

RC-12



6.4 Nukleare Endlagerung (Tiefenlagerung)

Ziel der Endlagerung

- **Verhinderung, dass aus dem Abfall stammende Radionuklide in die Biosphäre gelangen, bevor ihre Radioaktivität auf unbedenkliche Konzentrationen abgeklungen ist.**
(auch eingebrachte „konventionelle Stoffe mitbetrachten!)

Endlager = Geologisches Tiefenlager

Rahmenbedingungen auf dem Weg zum Nuklearen Endlager

- **Ergebnisoffene Standortsuche**

2013 „Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (Endlagersuchgesetz)“

- **Evaluierung des Gesetzes durch 33 Mitglieder der Endlagerkommission bis 2016**

- **Anfang 2017 Bundestag/Bundesrat „Grünes Licht“ für tatsächliche Standortsuche**

- **Organisation der Standortsuche durch das dem BMU unterstellte „Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)“**

- **„Bundesamt für kerntechnische Entsorgung (BfE)“ ist die Regulierungsbehörde für das Standortauswahlverfahren und auch später für die Planfeststellung und Genehmigung von Endlagern**

- **Bildung einer „Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ nach Standortauswahlgesetz (in 2014)**

Betriebsbereites Endlager ca. 2050 ?

Relevante Forschungsaktivitäten

- Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen für ein Endlager
Entwicklung erforderlicher Methoden und Techniken,
- Endlagerbezogene Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft
und Technik auf diesem Gebiet
- derzeit verstärkte wirtsgesteinsübergreifende Forschungstätigkeit,
standortunabhängig, technische, chemische, physikalische, biologische
Daten
- Betrachtung längerer Zwischenlagerzeiten des Nuklearmaterials
(Brennelemente bzw. verglaste Spaltprodukte in Castoren)



Prozessverständnis

„Atommüll“

Radioaktiver Abfall:

jegliche radioaktiv kontaminierte, bei Betrieb und Abbau von Kernanlagen und den Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallenden Reststoffe, die nicht dekontaminierbar und damit nicht wiederverwendbar sind.

- aktivierte, bzw. kontaminierte Bauteile von Reaktoren, Kernanlagen und Produktionsanlagen für radioaktive Isotope
- anfallende radioaktive Abfälle aus nuklearmedizinischer, industrieller und forschungsseitiger Anwendung
- konzentrierte Prozessabfälle bei der Urangewinnung und Aufarbeitung

Nuklearer Abfall:

- abgebrannte Brennelemente der Reaktoren
- radioaktive Prozessabfälle (Glaskokillen), die bei der Wiederaufbereitung von Brennelementen entstehen

Herausforderung Zwischenlagerung

- derzeit keine zentrale Zwischenlagerung von radioaktiven und nuklearen Abfällen
- Zeitliche Ausdehnung der Zwischenlagerung Nuklearer Abfälle
- gesetzliche Neuordnung der Dauer einer „Zwischenlagerung“ juristisch und fachlich erforderlich
- Untersuchungsmöglichkeiten (technologische Anlagen und Analytik) für in Containern gelagerte Brennelemente und Kokillen bereithalten
- Bund muss erforderliche Mittel für die Lösung des Endlagerproblems zeitlich gestrafft zur Verfügung stellen
- Fokussierung der Mittel auf Lösung der Direkten Endlagerung
- derzeit werden radioaktive Abfälle an ca. 50 Standorten in D. aufbewahrt
- Entleerung des „Endlagers Asse“, Umlagerung nach Schacht Konrad geplant

Zwischenlagerung von radioaktiven und Nuklearabfällen in D

Radioaktive:

- * in den entsprechenden Landessammelstellen
- * in Großforschungszentren
- * in Tiefenlagern (Asse 47.000 m³, Morsleben 37.000 m³)
- * zukünftig Schacht Konrad 303.000 m³

Nukleare:

- * bei Kernkraftwerken an 18 Standorten
- * in drei externe Zwischenlagern (Ahaus, Gorleben, ZL Nord-Lubmin)



Schacht Konrad Salzgitter

Gns.de



Ahaus:

ca. 370 Stellplätze,
weiterhin Plätze für BE aus Forschungsreaktoren



Gorleben

ca. 420 Stellplätze

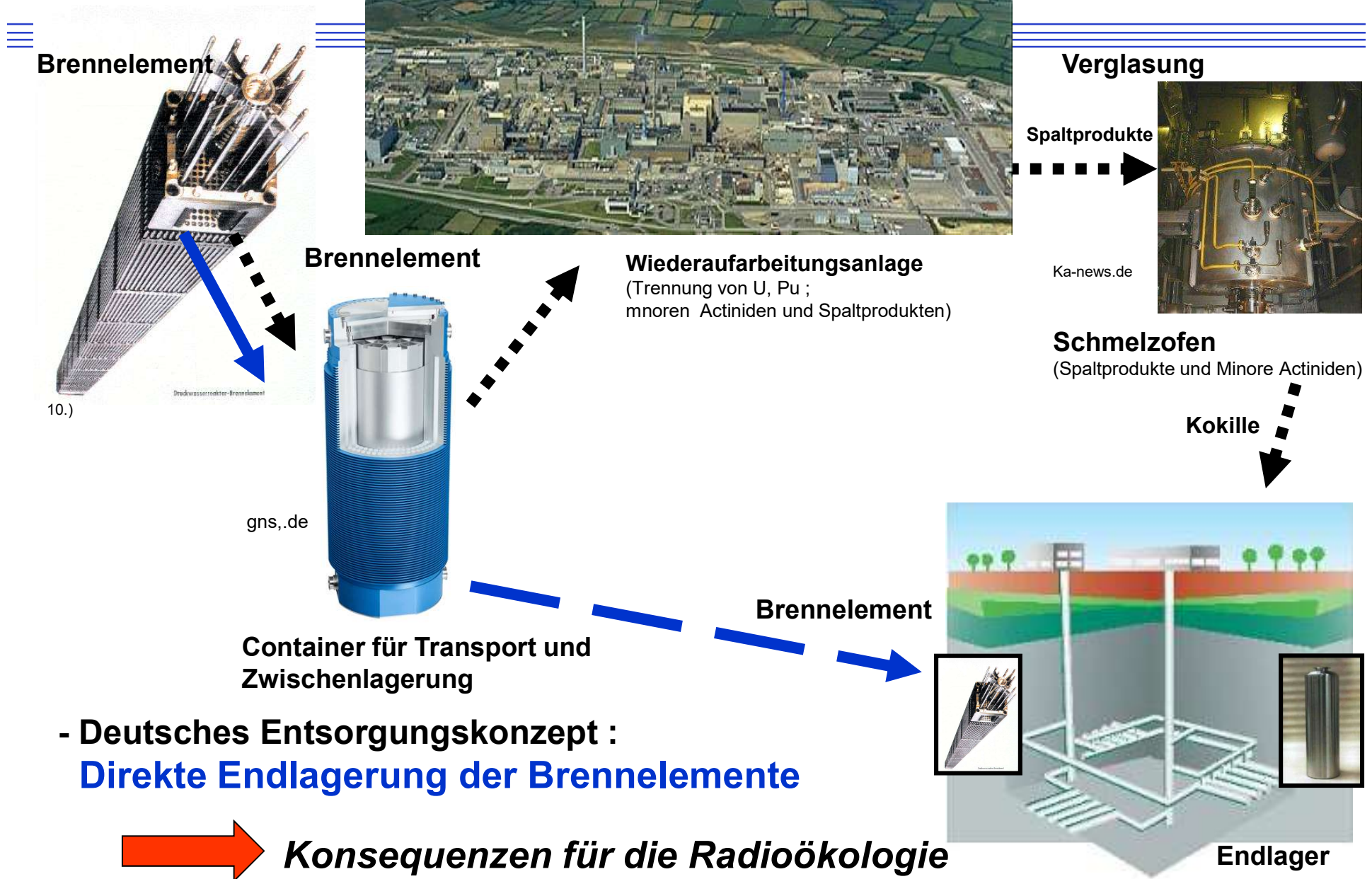


ZL Nord Lubmin

ca. 80 Stellplätze

Weg der Brennelemente (Wdh., Überblick)

<http://www.aveva.com>



Entsorgung im Tiefenlager

- Wo, wie kann man „Tiefenlagern“?

Welche Gesteins- (Wirts-) Formationen kommen in Frage?

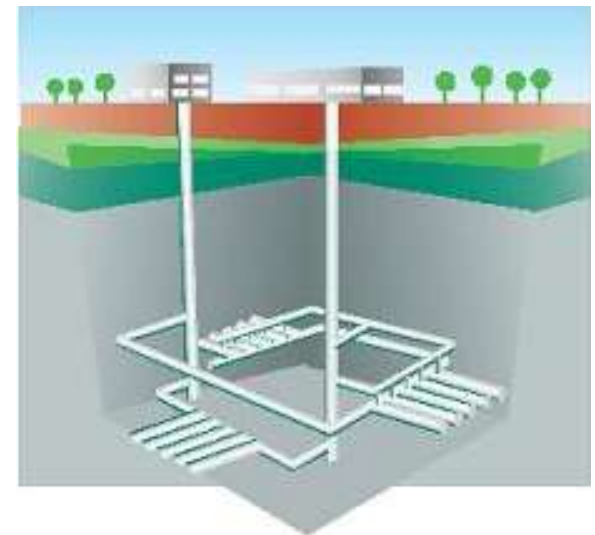
Welche Technik muss vorhanden sein?

Was muss erforscht werden?

Welche Anforderungen an den Standort?

