

**Methodenbeschreibung zur Durchführung  
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen  
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 517

(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.*

(5) *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.*

(6) *Für die abweichenden Entwicklungen ist zu prüfen und darzustellen, dass das Endlagersystem im Bewertungszeitraum seine Funktion nach den Absätzen 1 bis 4 beibehält.*

### 8.5.3 Strategie und Kennzahlen

Um den Massen- und Stoffmengenausstrag zu bestimmen und zu bewerten, wird für jeden Teiluntersuchungsraum (oder für jeden Bereich eines Teiluntersuchungsraums), der die vorangegangenen Prüfschritte positiv beschritten hat, mindestens ein eindimensionales repräsentatives, geologisches Profil erstellt (Kapitel 5.7). Dieses Profil umfasst das Wirtsgestein sowie oberhalb und unterhalb liegende Gesteinseinheiten (siehe Abbildung 198). Das Profil spiegelt repräsentativ die lithologischen Geometrien des Teiluntersuchungsraums wider. Ist ein Teiluntersuchungsraum bezüglich der wesentlichen Geometrien (Teufe und Mächtigkeit des Wirtsgesteins) sehr heterogen, wird ggf. mehr als ein repräsentatives Profil betrachtet. Die Teufen der jeweiligen Lithologien des repräsentativen Profils bilden die Basis für ein 1D-Radionuklid-Transportmodell (vgl. Kapitel 8.5.7.1). Die Parametrisierung erfolgt lithologisch tiefendifferenziert und nuklidspezifisch, wenn relevant. Ferner wird eine Vielzahl von Parametersets generiert, die in das Transportmodell eingehen (vgl. Kapitel 8.5.4), um die zu erwartenden Entwicklungen und Parameterungewissheiten zu betrachten. Auf Grundlage dieses Transportmodells werden Berechnungen zum Massen- und Stoffmengenausstrag durchgeführt. Diese Modellsimulationen führen zu einer Abschätzung der Transportlänge ( $d_{1Ma}$ ), d. h. der Entfernung vom potenziellen Endlager für den modellierten Zeitraum von einer Million Jahren, innerhalb derer die Anforderungen an den Massen- und Stoffmengenausstrag noch erfüllt sind. Die Transportlänge wird mit dem minimalen Abstand ( $d_{min}$ ) verglichen, der im jeweiligen Wirtsgestein des Teiluntersuchungsraums zur Verfügung steht. Als minimaler Abstand wird die geringste Distanz zwischen dem Rand des Wirtsgesteins und dem Rand des potenziellen Endlagers definiert.

# Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 518

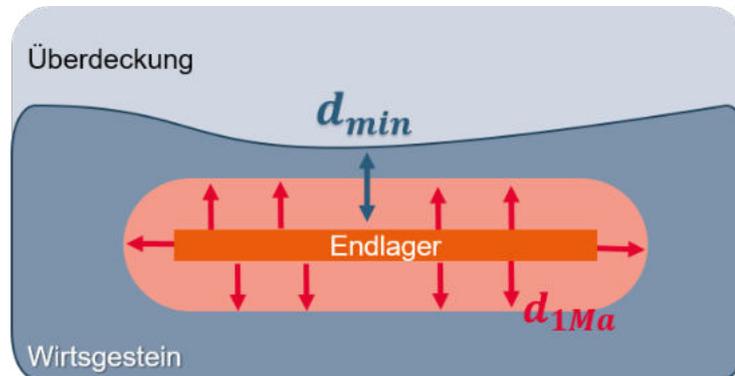


Abbildung 186: Beispiel für  $d_{1Ma}$  und  $d_{min}$  in einem stratiformen Wirtsgestein

Für die Beurteilung, ob die Massen- und Stoffmengengrenzwerte einhalten werden kann, wird die Größe  $I_M$  verwendet. Diese beschreibt das Verhältnis zwischen dem minimalen Abstand  $d_{min}$  und der Transportlänge  $d_{1Ma}$  (vgl. Abbildung 186) für den Bewertungszeitraum von einer Million Jahren:

$$I_M = d_{min}/d_{1Ma} \quad (2)$$

Mit:

$I_M$  (-): Verhältnis aus minimalem Abstand und Transportdistanz aus einer Modellrechnung

$d_{min}$  (m): Minimaler Abstand zwischen potenziellem Endlager und Rand des Wirtsgesteins an der Stelle des repräsentativen Profils

