

Endlagerung radioaktiver Abfälle

Objektive Beurteilung von Endlagerstandorten
durch Ermittlung von Emissionsgrenzwerten
über geologische Zeiträume

Finsterwalder Umwelttechnik (Fitec)

Objektive Beurteilung von Endlagerstandorten

Standortauswahl auf Grundlage einer Emissionsgrenzwertanalyse mit Bemessung der Sicherheitssysteme:

- Emissionsgrenzwertanalyse auf Basis von rechtlichen Vorgaben sowie auf Basis von Kriterien der nachgeordneten Behörde.
- Entwerfen der Sicherheitssysteme.
- Erstellen von Emissionsgrenzwertanalysen angepasst an Standort und Art des Endlagers.
- Untersuchungszeitraum muss die Maximalemission erfassen (Langzeitsicherheitsnachweise für 1 – 5 Mio. Jahre je nach Rahmenbedingung).
- Optimierung der Maßnahmen in Bezug auf Wirkung und Kosten .

Was bedeutet Bemessung:

Unter Bemessung wird die **Sicherheitsbeurteilung** eines Bauwerks verstanden, deren Ergebnis gleich oder besser sein muss, als das von der **Gesellschaft** akzeptierte Risiko. Das von der Gesellschaft akzeptierte Risiko wird vom Gesetzgeber und den nachgeordneten Behörden definiert.

Kriteriengesteuertes Standortauswahlverfahren

Die Bemessung der Sicherheitssysteme eines Zwischen-/Endlagers erfolgt auf Grundlage anerkannter naturwissenschaftlicher Methoden unter Berücksichtigung von ökologischen und ökonomischen Gegebenheiten.

Bausteine der objektiven Beurteilung von Standorten durch Ermittlung von Emissionsgrenzwerten:

- 1) Beurteilungskriterien der Behörde (z.B. Auslöseschwellenwerte), die die Versagensrisiken zum Schutz des Allgemeinwohls definieren.
- 2) Bemessungstheorie auf naturwissenschaftlicher Grundlage (Stofftransportgesetz).
- 3) Materialdaten (techn. Abdichtungssysteme, geologische Barriere).
- 4) Belastungsdaten (Daten der Emissionsquelle).
- 5) Einwirkungen (Eingriffe in das Wirtsgestein, Abmessungen des Endlagers).

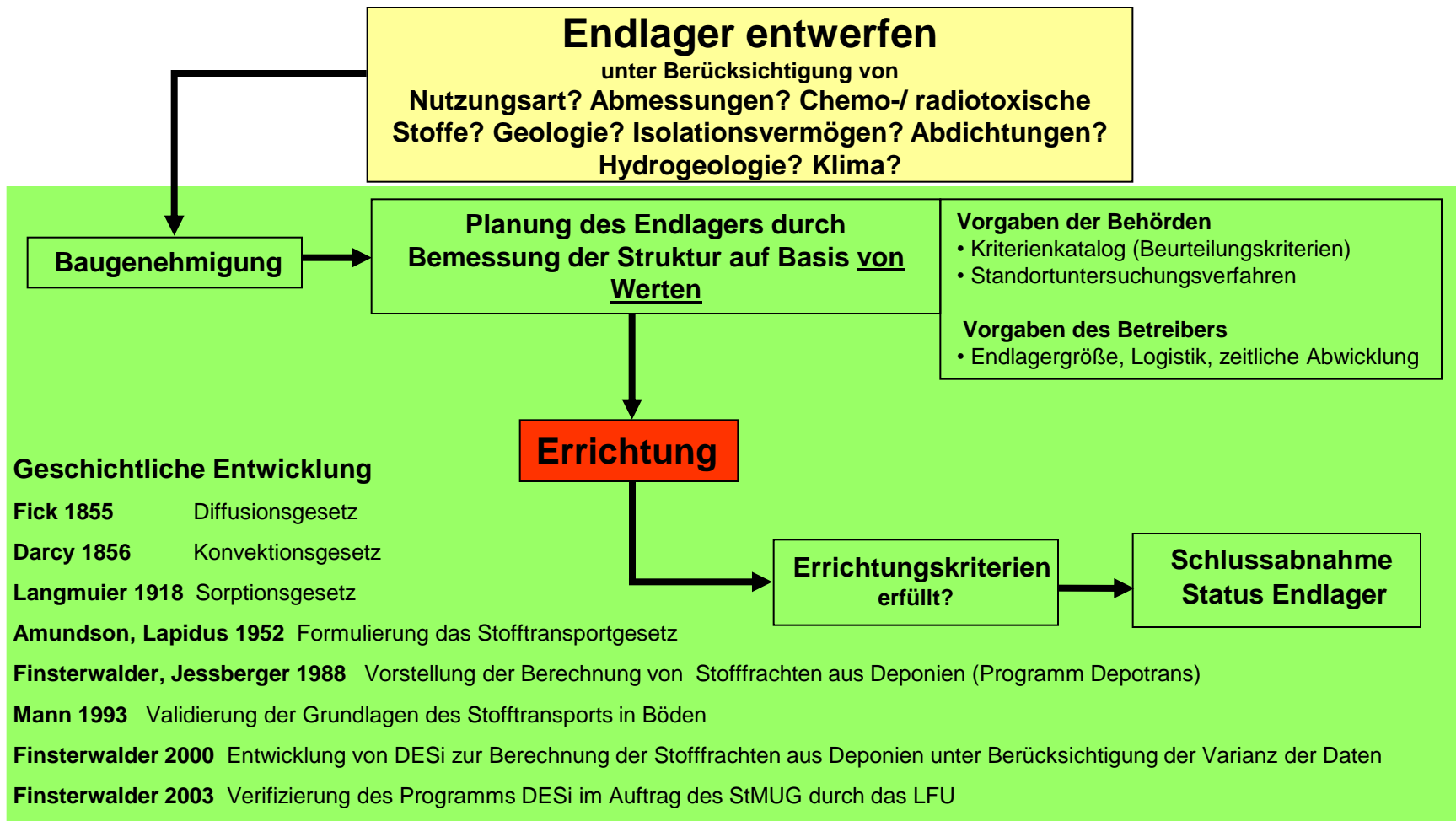
1) Beurteilungskriterien der Behörde (z.B. Auslöseschwellenwerte)

