

# **Wohin mit dem Rest? Zum Verbleib radioaktiver Abfälle**

**Dipl.-Geol. Stefan Alt  
Öko-Institut e.V.**

## VDI FACHKONFERENZ - RÜCKBAU KERntechnischer ANLAGEN

Öko-Institut e.V. ist eines der europaweit führenden, unabhängigen Forschungs- und Beratungsinstitute für eine nachhaltige Zukunft.

- Gegründet 1977, gemeinnütziger Verein
- An Standorten in Freiburg, Darmstadt und Berlin
- Aktuell ca. 160 Kolleginnen und Kollegen, davon ca. 120 Natur- und Sozialwissenschaftler, Ingenieure, Juristen...
- Auftraggeber: Europäische Union, Ministerien auf Bundes- und Landesebene, Unternehmen, Stiftungen, Verbände, NGO...

## **WOHIN MIT DEM REST? ZUM VERBLEIB RADIOAKTIVER ABFÄLLE**

**Das Erbe des Atomzeitalters – hoch-, mittel- und schwach-radioaktive Abfälle**

**Das Endlager Schacht Konrad für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle**

**Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente**

**Die Endlagerkommission und die Suche nach dem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit**

## **WOHIN MIT DEM REST? ZUM VERBLEIB RADIOAKTIVER ABFÄLLE**

**Das Erbe des Atomzeitalters – hoch-, mittel- und schwach-radioaktive Abfälle**

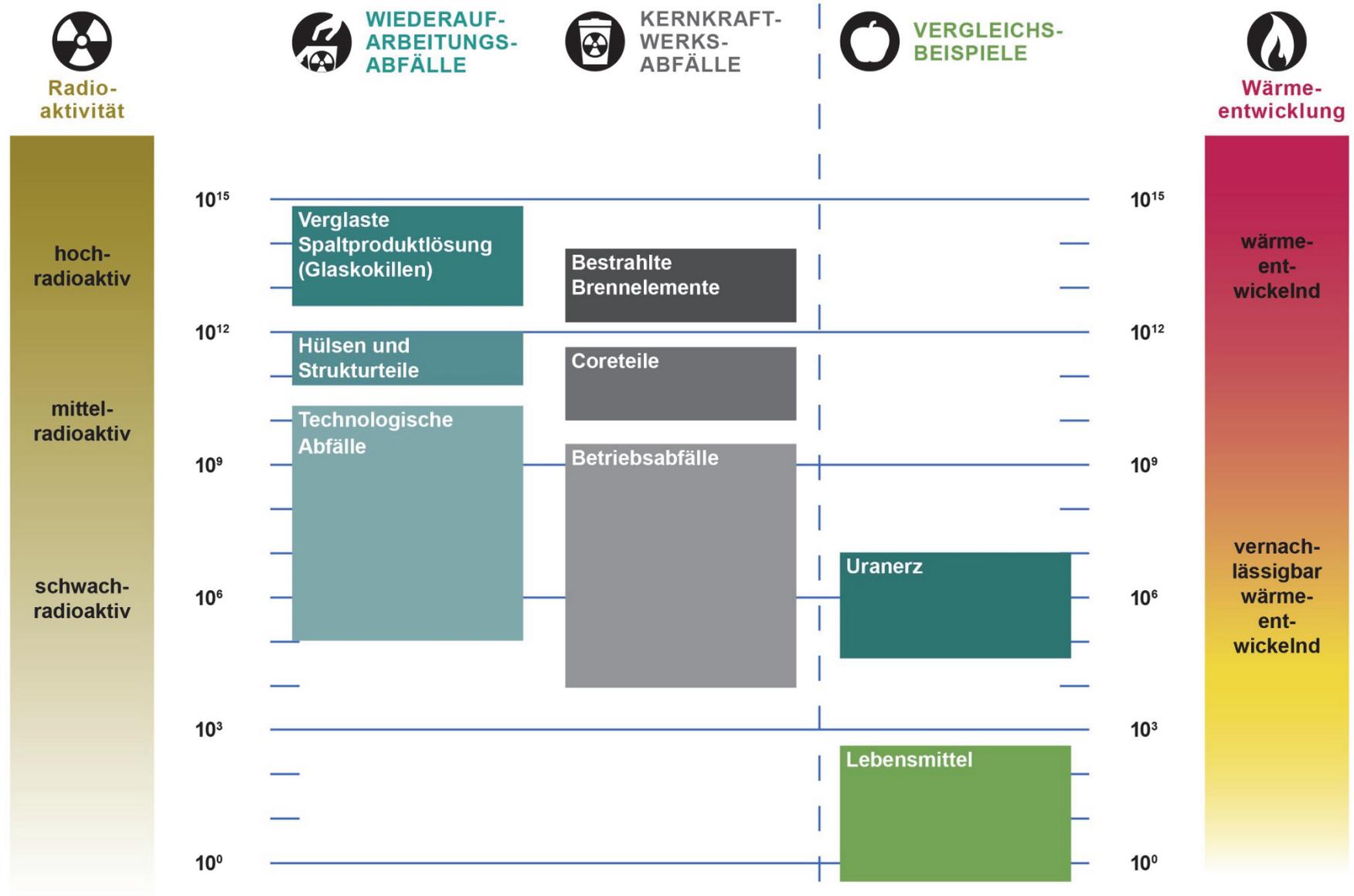
**Das Endlager Schacht Konrad für vernachlässigbar wärmeentwickelnde**

**Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente**

**Die Endlagerkommission und die Suche nach dem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit**

# Klassen und Eigenschaften radioaktiver Abfälle

Aktivität und Wärmeentwicklung im Überblick



Radioaktivität in Becquerel pro Kilogramm oder Becquerel pro Liter (Bq/kg oder Bq/L)

## DAS ERBE DES ATOMZEITALTERS – HOCH-, MITTEL- UND SCHWACH-RADIOAKTIVE ABFÄLLE

Radioaktive Abfälle entstehen überwiegend in und im Zusammenhang mit Kernkraftwerken:

- Bei der Urangewinnung und Brennelementherstellung: Bergbauhalden, „Tailings“, abgereichertes Uran („Uran-Tails“)...
- Bei der Kernspaltung entstehen hochradioaktive Spaltprodukte (z.B.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,...) und Aktiniden (z.B.  $^{239}\text{Pu}$ ). Diese verbleiben im Brennelement, solange es nicht beschädigt wird.
- Neutronen aus der Kernspaltung aktivieren Atome der Umgebung. Es entstehen radioaktive Isotope (z.B.  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ). Kühlwasser, Stahleinbauten, Reaktordruckbehälter, Betonoberflächen... werden schwach radioaktiv und fallen spätestens beim Rückbau als Abfälle an.
- Sekundärabfälle, z. B. aus der Reinigung von Kühlwasser oder Bauteilen, bei Austausch und Reparatur (Filter, defekte Teile, Werkzeug, Wischlappen ...).

## DAS ERBE DES ATOMZEITALTERS – HOCH-, MITTEL- UND SCHWACH-RADIOAKTIVE ABFÄLLE

Aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen (WAK in Karlsruhe bzw. Aufarbeitung in F und GB) stammen weitere Abfälle:

- hochradioaktive Spaltproduktlösung in Glas eingeschmolzen und Edelstahlbehälter verpackt (Glaskokillen),
- Brennstabhülsen, Tragteile des Brennelements etc. verpresst und in Edelstahlbehälter verpackt,
- Betriebs- und Rückbauabfälle (z.B. verglaste Konzentrate aus der Wasseraufbereitung).

aus der WA in F und GB stammende Abfälle werden sukzessive nach Deutschland zurückgebracht, mit dem Ziel der Endlagerung.

Radioaktive Abfälle fallen auch in Forschung, Industrie und Medizin an (nicht Gegenstand des Vortrags).



## **DAS ERBE DES ATOMZEITALTERS – HOCH-, MITTEL- UND SCHWACH-RADIOAKTIVE ABFÄLLE – DIE MENGEN**

Bis 2022 werden rd. **17.200 Mg SM** (Uran und Plutonium) in bestrahlten Brennelementen angefallen sein.

