



Radioaktive Abfälle aus dem Betrieb eines KKW

KSR-Seminar 2025

Dr. Beat Bitterli

28. März 2025

EDMS: 894357

Inhaltsverzeichnis



01

Herkunft

02

Brennelemente

03

Wasserreinigung / Abwasser

04

Verbrennbare / Schmelzbare Abfälle

05

Aktivierete Metalle

06

Zusammenfassung / Fazit

Zielsetzung



**Betriebliche
Abfallmengen
sind klein**

**Kollektiv-Dosis
aus
Abfallbehandlung
ist niedrig**

**Etablierte
Verfahren für alle
Abfälle**

Herkunft der radioaktiven Stoffe

Spaltprodukte

Uran-Spaltung

- 1 Kern Uran-235 190 MeV nutzbare therm. Energie
- KKG: 3002 MW thermische Energie
ca. $1E20$ Spaltungen pro Sekunde
-> 0.038 g/s U-235 -> **1 t/a U-235**
-> 5% im Brennstoff -> 20 t/a Uran

Abfall pro Jahr

- **1 t/a Spaltprodukte** verteilt auf 36 Brennelemente (BE)
z.B. Cs-137, I-131, Xe-133, ...
-> **1.1 Lager-Behälter pro Jahr**
früher: Wiederaufarbeitung -> verglaste Abfälle
-> *weniger Abfall, Recycling von U-238, Pu-239*
-> *heute: verboten*