- Beispielskriterien für die Standortauswahl:

- * Geographie
- * Regionalgeologische Verhältnisse
- * Tektonik
- * Hydrogeologie
- * Wirtsgesteinseigenschaften
- * Seismizität
- * Rohstoffvorkommen, Bergbau, Infrastruktur...



Potenzielle Wirtsgesteine

Mögliche Wirtsgesteine:

- Salz
- Ton/Tonstein
- Kristallines Gestein

Generell ist in jeder dieser Formationen eine sichere Tiefenlagerung möglich.

Da keine globale/europäische Lösung der Endlagerung möglich, bleibt die Endlagerung von Nuklearen Abfällen in Landeshoheit.

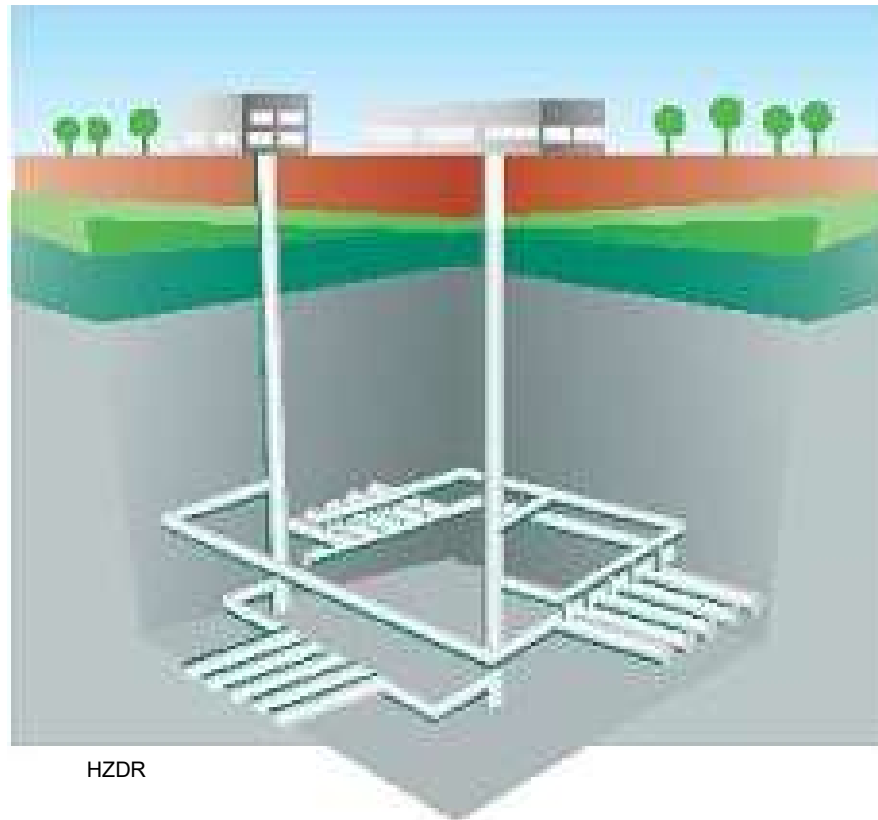
- In D. ist der Bund verantwortlich!
- Deutschland hat den Vorteil, dass die drei Wirtsgesteine auf dem Territorium vorhanden sind.
- Andere Länder (z.B. Finnland, Schweden, Frankreich ...) haben nicht diese 3 allgemeinen Optionen

Vergleich potenzieller Wirtsgesteine

Eigenschaften	Steinsalz	Ton/Tonstein	Kristallingestein
Temperatur - leitfähigkeit	hoch	gering	mittel
Durchlässigkeit	praktisch undurchlässig	sehr gering - gering	sehr gering - durchlässig
Festigkeit	mittel	gering bis mittel	hoch
Verformungsverhalten	viskos (Kriechen)	plastisch – spröde	spröde
Hohlraumstabilität	Eigenstabilität	Ausbau notwendig	hoch - gering
In-situ Spannungen	isotrop	anisotrop	anisotrop
Lösungsverhalten	hoch	sehr gering	sehr gering
Sorptionsverhalten	sehr gering	sehr hoch	mittel – hoch
Temperatur-belastbarkeit	hoch	gering	hoch

