

Antonio Hurtado, Frances Zedler, Wolfgang Lippmann

Nukleare Stromerzeugung

Einordnung in die EU Taxonomie sowie aktuelle Technologieentwicklungen

13. Sächsisches Fachsymposium ENERGIE, Dresden // 09. Mai 2022

Was meint EU Taxonomie?

Einordnung von Wirtschaftstätigkeiten zur Ermittlung des Grads der ökologischen Nachhaltigkeit einer Investition

Übergeordnete Bewertungskriterien

- Wesentliche Beiträge zur Verwirklichung eines oder mehrerer der Umweltziele
- Keine erhebliche Beeinträchtigung eines oder mehrerer der Umweltziele
- Einhaltung des festgelegten Mindestschutzes
- Erfüllung von technischen Bewertungskriterien (von der Kommission festgelegt)

Umweltziele

- Klimaschutz
- Anpassung an den Klimawandel
- nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen
- Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft
- Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
- Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme

EU Taxonomie

Umweltziele im Energiesektor

Technologie vs. Umweltziel	Klimaschutz	Anpassung an den Klimawandel	Schutz von Wasserressourcen	Kreislaufwirtschaft	Vermeidung von Umweltverschmutzung	Biodiversität
Bioenergie	✓	✓				
erneuerbare, nicht-fossile gasförmigen und flüssige Brennstoffe	✓	✓				
Geothermie	✓	✓				
Herstellung von Biogas und Bio-Kraftstoffen	✓	✓				
Kraft-Wärme-Kopplung	✓	✓				
Photovoltaik	✓	✓				
Solarthermie	✓	✓				
Speicherung von Elektrizität , thermischer Energie, Wasserstoff	✓	✓				
Wasserkraft	✓	✓				
Wärme- & Kälteversorgung	✓	✓				
Wärmepumpen	✓	✓				
Windkraft	✓	✓				
Übertragung und Verteilung von Elektrizität und Gasen	✓	✓				

keine gesonderten Kriterien z. B. für Photovoltaik, Windkraft und e-Mobilität

EU Taxonomie

Beispiel: **e-Mobility**

- Einsatz von wertvollen Materialien wie Kupfer, Lithium, Neodym sowie Seltene Erden
- In einem Fahrzeug mit einer Leistung von 50 kW (68 PS) sind
 - 45 kg Kupfer,
 - 7,5 kg Kobalt und
 - 7,5 kg Lithium enthalten

Im Rahmen der weltweiten Rohstoffveredelung entfallen auf China

- Nickel: 35 %
- Lithium 58 %
- Kobalt: 65 %
- Seltene Erden: ca. 90 %



Lithiumabbau in Antofagasta, Chile

EU Taxonomie

Anforderungen an Kernkraftwerke

- Baugenehmigung bis 2045
- Vorhandensein von Fonds für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und für die Stilllegung von Kraftwerken
- Dokumentierter Plan des Staats mit detaillierten Schritten für den Betrieb eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle ab spätestens 2050
- Nutzung der beste verfügbare Technologie in neuen Anlagen
- Durchführung aller wirtschaftlich sinnvollen Sicherheitsverbesserungen in bestehenden Kraftwerken
- Nutzung von accident-tolerant fuels (unfalltolerante Brennstoffe) in neuen und bestehenden Kraftwerken ab 2025
- Maximal 100 g CO₂-äquivalent /kWh für die Energiebereitstellung

Derzeitige Entwicklungen – SMR (300 MW_e/Modul)

Charakteristische Eigenschaften

- Flexible Stromerzeugung für ein breiteres Spektrum von Nutzern und Anwendungen
- Verbesserte Sicherheitseigenschaften durch inhärente und passive Sicherheitsmerkmale
- Optimierte Anfangsinvestitionen
- KWK- und nicht-elektrische Anwendungen

Heutiger Stand (Realität – nicht „PowerPoint“):

