

Aktion für vernünftige Energiepolitik Schweiz

Glarus, Glarner Hof, 19. Juni 2010

Sicherheit in der Kernenergie

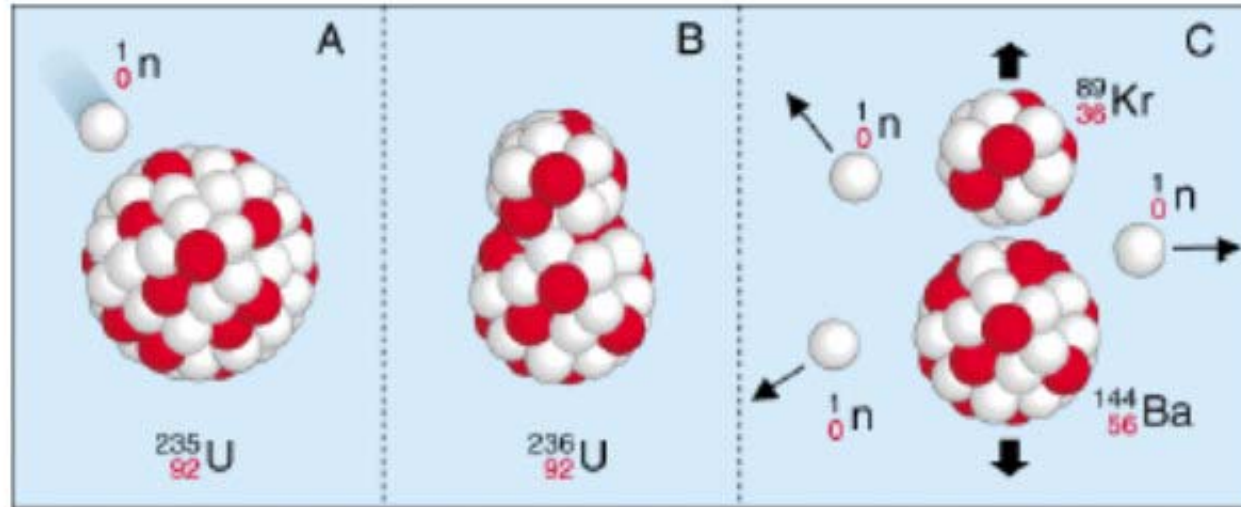
Versorgung - Betrieb - Entsorgung

Horst-Michael Prasser

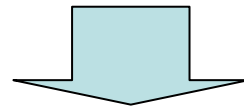
Professor für Kernenergiesysteme



Kernspaltung

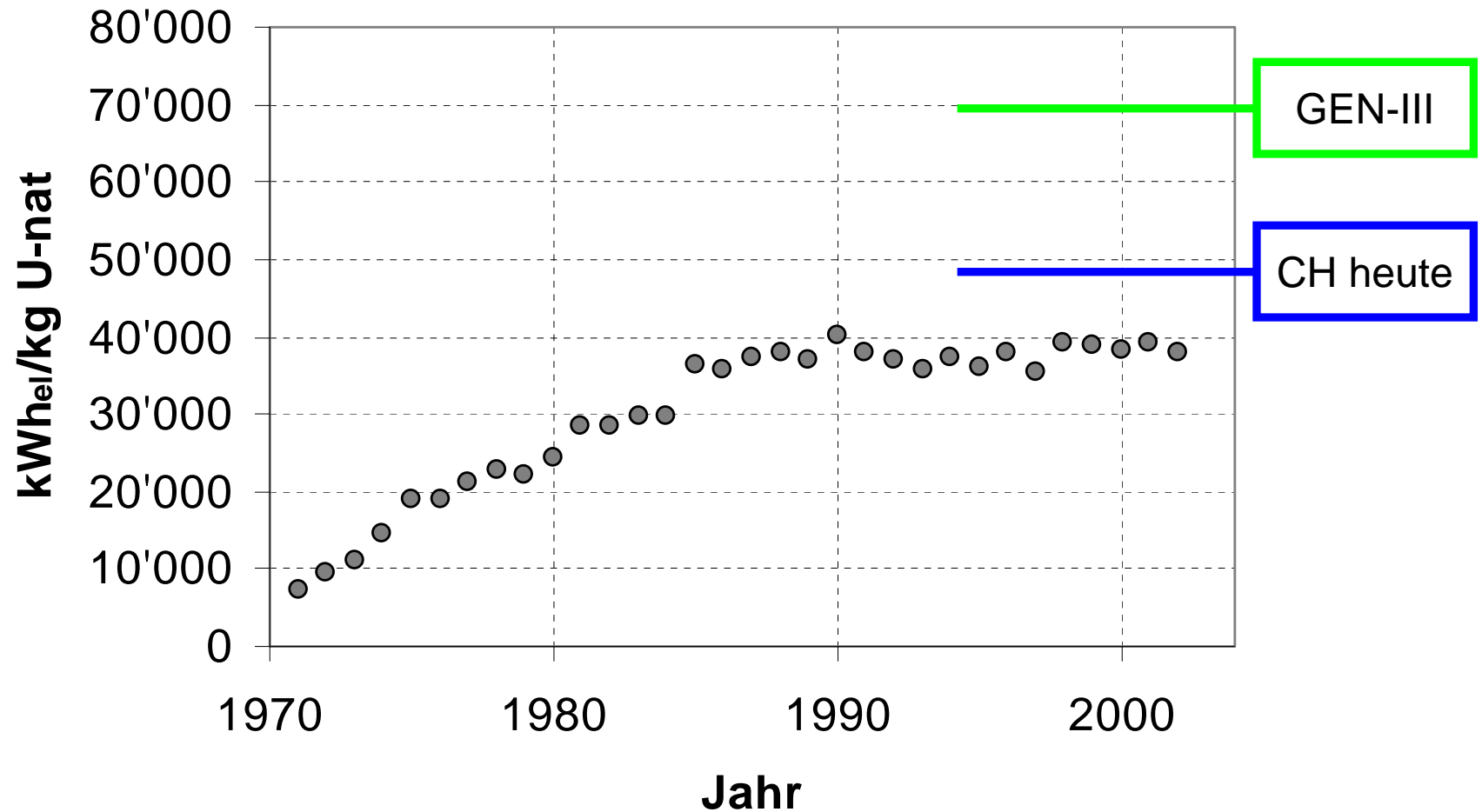


1 kg U-235 entspricht Verbrennung von 3000'000 kg Steinkohle

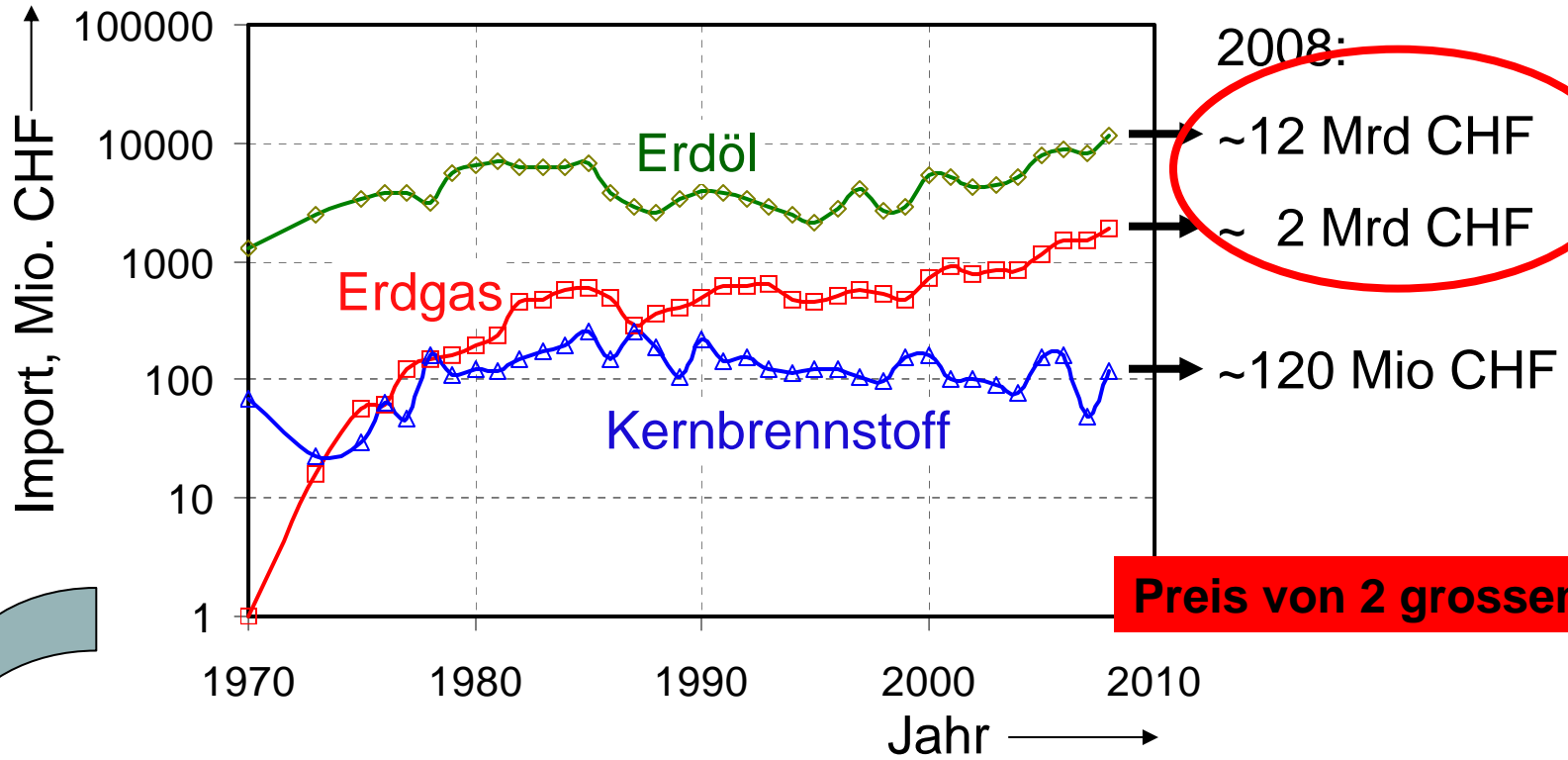


1 kg natürliches Uran = 0.7 % U-235 ~ 20'000 kg Steinkohle
(in heutigen Reaktoren)

