



# **Indikatoren zur Bewertung des Einschlusses von Radionukliden in einem Endlagersystem im Kristallingestein**

J. Wolf, D. Becker, T. Frank, A. Rübél

Online-Infoveranstaltung FuE-Vorhaben [BMWI] CHRISTA-II 15.6.2021

# Indikatoren im Vorhaben CHRISTA-II

## Ziele:

- Einsatz von bewährten Sicherheits- und Performance-Indikatoren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle im Kristallingestein
  - multipler ewG
  - überlagernder ewG
  - modifiziertes KBS-3-Konzept (ewB-Konzept)
- Bewertung des Einschlusses von Radionukliden nach § 4 EndlSiAnfV
  - *Abs. 1: Die einzulagernden radioaktiven Abfälle sind im Endlagersystem mit dem Ziel **zu konzentrieren und sicher einzuschließen**, die darin enthaltenen Radionuklide mindestens im Bewertungszeitraum von der Biosphäre fernzuhalten.*
  - *Abs. 4: Der sichere Einschluss muss innerhalb der wesentlichen Barrieren nach Absatz 3 so erfolgen, dass die Radionuklide aus den radioaktiven Abfällen **weitestgehend am Ort ihrer ursprünglichen Einlagerung verbleiben**.*

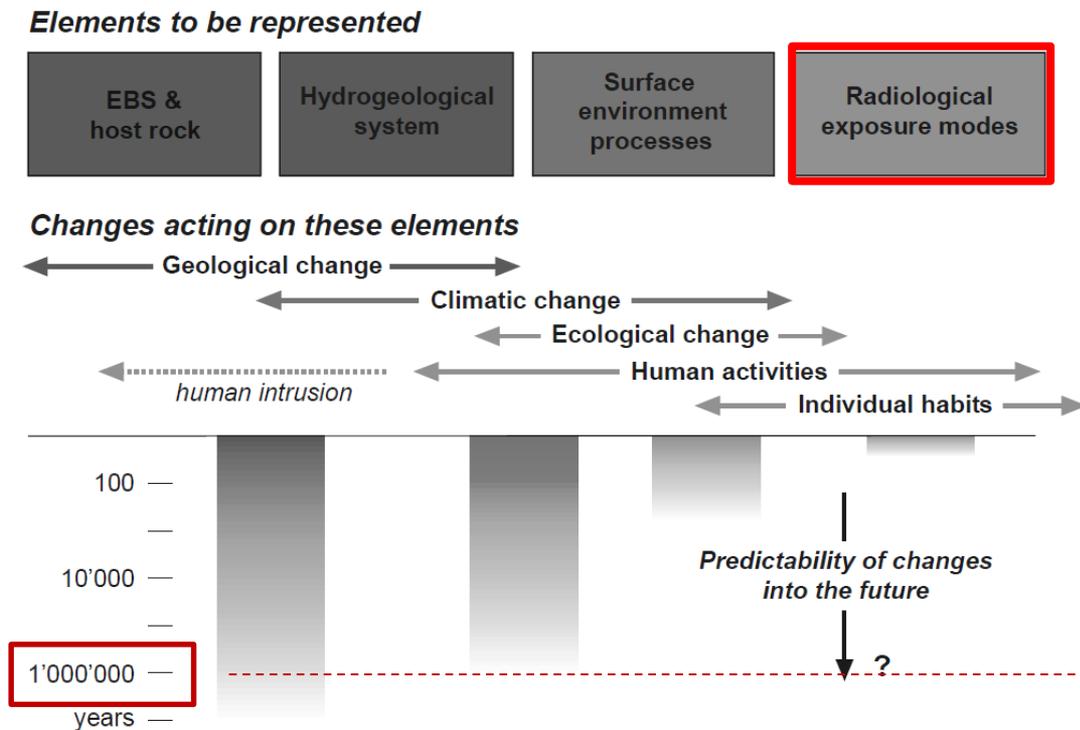
# Indikatoren im Vorhaben CHRISTA-II

## Ziele:

- Einsatz von bewährten Sicherheits- und Performance-Indikatoren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle im Kristallingestein
