



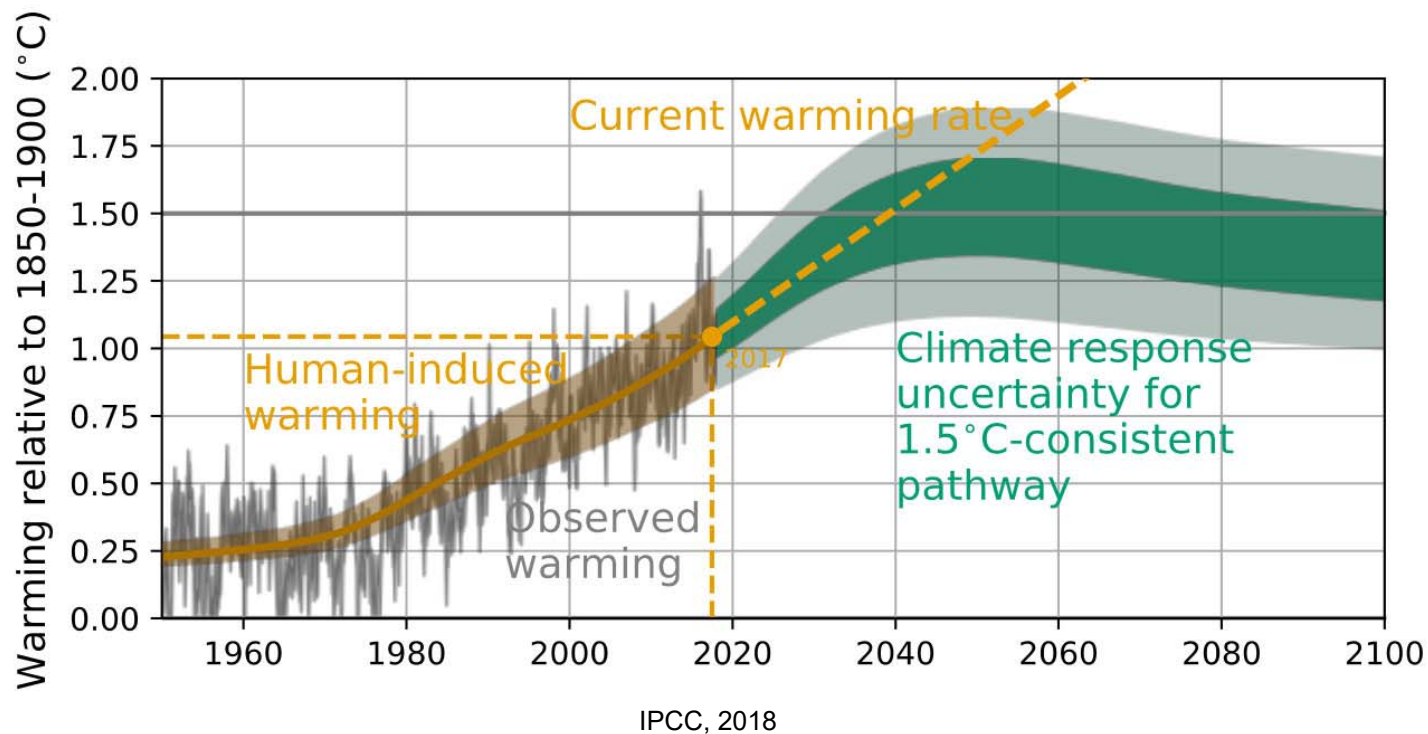
**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

**Methodische Überlegungen zur Einbeziehung von Ungewissheiten bei
der Durchführung vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen**

Braunschweig, 12.12.2019 – Tage der Standortauswahl

Wolfram Rühaak

■ Unsicherheiten / Uncertainties



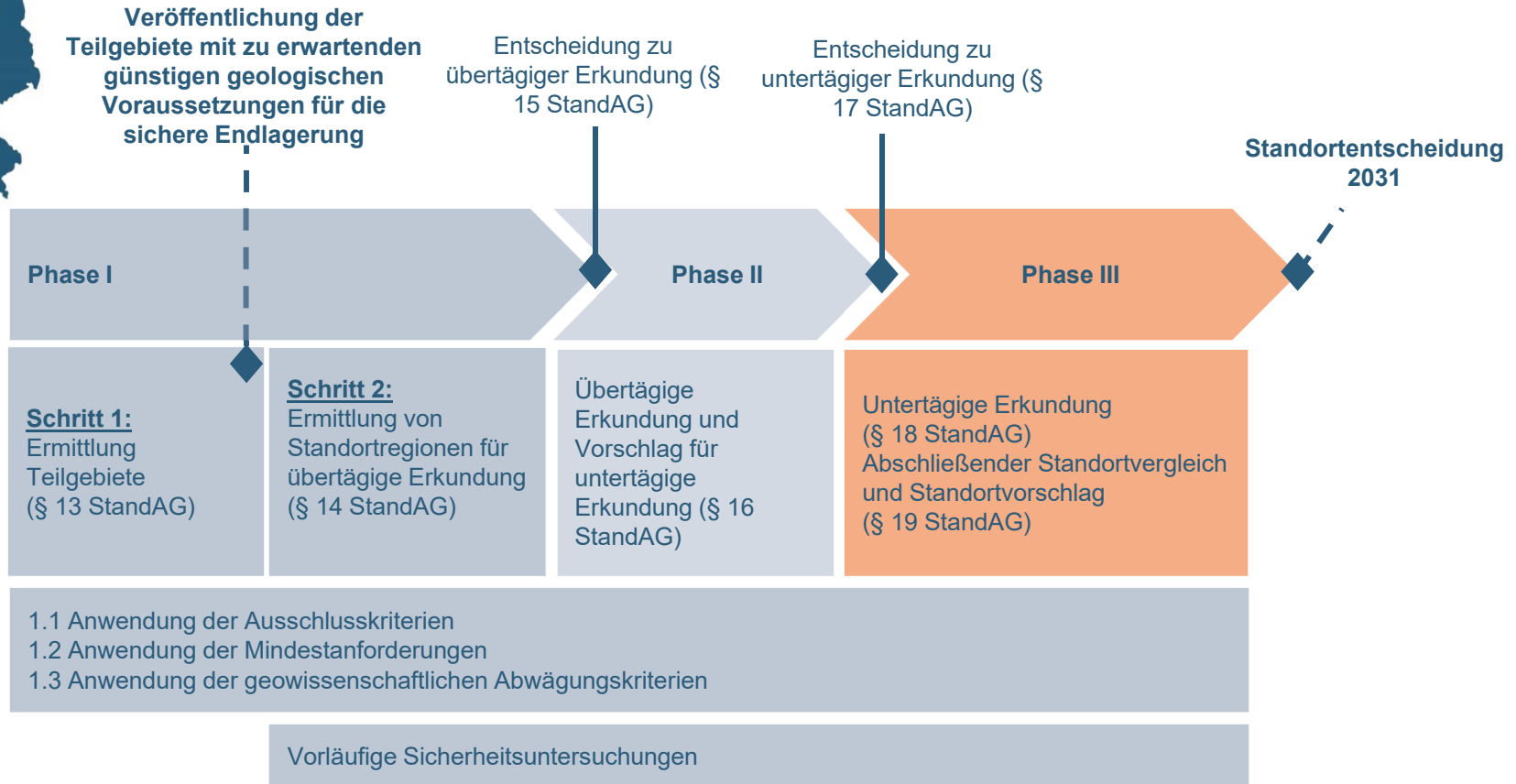
§ 1 StandAG: „Mit dem Standortauswahlverfahren soll in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren für die im Inland verursachten hochradioaktiven Abfälle ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt werden.“

Erste Ergebnisse kommen 2020 im Zwischenbericht Teilgebiete.

Das mehrstufige Standortauswahlverfahren



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG



Das mehrstufige Standortauswahlverfahren → mehrstufige Sicherheitsuntersuchungen



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

§ 26 StandAG: Sicherheitsanforderungen

§ 27 StandAG: Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (vSU)

§ 14 Absatz 1 StandAG: für Teilgebiete führt der Vorhabenträger repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) nach § 27 durch

§ 16 Absatz 1 StandAG: für ausgewählte Standortregionen führt der Vorhabenträger weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (wvSU) nach § 27 durch

§ 18 Absatz 1 StandAG: für ausgewählte Standorte führt der Vorhabenträger umfassende vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (uvSU) nach § 27 durch

§§ 26 und 27 StandAG werden durch Rechtsverordnungen konkretisiert,
→ Referentenentwurf BMU (11.07.2019)

§ 11 EndSiUntV – Bewertung von Ungewissheiten



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

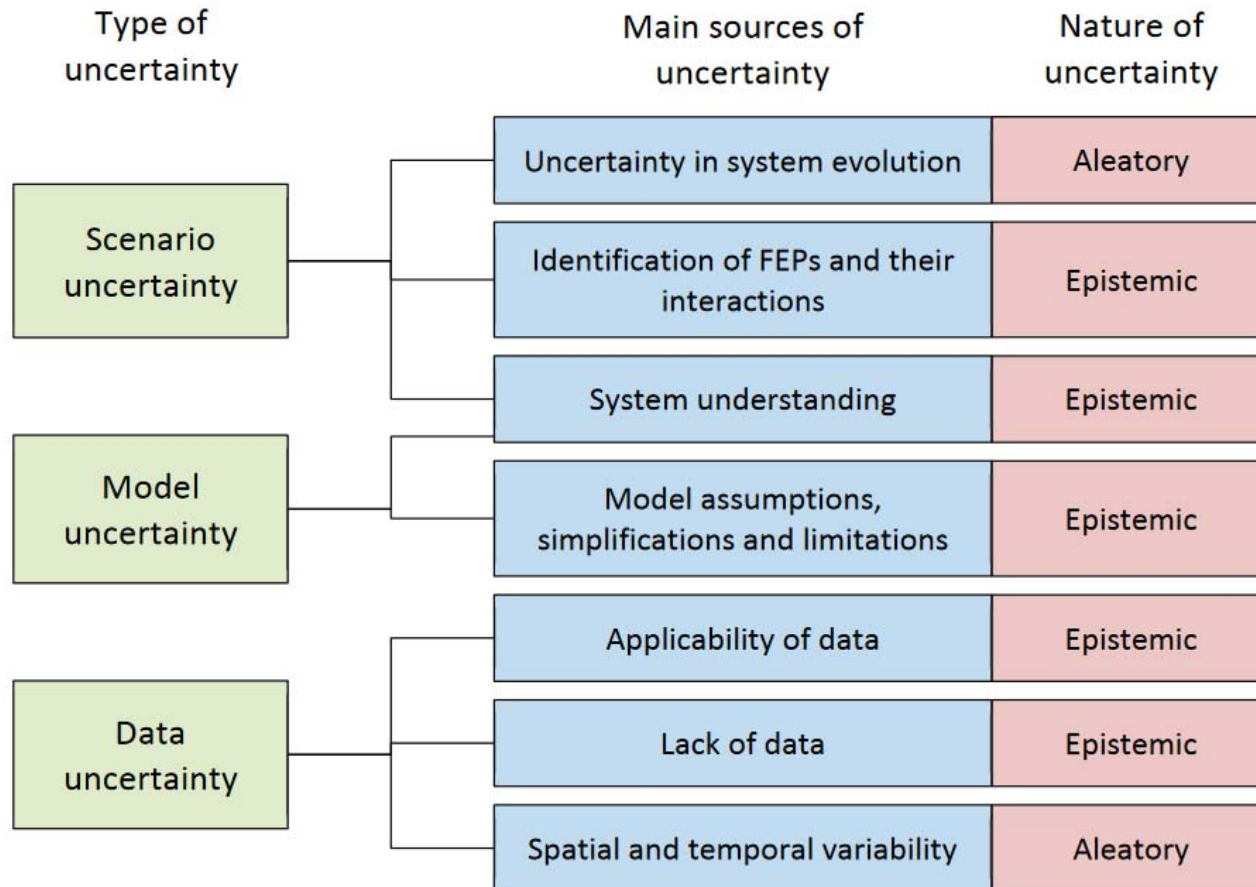
Referentenentwurf BMU

1. Die **zum Zeitpunkt der Erstellung** der jeweiligen vorläufigen Sicherheitsuntersuchung **bestehenden Ungewissheiten** sind systematisch **auszuweisen** und dahingehend zu **charakterisieren**, auf welchen Sachverhalten oder Kenntnisdefiziten sie beruhen. Hierbei sind auch Verknüpfungen von Ungewissheiten untereinander sowie Ungewissheiten der Modellierung nach § 9 Absatz 2 zu berücksichtigen. **Aufgrund von Ungewissheiten getroffene Annahmen sind darzulegen und zu begründen.**
2. **Der Umgang mit den Ungewissheiten und deren Auswirkungen auf die Aussagekraft des Ergebnisses der vorläufigen Sicherheitsuntersuchung**, insbesondere der Einfluss auf die Zuverlässigkeit der sicherheitsgerichteten Aussagen, **sind zu dokumentieren.**
3. **Es ist darzulegen**, ob und in welchem Umfang Ungewissheiten durch weitere **Erkundungs- oder Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen reduziert werden könnten** und welcher Einfluss auf die Aussagen nach Absatz 2 zu erwarten ist.

- **Aleatorische Unsicherheit → unvermeidbare Unsicherheit**, weil sie die inhärente Variation und die Einzigartigkeit eines Systems beschreibt. Sie kann mit den Verteilungsfunktionen der unsicheren Eigenschaften eines Systems oder seiner Umgebung beschrieben werden (stochastische Unsicherheit).
- **Epistemische Unsicherheit → vermeidbare Unsicherheit**, aufgrund von Informations- und Wissensmangel z.B. unvollständigen Messdaten, einer Nichtberücksichtigung von wichtigen Systemparametern in einem mathematischen Modell oder fehlendem Fachwissen entstanden ist. Sie liegt z.B. vor, wenn eine unsichere Systemeigenschaft nur mithilfe von Grenzwerten beschrieben wird.
- **Die Reduzierung von Unsicherheit** zielt in der Regel auf eine Überführung von der epistemischen zur aleatorischen Unsicherheit.
- **Eine klare Abgrenzung zwischen epistemischer und aleatorischer Unsicherheit ist bei den meisten Systemen nicht gegeben**, weil z.B. die Streuungen in den Eigenschaften in Form von Verteilungsfunktionen und Grenzwerten oft nicht verfügbar sind.

Röhlig & Plischke, 2009
Eckhardt & Rippe, 2016
Ebengué, 2016

Grundsätzliche Ansätze



POSIVA 2018-02

Konzept für den Umgang mit Ungewissheiten bei den Sicherheitsuntersuchungen



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

1. Systematische Ausweisung der Ungewissheiten in verschiedenen Kategorien (Szenarien, Modell und Daten)
 2. Berücksichtigung der Kombinationen von Ungewissheiten
 3. Szenariengewissheiten → Szenarienvarianten
 4. Modellungewissheiten → Modellvarianten
 5. Daten-/Parameterungewissheiten → Empirische Basis / Statistik / Verteilungsfunktionen
 6. Ergebnis: Sicherheitsaussage (Fluiddruckkriterium, Dilatanzkriterium, Dosiswerte und Radionuklidausträge) mit Streubreite
- } Ensemble-Modelle

Dilatanzkriterium: Die zu erwartenden mechanischen Beanspruchungen (bspw. Quelldruck) dürfen die Festigkeit der Gesteinsformationen des ewG nicht überschreiten.

Fluiddruckkriterium: Die zu erwartenden Fluiddrücke dürfen die Festigkeit der Gesteinsformationen nicht in einer Weise überschreiten, die zu einem erhöhten Zutritt von Grundwässern führt.

Ein Beispiel für Datenunsicherheit



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Häufigkeitsverteilung der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine des Böllsteiner Odenwaldes sowie der dazugehörige Graph der Normalverteilung.

Rühaak et al., 2015

- Prozessverständnis
→ Multimodale Verteilungen
- Sensitivitäten

$$(\rho c)_{total} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T - (\rho c)_{fluid} \mathbf{q} T) + Q_{heat}$$

Im Bereich $\bar{x} - \sigma$ bis $\bar{x} + \sigma$ (dunkelgrau) befinden sich 68,28 % und im Bereich $\bar{x} - 2\sigma$ bis $\bar{x} + 2\sigma$ (hellgrau) 95,5 % aller Messwerte.

- Modellfehler minimieren:
 - Gitterkonvergenz,
 - Parameterfelder optimal schätzen
 - numerische Aspekte (Abbruchkriterien etc.)
- Sensitivitäten: physikalische/chemische Eigenschaften in Raum und Zeit plausibel variieren
- Bandbreite von Modellszenarien berücksichtigen
- Ensemble-Modelle / probabilistische Modelle (Monte Carlo)

- Quantifizieren vs. Charakterisieren von Ungewissheiten
 - Vielzahl von (komplexen) Methoden: Bayes, Fuzzy, ...
 - ➔ was ist der konkrete Mehrwert wenn ich eine Ungewissheit aufwendig & komplex quantifiziert habe?
 - Zwei Welten: Theorie vs. Praxis
 - Frühzeitige Diskussion mit der (wissenschaftlichen) Öffentlichkeit
- ➔ Poster

- Diese Präsentation wurde von  mit entwickelt.
-  (Uni Hannover) danke ich für wertvolle Hinweise.

IPCC (2018): Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

StandAG (2017): Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 16 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)

Referentenentwurf EndSiUntV (2019): Bearbeitungsstand 11.07.2019,
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19._Lp/endlsianf_vo/entwurf/endlsianf_vo_refe_bf.pdf

Rühaak, Steiner, Welsch & Sass (2015): Prognosefähigkeit numerischer Erdwärmesondenmodelle, Grundwasser 20: 243.
<https://doi.org/10.1007/s00767-015-0305-9>

POSIVA 2018-02: NUMMI, Olli. Plan for Uncertainty Assessment in the Safety Case for the Operating Licence Application. 2019.

Serge Parfait Ondoua Ebengué (2016): Beschreibung und Bewertung der Unsicherheit in der Ermittlung der Stellkräfte und –wege von piezoelektrischen Stapelaktuatoren in aktiven lasttragenden Systemen, Doktorarbeit, Darmstadt

Anne Eckhardt, Klaus Peter Rippe (2016) : Risiko und Ungewissheit bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle, vdf Hochschulverlag

Klaus-Jürgen Röhlig, Elmar Plischke (2009): Performance Assessment Methodologies in Application to Guide the Development of the Safety Case - PAMINA, (Contract Number: FP6-036404), Review Of Existing Fully Probabilistic Assessments: The Regulator's Perspective on the PSA Approach, Technische Universität Clausthal, Germany

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

BGE

BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG



Kontakt

Bundesgesellschaft für Endlagerung
mbH (BGE)

Eschenstr. 55

31224 Peine

+49 (0)5171 43-0

dialog@bge.de

www.bge.de