



Der Rückbau von Forschungsreaktoren am PSI

Sophie Harzmann

Gemeinsames Seminar der Eidgenössischen Kommissionen
für Strahlenschutz und Nukleare Sicherheit

Bern, 28.03.2025

- Behandlung radioaktiver Abfälle
- Übersicht der ehemaligen Forschungsreaktoren am PSI
- Radioaktive Abfälle des Saphirs und Diorits
- Abfallminimierung Proteus Forschungsreaktor
- Zusammenfassung

Behandlung radioaktiver Abfälle

- **Entsorgungspflicht:** Für alle Abfälle, die nicht an Umwelt abgegeben oder die nicht einer Abklinglagerung zugeführt werden können. Art. 51 KEV
 - **Entsorgungsgebot in Schweiz:** In Schweiz anfallende radioaktiven Abfälle müssen grundsätzlich im Inland entsorgt werden (Ausfuhr ist Ausnahme) Art. 25 StSG
 - **Minimierungsgebot:** Mit radioaktiven Stoffen ist so umzugehen, dass möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen. Art. 25 StSG, Art. 50 KEV
-
- **Sicherheit:** Je mehr Abfälle, desto höher das Sicherheitsrisiko bei Behandlung und Lagerung
 - **Ökologie:** Mit steigendem Abfallvolumen erhöht sich potenzielle Belastung der Umwelt
 - **Ethik:** Höhere Abfallvolumina bedeuten höhere Lasten für zukünftige Generationen
 - **Wirtschaftlichkeit:** Behandlung, Zwischenlagerung und Tiefenlagerung erzeugen hohe Kosten (Bsp. Betoncontainer à 4.5 m³: ca. 700'000 – 1 Mio. CHF)

- **Konditionierung:** Gesamtheit der Operationen zur Vorbereitung radioaktiver Abfälle für Zwischen- und Tiefenlagerung, um lagerfähigen, chemisch stabilen Zustand zu erreichen:
 - mechanische Zerkleinerung (bessere Packungsdichte)
 - Dekontamination (Trennung inaktiver und aktiver Abfallbestandteile)
 - Verpressung (Abfallvolumenminimierung)
 - Verbrennung (Abfallvolumenminimierung)
 - Einbettung in Abfallmatrizen (verbesserte Sicherheit bei Lagerung und Transport)
 - Verpackung



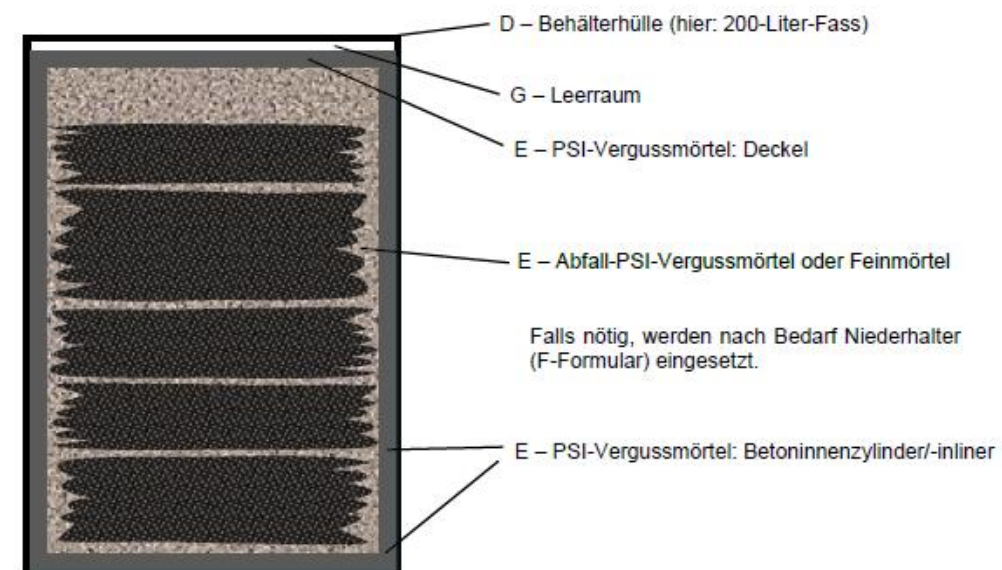
Dekontamination



Mechanische Bearbeitung und Triage



Verpressen



Konditionierung – Verfüllung mit Mörtel



Mörtel

Abfälle
(Schrott,
Betonschutt)



Deckelpresse



Betoncontainer (KC-T12)