Energieausbeute aus Natururan in heutigen KKW

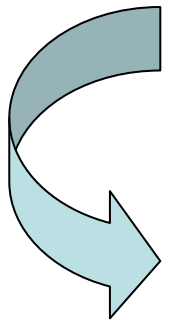


Importe von Rohenergieträgern, Schweiz

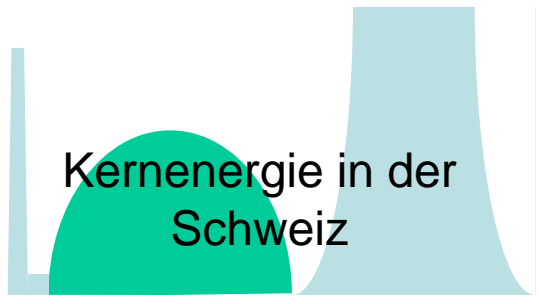


Stärken der Kernenergie

Preis von 2 grossen KKW



~1 % der Rohenergieimporte



~40 % der Elektroenergie
~10 % der Endenergie



Natururan: Verfügbarkeit für lange Zeit gegeben

Konventionelle Ressourcen (<130 USD/kg)

- Bekannt: 5 Mio. t U-nat, Verbrauch: 66'500 t/a → statische Reichweite 80 Jahre
- Geschätzt (geologische Analogien): 10 Mio. t → weitere 160 Jahre
- Kosten der Kilowattstunde weitgehend vom Preis des Natururans abgekoppelt. Natururananteil von 1 Cent/kWh erst bei **400 USD/kg U-nat**
- Uran: Spurenelement → Ressourcen wachsen überproportional, wenn höhere Bergbaukosten in Kauf genommen werden
- Zuwachs der statischen Reichweite von über 10 Jahren in 2 Jahren Erkundung während des Preispeaks 2006-2007

Weitere Potentiale:

- Moderne Reaktoren (Gen III) verbrauchen deutlich weniger Uran pro kWh → Entlastung der Uranversorgung
- Unkonventionelle Vorkommen in Kupfer-, Nickel und Phosphaterzen, in Steinkohle, im Meerwasser...

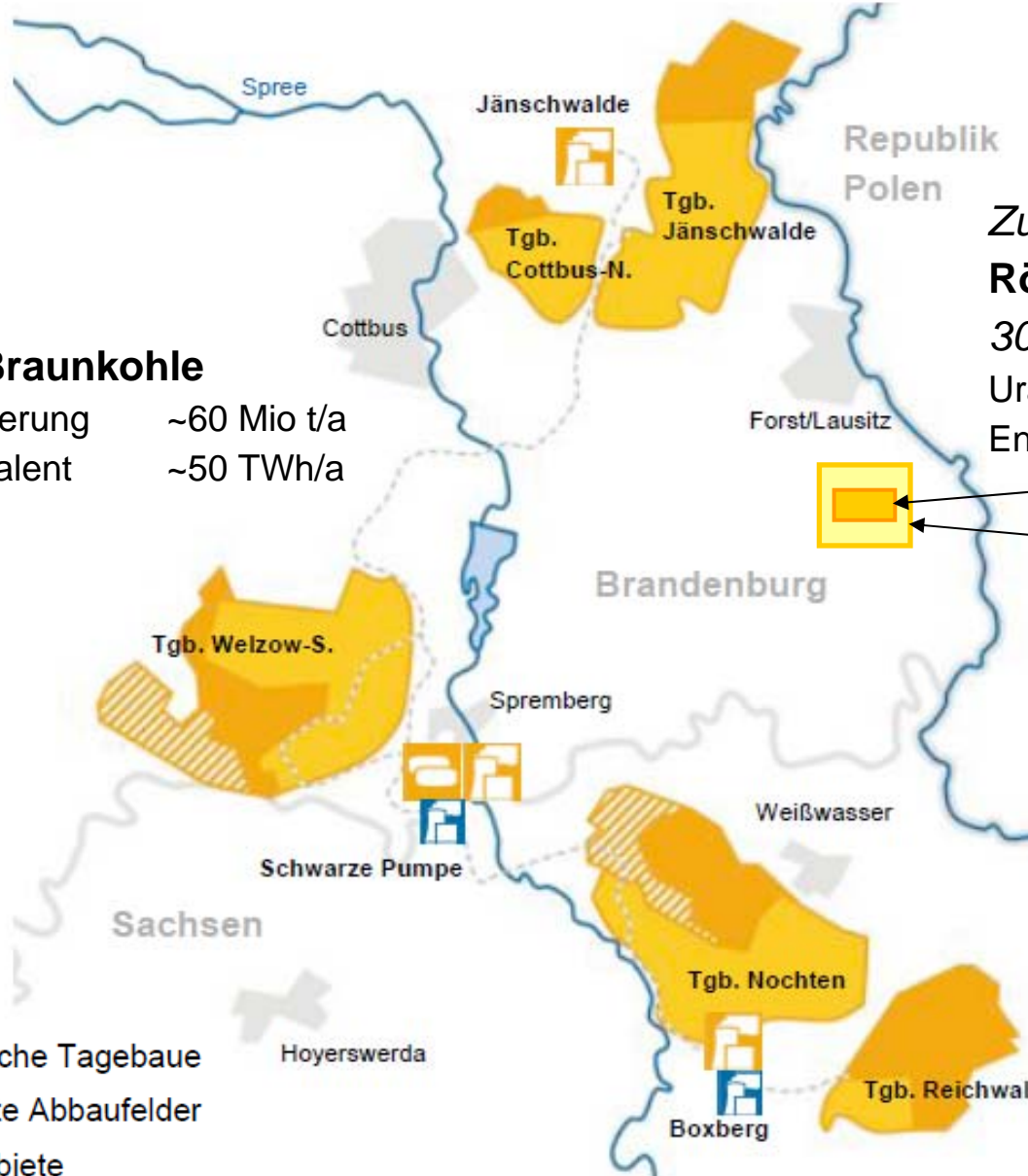
Rössing / Namibia





Lausitzer Braunkohle

Rohkohleförderung ~60 Mio t/a
Energieäquivalent ~50 TWh/a



Zum Vergleich:

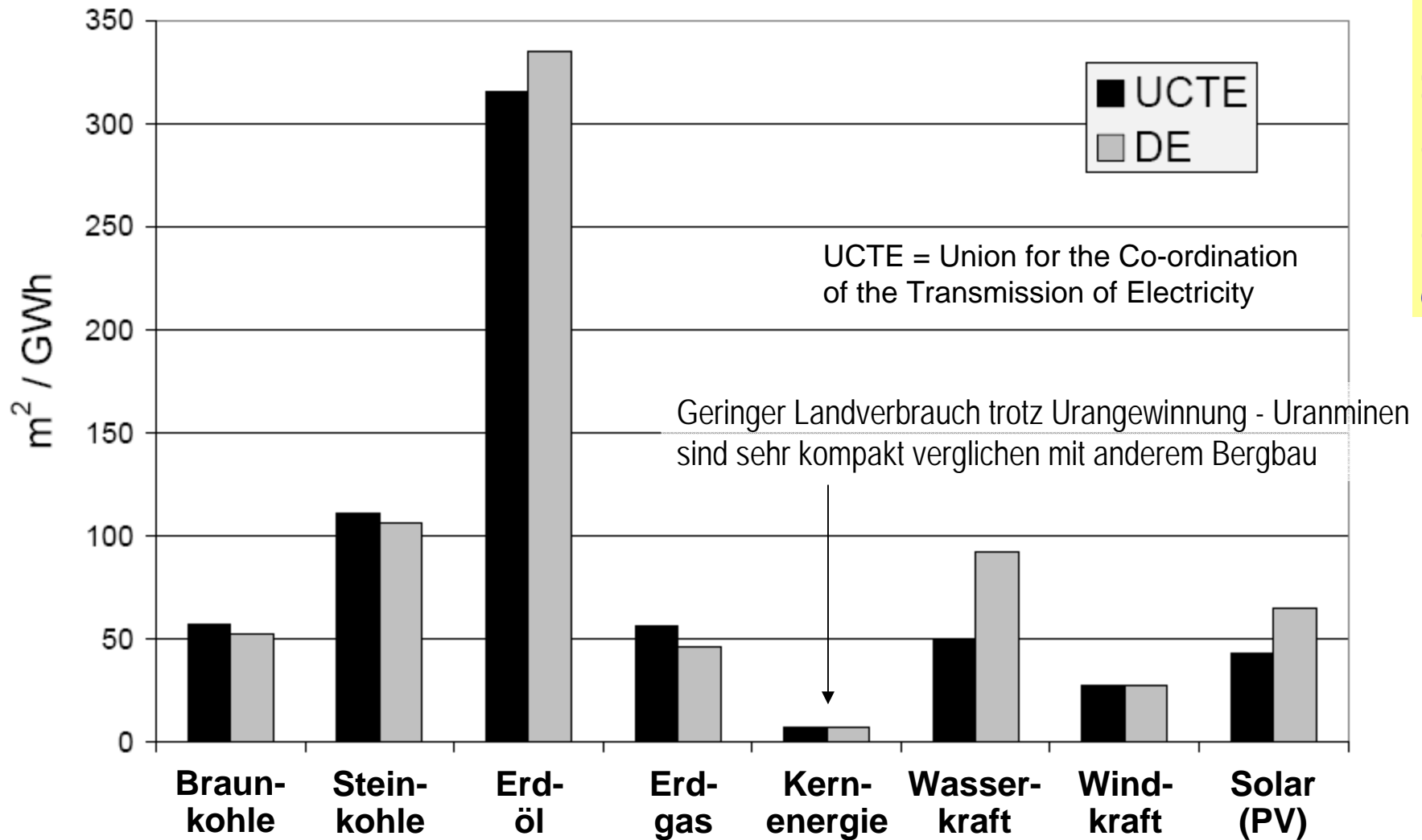
Rössing / Namibia

300 ppm Uran im Erz
Uranförderung ~3'500 t/a
Energieäquivalent ~70 TWh/a
Tagebaufläche (3 x 1.5 km)
Genehmigte Abbaufelder

