

14) Nukleare Abfallbehandlung (1)

Weltweit akkumulierter nuklearer Abfall aus Kernkraftwerken

| Bis | Abgebrannte Brennelemente / t Spaltmaterial | Plutonium t |
|------|---|-------------|
| 1980 | 37.160 | 144 |
| 1990 | 114.740 | 655 |
| 2000 | 221.960 | 1392 |
| 2010 | 316.250 | (2100) |

Zusammensetzung von Brennelementen vor und nach ihrer Verwendung

| Isotop | Brennstoff | |
|------------------------------------|------------|-------------------|
| | vor % | nach Verwendung % |
| ^{235}U | 3,3 | 0,81 |
| ^{236}U | 0 | 0,41 |
| ^{238}U | 96,7 | 94,50 |
| ^{238}Pu | 0 | 0,02 |
| ^{239}Pu | 0 | 0,53 |
| ^{240}Pu | 0 | 0,24 |
| ^{241}Pu | 0 | 0,11 |
| ^{242}Pu | 0 | 0,04 |
| Spaltprodukte und andere Actinoide | 0 | 3,34 |

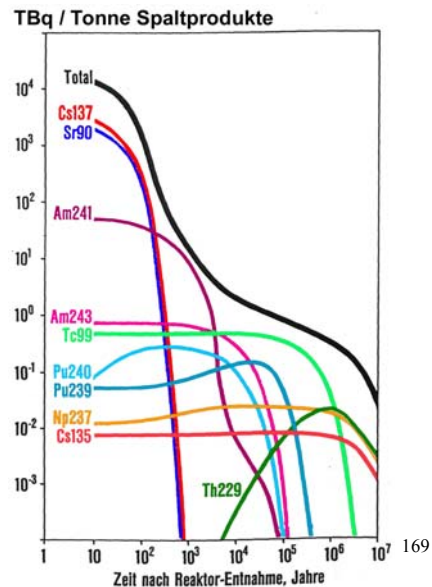
168

14) Nukleare Abfallbehandlung (2)

Kurzzeitproblem

- Spaltprodukte (häufig kurze oder mittlere Halbwertszeiten)
- Starke Hitzeentwicklung → Kühlung erforderlich
- Aktivität der Spaltprodukte wird innerhalb eines Jahres ungefähr halbiert
- Lagerung in einem Wasserbassin im Reaktor

Langzeitproblem



169

14) Nukleare Abfallbehandlung (3)

Abfallstrategien

Wiederaufarbeitung

- Reduktion der Menge hochradioaktiven Abfalls
- Rückgewinnung und Wiederverwendung von Kernbrennstoff
- Abtrennung und Verwendung von Plutonium
- Abfalltrennung nach Gefahrenpotential ist möglich
- Transmutationsreaktionen werden ermöglicht (Abfall mit langer Halbwertszeit in solchen mit kürzerer)
- **High-tech-Prozess**

Endlagerung

- Entsorgung abgebrannter Brennelemente (Salzstöcke, Granit, Ton)
- Ziel: Ausschluss des Wiedereintritts radioaktiver Stoffe in die Biosphäre
- Verschiedene Sicherheitsvorkehrungen sind nötig
- Langzeitsicherheit muss gewährleistet sein
- Migrations- und Laugungsprozesse, Korrosionsverhalten des Containermaterials müssen berücksichtigt werden

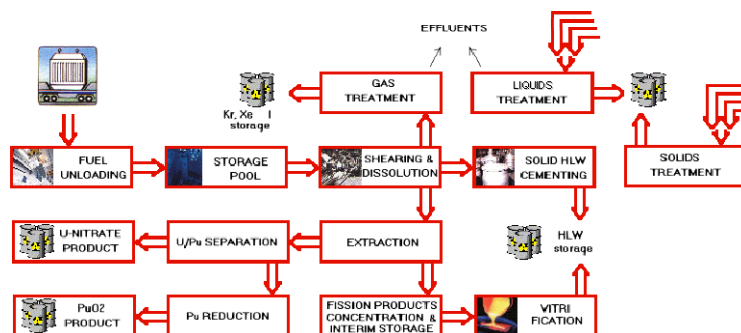
170

14) Nukleare Abfallbehandlung (4)

Abfallstrategien

Wiederaufarbeitung

- Rückgewinnung nicht abgebrannten Kernbrennstoffs
- Auflösung der Brennelemente in HNO_3 und Extraktion von Uran und Plutonium vom Rest der Lösung (z.B. im PUREX-Prozess)

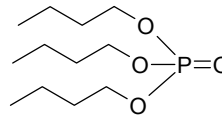
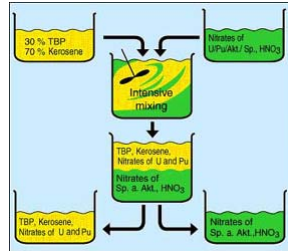


14) Nukleare Abfallbehandlung (5)

Abfallstrategien

Wiederaufarbeitung – PUREX-Prozess)

- Flüssig/Flüssig-Extraktion von Uran und Plutonium aus abgebrannten Kernbrennstäben
- Extraktion im System Kerosin/-Tributylphosphat/H₂O/HNO₃
- Trennung von Uran und Plutonium durch Reduktion von Pu und Reextraktion



Tributylphosphat

172

14) Nukleare Abfallbehandlung (6)

Abfallstrategien

Wiederaufarbeitung – PUREX-Prozess

Radioaktiver Abfall pro Tonne Uran

| | | |
|-------------------|---|--|
| 1 m ³ | Hochradioaktiver Abfall (0.1 m ³ nach Weiterverarbeitung) | > 10 ¹⁴ Bq/m ³ |
| 3 m ³ | Mittelradioaktiver organischer Abfall (0.2 m ³ nach Weiterverarbeitung) | 10 ⁹ – 10 ¹⁴ Bq/m ³ |
| 17 m ³ | Mittelradioaktiver wässriger Abfall (8 m ³ nach Weiterverarbeitung) | 10 ⁹ – 10 ¹⁴ Bq/m ³ |
| 90 m ³ | Niedrigradioaktiver Abfall (3 m ³ nach Weiterverarbeitung) | < 10 ⁹ Bq/m ³ |

- Abklingen der hochradioaktiven Spaltprodukte durch Lagerung
- Überführung in eine chemisch geeignete Form (pH-Wert, Redoxchemie, Hydrolyseverhalten)
- Konditionierung (Calcinierung, Verglasung)
- Endlagerung

173

14) Nukleare Abfallbehandlung (7)

Abfallstrategien

Endlagerung

- verschiedene Konzepte in Abhängigkeit von der geologischen Situation
- **Kriterien:** geographische Situation, Seismische Situation, Tektonische Situation, Hydrogeologie, Infrastruktur, Rohstoffsituation
- **Ziel:** Verhinderung des Eintritts in die Biosphäre **für immer**
- **Realisierung:** Multibarrierensystem (geologische Barrieren, geotechnische Barrieren, technische Barrieren)

| | Salz | Anhydrit | Granit | Ton | Sediment | Basalt | Tuff |
|-------------|------|----------|--------|-----|----------|--------|------|
| Belgien | | | | X | | | |
| Dänemark | X | | | | | | |
| Deutschland | X | | X | | X | | |
| England | | X | X | X | | | |
| Schweiz | | X | | | X | | |
| Japan | | | X | | | | |
| Kanada | | | X | | | | |
| Schweden | | | X | | | | |
| USA | X | | X | | | X | X |