Davon sind 10.500 Mg direkt endzulagern (derzeit 1.100 Endlagerbehälter).

6.700 Mg gingen in die Wiederaufarbeitung (nach F, GB).

Von dort kommen ca. 1.400 m<sup>3</sup> wärmeentwickelnde Abfälle zurück (derzeit etwa 300 Endlagerbehälter)

**Gesamtanfall wärmeentwickelnder Abfall zur Endlagerung bis zum Ende der Stromerzeugung aus Kernkraft (Stand 2014): ca. 28-30.000 m<sup>3</sup> Abfallgebinder Volumen**

## DAS ERBE DES ATOMZEITALTERS – HOCH-, MITTEL- UND SCHWACH-RADIOAKTIVE ABFÄLLE – DIE MENGEN

### Radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung:

- Bereits endgelagert in Endlager Morsleben (ERAM):  
37.000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelradioaktive Abfälle + 6.600 Strahlenquellen
- Abfälle aus Betrieb und Rückbau (bis 2080): rd. 300.000 m<sup>3</sup> von KKW, WAA, Forschung, Landessammelstellen, kerntechnische Industrie
- *Rückholung der Abfälle aus dem havarierten "Endlager" Schachtanlage Asse II: 47.000 m<sup>3</sup> Abfälle + Abraum aus der Bergung + Volumenzunahme durch Neukonditionierung = bis zu 220.000 m<sup>3</sup>*
- *Abgereichertes Uran aus der Urananreicherung: > 100.000 m<sup>3</sup>*
- *"nicht Konrad-gängige Abfälle": > 6.000 m<sup>3</sup>*

## DAS ERBE DES ATOMZEITALTERS – HOCH-, MITTEL- UND SCHWACH-RADIOAKTIVE ABFÄLLE – ENTSORGUNGSOPTIONEN IN DEUTSCHLAND

Für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) wird derzeit das **Endlager Schacht Konrad** eingerichtet (s.u.).

Bis zur Verfügbarkeit von Endlagern werden die Abfälle in **Zwischenlagern** verwahrt (zu hochradioaktiven Abfällen s.u.).

Zur Auswahl eines Standorts für ein Endlager für insbesondere die hoch radioaktiven (wärmeentwickelnden) Abfälle hat im Zeitraum Mai 2014 bis Juni 2016 eine Kommission des deutschen Bundestags und Bundesrats (die sog. "**Endlagerkommission**") über ein Verfahren zur Standortauswahl beraten (s.u.).

## **WOHIN MIT DEM REST? ZUM VERBLEIB RADIOAKTIVER ABFÄLLE**

**Das Erbe des Atomzeitalters – hoch-, mittel- und schwach-radioaktive Abfälle**

**Das Endlager Schacht Konrad für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle**

**Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente**

**Die Endlagerkommission und die Suche nach dem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit**

# Entsorgungsanlagen in Deutschland

Übersicht aller Standorte, an denen radioaktive Abfälle gelagert werden



## DAS ENDLAGER SCHACHT KONRAD FÜR VERNACHLÄSSIGBAR WÄRMEENTWICKELNDE ABFÄLLE

Schacht Konrad ist ein **ehemaliges Eisenerzbergwerk**, die Einlagerungsbereiche liegen in der Erzformation in ca. **800-850 Tiefe**, überlagert von einem etwa 400 m mächtigen Schichtpaket aus **Tonstein als geologischer** Barriere.

Das Endlager ist ausschließlich dafür vorgesehen, **schwach- und mittelradioaktive Abfälle** (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) aufzunehmen.

Es ist für ein Abfallvolumen von **maximal 303.000 m<sup>3</sup>** genehmigt und soll nach 2022 den Betrieb aufnehmen.

## DAS ENDLAGER SCHACHT KONRAD FÜR VERNACHLÄSSIGBAR WÄRMEENTWICKELNDE ABFÄLLE

Neben dem Maximalvolumen sind **Annahmebedingungen** definiert, die z.B. das maximal zulässige Inventar für spezifische Radionuklide (z.B. Tritium, C-14, I-129, U-235, Pu-241...) limitieren.

