



Sicherheitsanforderungen für die Endlagerung

Klaus-Jürgen Röhlig,
Institut für Endlagerforschung

Schritte auf dem Weg zum Endlager
Online-Tagung

Leuphana Universität Lüneburg in Kooperation mit KIT/ITAS
03.12.2020



Übersicht

- Warum Sicherheitsanforderungen? Warum jetzt?
- Sicherheitsuntersuchungen: Was ist das?
- Exkurs: Unterschiedliche Wirtsgesteine - unterschiedliche Sicherheitskonzepte
- Wesentliche Funktionen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen
- Sicherheitsanforderungen und Anforderungen an vorläufige Sicherheitsuntersuchungen: Ausgewählte Aspekte, Kritik- und Streitpunkte



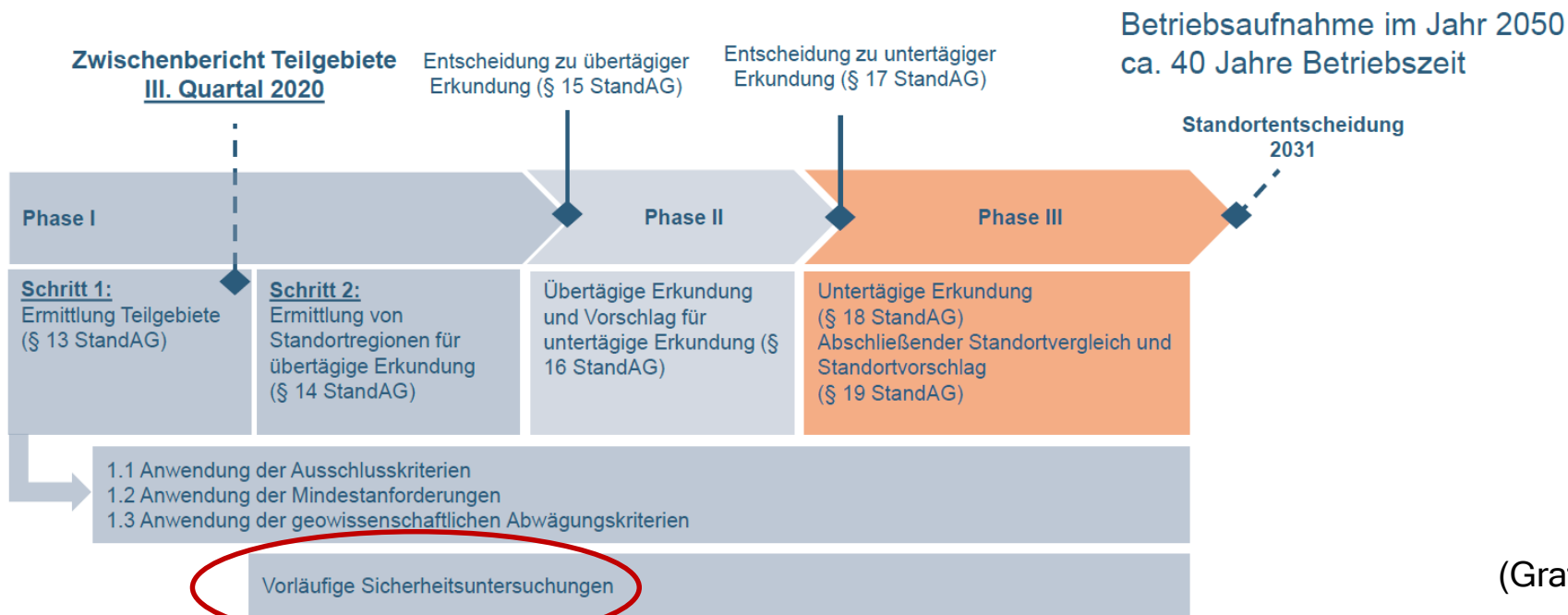
Warum Sicherheitsanforderungen? Warum jetzt?