  - multipler ewG
  - überlagernder ewG
  - modifiziertes KBS-3-Konzept (ewB-Konzept)
- Bewertung des Einschlusses von Radionukliden nach § 4 EndlSiAnfV
  - Abs. 1: *Die einzulagernden radioaktiven Abfälle sind im Endlagersystem mit dem Ziel **zu konzentrieren** und **sicher einzuschließen**, die darin enthaltenen Radionuklide mindestens im Bewertungszeitraum von der Biosphäre fernzuhalten.*
  - Abs. 4: *Der sichere Einschluss muss innerhalb der wesentlichen Barrieren nach Absatz 3 so erfolgen, dass die Radionuklide aus den radioaktiven Abfällen **weitestgehend am Ort ihrer ursprünglichen Einlagerung verbleiben.***
- Modellierung der Grundwasserströmung und des Schadstofftransportes unterhalb eines überlagernden ewG → Vortrag M. Johnen

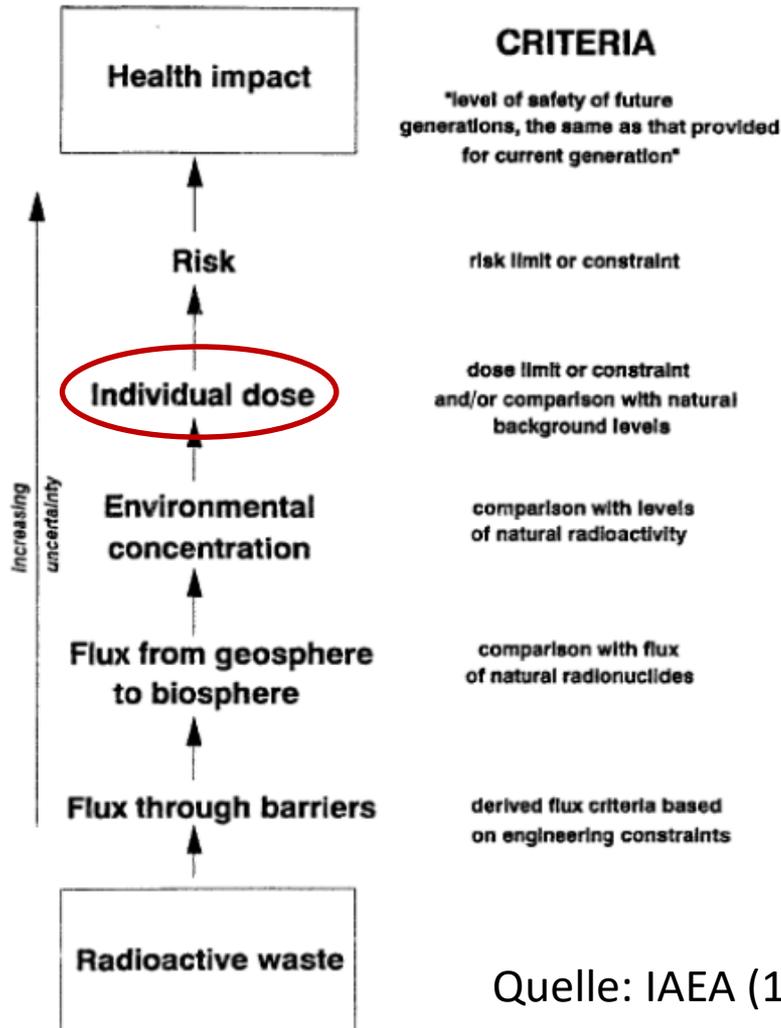
## Indikatoren: Effektive Dosis

- International akzeptierter Standard zur Bewertung der Gefährdung des Menschen durch den Einfluss ionisierender Strahlung
- Sehr gut abgesicherter Referenzwert, internationale Empfehlungen vorhanden
- aber:



Quelle: OECD/NEA Nuclear Energy Agency PAAG document NEA/RWM/PAAG(99)5

# Komplementäre Sicherheitsindikatoren



Quelle: IAEA (1994)