$d_{1Ma}$  (m): Distanz bezüglich der zu erwartenden Entwicklungen, über welche Radionuklide in einer Million Jahren transportiert werden

Es gibt zwei Ansprüche, die innerhalb von Aspekt f) rechnerisch adressiert werden. Einerseits die binäre Aussage, ob ein Gebiet das Potenzial zur quantitativen Einhaltung der Massen- und Stoffmengengrenzwerte aufweist (oder nicht). Andererseits eine Möglichkeit zum Gütevergleich zwischen Gebieten, die das Massen- und Stoffmengenkriterium potenziell einhalten. Aus diesen beiden Ansprüchen resultieren zwei Typen von Eignungskennzahlen.

Angesichts der Ungewissheiten, die mit den Parametern der Modellrechnung verknüpft sind, ergibt sich eine Vielzahl an wahrscheinlichen oder weniger wahrscheinlichen Werten für  $I_M$ . Im ersten Schritt wird daher geprüft, ob ein Gebiet für die plausibelsten Schätzwerte der Parameterwerte („bestmögliche Einschätzung“, auch mit B.E. abgekürzt) die Gleichung (3) erfüllt.

$$\bar{I}_M > 1 \quad (3)$$

Mit:

$\bar{I}_M$  (-): Kennzahl; Wert von  $I_M$  unter der Annahme der jeweils bestmöglichen Einschätzungen für alle Modellparameter

Gleichung (3) gibt an, ob der minimale Abstand größer ist als der Transportweg für die B.E. Rechnung ( $\bar{d}_{1Ma}$ ). Die Balken über den Symbolen signalisieren, dass es sich um die jeweils bestmögliche Einschätzung handelt (vgl. Kapitel 8.5.5). Zu beachten ist hierbei, dass sowohl der minimale Abstand

**Methodenbeschreibung zur Durchführung  
der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen  
gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 519

als auch der Transportweg räumlich innerhalb des Gebiets variieren können, insbesondere dann, wenn die Mächtigkeit des Wirtsgesteins variiert. Es kann daher der Fall eintreten, dass ein Bereich des Teiluntersuchungsraums mit  $\overline{I}_M < 1$  ausscheidet, während andere Bereiche das Kriterium erfüllen.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung des minimalen Abstand und der Transportlänge werden in den Kapiteln 8.5.6 und 8.5.7 genauer beschrieben. Anhand der Kennzahl  $\overline{I}_M$  kann abgeschätzt werden, ob ein sicherer Einschluss potenziell gelingt oder nicht (vgl. Beispiel 90). Im ersten Fall ist das Gebiet prinzipiell geeignet, im letzteren Fall ist es ungeeignet, da es die in § 4 EndlSiAnfV formulierten Anforderungen nicht erfüllt und über die umfassende Bewertung (§ 10 EndlSiUntV) in Kategorie C (Abbildung 188) eingestuft wird.

Dem jeweils bestmöglichen Schätzwert für die Parameter kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Diese besondere Bedeutung resultiert aus dem Umstand, dass aus der reinen Bandbreite von  $I_M$  kein hartes Kriterium formuliert werden kann. Eine Alternative zur Verwendung eines B.E.-Werts wäre eine statistische Auswertung der Bandbreite, etwa über die relative Häufigkeit, mit der das Kriterium im Rahmen der Parametervariation erfüllt wird. Dieser Ansatz wird für den Vergleich von Gebieten verwendet, nicht aber für die Prüfung, ob ein sicherer Einschluss möglich ist. Für diese Prüfung wird auf einen B.E.-Wert zurückgegriffen, da dieser der Wert ist, der wohlbegründet für relativ wahrscheinlich gehalten werden kann. Dieses Vorgehen birgt allerdings das Risiko, willkürlich zu werden, je weniger über die Parameter bekannt ist, weil eine begründete Wahl eines bestmöglichen Schätzwerts schwieriger wird. Weitere Arbeiten hierzu sind, über die in diesem Dokument dargestellten Sachverhalte hinaus, in Vorbereitung.

Die Verwendung eines bestmöglichen Schätzwerts für das Kriterium  $\overline{I}_M > 1$  bedeutet, dass ggf. Teiluntersuchungsräume als ungeeignet bewertet werden, obwohl im Rahmen der Parameter- und Szenarienungewissheiten durchaus Szenarien oder Parameterkombinationen möglich sind, unter denen der Teiluntersuchungsraum den Massen- und Stoffmengenausstrag einhält. Umgekehrt wird es im Regelfall so sein, dass ein Teiluntersuchungsraum, der  $\overline{I}_M > 1$  erfüllt, in bestimmten Szenarien oder Parameterkombinationen den Stoffmengen- und Massenausstrag nicht einhält.