Etwa 70 SMR-Entwürfe und –Konzepte in verschiedenen Entwicklungsstadien weltweit

- **5** Einheiten in Betrieb: CNP-300, EGP-6, **HTR-PM**, KLT-40S, PHWR-220
- **3** Einheiten im Bau befindlich: ACP100, ACPR50S, CAREM
- **1** Einheit kurz vor der Lizenzierung: SMART
- **12** Einheiten im Lizenzierungsprozess: ACR-100, BWRX-300, IMSR-400, MMR-5, MMR-10, MOLTEX, NuScale, NuScale 720, SEALER, SMR-160, U-Battery HTG, VBER-300, XE-100

SMR – Small Modular Reactors

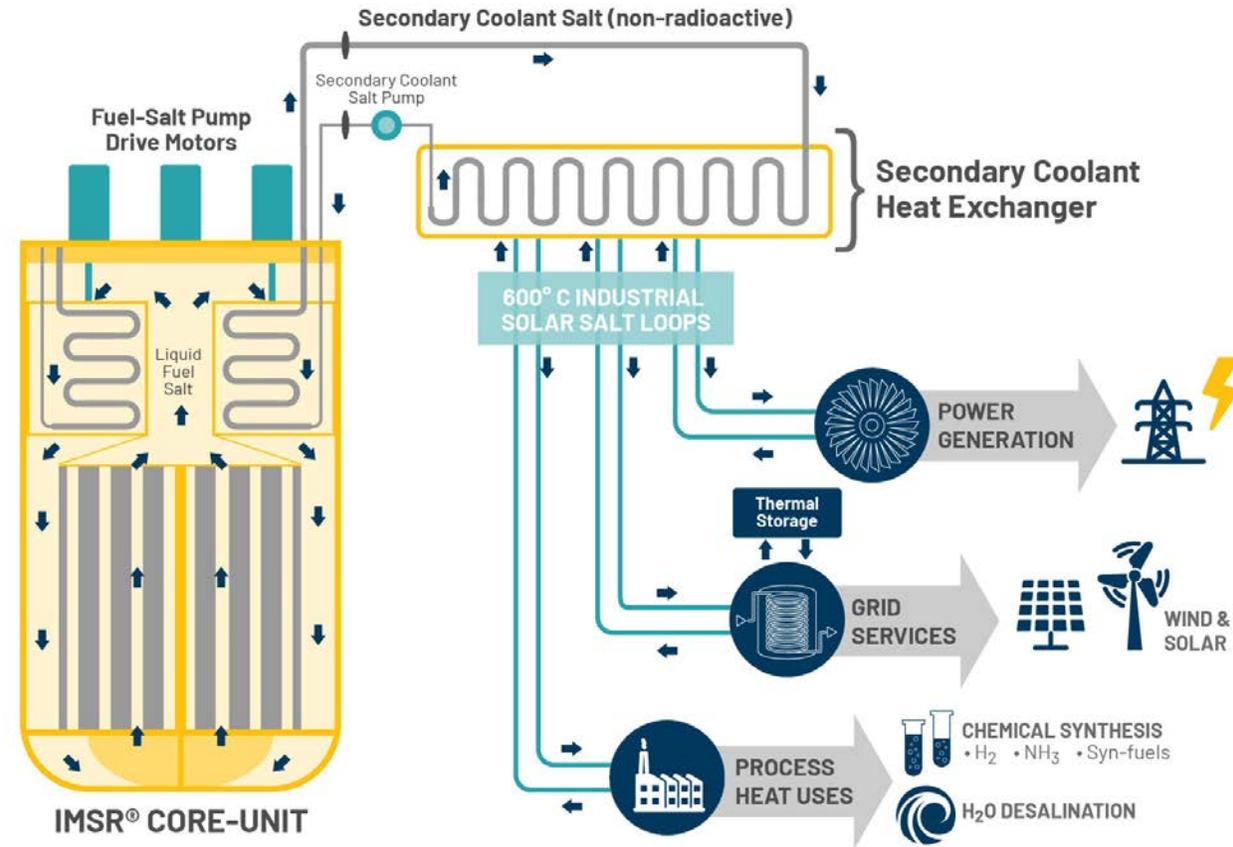
KLT-40S – seit Juni 2020 in Betrieb

Reaktortyp:	Druckwasserreaktor
Spektrum:	thermisch
Leistung:	300 MW _{th} , 70 MW _{el}
Hersteller:	Afrikanov OKB Mechanical Engineering, Russland
spezifische Errichtungskosten	3.500 - 4.000 \$/kW
Stromgestehungs- kosten	5 Cent/kWh
Wärmegestehungskosten	1,7 Cent/kWh
Besonderheiten:	2 x 35 MW _{el} -Reaktoren (je 150 MW _{th}) mit 2 DE <ul style="list-style-type: none">▪ integriert im KKW Akademik Lomonosov

SMR – Small Modular Reactors

Integral Modular Salt Reactor-400

Reaktortyp:	Salzschmelze-Reaktor
Spektrum:	thermisch
Kühlmittel/ Moderator	Fluoridsalz/ Graphit
Leistung:	400 MW _{th} , 194 MW _{el}
Hersteller:	Terrestrial Energy, Kanada
spezifische Errichtungskosten	4.100 \$/kW
Stromgestehungs- kosten	5 Cent/kWh
Wärmegestehungs- kosten	2,2 Cent/kWh
Besonderheiten:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vorlizensiert, Phase 2 läuft derzeit ▪ Bau in Kanada bereits geplant