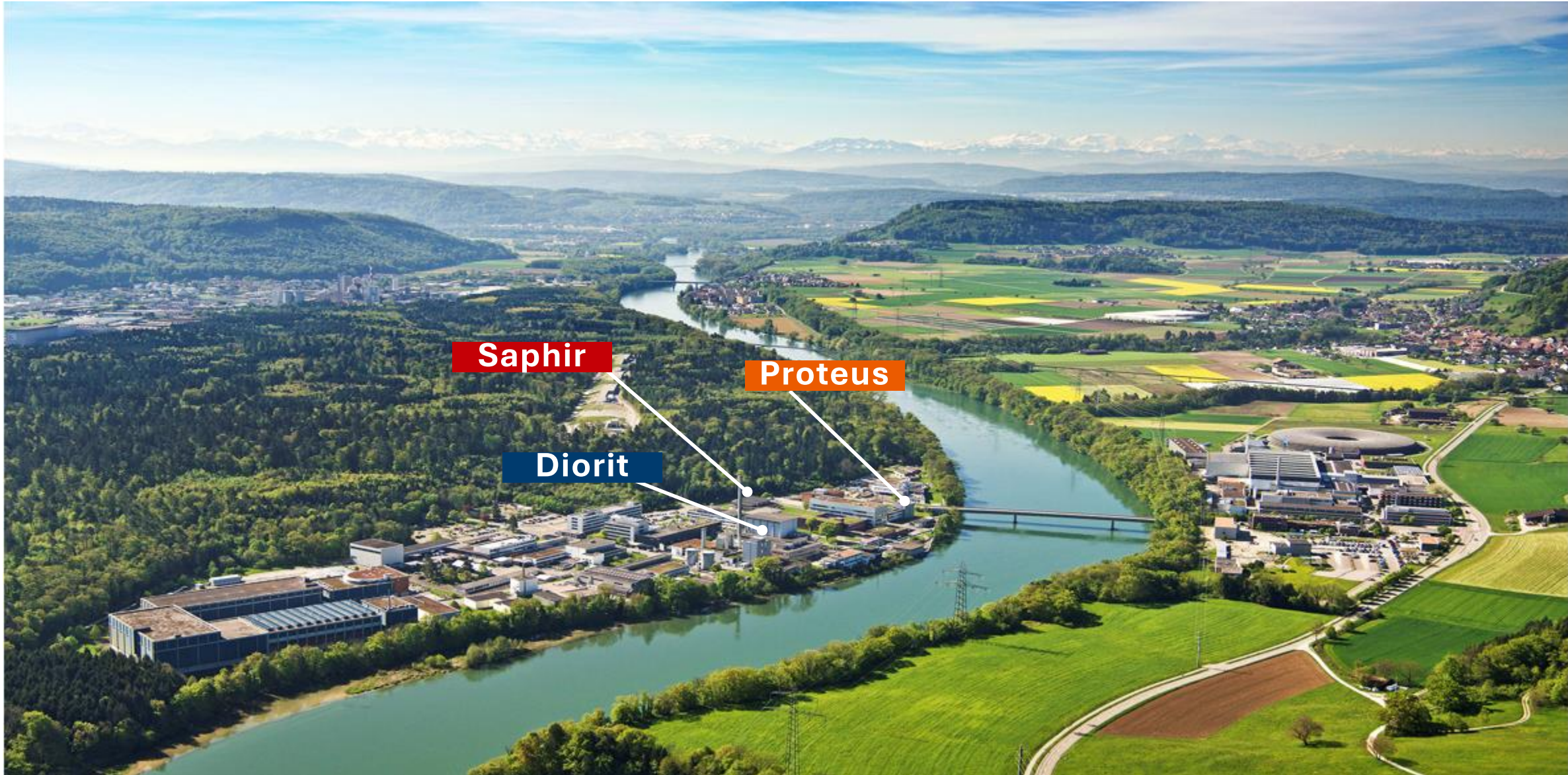
Verdeckeln




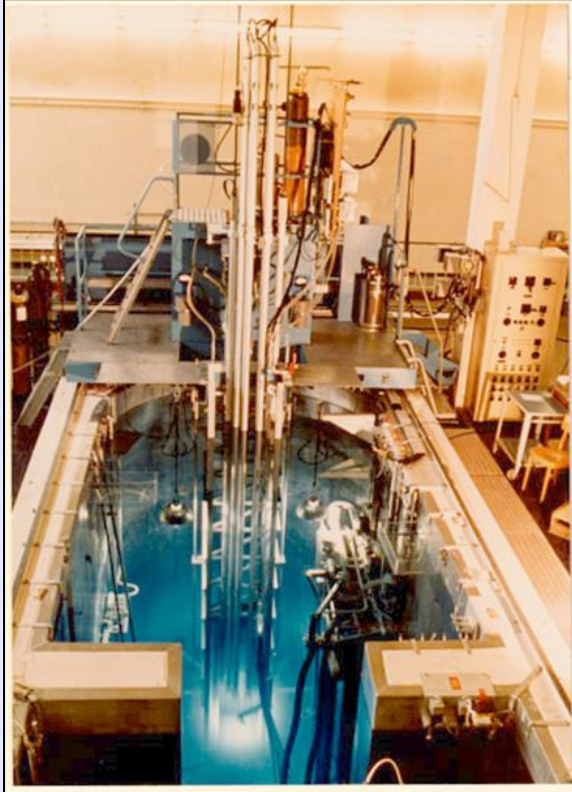
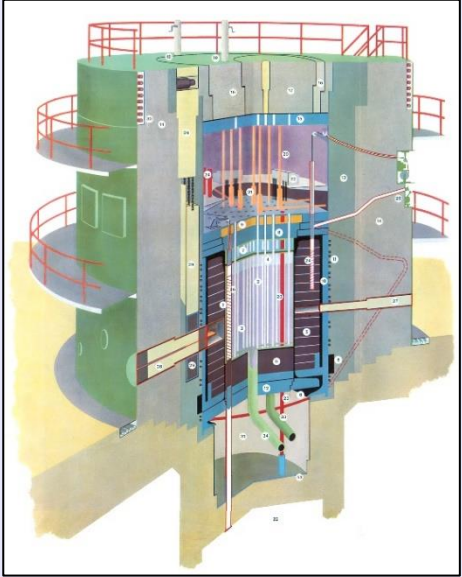

Aushärten

Übersicht der ehemaligen Forschungsreaktoren am PSI




Übersicht der ehemaligen Forschungsreaktoren am PSI



Ehemalige Forschungsreaktoren am PSI

	Proteus	Saphir	Diorit
Laufzeit	1968-2011	1957-1993	1960-1977
			<div></div>

Ehemalige Forschungsreaktoren am PSI

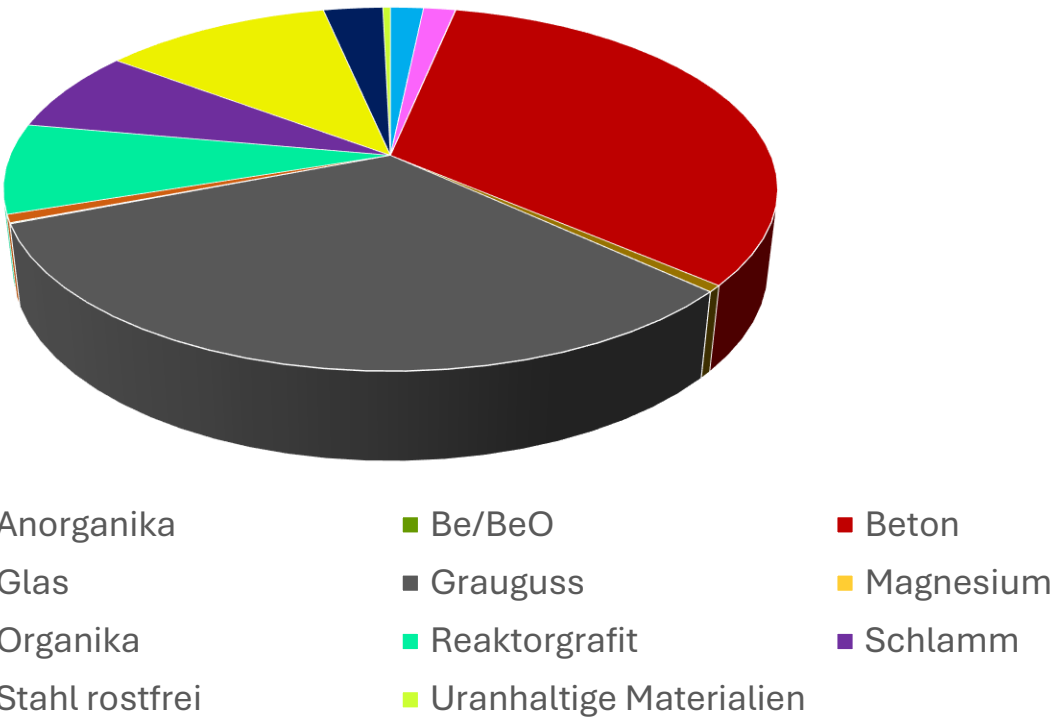
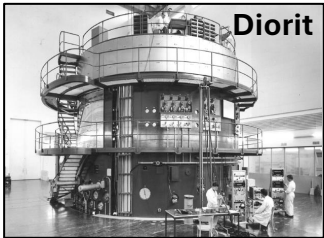