Extrembeispiel Rössing

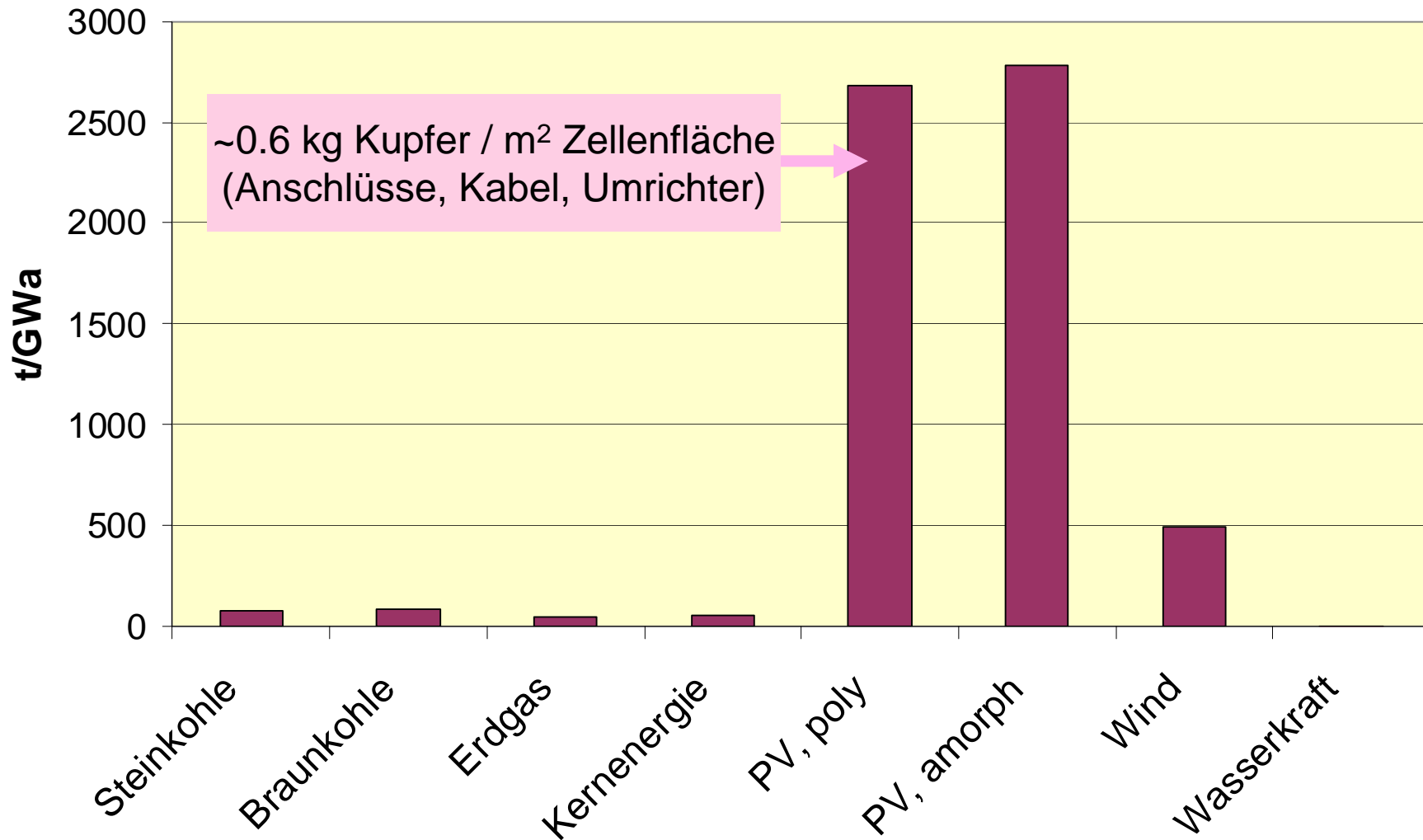
Mine mit geringem Urangehalt
Weltweit typisch Werte zwischen 1000 ppm und 100'000 ppm (= 10 %)

Lebenszyklusanalyse - Landverbrauch



Studie des PSI für den deutschen Energiemix

Rohstoffbedarf im Lebenszyklus - Beispiel Kupfer

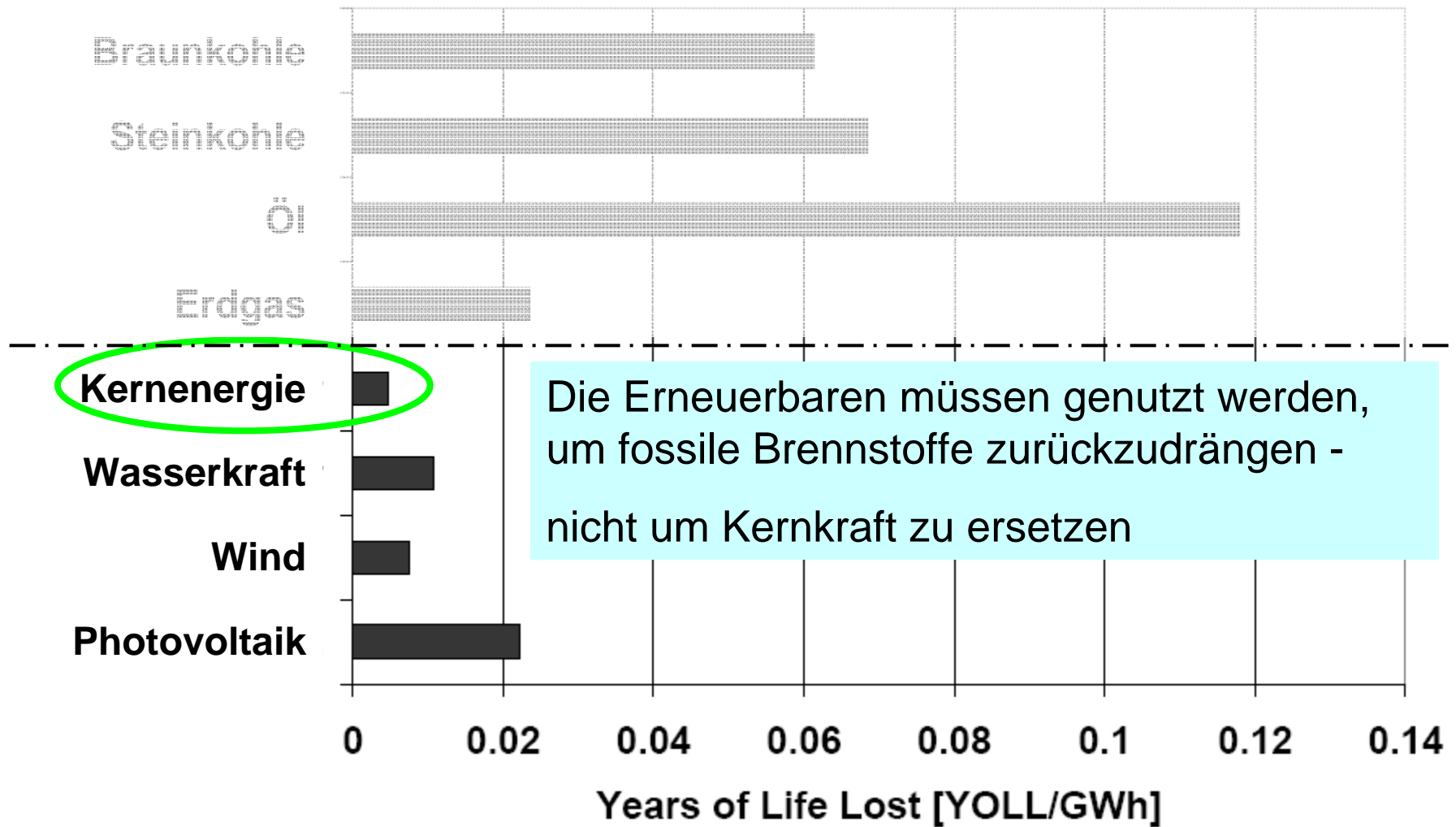


Rohstoffe braucht Bergbau → Umweltbelastungen

Kupfermine in Michigan, USA



Lebenszyklusanalyse - Gesundheitseinfluss



Studie des PSI für den deutschen Energiemix

Sicherheitsproblematik in der Kerntechnik

Spaltprodukte stark radioaktiv



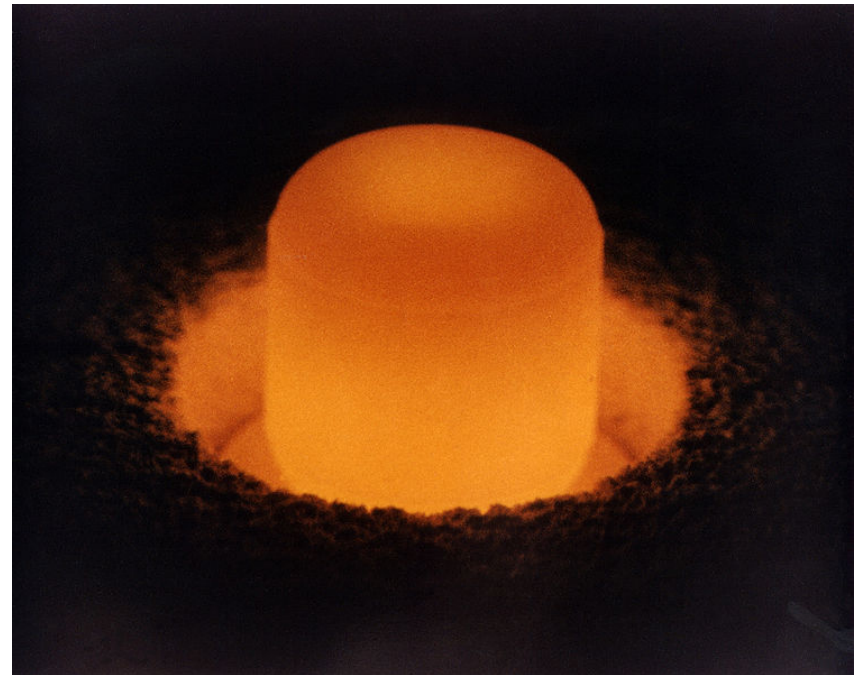
Hohe Radiotoxizität
und Wärmeentwicklung