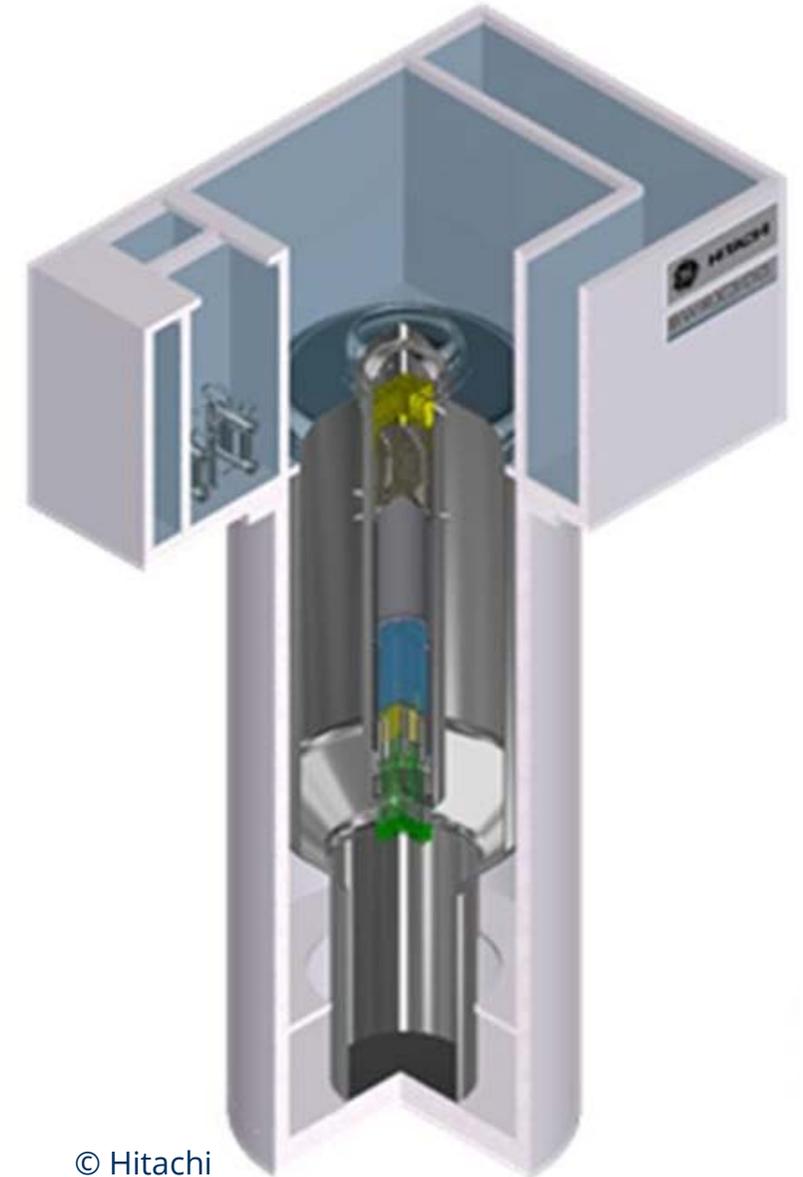


© Terrestrial Energy

SMR – Small Modular Reactors

BWRX-300

Reaktortyp:	Siedewasserreaktor
Spektrum:	thermisch
Kühlmittel/ Moderator	Wasser/Wasser
Leistung:	870 MW _{th} , 300 MW _{el}
Hersteller:	Hitachi, USA & Japan
spezifische Errichtungskosten	2.250 \$/kW
Stromgestehungskosten	3,5 - 5 Cent/kWh
Besonderheiten:	<ul style="list-style-type: none">▪ vorlizensiert, Phase 2 läuft▪ geplanter Bau am KKW Darlington, Kanada; Fertigstellung in 2028▪ Bestellung von 10 Modulen durch Synthos Green Energy, Polen▪ geplanter Bau in Schweden (Kärnfull Future AB)