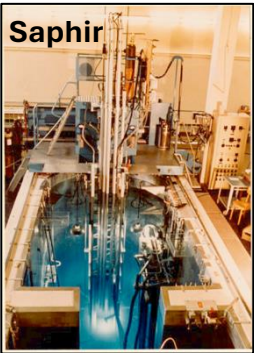
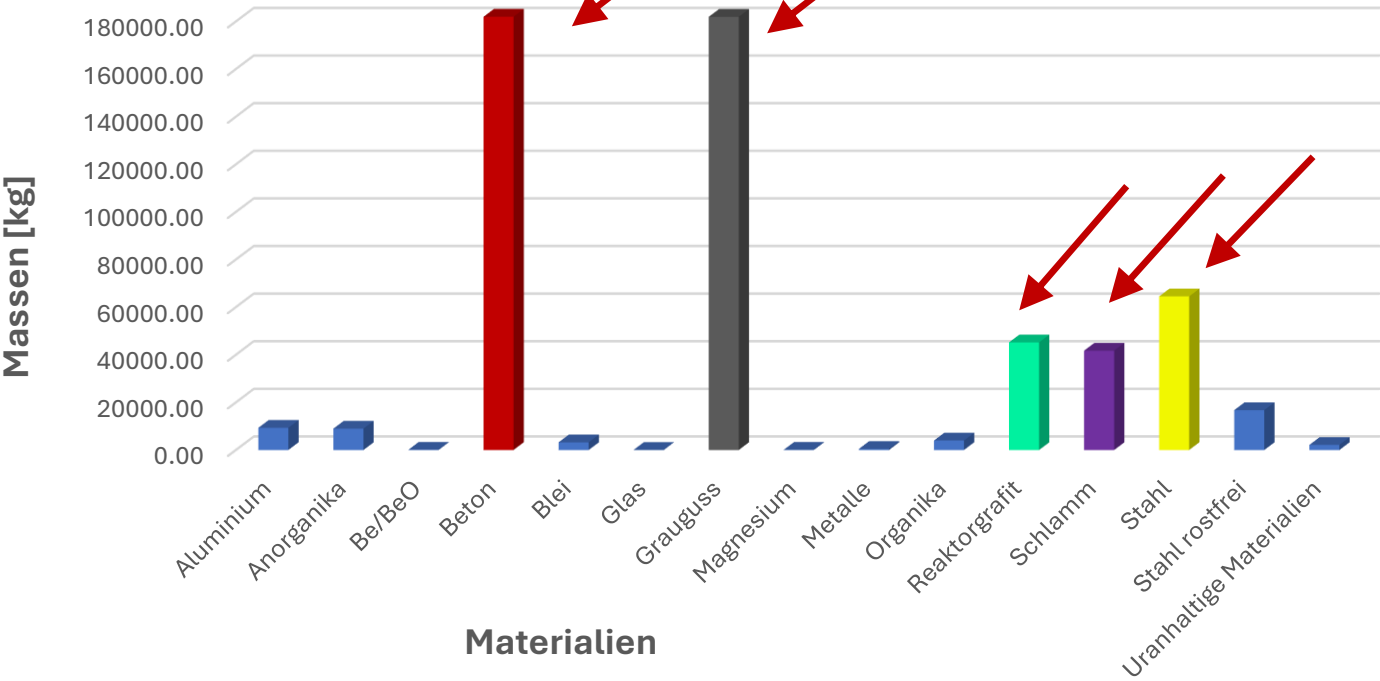
	Proteus	Saphir	Diorit
Laufzeit	1968-2011	1957-1993	1960-1977
Typ	Nullleistungsreaktor	Leichtwasserreaktor	Schwerwasserreaktor
Leistung	1 kW	1-10 MW	20 MW - 30 MW (ab 1972)
Genehmigung Stilllegung	2017	2000	1994
Beginn Rückbau	2018	2002	1996
Aktueller Status	Gebäudefreimessung ausstehend	Gebäudefreimessung fast abgeschlossen	Demontagearbeiten (aktivierte Betonstruktur) ausstehend
			