Barrieren gegen Freisetzung von
radiotoxischen Stoffen notwendig

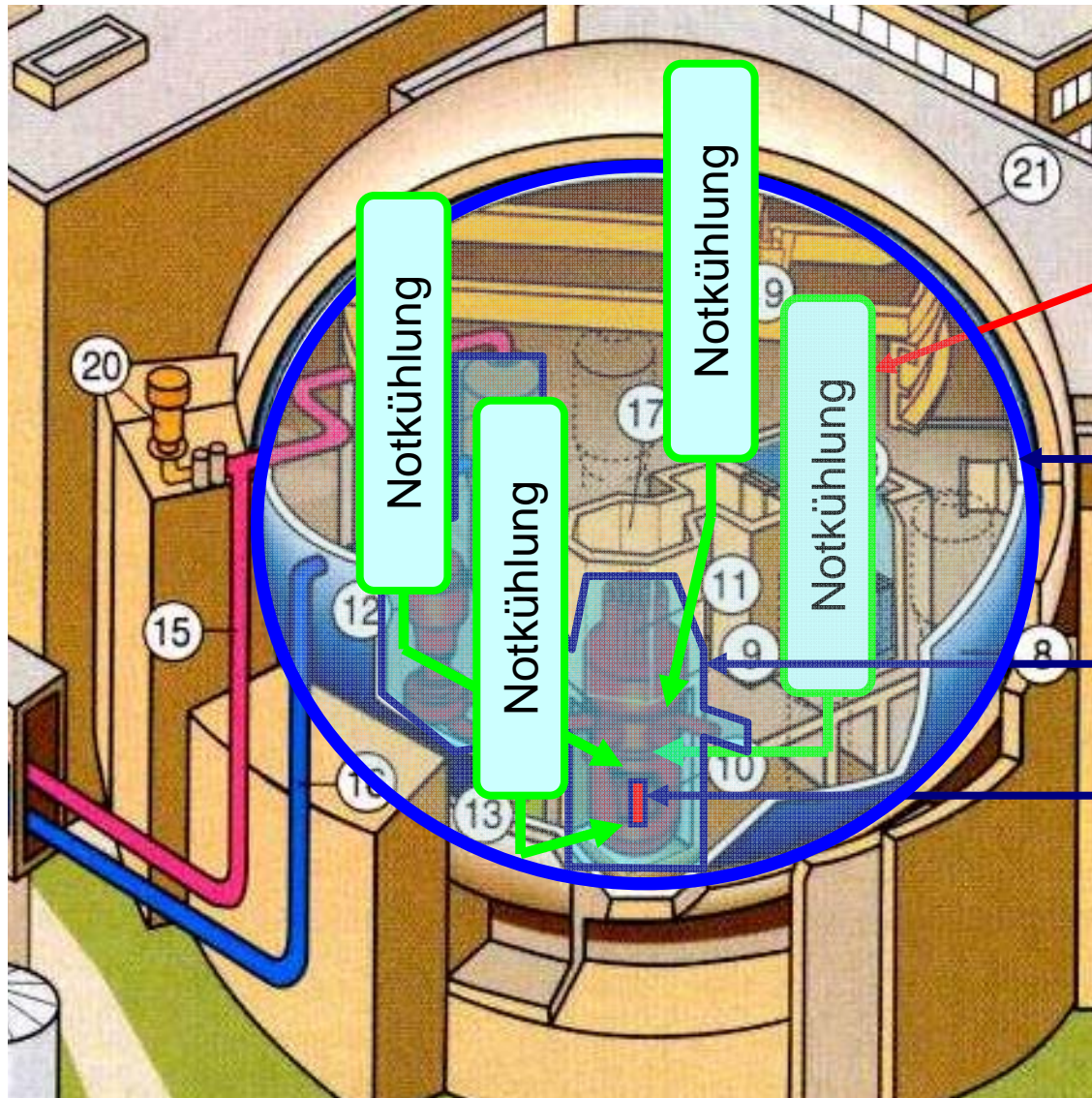


Herausforderung:
Gefährdung der Barrieren durch
Wärmeentwicklung



Stark radioaktives Material glüht auf,
wenn nicht ausreichend gekühlt

System von Barrieren gegen die Ausbreitung von radioaktiven Stoffen



Sicherheitssysteme:
Schnellabschaltung
Notkühlung

3. Barriere:
Inneres Containment

2. Barriere:
Wände des Primärkreises

1. Barriere:
Brennstabhülle

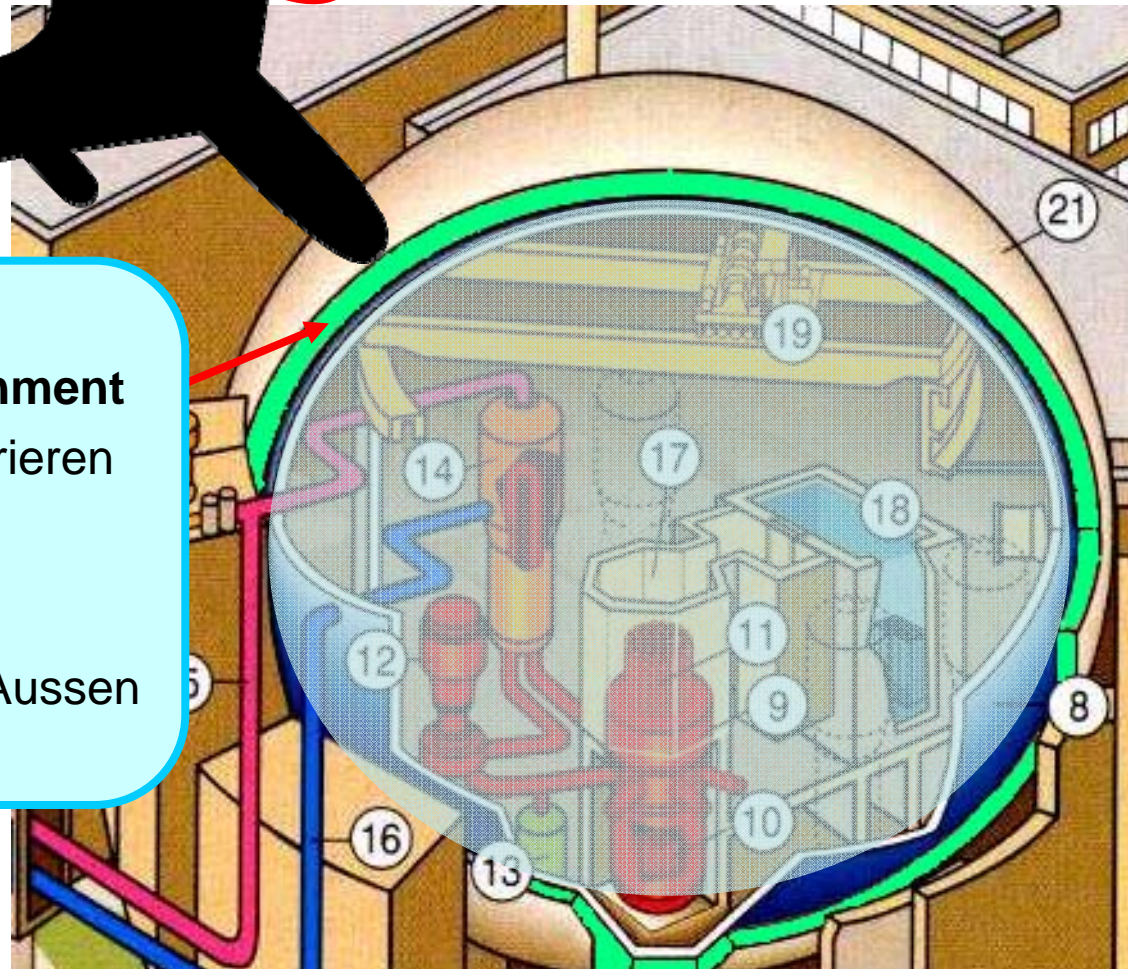
Doppelwandiges Containment

Äusseres Containment

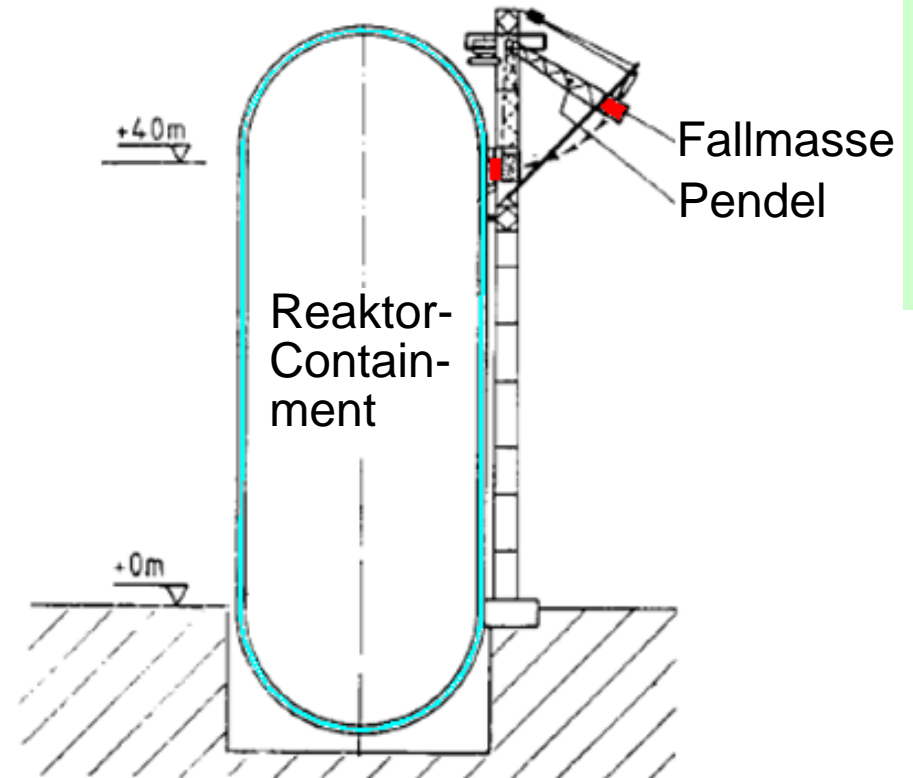
⇒ Schutz der Barrieren

gegen

Einwirkungen von Aussen



Woher wissen die Ingenieure, dass ein Containment hält?