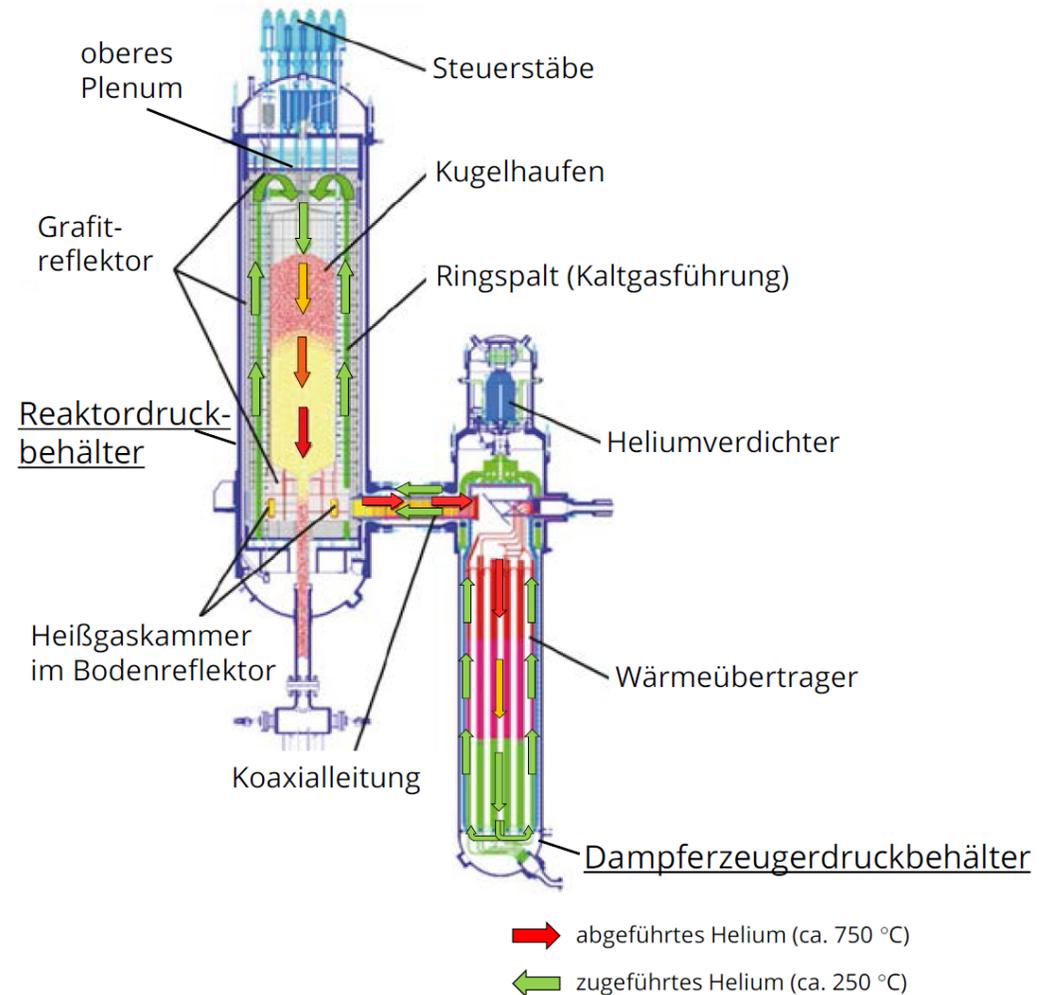


© Hitachi

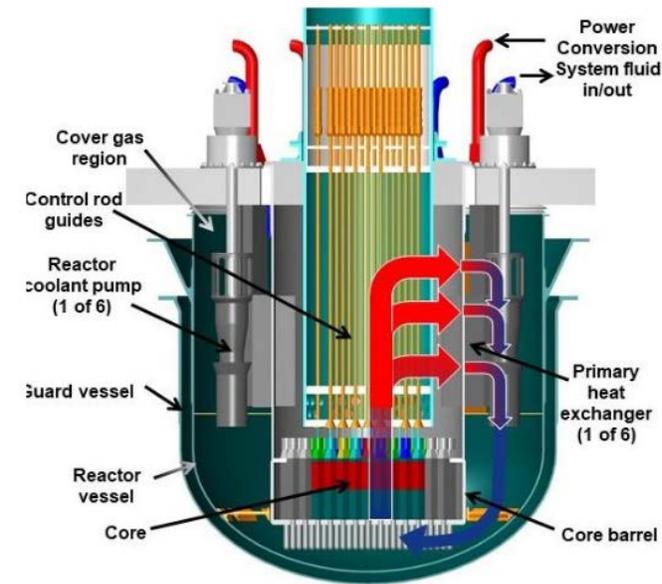
SMR – Small Modular Reactors

HTR-PM als GEN IV-Reaktortyp

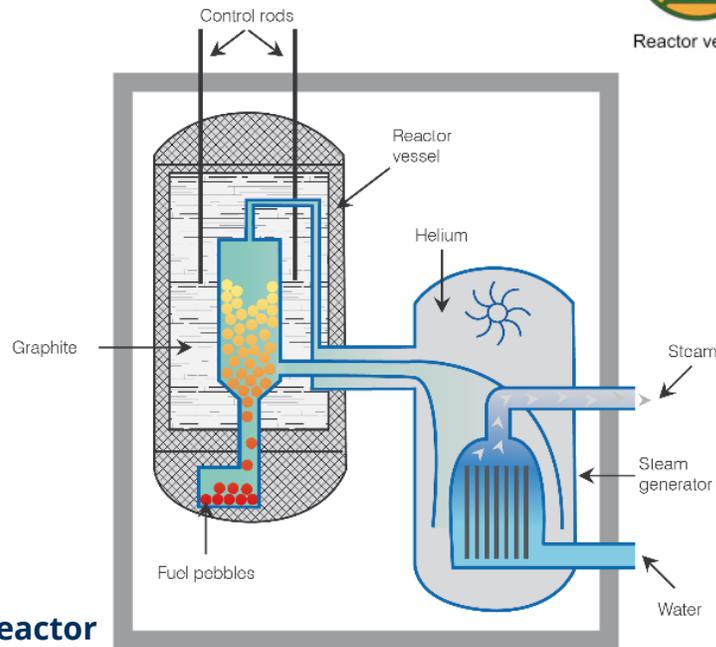
Reaktortyp:	Hochtemperaturreaktor
Spektrum:	thermisch
Kühlmittel/ Moderator	Helium/Graphit
Leistung:	500 MW _{th} , 211 MW _{el}
Hersteller:	Tsinghua University, China
spezifische Errichtungskosten	2.600 \$/kW
Stromgestehungskosten	2,5 Cent/kWh
Besonderheiten:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inhärenter Kugelhaufen-HTR ▪ in Betrieb 2021 ▪ weitere 14 Einheiten am Standort vorgesehen ▪ Thorium als Brennstoff