Herkunft der radioaktiven Stoffe

Aktivierungsprodukte

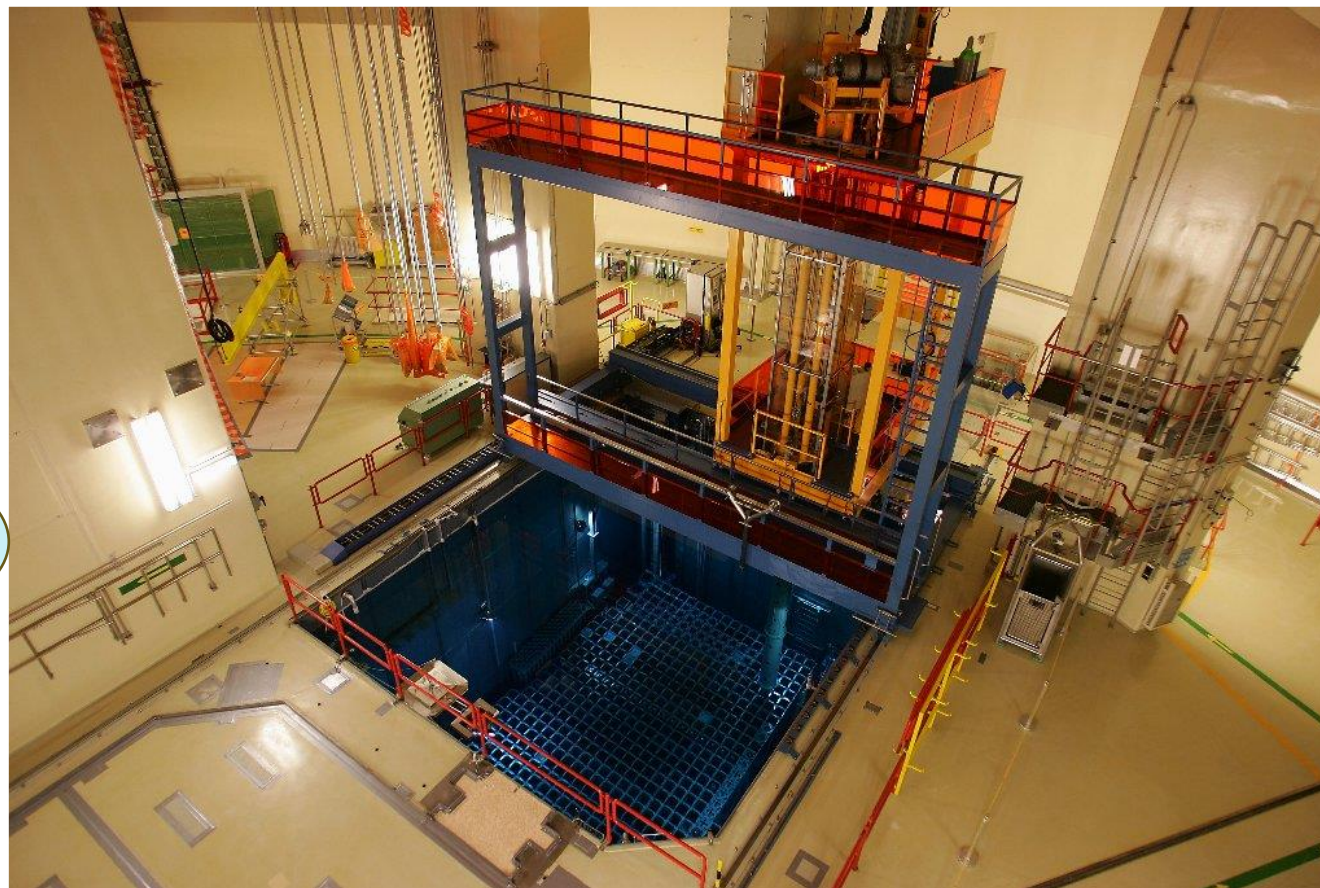
Aufgrund Neutronenstrahlung

- aus Wasser: H-3, C-14
- aus B-10/Li-6: H-3
- aus Edelstahl: Co-60, Co-58, Cr-51, ...
- aus Uran: Pu-239, Am-241, Cm-244, ...

Relevant
für Dosis
im KKW

Radioaktive Abfälle

- > 99.9 % der Radioaktivität in BE
- Rest: in Reaktor / -Einbauten / -Umgebung
 - > Kontamination des Wassers
 - > Verteilung auf weitere Systeme