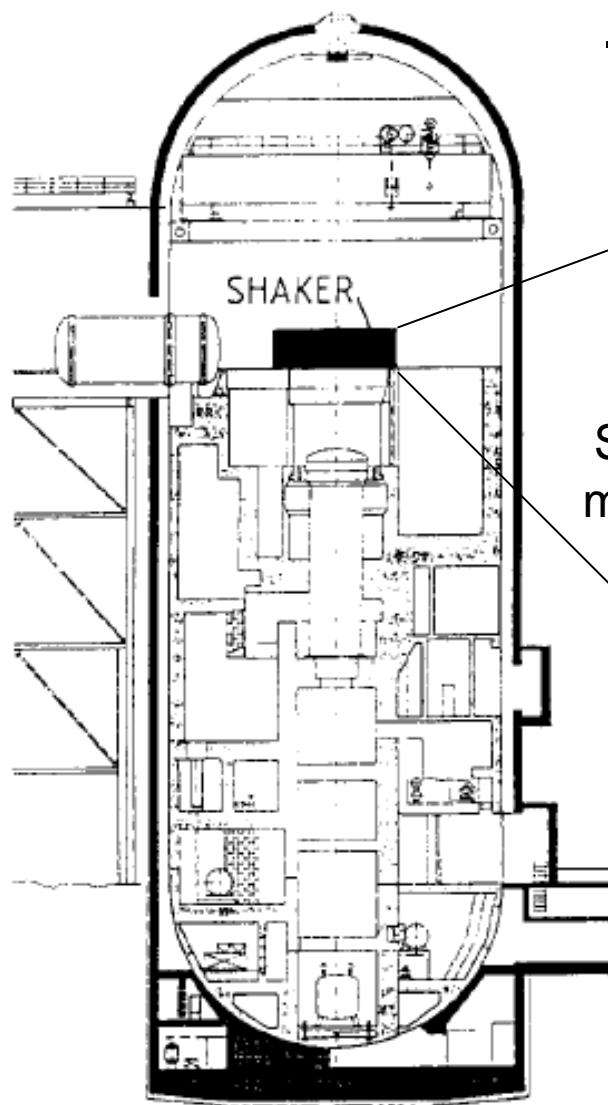


Sicherheit beim Betrieb

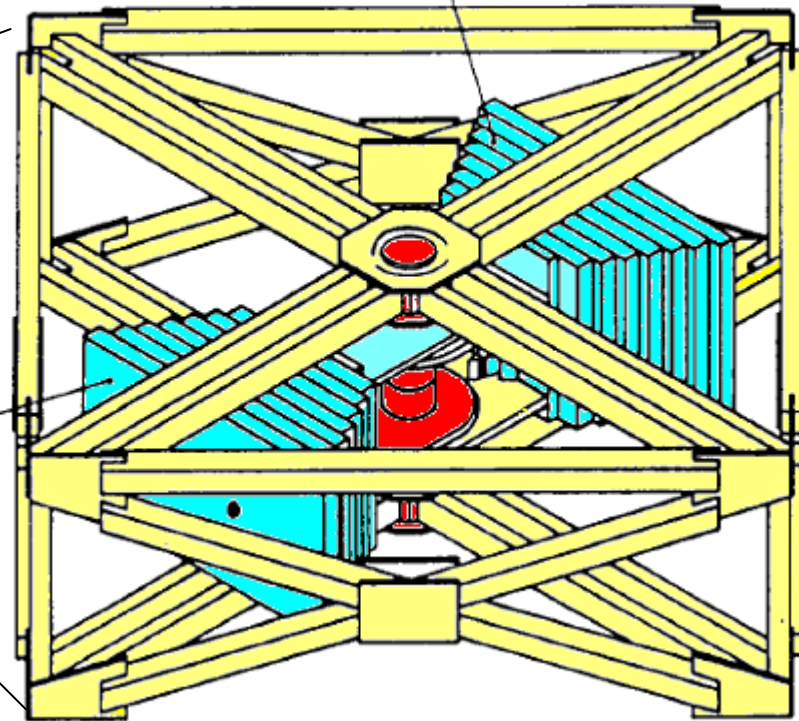
z.B. Flugzeugabsturzversuche am HDR-Containment

... und bei Erdbeben?