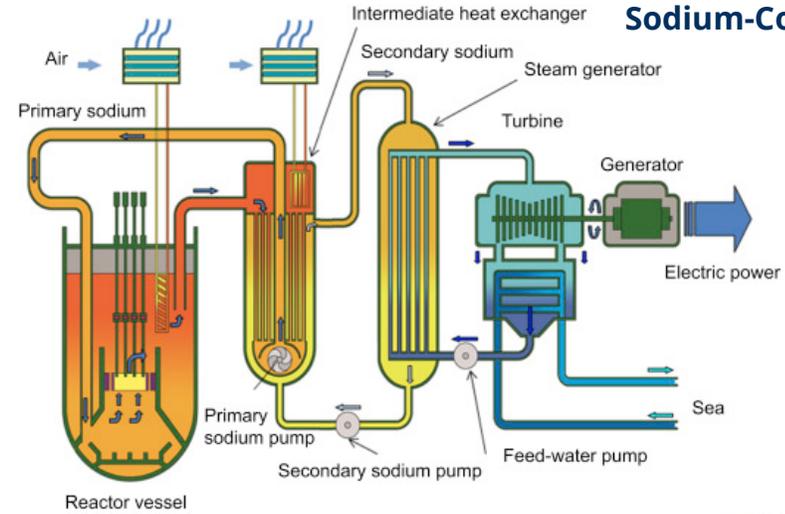
Kernreaktoren der Generation IV



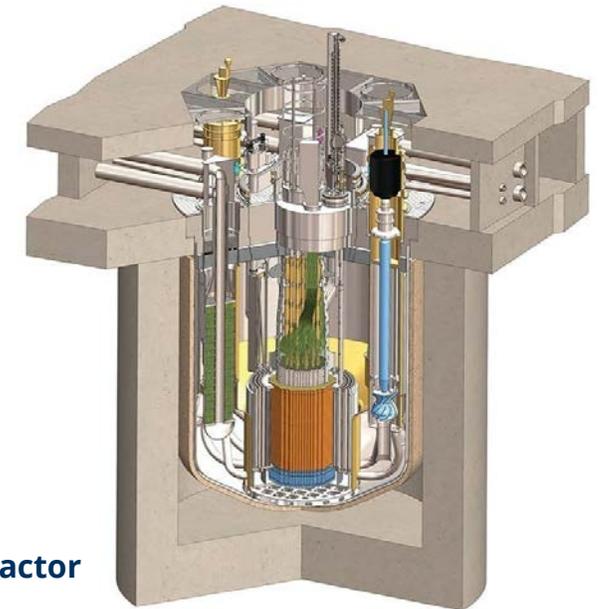
Lead-Cooled Fast Reactor



Very High Temperature Reactor

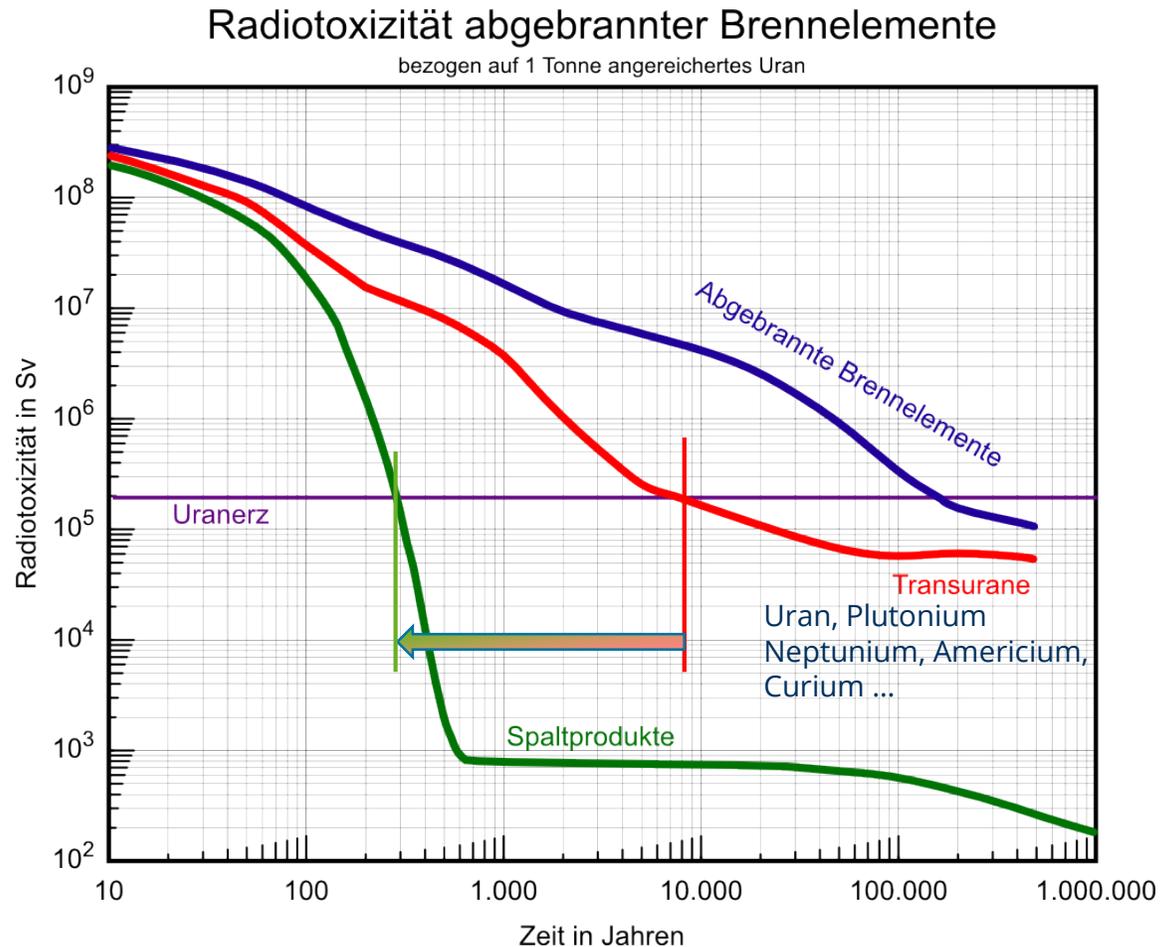


Sodium-Cooled Fast Reactor



Molten Salt Reactor

Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen

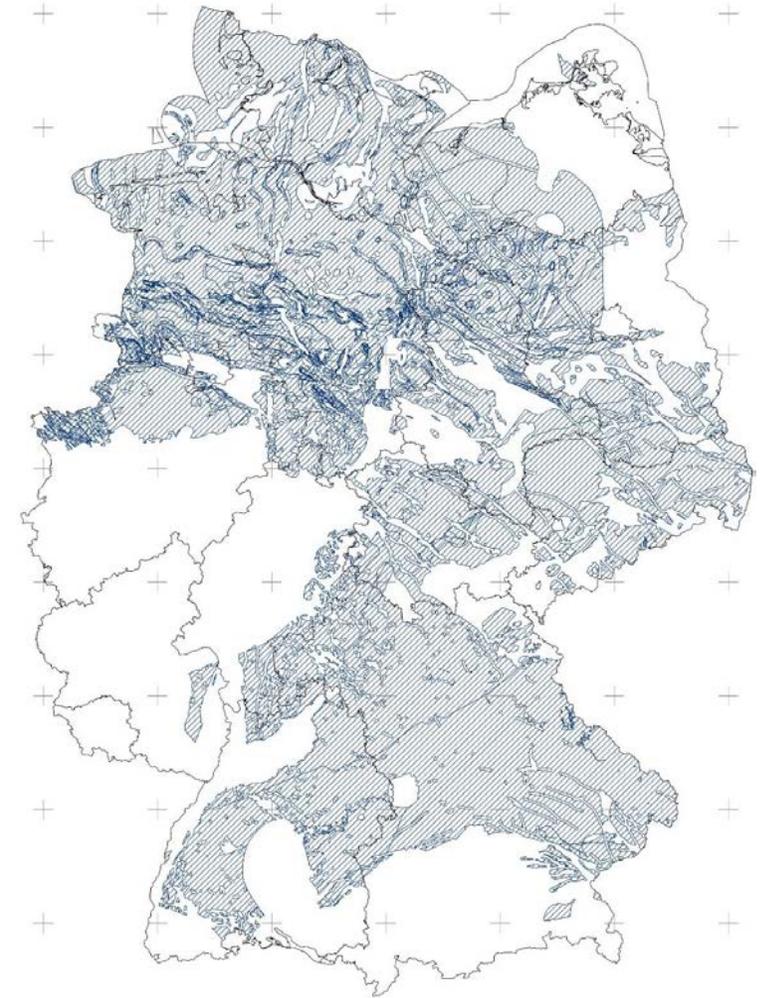


- Wiederverwendung von majoren Actiniden durch **Wiederaufbereitung** von abgebranntem Brennstoff
- Umwandlung von minoren Actiniden in kurzlebigerere Spaltprodukte durch **Transmutation**
- Nutzung von Transuranen als Brennstoff in **Reaktoren mit einem schnellen Neutronenspektrum**

Endlagerung radioaktiver Abfälle

Überblick zur Standortsuche für ein Endlager in Deutschland

- Bis 2031 soll ein Standort für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle gefunden sein
- Das Standortauswahlverfahren verläuft in drei Phasen