BE-Lagerbecken

Bedeutung der Brennelemente für den Strahlenschutz

Handhabung abgebrannter Brennelemente

abgeschirmt: Wasser oder Transportbehälter

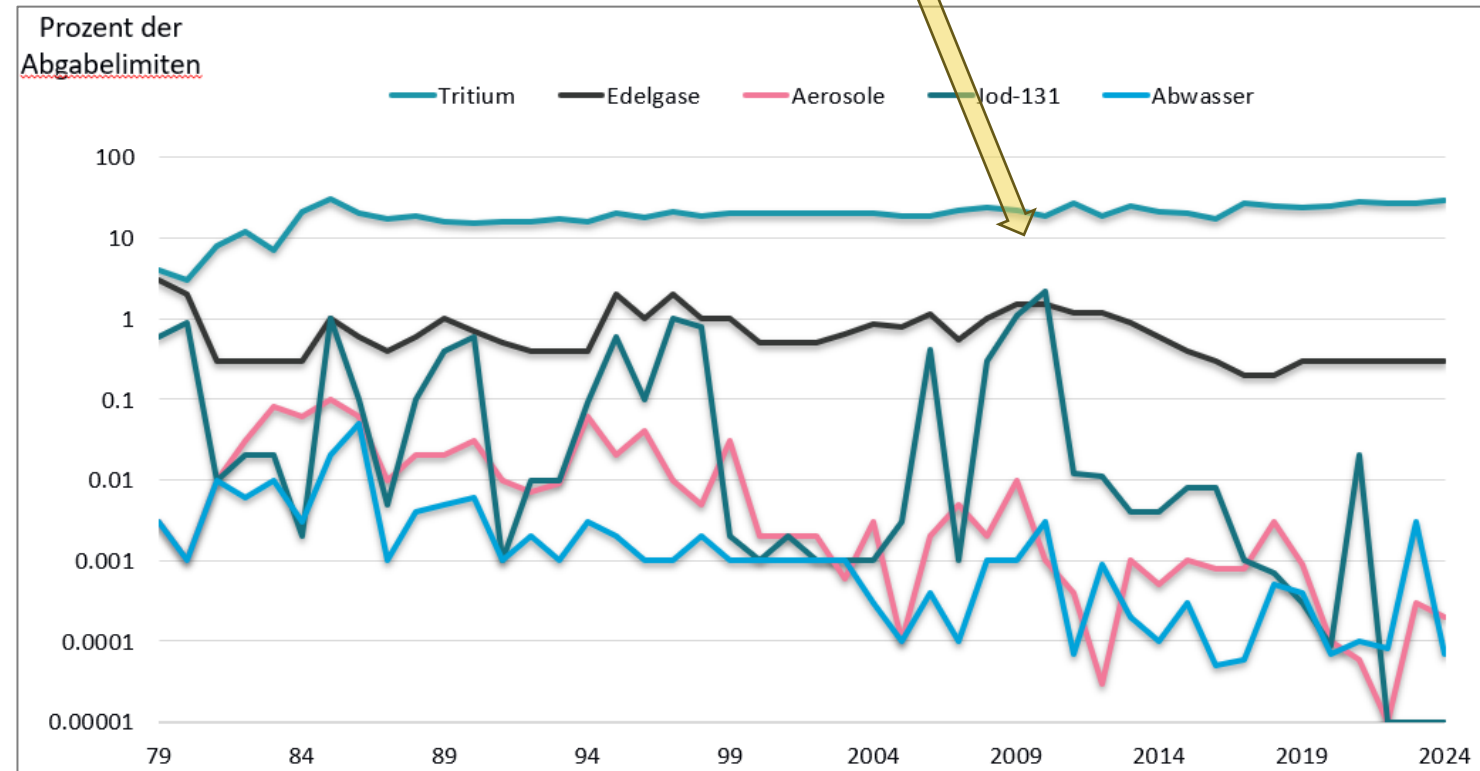
Risiken

- Defekte im Betrieb
- Defekte bei Handhabung

Folgen von Defekten: Zunahme von

- > Abgaben (Edelgase, Iod)
- > Kontaminations- /Inkorporationsrisiko
- > mögl. Alpha-Problematik
- > Aktivitäten in Abfallfässern

**nicht relevant für
Dosis während
Betrieb**



Was passiert mit den Brennelementen?

Eigenschaften

ODL an BE	1 – 10 kSv/h
Wärmeleistung	1 – 10 kW

0.1 - 2 mSv/h

Weiteres Vorgehen

- > 2 Jahre im Lagerbecken
- Transport ins externe Nasslager
- X Jahre Lagerung
- Transport zu Zwiilag (Würenlingen)
- Zwischenlagerung
- ab 2060 Transport ins Tiefenlager

1.7 Pers.-mSv/
Transport
-> 5.5 mSv/a



Wasserreinigung

Ionentauscherharze und Schwebstofffilter

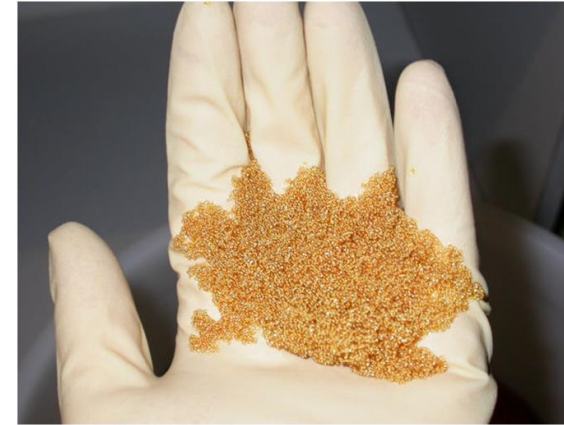
Ionentauscherharze

Funktion	ähnlich Geschirrspüler: Positive Ionen Fe, Co, Cs... -> Li+ Negative Ionen I, ... -> Borat
Behandlung	Bituminieren, Zementieren
Anfall pro Jahr	11 Fässer

Filterkerzen (Schwebstofffilter)

Funktion	Rückhaltung von Schwebstoffen
Behandlung	Zementieren
Anfall pro Jahr	1 Fass