Die **Wasserrechtliche Genehmigung** schränkt zusätzlich das Gesamtinventar an chemisch-toxischen Stoffen ein.

Das genehmigte Einlagerungsvolumen ist weitgehend verplant: Die einzulagernden Abfälle stammen i. W. aus Betrieb, Stilllegung und Rückbau der deutschen Kernkraftwerke und der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe, aus der Forschung und aus Landessammelstellen.

## DAS ENDLAGER SCHACHT KONRAD FÜR VERNACHLÄSSIGBAR WÄRMEENTWICKELNDE ABFÄLLE

Bereits heute ist bekannt, dass ein Teil der in den kommenden Jahrzehnten anfallenden oder bereits produzierten Abfälle NICHT für das Endlager Konrad in Frage kommt:

- aus der Asse zurück zu holende Abfälle
- Abfälle aus der Urananreicherung.
- weitere "nicht Konrad-gängige" Abfälle  
(Problemstoffe: Graphit, C-14, H-3, Th)

Das Gesamtvolumen wird voraussichtlich  $> 300.000 \text{ m}^3$  betragen.

Das BMUB hat im [nationalen Entsorgungsprogramm](#) (NaPro) den Bedarf formuliert, diese Abfälle bei der Suche nach einem Endlager für insbesondere hoch radioaktive Abfälle mit zu berücksichtigen.

## DAS ENDLAGER SCHACHT KONRAD FÜR VERNACHLÄSSIGBAR WÄRMEENTWICKELNDE ABFÄLLE

Dabei ist die Gesamtmenge unbestimmt:

- weder die Betriebsdauer der Urananreicherung,
- noch die Abfallrückholung aus der Schachanlage Asse,
- noch die endgültige Konditionierung der derzeit "nicht Konradgängigen" Abfälle

kann heute vollständig angegeben werden.

Für in Summe  $> 300.000 \text{ m}^3$  an schach- und mittelradioaktiven Abfällen steht also derzeit KEIN Entsorgungsweg zur Verfügung.

## **WOHIN MIT DEM REST? ZUM VERBLEIB RADIOAKTIVER ABFÄLLE**

**Das Erbe des Atomzeitalters – hoch-, mittel- und schwach-radioaktive Abfälle**

**Das Endlager Schacht Konrad für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle**

**Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente**

**Die Endlagerkommission und die Suche nach dem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit**

## ZWISCHENLAGERUNG HOCHRADIOAKTIVER ABFÄLLE UND ABGEBRANNTER BRENNELEMENTE

Ende 2014 (Stand NaPro) lagerten in Deutschland bereits

- ca. 29.000 abgebrannte Brennelemente aus Kernkraftwerken, entweder nass in Brennelementlagerbecken oder trocken in (CASTOR<sup>®</sup>)-Behältern
- ca. 100.000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelradioaktive Abfälle in Endlagergebinden
- ca. 17.000 m<sup>3</sup> konditionierte, aber noch nicht endverpackte Abfallprodukte
- ca. 22.000 t noch unbehandelte Rohabfälle

# Entsorgungsanlagen in Deutschland

Übersicht aller Standorte, an denen radioaktive Abfälle gelagert werden



## ZWISCHENLAGERUNG HOCHRADIOAKTIVER ABFÄLLE UND ABGEBRANNTER BRENNELEMENTE

Die Situation für die **hochradioaktiven Abfälle**:

Ein **Endlager** für hochradioaktive Abfälle wird voraussichtlich erst in einigen Jahrzehnten verfügbar sein.

Die bestehenden **Genehmigungen der Zwischenlager** laufen zwischen 2034 (erstes zentrales Zwischenlager) und 2046/47 (die meisten dezentralen Zwischenlager) aus.

