



Stilllegung des ERA Morsleben

4. Zwischenbericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte)

– Bewertung G 216 –

BS-Projekt-Nr. 0108-03/15

erstellt im Auftrag des

Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt
des Landes Sachsen-Anhalt
Olvenstedter Straße 4
39108 Magdeburg

durch die

Brenk Systemplanung GmbH
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen

Aachen, 20.06.2011

Anmerkung:

Dieser Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers (BS) wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.



AUTOREN

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:

Brenk Systemplanung GmbH, Aachen

- Dipl.-Phys. S. Kistingner

TU Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, Clausthal-Zellerfeld

- PD Dr.-Ing. habil. U. Düsterloh

Es wird versichert, dass dieser Bericht nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung angefertigt worden ist.

Unterschrift Projektleiter	Unterschrift Geschäftsführung
----------------------------	-------------------------------



ZUSAMMENFASSUNG

Der Nachweis des BfS zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit in der Grube des ERAM im Hinblick auf die Standsicherheit (Nachweiserfordernis NW (7)) beinhaltet 5 Sicherheitselemente (SE):

1. Allgemeine Einschätzung (Befahrung)
2. Baugrunduntersuchungen (Wirtsgesteinsuntersuchungen¹)
3. Berechnungen und geotechnische Analyse²
4. Systematische Beobachtungen bzw. Messungen
5. Vorsorgekonzept.

Wird für einen Bereich der Grube durch die ersten drei Sicherheitselemente ein „hinreichendes Maß an Sicherheit“ ausgewiesen, gilt der Nachweis der Arbeitssicherheit dort als erfüllt. Weisen die Berechnungen und Analysen kein ausreichendes Sicherheitsniveau aus, soll die Arbeitssicherheit durch die Durchführung systematischer Beobachtungen und Messungen zur Überwachung der Grubenräume (SE 4) und die Durchführung von Vorsorgemaßnahmen, die in einem Vorsorgekonzept beschrieben und festgelegt sind (SE 5), gewährleistet werden.

Die Unterlage [G 216] beinhaltet das Vorsorgekonzept (SE 5). Es ist eine Zusammenstellung der möglichen Vorsorgemaßnahmen und der Angaben, unter welchen Bedingungen diese zum Einsatz kommen sollen. Die Bedingungen ergeben sich aus den o. g. Berechnungen und Analysen (SE 3) sowie den systematischen Beobachtungen und Messungen (SE 4). In [G 216] sind deshalb auch zu diesen Sicherheitselementen Angaben enthalten. Gegenstand dieses Zwischenberichts ist die Bewertung der Unterlage [G 216].

In Kapitel 3 des vorliegenden Berichts geben wir die von uns verwendeten Bewertungsmaßstäbe an. Da für die Stilllegung eines Endlagers für radioaktive Abfälle im Salzgestein keine verbindlichen Vorgaben zum Nachweis der Standsicherheit im Hinblick auf die Arbeitssicherheit bestehen, orientieren wir uns diesbezüglich am Stand von Wissenschaft und Technik, der sich aus der Deponieverordnung, den Empfehlungen des Arbeitskreises Salzmechanik der DGEG und dem Eurocode 7 ableiten lässt.

In Kapitel 4 wird angegeben, wie die Unterlage [G 216] in die geotechnische Nachweisführung³ des BfS eingeordnet ist. Die Angaben des BfS werden wiedergegeben und bewertet. Wir kommen zu dem Ergebnis, dass die Inhalte der SE 4 und 5 sowie des NW (7) unklar formuliert sind und präzisiert werden sollten (Forderung F 1).

Ein wesentlicher Punkt in der Nachführung des BfS zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit ist der Ansatz, dass diese auch dann gewährleistet werden kann, wenn die Berechnungen und Analysen keine Standsicherheit der Grubenräume und im Extremfall sogar das Bestehen von Rissen und

¹ Den Baugrunduntersuchungen werden in [G 216] Abschnitt 2.1 die Labor- und In-situ-Untersuchungen [BGR 98a] und [BGR 98b] sowie die geomechanische Betriebsüberwachung zugeordnet.

² „Auf Basis der geotechnischen Analyse, die im ersten Schritt i. d. R. eine Berechnung beinhaltet, wird ein erstes quantitatives Maß zur Bewertung der Sicherheit bestimmt.“ [P 218] Kapitel 2

³ Unter geotechnischer Nachweisführung verstehen wir die Führung der für die Planfeststellung der Stilllegung des ERAM erforderlichen Nachweise mit geotechnischem Hintergrund.



Bruchkörpern ausweisen. In diesem Fall kann nach der Auffassung des BfS die Arbeitssicherheit mittels messtechnischer Überwachung und Durchführung von Vorsorgemaßnahmen sichergestellt werden („Beobachtungsmethode“). In Kapitel 5 wird die Argumentation des BfS zur grundsätzlichen Zulässigkeit dieser Vorgehensweise wiedergegeben und bewertet. Im Ergebnis leiten wir Voraussetzungen ab, die bei der Anwendung der Beobachtungsmethode erfüllt sein müssen.

In den folgenden Kapiteln 6 bis 8 geben wir die Angaben aus [G 216] zu den Sicherheitselementen 3, 4 und 5 wieder und bewerten sie. Wir prüfen, ob die in Kapitel 5 abgeleiteten Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Beobachtungsmethode erfüllt sind, und ob die Aussagen in [G 216] vollständig, nachvollziehbar, in sich und im Vergleich mit anderen Prüfunterlagen (insbesondere der Unterlage [P 218]) konsistent und sachlich richtig sind.

Die wesentlichen Prüfergebnisse sind:

- Die Unterlage [G 216] stellt nicht das endgültige Vorsorgekonzept dar. In der Unterlage selbst wird auf noch offene Punkte verwiesen.
- Vor dem Beginn der Stilllegungsarbeiten muss das Vorsorgekonzept durch Vorsorgepläne untersetzt werden. Mit der Bergbehörde sollte abgestimmt werden, ob ihre Vorlage
 - als Genehmigungsvoraussetzung für die Planfeststellung oder
 - mittels Auflagen bis zu Beginn der Stilllegungsarbeiten gefordert werden soll.

Im Ergebnis der Prüfungen kommen wir zu insgesamt 9 Forderungen, einer Einschätzung und 4 Hinweisen, auf die wir an dieser Stelle lediglich verweisen, da sie nur im Zusammenhang mit den Ausführungen in den Kapiteln 4 bis 8 verständlich sind.

Kapitel 9 enthält ein Glossar und Kapitel 10 das Literaturverzeichnis.



INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

ZUSAMMENFASSUNG

1. EINLEITUNG	1
2. BERICHTSAUFBAU.....	4
3. BEWERTUNGSMABSTÄBE	5
4. EINORDNUNG DER UNTERLAGE IN DIE SICHERHEITSNACHWEISE	6
4.1. Angaben des BfS	6
4.2. Bewertung.....	8
5. ANWENDBARKEIT DER SICHERHEITSELEMENTE (SE) 4 UND 5 („BEOBACHTUNGSMETHODE“)	10
5.1. Angaben in [G 216].....	10
5.2. Bewertung.....	11
6. BEWERTUNG DER ANGABEN ZU SE 3 (BERECHNUNGEN UND GEOTECHNISCHE ANALYSE)	17
6.1. Angaben in [G 216].....	17
6.1.1. Ableitung der Gefahrenbilder	17
6.1.2. Rechnerische Analyse.....	17
6.2. Bewertung.....	21
6.2.1. Ableitung der Gefahrenbilder	21
6.2.2. Rechnerische Analyse.....	21
7. BEWERTUNG DER ANGABEN ZU SE 4 (SYSTEMATISCHE BEOBACHTUNGEN UND MESSUNGEN)	23
7.1. Angaben in [G 216].....	23
7.2. Bewertung.....	24
8. BEWERTUNG DER ANGABEN ZU SE 5 (KATALOG DER GEGENMAßNAHMEN)	27
8.1. Angaben in [G 216].....	27
8.1.1. Vorsorgemaßnahmen.....	27
8.1.2. Zur Verfügung stehende und erforderliche Zeit	29
8.1.3. Planung der Vorsorgemaßnahmen	30
8.2. Bewertung.....	30
8.2.1. Vorsorgemaßnahmen.....	31
8.2.2. Zur Verfügung stehende und erforderliche Zeit	32
8.2.3. Planung der Vorsorgemaßnahmen	34
9. GLOSSAR	35
10. LITERATUR.....	36



1. EINLEITUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat beim zuständigen Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) die Durchführung des Planfeststellungsverfahrens nach § 9 b Atomgesetz (AtG) zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) beantragt. Der Stilllegung des ERAM liegt ein Sicherheitskonzept zugrunde, das im Plan zur Stilllegung des ERAM [A 281] in Verbindung mit weiteren Verfahrensunterlagen dargelegt wird. Die Brenk Systemplanung GmbH (BS) wurde vom MLU beauftragt, im Rahmen des Prüfkomplexes 8 (PK 8; geotechnische Aspekte) die geotechnischen Teile dieses Sicherheitskonzepts auf Plausibilität und Vollständigkeit zu prüfen.

Gegenstand des PK 8 ist die Prüfung,

- ob die vom BfS unter geotechnischen Gesichtspunkten angeführten Nachweiserfordernisse und die verwendete Nachweismethodik sachgerecht und vollständig sind,
- ob und wenn ja welche Nachweiserfordernisse zu ergänzen oder zu ersetzen sind bzw. ob und wenn ja wie die Nachweismethodik zu ändern ist und
- ob die eingereichten Unterlagen den Anforderungen aus den Nachweiserfordernissen und der Nachweismethodik genügen.

Im Zentralteil der Grube Bartensleben wurden Hohlräume im Rahmen der bergbaulichen Gefahrenabwehr (bGZ) schon vor Beginn der eigentlichen Stilllegungsmaßnahmen verfüllt. Da in den nicht verfüllten Grubenbauwerken des ERAM grundsätzlich ein weiterer Sicherheitsverzehr auftritt, ist eine vorzeitige Verfüllung weiterer Grubenbaue des ERAM noch vor dem Planfeststellungsbeschluss denkbar. Solche Maßnahmen könnten z. B. als Änderungen der bestehenden Dauerbetriebsgenehmigung separat beantragt werden, würden allerdings auch den Anforderungen aus dem Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung unterliegen bzw. müssten unschädlich im Hinblick auf die Stilllegung sowie auf die Einhaltung der langfristigen Ziele der Stilllegung sein. Für eine vorzeitige Verfüllung sind gegenwärtig Teile des Lagers H im Grubengebäude Marie in Diskussion. Aufgrund des dortigen Lösungszutritts und aufgrund seiner Funktion als Stapelraum für im Havariefall zutretende Lösungen ist auf diesen Grubenteil jedoch ein besonderes Augenmerk zu richten. Ein weiterer Gegenstand des PK 8 ist deshalb die Prüfung,

- welche (ggf. zusätzlichen) Nachweiserfordernisse sich im konkreten Fall einer vorgezogenen Verfüllung des Lagers H ergeben und
- ob die zu Lager H vorliegenden Unterlagen diesen Anforderungen genügen.

Die Prüfung zu PK 8 wird in die Prüfung der Verfahrensunterlagen und Nachweise auf Plausibilität und Vollständigkeit (Phase 1) und die inhaltliche Prüfung der Verfahrensunterlagen und Nachweise (Phase 2) untergliedert. Gemäß unserem Angebot vom 03.02.2009 sind zu Phase 1 dieser Prüfung im Rahmen der Arbeitspunkte (AP) 1 bis 4 vorgesehen:

AP 1: Vorabprüfung der Standsicherheit und des stabilen Endzustands für das Lager H im Sinne einer Ersteinschätzung.

AP 2: Darstellung und rechtliche Bewertung des Sicherheitskonzepts des BfS und Konkretisierung der Vorgehensweise bei der weiteren Prüfung der Planunterlagen.



AP 3: Prüfung der dem Themenbereich „Geomechanik, Standsicherheit“ zugeordneten Verfahrensunterlagen auf Plausibilität und Vollständigkeit.

AP 4: Identifikation von Fragen zwecks Konkretisierung der Anforderungen an die inhaltliche Prüfung von Unterlagen bzw. Nachweisen in der nachfolgenden Phase 2 der Arbeiten.

Der vorliegende vierte Zwischenbericht beinhaltet die Bewertung der Prüfunterlage [G 216] im Rahmen der Arbeiten zu AP 3.

Im dritten Zwischenbericht erfolgte die Bewertung der Unterlage [P 218], in der

- die aus Sicht des BfS erforderliche Sicherheitsnachweise („Nachweiserfordernisse“) im Hinblick auf Standsicherheit und Integrität aufgeführt,
- die Methoden bei der Führung dieser Sicherheitsnachweise beschrieben und
- Sicherheitsnachweiskriterien⁴ zusammengestellt

werden. Nach [P 218] ist u. A. für den Zeitraum der Stilllegung (Zeitraum der „Bauzustände“) die Arbeitssicherheit nachzuweisen. Dieser Nachweis soll „unter Einbeziehung“ von fünf Sicherheitselementen erfolgen. Die fünf Sicherheitselemente sind

1. Allgemeine Einschätzung (Befahrung),
2. Baugrunduntersuchungen (Wirtsgesteinuntersuchungen),
3. Berechnungen (hierunter werden nach [P 218] S. 13 auch Plausibilitätsbetrachtungen verstanden) und geotechnische Analyse,
4. Systematische Beobachtungen bzw. Messungen,
5. Vorsorgekonzept.

Wird für einen Bereich der Grube durch die ersten drei Sicherheitselemente ein „hinreichendes Maß an Sicherheit“ ausgewiesen, gilt der Nachweis der Arbeitssicherheit dort als erfüllt. Weisen die Berechnungen und Analysen kein ausreichendes Sicherheitsniveau aus, soll die Arbeitssicherheit durch die Durchführung systematischer Beobachtungen und Messungen (Sicherheitselement 4) und die Durchführung von Vorsorgemaßnahmen, die in einem Vorsorgekonzept beschrieben und festgelegt sind (Sicherheitselement 5), gewährleistet werden.

Gegenstand der Unterlage [G 216] ist die Darstellung des Vorsorgekonzepts.

Im Ergebnis der Prüfung dieser Unterlage formulieren wir Forderungen (F), Einschätzungen (E) und Hinweise (H):

- Forderungen betreffen Kritikpunkte, die nach unserer Einschätzung einer Überarbeitung bzw. Ergänzung der vorliegenden Verfahrensunterlagen durch das BfS bedürfen. Wir empfehlen der Genehmigungsbehörde, diese Forderungen dem BfS gegenüber zu erheben.

⁴ Ein wesentliches Element der Nachweisführung zu den verschiedenen Nachweiserfordernissen ist der Vergleich eines bestehenden bzw. prognostizierten Zustands mit sogenannten Nachweiskriterien. Diese haben die Form von Ungleichungen für bestimmte den Zustand charakterisierende Größen (wie mechanische Spannungen, Verformungen oder die Temperatur).



Brenk Systemplanung

Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich
technischen Umweltschutz

- Einschätzungen betreffen Beurteilungen, die wir bei der Bewertung der Einzelnachweise zugrunde legen werden.
- Hinweise richten sich an das MLU. Sie haben keine Forderungen an das BfS im Hinblick auf eine Überarbeitung bzw. Ergänzung der vorliegenden Verfahrensunterlagen zur Folge.



2. BERICHTSAUFBAU

In Kapitel 3 des vorliegenden Berichts geben wir die von uns verwendeten Bewertungsmaßstäbe an. Da für die Stilllegung eines Endlagers für radioaktive Abfälle im Salzgestein keine verbindlichen Vorgaben zum Nachweis der Standsicherheit im Hinblick auf die Arbeitssicherheit bestehen, orientieren wir uns diesbezüglich am Stand von Wissenschaft und Technik, der sich aus der Deponieverordnung, den Empfehlungen des Arbeitskreises Salzmechanik der DGEG und dem Eurocode 7 ableiten lässt.

In Kapitel 4 wird angegeben, wie die Unterlage [G 216] in die geotechnische Nachweisführung⁵ des BfS eingeordnet ist. Die Angaben des BfS werden wiedergegeben und bewertet.

Ein wesentlicher Punkt in der Nachführung des BfS zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit ist der Ansatz, dass diese auch dann gewährleistet werden kann, wenn die Berechnungen und Analysen keine Standsicherheit der Grubenräume und im Extremfall sogar das Bestehen von Rissen und Bruchkörpern ausweisen. In diesem Fall kann nach der Auffassung des BfS die Arbeitssicherheit mittels messtechnischer Überwachung und Durchführung von Vorsorgemaßnahmen sichergestellt werden. Diese Vorgehensweise wird in [G 216] als Beobachtungsmethode bezeichnet. In Kapitel 5 wird die Argumentation des BfS zur grundsätzlichen Zulässigkeit dieser Vorgehensweise wiedergegeben und bewertet.

Die Unterlage [G 216] stellt im Rahmen dieser Vorgehensweise das Vorsorgekonzept (Sicherheitselement 5) dar. Hiermit bezeichnet das BfS eine Zusammenstellung der möglichen Vorsorgemaßnahmen und der Angaben, unter welchen Bedingungen diese zum Einsatz kommen sollen. Die Bedingungen ergeben sich aus den o. g. Berechnungen und Analysen (Sicherheitselement 3) sowie systematischen Beobachtungen und Messungen zur Überwachung der Grubenräume (Sicherheitselement 4). In [G 216] sind deshalb auch Angaben zu diesen Sicherheitselementen enthalten. In den Kapitel 6, 7 und 8 geben wir die Angaben zu den Sicherheitselementen 3, 4 und 5 wieder und bewerten sie.

Kapitel 9 enthält ein Glossar und Kapitel 10 das Literaturverzeichnis.

⁵ Unter geotechnischer Nachweisführung verstehen wir die Führung der für die Planfeststellung der Stilllegung des ERAM erforderlichen Nachweise mit geotechnischem Hintergrund.



3. BEWERTUNGSMAßSTÄBE

Für die Bewertung der bei der Stilllegung des ERAM anzuwendenden Methoden zur Erbringung der geforderten Sicherheitsnachweise bestehen keine verbindlichen Vorgaben. Das AtG fordert die „nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden“ (vgl. § 7 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 AtG).

Der in [G 216] beschriebene Nachweis der Sicherheit entspricht aufgrund des gleichen Wirtsgesteins (Salz) und der gleichartigen Schutzziele (Schutz der Biosphäre vor dem Eintrag schädlicher Stoffe; Schutz von Mensch, Umwelt und Sachgütern im Hinblick auf Senkungen; Schutz der Beschäftigten) dem Standsicherheitsnachweis für Untertagedeponien im Salzgestein. Deshalb kann die dort angewendete Vorgehensweise zur Ermittlung des Stands von Wissenschaft und Technik herangezogen werden. In Anhang 2 der Deponieverordnung [DepV 09] sind Anforderungen an den geotechnischen Standsicherheitsnachweis für Untertagedeponien im Salzgestein zusammengestellt, die als Bewertungsmaßstab herangezogen werden können. Weitere Angaben zur Durchführung eines geotechnischen Sicherheitsnachweises enthalten die Empfehlungen des Arbeitskreises Salzmechanik der DGEG – Ablagerungen in Bergwerken – (hier insbesondere Kapitel 4) [DGEG 93].

Die DIN EN 1997-1 („Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“) und DIN EN 1997-2 („Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“) gelten für den Hoch- und Ingenieurbau, worunter das Grubengebäude des ERAM nach unserem Verständnis nicht zu rechnen ist⁶. Unabhängig hiervon können sie jedoch bzgl. allgemeiner Grundsätze und Vorgehensweisen herangezogen werden.

⁶ Hiervon unabhängig ist die Tatsache, dass einzelne Bauwerke wie z. B. die Abdichtungen durchaus als Ingenieurbauwerke eingestuft werden können.



4. EINORDNUNG DER UNTERLAGE IN DIE SICHERHEITSNACHWEISE

4.1. Angaben des BfS

Nach [P 218] (Seite 11 f.) sind im Hinblick auf die Standsicherheit und Integrität des ERAM die in Tabelle 4-1 aufgeführten Nachweiserfordernisse (NW) zu erbringen.

Tabelle 4-1: Nachweiserfordernisse (NW) zum Nachweis der *Sicherheit der Bauzustände* und der *stabilen Endzustände* (nach [P 218]).

	Sicherheit der Bauzustände	stabile Endzustände²⁾
Schutzziel „Schutz der Tagesoberfläche“		
NW der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche	(1)	(1) ³⁾
NW der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden	(2)	
Schutzziel „Barrierenintegrität“		
NW des Erhalts der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenräume	(3)	((2))
NW einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume	(4)	(3)
NW der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung am Salzspiegel	(5)	
NW Schutz der obersten Anhydritschollen ¹⁾	(6)	((4))
Schutzziel „Arbeitssicherheit“		
NW der Zustandsverbesserung des Salzes in Konturbereichen der Grubenräume und den Tragelementen	(7)	

(x) = Nachweis erforderlich

((x)) = Nachweis wünschenswert, aber nicht erforderlich

¹⁾ Das Nachweiserfordernis „Schutz der obersten Anhydritschollen“ umfasst den „Nachweis der Geringfügigkeit der Temperaturerhöhung in der jeweils obersten Anhydritscholle, wenn der Anhydrit ein potentieller Lösungspfad ist. Alternativ dazu ist der Nachweis der Unterschreitung der Bruchgrenze des Anhydrits oder einer Zustandsverbesserung des Anhydrits möglich.“ ([P 218] S. 12)

²⁾ Es werden zwei Endzustände betrachtet: (a) trockenes Endlager, (b) zugelaufenes Endlager

³⁾ alternativ (es ist nur einer der beiden Nachweise zu führen)



Der Nachweis der Sicherheit der Bauzustände beinhaltet nach [G 216] und [P 218] die 5 „Sicherheitselemente“ (SE)

1. Allgemeine Einschätzung (Befahrung)
2. Baugrunduntersuchungen (Wirtsgesteinsuntersuchungen⁷)
3. Berechnungen und geotechnische Analyse⁸
4. Systematische Beobachtungen bzw. Messungen
5. Vorsorgekonzept.

Aufgrund der Ausführungen in [P 218] Abschnitt 3.4.3 gehen wir davon aus, dass das NW (7) tatsächlich den Nachweis der Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit umfassen soll. Die Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume und in den Tragelementen (Schweben und Pfeiler) ist nur ein Kriterium unter mehreren, aus denen das BfS die Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit ableitet. Weiterhin geht aus [P 218] Abschnitt 3.5 hervor, dass die Sicherheitselemente 4 und 5 nur bei diesem NW zur Anwendung kommen sollen.

In [G 216] Kapitel 1 werden die folgenden Angaben zur Einordnung der Unterlage in den Sicherheitsnachweis gemacht:

„Die in dieser Unterlage bearbeitete Aufgabenstellung beinhaltet die Entwicklung eines Konzeptes von Vorsorgemaßnahmen (Vorsorgekonzept) für die Stilllegung des ERAM mit dem Ziel, ggf. vorhandene Gefahren bzw. außergewöhnliche Situationen während der Verfüllung und danach bis zur endgültigen Stilllegung ... zu beherrschen“.

„Die Aufgabenstellung erfordert

- *die Identifikation von Gefahren bzw. die Identifikation oder Festlegung außergewöhnlicher Situationen*
- *Kriterien für das Einsetzen von Vorsorgemaßnahmen*
- *das Ausführen von Vorsorgemaßnahmen [...]*
- *die Bewertung der Dauer des Umsetzens von Vorsorgemaßnahmen“.*

„In dieser Unterlage werden die einzelnen Schritte der Aufgabenstellung mit unterschiedlichem Tiefgang behandelt, alle Schritte sind jedoch auf methodischer Basis beschrieben. Eine detaillierte Planung der Vorsorgemaßnahmen erfolgt, wenn die für die Präzisierung der Planungen benötigten Daten, z. B. aus einem geplanten vorauslaufenden Messprogramm vorliegen.“

⁷ Den Baugrunduntersuchungen werden in [G 216] Abschnitt 2.1 die Labor- und In-situ-Untersuchungen [BGR 98a] und [BGR 98b] sowie die geomechanische Betriebsüberwachung zugeordnet.

⁸ *„Auf Basis der geotechnischen Analyse, die im ersten Schritt i. d. R. eine Berechnung beinhaltet, wird ein erstes quantitatives Maß zur Bewertung der Sicherheit bestimmt.“* [P 218] Kapitel 2



4.2. Bewertung

Für eine Überwachung von Grubenbauen durch systematische Beobachtung bzw. Messungen sind die folgenden Arbeitsschritte erforderlich:

- (1a) Identifikation und Festlegung geeigneter Beobachtungen bzw. Messgrößen und -methoden,
- (1b) Planung der Beobachtungen und Messungen hinsichtlich Art, Ort und Zeit,
- (1c) Vorbereitung der Beobachtungen und Messungen (Einrichtung und Kalibrierung der Messgeräte) und
- (1d) Durchführung der Beobachtungen und Messungen.

Für die Durchführung von Vorsorgemaßnahmen sind folgende Arbeitsschritte erforderlich:

- (2a) Identifikation grundsätzlich geeigneter Vorsorgemaßnahmen,
- (2b) Festlegung der im Einzelfall (d. h. für einen konkreten Abbau) bei Bedarf anzuwendenden Vorsorgemaßnahme,
- (2c) Planung der bei Bedarf anzuwendenden Vorsorgemaßnahmen (für einen konkreten Abbau),
- (2d) Vorbereitung der Vorsorgemaßnahme und
- (2e) Ausführung der Vorsorgemaßnahme.

Für die Entscheidung über die Durchführung von Vorsorgemaßnahmen sind zusätzlich folgende Arbeitsschritte erforderlich:

- (3a) Festlegung der Methode zur Auswertung der Beobachtungen und Messungen und zur Ableitung der Funktionswerte für die Indikatoren⁹,
- (3b) Ableitung von Grenzwerten für die Indikatoren, bei deren Überschreitung eine Vorsorgemaßnahme ergriffen wird,
- (3c) Auswertung der Beobachtungs- bzw. Messergebnisse und Vergleich mit den Grenzwerten.

Aufgrund der unpräzisen Formulierungen in [P 218] und in [G 216] Kapitel 1 bleibt unklar,

- ob die Nachweisführung zum NW (7) (Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit) vor der Planfeststellung vollständig vorgelegt werden soll oder ob Teile der Nachweisführung erst während der Stilllegung erbracht werden sollen,
- welche der o. g. Arbeitsschritte Gegenstand der Nachweisführung zum NW (7) sind und
- welche der o. g. Arbeitsschritte Gegenstand der Sicherheitselemente 4 und 5 sind.

Da vom BfS nicht vorgesehen ist, im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens weitere Unterlagen zu den Sicherheitselementen 4 und 5 vorzulegen, gehen wir von folgender Sichtweise des BfS aus:

⁹ Als Indikatoren bezeichnen wir die Größen, die für die Entscheidung über die Durchführung einer Vorsorgemaßnahme herangezogen werden. I. A. können Messgröße (z. B. Verformung) und Indikator (z. B. Verformungsgeschwindigkeit) verschieden sein.



- Für die Gewährleistung der Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit ist die Durchführung aller o. g. Arbeitsschritte erforderlich.
- Das Sicherheitselement 4 beinhaltet die Arbeitsschritte (1a) bis (1d).
- Das Sicherheitselement 5 („Vorsorgekonzept“) beinhaltet nur den konzeptionellen Teil der Arbeitsschritte (2a) bis (3c).
- Für die Gewährleistung der Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit sind somit das Sicherheitselement 4, das Sicherheitselement 5 sowie die planerischen und die die Ausführung betreffenden Teile der Arbeitsschritte (2a) bis (3c) erforderlich.
- Für den Nachweis, dass die Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit gewährleistet ist, genügen die konzeptionellen Teile des Sicherheitselements 4 sowie das (konzeptionelle) Sicherheitselement 5 (zusätzlich zu den Sicherheitselementen 1 bis 3, auf die wir hier nicht eingehen.).
- Diese Unterlagen sind vor der Planfeststellung vorzulegen.
- Die Unterlage [G 216] beinhaltet das (vollständige) Sicherheitselement 5¹⁰.
- Die für den Nachweis erforderlichen konzeptionellen Teile des Sicherheitselements 4 sind ebenfalls vollständig in [G 216] beschrieben. Die dort nicht beschriebenen Teile werden dem planerischen und dem die Ausführung betreffenden Teil des Sicherheitselements 4 zugerechnet, das für den Nachweis nicht erforderlich ist.

Zur Klärung der Sichtweise des BfS empfehlen wir:

F 1: Vom BfS sollte dargelegt werden, was die Sicherheitselemente 4 und 5 sowie der Nachweis, dass die Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit gewährleistet ist, im Detail zum Gegenstand haben.

Wir weisen schon an dieser Stelle darauf hin, dass nach [G 216] Kapitel 1 mit dem Vorsorgekonzept das Ziel verfolgt wird, Gefahren „während der Verfüllung und danach“ zu beherrschen. Aus den Ausführungen in [G 216] Kapitel 4 wird deutlich, dass mit „während der Verfüllung“ für die Gefahrenbilder Löserfall und Schwebenbruch (s. Kapitel 6 dieses Gutachtens) „während der Verfüllung der darüber liegenden Grubenbaue“ gemeint ist. Der Zeitraum vor der Verfüllung dieser Grubenbaue ist nicht Gegenstand des Vorsorgekonzepts. Damit ist offen, wie das BfS das NW (7) für diesen Zeitraum erbringt. In Abschnitt 8.2 bewerten wir diesen Sachverhalt.

¹⁰ Damit ergibt sich für uns im Umkehrschluss, dass das Sicherheitselement 5 (nur) die Arbeitsschritte zum Gegenstand hat, die in [G 216] dargelegt werden. Die in [G 216] Kapitel 1 erwähnte detaillierte Planung der Vorsorgemaßnahmen ist somit nicht Gegenstand des Sicherheitselements 5 und des Nachweises.



5. ANWENDBARKEIT DER SICHERHEITSELEMENTE (SE) 4 UND 5 („BEOBACHTUNGSMETHODE“)

5.1. Angaben in [G 216]

Nach [G 216] kann die Arbeitssicherheit im ERAM auch dann gewährleistet werden, wenn die Berechnungen und Analysen („Sicherheitselement 3) keine rechnerische Sicherheit und im Extremfall sogar das Bestehen von Rissen und Bruchkörpern ausweisen. In diesem Fall soll die Arbeitssicherheit durch eine Überwachung und im Bedarfsfall durch die Durchführung von Vorsorgemaßnahmen gewährleistet werden. In Kapitel 2 von [G 216] wird begründet, weshalb dieses Vorgehen zulässig ist.

Einleitend wird in [G 216] Kapitel 2 darauf verwiesen, dass in der SIA 260 in der Fassung von 1983 folgende grundsätzlichen Maßnahmen zur Gefahrenbegegnung angegeben werden¹¹:

- a) Maßnahmen am Gefahrenherd (zur Eliminierung der Gefahr)
- b) Änderung der Absicht und/oder der Bauwerkskonzeption (zur Umgehung der Gefahr)
- c) Überwachung, Kontrolle oder Warnsysteme (zur Bewältigung der Gefahr)
- d) Vorhalten von Reserven (zur Überwältigen der Gefahr)
- e) Übernahme der Gefahr als akzeptables Risiko.

In Abschnitt 2.1 wird angegeben, dass

- mittels der geotechnischen Berechnungen [P 215] und [P 243] gezeigt wurde, dass die globale Standsicherheit¹² im ERAM längerfristig gegeben ist,
- ein lokales Versagen in (einzelnen) Tragelementen im ERAM nur durch Kriechbruch erfolgen kann und
- dieser allmählich verläuft und sich ankündigt.

Aus diesem Grund könne für das ERAM die Beobachtungsmethode nach DIN 1054-100 und Eurocode 7 angewendet werden: Die Tragelemente des Grubengebäudes seien in der Lage, „*allen Lasten mit zufriedenstellender Sicherheit zu widerstehen, bis Risse bei regelmäßiger Inspektion festgestellt und geeignete Abhilfemaßnahmen vor dem Auftreten eines Tragwerkversagens vorgenommen werden können. Damit ist bei Anwendung der Beobachtungsmethode und Aufstellung eines Vorsorgekonzeptes ein adäquates in der Technik übliches Sicherheitsniveau eingehalten, obwohl bereits Indikatoren für Versagen vorhanden sind.*“

¹¹ SIA 260 ist eine Schweizer Norm „Grundlagen der Projektierung von Bergwerken“ (aktueller Stand: 2003).

¹² Der Begriff „globale Standsicherheit“ wird in [G 216] nicht definiert. Nach unserem Verständnis bedeutet er Sicherheit gegenüber Verformungen und Verbrüchen, die die Funktionsfähigkeit des Bergwerkes beeinträchtigen können (hierzu gehört auch die planmäßige Stilllegung) und gegenüber Verbrüchen, die die Langzeitsicherheit beeinträchtigen können. Wir gehen davon aus, dass in [G 216] ausgedrückt werden soll, dass keine größeren Verbrüche zu erwarten sind, die zu einem (schnellen) Folgeversagen weiterer Tragelemente (Schweben oder Pfeiler) führen könnten oder die Auswirkungen auf die Verwahrung der Grube haben könnten.



In Abschnitt 2.2 wird angegeben, dass

- die Beobachtungsmethode ein anerkanntes Sicherheitselement eines geotechnischen Sicherheitsnachweises ist,
- sie als alleiniges Sicherheitselement unzulässig ist und
- zu ihrer Vorbereitung von Baubeginn die folgenden Vorbereitungen vorzunehmen sind:
 - Ermittlung des voraussichtlichen Verhaltens,
 - Festlegung von Grenzwerten zur Schadensverhinderung
 - Aufstellung eines Messprogramms und
 - Aufstellung eines Katalogs von Gegenmaßnahmen (Vorsorgekonzept).

5.2. Bewertung

Verträglichkeit mit der Deponieverordnung

In der Deponieverordnung wird in Anhang 2 Kapitel 1 gefordert, dass die genutzten untertägigen Hohlräume mindestens für die Dauer der Ablagerungs- und Stilllegungsphase standsicher sind. In Abschnitt 2.1.4 wird u. a. gefordert für die Standsicherheit nachzuweisen, dass

- während und nach der Erstellung der Hohlräume keine Verformungen - weder im Hohlraum selbst noch an der Tagesoberfläche - zu erwarten sind, die die Funktionsfähigkeit des Bergwerkes beeinträchtigen können, und
- das Tragverhalten des Gebirges ausreicht, um Verbrüche von Hohlräumen zu verhindern, die die Langzeitsicherheit der Deponie beeinträchtigen können.

Als Zweck dieser Forderungen wird der dauerhafte Abschluss der Abfälle von der Biosphäre genannt.

Nach unserem Verständnis bezieht sich die Forderung der Deponieverordnung hier ausschließlich auf den Nachweis der globalen Standsicherheit (entsprechend Fußnote 12) und des Schutzes der Tagesoberfläche, aber nicht auf die Arbeitssicherheit untertage, die Gegenstand des NW (7) ist. Sofern die globale Standsicherheit des ERAM gewährleistet ist, lässt sich aus der Deponieverordnung kein Versagensgrund gegen die Anwendung der Beobachtungsmethode bei der Stilllegung des ERAM ableiten.

Verträglichkeit mit den Empfehlungen der DGEG

In den Empfehlungen der DGEG ist die Anwendung der Beobachtungsmethode oder einer vergleichbaren Vorgehensweise nicht vorgesehen. Es wird stattdessen analog zur Deponieverordnung gefordert, dass die (globale) Standsicherheit, der Schutz der Tagesoberfläche und die Langzeitsicherheit gewährleistet sind. Insoweit gilt das zur Deponieverordnung gesagte.

Zusätzlich ist jedoch [DGEG 93] Abschnitt 4.2 zu beachten. Danach ist ein Sicherheitsplan aufzustellen, der folgende Angaben enthält:



- Beschreibung möglicher Risiken und Definition der zu beachtenden Gefährdungsmöglichkeiten. Die Gefährdungsmöglichkeiten definieren die Grenzsituationen, die zu vermeiden sind. Als Beispiele werden genannt
 - lokale Bruchvorgänge,
 - Versagen von Pfeilern und Schweben,
 - Gebirgsschlag,
 - Gebirgsauflockerungen infolge großer Hohlraumkonvergenzen, die zur Gefährdung der Barrierewirkung des Gebirges führen, und
 - Verlust der Funktionalität von Verschlussbauwerken.
- Zusammenstellung der Gefährdungssituationen und möglichen Störfälle, für die Maßnahmen und/oder Nachweise erforderlich sind.
- Darlegung der Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung von Risiken.
- Darlegung möglicher Eingriffe aufgrund von Überwachungs- und Warnsystemen.
- Darlegung der Grenzen der übernehmbaren Restrisiken.
- Bewertung
 - des Systemversagens von Tragstrukturen,
 - der Langzeitintegrität der Barrierewirkung von Salzgebirge und Abschlussbauwerken,
 - der Dichtungsfunktion von Abschlussbauwerkenauf der Basis von Messungen und/oder Berechnungen.

Aus dem diesen Punkten wird deutlich, dass die DGEG Maßnahmen zur Überwachung und Vorsorge als Sicherheitselemente kennt. Nach unserem Verständnis sollen diese zusätzlich zu den Berechnungen und geotechnischen Analysen (SE 3) zur Anwendung kommen. Es wird unterstellt, dass die Berechnungen und geotechnischen Analysen eine ausreichende Sicherheit bzgl. (globaler) Standsicherheit, Schutz der Tagesoberfläche und Langzeitsicherheit ausweisen. Die SE 4 und 5 sollen ein bestehendes Restrisiko minimieren, das aufgrund von der bergbautypischen Unsicherheiten (geologische Unwägbarkeiten; Gültigkeit der bei den Berechnungen getroffenen Annahmen und Näherungen) unvermeidbar ist.

Weiterhin enthält [DGEG 93] in den Abschnitten 4.3 und 4.4 Angaben zum Umgang mit Beobachtungen und standortspezifischen sowie zur Aufgabe von Kontrollmessungen, die bei der Ausgestaltung der Sicherheitselemente 4 und 5 zu beachten sind.

Verträglichkeit mit SIA 260

In [G 216] wird nicht weiter erläutert, weshalb aus den aufgeführten Punkten a) bis e) folgt, dass im Fall des ERAM die Anwendbarkeit der Sicherheitselemente 4 und 5 zulässig ist. Wir gehen davon aus, dass hier zum Ausdruck gebracht werden soll, dass das Sicherheitselement 4 der grundsätzlichen Maßnahme c) und das Sicherheitselement 5 den grundsätzlichen Maßnahmen a) und b) entspricht, so dass die Anwendung der Sicherheitselemente 4 und 5 nicht im Widerspruch zur SIA



260 steht. Für die Prüfung der Anwendbarkeit der Beobachtungsmethode bzw. der Voraussetzungen für ihre Anwendung sind die Ausführungen nicht relevant, da die Normen des SIA in Deutschland keine Gültigkeit haben und die hier relevanten Aspekte der SIA 260 in den Empfehlungen der DGEG berücksichtigt sind (s. [DGEG 93] Abschnitt 4.2).

Verträglichkeit mit DIN ENV EN 1997-1 (Eurocode 7 – Teil 1)

Nach DIN ENV EN 1997-1 ist die Beobachtungsmethode ein zulässiges Verfahren bei der Bauwerksausführung in Fällen, in denen das Verhalten des Bauwerks bzw. des Untergrunds nicht sicher vorhergesagt werden kann. Hierbei wird der Bauwerksentwurf auf der Basis von baubegleitenden Messungen während der Bauausführung angepasst. Bei der Anwendung der Beobachtungsmethode müssen vor Beginn der Baumaßnahme folgende Forderungen erfüllt sein:

- Für das Bauwerkverhalten müssen zulässige Grenzwerte festgelegt werden.
- Die Bandbreite des möglichen Bauwerkverhaltens muss bewertet werden und es muss gezeigt werden, dass das Bauwerksverhalten mit annehmbarer Wahrscheinlichkeit innerhalb dieser Grenzen liegen.
- Ein Konzept für die Messungen muss geplant werden, mit denen erkannt werden kann, ob das wirkliche Verhalten innerhalb der Grenzen liegt. Die Reaktionszeiten der Messgeber und die Verfahren zur Ergebnisauswertung müssen ausreichend kurz im Vergleich zu möglichen Systemänderungen sein.
- Die Reaktionszeiten der Messgeräte und die Zeit für die erforderliche Auswertung müssen so kurz sein, dass ausreichende Zeit für Gegenmaßnahmen bleibt.
- Es muss ein Konzept mit den Gegenmaßnahmen geplant werden, die zur Anwendung kommen, wenn das Bauwerkverhalten außerhalb der Toleranzgrenzen liegt.

Die Beobachtungsmethode in der DIN ENV EN 1997-1 ist für den Sonderfall vorgesehen, dass „*die Vorhersage des geotechnischen Verhaltens schwierig ist*“ (Hervorhebung durch uns) bzw. eine **Vorhersage** des Baugrundverhaltens allein aufgrund von vorab durchgeführten Baugrunduntersuchungen und von rechnerischen Nachweisen **nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit möglich** ist. Sie ist für solche Fälle vorgesehen, in denen die erforderliche Standsicherheit des Bauwerks vermutet wird, aber z. B. aufgrund zu geringer Kenntnisse über den Untergrund nicht nachgewiesen werden kann (siehe die zweite Forderung). Im ERAM liegt dagegen der Fall vor, dass die Kenntnis über das Gebirge durchaus eine Vorhersage des geotechnischen Verhaltens der Grube ermöglicht. Allerdings weisen diese Berechnungen ein nicht standsicheres Tragverhalten auf. Zudem ist die Überschreitung der Standfestigkeit durch Messungen (Radarmessungen) und in situ Beobachtungen (Firstfall) lokal belegt. Dies ist ein durch die Beobachtungsmethode in der DIN ENV EN 1997-1 nicht erfasster Sonderfall.

Beim ERAM handelt es sich um ein bestehendes, als radioaktives Endlager genutztes Bergwerk. Stilllegungsmaßnahmen sind unabdingbar, um die verschiedenen Anforderungen an den Schutz von Mensch und Umwelt zu erfüllen. Grundsätzlich sollte der Aufenthalt von Personen nur in solchen Bereichen der Grube zulässig sein, für die die Standsicherheit nachgewiesen ist. Sollten die erforderlichen Stilllegungsarbeiten jedoch den Aufenthalt von Personen auch in solchen Grubenbereichen erforderlich machen, für die kein Nachweis der Standsicherheit vorliegt, und bestehen



hierzu unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit der Mittel keine Alternativen, dann ist u. E. ein Vorgehen in Anlehnung an die Beobachtungsmethode als Ausnahmefall zulässig. Allerdings sind hierbei an die Erfüllung der o. g. Forderungen der DIN ENV EN 1997-1 strenge Maßstäbe anzulegen, da – anders als bei der Beobachtungsmethode der DIN, wo die Standsicherheit wahrscheinlich, wenn auch nicht nachgewiesen ist – schon begründete Zweifel an der Standsicherheit bestehen.

Nach unserer Auffassung sind die Forderungen der DIN bei der Anwendung der Beobachtungsmethode wie folgt auf die Stilllegung des ERAM zu übertragen:

- (1) Als Voraussetzung für die Zulassung der Beobachtungsmethode ist der Nachweis zu erbringen, dass sich der Zustand in den zu überwachenden Grubenbauen so langsam verändert, dass potentiell Schaden verursachende Ereignisse mit einem ausreichenden zeitlichen Vorlauf erkannt werden können, so dass geeignete Vorsorgemaßnahmen möglich sind. Hierzu sind
 - die möglichen potentiell Schaden verursachende Ereignisse zu benennen („Gefahrenbilder“),
 - das Entstehen dieser Gefahrenbilder in seinem zeitlichen Verlauf zu analysieren und zu beschreiben,
 - die mittels Beobachtungen und Messungen zugänglichen (Zustands-)Größen zu benennen, die sich während der Entstehung dieser Gefahrenbilder verändern, und ihr zeitlicher Verlauf in Abhängigkeit von der Gefahrenentwicklung zu charakterisieren¹³,
 - die zugehörigen Beobachtungs- und Messmethoden zu benennen¹⁴,
 - die vorgesehenen Indikatoren zu benennen und die zu ihrer Ermittlung erforderliche Zeit anzugeben¹⁵ sowie
 - mögliche Vorsorgemaßnahmen zu benennen und die zu ihrer Umsetzung maximal erforderliche Zeit anzugeben¹⁶.
- (2) Bei Beginn der Stilllegungsarbeiten muss in allen zu überwachenden Grubenbauen das Beobachtungs- und Messsystem einsatzbereit sein und zeitnah den Zustand des jeweiligen Grubenbaus erfassen können. Dies bedeutet, dass zu diesem Zeitpunkt
 - der aktuelle Zustand des Grubenbaus erfasst sein muss, um für die Beobachtungen (z. B. auf Rissbildung) und Messungen (z. B. der Verformungen) einen Vergleichszustand zu haben,

¹³ Hier sollte dargelegt werden, dass sich die Zustandsgrößen schon in einem ausreichend frühen Stadium der Entwicklung so stark ändern, dass dies durch die Beobachtungen und Messungen sicher erkennbar ist.

¹⁴ Unter einer Beobachtungsmethode verstehen wir z. B. ein quartalsweise flächenhaftes Überprüfen auf sichtbare Risse, wobei vorgesehene Hilfsmittel (z. B. bei der Überprüfung der Firste hoher Abbaue) anzugeben sind und ihr Einsatz zu beschreiben ist.

¹⁵ Sofern die Auswertung der Messungen unter Einbeziehung aufwendiger Berechnungen erfolgt, ist dies hier anzugeben und zu berücksichtigen. Gleiches gilt, wenn der auslösende Indikator nicht nur auf dem (aktuellen) Wert einer Messgröße beruht, sondern auf der zeitlichen Entwicklung einer Messgröße aufbaut, so dass für diese Messgröße erst eine gewisse Zeitreihe vorhanden sein muss.

¹⁶ Hierbei sind erforderliche infrastrukturelle Vorbereitungen zu berücksichtigen.



- das Mess- und Auswerteprogramm für den Grubenbau vorliegen muss und
 - die Messgeräte installiert und kalibriert sein müssen.
- (3) Bei Beginn der Stilllegungsarbeiten muss für jeden der zu überwachenden Grubenbaue ein Vorsorgeplan vorliegen mit
- Angabe der bei dem jeweiligen Abbau bei Bedarf zu ergreifenden Vorsorgemaßnahmen,
 - Angabe der die Vorsorgemaßnahmen auslösenden Indikatoren und deren Grenzwerte¹⁷,
 - Planung¹⁸ der Vorsorgemaßnahmen (mit Zeitplan) und
 - Angabe der Verantwortlichkeiten und zeitlichen Vorgaben¹⁹.

Wir gehen davon aus, dass die Stilllegungsarbeiten zeitnah nach der Feststellung des Plans für die Stilllegung des ERAM beginnen werden. Auch für den Fall, dass zwischen der Planfeststellung und dem Beginn der Stilllegungsarbeiten noch ein längerer Zeitraum des Offenhaltungsbetriebs erfolgen sollte, müsste auch bei diesem die Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit der Grube gewährleistet sein. Oben führten wir aus, dass bei einer Anwendung der Beobachtungsmethode auf das ERAM bei der Erfüllung der Forderungen der DIN ENV EN 1997-1 strenge Maßstäbe angelegt werden sollten. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob nicht auch die unter (2) und (3) genannten Voraussetzungen schon vor der Zulassung zu erfüllen sind. Wir geben deshalb den Hinweis:

H 1: Mit der Bergbehörde sollte abgestimmt werden,

- **ob alle unter (1) bis (3) genannten Punkte als Voraussetzung für die Zulassung der Beobachtungsmethode vor der Planfeststellung gefordert werden, oder**
- **ob lediglich die unter (1) genannten Punkte als Voraussetzung für die Zulassung der Beobachtungsmethode vor der Planfeststellung gefordert werden und die unter (2) und (3) aufgeführten Punkte als Auflagen bis zu Beginn der Stilllegungsarbeiten erfüllt sein müssen.**

Eine wichtige Voraussetzung für die Übertragbarkeit der Beobachtungsmethode auf das ERAM ist, dass sich ein mögliches potentiell Schaden verursachendes Ereignis mit einem ausreichenden zeitlichen Vorlauf ankündigt. Dies wird in [G 216] vorausgesetzt mit den Begründungen,

- dass mittels der geotechnischen Berechnungen [P 215] und [P 243] gezeigt wurde, dass die globale Standsicherheit im ERAM längerfristig gegeben ist, und

¹⁷ Aus der Angabe muss eindeutig hervorgehen, welche Beobachtungen bzw. welche Messwerte welcher Messgeräte wie auszuwerten sind und wie hieraus die Werte der Indikatoren abzuleiten sind.

¹⁸ Die Planungen sollten so konkret sein, dass unmittelbar mit der Durchführung der Vorsorgemaßnahme begonnen werden kann. Alternativ ist auch ein gestuftes Vorgehen denkbar, wonach zu Beginn der Stilllegung lediglich eine Grobplanung vorliegt, die in Abhängigkeit von der zeitlichen Entwicklung der Indikatoren zunehmend verfeinert wird. Dies müsste aber als Voraussetzung für die Zulassung der Beobachtungsmethode dargelegt werden.

¹⁹ Zur Ermittlung der Indikatoren, zum Vergleich mit dem Grenzwert und zum Auslösen der Vorsorgemaßnahme.



- dass ein lokales Versagen in Tragelementen im ERAM nur durch Kriechbruch erfolgen kann, der allmählich verläuft und sich durch sich beschleunigendes „tertiäres“ Kriechen und Rissbildung ankündigt.

Der Begriff der globalen Standsicherheit wird in [G 216] und [P 218] nicht erläutert²⁰. Sofern die globale Standsicherheit lediglich eine Voraussetzung für die Arbeitssicherheit ist, ist der Nachweis der globalen Standsicherheit Teil der Nachweisführung zu NW (7). In diesem Fall sind die Kriterien für das Vorliegen globaler Standsicherheit zu ergänzen. Sofern die globale Standsicherheit auch unabhängig von der Arbeitssicherheit zu gewährleisten ist, z. B. um die in der LSA unterstellten Schutzmaßnahmen zu realisieren, sollte die globale Standsicherheit als eigenständiges NW formuliert werden. Wir empfehlen deshalb:

F 2: Das BfS sollte im Rahmen der Erfüllung der in [BS 11] formulierten Forderungen F 1 bis F 4 zur Präzisierung der Nachweiserfordernisse erläutern, ob und wenn ja wie der „globalen Standsicherheit“ Rechnung getragen werden soll.

Im Rahmen der Prüfung der Unterlagen [P 215] und [P 243] werden wir die erste Begründung überprüfen.

Auf die zweite Begründung gehen wir in Kapitel 8 ein.

²⁰ Eine entsprechende Forderung empfehlen wir in Abschnitt 8.2.



6. BEWERTUNG DER ANGABEN ZU SE 3 (BERECHNUNGEN UND GEOTECHNISCHE ANALYSE)

6.1. Angaben in [G 216]

6.1.1. Ableitung der Gefahrenbilder

In Abschnitt 3.2 von [G 216] wird die Vorgehensweise dargestellt, nach der für die verschiedenen Grubenbaue die rechnerische Standsicherheit festgestellt bzw. das Erfordernis der Schutzelemente 4 und 5 abgeleitet wird. Hierbei wird nach den Gefahrenbildern

- Löserfall
- Schwebenverbruch und
- Pfeilerversagen

sowie der außergewöhnlichen Situation²¹ „Auftreten erhöhter thermischer Lasten“ differenziert.

6.1.2. Rechnerische Analyse

Löserfälle können nach [G 216] grundsätzlich nicht auf der Basis von Berechnungen ausgeschlossen werden, so dass im Hinblick auf dieses Gefahrenbild stets Vorsorgemaßnahmen getroffen werden sollen.

Zur Bewertung der Schweben hinsichtlich des Gefahrenbilds „Schwebenverbruch“ werden in einem ersten Bewertungsschritt

- die berechneten Spannungsverhältnisse hinsichtlich Zugspannungsfestigkeit, Kurzzeitbruchfestigkeit und Dilatanz und
- die berechneten Verformungen hinsichtlich der Hauptverzerrung

bewertet. Es werden zusätzliche Untersuchungen (z. B. Sondierungen, Radarmessungen) im Hinblick auf die Anwesenheit von statisch relevanten Trennflächen durchgeführt. Diese werden in einem zweiten Bewertungsschritt zusammen mit der berechneten zeitlichen Entwicklung der Spannungsverhältnisse („Verbesserung“ oder „Verslechterung“) bewertet. Im Ergebnis wird die Notwendigkeit von Überwachungs- oder/und Vorsorgemaßnahmen abgeleitet (s. Abbildung 6-1).

Zur Bewertung der Pfeiler hinsichtlich des Gefahrenbilds „Pfeilerversagen“ werden i. w. die gleichen Bewertungen (und bei Bedarf zusätzlichen Untersuchungen) durchgeführt, nur dass hier die berechneten Spannungsverhältnisse im ersten Bewertungsschritt zusätzlich hinsichtlich der Druckfestigkeit bewertet werden (s. Abbildung 6-2).

²¹ Als „außergewöhnliche Situationen“ bezeichnet das BfS Zustände in der Grube, die durch die (rechnerischen) Sicherheitsbetrachtungen nicht abgedeckt werden und die deshalb zu vermeiden sind. Andernfalls könnte durch sie ein Löserfall, Schwebenverbruch oder Pfeilerversagen ausgelöst werden.

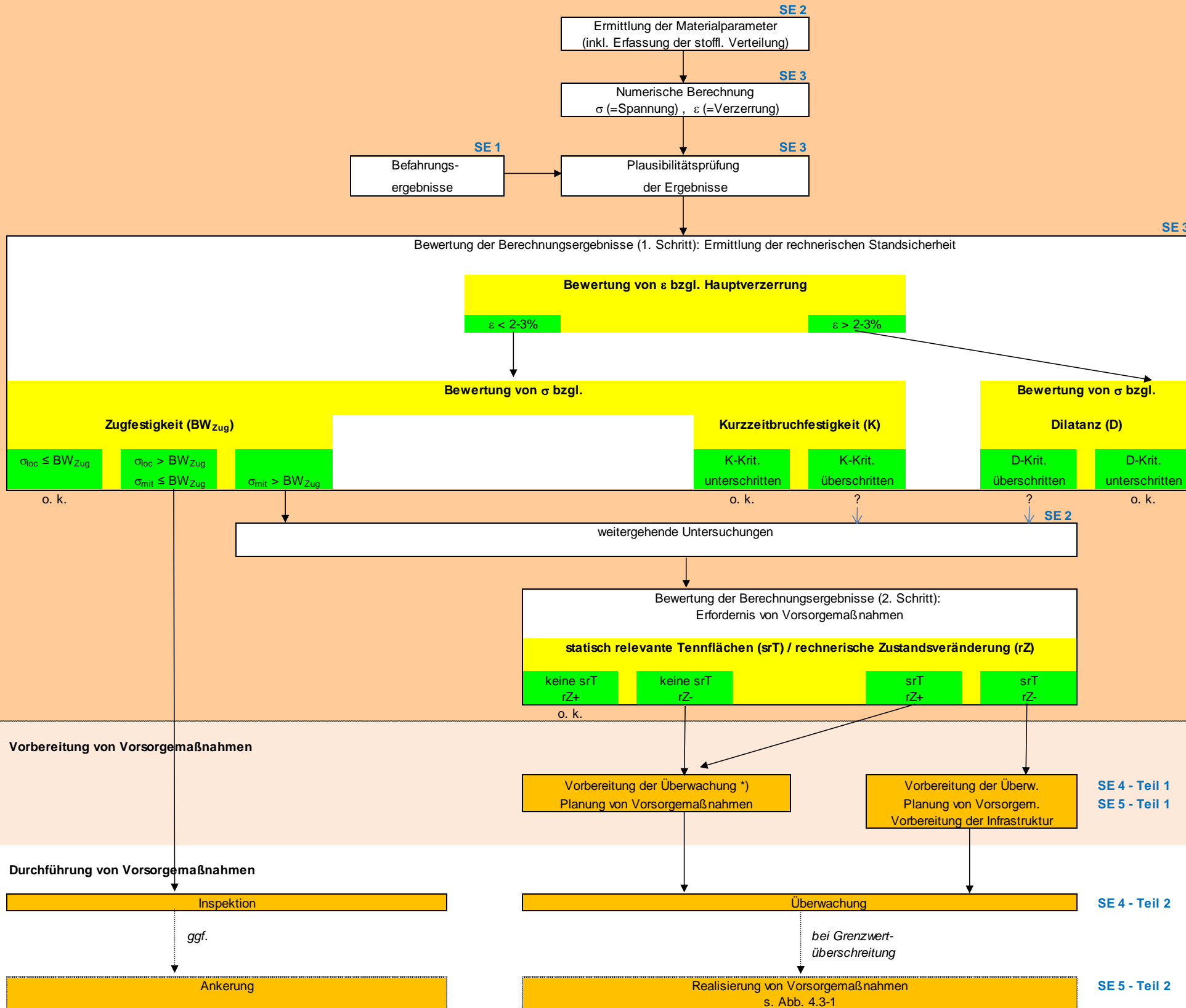


Abbildung 6-1:

Schema des Nachweises für die Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit der Schweben

(entsprechend [G 216] Kapitel 3.2)

SE n : Zuordnung zu den Sicherheitselementen (durch uns)

- ? Vorgehen nicht angegeben
- ↓ Vorgehen abgeleitet aus [P 218]

*) "Vorbereitung der Überwachung" beinhaltet:
 - Installation der Überwachungsgeräte
 - Durchführung eines vorlaufenden Messprogramms
 - Ableitung von Grenzwerten für die überwachten Parameter

σ_{loc} = lokale Spannung
 σ_{mit} = Spannung im Mittel
 BW = Bemessungswert
 rZ+ = rechnerische Zustandsverbesserung
 rZ- = rechnerische Zustandsverschlechterung

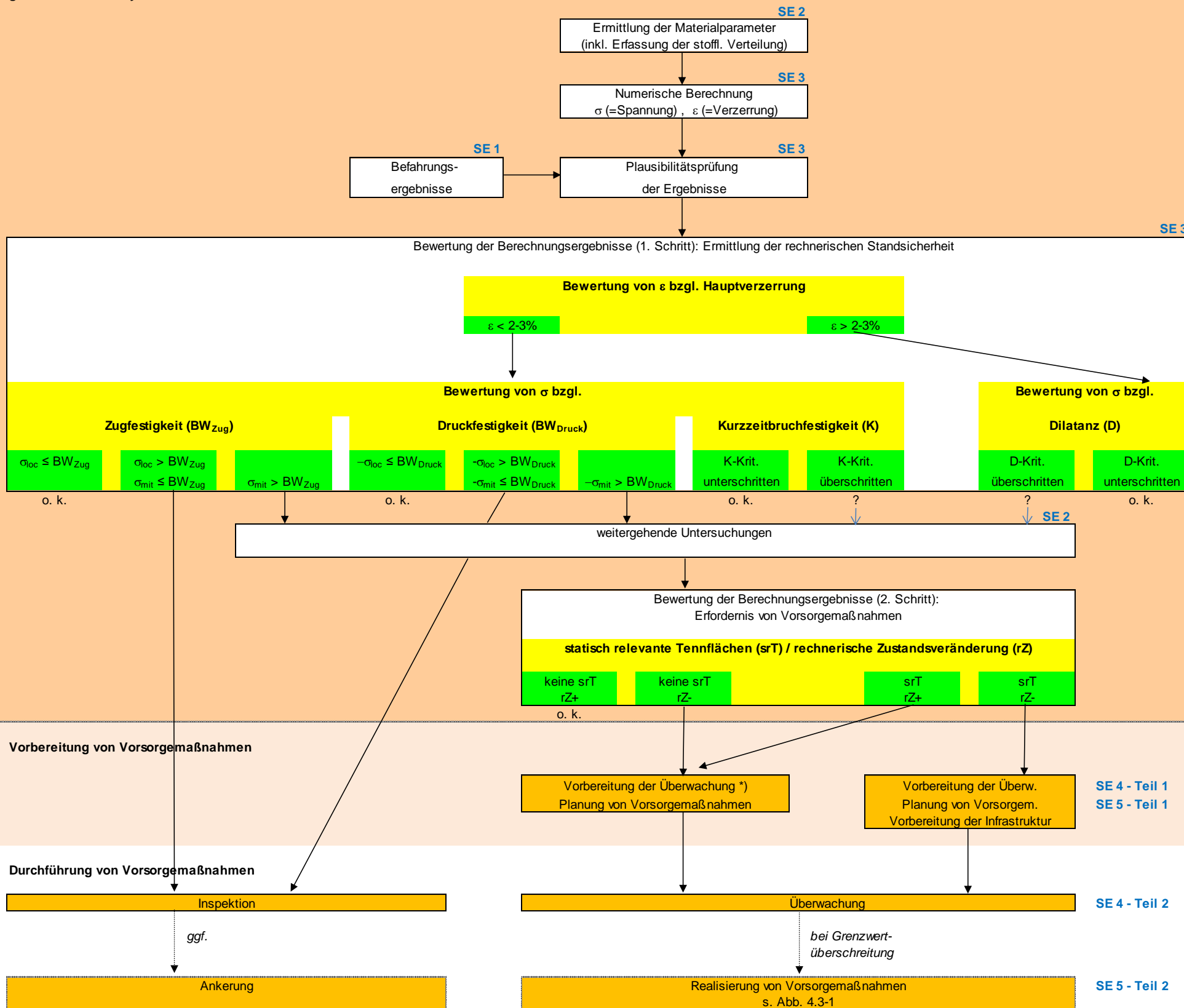
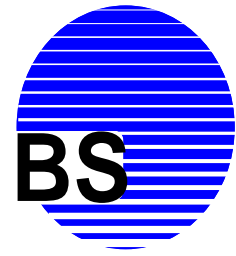


Abbildung 6-2:

Schema des Nachweises für die Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit der Pfeiler

(entsprechend [G 216] Kapitel 3.2)

SE n : Zuordnung zu den Sicherheitselementen (durch uns)

- ? Vorgehen nicht angegeben
- ↓ Vorgehen abgeleitet aus [P 218]

*) "Vorbereitung der Überwachung" beinhaltet:
 - Installation der Überwachungsgeräte
 - Durchführung eines vorlaufenden Messprogramms
 - Ableitung von Grenzwerten für die überwachten Parameter

σ_{loc} = lokale Spannung
 σ_{mit} = Spannung im Mittel
 BW = Bemessungswert
 rZ+ = rechnerische Zustandsverbesserung
 rZ- = rechnerische Zustandsverschlechterung

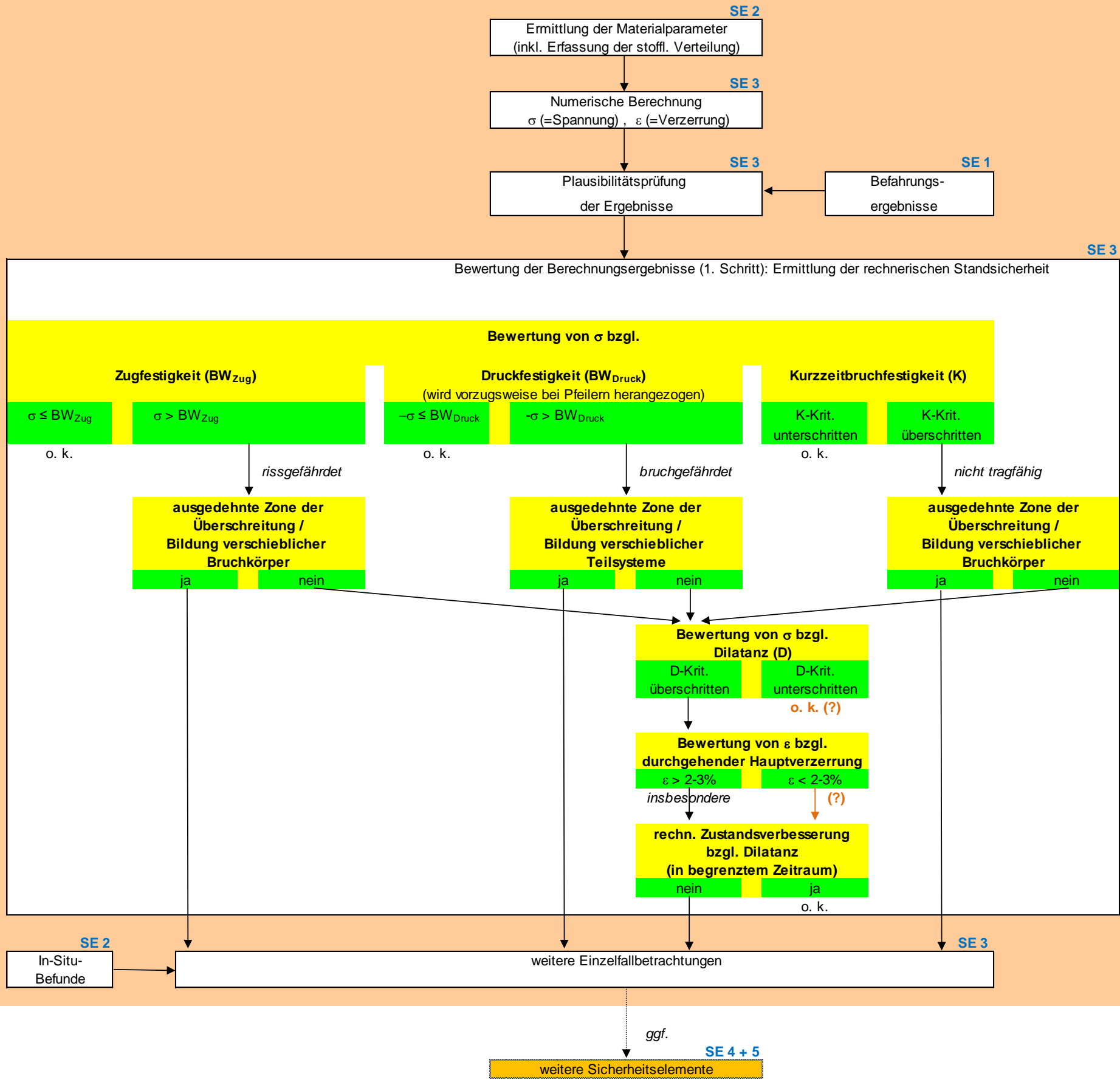
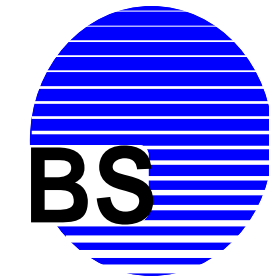


Abbildung 6-3:

Schema des Nachweises für die Arbeitssicherheit im Hinblick auf die Standsicherheit der Tragelemente (Schweben und Pfeiler) (entsprechend [P 218] Abschnitte 3.4.3 und 3.5)

SE n : Zuordnung zu den Sicherheitselementen (durch uns)

braun: von uns vermutet
BW = Bemessungswert



6.2. Bewertung

6.2.1. Ableitung der Gefahrenbilder

Bei den Gefahrenbildern werden

- die vertikalen Grubenbaue und insbesondere die Schächte und
- untertägige Bauwerke²² (insbesondere das in Lager H)

nicht berücksichtigt.

Weiterhin werden bei der Angabe und Analyse der Gefahrenbilder keine außergewöhnlichen Lastfälle (Erdbeben) berücksichtigt²³. Wir empfehlen deshalb:

F 3: Vom BfS sollte dargelegt werden, wie die vertikalen Grubenbaue und die untertägigen Bauwerke sowie außergewöhnliche Lastfälle im NW (7) bzw. den geotechnischen Nachweiserfordernissen berücksichtigt werden.

6.2.2. Rechnerische Analyse

Die Angaben zur Bewertung der Berechnungen und Analysen gehören nach der Methodik des BfS zum Sicherheitselement 3, das in der Unterlage [P 218] dargestellt wird. Dort wird ebenfalls eine Vorgehensweise zur Bewertung der Berechnungen im Hinblick auf die Standsicherheit der Tragelemente Schweben und Pfeiler angegeben (s Abbildung 6-3).

Die verbale Beschreibung der Bewertungsschemata für die Standsicherheit der Schweben und Pfeiler in [G 216] haben wir in den Abbildungen 6-1 und 6-2 graphisch dargestellt. Abweichend von [G 216] haben wir bei der Bewertung der Zugfestigkeit (und analog bei der Druckfestigkeit) nicht zwischen den Fällen *mittlere Spannung* (σ_{mit}) \leq *charakteristischer Wert* und *mittlere Spannung* (σ_{mit}) $>$ *charakteristischer Wert* unterschieden, da für beide Fälle in [G 216] die gleiche Konsequenz („*weitergehende Untersuchungen und genauere Betrachtungen sind erforderlich*“) angegeben ist.

Manche Angaben in den in [G 216] angegebenen Bewertungsschemata sind unklar:

- Das Kriterium für die Hauptverzerrung ist als Bandbreite angegeben (2 - 3 %) und damit nicht eindeutig. Es bleibt unklar, wie die Bewertung bei Hauptverzerrungen zwischen 2 % und 3 % erfolgen soll.
- In [G 216] wird – neben der lokalen Spannung – auch die Spannung im Mittel eines „repräsentativen Querschnitts“ zur Bewertung der Standsicherheit herangezogen. Es wird nicht angegeben, wie dieser repräsentative Querschnitt definiert ist bzw. nach welchen Kriterien er festgelegt wird.

²² Der Verlust der Funktionstüchtigkeit von Verschlussbauwerken wird in [DGEG 93] Abschnitt 4.2 als Beispiel für mögliche Gefahrenbilder benannt.

²³ Erdbeben werden in [DepV 09] Abschnitt 2.1.4 Nr. 6 als ein zu berücksichtigender Einflussfaktor benannt.



- In [G 216] wird nicht explizit angegeben, wie bei einer Überschreitung des Kurzzeitbruchfestigkeitskriteriums bzw. des Dilatanzkriteriums weiter verfahren wird. Aus dem Gesamtzusammenhang kann vermutet werden, dass in diesen Fällen weitergehende Untersuchungen vorgesehen sind. Dies entspricht auch dem in [P 218] angegebenen Bewertungsschema.
- Es ist unklar, weshalb in den Bewertungsschemata die Fallunterscheidung hinsichtlich der charakteristischen Werte für die Zug- bzw. die Druckfestigkeit erfolgt.
- Es wird nicht angegeben, wie „statisch relevante Trennflächen“ definiert sind und wie ihre Anwesenheit aus den in [G 216] erwähnten Sondierungen und Radarmessungen abgeleitet werden soll.

Die in [G 216] angegebenen Bewertungsschemata weichen von dem in [P 218] angegebenen Bewertungsschema an verschiedenen Stellen voneinander ab, wie folgende Beispiele zeigen:

- In [G 216] wird bei der Bewertung der berechneten Spannung zwischen der lokalen Spannung und einer Spannung im Mittel eines repräsentativen Querschnitts unterschieden (s. o.). In [P 218] erfolgt diese Differenzierung nicht.
- In [G 216] wird die Standsicherheit als nachgewiesen bewertet, wenn die berechnete Hauptverzerrung größer als 2 – 3 % ist und das Dilatanzkriterium eingehalten wird, unabhängig von der Zug-, Druck- und Kurzzeitbruchfestigkeit.

Nach [P 218] wird dagegen bei einer Überschreitung der Zug- oder Druckfestigkeit stets untersucht, ob verschiebliche Bruchkörper bestehen und es kann in Abhängigkeit der Untersuchungsergebnisse zu weiteren Maßnahmen kommen.

- In [P 218] wird die Standsicherheit als nachgewiesen bewertet, wenn die berechneten Spannungen das Zug-, das Druck- und das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium einhalten, unabhängig von der Verzerrung und der Dilatanz.

In [G 216] führt dagegen eine große Hauptverzerrung und eine Verletzung des Dilatanzkriteriums zur Einschätzung fehlender rechnerischer Standsicherheit (auch bei Einhaltung der drei zuvor genannten Kriterien) und es werden weitere Untersuchungen erforderlich.

Bezüglich der Bewertung der einzelnen Kriterien verweisen wir auf unsere Bewertung der Unterlage [P 218]. Da die in [BS 11] identifizierten Schwächen in dem in [P 218] angegebenen Bewertungsschema zur Bewertung der Standsicherheit durch die Ausführungen in [G 216] nicht behoben werden und zudem zwischen beiden Unterlagen Widersprüche bestehen, bekräftigen wir unsere in [BS 11] aufgestellte Forderung 16²⁴.

²⁴ „Die Anwendung bzw. die Interpretation der Kriterien im Rahmen der Nachweisführung zur Arbeitssicherheit sollten präzisiert werden.“



7. BEWERTUNG DER ANGABEN ZU SE 4 (SYSTEMATISCHE BEOB- ACHTUNGEN UND MESSUNGEN)

7.1. Angaben in [G 216]

Das Sicherheitselement 4 sieht systematische Beobachtungen und Messungen zur Überwachung von Tragelementen (Schweben und Pfeilern) mit fehlender rechnerischer Standsicherheit vor. Überschreiten die überwachten Größen gewisse Grenzwerte bzw. Signalwerte²⁵, werden Vorsorge-maßnahmen ausgelöst. Nach [G 216] Abschnitt 2.2 sind **Verformungen** (bzw. deren zeitliche Ableitungen) und **Temperaturen** als überwachte Größen vorgesehen. Spannungen seien als überwachte Größen ungeeignet, da Spannungsmessungen eine zu geringe Aussagegenauigkeit hätten.

Nach [G 216] Kapitel 4 erfolgen die Überwachungsmessungen in folgenden Zusammenhängen (s. Kapitel 8 des vorliegenden Gutachtens):

- Nach Durchführung der Vorsorgemaßnahme „Ankerung“ wird die Vorformung von Schweben zum Schutz vor Schwebenverbruch überwacht. Kommt es zu einer Grenzwertüberschreitung, wird der unter der Schwebeliege liegende Abbau abgesperrt.
- Nach Durchführung der Vorsorgemaßnahme „Ankerung“ wird die Vorformung von Pfeilern zum Schutz vor Pfeilerversagen überwacht. Kommt es zu einer Grenzwertüberschreitung, werden die an den Pfeiler angrenzenden Abbaue verfüllt und es wird bei Bedarf eine Umfahrung der Abbaue aufgefahren.
- Während der Verfüllung von Abbaue wird die Temperatur „an exponierten Punkten“ zur Vermeidung erhöhter thermischer Lasten überwacht. Kommt es zu einer Signalwertüberschreitung, wird der Verfüllvorgang unterbrochen.

Die übrigen Vorsorgemaßnahmen werden unabhängig von Überwachungsmessungen durchgeführt (auf der Basis der Berechnungen und Analysen im Rahmen des Sicherheitselements 3).

Im Vorfeld der Überwachung müssen für die überwachten Größen die (i. A. standortabhängigen) Grenzwerte abgeleitet werden. Hierzu ist es erforderlich, eine Grenze für die überwachte Größe abzuleiten, unterhalb der die Gefahr (Schwebenverbruch oder Pfeilerversagen) bzw. die außergewöhnliche Situation (Auftreten erhöhter thermischer Lasten) ausgeschlossen werden kann. Die Ableitung der Grenzwerte erfolgt auf der Grundlage von Messungen und kalibrierten Berechnungen. In [G 216] Abschnitt 3.3 heißt es hierzu: „Das Einsetzen von Sicherheitsmaßnahmen muss an Hand von Signal- bzw. Grenzwerten festgelegt werden. Um diese Werte beurteilen zu können, muss das ... wahrscheinliche Verhalten auf der Basis von Messungen und Berechnungen im Vorfeld prognostiziert werden. Um diese Daten zu erhalten, ist ein Messprogramm vorzusehen.“

²⁵ Im Zusammenhang mit Verformungen (zur Überwachung hinsichtlich der Gefahrenbilder Schwebenverbruch und Pfeilerversagen) wird in [G 216] von Grenzwerten, im Zusammenhang mit Temperatur (zur Überwachung hinsichtlich der außergewöhnlichen Situation „Auftreten erhöhter thermischer Lasten“) von Signalwerten gesprochen.



In [G 216] Abschnitt 4.2 wird im Zusammenhang mit den Angaben zu den erforderlichen Zeiten für die Durchführung von Vorsorgemaßnahmen (s. Kapitel 8 dieses Gutachtens) darauf hingewiesen, dass man zum Erkennen der tertiären Kriechphase (als Auslöser von Vorsorgemaßnahmen) ein Überwachungsprogramm mit einem zeitlichen Vorlauf von 2 Jahren benötigt.

Das Ableiten der Grenzwerte ist nicht Gegenstand von [G 216]. In Abschnitt 2.2 der Unterlage wird angegeben: „Die Ableitung der Grenzwerte kann erst zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen werden, wenn vorlaufende Untersuchungen (Messungen, Kalibrierung der Berechnungen) abgeschlossen sind.“

7.2. Bewertung

Im Rahmen der Nachweisführung zu NW (7) sieht das BfS in verschiedenen Zusammenhängen Messungen vor:

- (1) Messungen im Rahmen der Wirtsgesteinsuntersuchung zur Ermittlung der Daten für die Berechnungen (SE 2)
- (2) „Weitergehende Untersuchungen“ im Rahmen der Bewertung der Ergebnisse der rechnerischen Ermittlung der Sicherheit (z. B. Radarmessungen) (zu SE 3)
- (3a) Messungen im Rahmen der Ermittlung der Grenzwerte für die überwachten Größen (SE 4 Teil 1)
- (3b) Verformungs- bzw. Konvergenzmessungen über einen Zeitraum von 2 Jahren als Grundlage, um das Auftreten tertiären Kriechens erkennen zu können (SE 4 Teil 1)
- (4) Verformungs- und Temperaturmessungen im Rahmen der Überwachung (SE 4 Teil 2).

Wir gehen davon aus, dass die unter (3b) aufgeführten Messungen Teil der Messungen zu (3a) sind.

Die in Abschnitt 7.1 wiedergegebenen Angaben aus [G 216] betreffen die Punkte (3a) inkl. (3b) und (4), wobei zu den Punkten (3a) und (3b) lediglich angegeben wird, dass die entsprechenden Messungen zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden sollen. Wir empfehlen deshalb:

F 4: Vom BfS sollten angegeben werden, wann die angekündigten Messungen zur Ermittlung der Grenzwerte für die überwachten Größen und zur Ermittlung der aktuellen Verformungs- bzw. Konvergenzraten durchgeführt werden und die entsprechenden Dokumentationen vorliegen.

Hierbei sollte vom BfS geprüft werden, ob bzw. inwieweit die Erfahrungen aus der bGZ für eine frühzeitige Festlegung der Grenzwerte herangezogen werden können.

Diese Dokumentationen sind vorzulegen. Zeitpunkt und Adressat der Vorlage sind im Ergebnis von H 1 festzulegen.

In Abschnitt 5.2 führten wir aus, dass es im Rahmen des Sicherheitsnachweises zu NW (7) u. a. erforderlich ist,

- die mittels Beobachtungen und Messungen zugänglichen (Zustands-)Größen zu benennen, die sich während der Entstehung der Gefahrenbilder verändern, und hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufs zu charakterisieren,



- die zugehörigen Beobachtungs- und Messmethoden zu benennen²⁶ sowie
- die vorgesehenen Indikatoren zu benennen und die zu ihrer Ermittlung erforderliche Zeit anzugeben²⁷.

Die Angaben in [G 216] beschränken sich auf die Benennung der Messgrößen „Verformung“ und „Temperatur“ und der Indikatoren „zeitliche Ableitung der Verformung“ und „Temperatur“. Da keine Angaben zum Gegenstand und zur möglichen Auswertung von Beobachtungen gemacht werden, gehen wir davon aus, dass das BfS im Rahmen des Sicherheitselements 4 keine Beobachtungen (z. B. zur Rissbildung) vorsieht. Dies steht jedoch im Widerspruch zu den Ausführungen in [G 216] Abschnitt 2.1, wo die Anwendbarkeit der Beobachtungsmethode damit begründet wurde, dass Rissbildung rechtzeitig beobachtet werden könnte (s. Abschnitt 5.1 in diesem Gutachten). Vom BfS sollte deshalb explizit angegeben werden, ob und wenn ja welche Beobachtungen im Rahmen des Sicherheitselements 4 vorgesehen sind.

Temperatur und Verformung sind grundsätzlich für eine Überwachung geeignete Größen. Die Angaben zu den Messgrößen und Indikatoren sind jedoch unspezifisch. Es wird nicht angegeben, welche konkreten Messgrößen und Messmethoden zur Bestimmung der Verformung (Konvergenzmessung? Extensiomermessung?) und der Temperatur zum Einsatz kommen sollen. Zudem ist unklar, in welchem Medium die Temperatur ermittelt werden soll (Versatz? Gebirge? Wetter?). Es wird nicht präzise angegeben, welche Indikatoren zur Anwendung kommen und begrenzt werden sollen (Konvergenzraten? zeitliche Ableitung der Extensometermessungen?). Die Angaben in [G 216] sind diesbezüglich zu vervollständigen.

Wir kommen deshalb zu der Empfehlung:

F 5: Vom BfS sollten die Angaben zu den durch Beobachtungen und Messungen überwachten Größen, zu den vorgesehenen Beobachtungs- und Messmethoden und zu den vorgesehenen Indikatoren konkretisiert werden.

Weiterhin müssen spätestens bei Beginn der Stilllegungsarbeiten (ggf. auch schon vor der Planfeststellung, s. H 1)

- der aktuelle Zustand des Grubenbaus erfasst sein, um für die Beobachtungen und Messungen einen Vergleichszustand zu haben²⁸,
- das Mess- und Auswerteprogramm für den Grubenbau vorliegen und
- die Messgeräte installiert und kalibriert sein.

²⁶ Unter einer Beobachtungsmethode verstehen wir z. B. ein quartalsweise flächenhaftes Überprüfen auf sichtbare Risse, wobei vorgesehene Hilfsmittel (z. B. bei der Überprüfung der Firste hoher Abbaue) anzugeben sind und ihr Einsatz zu beschreiben ist.

²⁷ Sofern die Auswertung der Messungen unter Einbeziehung aufwendiger Berechnungen erfolgt, ist dies hier anzugeben und zu berücksichtigen. Gleiches gilt, wenn der auslösende Indikator nicht nur auf dem (aktuellen) Wert einer Messgröße beruht, sondern auf der zeitlichen Entwicklung einer Messgröße aufbaut, so dass erst eine gewisse Zeitreihe für diese Messgröße vorhanden sein muss.

²⁸ Dies beinhaltet die in F 4 angesprochene Ermittlung der aktuellen Verformungs- bzw. Konvergenzraten.



Brenk
Systemplanung

Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich
technischen Umweltschutz

Hierzu sind entsprechende Dokumentationen vorzulegen. Zeitpunkt und Adressat der Vorlage sind im Ergebnis von H 1 festzulegen.



8. BEWERTUNG DER ANGABEN ZU SE 5 (KATALOG DER GEGEN- MAßNAHMEN)

8.1. Angaben in [G 216]

8.1.1. Vorsorgemaßnahmen

In [G 216] wird bei der Angabe möglicher Vorsorgemaßnahmen nach den Gefahrenbildern „Löserfall/kleiner Firstfall“, „Schwebenverbruch/großer Firstfall“ und „Pfeilerversagen/-verbruch“ differenziert.

Vorsorgemaßnahmen für das Gefahrenbild „Löserfall/kleiner Firstfall“:

Für das Gefahrenbild „Löserfall/kleiner Firstfall“ werden die folgenden Vorsorgemaßnahmen aufgeführt:

- Während der Verfüllung darüber liegender Abbaue

Sperrung (grundsätzlich, unabhängig von Berechnungen und Messungen).

- Nach der Verfüllung darüber liegender Abbaue

- falls der Grubenbau nicht mehr genutzt werden soll

Abwerfen

- falls der Grubenbau noch genutzt werden soll

Sperren, bis der Beton eine ausreichende Festigkeit aufweist (maximale Dauer 1 Monat), dann

- falls Temperaturänderung > normale Temperaturschwankung²⁹

bergbauübliche Sicherheitsmaßnahmen wie Inspektion und Beraubung **in definierten Zeitabständen**

- falls Temperaturänderung ≤ normale Temperaturschwankung

normale bergbauübliche Sicherheitsmaßnahmen.

Vorsorgemaßnahmen für das Gefahrenbild „Schwebenverbruch/großer Firstfall“:

Für das Gefahrenbild „Schwebenverbruch/großer Firstfall“ werden verschiedene Vorsorgemaßnahmen zur Gewährleistung der „Sicherheit der Bauzustände [...] in Abbauen, die unter Abbauen liegen, die gerade verfüllt werden“, aufgeführt. Welche dieser Maßnahmen durchgeführt wird, ist davon abhängig, ob der (untere) Grubenbau noch genutzt werden soll bzw. ob das mögliche Bruchereignis zu Folgeversagen führen kann:

²⁹ In [G 216] werden als Vergleichsgrößen „wetterbedingte jährliche Temperaturschwankungen“ entsprechend [P 218] und „Temperaturerhöhungen im Rahmen normaler bergmännischer Arbeiten“ aufgeführt, die wir hier als „normale Temperaturschwankungen“ zusammenfassen.



- Falls ein Folgeversagen nicht ausgeschlossen werden kann
Verfüllen des (unten liegenden) Abbaus³⁰, ggf. Umfahrung des Abbaus³¹
- falls ein Folgeversagen ausgeschlossen werden kann
 - falls der (unten liegende) Grubenbau nicht mehr genutzt werden soll
dauerhaftes Sperren³²,
 - falls der (unten liegende) Grubenbau weiter genutzt werden soll
Ankerung der Schweben (des unten liegenden Grubenbaus) vor der Verfüllung des darüber liegenden Abbaus³³, dann
messtechnische Überwachung der Verformung der Schweben
 - falls die Überwachung ein Bruchereignis ankündigt: **dauerhaftes Sperren**

Aufgrund ihres dauerhaften Charakters wirken die Vorsorgemaßnahmen „Verfüllen“ und „dauerhaftes Sperren“ in der Phase nach der Verfüllung des oberen Abbaus fort. Auch wenn dies in [G 216] nicht explizit angegeben wird, gehen wir davon aus, dass die „messtechnische Überwachung“ nach der Verfüllung des oberen Abbaus fortgesetzt wird (bis zur Aufgabe des unteren Grubenbaus).

Vorsorgemaßnahmen für das Gefahrenbild „Pfeilerversagen/-verbruch“:

Für das Gefahrenbild „Pfeilerversagen/-verbruch“ werden unabhängig von der Verfüllung anderer Grubenbaue (also für den gesamten Zeitraum der Stilllegungsarbeiten) verschiedene Vorsorgemaßnahmen aufgeführt. Welche dieser Maßnahmen durchgeführt wird, ist davon abhängig, ob die an den Pfeiler angrenzenden Grubenbaue noch genutzt werden sollen:

- Falls ein an den Pfeiler angrenzender Grubenbau nicht mehr genutzt werden soll
Verfüllen
- falls ein an den Pfeiler angrenzender Grubenbau weiter genutzt werden soll
 - Option 1
Teilverfüllen („Einbettung des Pfeilers“)

³⁰ Wir verstehen dies als „Verfüllen des unten liegenden Abbaus vor dem darüber liegenden Abbau“

³¹ Diese Maßnahme stellt u. E. keine eigenständige Vorsorgemaßnahme dar. Die Vorsorgemaßnahme ist das Sperren bzw. Verfüllen des unten liegenden Abbaus. Das Umfahren stellt eine in der Folge erforderliche Infrastrukturmaßnahme dar.

³² In [G 216] wird „dauerhaftes Sperren, ggf. qualifiziertes Verschließen der Abbauzugänge oder weiträumiges Absperren“ angegeben.

³³ In [G 216] heißt es „... vor Verfüllung des Abbaus“. Wir gehen davon aus, dass hier der darüber liegende Abbau gemeint ist.



- Option 2

Ankerung

messtechnische Überwachung der Verformung des Pfeilers

- falls die Überwachung ein Bruchereignis ankündigt: **Verfüllen**, ggf. Umfahrung des Abbaus

Weiterhin wird das temporäre Sperren als mögliche Vorsorgemaßnahme während der Durchführung von Verfüllvorgängen in angrenzenden Abbauen erwähnt, ohne dass dies jedoch verbindlich wäre.

Vorsorgemaßnahmen für die außergewöhnliche Situation „Auftreten erhöhter thermischer Lasten“

Als Vorsorgemaßnahme zur Vermeidung erhöhter thermischer Lasten wird die **Unterbrechung des Verfüllvorgangs** im betroffenen Abbau angegeben. Sie wird ausgelöst, wenn im Rahmen der **messtechnischen Überwachung** der Temperatur „an exponierten Punkten“ der Temperatursignalwert überschritten wird

8.1.2. Zur Verfügung stehende und erforderliche Zeit

Bei der Abschätzung der für die Realisierung der Vorsorgemaßnahmen zur Verfügung stehenden Zeit geht das BfS davon aus, dass sowohl ein Versagen der Schweben als auch der Pfeiler in der Folge eines Kriechbruchs erfolgen würde. Bevor es zum Kriechbruch kommt, erfolgt erst eine Phase mit sich beschleunigenden Verformungsvorgängen („tertiäre Kriechphase“³⁴).

In [G 216] wird davon ausgegangen, dass ein Firstfall im ERAM bei vorheriger in-situ Erkundung und messtechnischer Überwachung ein bis zwei Jahre im Voraus erkannt werden kann. Begründet wird dies mit Beobachtungen und Messungen in der Wipp-site im Vorfeld eines Firstfalls³⁵ [DoE 93]. Diese Zeit stehe für die Durchführung der Vorsorgemaßnahmen zur Verfügung. Es wird allerdings darauf hin-gewiesen, dass es durch die Verfüllung des ERAM zu einer Erhöhung von Temperatur und Feuchtigkeit in der Grube kommt, was die Bedingungen für die Kriechbewegungen verändert. Empirische Daten hinsichtlich der unter diesen Bedingungen zur Verfügung stehenden Vorwarnzeit werden im Rahmen der bGZ gewonnen. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die Messungen zur Überwachung der Konvergenz einen zeitlichen Vorlauf von 2 Jahren haben müssen, um das Auftreten tertiären Kriechens erkennen zu können.

Die Zeitspanne, die bei Pfeilern zwischen Einsetzen von tertiärem Kriechen und Versagen vergeht und damit als Vorwarnzeit zur Verfügung steht, kann nach [G 216] aus dem Zustand des Pfeilers des Rollochsystems 9 im Südfeld abgeleitet werden. Dieser weist erhebliche Schalenbildungen und

³⁴ Als primäre Kriechphase bezeichnet man die Phase nach einer abrupten Änderung des Spannungszustands (z. B. in der Folge einer Auffahrung), in der zunächst vergleichsweise schnelle und sich dann verlangsamende Kriechbewegungen auftreten. In der sekundären Kriechphase ist die Verformungsrate konstant. In der Folge zunehmender Gefügeschäden bei länger anhaltender dilatanter Verformung kommt es schließlich zur tertiären Kriechphase mit sich beschleunigenden Verformungen.

³⁵ Am 04.02.1991 erfolgte in einem 1983 versuchsweise aufgefahrenen Abbau der WIPP-site (Room 1) ein Firstfall von 700 t Salzgestein. Der Firstfall kündigte sich durch Rissbildung (beginnend zwei Jahre nach Auffahrung) und später auch erhöhten Verformungsraten an. Wenige Meter über der Firne befand sich eine Tonlage, deren Grenze zum Salzgestein sich als geologische Schwachstelle herausstellte.



Risse im Pfeilerkern auf. „Die meisten Pfeiler im Grubengebäude sind eher geringer belastet als im Südfeld Bartensleben, so dass davon auszugehen ist, dass noch ein ausreichender Zeitraum zur Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen zur Verfügung steht, wenn tertiäres Kriechen und Rissbildung einsetzen.“

Zu den für die Realisierung der Vorsorgemaßnahmen erforderlichen Zeiten wird in [G 216] angegeben:

- „Die genaue Zeit für das Erstellen einer qualifizierten **Abmauerung** (Verschluss) einzelner Abbaue muss noch im Rahmen der Planung der Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen ermittelt werden, aber es kann bereits abgeschätzt werden, dass die benötigte Zeit für die Abmauerung geringer ist als die zur Verfügung stehende Zeit.“
- Für eine **Verfüllung** unten liegender Abbaue muss mit einigen Monaten Verfülldauer gerechnet werden. „In Abhängigkeit vom Grad der Vorbereitung der Infrastruktur ist die Umsetzung dieser Vorsorgemaßnahme realisierbar.“
- In hohen Abbauen kann bei Einsatz einer Hubbühne mit einer **Ankerleistung** von 20 m² je Schicht gerechnet werden, so dass hierzu ausreichend Zeit zur Verfügung steht.
- Eine **Umfahrung** von Abbauen kann innerhalb von Wochen vorgenommen werden, wenn eine entsprechende infrastrukturelle Vorbereitung vorliegt.

8.1.3. Planung der Vorsorgemaßnahmen

Nach Kapitel 1 von [G 216] soll eine detaillierte Planung der Vorsorgemaßnahmen erfolgen, „wenn die hierfür benötigten Daten, z. B. aus einem geplanten vorauslaufenden Messprogramm vorliegen“.

In Kapitel 5 von [G 216] wird darauf hingewiesen, dass sich bei einer Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen Einschränkungen bezüglich

- Transportwege,
- Fluchtwege und
- Wetterführung

ergeben können. Dies werde bei den Planungen zur Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen berücksichtigt.

8.2. Bewertung

In Abschnitt 5.2 führten wir aus, dass es bei Anwendung der Beobachtungsmethode im Rahmen des Nachweises zu NW (7) u. a. erforderlich ist,

- die möglichen potentiell Schaden verursachenden Ereignisse zu benennen („Gefahrenbilder“),
- das Entstehen dieser Gefahrenbilder in seinem zeitlichen Verlauf zu analysieren und zu beschreiben sowie



- mögliche Vorsorgemaßnahmen zu benennen und die zu ihrer Umsetzung maximal erforderliche Zeit anzugeben.

Weiterhin muss spätestens bei Beginn der Stilllegungsarbeiten (ggf. auch schon vor der Planfeststellung, s. H 1) für jeden der zu überwachenden Grubenbaue ein Vorsorgeplan vorliegen.

Die Angaben zur Benennung der Gefahrenbilder wurden in Kapitel 6 dieses Gutachtens wiedergegeben und bewertet. Die Bewertung der Angaben zu den Vorsorgemaßnahmen erfolgt in Abschnitt 8.2.1. Die Bewertung der Angaben zum zeitlichen Verlauf der Entstehung der Gefahrenbilder und vergleichend damit zur maximal erforderlichen Zeit für die Durchführung der Vorsorgemaßnahmen erfolgt in Abschnitt 8.2.2. In Abschnitt 8.2.3 bewerten wir die Angaben zur Planung der Vorsorgemaßnahmen.

8.2.1. Vorsorgemaßnahmen

Entsprechend [P 220] soll die Grube grundsätzlich „von unten nach oben“ verfüllt werden. Der in [G 216] berücksichtigte Fall, dass ein Abbau erst nach dem darüber liegenden Abbau verfüllt wird, stellt demnach die Ausnahme da. Für den Normalfall, dass ein Grubenbau vor dem darüber liegenden Abbau verfüllt wird, sieht das Konzept bzgl. der Gefahrenbilder „Löser“ und „Schwebenbruch/ großer Firstfall“ keine Vorsorge- oder Schutzmaßnahmen vor. Dies gilt auch für die Fälle, in denen die in Kapitel 6 beschriebenen Bewertungsschemata bzgl. des Gefahrenbilds „Schwebenbruch“ statisch relevante Trennflächen bzw. verschiebliche Bruchkörper anzeigen. Diesem Vorgehen stimmen wir nicht zu und empfehlen:

F 6: Vom BfS ist darzulegen, wie die Arbeitssicherheit bzgl. der Gefahrenbilder „Löser“ und „Schwebenbruch/großer Firstfall“ für den Zeitraum vor der Verfüllung des darüber liegenden Abbaus gewährleistet wird.

Die Angaben zu den Vorsorgemaßnahmen bzgl. des Gefahrenbilds „Löserfall“ sind in folgenden Punkten unvollständig:

- Es wird nicht angegeben, wie die „ausreichende Festigkeit“ des Betons festgestellt werden soll. Dies ist erforderlich, da die angegebene maximale Dauer von 1 Monat nicht als verbindliche Zeitvorgabe formuliert ist.
- Es fehlt eine Definition der Begriffe „bergbauübliche Sicherheitsmaßnahmen“ und „normale bergbauübliche Sicherheitsmaßnahmen“, z. B. durch Verweis auf betriebliche Vorschriften.
- Der Begriff „definierte Zeitabstände“ wird nicht definiert und es wird nicht angegeben, wer diese „definierten Zeitabstände“ festlegt und wo sie festgeschrieben werden.
- Die Angaben zur Anwendung des Temperaturkriteriums sind unvollständig:
 - Es wird nicht angegeben, auf welches Zeitintervall bzw. gegenüber welchem Ausgangswert sich die „Temperaturänderung“ bezieht.
 - Es wird nicht angegeben, wie die „Temperaturänderung“ ermittelt werden soll.
 - Es wird nicht angegeben, auf welche Stelle im verfüllten Abbau, im Gebirge oder in der offenen Grube sich die Größen „Temperaturänderung“, „wetterbedingte jährliche Tem-



peraturschwankungen“ und „Temperaturerhöhung im Rahmen normaler bergmännischer Arbeiten“ beziehen.

- Um die Überprüfung der Bedingung für die Temperaturänderung durchführen zu können ist ein Zahlenwert (für die normale Temperaturschwankung) erforderlich. Dieser wird nicht angegeben. Es ist nicht erkennbar, ob dieser Zahlenwert vom Grubenfeld abhängt³⁶.

Die Angaben zu den Vorsorgemaßnahmen bzgl. des Gefahrenbilds „Schwebenbruch/großer Firstfall“ sind in folgendem Punkt unklar bzw. unvollständig:

- Es wird nicht angegeben, wie die Gefahr eines Folgeversagens ermittelt wird. In diesem Zusammenhang weisen wir darauf hin, dass in [G 216] Abschnitt 2.1 angegeben wird, dass die globale Standsicherheit durch die geotechnischen Berechnungen [P 215] und [P 243] nachgewiesen worden sei, ohne anzugeben, wie die globale Standsicherheit ermittelt wird. Vom BfS sollten die Begriffe „Folgeversagen“ und „globale Standsicherheit“ definiert werden.

Weiterhin sollte klargestellt werden, dass die Vorsorgemaßnahmen auch für den Zeitraum nach der Verfüllung des darüber liegenden Abbaus gelten.

Die Angaben zu den Vorsorgemaßnahmen bzgl. des Gefahrenbilds „Pfeilerversagen/-verbruch“ sind in folgenden Punkten unvollständig:

- Es wird nicht angegeben, wie der Umfang der Teilverfüllung festgelegt wird und wie sichergestellt wird, dass dieser Umfang ausreichend ist, so dass auf eine messtechnische Überwachung verzichtet werden kann.

Wir empfehlen deshalb:

F 7: Vom BfS sollten die Angaben zu den Vorsorgemaßnahmen bzgl. der Gefahrenbilder „Löserfall“, „Schwebenbruch/großer Firstfall“ und „Pfeilerversagen/-verbruch“ vervollständigt werden.

F 8: Vom BfS sollten die Begriffe „Folgeversagen“ und „globale Standsicherheit“ definiert werden und es sollte angegeben werden, nach welchen Kriterien sie ausgeschlossen bzw. nachgewiesen werden.

8.2.2. Zur Verfügung stehende und erforderliche Zeit

In Abschnitt 2.2 heißt es in [G 216]: „Im Zusammenhang mit den Vorsorgemaßnahmen sind Beobachtungen und Messungen eine Grundlage zur Abschätzung der zur Verfügung stehenden Zeit für die Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen.“ Aus den Angaben in Kapitel 4 von [G 216] wird aber nicht ersichtlich, dass diesen Anforderungen bei der Abschätzung der verfügbaren Vorwarnzeit von 1 bis 2 Jahren ausreichend Rechnung getragen wird:

- Es fehlt eine Begründung, weshalb die in der WIPP-site gemachten Beobachtungen quantitativ auf das ERAM übertragbar sind.

³⁶ In [P 218] werden folgende Schwankungen in den Monatsmitteln der Wassertemperatur angegeben: Südfeld 1,7 °C (über Abbau 2) bzw. 1,8 °C (über Abbau 1), Ostfeld 1,4 °C und Westfeld 5,8 °C.



- Es fehlt der Nachweis, dass innerhalb der tertiären Kriechphase ein rupturreller bzw. zeitlich nicht stetig einsetzender Kriechbruch ausgeschlossen werden kann.
- Angesichts der Tatsache, dass bereits die stationäre Kriechrate von Steinsalz einer Lokation und Fazies um den Faktor 10 variieren kann, fehlt eine entsprechende Berücksichtigung des Streubreitenbandes der Kriechraten bzw. des Kriechvermögens bei der Abschätzung der Vorwarnzeit.
- Die Angaben zu dem „empirischen Beispiel“ Pfeiler des Rolllochsystems 9 sind so knapp gehalten, dass sie unverständlich sind. Aus den Ausführungen wird nicht ersichtlich, welche Beobachtungen für diesen Pfeiler vorliegen, wie aus diesen die für diesen Pfeiler bestehenden Vorwarnzeiten abgeschätzt werden können und weshalb diese Beobachtungen auf andere Pfeiler übertragbar sind.
- Es werden keine Angaben zu sonstigen Beobachtungen und Messungen im ERAM gemacht, aus denen die Vorwarnzeiten abgeschätzt werden können (wie z. B. Langzeitmessungen von Konvergenzen und Deformationen an vergleichbaren Stellen, Beobachtungen vor schon aufgetretenen Bruchereignisse, seismische Aufzeichnungen; vgl. [DGEG 93] Abschnitt 4.3).

Aus verschiedenen Ausführungen in [G 216] wird deutlich, dass diese Unterlage noch nicht das abschließende Dokument zu den Vorsorgemaßnahmen sein kann:

- Es wird angekündigt, dass im Rahmen der bGZ „*empirische Daten hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Vorwarnzeit bei den [hinsichtlich Temperatur und Feuchte] veränderten Bedingungen*“ gewonnen werden. Diese Daten müssen für die Abschätzung der Vorwarnzeiten in einem abschließenden Dokument vorliegen und ausgewertet werden.
- Es wird darauf hingewiesen, dass die Messungen zur Überwachung der Konvergenz einen zeitlichen Vorlauf von 2 Jahren haben müssen, um das Auftreten tertiären Kriechens erkennen zu können. Es wird jedoch nicht dargelegt, wie diese vorlaufenden Messungen in den zur Verfügung stehenden Zeitraum integriert werden.
- Die Angaben zu den erforderlichen Zeiten zum Verfüllen und ggf. Umfahren der unten liegenden Abbaus stehen unter dem Vorbehalt einer entsprechenden infrastrukturellen Vorbereitung. Aus dem Vorsorgekonzept muss hervorgehen, wie diese Vorbedingung erfüllt wird.

Wir kommen deshalb zu folgenden Ergebnissen:

E 1: Die Unterlage [G 216] stellt nicht das endgültige Vorsorgekonzept dar.

F 9: Im endgültigen Vorsorgekonzept sollte vom BfS die zur Verfügung stehende Vorwarnzeit ausführlicher begründet werden.

H 2: Vom BfS sollte angegeben werden, zu welchem Zeitpunkt es die Vorlage des endgültigen Vorsorgekonzepts beabsichtigt.

H 3: Ohne einen standortbezogenen Beleg für das zeitabhängige Kriechbruchverhalten der im ERAM anstehenden Gesteine sollten unmittelbar nach Detektierung einer zunehmenden Kriech- bzw. Verformungsrate die betroffenen Grubenbaue gesperrt



werden und eine am Einzelfall orientierte Entscheidung über das weitere Vorgehen erarbeitet werden.

8.2.3. Planung der Vorsorgemaßnahmen

In Abschnitt 5.2 führten wir aus, dass spätestens bei Beginn der Stilllegungsarbeiten (ggf. auch schon vor der Planfeststellung, s. H 1) für alle zu überwachenden Grubenbauen ein Vorsorgeplan vorliegen muss mit

- Angabe der bei dem jeweiligen Abbau ggf. zu ergreifenden Vorsorgemaßnahmen,
- Angabe der die Vorsorgemaßnahmen auslösenden Indikatoren und deren Grenzwerte,
- Planungen der Vorsorgemaßnahmen (mit Zeitplänen) und
- Angabe der Verantwortlichkeiten und zeitlichen Vorgaben.

Sofern die Realisierung einer Vorsorgemaßnahme Auswirkungen auf die planmäßige Verfüllung des ERAM hat, ist dies in dem Vorsorgeplan anzugeben und es ist darzulegen, dass die plangemäße Verfüllung des ERAM durch die Vorsorgemaßnahme nicht gefährdet ist.

Hierzu sind entsprechende Dokumentationen vorzulegen. Zeitpunkt und Adressat der Vorlage sind im Ergebnis von H 1 festzulegen. Unabhängig hiervon empfehlen wir:

H 4: Vom BfS sollte angegeben werden, zu welchem Zeitpunkt es die Vorlage der Vorsorgepläne beabsichtigt.



9. GLOSSAR

außergewöhnliche Situation:	Zustand in der Grube, der durch die (rechnerischen) Sicherheitsbetrachtungen nicht abgedeckt wird und der deshalb zu vermeiden ist. Andernfalls könnte durch ihn ein potentiell Schaden verursachendes Ereignis ausgelöst werden.
Gefahrenbild:	potentiell Schaden verursachendes Ereignis.
globale Standsicherheit:	Sicherheit gegenüber <ul style="list-style-type: none">• Verformungen und Verbrüchen, die die Funktionsfähigkeit des Bergwerkes beeinträchtigen können (hierzu gehört auch die planmäßige Stilllegung) und• Verbrüchen, die die Langzeitsicherheit beeinträchtigen können.
Grenzwert:	Schwellenwert für einen Indikator. Wird er überschritten, werden Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung eines potentiell Schaden verursachendes Ereignisses ausgelöst.
Indikator:	Größe, die für die Entscheidung über die Durchführung einer Vorsorgemaßnahme herangezogen wird. I. A. kann der Indikator (z. B. Verformungsgeschwindigkeit) von der Messgröße (z. B. Verformung) verschieden sein.
lokale Standsicherheit:	Sicherheit gegenüber lokalen Bruchereignissen, die potentiell Schaden verursachen können.
Signalwert:	Schwellenwert für einen Indikator. Wird er überschritten, werden Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung einer außergewöhnlichen Situation ausgelöst.



10. LITERATUR

- [A 281] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Plan zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben
(einschließlich der Endlagerung bereits zwischengelagerter radioaktiver Abfälle und
noch anfallender betrieblicher radioaktiver Abfälle)
Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 15. September 2009
- [BGR 98A] BGR
ERA Morsleben, Festigkeitsmechanische Untersuchungen an Bohrkernen (Darstellung
der Einzelergebnisse), Archiv-Nr. 117221, Tgb.-Nr. 10742/98
1998
- [BGR 98B] BGR
ERA Morsleben: Gebirgsmechanische und geotechnische Untersuchungen im Labor
und In-situ, Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen, Archiv-Nr.
117213, Tgb.-Nr. 10683/98
1998
- [BS 11] KISTINGER S. (BS) , DÜSTERLOH U, LUX K.-H. (TUC)
Stilllegung des ERA Morsleben
3. Zwischenbericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte)
Bewertung P 218
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 05.05.2011
- [DEPV 09] VERORDNUNG ÜBER DEPONIEEN UND LANGZEITLAGER (DEPONIEVERORDNUNG - DEPV)
vom 27.04.2009
Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 22 vom 29.04.2009
- [DGEG 93] DGEG
Empfehlungen des Arbeitskreises „Salzmechanik“ der Deutschen Gesellschaft für Erd-
und Grundbau e. V. zur Geotechnik der Untertagedeponierung von besonders über-
wachungsbedürftigen Abfällen im Salzgebirge – Ablagerung in Bergwerken
Ernst & Sohn, Bautechnik 70 (1993), Heft 12
- [DOE 93] DEPARTMENT OF ENERGY
The Current Bases for Roof Fall Prediction at WIPP and a Preliminary Prediction for
SPDV Room 2
USA, Oktober 1993
- [G 216] MÜLLER-HOEPPE, N.
Konzept von Vorsorgemaßnahmen für die Stilllegung
DBE, Peine, 15.12.2005



- [P 215] LERCH, C.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Grubenteil Südfeld
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 218] MÜLLER-HOEPPE, N.
Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen
der Stilllegung (Stand sicherheit und Integrität)
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 220] FISCHER ET. AL
Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach Durchführung der bergbaulichen
Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil – Konzeptplanung –
DBE, 15.12.2005
- [P 243] KREIENMEYER, M.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben
DBE, Peine, 24.02.2006