fest rotierender
Schwungmasse



Schwung-
masse ein-
klappbar



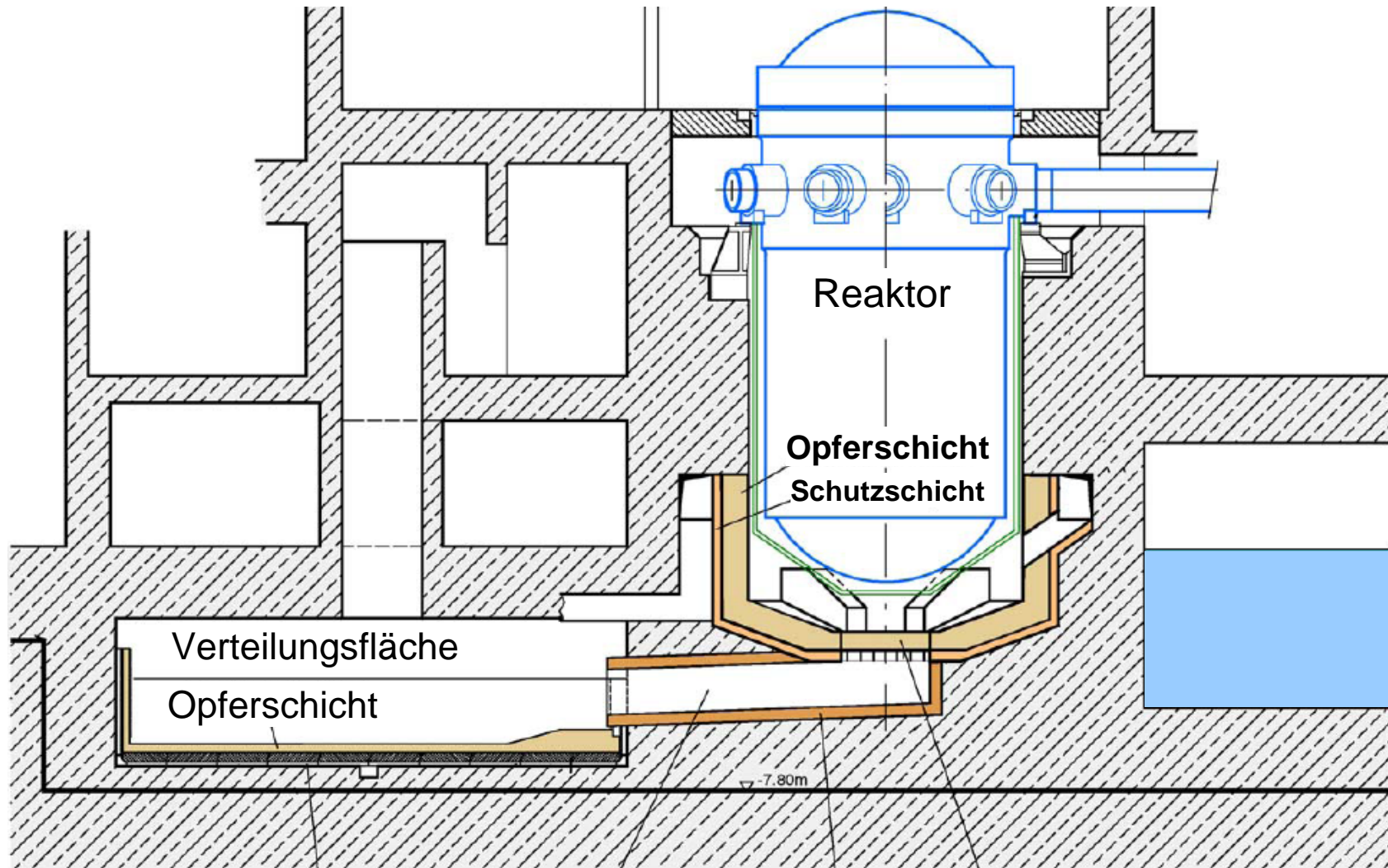
Maximale Masse je Arm: 40 t

Maximale Drehzahl: 8 U/s

Erdbebenversuche am HDR-Containment, 1981 - 1986

Wenn der Kern doch schmelzen sollte... - Core Catcher

Sicherheit beim Betrieb



**Spezialbeton,
keine Gase!**

Schmelzekanal

Schutz-
schicht

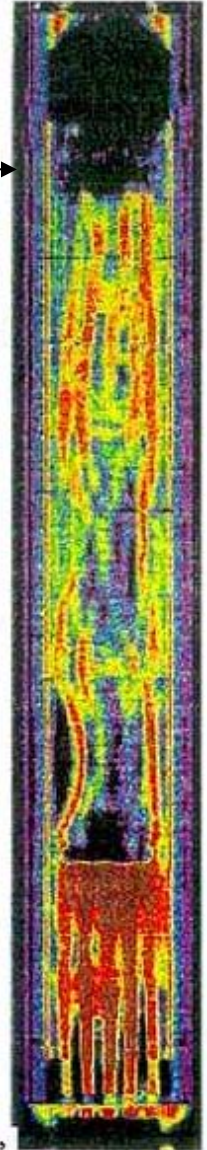
Schmelzpfropfen

Quellen heutigen Wissens: Realitätsnahe Experimente

Schmelzeausbreitung, "COMAS"
Deutschland



Kernschaden
Phebus, Frankreich



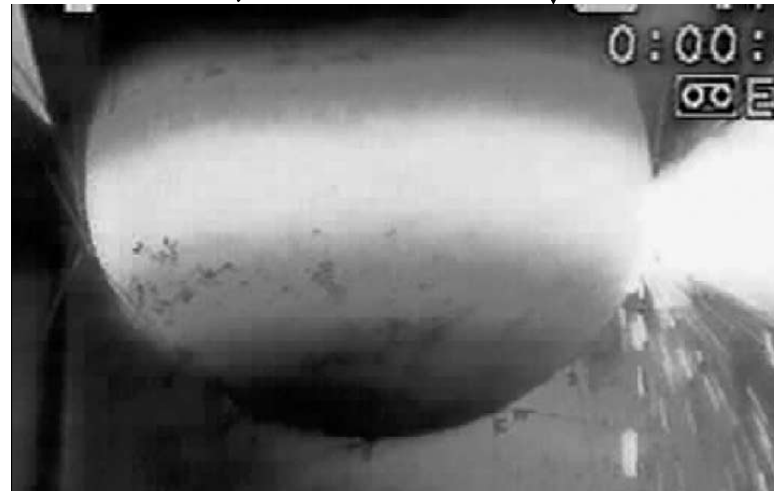
Sicherheit beim Betrieb

Beton-Schmelze-
Wechselwirkung

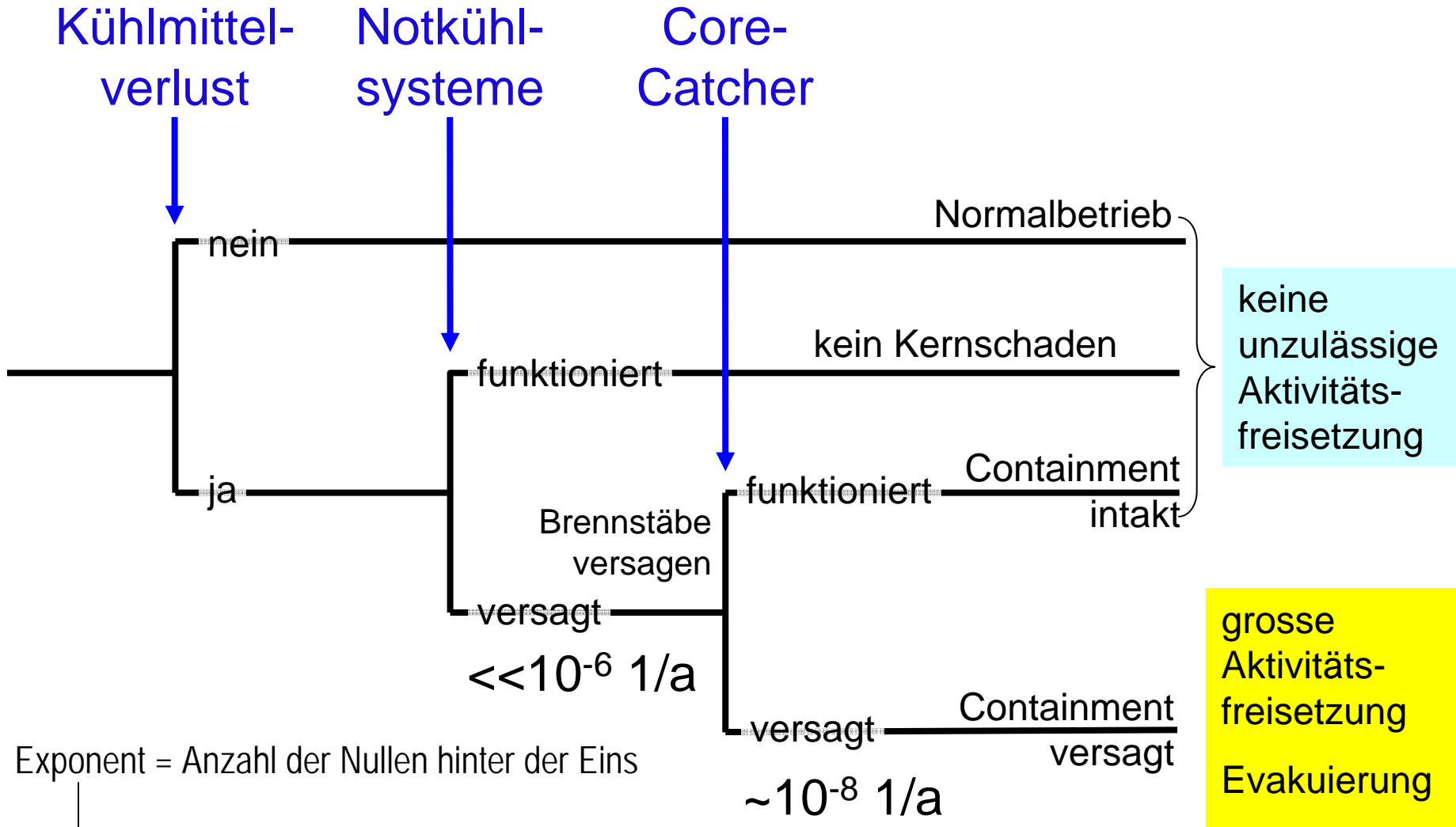


"BETA"
Karlsruhe
Deutschland

Druckgefäßversagen
"Forever", Schweden



Bilanz Sicherheitsgewinn Gen III



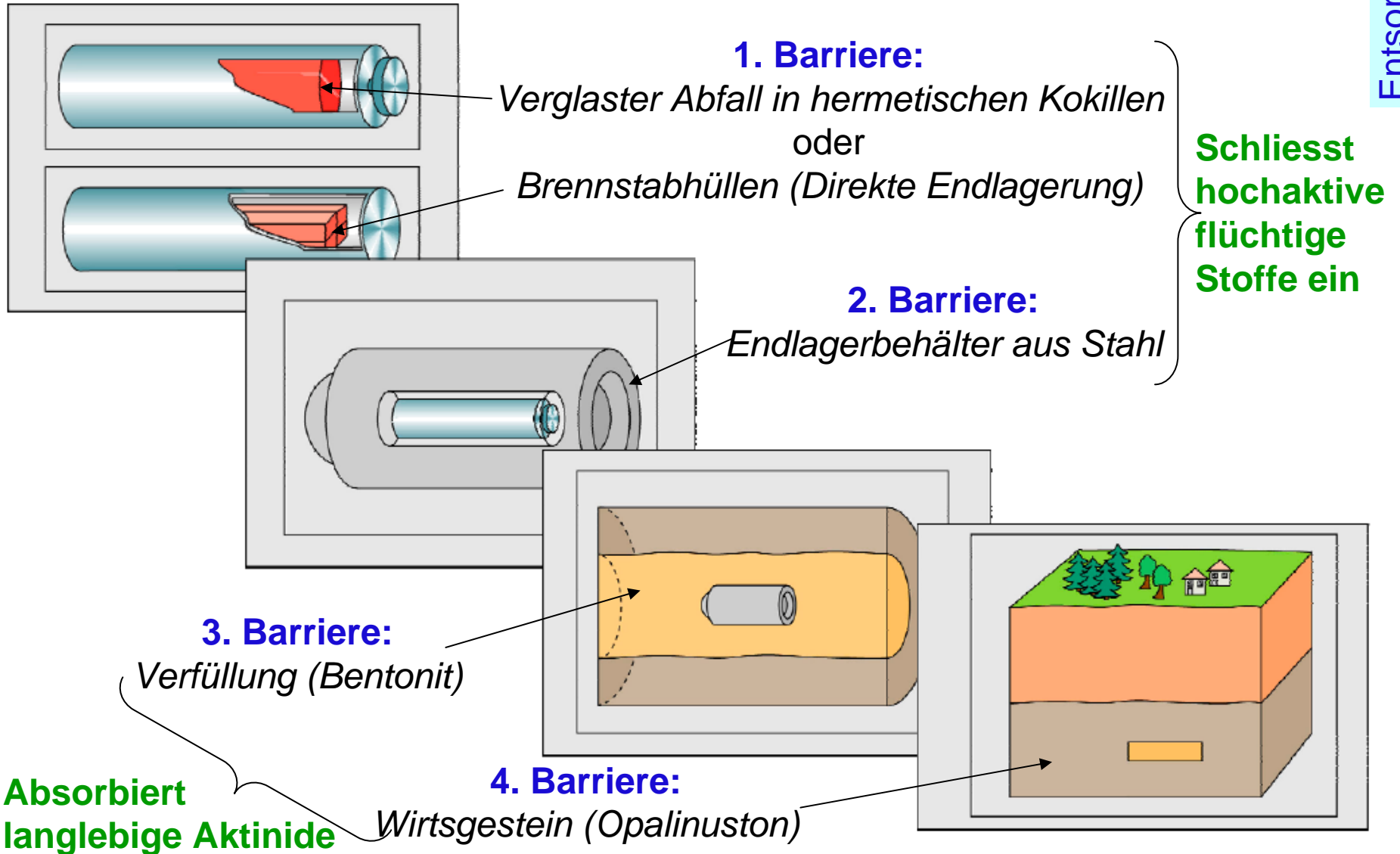
Sicherheit beim Betrieb

Exponent = Anzahl der Nullen hinter der Eins
 10^{-6} 1/a bedeutet: Rechnerisch ein Schaden in 1 Mio. Jahren