Frische Ionentauscherharze



Fernhantiert
ins Lager:
kaum Dosis



Filterkerzen



Lager für mittelaktive Abfälle

Abwasser

Abwasser

7'000 m³ pro Jahr in kontrollierter Zone

Behandlung Abwasser

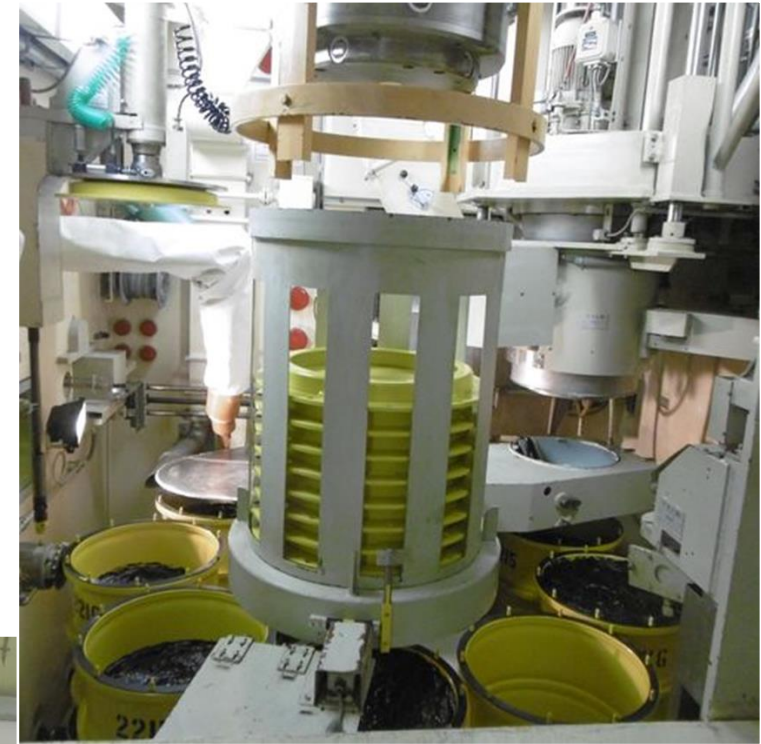
- Sammeln (4 Tanks à 60 m³)
- Verdampfen (3'500 m³ jährlich)
- Kontrolle auf Aktivität (typ. < 3 Bq/L, o. H-3)
- Abgabe an Aare

Behandlung Verdampfer-Konzentrat

- Sammeln (8 m³ pro Jahr)
- Bituminieren, Zementieren
- 25 - 30 Fässer pro Jahr
- Transport zu Zwiilag



Abwasserbehälter



Bituminieren



1 mSv/h

Lager für schwachaktive Abfälle

Abwasser

Verdampfer-Konzentrat

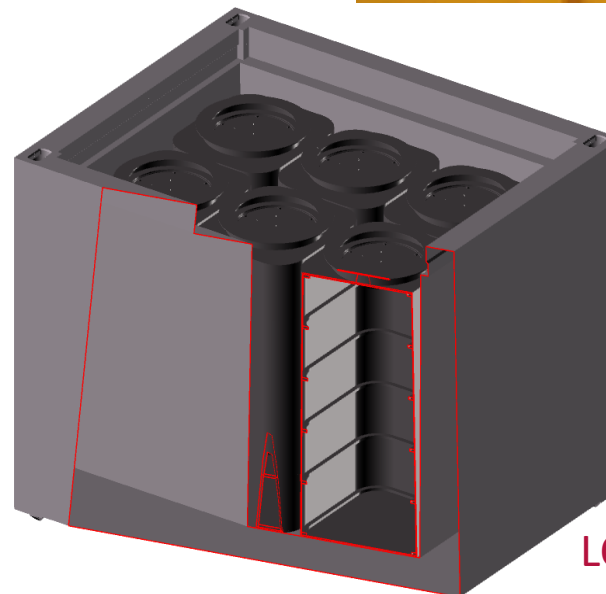
Verfahren

- bisher: Bituminieren
- neu: Trocknung mit Mikrowellentrockner ab Ende 2026
-> Reduktion organischer Stoffe

Handhabung

- Trocknung in 600 L Edelstahlbehälter
- 6 Innenbehälter pro Betoncontainer LC86
- 1 LC86 pro Jahr

**Trocknung:
5 Pers.-mSv/a**



LC86



Mikrowellenanlage (Source: NUSIM)