Zunehmender Sicherheitsbezug

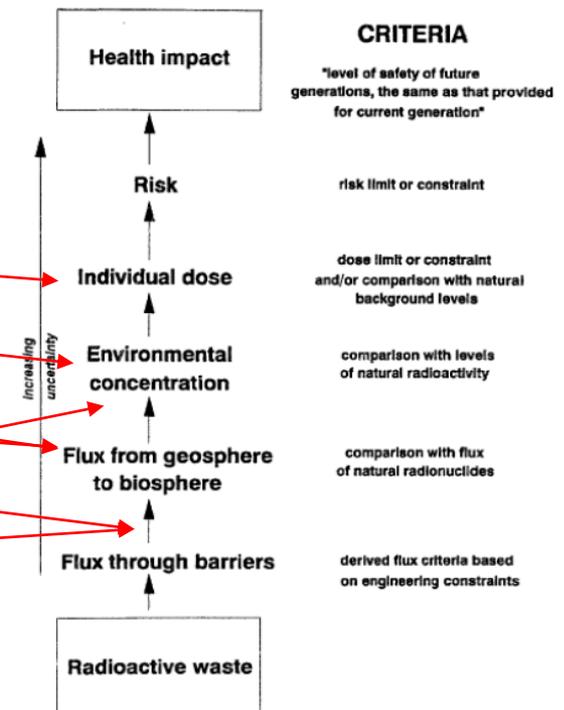
Zunehmende Ungewissheiten bei Bewertung im Bewertungszeitraum

# Sicherheitsindikatoren

- Definition gemäß EU-Vorhaben SPIN (1998-2002)
  - Liefern einen Maß für die Sicherheit des **gesamten Endlagersystems**
  - Erlauben einen Vergleich mit einem sicherheitsrelevanten **Referenzwert**
  - Berücksichtigen **alle sicherheitsrelevanten Radionuklide**
  - Sind numerisch berechenbar

Safety Indicator	Unit
effective dose rate	Sv/y
radiotoxicity concentration in biosphere water	Sv/m <sup>3</sup>
radiotoxicity flux from geosphere	Sv/y
time integrated radiotoxicity flux from geosphere	Sv
radiotoxicity outside geosphere	Sv
relative activity concentration in biosphere water	-
relative activity flux from geosphere	-

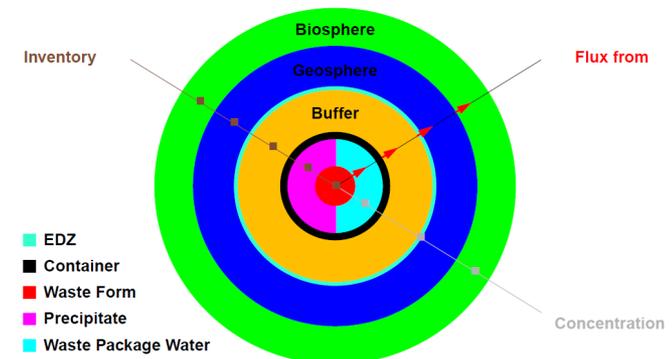
Quelle: SPIN (2003)



# Performance-Indikatoren

- Definition gemäß EU-Vorhaben SPIN:
  - Liefern einen Maß für die Leistung des Endlagersystem oder eines seiner Teilsysteme
  - **Erlauben einen Vergleich verschiedener technischer Optionen oder gegenüber einem definierten Maßstab (kein Referenzwert notwendig)**
  - Berücksichtigen alle oder einen Teil der sicherheitsrelevanten Radionuklide
  - Sind numerisch berechenbar

Indicator	Unit
Activity in compartments	Bq
Activity flux from compartments	Bq/y
Time-integrated activity flux from compartments	Bq
Activity outside compartments	Bq
Radiotoxicity in compartments	Sv
Radiotoxicity flux from compartments	Sv/y
Time-integrated radiotoxicity flux from compartments	Sv
Radiotoxicity outside compartments	Sv
Activity concentration in compartment water	Bq/m <sup>3</sup>
Transport time through compartments	y
Proportion of not totally isolated waste	-
Concentration in compartment water divided by concentration in waste package water	-
Time-integrated flux from geosphere divided by initial inventory	-