Endlager- Mindestanforderungen

- **Teufe mind. 300 m**
- **Endlager darf nicht tiefer als 1500 m liegen**

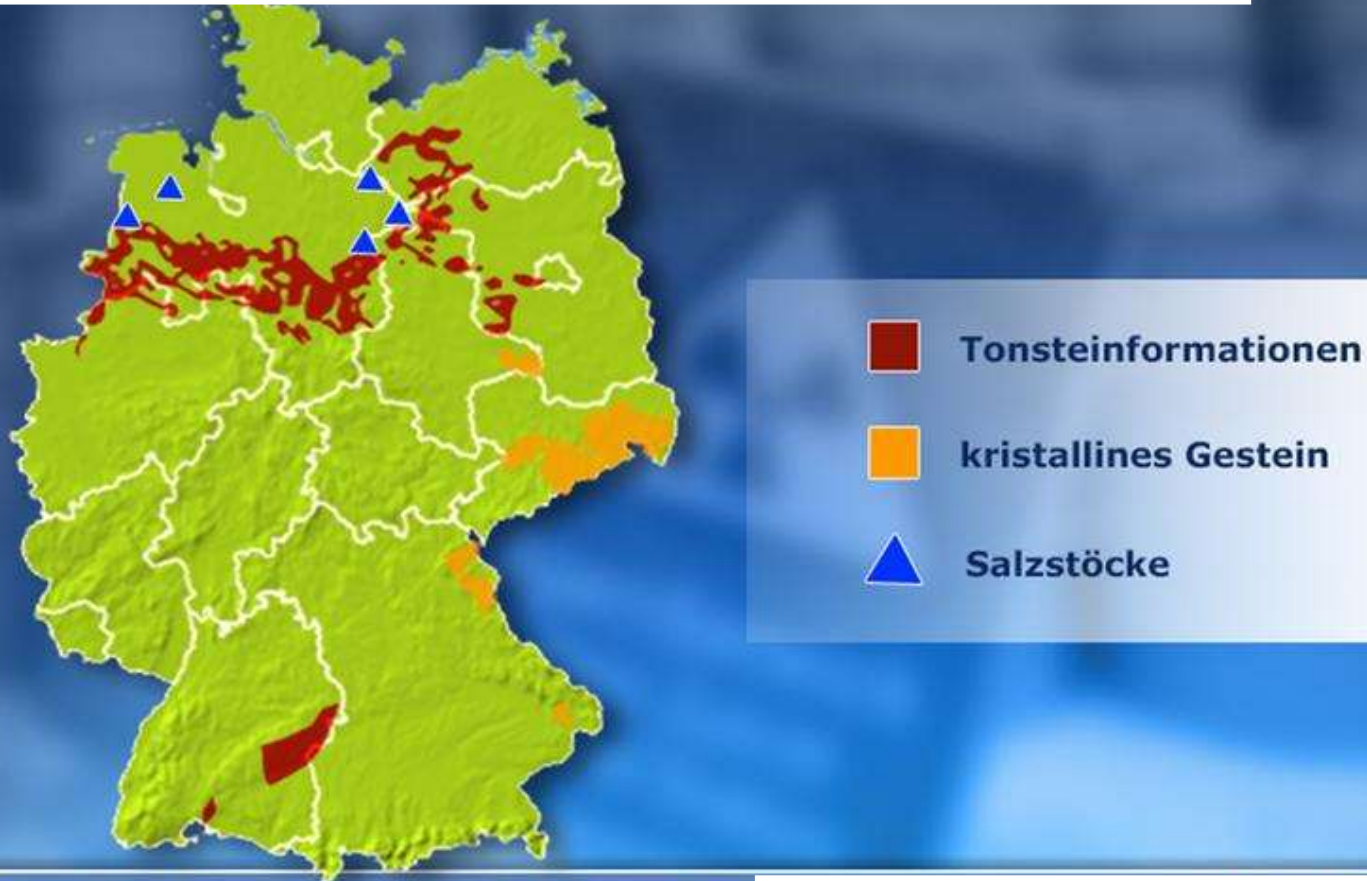


Einschlusswirksamer Bereich muss mind. 100 m mächtig sein

Durchlässigkeit im einschlusswirksamen Gebirgsbereich kleiner als 3 mm/a

Quelle: Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte

Untersuchungswürdige Gesteinsformationen, D.



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

- Bisher D:

Erkundung Standort Gorleben, Salz

Technische und wissenschaftliche Mitarbeit in Untertagelaboren:

Schweden: UTL Äspö, Granit

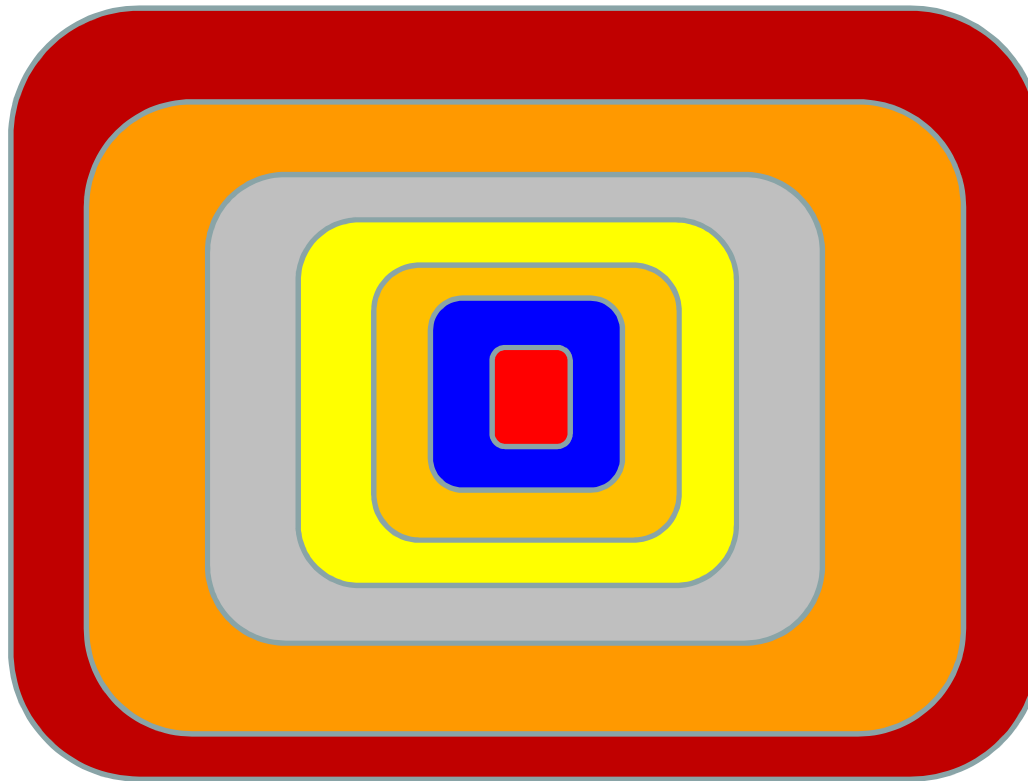
Schweiz: UTL Mont Terri, Tonstein; UTL Grimsel, Granit

Multibarrierenkonzept bei der Endlagerung nuklearer Abfälle



Prinzip:

- Rückhaltung der Radioaktivität durch die unterschiedlichen Barrieren
- Szenario ... Wassereinbruch
- Barrieren haben unterschiedliche, abgestufte Wirksamkeit



Abfallzusammensetzung
Abfallform
Verpackung
Versatzmaterial
Abschlussbauwerke
Wirtsgestein
Deckgebirge

Multibarrierenkonzept bei der Endlagerung nuklearer Abfälle

II

Technische Barriere

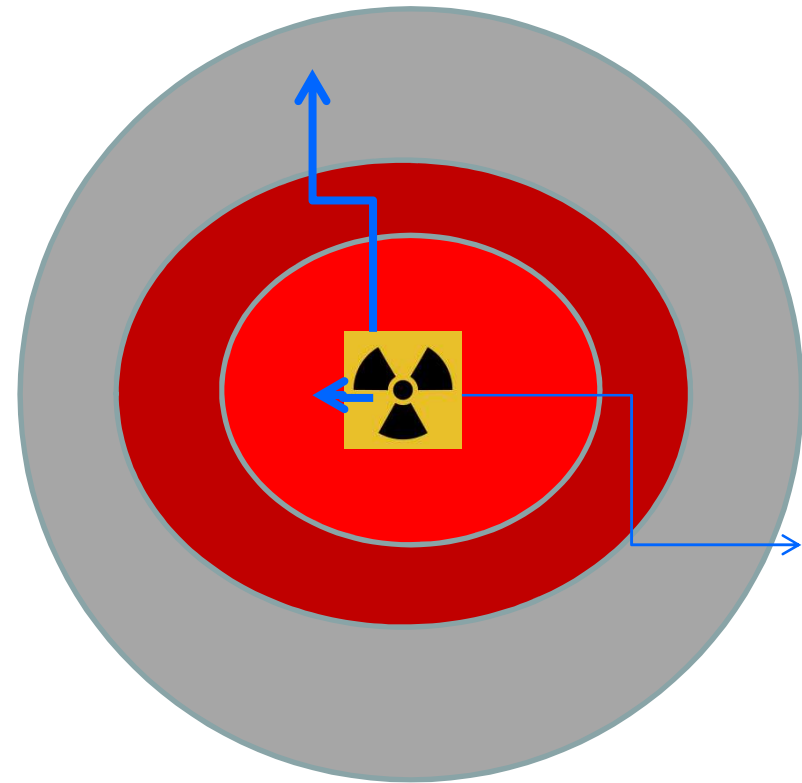
Brennstoffmatrix
Container

Geotechnische Barriere

Verfüllung der Bohrlöcher
Dammsystem
Verfüllung des Schachtsystems

Geologische Barriere

Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
Wirtsfornation
Deckgebirge mit Aquifersystem



Langzeitsicherheitsanalyse:

Szenario Zutritt von wässriger Lösung

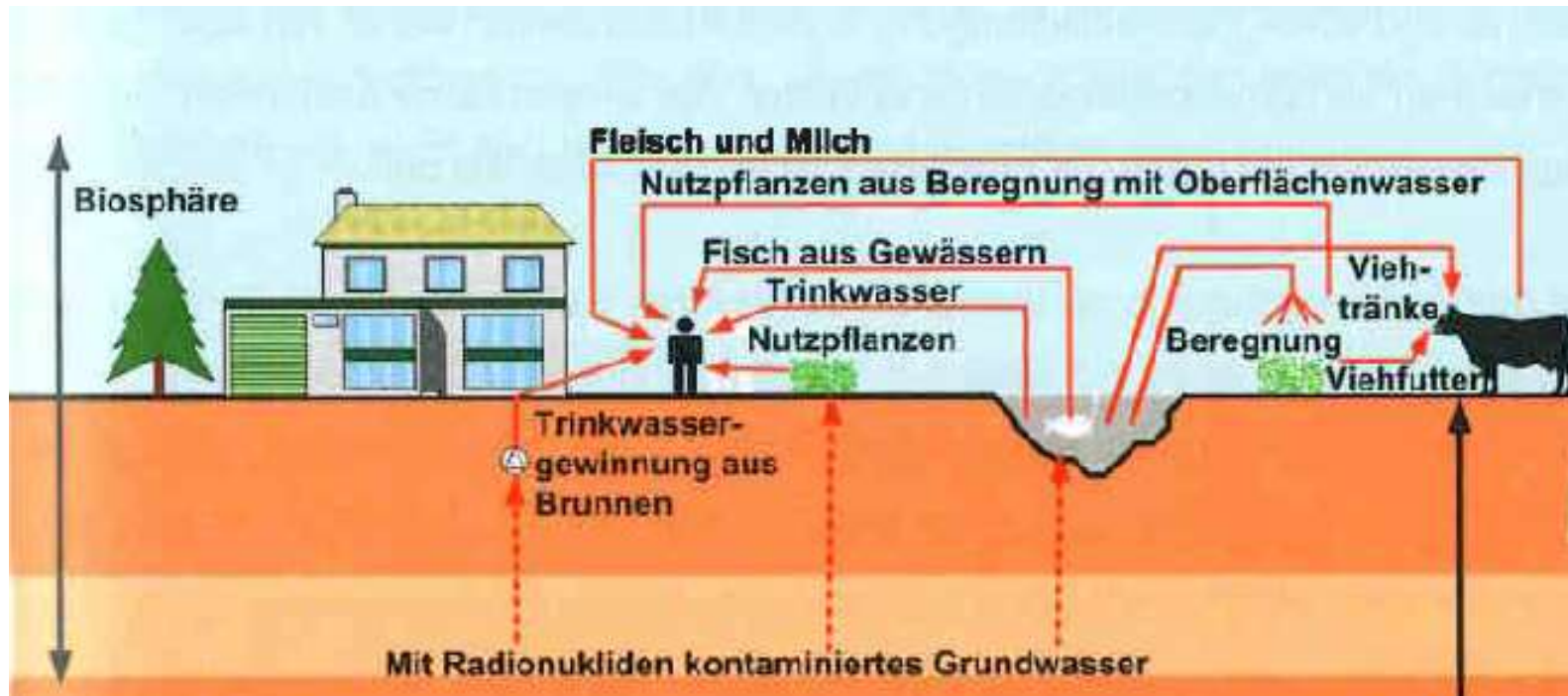
- **Radioaktive Stoffe können nach Wasserzutritt zum Endlager über das Grundwasser in die Biosphäre gelangen**
- **Schadstoffe können über Klüfte, aber auch diffusiv in das Wirtsgestein eindringen.**

Interdisziplinärer Ansatz bei der Erarbeitung der Sicherheitsanalyse:
Zusammenarbeit und Abstimmung verschiedener Wissensgebiete und Techniken

Geo- Biochemie
Radiochemie
Hydrologie
Geologie
Geophysik
Geotechnik
Mathematik u.a.

Radioökologie als Wissensgebiet

- Wissenschaft von der Ausbreitung und dem Verhalten von Radionukliden in der Umwelt; beschreibt die Freisetzung von Radionukliden (Quellterm), die Verteilung und die Ausbreitung.
- Beitrag zum Strahlenschutz, ermittelt Eingabeparameter für die Berechnung der Strahlendosis bei Menschen und anderen Lebewesen durch Aufnahme der Radionuklide in den Körper und auch bei äußerer Bestrahlung.