Radioaktive Abfälle des Saphirs und Diorits

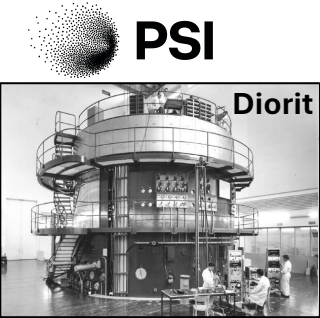
Radioaktive Abfälle des Saphirs und Diorits



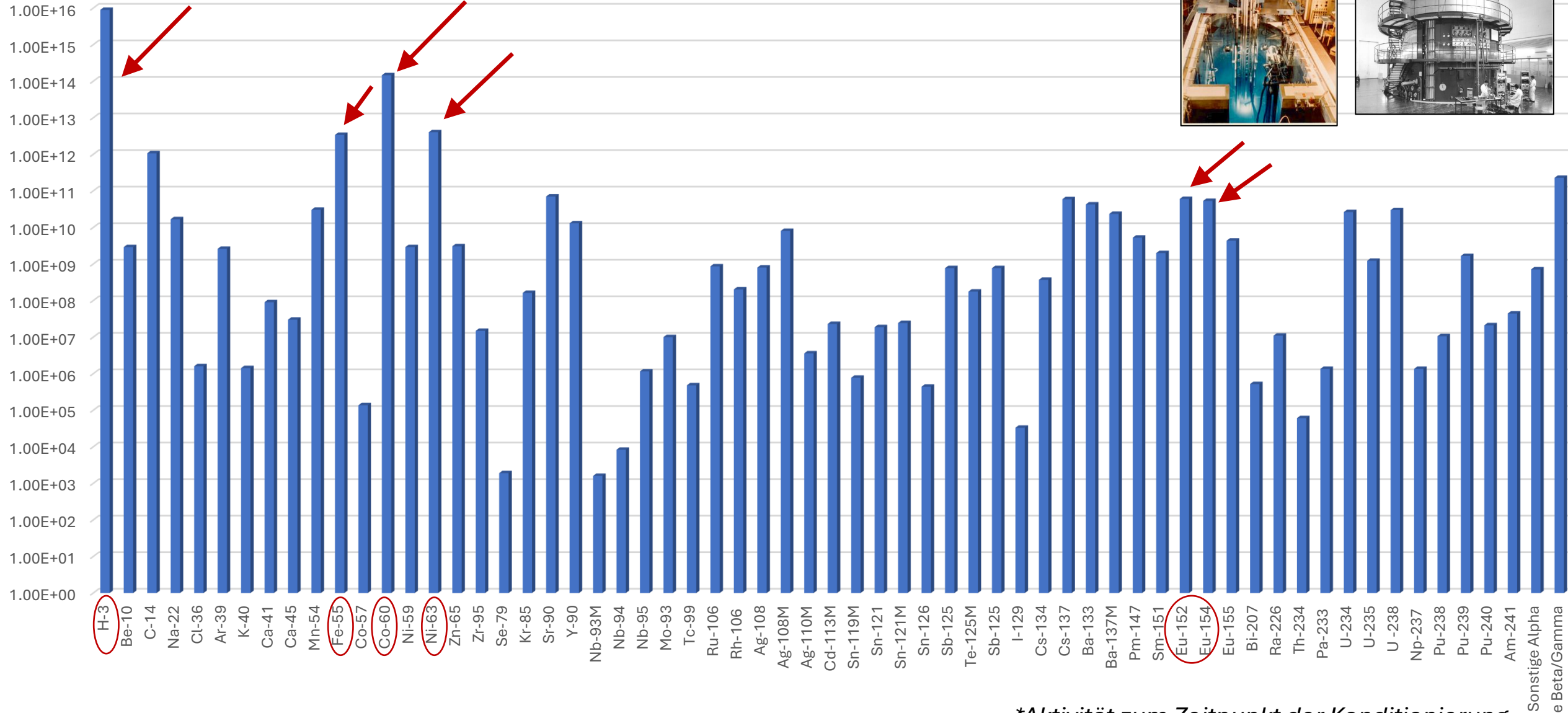
Abfälle Saphir und Diorit



Nuklidinventar radioaktive Abfälle Saphir und Diorit



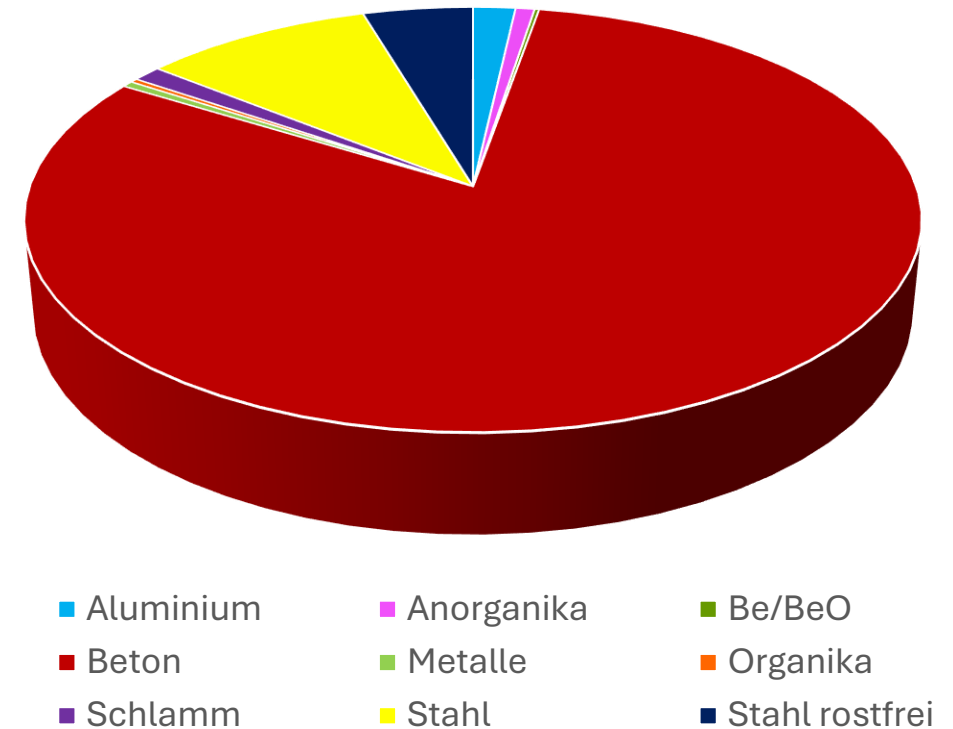
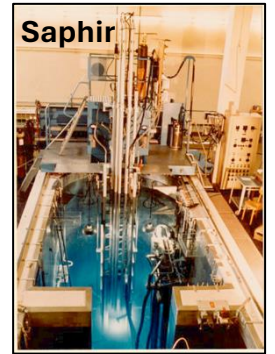
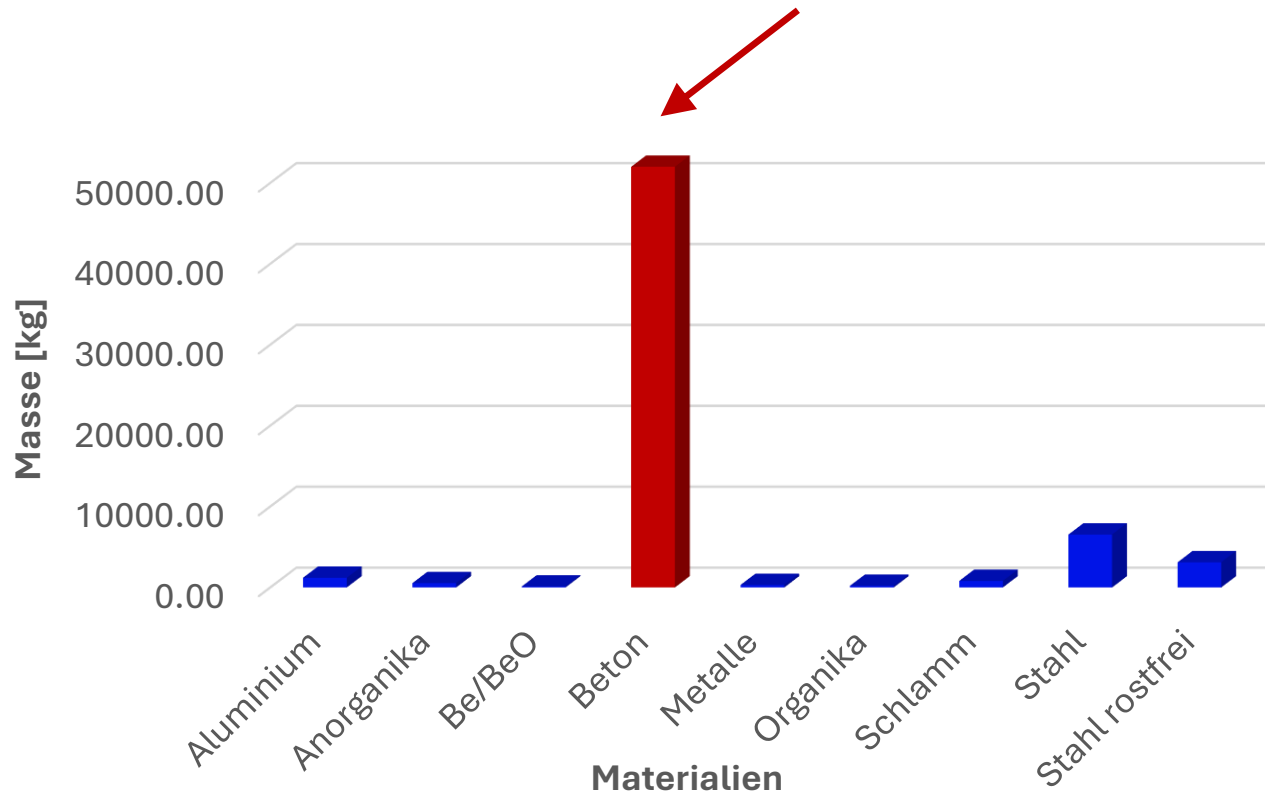
Aktivität* [Bq]



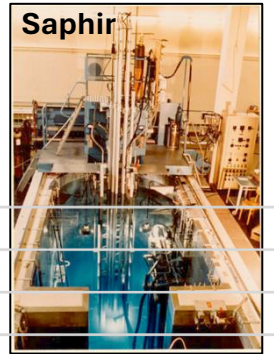
*Aktivität zum Zeitpunkt der Konditionierung