- „Anforderungen, denen die Errichtung, der Betrieb und die Stilllegung einer nach § 9b Absatz 1a des Atomgesetzes genehmigungsbedürftigen Anlage zur Gewährleistung der nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderlichen Vorsorge gegen Schäden genügen müssen und die damit das bei der Endlagerung zu erreichende Schutzniveau festlegen“ (StandAG § 26 (1))
- Endlagerkommission:
 - Szenarium (1): Standortfestlegung 2031, Einlagerungsbeginn ca. 2050
 - Szenarium (2): Inbetriebnahme im nächsten Jahrhundert
- Es ist davon auszugehen, dass sich normative Setzungen, rechtliche Rahmenbedingungen sowie Wissenschaft und Technik bis zur Antragstellung auf Genehmigung nach § 9b (1a) AtG wesentlich weiterentwickeln werden und damit auch heute verabschiedete Sicherheitsanforderungen nicht mehr valide sein werden.
- Warum also jetzt?

Warum Sicherheitsanforderungen? Warum jetzt?

- Aber:**

Die Sicherheitsanforderungen „[...] bilden die wesentliche Grundlage für die nach den §§ 14, 16 und 18 im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen nach § 27 durchzuführende Bewertung, ob an einem Standort in Verbindung mit dem vorgesehenen Endlagerkonzept der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle erwartet werden kann.“ (StandAG § 26 (1))



(Grafik modifiziert nach BGE)

Sicherheitsuntersuchungen: Was ist das?

- Der Begriff wurde im StandAG von 2013 eingeführt.
- Er reiht sich in eine Reihe ähnlicher / verwandter Begriffe ein:
 - Sicherheitsanalyse
 - Sicherheitsbewertung
 - Sicherheitsnachweis
 - Sicherheitsbetrachtung
 - Sicherheitsbericht
 - Safety Case



http://www.daef2014.org/DAEF/assets/daef_standortauswahl_2017-06_web.pdf



Sicherheitsuntersuchungen: Was ist das?

- „Bewertung, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Ausnutzung der geologischen Standortgegebenheiten erwartet werden kann“ (StandAG § 27 (1))
- „[...] wird das Endlagersystem in seiner Gesamtheit betrachtet und entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich seiner Sicherheit bewertet. Dazu wird das Verhalten des Endlagersystems unter verschiedenen Belastungssituationen und unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten, Fehlfunktionen sowie zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten im Hinblick auf den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle untersucht.“ (StandAG § 27 (2))
- „Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen bilden eine der Grundlagen für die Entscheidung, ob ein Gebiet weiter im Auswahlverfahren betrachtet wird.“ (StandAG § 27 (2))



Also:

- Sicherheitsanforderungen:
„Die Verordnung muss spätestens zum Zeitpunkt der Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen nach § 14 Absatz 1 Satz 2 vorliegen. Sie ist spätestens alle zehn Jahre zu überprüfen und, soweit erforderlich, an den Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen.“ (StandAG §26 (3))
- Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen:
„Die Verordnung muss spätestens zum Zeitpunkt der Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen gemäß § 14 Absatz 1 Satz 2 vorliegen.“ (StandAG § 27 (6))



Die Verordnungen liegen vor und machen die Rolle und Wichtigkeit der Sicherheitsuntersuchungen deutlicher:

- „Für den Untersuchungsraum ist darzulegen, welche Relevanz die einzelnen Abwägungskriterien nach den Anlagen 1 bis 11 des Standortauswahlgesetzes für die Beurteilung des jeweiligen Endlagersystems haben.“ (EndlSiUntV § 7 (4))
- Warum ist das wichtig?
 - Vgl. nachfolgende Folien



Exkurs: Unterschiedliche Wirtsgesteinstypen - unterschiedliche Sicherheitskonzepte