Relevante geo- und biochemische (radioökologische) Prozesse zur Langzeitsicherheitsanalyse

Standortunabhängige Daten

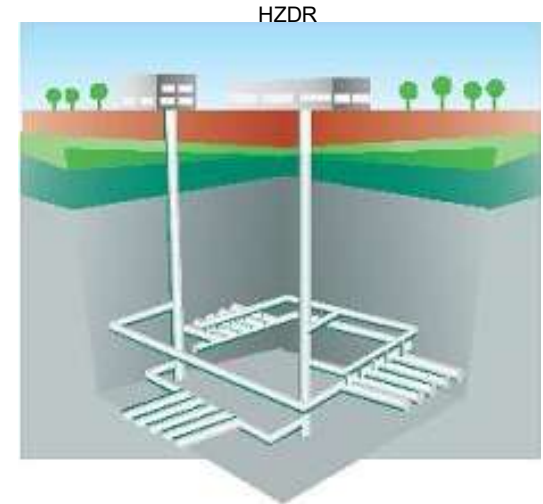
- *Thermodynamik*
- *Sorption*
- *Nuklidspezies*

Standortspezifische Daten

- *Geomechanik*
- *Gesteinsphysik*
- *Geohydraulik*
- *Geochemie*

Prozesse

- *Auflösung/Ausfällung*
- *Grenzflächenreaktionen*
- *Redoxreaktionen*
- *Komplexbildung*
- *Radiolyse*
- *Gasbildung*
- *Kolloidbildung*
- *Mikrobiologische Prozesse*
- *Wärmetransport*



*Daten und Prozesse betrachten
in Abhängigkeit des*

- *Wirtsgestein*
- *Barrieren Nahfeld/Fernfeld*

Prozessmodellierung/Stofftransport

Langzeitsicherheitsanalyse

FEP- Katalog für ein Endlager

- Voraussetzungen für einen Langzeitsicherheitsnachweis sind die Kenntnis des Anfangszustandes sowie Vorstellungen zur zukünftigen geologischen und klimatischen Entwicklung

FEP: **F**eatures, **E**vents, **P**rocesses (Merkmale, Ereignisse, Prozesse)

- wesentlicher Bestandteil des Langzeitsicherheitsnachweises für ein Endlager ist die Identifizierung und die quantitative Analyse und Bewertung von Szenarien, die jeweils eine der möglichen zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems darstellen können.
- Die einzelnen Szenarien werden durch Merkmale, Ereignisse und Prozesse charakterisiert, die die betrachtete zukünftige Entwicklung des Endlagersystems beeinflussen können.

Parameter, die den Transport der Radionuklide mitbestimmen

- Eigenschaften des Grundwassers, bzw. des eindringenden Wassers
- Hydrogeologie (Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit)
- Eigenschaften des umliegenden Gesteins (Salzes)
- Einstellende chemische Gleichgewichte

Chemie der Actinide:

Thorium, Uran, Neptunium, Plutonium, Curium, Americium

- * Löslichkeiten (Abhängigkeit von Ionenstärke, pH-Wert, Temperatur, Druck, Redoxpotential)
- * Kenntnis der Speziation (chemischer Zustand des Actinids / Radionuklids)
- * Sorptionsgleichgewichte, Reaktionskinetik

Radionuklide im Endlager (Direkte Endlagerung)