Die Entsorgungskommission des BMUB (ESK) geht von **Zwischenlagerzeiten von 65 – 100 Jahren** aus  
(Quelle: ESK-Diskussionspapier zur verlängerten Zwischenlagerung, Okt. 2015)

## ZWISCHENLAGERUNG HOCHRADIOAKTIVER ABFÄLLE UND ABGEBRANNTER BRENNLEMENTE

Was ist zu tun? Diskutiert werden verschiedene Optionen:

- **Verlängerung der Betriebsgenehmigungen.** Die Zwischenlager an den KKW-Standorten werden nach deren Rückbau dann die letzten dort noch vorhandenen Anlagen sein.
- **Neubau und dabei Reduzierung der Anzahl der Zwischenlager.** Dies hätte entweder die Suche nach neuen Standorten oder die Konzentration auf wenige der vorhandenen Standorte zur Folge.

Forschungsbedarf besteht insbesondere zum längerfristigen Verhalten (d.h. zur Alterung) von Behälterinnenraum und Brennelementen.

## **WOHIN MIT DEM REST? ZUM VERBLEIB RADIOAKTIVER ABFÄLLE**

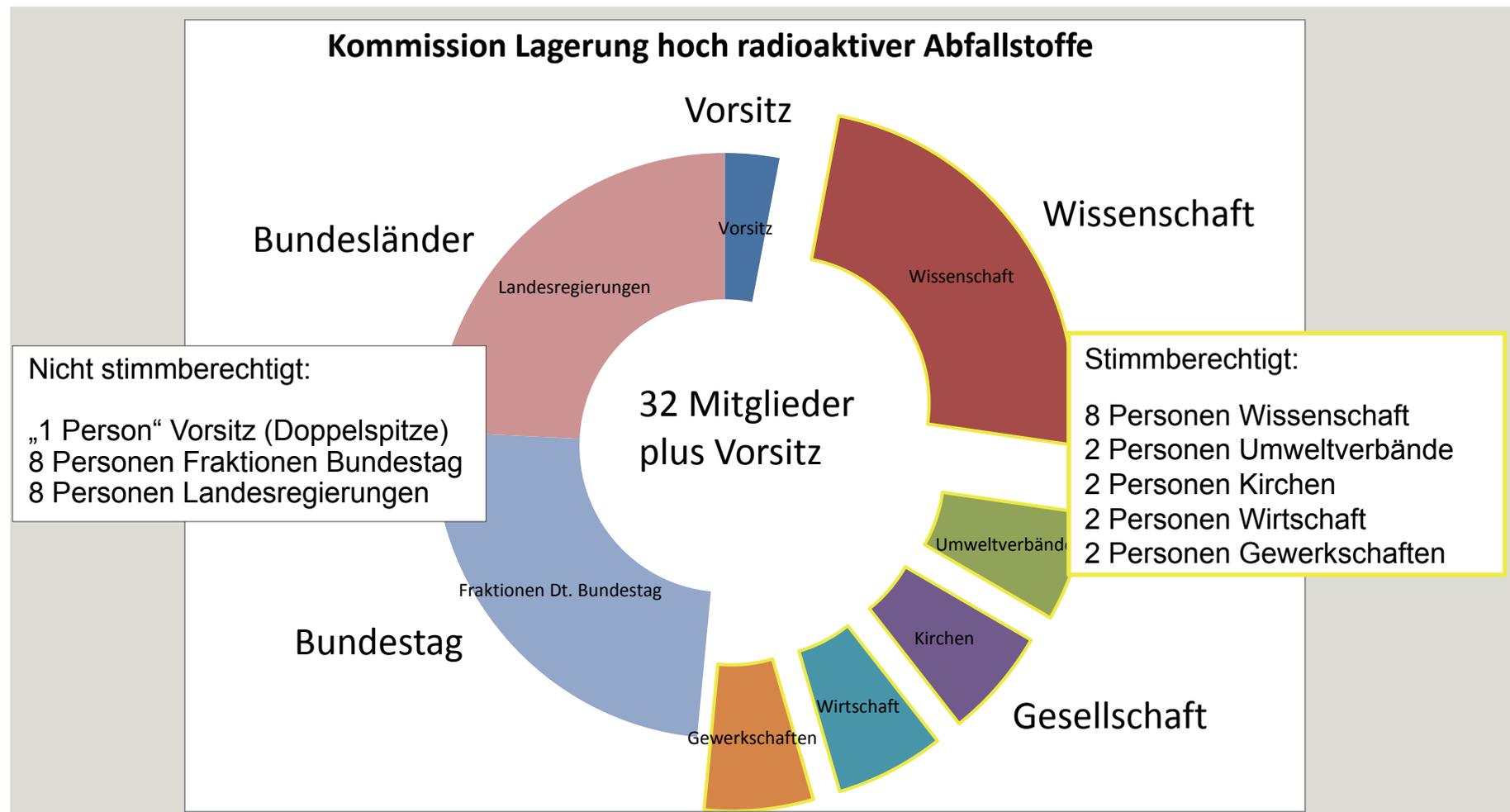
**Das Erbe des Atomzeitalters – hoch-, mittel- und schwach-radioaktive Abfälle**