- Die Auslöseschwellen sind **Vorgaben** der Behörden, die die Versagensrisiken zum Schutz des Allgemeinwohls definieren.
- Die Bemessung eines Zwischen-/Endlagers erfordert die Bestimmung der **Emissionsgrenzwerte**.
- Die Emissionsgrenzwerte sind mit den Auslöseschwellen durch folgende Beziehung verknüpft:

$$\text{Auslöseschwelle} \geq \text{Emissionsgrenzwert (Isolation)}$$

- Genügt das Sicherheitssystem dieser Bedingung, sind die **Schließungskriterien** erfüllt.
- Als allgemeine Forderung gilt die **Nachsorgefreiheit** des Endlagers.

Langzeitsicherheitsnachweis in der Planungsphase auf Basis von Werten - Prinzip der Vorsorge



2) Bemessungstheorie auf naturwissenschaftlicher Basis (Stofftransportgesetz)

Die Gesetzmäßigkeiten des Stofftransports wurden 1952 erstmals in Form einer Differentialgleichung für Anwendungen in der Chromatographie formuliert und für Anwendungen auf offenporige Systeme 1984 weiterentwickelt.

$$D \frac{d^2c}{dx^2} + k \frac{l}{n} \frac{dc}{dx} - S \frac{dc}{dt} = A$$

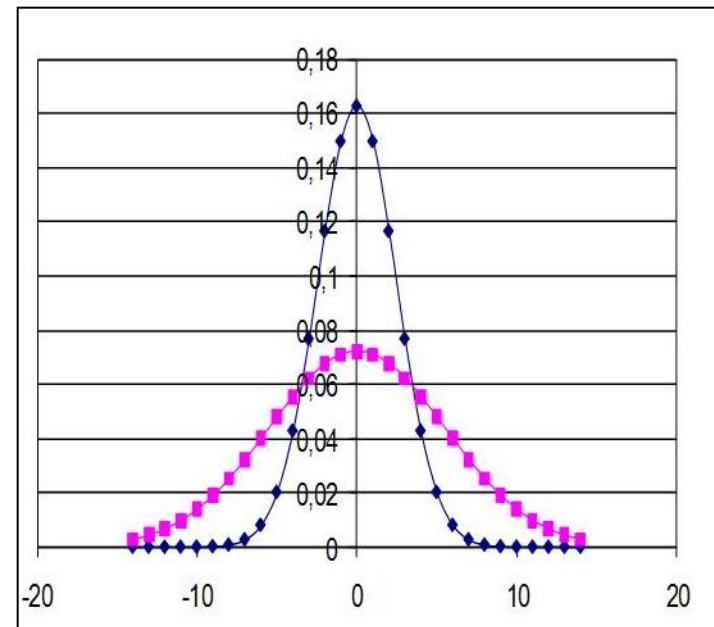
Darin bedeuten:

- D Diffusionskoeffizient nach Fick [m/s]
- k Durchlässigkeitsbeiwert nach Darcy [m/s]
- S Sorptionsanteil [-]
- l hydraulischer Gradient [-]
- c Konzentration der gelösten Stoffe im Porenwasser [kg/m]
- n Porenanteil des Bodens [-]
- x Koordinate x der Transportachse [m]
- t Zeit [s]
- A Ausfällung durch Reaktion der Sickerwasserinhaltsstoffe [kg]

Diese Differentialgleichung beschreibt **Bewegung eines Molekülschwarms** unter dem Einfluss von Diffusion, Konvektion und Sorption in Abhängigkeit vom betrachteten Ort und der Zeit **im Porenraum des Wirtsgesteins**.

3) Materialdaten (technische Abdichtungssysteme, geologische Barriere)

- **Alle** Daten sind ihrer Natur nach **probabilistisch**, also mit Streuungen behaftet, beispielhaft dargestellt anhand der Materialdaten.
- Die Daten müssen unter Berücksichtigung ihrer **Streuung** in die Emissionsgrenzwertanalyse einfließen.
- Bereits in der Planungsphase erhält man als Ergebnis die realen **Emissionsgrenzwerte** (Isolation), die sich aus der Überlagerung der denkbar ungünstigsten Bedingungen als Funktion der Zeit errechnen (Verknüpfung über das Stofftransportgesetz).
- Die **Emissionsgrenzwerte** können mit den Beurteilungskriterien direkt verglichen werden.
- Diese **Emissionsgrenzwerte** werden mit Sicherheit eingehalten, wenn die in der Emissionsgrenzwertanalyse verwendeten Eigenschaften nachgewiesen werden.



Unterschied Mittelwert und Emissionsgrenzwerte

4) Belastungsdaten (Daten der Emissionsquelle)

- Die Emissionsgrenzwertanalyse basiert auf Berechnung des beweglichen Molekülschwarms aus der Stoffquelle, unter Berücksichtigung von **Molekulargewicht, Ladungsart, Wertigkeit und Halbwertszeit**.
- Dies bedeutet, dass sowohl **chemotoxische**, als auch **radiotoxische** Stoffe in ihrem Wanderungsverhalten, ausgehend von der Quelle in die Umgebung, in Bezug auf Menge und Zeit, untersucht werden können:

I. Chemotoxische Stoffe in Abfällen:

Eigenschaften: Fest oder wasserlöslich (mobil)
Zerfallen nicht, ev. Abbau

Untersuchungszeitraum: 250 bis 5.000 Jahre

I. Radiotoxische Stoffe in Abfällen:

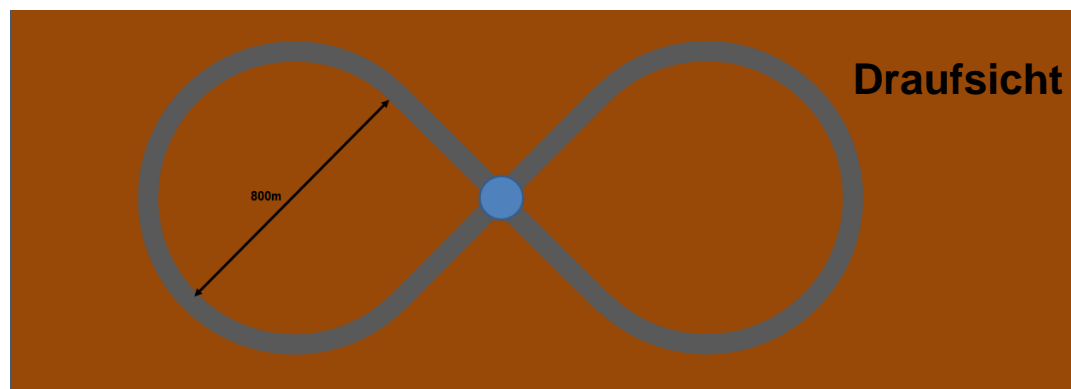
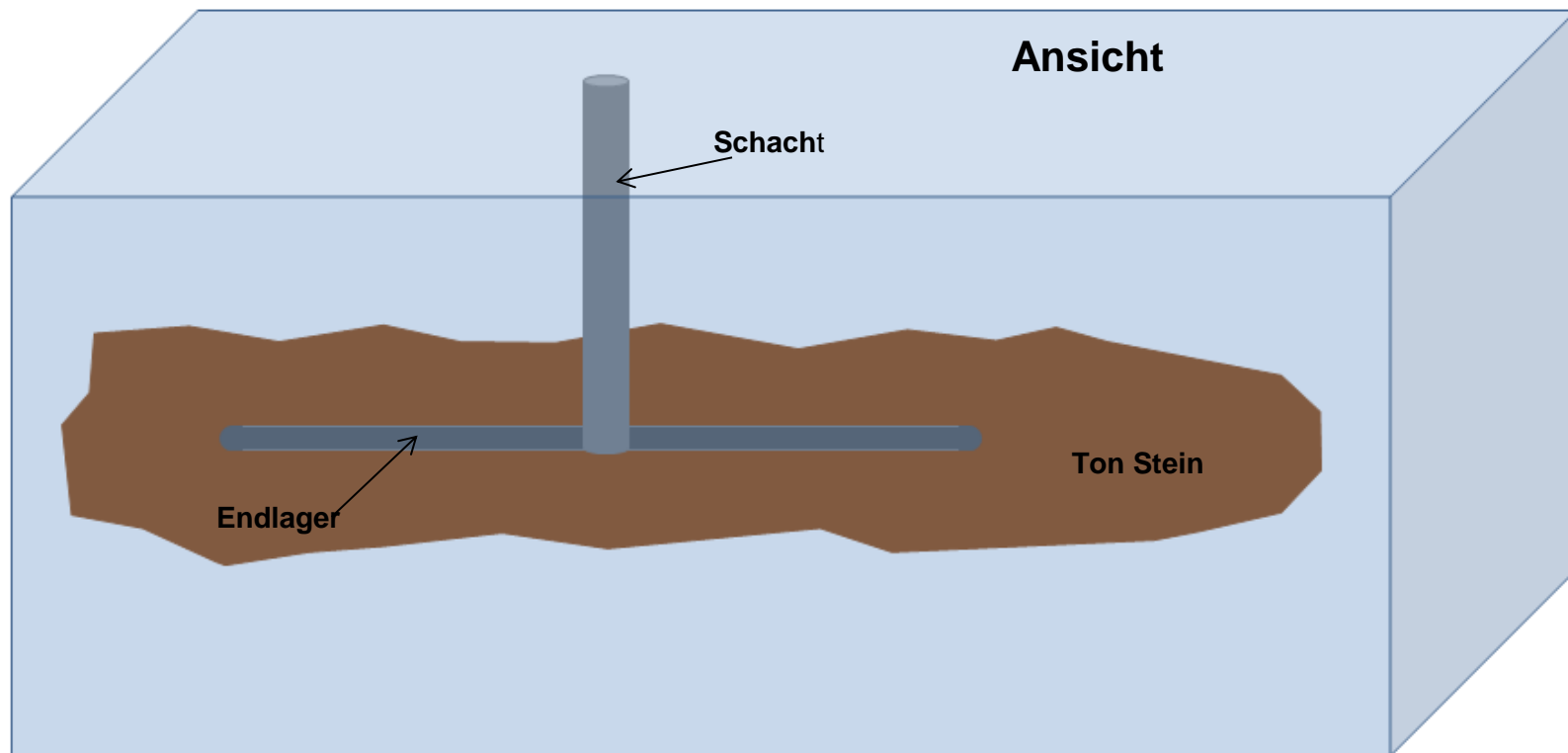
Eigenschaften: Fest oder wasserlöslich, dann mobil
Zerfall, radioaktive Strahler mit unterschiedlichen Halbwertszeiten

Untersuchungszeitraum: Ergebnis der Analyse, je nach
Rahmenbedingung 1 – 5 Mio. Jahre

- Chemotoxische und radiotoxische Stoffe unterscheiden sich vor allem durch ihre Beständigkeit.