**Innen 2 mSv/h
Aussen 0.2 mSv/h**

Verbrennbare Abfälle

Bedeutung für Strahlenschutz

Anfall

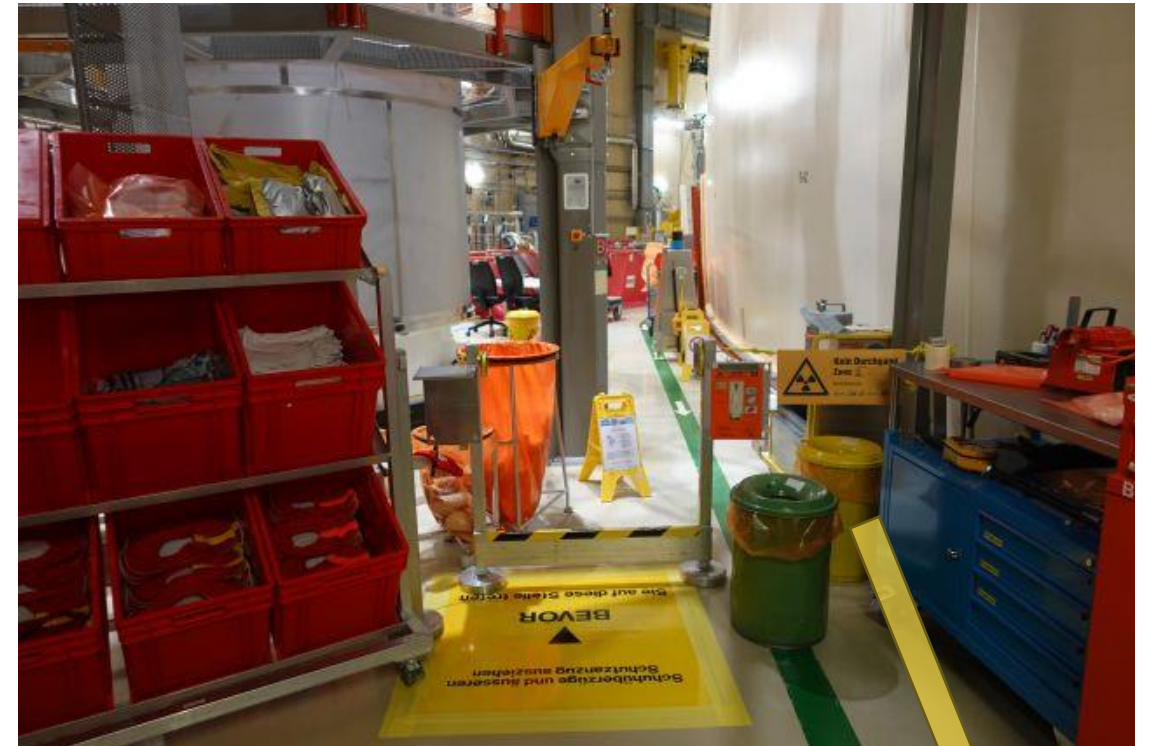
aus Instandhaltung, Unterhalt, Reparaturen

Bedeutung

Mögliche Quelle für Dosisleistung und Kontamination

Behandlung

- Vortrennung durch Benutzer: gelbe/grüne Abfalleimer
- Abfallsäcke verschliessen, regelmässig einsammeln



Verbrennbare Abfälle

Behandlung

Behandlung

- Triage-Messung: aktiv/inaktiv

Sammeln/Triage:
< 5 Pers.-mSv/a

- Pressen in Fässer
- Lagerung
- Transport zu Zwiilag
- Behandlung in Plasmaanlage