## Warum Performance-Indikatoren?

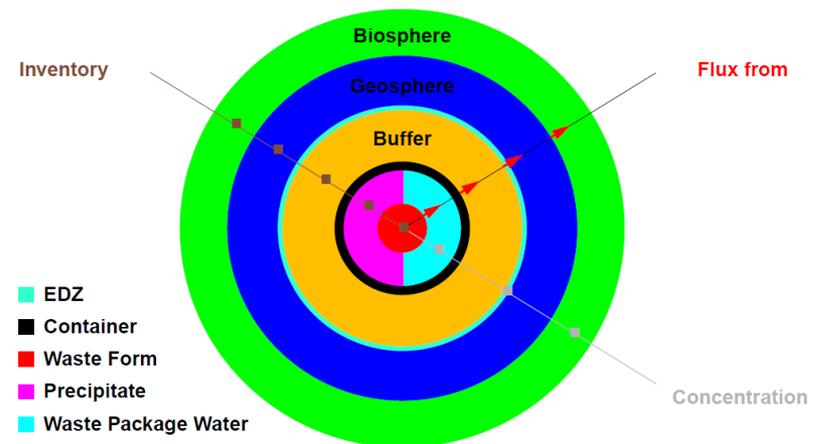
- Liefern wichtige Argumente im Safety Case
- Liefern wichtige Beiträge zum Verständnis der Abläufe in einem Endlagersystem
  - Anteil der freigesetzten Radionuklide
  - Rückhaltung in Kompartimenten
  - Funktionalität der Barrieren (Überprüfung der zugewiesenen Sicherheitsfunktionen)
- z.T. wesentlich anschaulicher und dadurch einfacher zu kommunizieren als Sicherheitsindikatoren (insb. effektive Dosis)
- Beurteilung technischer Optionen

# Indikatoren in den EndlSiAnfV

## §4 Sicherer Einschluss der radioaktiven Abfälle

- Für die zu erwartenden Entwicklungen ist zu prüfen und darzustellen, dass im Bewertungszeitraum
  - 1. insgesamt höchstens ein Anteil von  $10^{-4}$  und
  - 2. jährlich höchstens ein Anteil von  $10^{-9}$

sowohl der Masse als auch der Anzahl der Atome aller ursprünglich eingelagerten Radionuklide aus dem Bereich der wesentlichen Barrieren ausgetragen wird. In diesen Anteilen sind auch radioaktive Zerfallsprodukte der ursprünglich eingelagerten Radionuklide zu berücksichtigen.



## Die Indikatoren aus § 4 EndlSiAnfV (I)

**Jährlich freigesetzter Anteil der Radionuklidmasse:** bewertet den Anteil der jährlich im Bewertungszeitraum freigesetzten Masse an Radionukliden gegenüber der Masse des Gesamtinventars:

$$\text{JAM} = \frac{\sum_i S_i \cdot MKF_i}{K_M}$$

$S_i$  = Radionuklidaktivitätsstrom [Bq/a]

$MKF_i$  = Massenkonzentrationsfaktoren [kg/Bq]

$K_M$  = Anteil von  $10^{-9}$  der Masse der eingelagerten Radionuklide

**Gesamter freigesetzter Anteil der Radionuklidmasse:** bewertet den Anteil der im Bewertungszeitraum freigesetzten Masse an Radionukliden gegenüber der Masse des Gesamtinventars:

$$\text{GAM} = \frac{\sum_i \int_{t=0}^{10^6} S_i \cdot MKF_i dt}{K_{MI}}$$

$S_i$  = Radionuklidaktivitätsstrom [Bq/a]

$MKF_i$  = Massenkonzentrationsfaktoren [kg/Bq]

$K_{MI}$  = Anteil von  $10^{-4}$  der Masse der eingelagerten Radionuklide [kg]

## Die Indikatoren aus § 4 EndlSiAnfV (II)

**Jährlich freigesetzter Anteil der Radionuklidmenge:** bewertet den Anteil der jährlich im Bewertungszeitraum freigesetzten Menge an Radionukliden gegenüber der Stoffmenge im Gesamtinventar:

$$JAN = \frac{\sum_i S_i \cdot NKF_i}{K_N}$$

$S_i$  = Radionuklidaktivitätsstrom [Bq/a]

$NKF_i$  = Molkonversionsfaktoren [mol/Bq]

$K_N$  = Anteil von  $10^{-9}$  der Stoffmenge der eingelagerten Radionuklide

**Gesamter freigesetzter Anteil der Radionuklidmenge:** bewertet den Anteil der im Bewertungszeitraum freigesetzten Menge an Radionukliden gegenüber der Stoffmenge des Gesamtinventars:

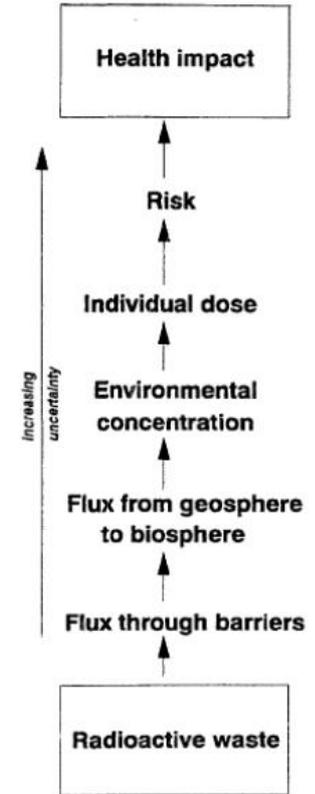
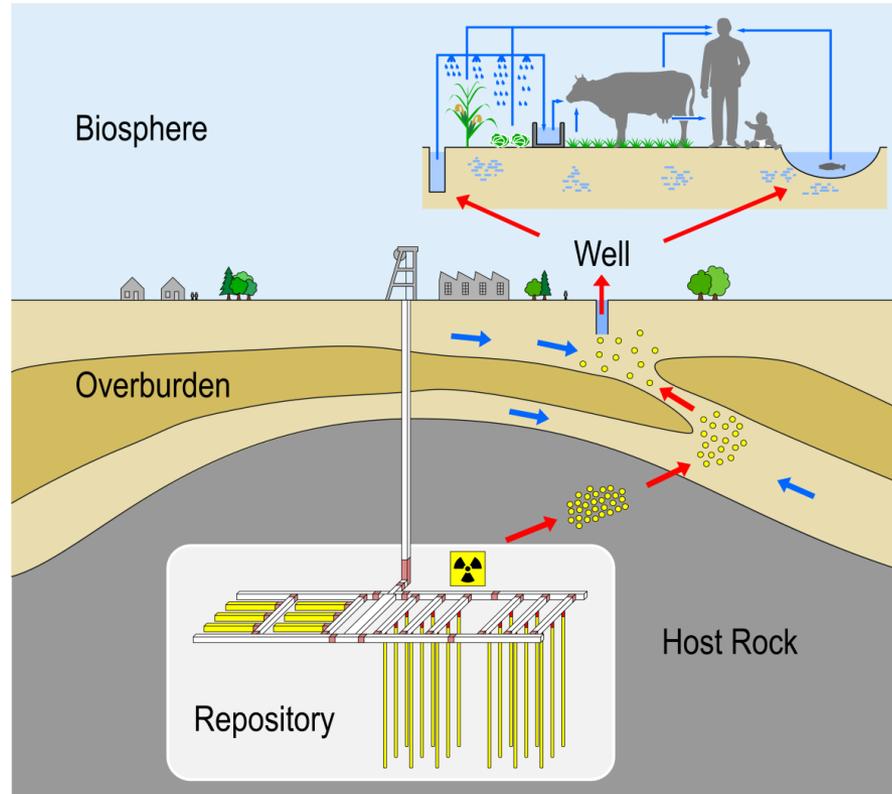
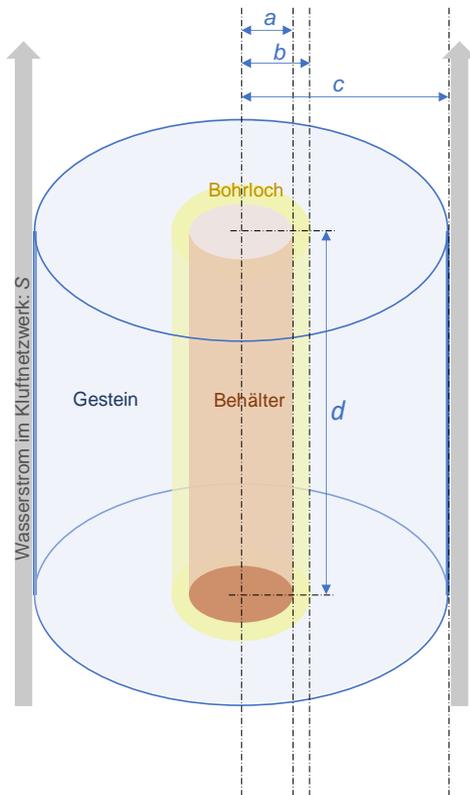
$$GAN = \frac{\sum_i \int_{t=0}^{10^6} S_i \cdot NKF_i dt}{K_{NI}}$$

$S_i$  = Radionuklidaktivitätsstrom [Bq/a]

$NKF_i$  = Molkonversionsfaktoren [mol/Bq]

