

# ENTRIA

ENTSORGUNGSOPTIONEN FÜR RADIOAKTIVE RESTSTOFFE:  
INTERDISZIPLINÄRE ANALYSEN UND  
ENTWICKLUNG VON BEWERTUNGSGRUNDLAGEN

**Plädoyer:**

**Endlagerung in tiefen geologischen Formationen  
ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit  
(wartungsfreie Tiefenlagerung)**

K.-J. Röhlig, Institut für Endlagerforschung

## Wovon reden wir? Schlüsselmerkmale:

Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit (wartungsfreie Tiefenlagerung)

- Endlagerung ... ohne Vorkehrungen ... :
  - Es ist nicht beabsichtigt, nach der Einlagerung noch irgend etwas mit den Reststoffen zu tun.
  - Es werden auch keine diesbezüglichen Vorkehrungen getroffen.
  - Dies bedeutet jedoch nicht, dass ein späterer Umgang mit den Reststoffen prinzipiell ausgeschlossen ist; er ist lediglich nicht vorgesehen und wird auch in keiner Weise technisch erleichtert.
- Tiefe geologische Formationen:
  - Anlage vom Typ „Bergwerk“ in mehreren 100 m Tiefe.
- Wartungsfrei:
  - Einmal verschlossen, soll das weitere Funktionieren der Anlage von jeglichem menschlichen Zutun unabhängig sein.
  - Das bedeutet nicht, dass wir die Anlage sich selbst überlassen!

## Ebenfalls wichtig: Zeit – Abläufe – Korrekturmöglichkeiten

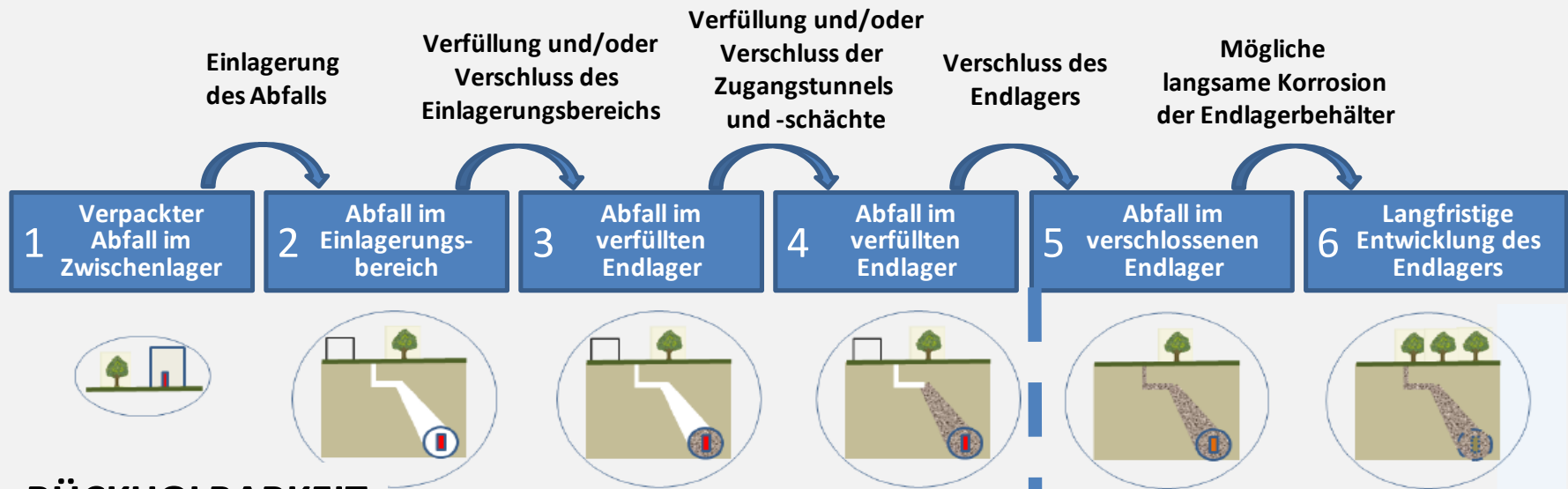
- Zielstrebiges (aber nicht überstürztes) Arbeiten:
  - Standortauswahl (lt. StandAG 2031)
  - Genehmigung\*)
  - Einbringen des ersten beladenen Endlagergebindes 2045/2050\*)
  - Verschluss frühestens 2075, abgeschlossen frühestens 2095\*)
  - Danach Überwachung (unbefristet)