**Das Endlager Schacht Konrad für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle**

**Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente**

**Die Endlagerkommission und die Suche nach dem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit**

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT (05/2014-06/2016)



## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Die Endlagerkommission wurde auf Basis des Standortauswahlgesetzes (StandAG) einberufen und hatte i.W. den Auftrag

- **den Standortauswahlprozess für ein Endlager für *insbesondere hoch radioaktive Abfälle zu beschreiben,***
- die mit dem Prozess der Standortauswahl verbundenen Beteiligung der Öffentlichkeit neu zu konzipieren und
- das StandAG zu evaluieren und Empfehlungen für seine Weiterentwicklung zu geben.

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Wesentliche Ergebnisse, **Endlagerung**:

- Es bleibt bei einer Endlagerung in einem Bergwerk **in tiefen geologischen Formationen**.
- Ziel des Standortauswahlprozess ist **ein Endlagerstandort**, der die **bestmögliche Sicherheit** über einen Nachweiszeitraum von **1 Mio. Jahren** bietet.
- Das Konzept des **einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)** wird bevorzugt, aber gegenüber früheren Definitionen erweitert, z.B. um die Ausweisung mehrerer ewG an einem Standort.
- Als Wirtsgesteine und/oder ewG kommen in Deutschland **Salz-, Ton- oder Kristallingestein** gleichermaßen in Frage.

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Wesentliche Ergebnisse, **Endlagerung**:

- **Priorität hat die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle.**
- Die **Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen am gleichen Standort** wird als Option mitgeprüft, darf die Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle aber nicht beeinträchtigen.
- Sie ist daran geknüpft dass Querverbeeinflussungen (thermisch aus den hochradioaktiven Abfällen, chemisch aus den schwach- und mittelradioaktiven Abfällen) ausgeschlossen werden müssen.

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Wesentliche Ergebnisse, **Standortauswahlprozess**:

- Der Standortauswahlprozess soll in einem **vergleichenden Verfahren** unter Anwendung von **geowissenschaftlichen Kriterien**, **Sicherheitsuntersuchungen** und **planungswissenschaftlichen Kriterien** in einem Abwägungsprozess zu einer schrittweisen Einengung der Standortoptionen führen.
- Es gilt das **Primat der Sicherheit**, d.h. die geologischen Merkmale des Standorts und die Sicherheit des Endlagerkonzepts wiegen schwerer als die Merkmale der Umgebung.
- **Zentrale Entscheidungen**, wie die Auswahl von Standorten zur übertägigen Erkundung (Bohrungen, Geophysik), zur untertägigen Erkundung (Erkundungsbergwerke) und letztlich zur Auswahl des am besten geeigneten Endlagerstandorts treffen und fixieren **Bundestag und Bundesrat** per Gesetz.

