

E.-M. Hoyer, P. Müller, F. Schöne, M. Wengler, T. Wengorsch, A. Bartetzko und W. Rühaak

1. Vorläufiges Sicherheitskonzept (§ 6 Abs. 1 EndlSiUntV)

Das vorläufige Sicherheitskonzept enthält die Strategie, mit der der sichere Einschluss der hochradioaktiven Abfälle gewährleistet werden soll (§ 10 EndlSiAnfV). Zentraler Bestandteil ist die Beschreibung der gestaffelten Barrieren des Endlagersystems und ihrer unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen. In den repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) erfolgt diese Beschreibung wirtsgesteinspezifisch für den Bewertungszeitraum (BGE 2022b).

Der sichere Einschluss in einem Endlagersystem kann gemäß § 4 Abs. 3 EndlSiAnfV grundsätzlich durch zwei Arten von **wesentlichen Barrieren** erreicht werden (Abb. 1):

- **Endlagersystem Typ 1:** Der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle wird durch einen oder mehrere einschlusswirksame Gebirgsbereiche (ewG) erreicht.
 - geologische Barrieren: Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion und Deckgebirge
 - geotechnische Barrieren: Versatz und Verschlussbauwerke
 - technische Barrieren: Endlagerbehälter und Abfallform
- **Endlagersystem Typ 2:** Der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle wird im kristallinen Wirtsgestein, sofern in diesem kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann, durch technische und geotechnische Barrieren erreicht, die für die jeweilige geologische Umgebung geeignet sind.
 - geologische Barrieren: Einlagerungsbereich und Deckgebirge
 - geotechnische Barrieren: Versatz und Verschlussbauwerke
 - technische Barrieren: Endlagerbehälter und Abfallform

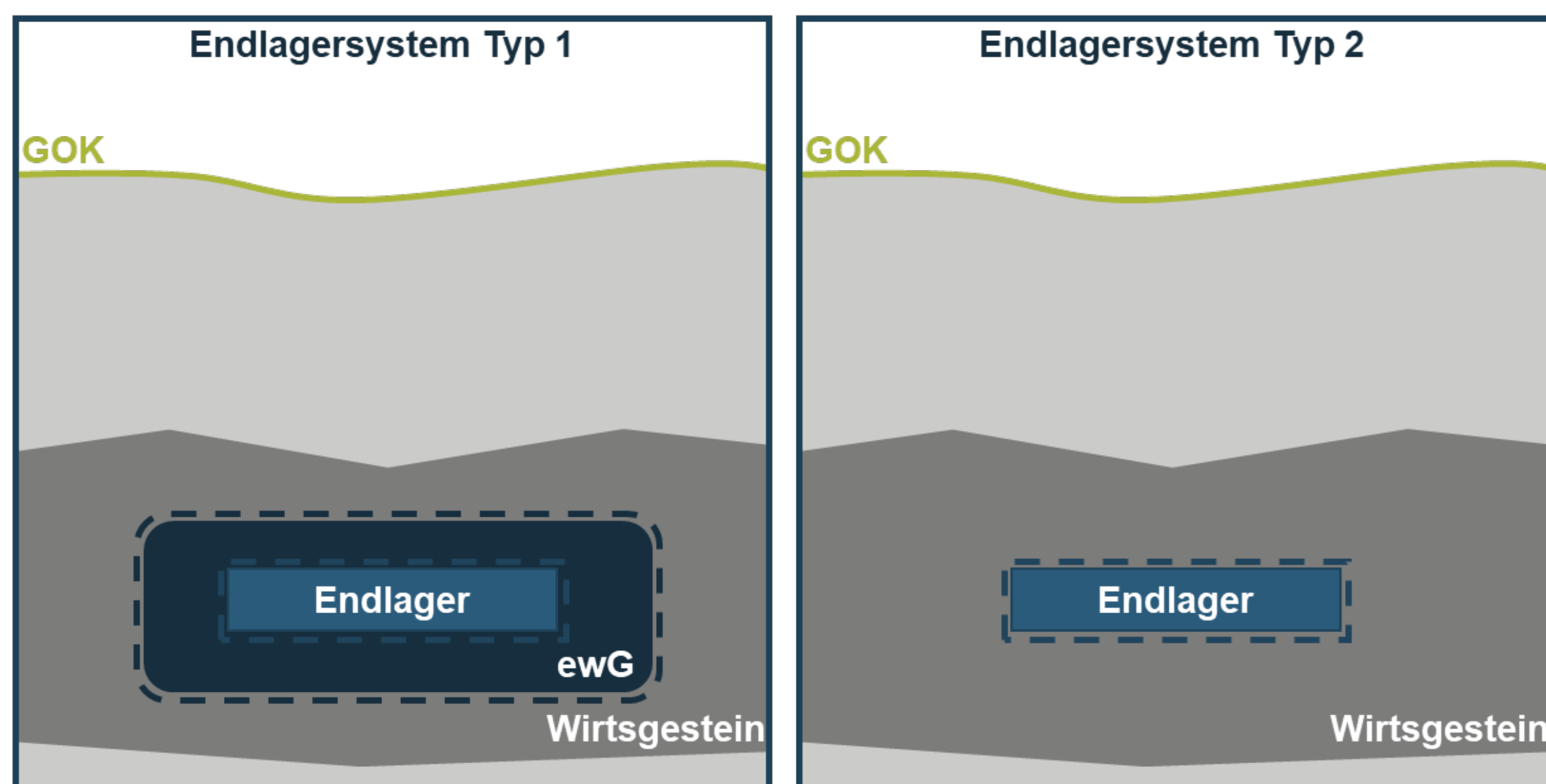


Abb. 1: Schema der möglichen Endlagersysteme zum Erreichen des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle. Links: Endlagersystem Typ 1 mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich als wesentliche Barriere. Rechts: Endlagersystem Typ 2 mit technischen und geotechnischen Barrieren als wesentliche Barrieren – für das kristalline Wirtsgestein. Die in den rvSU noch unbekannte, genaue räumliche Ausdehnung des ewG und des Endlagers ist mit Hilfe gestrichelter Linien angedeutet. Grün: Geländeoberkante (GOK) (Quelle: BGE)

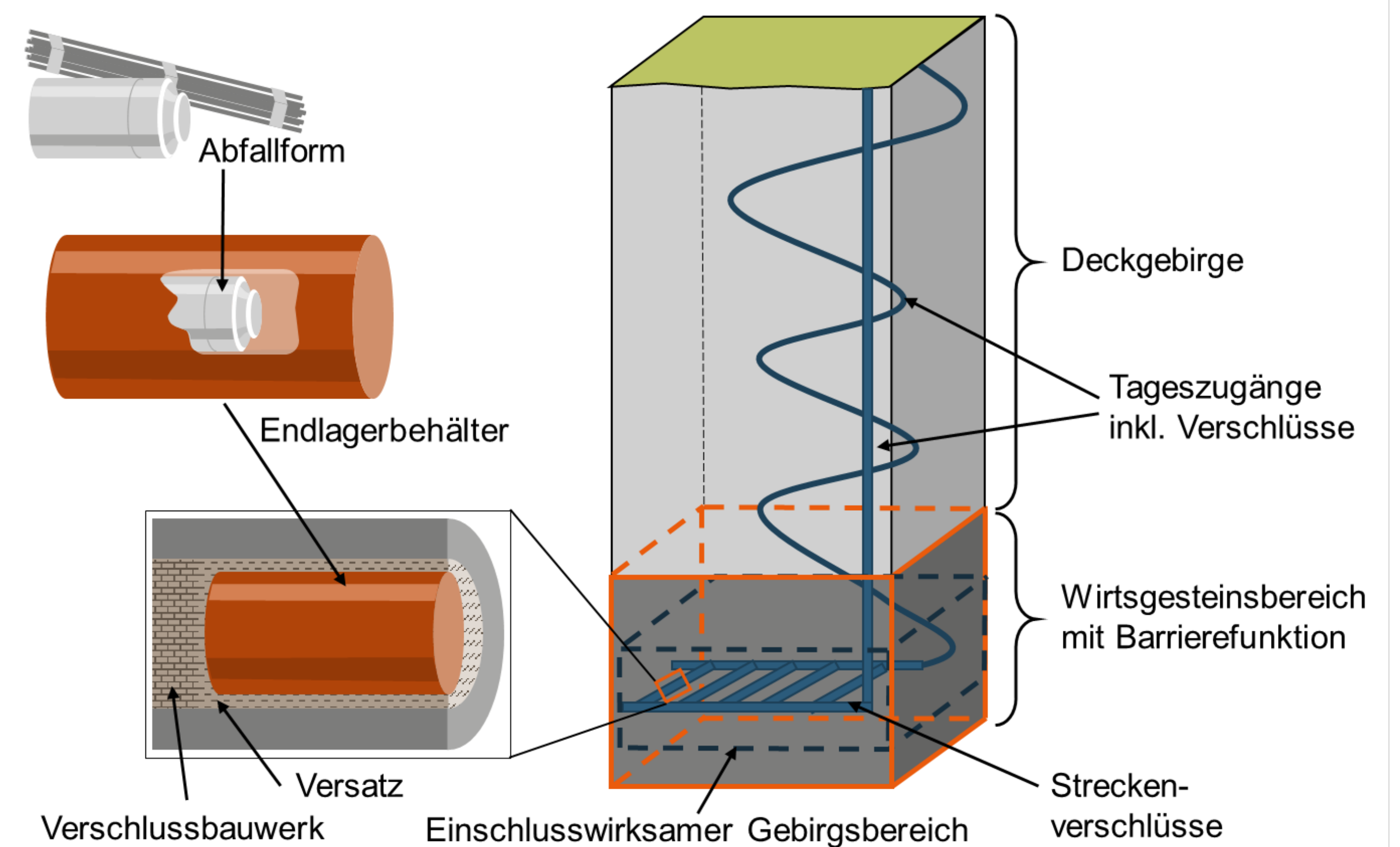


Abb. 2: Schematische Darstellung der Barrieren in einem Endlagersystem Typ 1. Die orangefarbene Umrandung stellt dar, dass es sich dabei um die wesentliche Barriere des Endlagersystems handelt. Es ist ein potenzieller einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit Hilfe einer blauen gestrichelten Linie angedeutet, wobei die genaue räumliche Ausdehnung zum jetzigen Zeitpunkt unbekannt ist. (Quelle: BGE)

Sicherheitsfunktionen erfüllen sicherheitsrelevante Anforderungen an das Endlagersystem. Sie werden durch Eigenschaften der Barrieren (oder Prozesse) erfüllt und können zeitlich begrenzt oder über den gesamten Bewertungszeitraum aktiv sein.

Zum Erreichen der Sicherheitsanforderungen übernehmen die Barrieren zwei Arten von Funktionen:

- a) **Erhalt der Barriere Wirkung:** Sicherheitsfunktionen, die für eine Komponente die Barriere Wirkung in Bezug auf den sicheren Einschluss erhalten oder die Barriere Wirkung anderer Barrieren des Endlagersystems schützen
- b) **Rückhaltung:** Sicherheitsfunktionen, die dazu beitragen, dass die Radionuklide innerhalb der wesentlichen Barriere konzentriert werden, also den Transport von Radionukliden be- bzw. verhindern. Radionuklidtransport beginnt frühestens mit Beschädigung der Behälter, ab da bekommen diese Funktionen Relevanz.

Beispiel: Eine sehr geringe hydraulische Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion begrenzt einerseits den Zutritt von Fluiden zu den Endlagergebänden (a) und behindert andererseits den Transport von Radionukliden (b) nach einem Behälterintegritätsverlust.

2. Entwicklungen des Endlagersystems (§ 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntV)

In den rvSU wird das Verhalten des Endlagersystems über den Bewertungszeitraum von 1 Million Jahren untersucht. Dafür werden in der Analyse des Endlagersystems (§ 7 Abs. 6 EndlSiUntV) dessen Entwicklungen abgeleitet (Abb. 3). Sie beschreiben mögliche Szenarien für die Zukunft des Endlagersystems, ohne den Anspruch, die tatsächliche Entwicklung exakt vorherzusagen. In den rvSU werden zwei Arten von Entwicklungen betrachtet:

- **Zu erwartende Entwicklungen** treten sicher oder in der Regel ein
- **Abweichende Entwicklungen** sind nicht zu erwarten, können aber eintreten

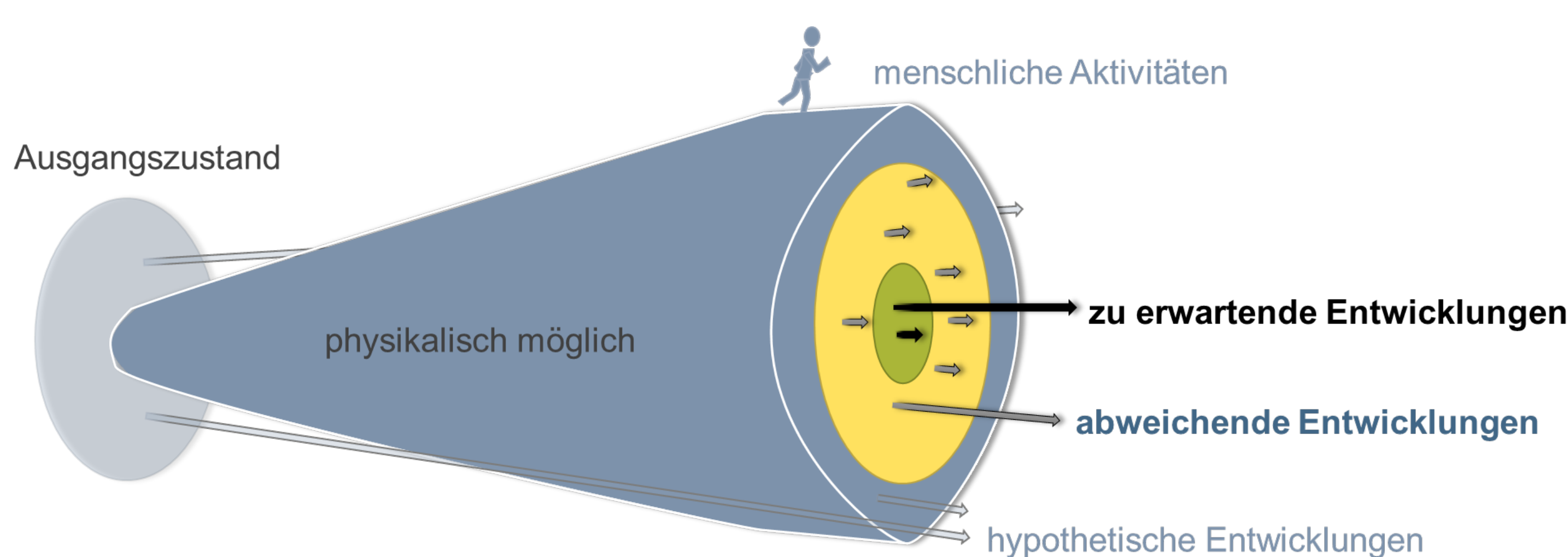


Abb. 3: Der „Zukunftstrichter“ (nach z. B. Christophilopoulos 2021). Links der Ausgangszustand mit Ungewissheiten aufgrund der Charakterisierung. Durch die Ungewissheiten bei den künftigen Entwicklungen ergibt sich mit nach rechts fortschreitender Zeit ein sich öffnender Trichter mit allen möglichen Entwicklungen. Grün: Bereich der zu erwartenden Entwicklungen. Gelb: Bereich der abweichenden Entwicklungen. Grau: Bereich der hypothetischen Entwicklungen, auch außerhalb des physikalisch Möglichen. Figur: Einfluss zukünftiger menschlicher Aktivitäten. Für die rvSU müssen nur zu erwartende und abweichende Entwicklungen berücksichtigt werden. (Quelle: BGE)

Entwicklungen durch geogene Prozesse stehen in den rvSU im Fokus. Durch gute Standortauswahl und Optimierung des Endlagersystems soll es für alle zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen sicher und robust sein.

Die Ableitung von Entwicklungen basiert auf einer Beschreibung der Systemkomponenten sowie der mit ihnen wechselwirkenden Prozesse. Diese Beschreibung wird in FEP-Katalogen* strukturiert. Folgende Vorgehensweise soll eine systematische und effektive Betrachtung aller in Schritt 1 der Phase I ermittelten Teilgebiete (BGE 2020g) in den rvSU ermöglichen (siehe Abb.4):

1. **Erstellung FEP-Katalog STA** (Standortauswahl) unter Berücksichtigung der regulatorischen Vorgaben (StandAG, EndlSiAnfV, EndlSiUntV). Grundlage sind der OECD NEA IFEP-Katalog (Capouet et al. 2019) sowie internationale und nationale Projekte (bspw. Wolf 2012). Diese Arbeiten beinhalten die Erstellung einer geowissenschaftlichen Langzeitprognose, d.h. einer Zusammenstellung aller geogenen Prozesse, die im Bereich der Teilgebiete auftreten können.
2. **Mehrstufiger Screeningprozess** Die relevanten Komponenten und Prozesse werden erst für jeweils ein wirtsgesteinspezifisches Endlagersystem festgestellt, das repräsentativ für alle Untersuchungsräume (UR) dieses Wirtsgesteins ist. Dessen Entwicklungen werden abgeleitet. Dann werden die Zusammenhänge und Entwicklungen, die für das Wirtsgestein aufgestellt wurden, auf die Untersuchungsräume übertragen. Dabei werden die Informationen aus der jeweiligen Geosynthese eingesetzt.

* FEP: Features, Events and Processes; engl. Komponenten, Ereignisse und Prozesse

Vorläufiges Sicherheitskonzept und Entwicklungen des Endlagersystems (2/2)

E.-M. Hoyer, P. Müller, F. Schöne, M. Wengler, T. Wengorsch, A. Bartetzko und W. Rühaak

3. Untersuchungsraumspezifische Entwicklungen werden in einer Differenzbetrachtung zu den zuvor abgeleiteten wirtsgesteinsspezifischen Entwicklungen ermittelt. In den untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen werden primär geogene Prozesse und (für Endlagersystem Typ 1) keine speziellen Entwicklungen eines Endlagerbauwerks betrachtet.

Die abgeleiteten untersuchungsraumspezifischen Entwicklungen werden qualitativ bzw. verbalargumentativ bewertet und zur quantitativen Beurteilung als Rechenfälle an die Modellierung weitergegeben.

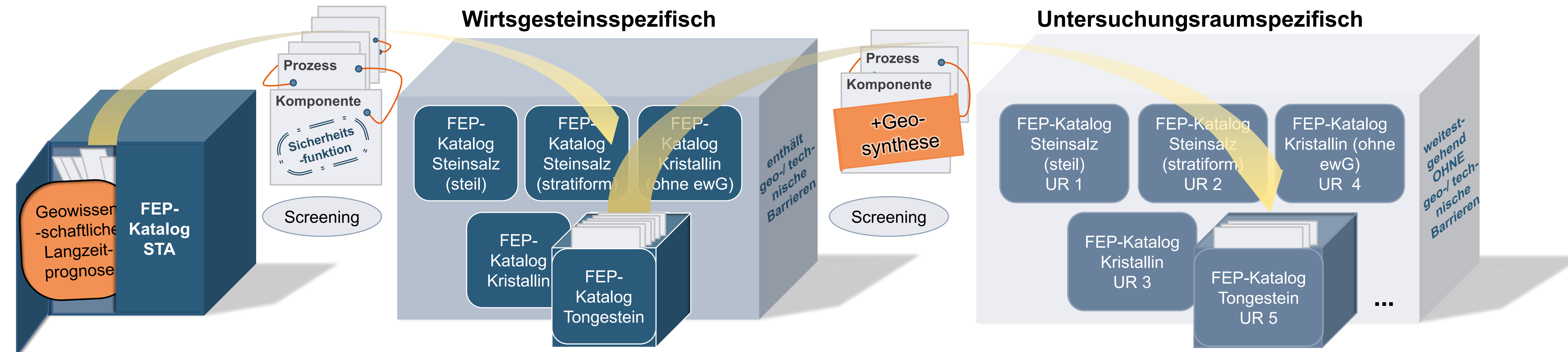


Abb. 4: Darstellung des Workflows von der übergeordneten Zusammenstellung von Komponenten und Prozessen (FEP-Katalog STA) über wirtsgesteinsspezifische zu untersuchungsraumspezifischen FEP-Katalogen (Quelle: BGE)

3. Informationssystem zur Analyse von Endlagersystemen InfELSen

Alle Informationen sollen in einem Informationssystem bereitgestellt werden.

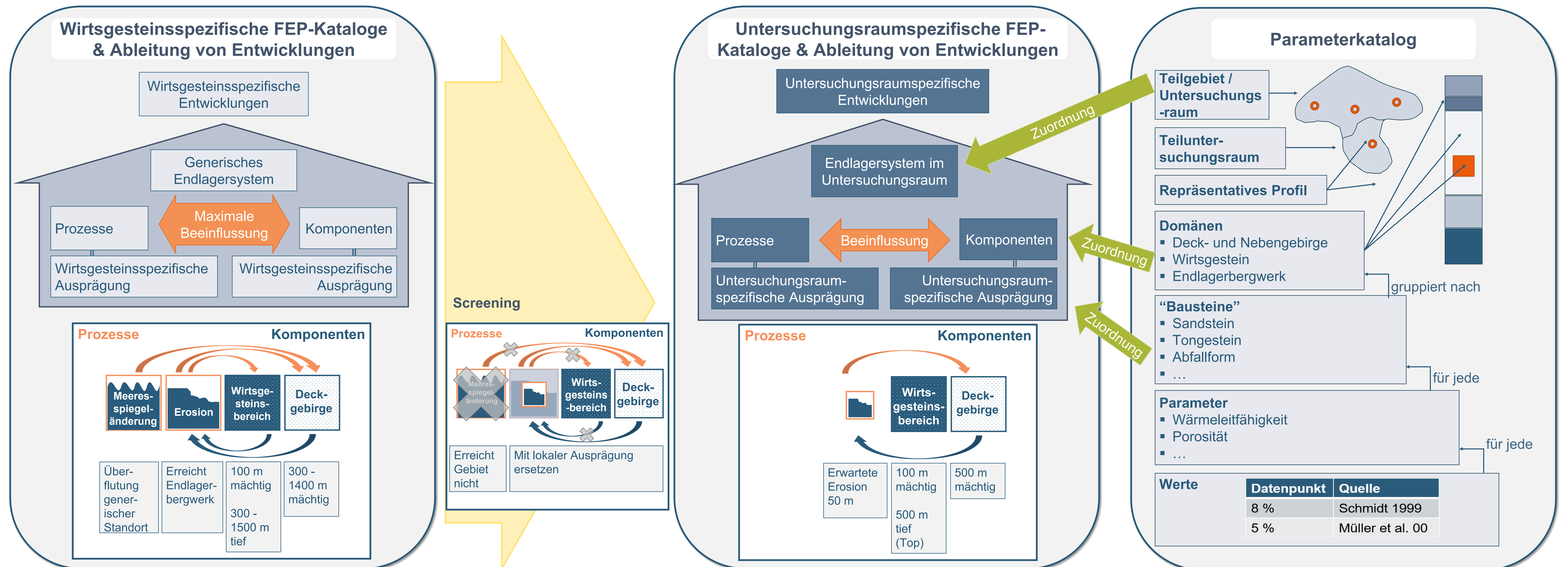


Abb. 5: Darstellung des Workflows zur Herleitung von Entwicklungen in den rVSU für verschiedene Sicherheitskonzepte, Untersuchungsräume und Wirtsgesteine (Quelle: BGE)

Literaturverzeichnis
 BGE (2020g): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.
https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete_barrierefrei.pdf
 BGE (2022b): Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.
 Capouet, M., Carter, A. & Ciambrella, M. (2019): International Features, Events and Processes (FEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste. Version 3.0. OECD-NEA, Paris, France
 Christophilopoulos, E. (2021): Special Relativity Theory Expands the Futures Cone's Conceptualisation of the Futures and The Pasts. Journal of Futures Studies, 26(1): 83-90

EndlSIAntV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094)
 EndlSIAntV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103)
 StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760) geändert worden ist
 Wolf, J. (2012): FEP-Katalog für die VSG. Konzept und Aufbau ; Berichte zum Arbeitspaket 7. Bericht GRS 282/283. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS). Köln, Garching b. München, Berlin, Braunschweig