- Kristallines Wirtsgestein (z. B. Granit): Variable Grundwasserströmung durch Klüfte, advective Migration
 - langfristiger ($>10^5$ Jahre) Einschluss im Kupfer-ummantelten Behälter (Schweden/Finnland)
 - Stabilisierung (chemisch/mechanisch) und Migrationsbehinderung durch Bentonitpuffer (quellfähiges Tonmaterial)
- Ton: Gesättigt, keine nennenswerte Grundwasserbewegung, Migration diffusionsdominiert
 - Einschluss (einige 100 Jahre) durch Behälter (Tonstein - Frankreich/Schweiz) bzw. Supercontainer (plastischer Ton - Belgien)
 - dann Migrationsbehinderung durch Wirtsgestein und Verschlüsse
- Steinsalz: „Trocken“, keine mobilen Wässer, keine Migration
 - langfristiger (10^6 Jahre) Einschluss durch Wirtsgestein & Verschlüsse / kompaktierten Versatz
 - Behälterdesign an Handhabung (und Rückholbarkeit) orientiert



Begriffe (vorige Folie) (nach dem Vortrag ergänzt)

- Migration:
Hier die Bewegung von Schadstoffen, also z. B. Radionukliden oder chemotoxisch wirkenden Stoffen, die sich möglicherweise aus den eingelagerten Abfällen lösen, im Untergrund. Endlagerung soll u. a. verhindern, dass solche Schadstoffe in inakzeptablen Mengen in die Umweltmedien gelangen, Migration ist also möglichst zu ver- oder zu behindern.
 - Migration kann z. B. erfolgen, wenn Schadstoffe in Flüssigkeiten (z. B. Grund-/Tiefenwässer) gelöst sind und mit deren Strömung transportiert werden. Dieser Prozess wird als *Advektion* bezeichnet, https://de.wikipedia.org/wiki/Advektion#Advektion_in_anderen_Geowissenschaften
 - Auch wenn eine solche Strömung nicht oder kaum stattfindet, bewegen sich gelöste Schadstoffe trotzdem aufgrund von *Diffusion*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Diffusion>
 - Falls also überhaupt Flüssigkeiten im System vorhanden sind, die Schadstoffe aufnehmen können, ist es vorzuziehen, wenn sich diese Flüssigkeiten nicht oder kaum bewegen und damit die advective Migration vernachlässigbar wird und nur noch diffusive Migration stattfindet.



Exkurs: Unterschiedliche Wirtsgesteinstypen - unterschiedliche Sicherheitskonzepte

- Die Arbeit der Endlagerkommission und damit das StandAG beruhen in wesentlichen Punkten auf den Arbeiten des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd, 1999-2002).
- Zu diesen Punkten gehört auch die Idee eines Einschlusses, der wesentlich durch geologische (im Verbund mit geotechnischen) Barrieren gewährleistet wird - das Konzept des **einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)**.
- Die genannten Sicherheitskonzepte (vorige Folie) für Steinsalz und Ton(stein) „passen“ zu diesem Konzept, das schwedisch-finnische „Behälter-lastige“ Konzept für kristallines Wirtsgestein jedoch nicht. Das StandAG eröffnet daher zwei Optionen:
 - einchlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) oder
 - (nur für Kristallin) Einschluss, der „wesentlich auf technischen und geotechnischen Barrieren beruht“.
- Die „Kriterienwelt“ des StandAG ist jedoch stark „ewG-lastig“ ...



Exkurs: Unterschiedliche Wirtsgesteinstypen - unterschiedliche Sicherheitskonzepte

- Die „Kriterienwelt“ des StandAG ist jedoch stark „ewG-lastig“, Beispiele:
 - Gebirgsdurchlässigkeit
 - Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
 - Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
 - Erhalt der Barrierewirkung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
 - „Ist in einem Gebiet absehbar, dass kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann, es sich aber für ein wesentlich auf technischen oder geotechnischen Barrieren beruhendes Endlagersystem eignet, muss anstelle der Mindestanforderung [zur Gebirgsdurchlässigkeit] der Nachweis geführt werden, dass die technischen und geotechnischen Barrieren den sicheren Einschluss der Radionuklide für eine Million Jahre gewährleisten können.“
 - Und weitere „Ausnahmeregelungen“ ...
- Wesentliche Funktionen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen ...



Wesentliche Funktionen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen

- Für auf technischen oder geotechnischen Barrieren beruhende Endlagersysteme: Ableitung von Anforderungen an die Geologie, die auf den Schutz dieser Barrieren gerichtet sind, etwa:
 - Vermeidung plastischer regionaler Scherzonen
 - Raumbedarf im Verhältnis zu Klüftzonen
 - Grundwasser: kein Sauerstoff, geringe Salinität
 - Günstige Spannungsverhältnisse
- Für alle Endlagersysteme
 - Ganzheitliche Betrachtung
 - Wirtsgesteinstyp-spezifische Priorisierung von Abwägungskriterien.
z. B. spielt Hydrochemie im Steinsalz eine geringere Rolle als im Tonstein
 - Aufdeckung von Abhängigkeiten und Interaktionen, z. B.
Rückhaltevermögen (Anlage 9) und hydrochemische Verhältnisse (Anlage 10)



Entwicklungsprozess

■ Sicherheitskriterien 1983

Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk

vom 20. April 1983 (GMBI. 1983, Nr. 13, S. 220)

- RdSchr. d. BMI v. 20.4.1983 - RS - AGK 3 - 515 790/2 -

Der Fachausschuß Brennstoffkreislauf des Länderausschusses für Atomkernenergie hat in seiner Sitzung am 24. März 1983 die als Anlage beigefügten "Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk" beraten und folgenden Beschluß gefaßt:

Die Planfeststellungsbehörden der Bundesländer nehmen die Kriterien zustimmend zur Kenntnis; die zuständigen Behörden werden sie bei den laufenden und zukünftigen Planfeststellungsverfahren berücksichtigen

Ich bitte die für Verfahren nach § 9b des Atomgesetzes zuständigen Behörden der Bundesländer, entsprechend zu verfahren.

An die
Genehmigungs- und
Aufsichtsbehörden der Länder
- Atomanlagen und anderweitige Verwendung von
Kernbrennstoffen -

Anlage

Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk

Gliederung

1.	Einführung	1
2.	Schutzziele	2
3.	Maßnahmen zur Verwirklichung der Schutzziele	2
3.1	Standortauswahl	2
3.2	Mehrbarrierenkonzept	2
3.3	Anerkannte Regeln der Technik	2
4.	Standortanforderungen	2
4.1	Topographische Lage	2
4.2	Bevölkerungsdichte	2
4.3	Bodenschätze	2
4.4	Endlagerformation, Deckgebirge und Nebengestein	3
4.5	Tektonik	3
4.6	Hydrogeologische Verhältnisse	3
5.	Voraussetzungen für Errichtung und Betrieb eines Endlagers	3
5.1	Einhaltung der Auslegungsdaten	3
5.2	Sicherheitsanalysen	3
6.	Standorterkundung	3
6.1	Standorterkundung von über Tage	3
6.2	Standorterkundung von unter Tage	3
7.	Errichtung und Betrieb	4
7.1	Schächte	4
7.2	Untertägige Hohlräume und Hohlraumssysteme	4
7.3	Bewetterung	4
7.4	Betriebliche Überwachung	4
8.	Abfälle	4
9.	Stilllegung	5
10.	Nachbetriebsphase	5
10.1	Überwachung der Umwelt	5
10.2	Dokumentation und Kennzeichnung	5



Entwicklungsprozess

- Sicherheitskriterien 1983
- AKEnd (1999-2002), u. a. ewG und Betrachtungszeitraum 1 Million Jahre
- Entwicklung einer Neufassung im Auftrag des BMU → GRS-Entwurf 2007 und Gutachten
- BMU-Sicherheitsanforderungen 2010
- StandAG 2013
- Endlagerkommission 2014-2016
- StandAG 2017



Wichtige Grundlagen der Verordnungen



Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle

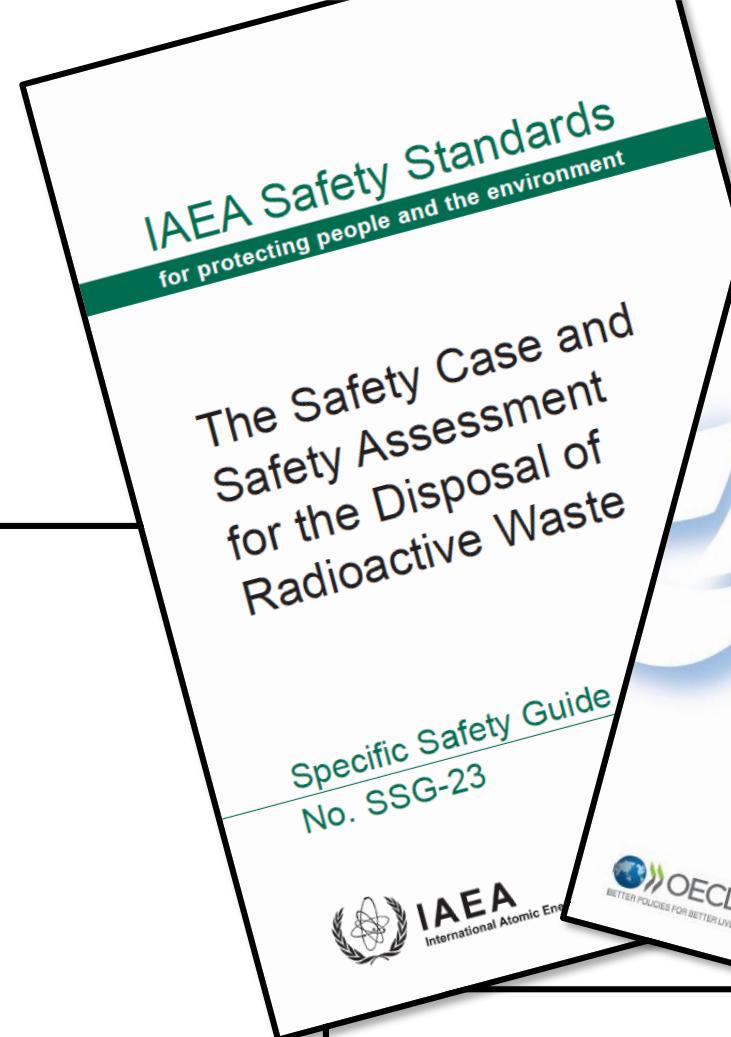
Stand 30. September 2010

Deutscher Bundestag
18. Wahlperiode

Abschlussbericht
der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe*

Verantwortung für die Zukunft

Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes



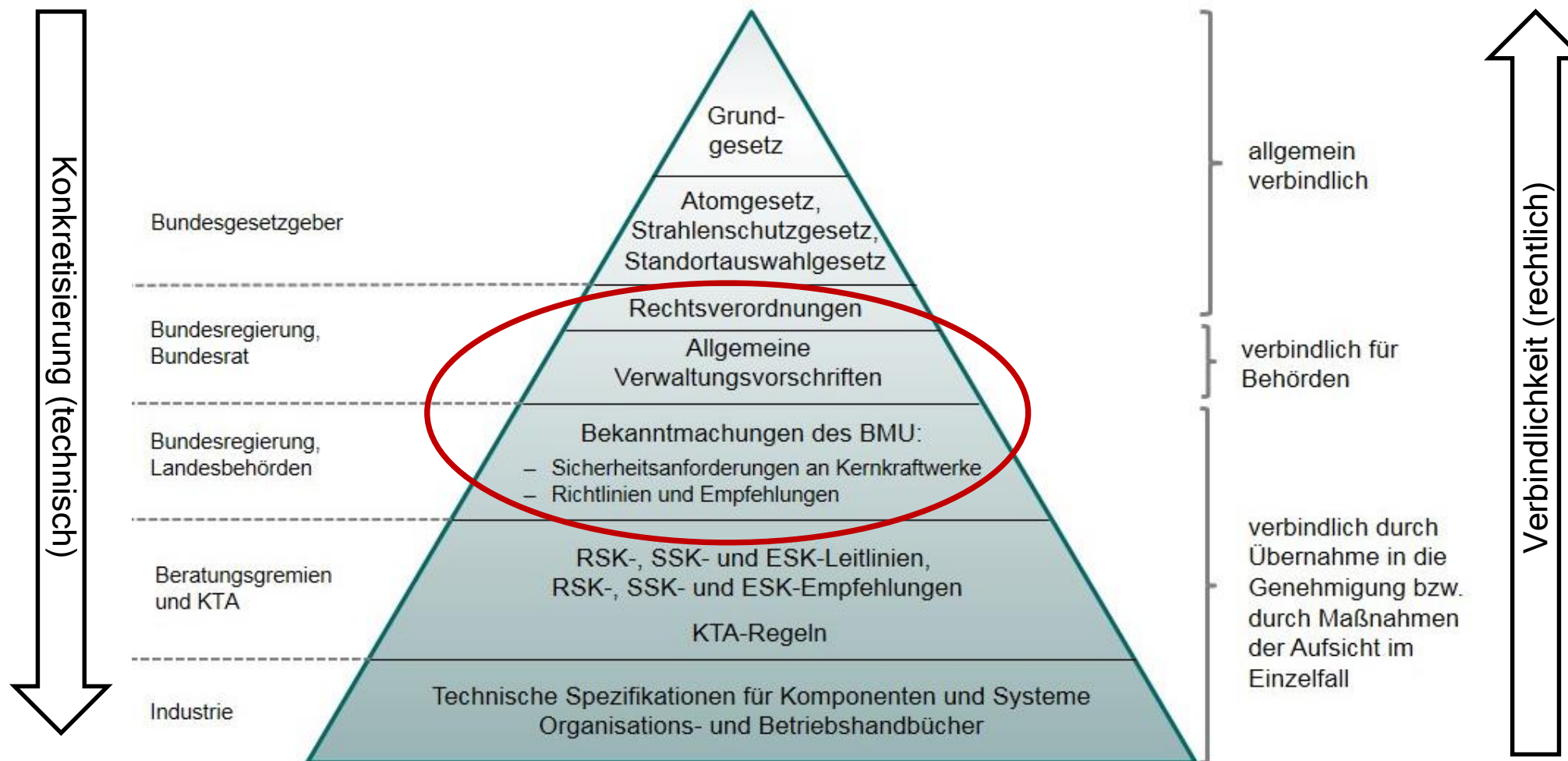
Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG)

StandAG

Ausfertigungsdatum: 05.05.2017

Vollzitat:

Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist



modifiziert nach <https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/sicherheit/genuehmigung-aufsicht/genuehmigung-aufsicht.html>



Sicherheitsanforderungen (EndSiAnfV): Ausgewählte Aspekte

- „Wesentliche Barrieren“ (also entweder einschlusswirksamer Gebirgsbereich oder technische / geotechnische Barrieren) (Abschnitt 2):
 - Sicherer Einschluss
 - Integrität und Robustheit
- Sicherheitskonzept → Auslegung. Optimierung (Abschnitt 3)
 - Optimierung auf Langzeitsicherheit und Betriebssicherheit gerichtet
 - Priorisierung in der Reihenfolge der Aufzählung:
erwartete - abweichende - hypothetische Entwicklungen als Grundlagen der Optimierung
 - „abgeschlossen, wenn eine weitere Verbesserung der Sicherheit nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erreicht werden kann“
- Rückholbarkeit und Ermöglichung einer Bergung (Abschnitt 4)
- Errichtung, Betrieb und Stilllegung (Abschnitt 5)



Anforderungen an vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (EndlSiUntV): Ausgewählte Aspekte

- Der Begriff des Untersuchungsraums (§ 3): Zuordnung von betrachtetem Gebiet und Sicherheitskonzept. Untersuchungsräume können sich also z. B. überschneiden, wenn in bestimmten Gebieten mehrere Wirtsgesteine zur Verfügung stehen.
- Anforderungen an Konsistenz und schrittweise Weiterentwicklung (§4) incl. jeweils einer Ableitung des Erkundungs-, Forschungs- und Entwicklungsbedarfs (§ 12)
- Anforderungen an den Inhalt (§§ 5-11), die wesentlichen Elementen des „Safety Case“-Konzepts folgen



EndlSiAnfV und EndlSiUntV: Ausgewählte Kritik- und Streitpunkte

- Potentielle Entwicklungen des Endlagersystems („Szenarien“):
Staffelung erwartete - abweichende - hypothetische sowie zukünftiger menschlicher Aktivitäten
 - Unterschiedliche (bzw. keine) Dosisgrenzwerte (§ 7)
 - Hierarchie bzgl. Optimierung (s. Folie 18)
- Dosisabschätzungen:
Abschätzung aufgrund der Lebensbedingungen zum Zeitpunkt der Antragstellung
- Wesentliche Barrieren „versus“ Multibarrierenkonzept
- Anforderungen an den Einschluss als zu wenig streng eingeschätzt
- Bewertungszeitraum (1 Mio a)
- Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen am selben Standort

- Regelungen zum Sicherheitsmanagement

- Kritik am Beteiligungsprozess und an der Dokumentation von Änderungsprozessen



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Anmerkung:

Der Vortragende hat als Mitglied einer Expertengruppe an der Erarbeitung der Entwürfe zu den Verordnungen mitgewirkt.

Quellen

- Historie https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/rsh/3-bmub/3_13.pdf?__blob=publicationFile&v=1, http://www.bfs.de/de/endlager/faq/langfassung_abschlussbericht_akend.pdf, <https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/nukleare-sicherheit/sicherheit-endlager/sicherheitsanforderungen/>, <https://www.bmu.de/download/sicherheitsanforderungen-an-die-endlagerung-waermeentwickelnder-radioaktiver-abfaelle/>
- Sicherheitsstandards der IAEA <https://www.iaea.org/resources/safety-standards>, insbesondere https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1553_web.pdf
- „Safety Case Brochure“ der OECD/NEA (2013) <https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2013/78121-rwn-sc-brochure.pdf>
- DAEF <http://www.endlagerforschung.de/>
- Endlagerkommission <https://dipbt.bundestag.de/doc/btd/18/091/1809100.pdf>
- StandAG https://www.gesetze-im-internet.de/standag_2017/
- Öffentlichkeitsbeteiligung durch BMU <https://www.dialog-endlagersicherheit.de/>
- Standortauswahl <https://www.bge.de/de/endlagersuche/>, https://www.base.bund.de/DE/themen/soa/soa_node.html, <https://www.nationales-begleitgremium.de/>
- Anhörung im Umweltausschuss des Bundestags https://www.bundestag.de/ausschuesse/a16_umwelt/oeffentliche_anhoerungen/oeffentliche-anhoerung-77-sitzung-sicherheitsvo-enlagerung-699520
- Verordnungstexte <http://www.gesetze-im-internet.de/endlsianfv/>, <https://www.gesetze-im-internet.de/endlsiuntv/>, Begründungen <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/192/1919291.pdf>