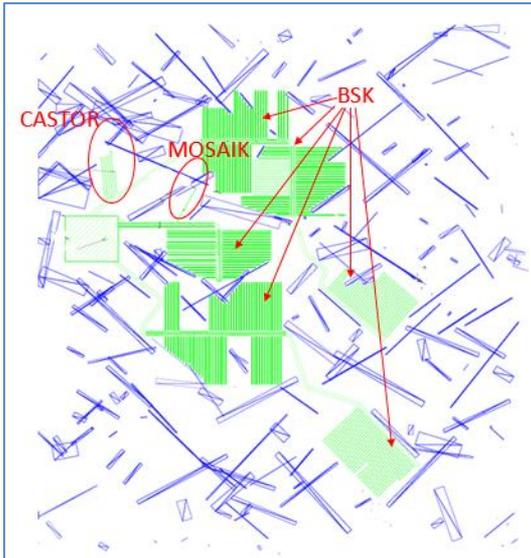
$K_{NI}$  = Anteil von  $10^{-4}$  der Stoffmenge der eingelagerten Radionuklide

# Modelle zur Bewertung der Indikatoren

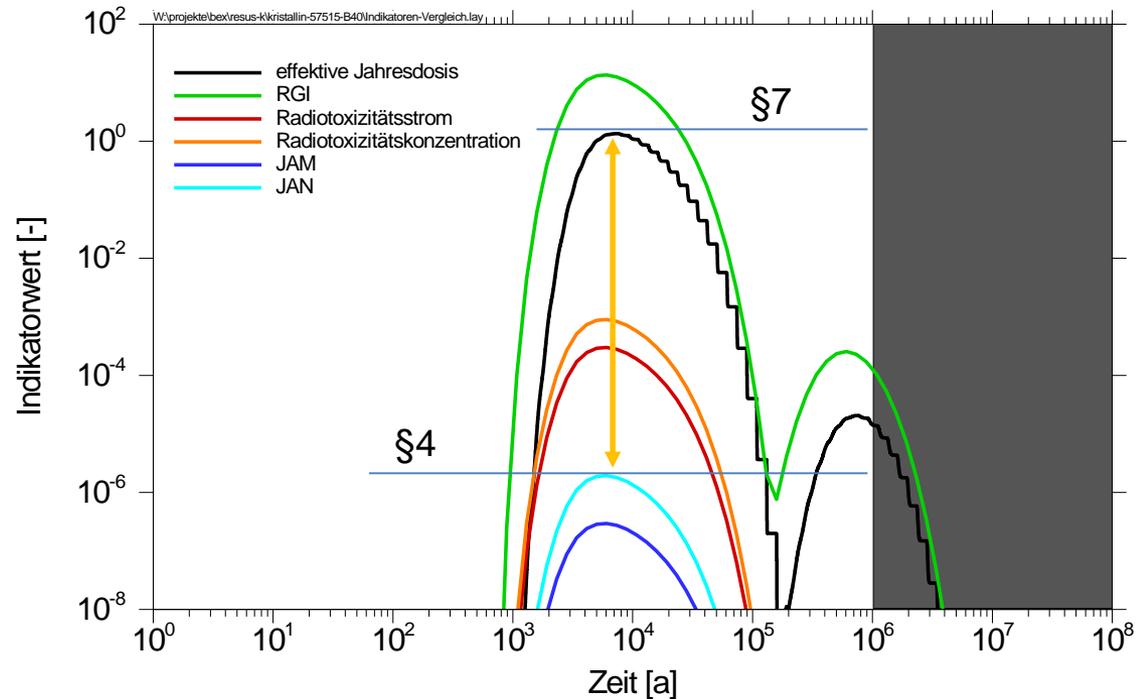


ELS	a [m]	b [m]	c [m]	d [m]	S [m <sup>3</sup> /a]
mewG	0,530	2,785	12,785	1,5	10 <sup>6</sup>
üewG	-	2,785	2,885	1,5 (MOSAİK) 4,0 (CSD) 5,07 (CASTOR)	10 <sup>6</sup>
mKBS-3	0,265	0,775	-	5,1	10 <sup>6</sup>