**0.5 Pers.-mSv/
Transport (51 Fass)**

Jährliche Anzahl

75 Fässer vor Verbrennung

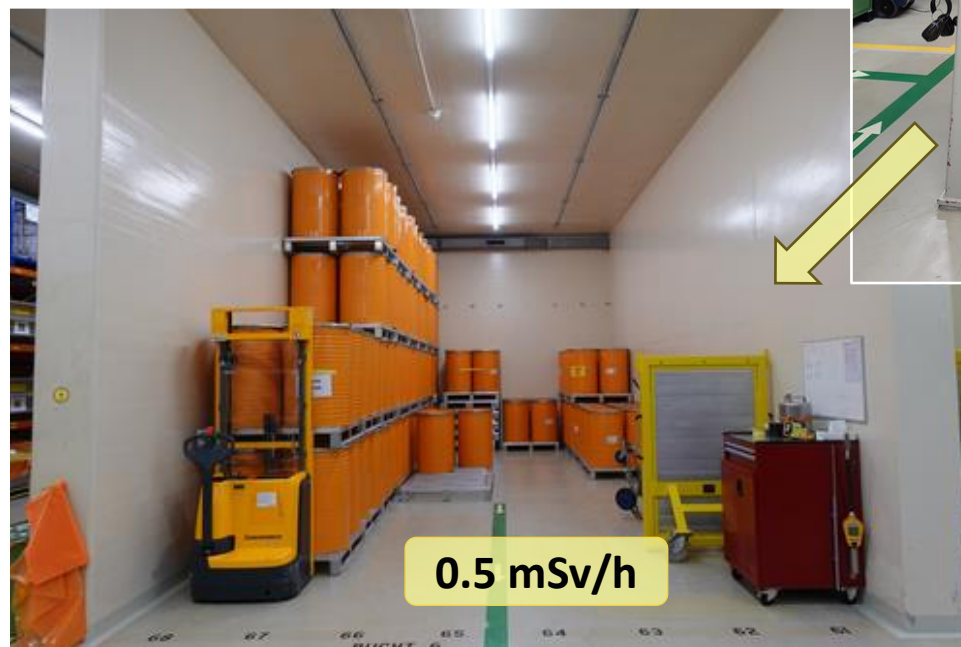
-> 20 Fässer danach (Schlacke in Glas)