\*) Minimalschätzungen laut [https://www.bundestag.de/presse/hib/2015\\_04/-/370688](https://www.bundestag.de/presse/hib/2015_04/-/370688)

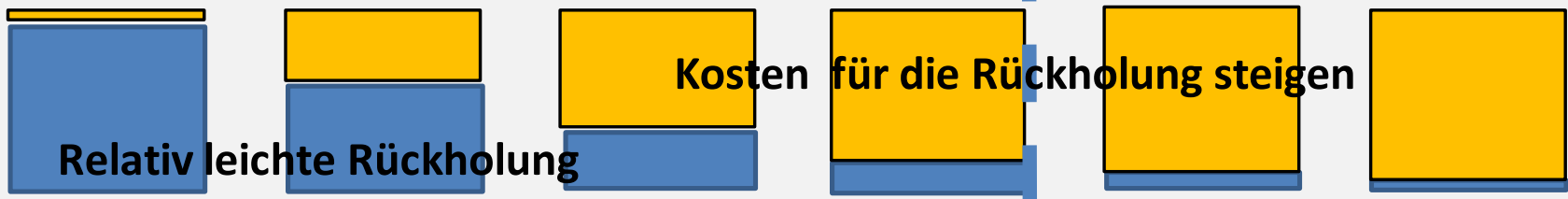
- Reversibler Prozess
  - Korrekturmöglichkeit
  - Rücksprungmöglichkeit
  - Daher – und aufgrund anderer Ursachen – auch längere Fristen möglich
  - ABER: Rückholung als „Rücknahme“ des Einlagerungsvorgangs nicht geplant, Aufwand & Sicherheit wären im Fall einer Rückholung ungewiss

## Also:

- Der Zeitpunkt der Einlagerung („2045+“) ist zugleich ein Zeitpunkt, zu dem sich die Reversibilität (deutlich) verringert.
- Danach ...

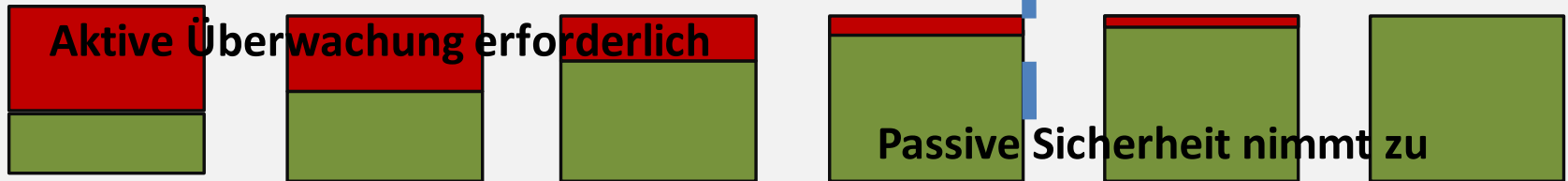


**RÜCKHOLBARKEIT**



Vor der Einlagerung | Abfall im tiefen geologischen Endlager | Endlager verschlossen

**GEWÄHRLEISTUNG DER ENDLAGERSICHERHEIT**



<http://www.nea.fr/rwm/rr>

## Also:

- Der Zeitpunkt der Einlagerung („2045+“) ist zugleich ein Zeitpunkt, zu dem sich die Reversibilität (deutlich) verringert.
- Danach ... (s. vorige Folie).
- Die (implizite) Annahme ist, dass der auf der vorigen Folie gezeigte Prozess nicht „künstlich“ verzögert wird.