*Beispiel 90:* Zur Kennzahl  $\overline{I}_M$

**Fiktives Beispiel für die Kennzahl  $\overline{I}_M$**

$$\overline{I}_M = \frac{d_{min}}{\overline{d}_{1Ma}} = \frac{56 \text{ m}}{39 \text{ m}} = 1,4 \quad \checkmark$$

$$\overline{I}_M = \frac{d_{min}}{\overline{d}_{1Ma}} = \frac{56 \text{ m}}{75 \text{ m}} = 0,75 \quad \times$$

Ein Wert von 1,4 bedeutet beispielsweise, dass die Mächtigkeit 1,4 mal größer ist als der Weg  $\overline{d}_{1Ma}$ , den die betrachteten Radionuklide im Bewertungszeitraum zurücklegen und für welchen Gesteinsbereiche außerhalb von  $\overline{d}_{1Ma}$  das Massen- und Stoffmengenkriterium (vgl. § 4 EndlSiAnfV) eingehalten ist. Ein Wert von  $\overline{I}_M$  kleiner als 1 sagt aus, dass die umlagernde

# Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
SG	0330				EA	TF	0002	00

Blatt: 520

## Fiktives Beispiel für die Kennzahl $\overline{I_M}$

Wirtsgesteinsschicht nicht ausreichend ist, um den Massen- und Stoffaustag ausreichend zu verhindern und die Grenzwerte nach § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV einzuhalten.

Für geeignete Teiluntersuchungsräume wird darüber hinaus die Streuung der Kennzahl um die bestmögliche Einschätzung berechnet.

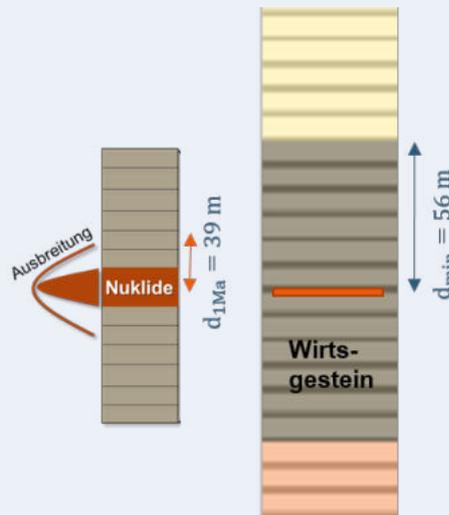


Abbildung 187: 1D geologischen Profils mit Radionuklidaustrag analog zur ersten Beispielrechnung

Für den zweiten Anspruch an die Berechnungen, den Gütevergleich zwischen geeigneten Bereichen, werden aufgrund der intrinsischen Ungewissheiten in den Parametern, die im Modell angenommen werden, eine Vielzahl von Simulationen für jedes repräsentative Profil anhand der im Kapitel 8.5.4 erläuterten Rechenfälle durchgeführt. Jede solche Simulation ergibt einen Wert für die Transportlänge  $d_{1Ma}$  und damit auch für  $I_M$ . Das Durchführen vieler Rechnungen erlaubt eine Schätzung der Verteilungsfunktion  $f_{I_M}$  der Größe  $I_M$  in Abhängigkeit von den Ungewissheiten bzw. den Entwicklungen.

Um ein Gebiet vergleichend zu bewerten, wird die Verteilungsfunktion  $f_{I_M}$  statistisch ausgewertet. Es wird die Kennzahl  $I_R$  definiert, die die Verteilungsfunktion in Hinblick auf den Einschluss der Radionuklide charakterisiert. Ein mögliches Vorgehen ist hierbei die Berechnung des Anteils  $P$  aller Rechenläufe, für die das Kriterium  $I_M > 1$  erfüllt ist:

$$I_R = P(I_M > 1) \quad (4)$$

Mit:

$I_R$  (-): Kennzahl zur Bewertung des sicheren Einschlusses bezüglich der zu erwartenden Entwicklungen

Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung									 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 521
SG	0330				EA	TF	0002	00	

$P(I_M > 1)$  (-): Anteil der Rechenläufe für die gilt, dass  $I_M > 1$  erfüllt ist

Die Kennzahl  $I_R$  geht als quantitative Hilfestellung in den sicherheitsgerichteten Diskurs ein und wird an dieser Stelle in den Kontext mit der jeweiligen Datenlage gebracht.