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Wesentliche Ergebnisse, **geowissenschaftliche  
Ausschlusskriterien:**

Ein Standort ist **ungeeignet** beim Auftreten von

- großräumigen Hebungen (im Mittel  $> 1$  mm/a )
- aktiven Störungszonen
- rezentem oder historischem Bergbau
- seismischer Aktivität (Erdbebenzone  $> 1$ )
- geologisch jungem Vulkanismus (Eifel, Vogtland)
- jungem Grundwasser (Tritium und C-14-Gehalt)

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Wesentliche Ergebnisse, **geowissenschaftliche Mindestanforderungen**:

Ein Standort muss **mindestens** folgende Merkmale aufweisen:

- niedrige Gebirgsdurchlässigkeit ( $< 10^{-10}$  m/s)
- Mindestmächtigkeit des ewG  $> 100$  m
- Oberfläche des ewG mindestens 300 m tief (mit spezifischen Hinweisen für Steinsalz und Tonstein)
- Flächenbedarf des Endlagers (je nach Konzept ca. 2 bis 7 km<sup>2</sup>) erfüllt
- keine die Integrität des ewG innerhalb der kommenden 1 Mio. Jahre in Frage stellenden Erkenntnisse

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Wesentliche Ergebnisse, **geowissenschaftliche Abwägungskriterien**: Standorte werden anhand einer Reihe von Merkmalen verglichen und gegeneinander **abgewogen**:

- **1. Güte des Einschlussvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises**: Grundwasserströmung, Konfiguration von Wirtsgestein und ewG, räumliche Charakterisierbarkeit, Prognostizierbarkeit der langfristigen Entwicklung
- **2. Absicherung des Einschlussvermögens**: gebirgsmechanische Eigenschaften, Neigung zur Bildung von Wasserwegsamkeiten
- **3. Robustheit des Systems**: Vermeidung/Minimierung von Gasbildung, Temperaturverträglichkeit, Rückhaltevermögen des ewG, hydrochemische Verhältnisse (Reaktionsträgheit), Schutz des ewG durch das Deckgebirge

## DIE ENDLAGERKOMMISSION UND DIE SUCHE NACH DEM STANDORT MIT DER BESTMÖGLICHEN SICHERHEIT

Wesentliche Ergebnisse, **planungswissenschaftliche Abwägungskriterien:**

Geologisch geeignete Standorte werden anhand einer Reihe von Merkmalen verglichen und gegeneinander **abgewogen:**

- **1. Schutz des Menschen und der menschlichen Gesundheit:**  
Wohnbebauung, Emissionen, oberflächennahe Trinkwassergewinnung, Hochwasserschutz
- **2. Schutz einzigartiger Natur- und Kulturgüter** vor irreversiblen Beeinträchtigungen: NATURA 2000, UNESCO Welterbe, tiefe Trinkwassergewinnung
- **3. konkurrierende Nutzungen und Infrastruktur:** Anlagen nach Störfallverordnung, Bodenschätze, Geothermie, Erdspeicher

## EIN (NICHT TECHNISCHER) AUSBLICK?

In den kommenden Jahren wird die Endlagersuche neu strukturiert, es werden eine **neue Bundesbehörde (BfE)** und eine neue **Betreibergesellschaft (BGE)** aufgebaut.

Die **Öffentlichkeitsbeteiligung** wird eine immense Bedeutung erlangen, es werden **gesellschaftliche Gremien** auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene entstehen, die sich an dem Standortauswahlprozess engagiert beteiligen und ihn mitgestalten sollen.

Der Prozess und das entstehende System aus Antragsteller, Regulator und engagierter Öffentlichkeit wird im Verfahren **lernen und sich weiter entwickeln**.

## EIN (NICHT TECHNISCHER) AUSBLICK?

Der Prozess wird bis zu Inbetriebnahme des Endlagers **Jahrzehnte** dauern.

Er wird ein **neue Generation** von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Politikern und Betroffenen beschäftigen.

**WANN** ein Endlager für das Erbe des Atomzeitalters tatsächlich zur Verfügung stehen wird ist offen.

**DASS** es ein Endlager geben **MUSS**, ist offensichtlich: ernsthafte Alternativen sind nicht in Sicht.

## RÜCKBAU KERntechnischer ANLAGEN

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Dipl.-Geol. Stefan Alt**  
Senior Researcher

**Öko-Institut e.V.**  
Rheinstraße 95  
D-64295 Darmstadt  
Telefon: +49-6151/81910  
E-Mail: [s.alt@oeko.de](mailto:s.alt@oeko.de)