Radioaktive Abfälle des Forschungsreaktors Saphir

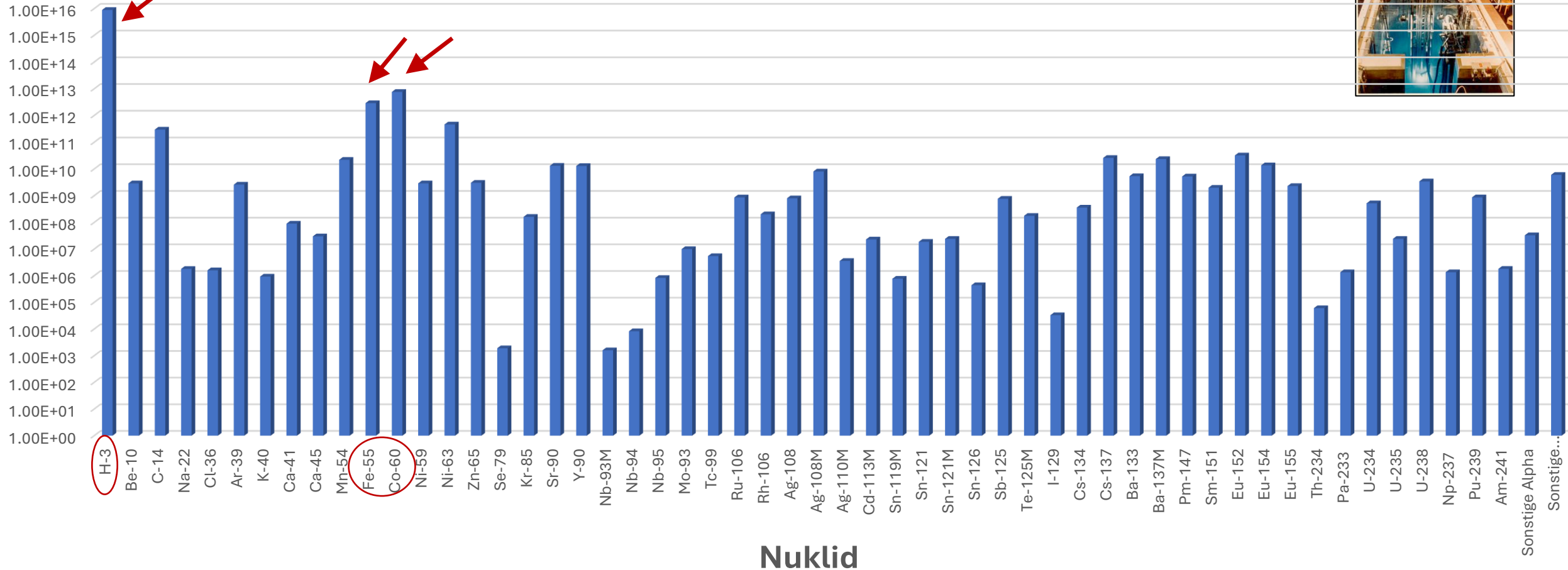
- Insgesamt ca. 68 t Abfall aus dem Saphir, davon ca. 3 t abklingbar (4.5%)



Nuklidinventar der radioaktiven Abfälle des Saphirs

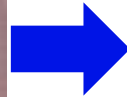
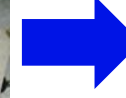
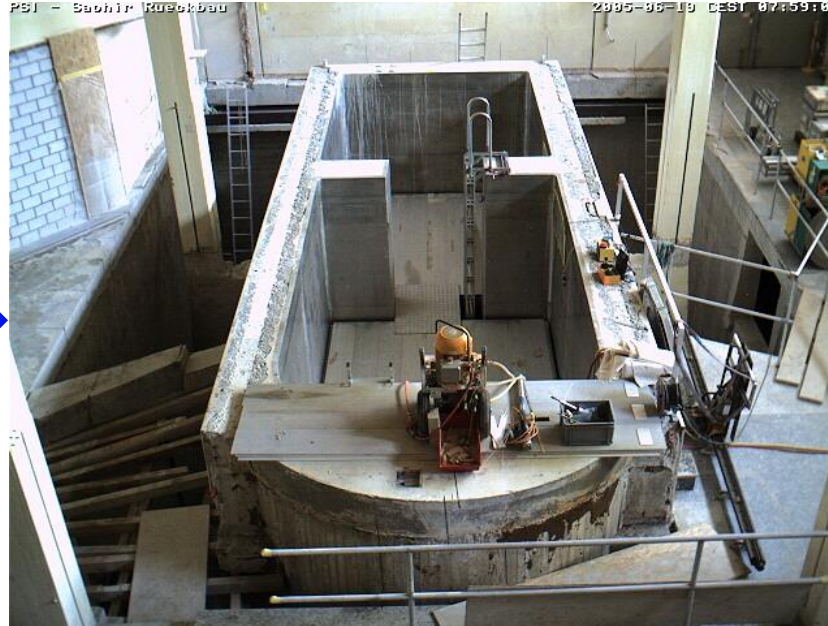
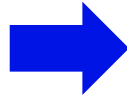
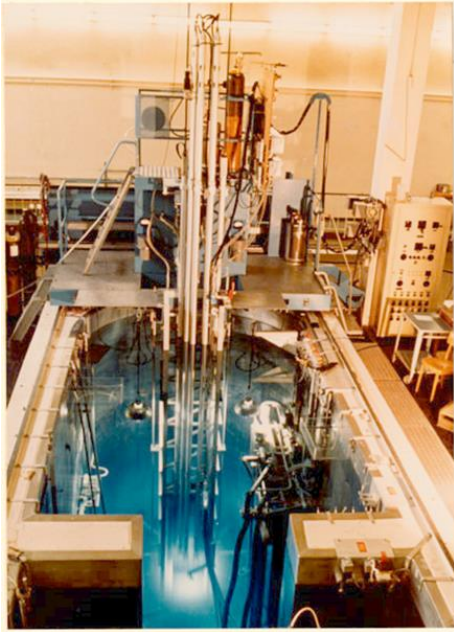


Aktivität*[Bq]