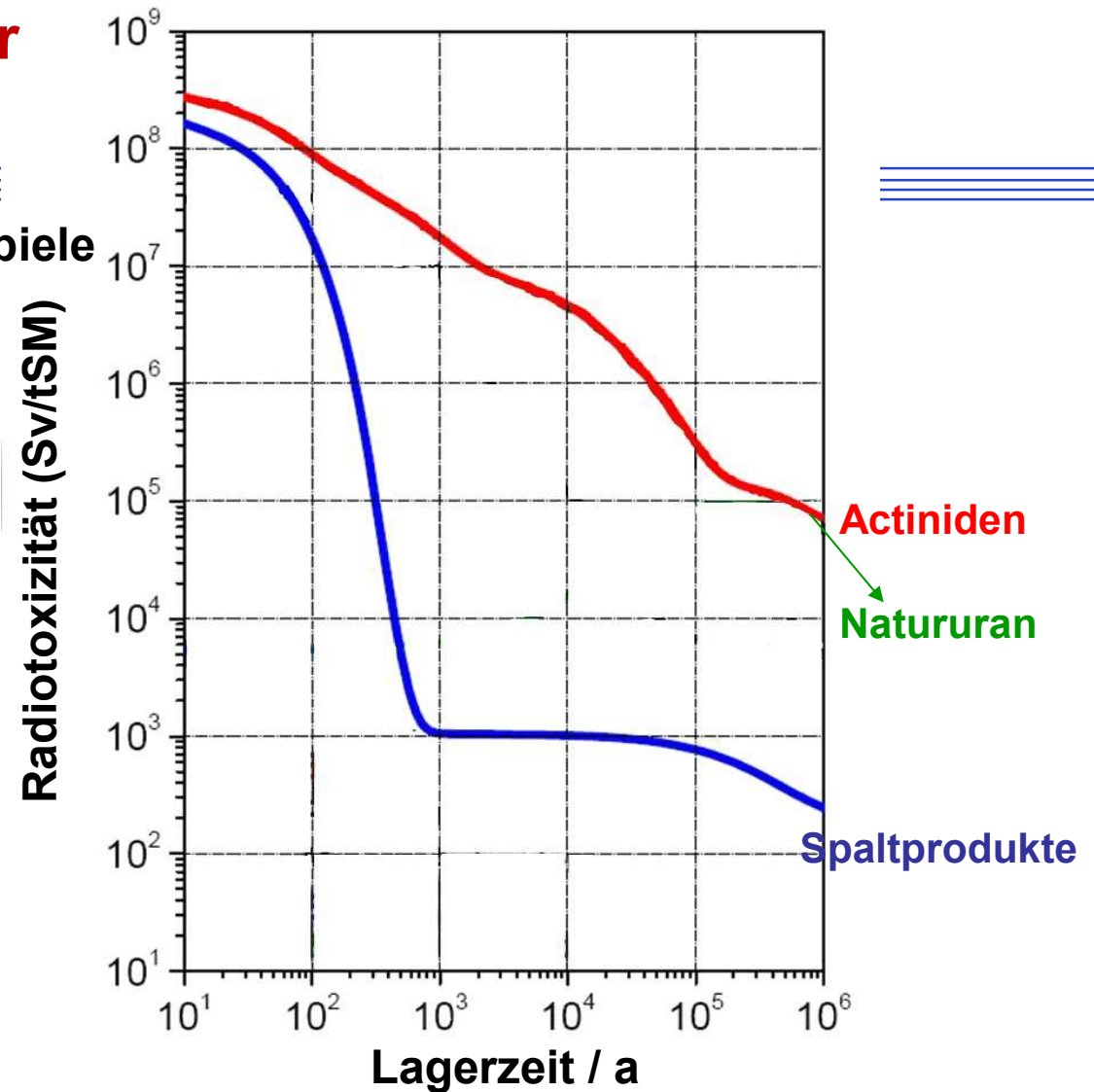
Relevante Elemente (RN), Beispiele

Kurzlebig:

Cäsium (Cs-137)
Strontium (Sr-90)

Langlebig:

Thorium (Th-232)
Uran (U-235, U-238)
Plutonium (Pu-238, Pu-239, Pu-240)
Americium (Am-241, Am-243)
Neptunium (Np-237)
Selen (Se-79)
Technetium (Tc-99)
Iod (I-129)
Cäsium (Cs-135)



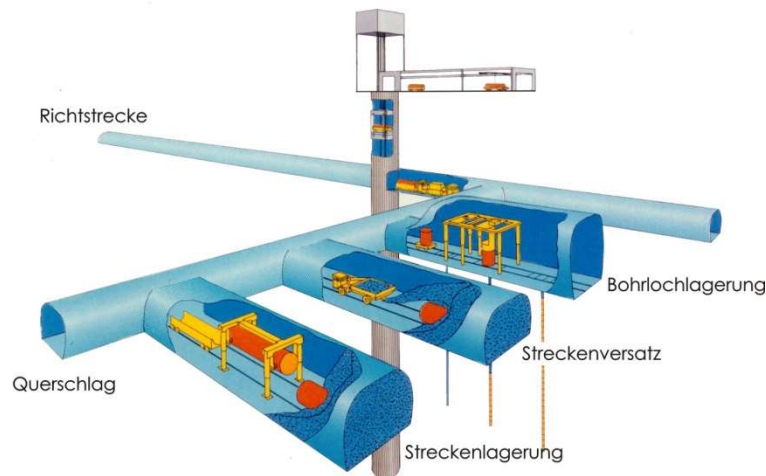
- nach ca. 10.000 Jahren bestimmen die Actiniden die Radiotoxizität



- Langlebige Radionuklide sind der Quellterm für die Langzeitsicherheitsanalyse

Endlager – Technologie

- Erkunden
- Auffahren (Schacht/Stollen)
- Einlagerung der Abfallgebinde (Behälter mit Brennelementen/Behälter mit Glaskokillen)
- Einlagerung im Stollen oder in Bohrlöchern von der Stollensohle aus
- Verschließen der Bohrlöcher, Stollen, Schächte



sueddeutsche.de

Fazit

Die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ist die sicherste Methode der Entsorgung hochradioaktiver /nuklearer Abfälle

Für die Tiefenlagerung müssen die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen geschaffen werden.

Ein Multibarrieren - System aus technischer, geo-technischer und geologischer Barriere erhöht die Sicherheit

Radioökologische Untersuchungen sind zwingend erforderlich, um zur Langzeitsicherheit des Endlagers und somit zum Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren zusätzlicher Radioaktivität beizutragen

Neben den standortunabhängigen Daten sind je nach Wirtsgestein standortspezifisch unterschiedliche Untersuchungen und Daten nötig,

Sowohl die Brennelemente (direkte Endlagerung) als auch die Glaskokillen (nach Wiederaufarbeitung) werden in Castoren transportiert und sollen letztlich in ein Endlager verbracht werden.

Deutschland besitzt noch kein Endlager für Nukleare Abfälle, deshalb werden bisher alle beladenen Castoren in Zwischenlagern (zentral) oder an den Kernkraftwerksstandorten selbst zwischengelagert.