Sortiertisch aktiv/inaktiv



Fasspresse



0.5 mSv/h

Schmelzbare Abfälle

Metalle

Anfall

aus Instandhaltung, Unterhalt, Reparaturen

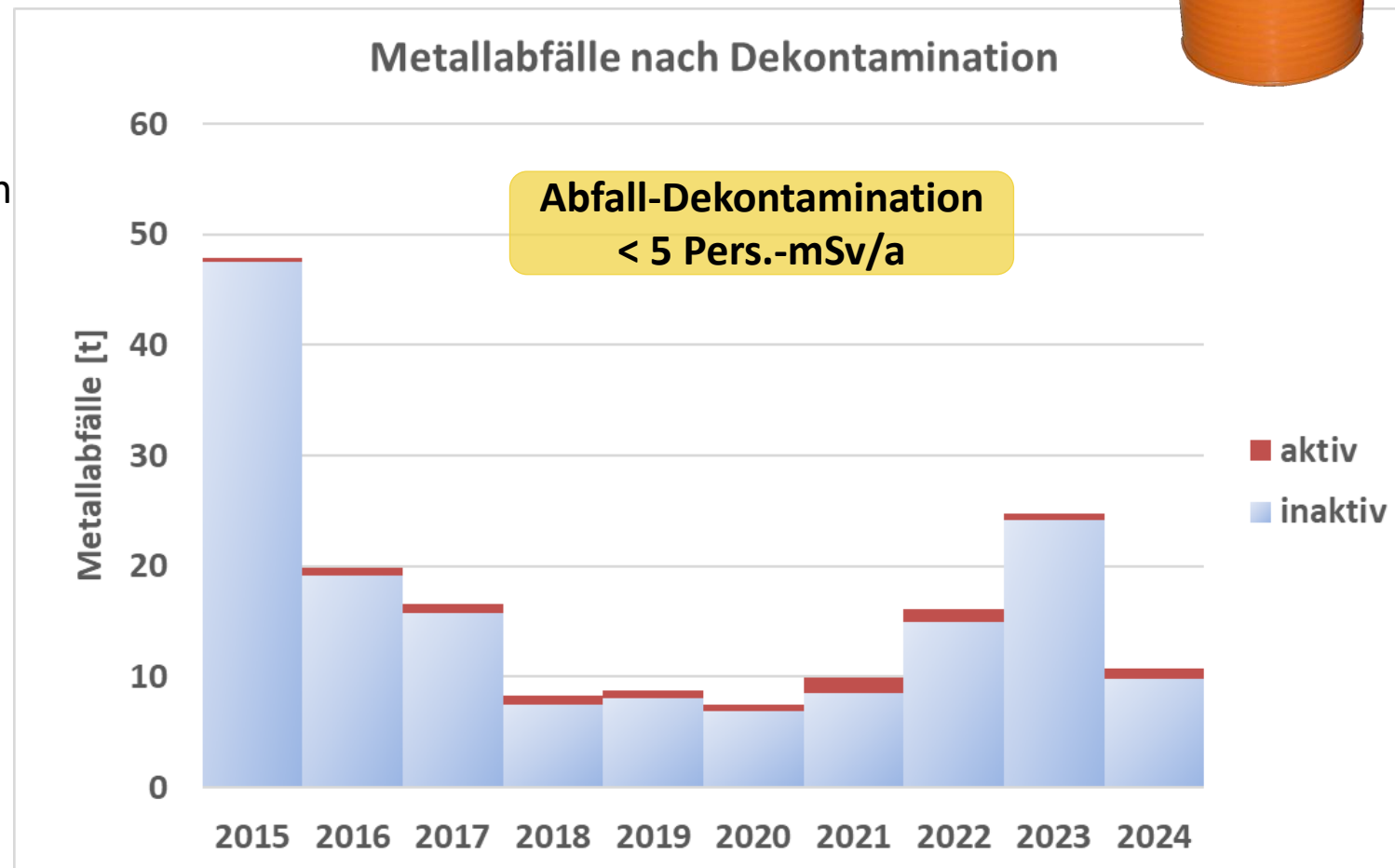
Behandlung

- Sammeln
- Triage-Messung: aktiv/inaktiv
- Dekontamination
- Einfüllen in Fässer
- Transport zu Zwiilag
- Behandlung in Plasmaanlage

Jährlicher Anfall

1 Fass

2 - 10 mSv/h



Aktivierete Metalle

Kerneinbauten

Anfall

Ersatzteile (z.B. Steuerelemente)