*Aktivität zum Zeitpunkt der Konditionierung

Betonabfälle aus dem Saphir

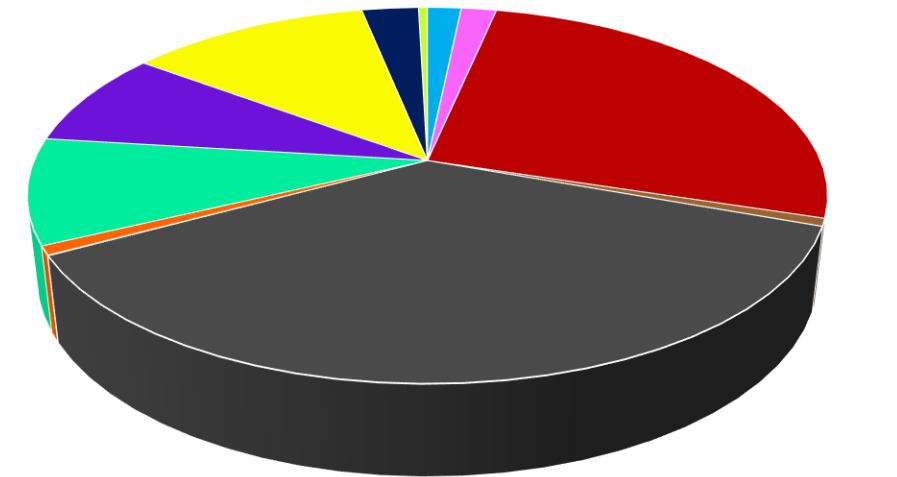
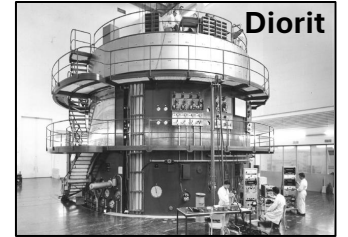
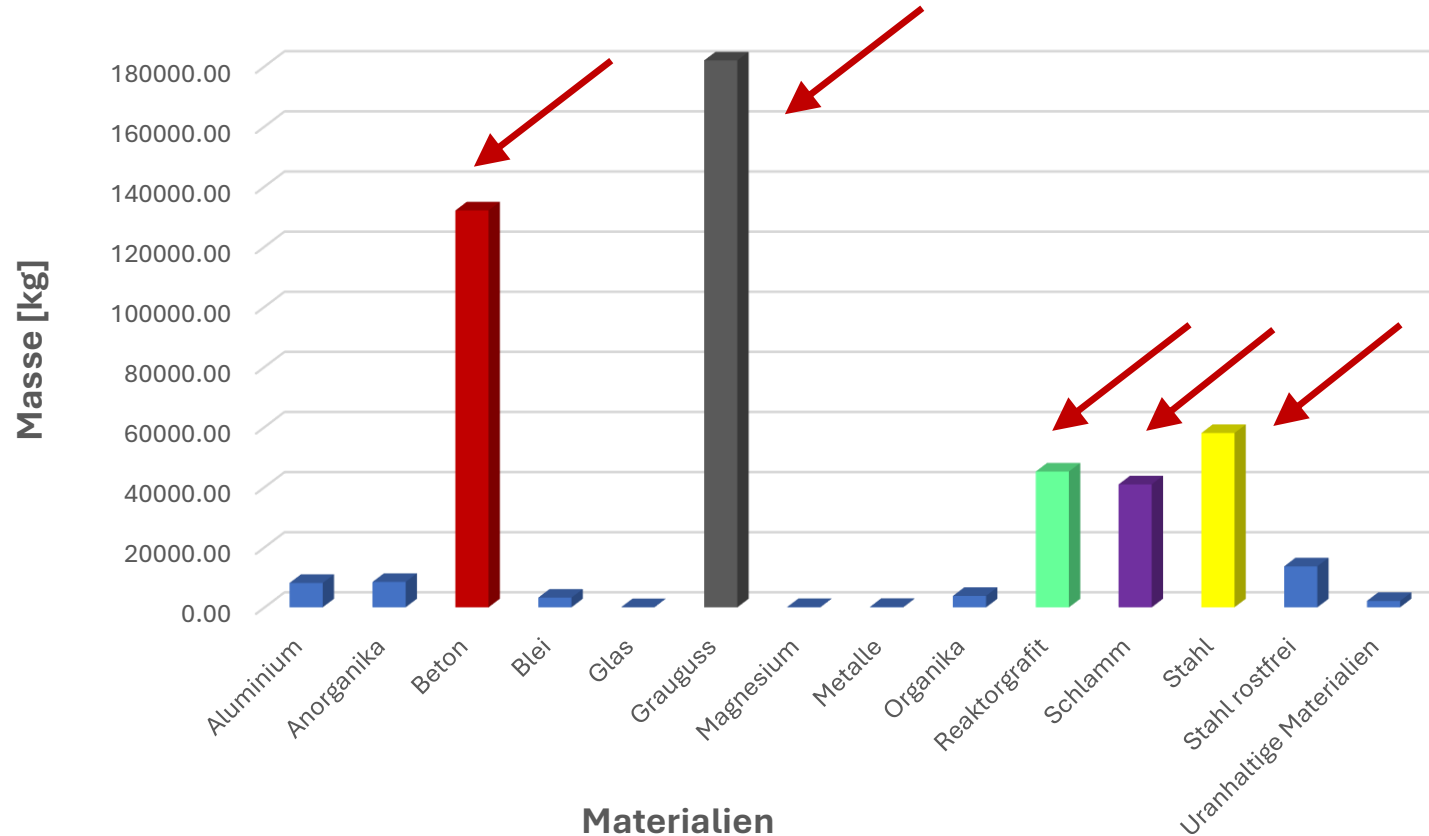


Hauptnuklide der Abfälle in KC-T12
konditioniert:

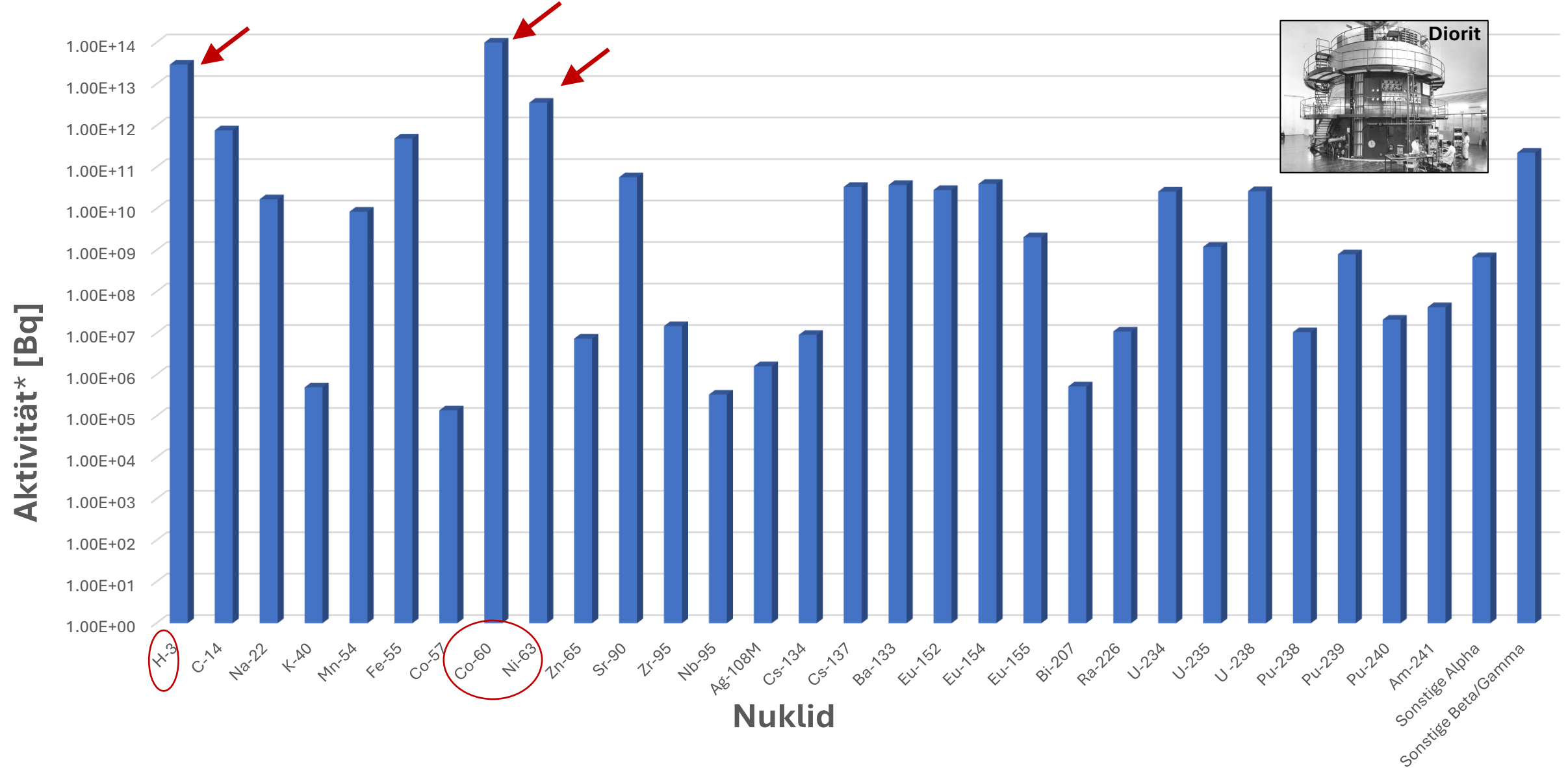
H-3, C-14, Eu-152, Eu-154, Ba-133,
Co-60