## ENTRIA-Grundsätze zur Bewertung von Optionen

- Gewährleistung größtmöglicher Sicherheit („Sicherheit“)
- Herbeiführung gerechter Verfahren und Ergebnisse („Gerechtigkeit“)

## Sicherheit

- „Safety“: Schutz von Personal, Bevölkerung und Umwelt
- „Security“: Sicherung gegen unbefugten Zugriff
- Abschätzbare Risiken
- Ungewissheiten
- Nachfolgend: Zeitabschnitte



## Sicherheit: Errichtung eines (Endlager-)Bergwerks

- Risiken bekannt, mit denen des konventionellen Bergbaus weitgehend vergleichbar und akzeptiert, Erfahrungen auch aus Tunnelbau etc.
- Geringe Abweichungen durch allfällige Nutzung „ungewöhnlicher“ Wirtsgesteine
- Ungewissheiten gering
- Die „Gefahrenquelle Reststoff“ ist noch im Zwischenlager!

## Sicherheit: Einlagerungsbetrieb

- Über Tage: Transport, Konditionierung: Etablierte kerntechnische Praxis mit bekannten Risiken und geringen Ungewissheiten
- Einlagerung: Anforderungen aus Strahlenschutz und Bergwerkssicherheit.  
Herausforderung: Wir betreiben eine untertägige Kernanlage!  
Risiken abschätzbar, Betriebserfahrung fehlt aber weitgehend → Ungewissheiten
- Sicherung (security): Maßnahmen planbar, Risiken abschätzbar

## Sicherheit: Verschluss

- Radiologische Risiken für Personal nehmen ab
- „Konventionelle“ Risiken (untertägige Arbeit) wie in vorangegangenen Phasen
- Risiken für Bevölkerung und Umwelt durch Freisetzung toxischer Stoffe MÜSSEN in diesen Jahrzehnten praktisch gleich 0 sein, (sehr) geringe Ungewissheiten
- Sicherung (security) verbessert sich mit Verschluss

## Sicherheit: Nach Verschluss

- Fast keine Risiken für Personal (nur noch Überwachungspersonal)
- Risiken für Bevölkerung und Umwelt durch potentielle Freisetzung toxischer Stoffe, Ungewissheiten
- Sicherung (security):
  - Überwachungsphase: Tiefenlage als zusätzliches Sicherungselement.
  - Danach: Tiefenlage als einziges „Sicherungselement“.

## Sicherheit: Risiken und Ungewissheiten

- (Im weiten Sinn) abschätzbare Risiken sind nach jetzigem Kenntnisstand akzeptabel
  
- Ungewissheiten:
  - Ungewissheiten bzgl. geogener Phänomene und Prozesse durch Wahl eines geeigneten („langweiligen“) Standorts einzugrenzen
  - (unvermeidliche) Störung durch Endlager (Hohlräume, Spannungszustände, Hydraulik, Chemie, Wärme, ... ) gering halten und abfedern
  - Robustes (gegen „unknown unknowns“ gering empfindliches) System schaffen!
  - **KISS: Keep It Stupidly Simple!**

## Und warum „keine Rückholbarkeit“?

Präzisierung: Was kann „Rückholbarkeit“ bedeuten?

- Für einen bestimmten Zeitraum nach Einlagerung ist Rückholung als allfällige technische Maßnahme zu planen und zu zeigen, dass diese unter Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen durchführbar ist.
- Möglichkeiten:
  - Verlängerte (Teil-)Offenhaltung
  - Technische Maßnahmen zur Erleichterung der Rückholung  
→ s. nächste Folie

Beides auch nebeneinander / ergänzend denkbar.