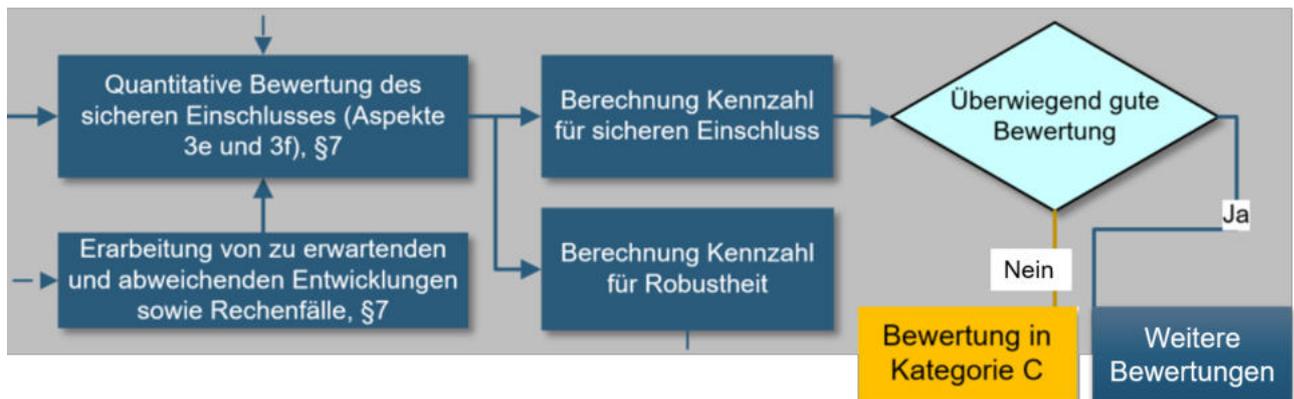


Abbildung 188: Ausschnitt aus dem Ablaufdiagramm der rvSU (Details siehe BGE (2022a))

#### 8.5.4 Rechenfälle und Rechenläufe zur Bestimmung der Transportlänge $d_{1Ma}$

Um eine Entwicklung in einen Rechenfall zu überführen, der durch einen Computer gerechnet werden kann, bedarf es dem Zwischenschritt der Abstraktion. In diesem Zwischenschritt wird der wissenschaftliche Zusammenhang, welcher innerhalb der Entwicklungen beschrieben wird, in ein Modell übersetzt (vgl. Röhlig et al. (2012, S. 43)). Dazu können u. a. bestimmte Vereinfachungen (z. B. Geometrie oder bestimmte realistische/konservative Annahmen) getroffen werden. Eine Entwicklung, welche in eine numerisch lesbare Struktur überführt wurde, wird „Rechenfall“ bezeichnet (Abbildung 189). Dabei kann eine Entwicklung durch einen oder auch durch mehrere Rechenfälle abgebildet werden. Die Methodik zur Identifikation der relevanten Prozesse und zur Ableitung von Entwicklungen und Rechenfällen für die Teiluntersuchungsräume wird in Kapitel 8.2 erläutert. Die Rechenfälle bilden somit vor allem die Ungewissheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems ab, welche auch als Szenariungewissheiten bezeichnet werden. Jeder Rechenfall besteht wiederum aus einem Modell mit dazugehörigen Annahmen und einer Vielzahl von Rechenläufen. Um verschiedene Modellannahmen zu prüfen, können auch unterschiedliche Rechenfälle erstellt werden, die zum Verständnis und zur Reduzierung von Modellungewissheiten beitragen können. Rechenläufe charakterisieren insbesondere die Daten- und Parameterungewissheiten. Die verschiedenen Ursachen und Kategorien von Ungewissheiten werden in Kapitel 10 näher beschrieben. Die Rechenläufe sind die konkreten Umsetzungen innerhalb des 1D-Transportmodells (siehe Kapitel 8.5.7.1 sowie Anhang 3). Im Folgenden wird die Herangehensweise zur Erarbeitung der Rechenläufe, welche sowohl Szenarien- als auch Daten- und Parameterungewissheiten berücksichtigen, beschrieben. Modellungewissheiten des 1D-Transportmodells werden in Kapitel 8.5.9 erläutert.