Radioaktive Abfälle des Forschungsreaktors Diorit

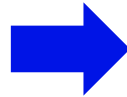
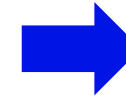
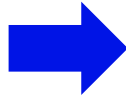
- Insgesamt ca. 570 t Abfall aus dem Diorit, davon ca. 102 t abklingbar (18%)



Nuklidinventar der radioaktiven Abfälle des Diorits



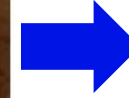
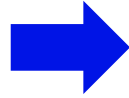
Betonabfälle aus dem Diorit



Hauptnuklide der Abfälle in KC-T12
konditioniert:

H-3, C-14, Eu-154, Eu-152, Co-60,
Ba-133

Schneidschlamm aus dem Diorit



- KC-T12 Container Stahlguss (7120 kg) vergossen mit Schneidschlamm-Mörtel-Matrix (2946 kg)
- Hauptnuklide der Abfälle in KC-T12 konditioniert: Co-60, Ni-63, Fe-55, Cs-137

Grauguss aus dem Diorit

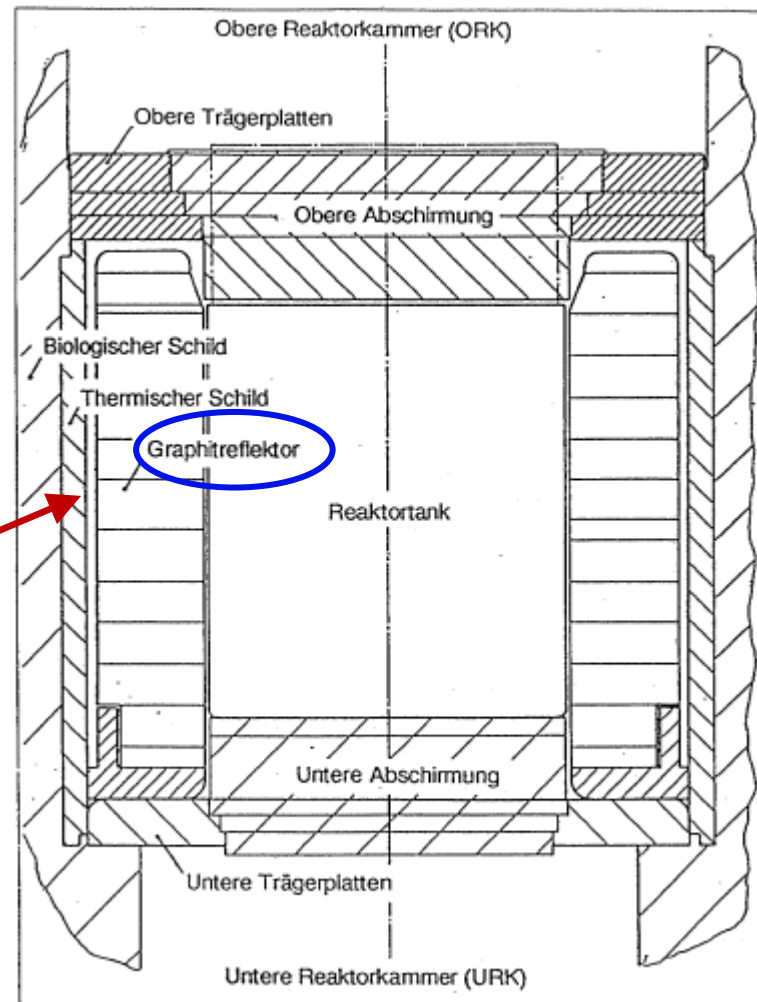


Bild 3: Vereinfachte Darstellung des Diorit 2



Hauptnuklide der Abfälle in
KC-T12 konditioniert:

Co-60, Ni-63, Fe-55, Cs-137

Reaktorgraphit aus dem Diorit

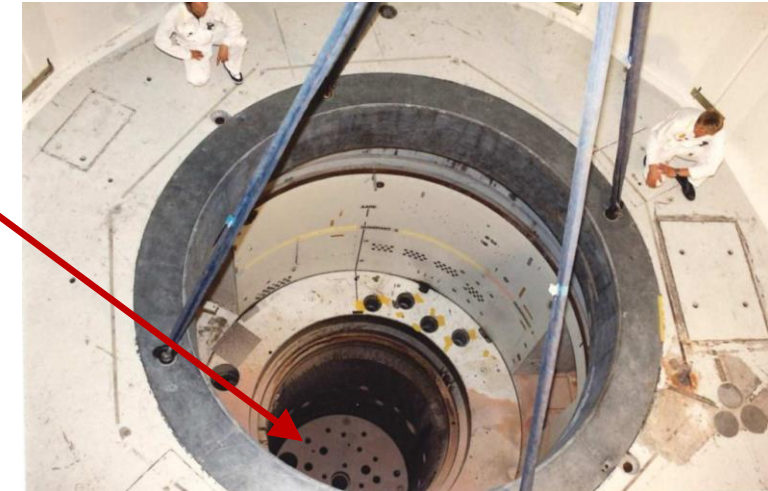
- Graphit: Moderator und Reflektor für Neutronen
→ Aktivierter Graphit aus dem Diorit (ca. 41 t) zum Konditionieren

Vorgehen Konditionierung:

- Befüllen von Betoncontainern (4.5 m³, Nutzvolumen: 2.75 m³) mit zu konditionierendem Material
- Verfüllen der (restlichen) Zwischenräume mit inaktivem Mörtel
- Nach Aushärtung: Verdeckelung und Einlagerung im Bundeszwischenlager

→ Grosse Mengen an Inaktivmörtel

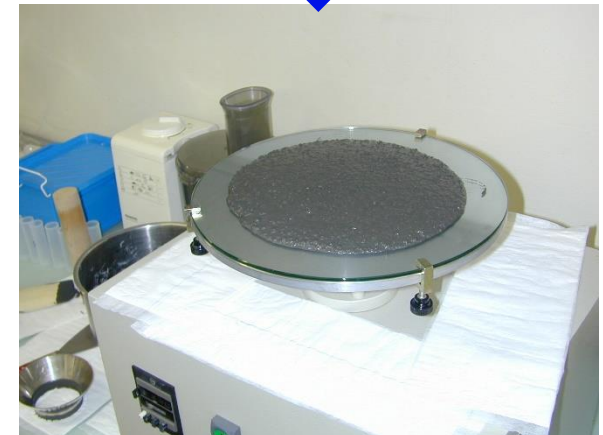
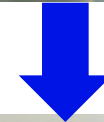
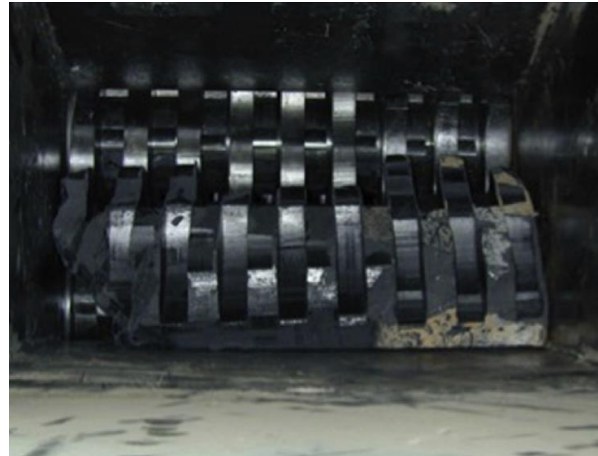
→ **Abfallminimierung**: Anpassung der Mörtelrezeptur: Inaktiver Sand wurde durch aktiviertes Graphit ersetzt (Anteil: ca. 50 %)