5) Einwirkungen (Eingriffe in das Wirtsgestein, Abmessungen des Endlagers)

- **Bemessung der statischen Sicherheit auf der Grundlage der DIN Normen**
- **Beurteilung der Rückhaltkapazität der Barrieren:**
 - a) **Randbedingungen:**
 - Lagerbehälter der atomaren Reststoffe sind korrodiert.
 - Feuchtigkeit ist vorhanden.
 - Umgebung Tongestein.
 - Stoffmix aus 15 löslichen Verbindungen.
 - Stofftyp: Rechenbeispiel Cäsium 135.
 - b) **Bemessungskriterien**
 - Bemessungskriterien werden zusammen mit den Behörden festgelegt, z.B. radioaktive Strahlung muss $<$ sein als die natürliche mittlere Strahlung in Deutschland.
 - Nachweiszeitraum: Ergebnis der Analyse, je nach Rahmenbedingung 1 – 5 Mio. Jahre.



*Potentieller
Vorschlag für den
Entwurf eines
Endlagers*

Emissionsgrenzkurven für verschiedenen geol. Barrieren Cäsium 135, Halbwertszeit 2 Mio. a

1) Emissionsgrenzwert (Emissionswerte niedrige Wahrscheinlichkeit)

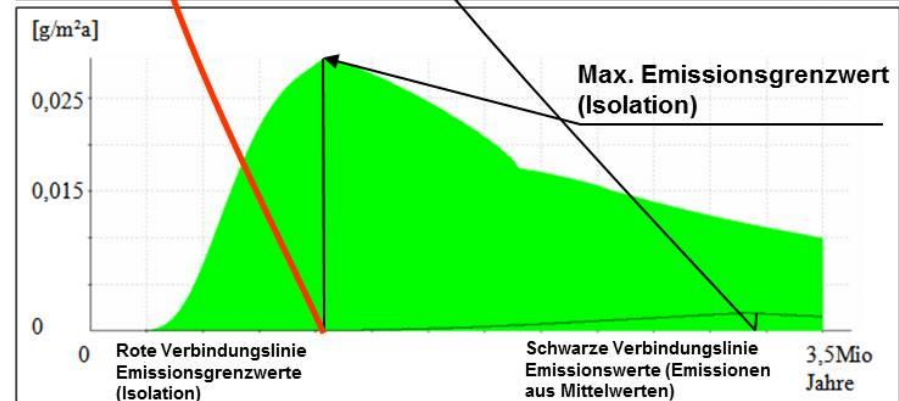
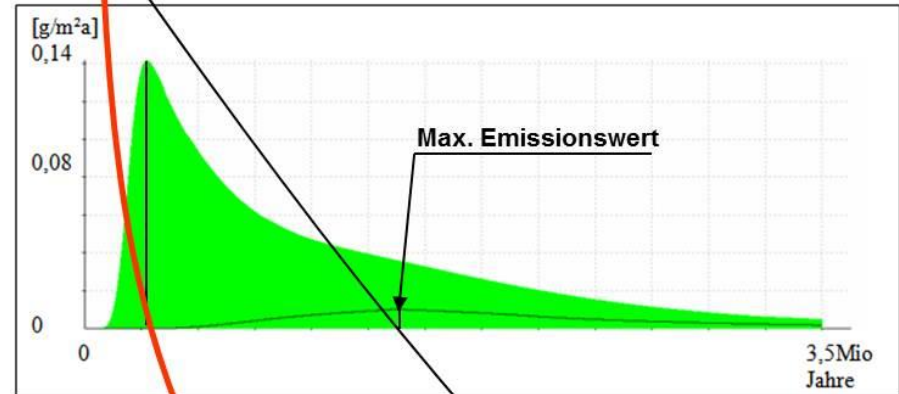
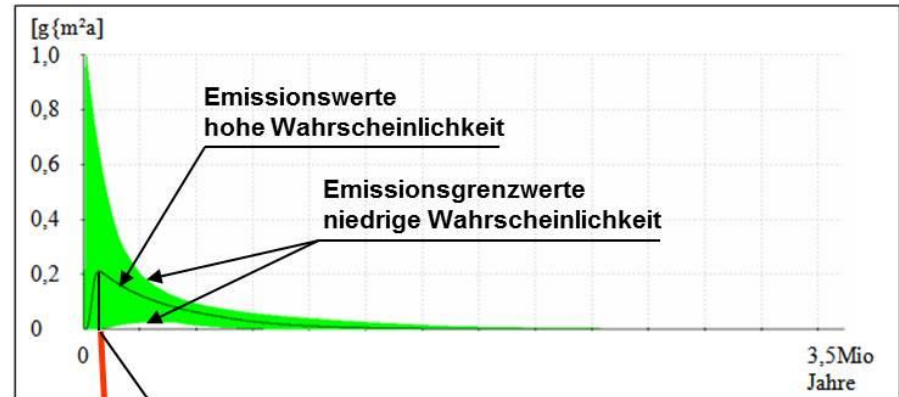
Abstand Quelle		Strahlendes Material - Emissionsmaximum	Zeitpunkt - Emissionsmaximum
Nr.	Mächtigkeit [m] Ton	g/m ² ·a	Jahre [a]
1	5	1,0005	13.462
2	25	0,1418	297.230
3	45	0,0298	1.103.846