 - **Phase I:** Teilgebiete und Vorschlag für Standortregionen
 - ✓ Schritt 1: Bestimmung von Teilgebieten mit günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle
 - Schritt 2: Festlegung der Standortregionen für die übertägige Erkundung anhand von repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU)
 - **Phase II:** übertägige Erkundung
 - **Phase III:** untertägige Erkundung
- Standortvorschlag und -entscheidung



Übersichtskarte der Teilgebiete, © Bundesgesellschaft für Endlagerung

Beitrag der Kernenergie zur Klimaneutralität

Anforderungen an Kernkraftwerke

Entsorgung von hochradioaktiven Abfällen

Plan für den Betrieb eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle ab spätestens 2050

Durchführung von wirtschaftlich sinnvollen Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in bestehenden Kraftwerken

Nutzung von accident-tolerant fuels in neuen und bestehenden Kraftwerken ab 2025

Konsequenzen

- Weiterentwicklung von Technologien zur Vermeidung und Behandlung von Abfällen
- Weiterentwicklung und Betrieb von Reaktoren mit schnellem Spektrum
- Klärung zur Rückholbarkeit von hochradioaktiven Abfällen
- Entscheidung über Endlager
- Zunehmende Implementierung von passiven Sicherheitssystemen
- Neue Kraftwerke sind so auszulegen, dass sie modular sind und ein Kernschmelzstörfall physikalisch ausgeschlossen werden kann

Nutzung von vorhandenen Erfahrungswerten (kerntechnisches Know how) für das Erreichen nationaler und internationaler Nachhaltigkeitsziele

Es darf nicht zu einer Tabuisierung in Wissenschaft, Forschung und Lehre kommen. Die Freiheit von Wissenschaft, Forschung und Lehre ist in Deutschland gemäß Artikel 5, Absatz 3 des Grundgesetzes als Grundrecht geschützt. Diese Eigenschaften sind inhärent, repräsentieren das Wesen unserer Demokratie und dürfen politisch nicht eingeschränkt werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!