
Michael Lersow

Endlagerung aller Arten von radioaktiven Abfällen und Rückständen

Langzeitstabile, langzeitsichere
Verwahrung in Geotechnischen
Umweltbauwerken – Sachstand,
Diskussion und Ausblick

 Springer Spektrum

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	Literatur	9
2	Radioaktivität in Abfällen und Rückständen	11
2.1	Klassifizierung der Rückstände und radioaktiven Abfälle	11
2.2	Beschreibung der Rückstände und radioaktiven Abfallarten	17
2.3	Zeitliche Veränderung der Radioaktivität in Abfällen und Rückständen	20
2.4	Entstehung von radioaktiven Abfällen und Rückständen	25
2.4.1	Entstehung bei der Gewinnung von Energie aus Kernbrennstoffen	25
2.4.2	Entstehung durch Isotopenproduktion und Anwendung der Produkte	28
2.4.3	Bergbauliche oder industrielle Prozesse, die zu Rückständen mit natürlich vorkommenden Radionukliden („NORM“) führen	29
2.4.4	Radioaktive Abfälle und Rückstände aus der Entwicklung, Herstellung und Aussonderung von Kernwaffen und radioaktiver Munition	31
	Literatur	32
3	Grundlagen der Endlagerung radioaktiver Abfälle und Rückstände	35
3.1	Aufgabe	35
3.2	Anforderungen	37
3.3	Voraussetzungen für den Endlagerstandort	38
3.3.1	Ortung des Standortes	38
3.3.2	Standortsuche	39
3.4	Multibarrierenkonzept	42
3.4.1	Multibarrierenkonzept zur langzeitsicheren, langzeitstabilen Verwahrung von Abfällen mit sehr geringer Radioaktivität und für nicht überwachungsbedürftige Abfälle	42

3.4.2	Multibarrierenkonzept für Geotechnische Umweltbauwerke zur langzeitsicheren, langzeitstabilen Verwahrung von Uran-Aufbereitungsrückständen	44
3.4.3	Multibarrierenkonzept für Geotechnische Umweltbauwerke zur langzeitsicheren, langzeitstabilen Verwahrung von radioaktiven Abfällen	45
3.5	Grundbegriffe der Langzeitsicherheit	46
3.6	Krisenmanagement/Notfallplan	53
3.7	Vorhandene Gefahrenquellen und präventive, optimierte Sicherheitsvorkehrungen	56
3.7.1	Uran-Rückstandsspeicher (Tailings ponds)	56
3.7.2	Schäden von Einzelpersonen bei direktem Kontakt und Strahleneinwirkung – Strahlenschutz	57
3.7.3	Endlagerung radioaktiver Abfälle	62
3.8	Ausbreitungsmöglichkeiten von Radionukliden aus Geotechnischen Umweltbauwerken (Endlagerbauwerken)	67
3.8.1	Radionuklidausbreitung auf Deponien gemäß KrWG und DepV	69
3.8.2	Radionuklidausbreitung bei Uran-Tailings ponds	69
3.8.3	Radionuklidausbreitung beim Ablegen von wärmeentwickelnden, hochradioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen	70
3.9	Monitoring – Nachweise der Funktion und Wirksamkeit der Geotechnischen Umweltbauwerke zur dauerhaften Isolation radioaktiver Abfälle und Rückstände	73
	Literatur	77
4	Entsorgung von Abfällen mit sehr geringer Radioaktivität (VLLW)	81
4.1	Freigegebene Reststoffe, entlassene und nicht überwachungsbedürftige Rückstände	81
4.1.1	Herkunft	81
4.1.2	Gesetzliche Grundlagen	83
4.1.3	Radiologische Grundlagen	83
4.2	Zweckgerichtete Freigabe von radioaktiven Abfällen und Entlassung von Rückständen	84
4.2.1	Beispiele von nicht überwachungsbedürftigen Rückständen zur Deponierung gemäß DepV und AVV	86
4.3	Deponierung von Abfällen mit sehr geringer Radioaktivität	87
4.3.1	Multibarrierenkonzept	88
4.4	Ausblick	94
	Literatur	96

5	Überwachungsbedürftige radioaktive Rückstände des Uranerzbergbaus	97
5.1	Herkunft der radioaktiven Rückstände und Rückstandsspeicher, grundsätzliche Anforderungen an deren Stilllegung	97
5.2	Stilllegung/Langzeitsichere Verwahrung von radioaktiven Rückständen des Uranerzbergbaus in Deutschland	105
5.3	Eigenschaften und Radiotoxizität der Uran-Tailings, insbesondere der SDAG Wismut	109
5.4	Standortsanierungskonzept – Conceptual Site Model (CSM)	111
5.4.1	Grundsätze der Verwahrungsplanung	111
5.4.2	Langzeitsichere und langzeitstabile Verwahrung von Tailings ponds aus der Erzaufbereitung	116
5.4.3	Multibarrierenkonzept	119
5.5	Definition von Langzeitsicherheit und Langzeitstabilität	146
5.5.1	Mechanische Materialparameter, Zustandsgrößen	148
5.5.2	Langzeitsicherheit und Langzeitstabilität der multifunktionalen Abdeckung	149
5.5.3	Langzeitsicherheit und Langzeitstabilität der Basisabdichtung	155
5.5.4	Monitoring	158
5.6	Betrachtung außergewöhnlicher Ereignisse – Worst Cases	163
	Literatur	164
6	Entsorgung von radioaktiven Abfällen geringer und mittlerer Radioaktivität	169
6.1	Internationale Entwicklung	169
6.2	Beschreibung der derzeitigen Situation bei der langzeitsicheren Verwahrung von LAW, MAW in Deutschland	176
6.3	Anforderungen und Umsetzung einer langzeitsicheren Verwahrung	179
6.4	Standortbeschreibungen/Einlagerungsbedingungen/Langzeitsicherheit	180
6.4.1	Schachtanlage Konrad/Endlager Konrad	180
6.4.2	Endlager für Radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)	185
6.4.3	Schachtanlage Asse II	201
6.5	Vergleichende Betrachtungen zum Radionuklidinventar der Schachtanlage Asse II und des ERAM mit den Tailings ponds der Wismut GmbH	225
6.5.1	Vergleich der Aktivitätsinventare	225
6.5.2	Vergleich der Langzeitsicherheitskonzepte des ERA Morsleben mit Rückstandsspeichern aus der Uranerzaufbereitung	229
6.6	Zusammenfassung des Konzepts einer langzeitsicheren Verwahrung von LAW und MAW	232
	Literatur	235

7	Entsorgung von radioaktiven Abfällen mit hoher Radioaktivität	239
7.1	In Deutschland zu entsorgende hochradioaktive, wärmeentwickelnde Abfälle	239
7.2	Vergleichende Betrachtungen zu abgelegten Radionuklidinventaren in Endlagerbauwerken in Deutschland	245
7.3	Stand der langzeitsicheren und langzeitstabilen Entsorgung von HAW in Deutschland	251
7.4	Internationale Projekte (Lösungen) zur langzeitsicheren Entsorgung von HAW (Auswahl)	257
7.4.1	Endlagerprojekte in den USA	257
7.4.2	Ausgewählte Endlagerprojekte in Europa	263
7.5	Zeitliche Veränderung der Radioaktivität in Abfällen	284
7.5.1	Grundlagen	284
7.5.2	Gezielte Veränderung der Radioaktivität durch Transmutation	287
7.6	Schlussfolgerungen	289
7.7	Verantwortung und Kosten	302
	Literatur	305
8	Langzeitsicherheit Geotechnischer Umweltbauwerke	309
8.1	Aufgabe und Ziel	309
8.2	Langzeitsichere und langzeitstabile Verwahrung der Uran-Tailings ponds	311
8.3	Langzeitsichere und langzeitstabile Verwahrung radioaktiver Abfälle in Deutschland	315
8.3.1	Derzeit gültige Anforderungen an die Endlagerung	315
8.3.2	Zentrale Sicherheitsanforderungen an ein zu entwickelndes Endlagersystem in Deutschland	316
8.4	Endlagerung von radioaktiven Abfällen in Deutschland	317
8.4.1	Endlagerung radioaktiver Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung	317
8.4.2	Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle	319
8.4.3	Anforderungen an die langzeitsichere und langzeitstabile Verwahrung und mögliche Suchgebiete für Endlagerstandorte für HAW in Deutschland	320
8.5	Elemente eines Langzeitsicherheitsnachweises	345
8.5.1	Analyse des Endlagersystems (Systemanalyse)	345
8.5.2	Szenarienentwicklung – Szenarienanalyse	352
8.5.3	Szenarien der Endlagerentwicklung in der Nachverschlussphase	359

8.6	Langzeitsicherheitsnachweis	363
8.6.1	Modellgebiet A gemäß Abb. 8.14 – Versagen (Teilversagen) des Verschlusssystems	365
8.6.2	Modellgebiet B gemäß Abb. 8.14 – Herausbildung eines Radionuklid-Quellterms im ewG	366
8.6.3	Modellgebiet C gemäß Abb. 8.14 – Stofftransportmodellierung für den Fernbereich	377
8.6.4	Modellgebiet D gemäß Abb. 8.14 – Ermittlung möglicher Strahlenexpositionen aufgrund des Eintretens von A, radiologische Auswirkungen in der Biosphäre, anerkannte Expositionsmodelle	379
8.7	Umweltüberwachung und Beweissicherung	382
8.8	Safety Case	383
8.9	Ausblick	384
	Literatur	387
9	Umwelt-Monitoring	393
9.1	Endlagerprogramm und Monitoring	393
9.2	Monitoring in verschiedenen Phasen der Endlagerung	400
9.2.1	Monitoring des unverschlossenen Endlagers	400
9.2.2	Monitoring des verschlossenen Endlagers	407
9.2.3	Monitoring bei oberflächennaher Endlagerung	413
9.2.4	Zentrale Datenbank	414
9.3	Langzeit-Monitoring von Uran-Tailings ponds und im Deponiebau	415
	Literatur	417
10	Zusammenfassung	419
	Literatur	427
	Glossar	429
	Sachverzeichnis	443