2) Emissionswert (Emissionswerte hohe Wahrscheinlichkeit)

Abstand Quelle		Strahlendes Material - Emissionsmaximum	Zeitpunkt - Emissionsmaximum
Nr.	Mächtigkeit [m] Ton	g/m ² ·a	Jahre [a]
1	5	0,2115	75.923
2	25	0,0102	1.471.077
3	45	0,00191	3.124.154

3) Veränderung in Prozent zw. Maxima Emissionsgrenzwert (Isolation) und Emissionswert (Emission aus Mittelwerten)

Abstand Quelle		Fehleinschätzung
Nr.	Mächtigkeit [m] Ton	Veränderung in %
1	5	473
2	25	1.390
3	45	1.560



Zusammenfassung zur Objektive Beurteilung von Endlagerstandorten durch Ermittlung von Emissionsgrenzwerten über geologische Zeiträume

- Die **Bemessung** der Sicherheitsmaßnahmen ist erforderlich, um dem **Prinzip der Vorsorge** zu genügen.
- Behörden müssen **Beurteilungskriterien** verbindlich vorgeben, um die **Risiken**, die von Endlagen über **geologische Zeiträume** langfristig ausgehen, zu **begrenzen**.
- Dazu zählen die **Grenzbedingungen**, wie z.B. **Wartungsfreiheit** oder **Auslöseschwellen**, die mindestens eingehalten werden müssen.
- Die Langzeitsicherheitsnachweise müssen unter der Berücksichtigung der **Varianz der Daten** das **Emissionsgrenzverhalten** der Endlager beschreiben.
- Die Nachweise für **Endlager** von **Siedlungsabfällen** und **atomaren Abfällen** unterscheiden sich nur durch die erforderlichen **Betrachtungszeiträume**, aber nicht **prinzipiell**.

Objektive Beurteilung von Endlagerstandorten durch Ermittlung von Emissionsgrenzwerten über geologische Zeiträume

- **Vorplanung: Eignungsnachweise** für mögliche Standorte nach **ökologischen Kriterien (Emissionsgrenzwertanalysen)**
Beitrag der Fitec
- **Auswahl von Standorten** nach **ökonomischen (Investition und Logistikkosten) und politischen Kriterien**
- **Planung** der Endlager an den ausgewählten Standorten
Beitrag der Fitec - Teilaspekt Sicherheit
- **Bau und Betrieb (Zwischenlager)**
- **Transport und Einlagerung** der Atomaren Reststoffe
- **Schließung** mit **Entlassung** aus der **Nachsorge = Endlager**
Nachweis der Sicherheit mit den beim Bau und der Schließung generierten Daten

Verfahrensschritte Fitec zur Verifikation der Ermittlung der Emissionsgrenzwerte über geologische Zeiträume

- **Vorplanung / erste Auswahlstufe:** Basis sind vorhandene Daten aus der Untersuchungen und Bewertungen von Gesteinsformationen, Auswahlverfahren für Endlagerstandorte, gesetzliche Vorgaben, etc. (z.B. BGR, GRS, GSK, ggf. Kriterien der AkEnd).
- **Detailplanung / Untergrunderkundung** ausgewählter Standorte: Nachrechnung der Emissionsgrenzwerte basierend auf den Daten der Untergrunderkundung.
- **Bau des Endlager** an den ausgewählten Standorten / großflächiger Untergrundaufschluss – Wiederholung der Berechnung aus der Detailplanung.
- **Schließung des Endlagers** / dauerhafter Verschluss ohne Rückholbarkeit – Schlusskontrolle

Nachweis

der Einhaltung von Werten = Auslöseschwellen
durch Ermittlung von
Fracht- und Emissionsgrenzwerten auf Basis von Datenbereichen