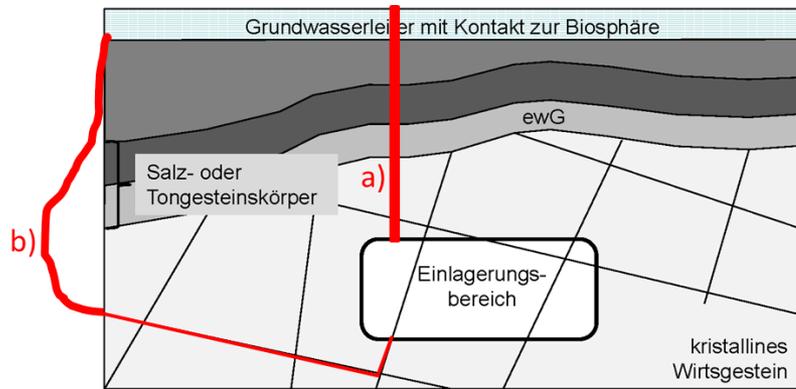
# Indikatoren im Endlagersystem „Multipler ewG im Kristallingestein“



Kein Behälterausfall kupferummantelte Behälter  
andere Behältertypen (Mosaik) nach 500 Jahren

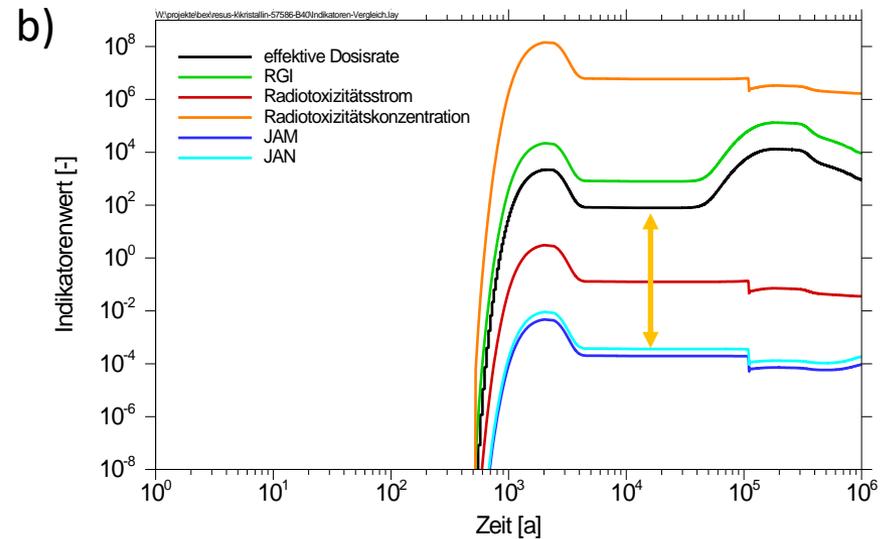
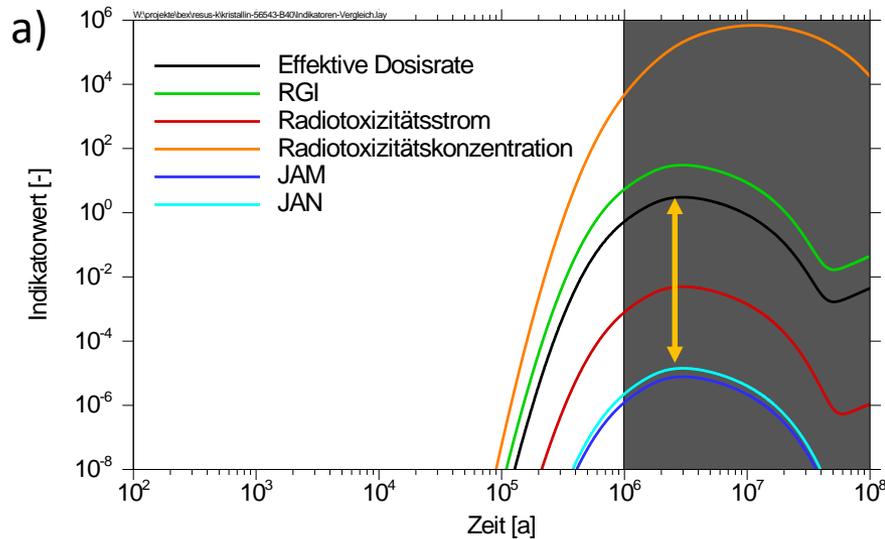