Nuklid	Aktivität [Bq/g]
H-3	9.9×10^5
C-14	2.6×10^4
Co-60	7.0×10^2
Eu-152	8.0×10^2
Eu-154	1.2×10^3
Cl-36	$2.2 \times 10^1 - 4.1 \times 10^3$

Reaktorgraphit aus dem Diorit

- ✓ Zerkleinerung des Graphits auf Korngrösse von 5 mm
- ✓ Produktkontrolle gemäss HSK B05 (Vorgänger ENSI-B05 «Konditionierung radioaktiver Abfälle») erfüllt





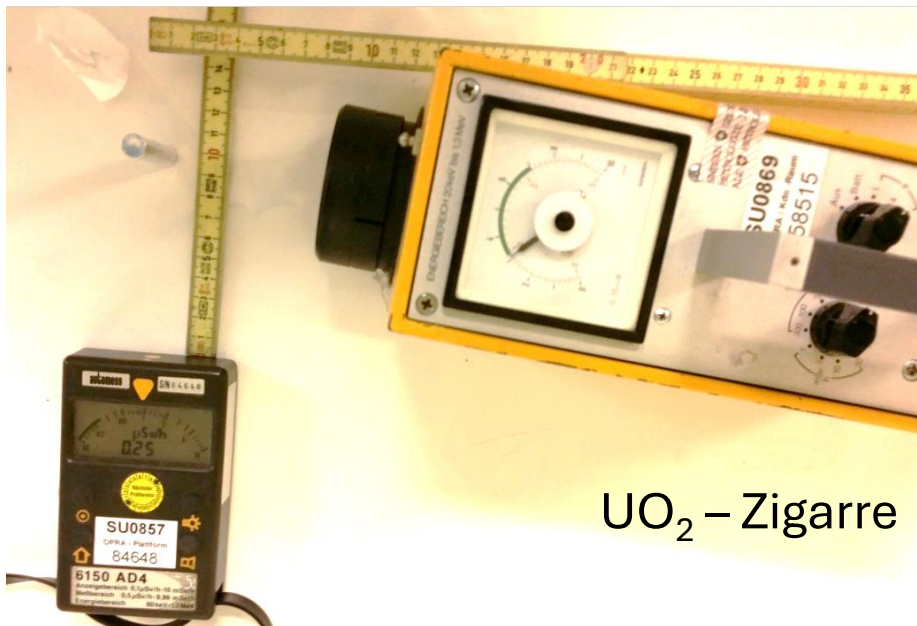
- Gesamthaft konnten ca. **41 t Graphit** konditioniert werden
 - Durchschnittlicher Graphitanteil pro Container: ca. 1 t (0.34 t – 1.30 t)
- Wenn Graphit konventionell konditioniert worden wäre: ca. **58.5 m³ Abfall** wäre **zusätzlich** entstanden

Abfallminimierung Proteus Forschungsreaktor

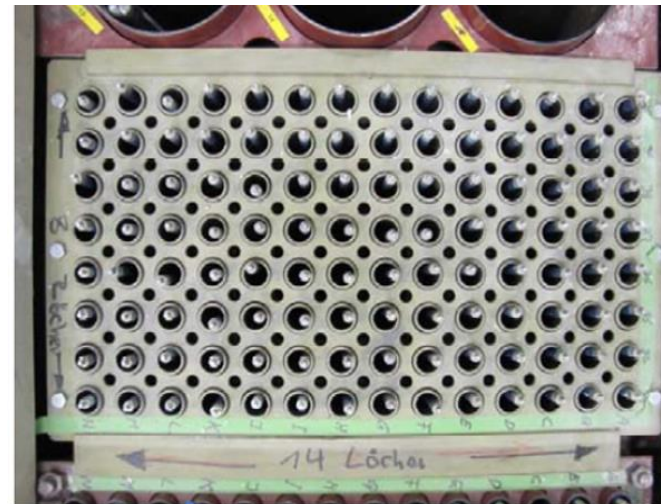
Proteus-Treiberbrennstoff

Treiberstäbe:

- 5% angereicherte UO_2 -Pellets
- Brennstoff-Zigarre: Je 6 Pellets mit einer dünnen Aluminiumfolie umhüllt (d = 10.5 mm; l = 61 mm)
- Treiberstab: Je 15 Brennstoff-Zigarren (l = 1026 mm)
- Gesamtmasse an UO_2 = 384 kg = 8128 Zigarren



UO_2 – Zigarre



Treiberstäbe (ca. 0.4 t angereichertes Uran)



Gesamtansicht des Lagers; gemessen 70 $\mu\text{Sv/h}$

Entsorgung am PSI:

- Potenzieller bestehender Entsorgungspfad im 200-l-Fass («Typ-Uran»)
 - Einhaltung Transportfähigkeit als Typ-A zwingend
 - Entsorgung von maximal 36.8 Zigarren (= **1.7 kg**) pro Fass möglich → **221 Fässer**
- **Recycling im Ausland** angestrebt («peaceful use»)

Zusammenfassung

- Radioaktive Abfälle der ehemaligen Forschungsreaktoren hauptsächlich aus **Saphir und Diorit**:
 - **Volumina** unterschiedlich: Saphir (ca. 68 t) vs. Diorit (ca. 570 t)
 - **Zusammensetzung** unterschiedlich: Saphir (Beton) vs. Diorit (Beton, Grauguss, Stahl, Schlamm, Reaktorgraphit)
- Wege zur **Abfallminimierung**:
 - Verwendung von aktiviertem Graphit für die Mörtelrezeptur
 - Recycling des Treiberbrennstoffes im Ausland («peaceful use»).

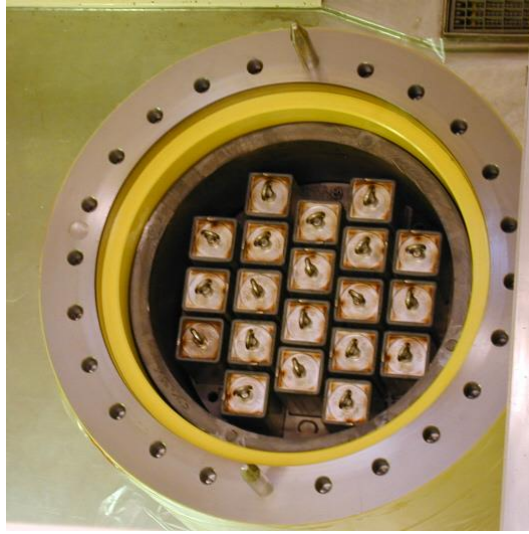
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Der vorliegende Vortrag entstand mit Beiträgen von E. Hartmann, A. Krepelova, B. Cvetkovic, C. Fichtner, A. Kramer

Fotos - Saphir

MosaikBehälter mit
Be/BeO-Reflektorelementen



Container X-00576
5130 kg Barybeton