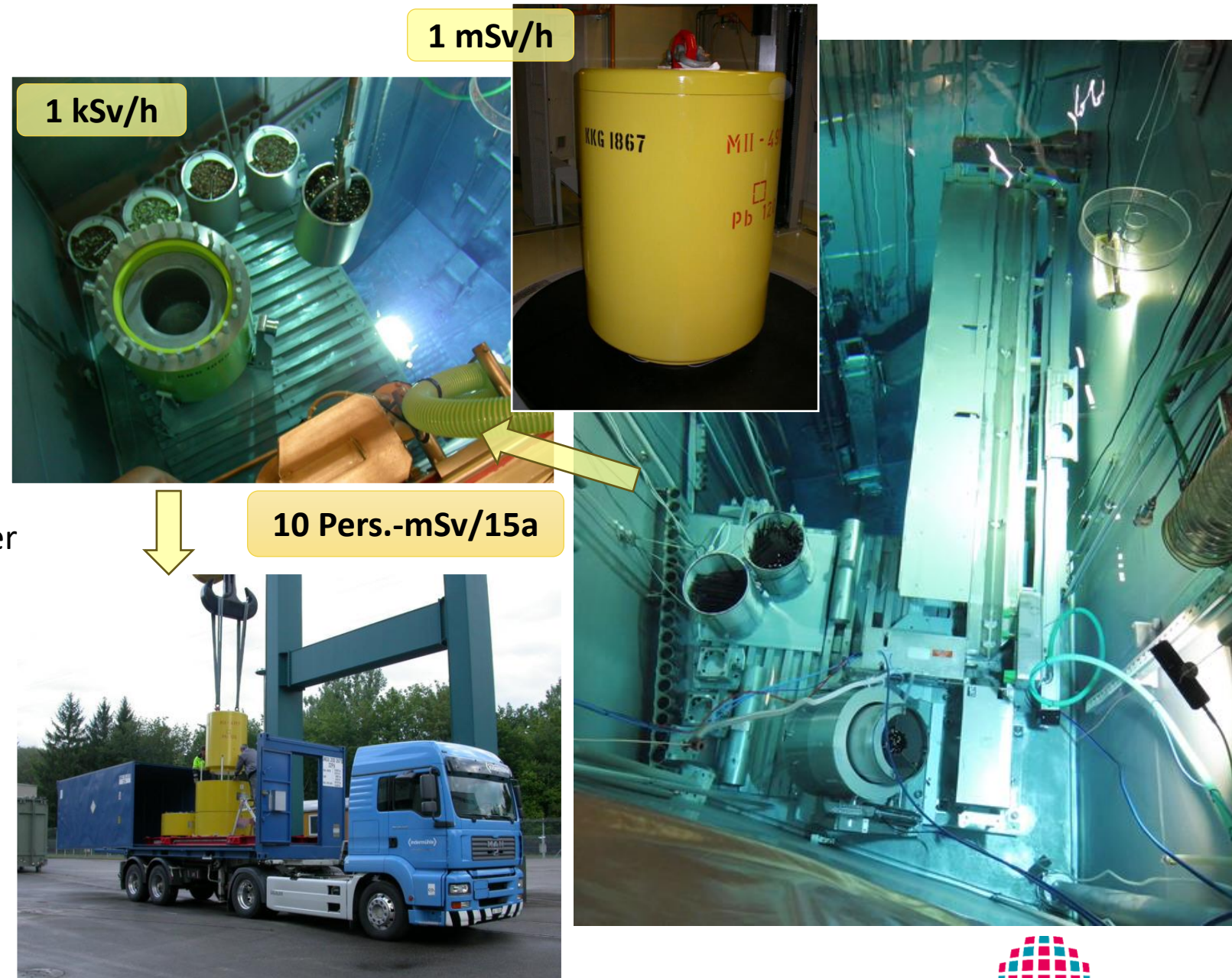
Behandlung

- Sammeln im Lagerbecken
- Zerschneiden unter Wasser
- Triage in Fässer / Abschirmbehälter
- Fässer -> zementieren
- Abschirmbehälter -> trocknen
- Transport zu Zwiilag

Jährlicher Anfall

0.5 Fässer (bis 500 mSv/h)

0.1 Abschirmbehälter



Jährliche Abfallmengen

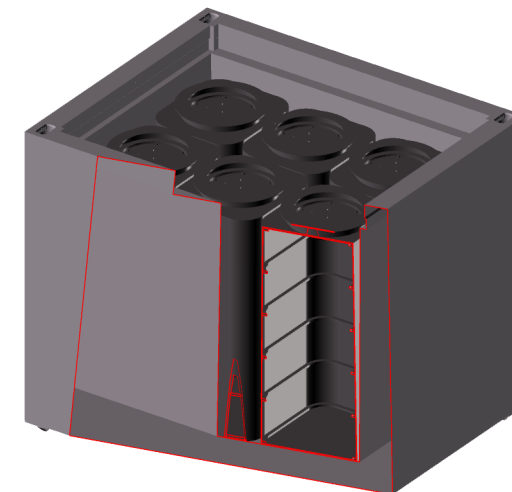
Zusammenfassung

Kollektivdosis für
Abfallbehandlung:
15 Pers.-mSv/a
-> 4 % Jahresdosis

Abfalltyp	Behältertyp	Anzahl	Volumen, m ³
Brennelemente	Lagerbehälter	1.1	29.7
Verdampferkonzentrate	200 L – Fass	30	6.3
Harze	200 L – Fass	11	2.3
Filter	200 L – Fass	1	0.2
Akt. Metalle	200 L – Fass	1.1	0.2
Akt. Metalle (mittelaktiv)	MOSAIK-Behälter	0.1	0.1
Schlacke aus Plasmaanlage	200 L – Fass	18	3.8
Diverses	Beton-Container	0.1	0.9
SUMME			43.7



Pro Haushalt und
Jahr:
3 Esslöffel voll



Fazit

01 Betriebliche Abfall-Mengen sind klein

03 Verfahren sind etabliert

02 Kollektivdosis aus Abfallhandhabung ist gering



Ihre Fragen und Anregungen