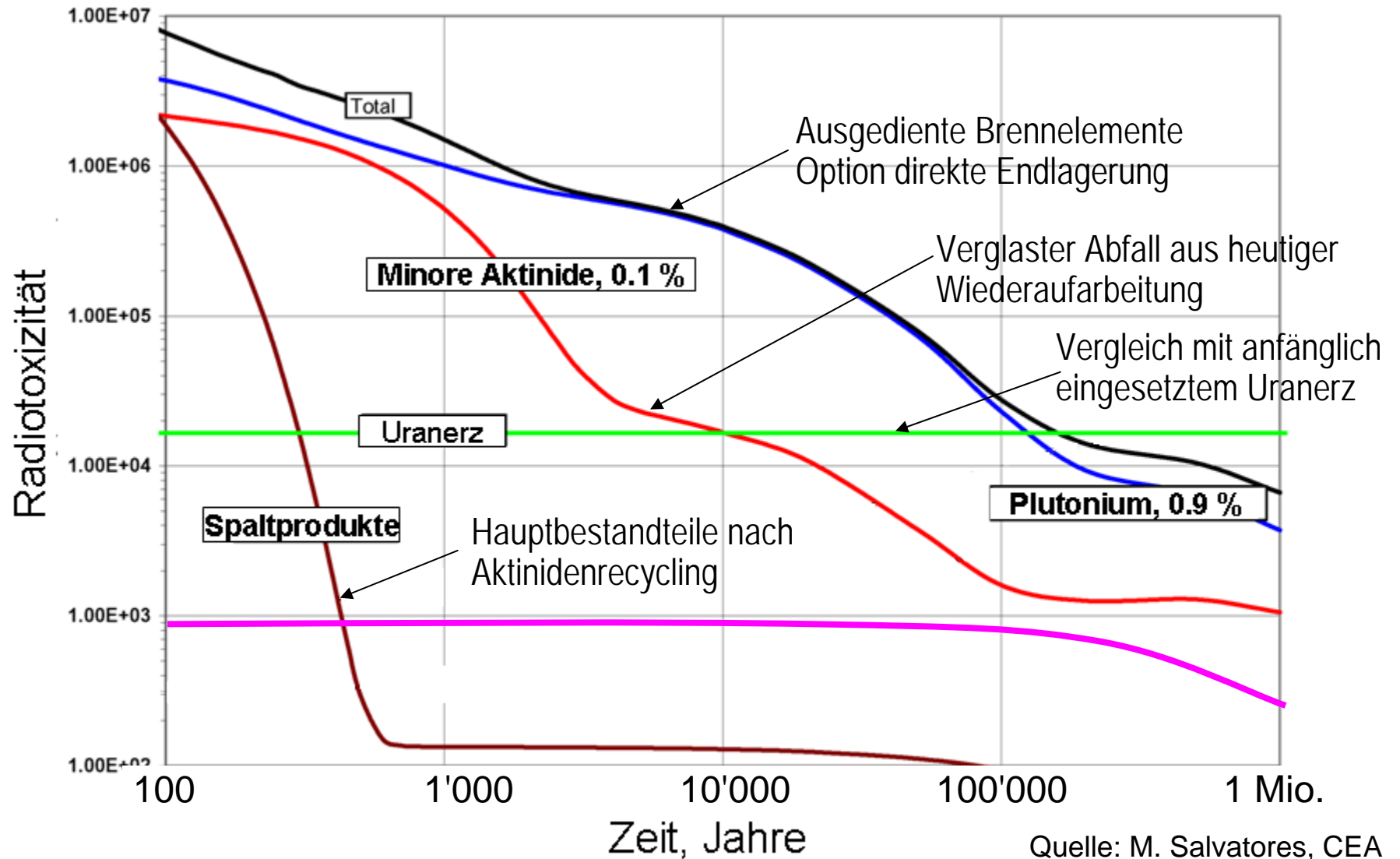
grosse Aktivitätsfreisetzung
Evakuierung
Landverlust