# Indikatoren im Endlagersystem „überlagernder ewG“

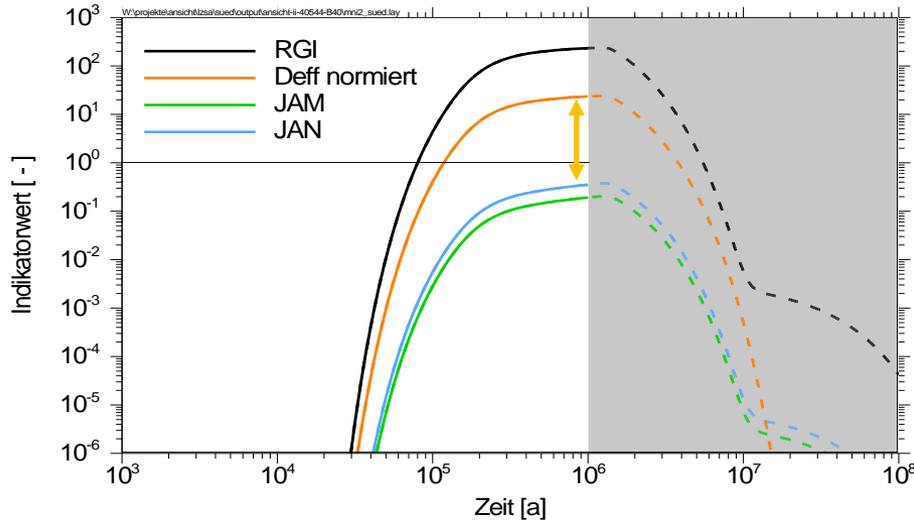


Behälterausfall nach 500 Jahren

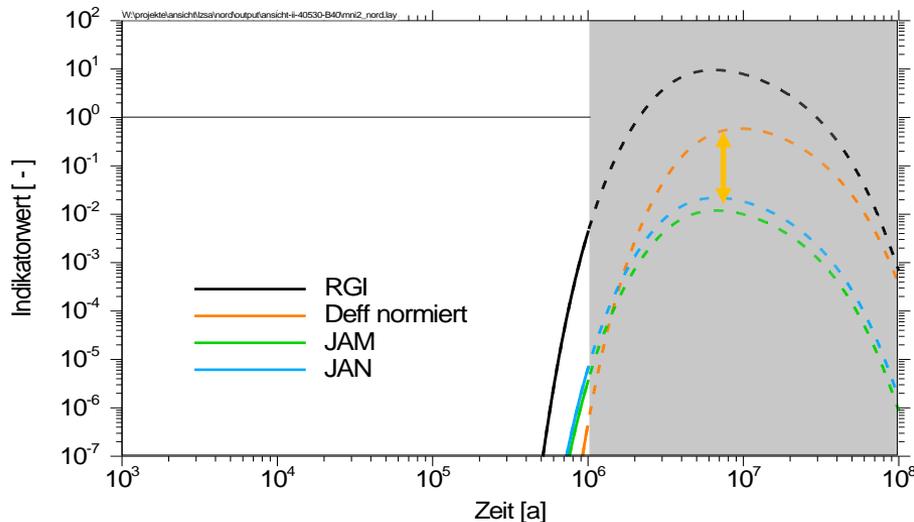
horizontale ewG-Erstreckung: 1.000 m



# Indikatoren im Tongestein (FuE-Vorhaben ANSICHT-II)



ANSICHT-II Ton Süd  
generischer Standort



ANSICHT-II Ton Nord  
generischer Standort

## Fazit

- Werkzeuge zur Berechnung von Indikatoren für ein Endlager in Kristallingestein vorhanden, aber 20 Jahre alt → Stand von WuT?
- EndlSiAnfV verknüpfen in geeigneter Weise Sicherheits- und Performance-Indikatoren
  - Sicherheitsindikator: Dosiswert § 7 EndlSiAnfV
  - Performance-Indikator: Sicherer Einschluss nach § 4 EndlSiAnfV
- Namensgebung zu § 4 (Sicherer Einschluss) kann falsche Erwartungen wecken
- Auf Grund der in den EndlSiAnfV verwendeten Referenzwerte sind auch in realen Endlagersystemen sehr starke Unterschiede in den mit den Indikatoren verbundenen Aussagen zu erwarten
- Behälterstandzeiten spielen dabei eine große Rolle
- Grundlagen, welche zu erwartende und abweichende Entwicklungen zu bewerten sind, fehlen

# Vielen Dank!

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

BETREUT VOM



**PTKA**  
**Projektträger Karlsruhe**

Karlsruher Institut für Technologie