche technische und finanzielle Herausforderung zu sehen. ELB 03 DE in PTH 04 DE

Das komplett befüllte Endlager-Gebinde ist immer noch Robotic Remote in die Transport-Kiste PTK 01 zu stellen. - Auch die Auslegung im Endlager hat Robotic Remote aus der Distanz zu erfolgen.

Das Endlager-Gebinde hat immerhin einen 99,3 % Strahlenschutz. Von allen bisher international bekannten Versuchen Endlager-Behälter zu definieren ist bisher noch gar kein Strahlenschutz für die Mitarbeiter im Endlager zu erkennen.

Instandhaltungs-und Qualitäts-Sicherungs-Programm :

Riss-Prüfung aller Endlager-Behälter VOR der Befüllung notwendig. Farb-Eindring-Verfahren, Ultraschall-Prüfung, Röntgen-Prüfung sind auf Ihre Anwendbarkeit bei so dickwandigen Behältern zu testen.

Weder Behälter noch Strahlenschutz-Hülle enthalten Dichtungen, gleichwohl sind Dichtflächen im Behälter 2x und in der Strahlenschutzhülle 1x schon konstruktiv ausgebildet.

Behälter und Hüllen enthalten gar keine Verschleiss-Teile.

Jeder Behälter und jede Hülle hat eine fortlaufende Nummer die bereits ab Hersteller mit Lasern eingraviert wird.

Das hier ist der noch ungeprüfte Roh-Zulassungs-Antrag mit Umgangs-Hinweisen der Konstrukteure von ELB in PTH - Verfasser : Ing. Goebel



Hagen, 25.07.2026 - öffentliche Auslegung erfolgt auf ing-goebel.de



Bild 6 - Foto ELB 03 DE mit seinem Vorgänger-Model ELB 02 DE

Dicker darf der Behälter nicht werden, sonst passt er nicht mehr in die Lager-Rohre oder Lager-Bohrungen ! - Der einzige Weg zu noch mehr Strahlenschutz ist die Reduzierung der Befüll-Menge.