System von Barrieren auch bei der geologischen Tiefenlagerung

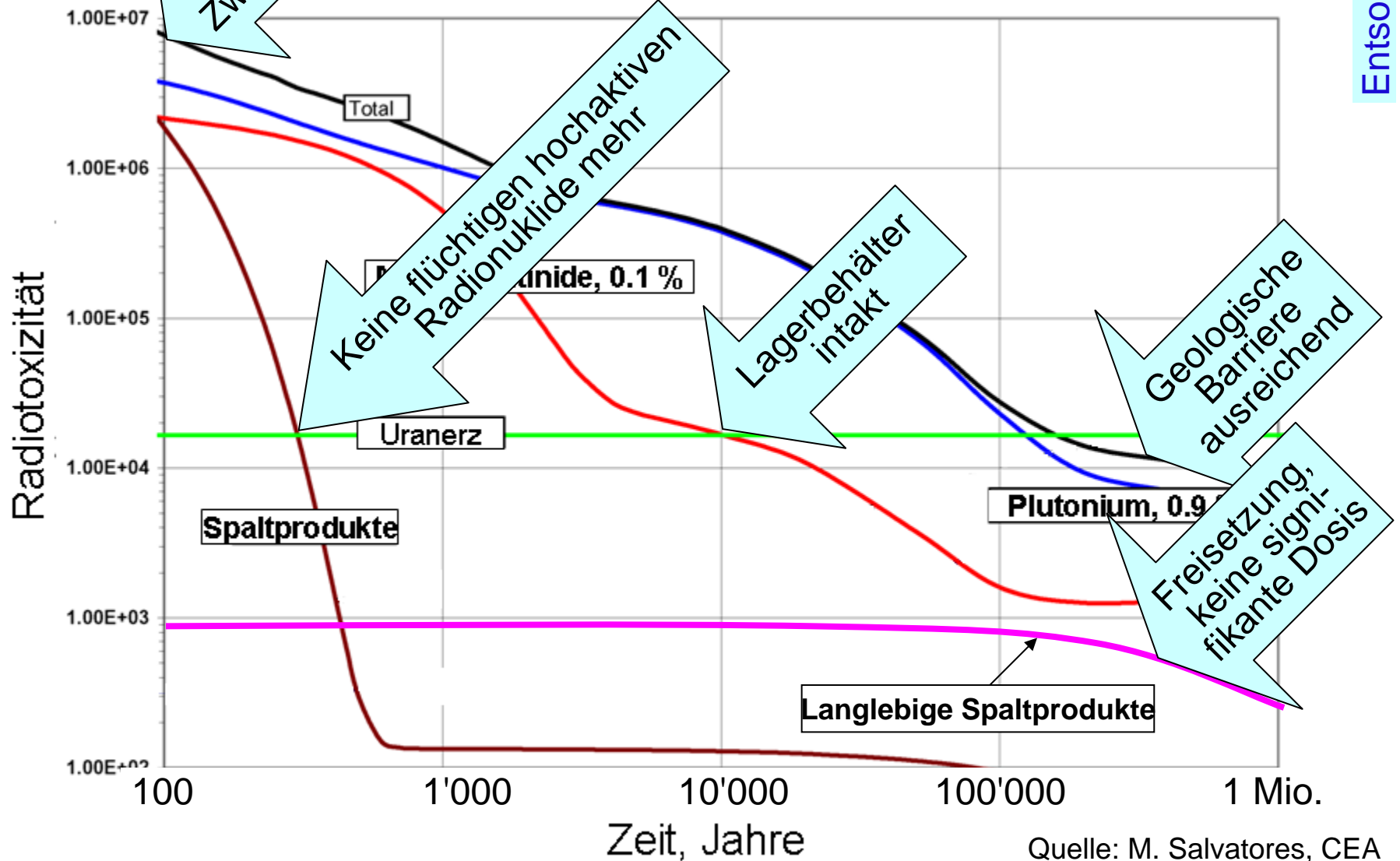


Inventar im geologischen Tiefenlager

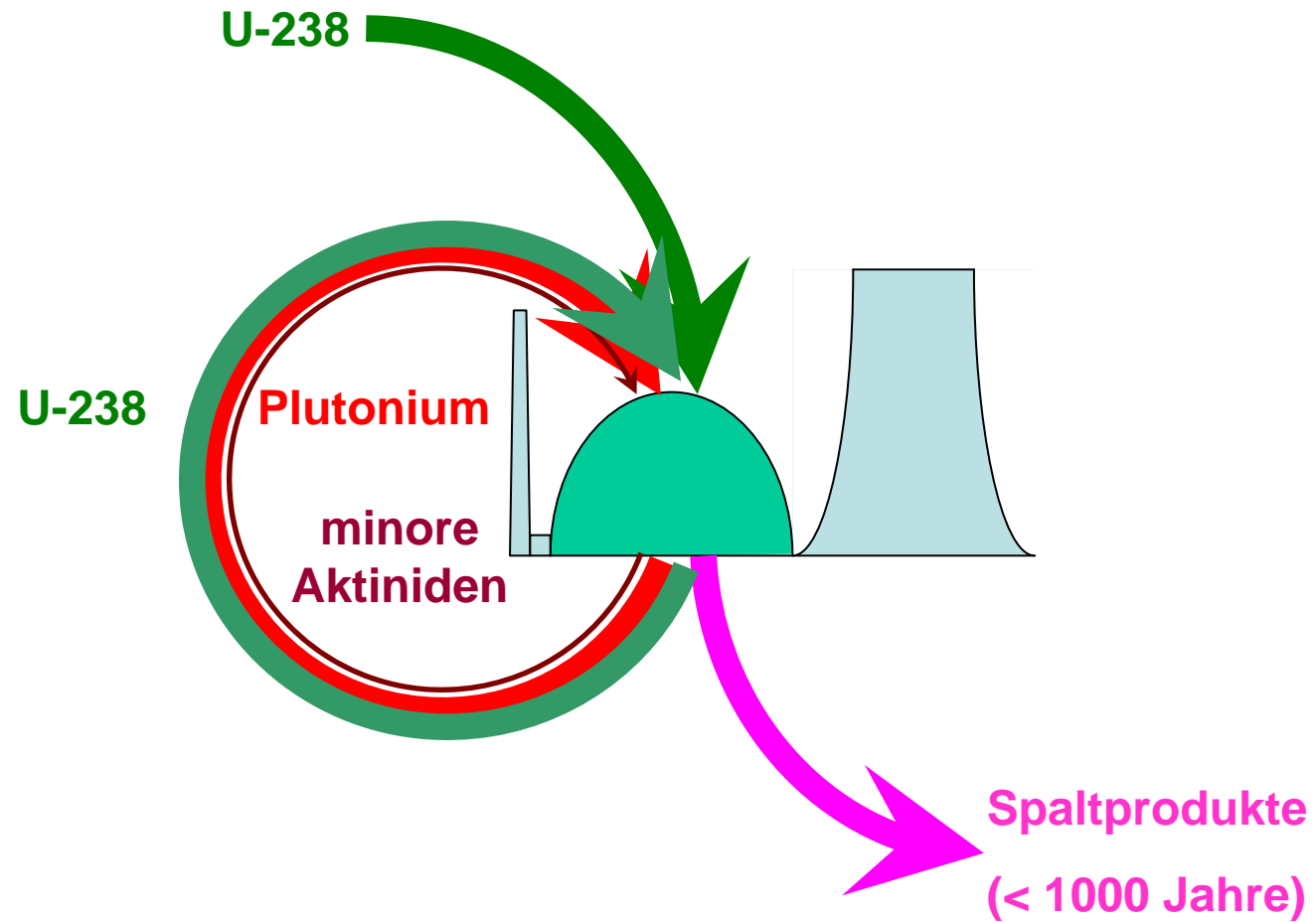


Multiple Barrieren im geologischen Tiefenlager

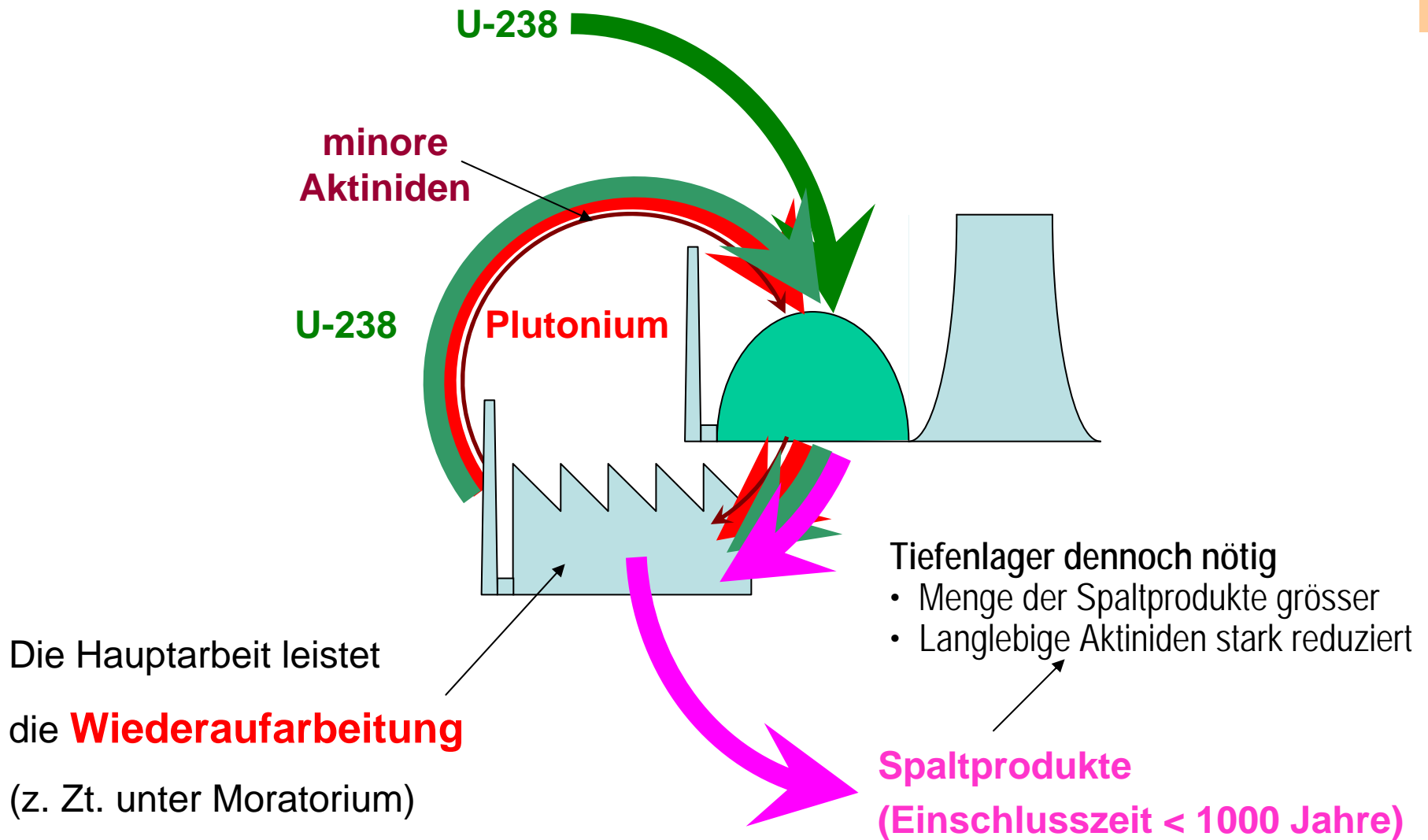
Entsorgung



Gen- IV: Brennstoffkreislauf im Gleichgewicht

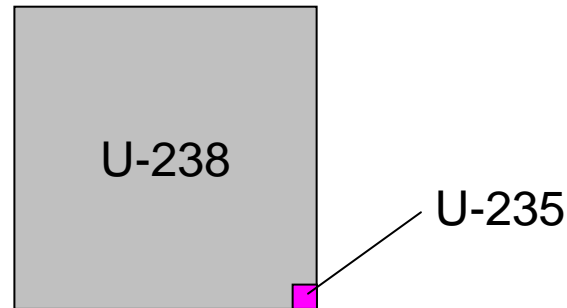


Gen- IV: Rolle der Wiederaufarbeitung (Partitioning)

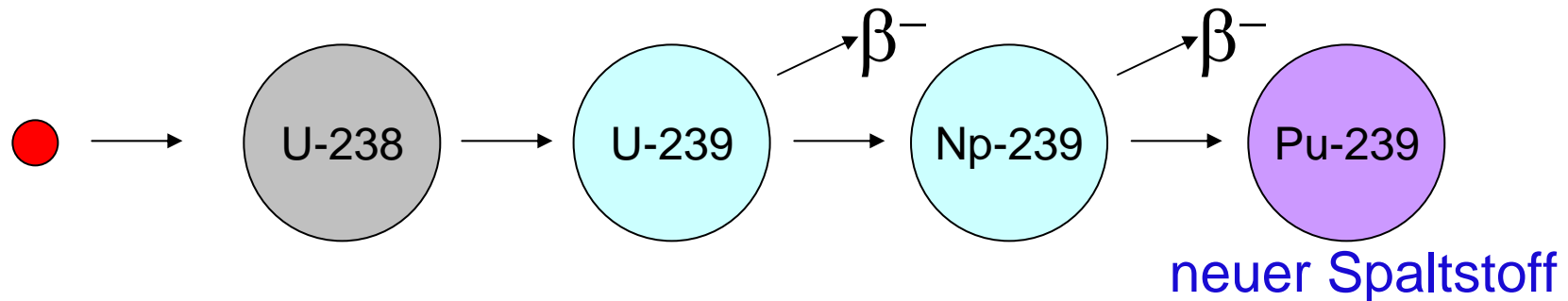


Spaltstofferzeugung durch Konversion / Brüten

Natururan:



Brutprozess:

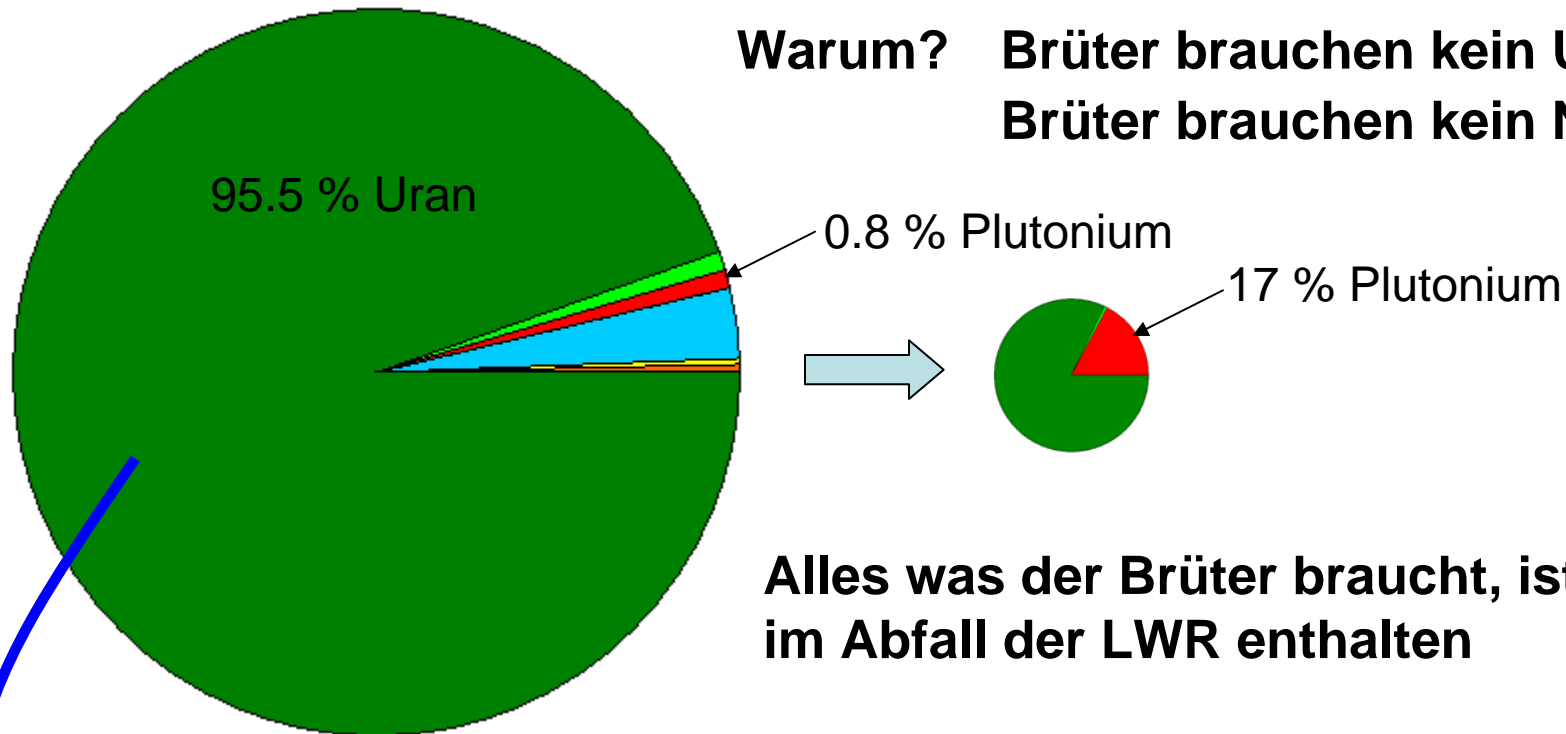


Theoretische Ausbeute: **10'000'000 kWh_{el}/kg U-nat**

Erhöhung der Reichweite des Urans um >2 Größenordnungen

Keine Beeinträchtigung der Nachhaltigkeit durch den Betrieb von thermischen Reaktoren

**Warum? Brüter brauchen kein U-235!
Brüter brauchen kein Natururan!**



**Alles was der Brüter braucht, ist (erst!)
im Abfall der LWR enthalten**

**Ausgediente Brennelemente aus dem Lebenszyklus eines LWR
enthalten genügend Plutonium für Erstbeladung eines Brutreaktors**

Restliches U-238 reicht für weitere 1000 Jahre Betrieb

Güterabwägung



Voraussetzung:

- Die Konsequenzen aller denkbaren Störfälle können auf die Anlage begrenzt werden

➤ Risiko = Restrisiko

Zukunft = Nuklear + Erneuerbar + Rationeller Energieeinsatz - Fossil