## KISS-Prinzip und technische Maßnahmen zur Rückholbarkeit Beispiele:

**Salz:**  
Temperatur-  
begrenzung  
→  
langsamere  
Konvergenz

**Ton:**  
zusätzliche  
Metallmassen  
= zusätzliche  
korrosions-  
bedingte  
Gasbildung

**Salz:** nicht  
kompaktierendes,  
dauerhaft  
rieselfähiges  
Versatzmaterial (z. B.  
Quarzsand)  
(statt Salzgrus)

**Ton:**  
Spritzbeton-  
ausbau →  
alkalische  
Verhältnisse  
(mobilisations  
begünstigend)

**Salz:**  
Bohrlöcher  
mit  
zusätzlicher  
Metall-  
Verrohrung

## Abschätzbare Risiken und Ungewissheiten

Risiken:

akzeptabel

noch akzeptabel

inakzeptabel



Ungewissheiten:

gewiss

ungewiss

völlig spekulativ





## Endlagerung „ohne“

Risiken - Ursachen	Errichtung	Einlagerung	Offenhaltung	Verschluss	Nach Verschluss, überwacht	Nach Verschluss, nicht überwacht
<i>Physiko-chemisch</i>						
Abschätz- b. Risiko						
Ungewiss- heit						
<i>Menschlich</i>						
Abschätz- b. Risiko						?
Ungewiss- heit						

## Einlagerung „mit“ (Annahme: keine Rückholung, Verschluss)

Risiken - Ursachen	Errichtung	Einlagerung	Offenhaltung	Verschluss	Nach Verschluss, überwacht	Nach Verschluss, nicht überwacht
<i>Physikochemisch</i>						
Abschätzbar. Risiko	High	Medium	Low	Very Low	Very Low	Very Low
Ungewissheit	Low	Low	Low	Low	Low	Low
<i>Menschlich</i>						
Abschätzbar. Risiko	High	Medium	Low	Very Low	Very Low	?
Ungewissheit	Low	Low	Low	Low	Low	Low

## Oberflächenlagerung

Risiken - Ursachen	Errichtung	Einlagerung	Offenhaltung	?	?	?
<i>Physikochemisch</i>						
Abschätzb. Risiko				?	?	?
Ungewissheit						
<i>Menschlich</i>						
Abschätzb. Risiko				?	?	?
Ungewissheit						

## Gerechtigkeit

- Gegenwart und nahe Zukunft (intra-generationell):
  - Entscheidendes Merkmal aller drei ENTRIA-Optionen: zentrale Lagerung, damit Lasten und Risiken ungleich verteilt.
  - Anzustreben: Prozedurale Gerechtigkeit.  
Einfacher zu erreichen für Oberflächenlagerung  
(mehr Freiheitsgrade wg. geringer Ansprüche an Geologie).
- Fernere Zukunft (inter-generationell)
  - Das Projektionsproblem (was ist gerecht?)
  - Mehr Freiheitsgrade (Oberflächenlagerung, Rückholbarkeit) gehen mit mehr Belastung und Verantwortung (und mehr Ungewissheit) einher.
  - Persönliche Überzeugung: Künftige Generationen könnten hinreichend viele eigene Probleme haben, ihnen sollte so bald als möglich ein Zustand möglichst geringer Belastung, Verantwortung und Ungewissheit hinterlassen werden.

## Also:

- Sicherheit:
  - Abschätzbare Risiken sind für alle Optionen auf ein akzeptables Maß zu bringen → keine ausschlaggebenden Unterschiede zwischen Optionen
  - Ungewissheiten für „Endlagerung ohne“ am geringsten, dramatischer Unterschied zu Oberflächenlagerung
  
- Gerechtigkeit:
  - „Endlagerung ohne“ bietet so bald als möglich Zustand möglichst geringer Belastung, Verantwortung und Ungewissheit
  - Flexibilität bleibt aber dennoch noch für Jahrzehnte erhalten!

## Danke für Ihre Aufmerksamkeit

- [www.entria.de](http://www.entria.de)
- Kontakt
- Förderkennzeichen 15S9082A-E

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung