

# Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

## Verfahrensunterlage

**Titel:** Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

**Autor:** DBE

**Erscheinungsjahr:** 2005

**Unterlagen-Nr.:** P 218

**Revision:** 01

**Unterlagenteil:**



	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 3

**Inhaltsverzeichnis**

	<b>Blatt</b>
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
Zusammenfassung	5
1 Verfüllkonzept	6
2 Sicherheitskonzept	7
2.1 Sicherheitsniveau	7
2.2 Vorgehensweise beim ERAM	9
3 Bauzustände	10
3.1 Vorbemerkungen zu den Bauzuständen	10
3.2 Nachweise für die Bauzustände	11
3.3 Nachweismethoden für die Bauzustände	13
3.4 Nachweiskriterien für die Bauzustände	13
3.4.1 Schutz der Tagesoberfläche	13
3.4.2 Barrierenintegrität	14
3.4.3 Arbeitssicherheit	18
3.5 Einzelfallbetrachtungen zur Arbeitssicherheit	22
4 Stabiler Endzustand	23
4.1 Vorbemerkungen zum stabilen Endzustand	23
4.2 Nachweise für den stabilen Endzustand	23
4.3 Nachweismethoden für den Endzustand	24
4.4 Nachweiskriterien für den stabilen Endzustand	24
4.4.1 Schutz der Tagesoberfläche	24
4.4.2 Barrierenintegrität	25
5 Verwendete Unterlagen	26
6 Glossar	29

Gesamtblattzahl dieser Unterlage: 34 Blatt

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 3.4-1: Grenzwerte für Verformungen bei Ausbildung einer Setzungmulde /12/

Abbildung 3.4-2: Dilatanzkriterium nach Hunsche /13/

Abbildung 3.4-3: Grenzbedingung nach Drucker-Prager und Mohr-Coulomb. Darstellung zu-standsverbessernder Lastpfade (grün) und zustandsverschlechternder Last-  
pfade (rot)

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 3.1-1: Mögliche Maßnahmen, maßgebliche Größen und Steuergrößen zur Be-  
schränkung der Temperaturerhöhung durch Hydratation /8/

Tabelle 3.4-1: Übliche thermische Schwankungsbreiten im ERAM. Jeder Monatsmittelwert  
basiert auf ca. 4300 Einzelwerten

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 5

**Stichworte**

Bauzustände, Sicherheitskonzept, Sicherheitsnachweiskriterien, Sicherheitsnachweismethoden, Stabiler Endzustand, Stilllegungskonzept

**Zusammenfassung**

Im Zusammenhang mit der Stilllegung des ERAM werden Sicherheitsnachweise (Einzelnachweise) aufgeführt, Sicherheitsnachweismethoden beschrieben und Sicherheitsnachweiskriterien zusammengestellt, mit denen die Sicherheit der Bauzustände während des Verfüllvorganges nachgewiesen wird.

Die Sicherheitsnachweise, Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitskriterien, die nicht nur dem Arbeitsschutz zugeordnet werden, sondern sich auf den Schutz der Tagesoberfläche und auf die Integrität der Salzbarriere (Permeationsbarriere) beziehen, sind auch für den Nachweis des stabilen Endzustandes maßgebend.

Aus diesem Grunde werden die Sicherheitsnachweise, Sicherheitsnachweismethoden und die Sicherheitsnachweiskriterien für die Bauzustände und den stabilen Endzustand gesamtheitlich dargestellt.

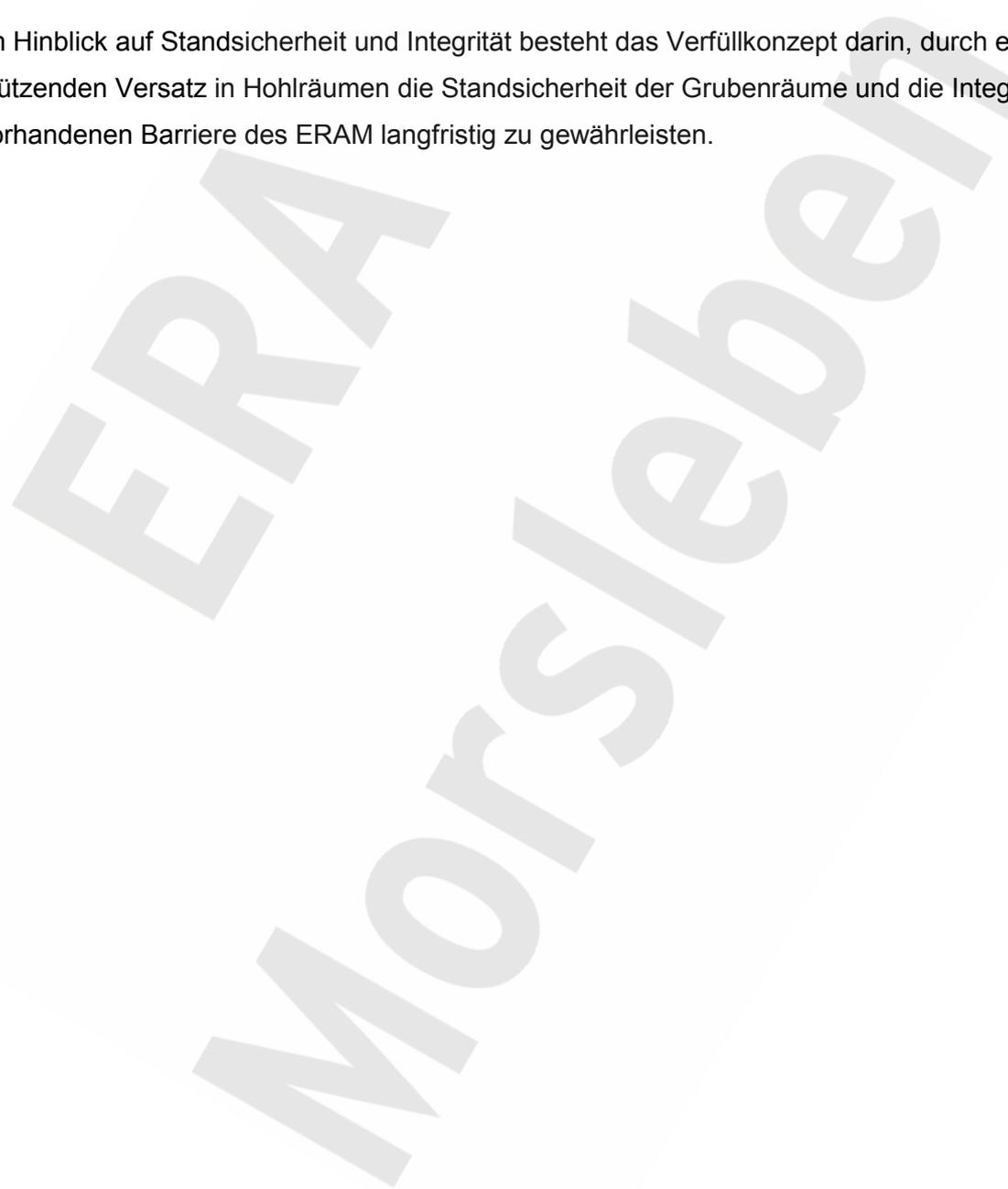
Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Stand sicherheit und Integrität)

**1 Verfüllkonzept**

Vom Bundesamt für Strahlenschutz werden zur Zeit die erforderlichen Maßnahmen für die Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) geplant.

Im Hinblick auf Stand sicherheit und Integrität besteht das Verfüllkonzept darin, durch einen stützenden Versatz in Hohlräumen die Stand sicherheit der Grubenräume und die Integrität der vorhandenen Barriere des ERAM langfristig zu gewährleisten.



	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

## 2 Sicherheitskonzept

Für die Stilllegungsmaßnahmen ist die Sicherheit der Bauzustände nachzuweisen. Weiterhin ist der Nachweis zu erbringen, dass am Ende des Betrachtungszeitraumes, für den ein quantitativer Nachweis geführt wird, ein stabiler Endzustand in Bezug auf die Tagesoberfläche und die Eigenschaften der Salzbarriere erreicht wird. Um die Sicherheitsnachweise führen zu können, ist die Beschreibung von Sicherheitsnachweismethoden, deren Anwendung im Zusammenhang mit den Maßnahmen der Stilllegung geplant ist, erforderlich. Des Weiteren ist die Formulierung von Sicherheitsnachweiskriterien unabdingbar, die als Maßstab zur Bewertung der Sicherheit dienen.

Das für die vorliegende Fragestellung sinngemäß anzuwendende geotechnische Regelwerk /1/2/ fordert neben einer allgemeinen Einschätzung (Befahrungsbericht) i.d.R. für geotechnische Baumaßnahmen eine angemessene Baugrunduntersuchung (Wirtsgesteinsuntersuchung), um quantitative geotechnische Angaben zum Zwecke der geotechnischen Analyse zu erhalten. 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. Wird ein hinreichendes Maß an Sicherheit ausgewiesen, ist der geotechnische Sicherheitsnachweis geführt. Weist der rechnerische Sicherheitsnachweis kein hinreichendes Sicherheitsniveau aus, lässt das geotechnische Regelwerk weitere Sicherheitselemente zu, um für die Baumaßnahme ein hinreichendes Sicherheitsniveau zu erreichen. Dazu zählt die Anwendung der Beobachtungsmethode in Verbindung mit einem Konzept von Vorsorgemaßnahmen. Die wesentlichen Elemente einer geotechnischen Sicherheitsnachweisführung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Allgemeine Einschätzung (Befahrung)
- Baugrunduntersuchungen (Wirtsgesteinsuntersuchungen)
- Berechnungen
- Systematische Beobachtungen bzw. Messungen
- Vorsorgekonzept

### 2.1 Sicherheitsniveau

Die o. g. Sicherheitselemente lassen sich geeignet kombinieren, so dass die Vorgaben des Regelwerks /1/2/3/4/ eingehalten werden, die auf den Grundlagen der SIA 260 /5/ beruhen. Die SIA 260 besagt:

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Bestimmten Risiken für Leib und Leben sowie Sachwerten kann nicht ausgewichen werden. Die Regelungen des Normenwerks des SIA 260 sind angesichts solcher unausweichlicher Risiken so zu treffen, dass die Erwartungswerte für Schäden und Folgeschäden vertretbar klein bleiben. Unter Risiko wird gemäß SIA der Erwartungswert eines Schadens verstanden. Der Risikobegriff ist damit klar abgegrenzt von Gefährdungspotenzial einerseits als auch von der Eintrittswahrscheinlichkeit potenziell schadensauslösender Ereignisse, gegen die eine adäquate Vorsorge getroffen werden kann. Zur Erläuterung soll ein die Arbeitssicherheit betreffendes, bergbautypisches Beispiel dienen.

Ein klassisches Problem des Altbergbaus bzw. in abgeworfenen Grubenteilen ist potenzieller Löser- bzw. Firstfall. Da im Altbergbau bzw. in abgeworfenen Grubenteilen die Aufenthaltsdauer und die Anzahl der sich dort aufhaltenden Menschen minimiert wird - nur noch Sicherheitsbefahrungen sind zulässig -, ist der Erwartungswert eines Schadens für Leben und Gesundheit gering, auch wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit von Löser- bzw. Firstfällen hoch ist. Auch ist der Erwartungswert eines Schadens im Falle eines großen Firstfalles, d. h. bei hohem Gefährdungspotential des Lösers, weiterhin gering, wenn sich niemand dort aufhält.

Es ist wichtig festzuhalten, dass die Regelungen des SIA und damit des Regelwerks /1/2/3/4/ so gestaltet sind, dass bei Gefahr für Leben und Gesundheit, z. B. beim Nachweis der Tragfähigkeit, ein höheres Sicherheitsniveau einzuhalten ist als bei Gefahr von Sachschäden, z. B. beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. Es wird deutlich, dass in Abhängigkeit vom Schutzziel durchaus mit unterschiedlichen Sicherheitsniveaus gearbeitet wird und diese jeweils angemessen sind. Es wird dem Planer überlassen, welche Sicherheitselemente zur Gewährleistung des Sicherheitsniveaus zur Anwendung kommen. So ist es beispielsweise möglich bei Versagensmechanismen, die im Grundsatz eine Gefahr für Leben und Gesundheit darstellen, dennoch das Sicherheitsniveau für Gebrauchstauglichkeit anzuwenden /3/4/, wenn sich ankündigendes Versagen vorliegt, das mit der Beobachtungsmethode /1/ erfasst werden kann und ein Konzept von Sicherheits- bzw. Vorsorgemaßnahmen vorhanden ist, das in einem solchen Falle umgesetzt werden kann. Als Beispiel kann der Fall eines Ermüdungsbruches dienen. Ein solches Tragwerk wird als schadensverträglich bezeichnet, für das das Sicherheitsniveau für Gebrauchstauglichkeit angenommen werden darf.

Es ist festzuhalten, dass die Regelungen /1/2/3/ in Übereinstimmung stehen mit der empirischen Erfahrung des Bergbaus. In Bergwerken wird seit langem die Beobachtungsmethode eingesetzt, z. B. durch Konvergenzmessungen und Sicherheitsbefahrungen. Da als Sicher-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

heitsmaßnahme ausschließlich die kurzfristige Evakuierung der Belegschaft von Bedeutung war und Grubenteile notfalls abgeworfen wurden, wurde durch diese Maßnahmen ein akzeptables Sicherheitsniveau gewährleistet.

## 2.2 Vorgehensweise beim ERAM

Im Falle des ERAM werden auf Grundlage einer allgemeinen Einschätzung (Befahrungsergebnissen) und von Wirtsgesteinsuntersuchungen im ersten Schritt Berechnungen für die Einzelnachweise durchgeführt. Der Maßstab, nach dem entschieden wird, ob Sicherheit gegeben ist, ist durch quantitativ beschreibbare Sicherheitskriterien gegeben.

Ist die Ausweisung eines hinreichenden Sicherheitsniveaus auf Basis der allgemeinen Einschätzung, der Wirtsgesteinsuntersuchungen und der rechnerischen Nachweise nicht möglich, sind weitere technisch-organisatorische Maßnahmen (Beobachtungen, Vorsorgekonzept) zur Gewährleistung des Sicherheitsniveaus möglich.

Im Folgenden werden die rechnerischen Nachweise aufgeführt, die Nachweismethoden beschrieben und die zugeordneten quantitativen Nachweiskriterien angegeben. Für über die rechnerischen Nachweise hinausgehende Maßnahmen erfolgt eine Detaillierung im Rahmen eines geplanten Messprogramms und eines Konzeptes von Vorsorgemaßnahmen /6/.

Für die rechnerischen Nachweise werden die Bauzustände und der stabile Endzustand unterschieden.

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

### 3 Bauzustände

#### 3.1 Vorbemerkungen zu den Bauzuständen

Als Bauzustände werden vorübergehende Bemessungssituationen bezeichnet, die ursächlich durch den Bauvorgang selbst hervorgerufen sind. Es ist zu zeigen, dass während des Bauvorganges die Einhaltung konventioneller und radiologischer Schutzziele gewährleistet ist. Während der Verfüllung ist das ERAM trocken. So reduzieren sich die Schutzziele während der Verfüllung auf die Gewährleistung des Schutzes der Tagesoberfläche (globale Standicherheit) und den Erhalt der Salzbarriere. Aus Gründen der Arbeitssicherheit ist jedoch auch die Standicherheit für Grubenräume zu gewährleisten, die während der Verfüllung des ERAM durch Menschen betreten werden. Damit sind in Abhängigkeit der Nutzung der Grubenräume während der Verfüllung des ERAM weitergehende Anforderungen an die Standicherheit zu stellen, insbesondere für die Tragelemente Schweben und Pfeiler.

Hydraulisch abbindende Stoffe entwickeln Hydratationswärme. Der Einfluss der Hydratationswärme ist zu untersuchen, da die Versatzstoffe in großen Mengen eingebracht werden. Sinngemäß lassen sich die Definitionen für Massenbeton /7/ übertragen.

Ein Beton ist ein Massenbeton, wenn eine der folgenden Voraussetzungen gilt:

1. Die Wärmeentwicklung im Bauteil aufgrund der Hydratationswärme des Zementes muss berücksichtigt werden.
2. Die Bauteilabmessungen sind so groß, dass besondere Einbauverfahren und/oder eine besondere Baustellenlogistik notwendig sind.

Dementsprechend sind beim Nachweis der Bauzustände die aus den Versatzstoffen resultierenden Lasten aus Eigengewicht und Hydratationswärme zu berücksichtigen, wenn letztere nicht durch technisch-organisatorische Maßnahmen gering gehalten wird. In Tabelle 3.1-1 sind technisch organisatorische Maßnahmen zur Minimierung des Einflusses der Hydratationswärme aufgeführt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 11

Art	Maßnahme	• Maßgebliche Größen	• Steuergrößen
Beton- techno- logie	Betonzusammen- setzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydratationswärme, Temperaturentwicklung</li> <li>• Festigkeitsentwicklung, Betonfestigkeit</li> <li>• Elastizitätsmodul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zementart</li> <li>• Zementgehalt</li> <li>• Flugaschegehalt</li> </ul>
	Zementart- bzw. -auswahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydratationswärme</li> <li>• Frühfestigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zementfestigkeitsklasse</li> <li>• NW-Zemente</li> </ul>
	Betonzusätze	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zementaustausch</li> <li>• Verarbeitbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flugaschegehalt, Gesteinsmehl</li> <li>• Fließmittel</li> <li>• Verzögerer</li> </ul>
	Betonzuschlag	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmedehnzahl, Wärmekapazität</li> <li>• Zementleimbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuschlagart</li> <li>• Sieblinie, Größtkorn</li> <li>• Sandaufbereitung</li> </ul>
	Frischbetontempe- ratur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höchsttemperatur</li> <li>• Temperaturverlauf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kühlung der Ausgangsstoffe</li> <li>• Kühlung des Frischbetons</li> <li>• Kühlung des eingebauten Betons</li> </ul>
Bauaus- führung	Arbeitsvorbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauablauf</li> <li>• Bauteilabmessungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betonierabschnitte</li> <li>• Betonierreihenfolge</li> <li>• Betoniertakte</li> </ul>
	Betonieranweisung, Betonierplan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verarbeitungskapazität</li> <li>• Betonmenge</li> <li>• Einbauleistung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liefermenge, Anlieferung des Transportbetons</li> <li>• Förder- und Einbauverfahren</li> <li>• Verdichtungsverfahren</li> </ul>
	Nachbehandlung und Schutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lufttemperatur</li> <li>• Meteorologische Bedin- gungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenkühlung</li> <li>• Wärmedämmung</li> <li>• Schalungsart</li> <li>• Abdeckung</li> </ul>

Tabelle 3.1-1: Mögliche Maßnahmen, maßgebliche Größen und Steuergrößen zur Beschränkung der Temperaturerhöhung durch Hydratation /8/

### 3.2 Nachweise für die Bauzustände

Folgende Nachweise sind quantitativ zu führen:

1. Nachweis der Begrenzung der Senkung der Tagesoberfläche

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 12

2. Nachweis der Begrenzung der Schiefstellung von Gebäuden auf der Tagesoberfläche, sofern Gebäude vorhanden
3. Nachweis des Erhalts der vorhandenen Barrierenintegrität (Salzbarriere) für zutrittsgefährdete Grubenräume
4. Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenräume
5. Nachweis der Geringfügigkeit von Temperaturerhöhungen am Salzspiegel
6. 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
7. Nachweis der Zustandsverbesserung des Salzes in den Konturbereichen der Grubenräume sowie den Tragelementen Schweben und Pfeiler. Die Zeitdauer, in der eine Zustandsverbesserung erforderlich ist, wird an den Schutzzielen, z. B. Arbeitsschutz, orientiert festgelegt

Sollte einer der o. g. Sicherheitsnachweise im ersten Schritt nicht gelingen, bedeutet das nicht zwangsläufig, dass ein unsicherer Zustand herrscht. Vielmehr ist zu prüfen, ob ein Sicherheitsnachweis nach Abbau von Konservativitäten im Nachweisverfahren geführt werden kann.

Als Alternative zum Abbau von Konservativitäten im Sicherheitsnachweisverfahren sind auch technisch-organisatorische Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit der Bauzustände denkbar. Sollte z. B. lokal die Zustandsverbesserung einer Schweben oder eines Pfeilers nicht nachgewiesen werden können, ist z. B. die beidseitige Befüllung von Abbauen mit schlanken Pfeilern oder Sperrung von Abbauen, die unter schlanken Schweben liegen, zu erwägen.

Während der Bauausführung werden die Bauzustände bei Bedarf durch geotechnische Messungen überwacht. Ein geplantes messtechnisches Überwachungskonzept orientiert sich u. a. an Berechnungsergebnissen.

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

### 3.3 Nachweismethoden für die Bauzustände

Der Nachweis der Sicherheit der Bauzustände ist schon zu führen, bevor die Bauzustände auftreten. Der Nachweis der Sicherheit der Bauzustände wird unter Einbeziehung der in Kapitel 2 beschriebenen Sicherheitselemente geführt. Es werden Berechnungen durchgeführt, wobei darunter an dieser Stelle auch Plausibilitätsbetrachtungen verstanden werden. Falls erforderlich, wird der rechnerische Sicherheitsnachweis durch weitere Sicherheitselemente ergänzt /6/.

Reichen Plausibilitätsbetrachtungen für den Nachweis nicht aus, haben sich für den rechnerischen Nachweis numerische Berechnungsmethoden (Diskretisierungsverfahren wie z. B. Finite Elemente, Finite Differenzen) als geeignet erwiesen. Geeignete Rechenprogramme zur Behandlung geomechanischer Fragestellungen sind z. B. in /9/10/ beschrieben. Bei dem in der Regel entstehenden, maßgeblichen Einfluss der Hydratationswärme sind die Bauzustände als thermomechanisches Problem zu behandeln.

Durch die Berechnungen werden die für die Bauzustände relevanten Zustandsgrößen des Systems - Spannungen, Verzerrungen und Temperaturen - ermittelt. Diese Zustandsgrößen werden mit Hilfe eines Maßstabes, den Sicherheitsnachweiskriterien, bewertet, der die Entscheidung ermöglicht, ob Sicherheit gegeben ist oder nicht. Des Weiteren sind behördlich festgesetzte Grenzwerte zu beachten.

### 3.4 Nachweiskriterien für die Bauzustände

#### 3.4.1 Schutz der Tagesoberfläche

##### Bauzustände: Kriterien zu Nachweis (1)

Der Schutz der Tagesoberfläche im Nachweiszeitraum ist abdeckend gewährleistet, wenn der Schutz der Salzbarriere gesichert ist. Aus diesem Grund wird der Einfachheit halber der Grenzwert für die Senkung der Tagesoberfläche von 1 m, für den gemäß /11/ keine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) erforderlich ist, ab Beginn der Stilllegungsmaßnahme angesetzt. Es ist nicht zu erwarten, dass dieser Grenzwert erreicht wird, er wird jedoch begleitend überprüft.

##### Bauzustände: Kriterien zu Nachweis (2)

Weitere Grenzwerte für die zulässigen Verformungen während und kurz nach der Stilllegung lassen sich aus der Grenzbedingung für die Schiefstellung von Gebäuden ableiten. So gilt bei Ausbildung einer Setzungsmulde nach Skempton /12/ der in Abbildung 3.4-1 dargestellte Zusammenhang. Die genaue Festlegung der anzuwendenden Grenzwerte ergibt sich in Abhän-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

gigkeit der vorhandenen Bebauung oberhalb des ERAM. Im Regelfall wird der Grenzwert 1/300 verwendet. Er wird auch im Regelfall für die Stilllegung des ERAM angesetzt. Als Nachweiszeitraum für Gebäude wird ein Zeitraum von 100 Jahren zu Grunde gelegt, der die Anforderungen des gültigen Regelwerkes /3/ konservativ abdeckt. Als Zeitpunkt für den Beginn des Nachweiszeitraums ist der Zeitpunkt anzusetzen, an dem mit der Stilllegung des ERAM begonnen wird.

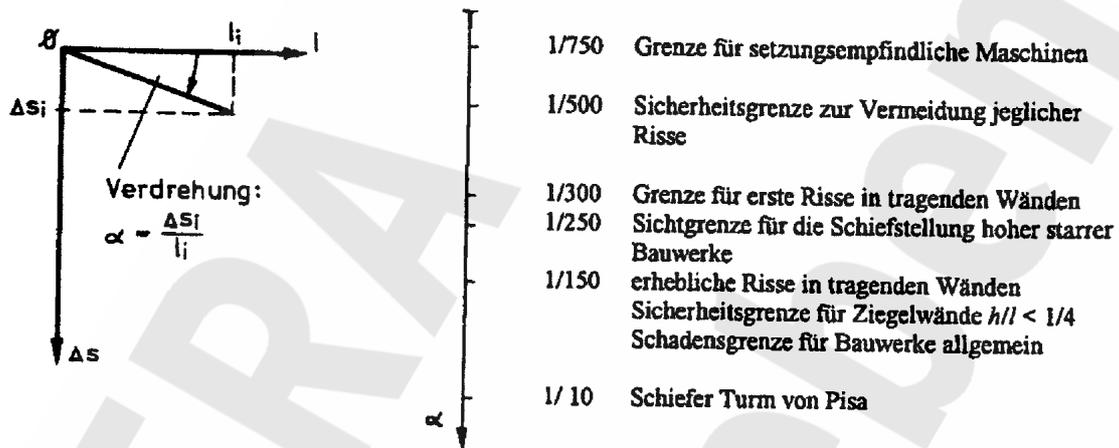


Abbildung 3.4-1: Grenzwerte für Verformungen bei Ausbildung einer Setzungsmulde /12/

### 3.4.2 Barrierenintegrität

#### Bauzustände: Kriterien zu Nachweis (3)

Um die Integrität der Salzbarriere zutrittsgefährdeter Abbaue zu bewerten, werden das Dilatanzkriterium auf Basis der Mikrorissgrenze nach Gl. (1) /13/ (Abbildung 3.4-2) oder das Fluidkriterium (Hauptspannungskriterium) nach Gl. (2) herangezogen:

Dilatanzkriterium

$$\text{zul. } \frac{\tau}{\sigma^*} \leq -0,01697 \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma^*} \right)^2 + 0,8996 \frac{\sigma}{\sigma^*} \quad (1)$$

mit

$$\tau = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} : \text{ Oktaederspannung}$$

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	DBE
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) : \text{mittlere Spannung}$$

$\sigma^* = 1 \text{ MPa}$ : Bezugsspannung

Fluidkriterium

$$\text{zulässig } p < \sigma_1 \quad (2)$$

mit

$\sigma_1$ : kleinste Hauptspannung

p: teufenspezifischer Laugendruck

In Gleichung (1) und (2) wird Druck, abweichend von der üblichen Vorzeichenkonvention der Mechanik, mit positiven Kennzeichen versehen.

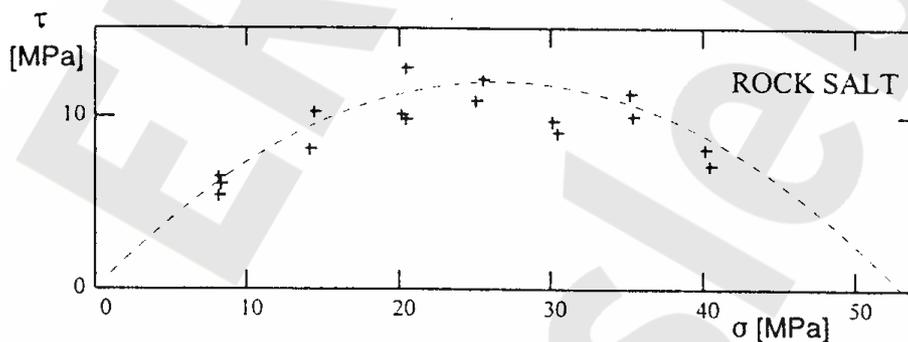


Abbildung 3.4-2: Dilatanzkriterium nach Hunsche /13/

Die beiden Kriterien werden alternativ auf die Salzbarriere zutrittsgefährdeter Abbaue angewandt, wobei in der Regel das Dilatanzkriterium nach Gl. (1) zum Tragen kommt. Als zutrittsgefährdet gelten gemäß /14/ Abbaue, die weniger als 60 m vom Salzspiegel oder weniger als 25 m vom Anhydrit oder Kalilager entfernt liegen, wenn gleichzeitig der Abbau weniger als 130 m unter dem Salzspiegel liegt und eine Verbindung des Anhydrits und/oder des Kalilagers zum Deckgebirge besteht. In diesen zutrittsgefährdeten Abbauen darf gegenüber dem Salzspiegel und den potentiellen Zutrittspfaden im Anhydrit oder Kalilager keine nennenswerte Aufweitung der dilatanten Zonen erfolgen. Als nicht nennenswert wird eine Aufweitung der dilatanten Zonen dann bezeichnet, wenn sie sich ohne Verfüllmaßnahmen bis zum erwarteten Ende der Stilllegung auch einstellen würde, wobei als Stilllegungstermin der Zeitpunkt anzusetzen ist, der sich aus der geplanten Stilllegungsdauer ergibt. Damit wäre für die Bauzustände der Nachweis erbracht, dass sie im Sinne eines schonenden Eingriffs das ERAM nicht stärker beeinflussen als wenn keine Stilllegungsmaßnahmen ergriffen würden.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Ergänzend zu den spannungsbezogenen Kriterien nach Gl. (1) und Gl. (2) wird zur Bewertung der Salzbarriere ein verformungsbezogenes Kriterium herangezogen, das in Anlehnung an das Aversin-Kriterium /15/ formuliert ist. Für die Salzbarriere wird eine zulässige Vergleichsverzerrung von 1 % als konservative Approximation des Aversin-Kriteriums angesetzt. Gemäß Aversin-Kriterium ist eine horizontale Verzerrung der Schutzschichten von bis zu 1 % zulässig.

**Bauzustände: Kriterien zu Nachweis (4)**

Die Sicherheit nicht zutrittsgefährdeter Abbaue wird automatisch durch die Einhaltung der oben bereits aufgeführten Sicherheitsabstände gewährleistet /14/. Als nicht zutrittsgefährdet gelten Abbaue, die mehr als 60 m vom Salzspiegel und mehr als 25 m vom Anhydrit/Kalilager entfernt liegen, wenn gleichzeitig der Abbau weniger als 130 m unter dem Salzspiegel liegt und eine Verbindung des Anhydrits und/oder des Kalilagers zum Deckgebirge besteht. Abbaue, die mehr als 130 m unter dem Salzspiegel liegen, gelten nicht als zutrittsgefährdet.

**Bauzustände: Kriterien zu Nachweis (5)**

Um eine Beeinflussung der Deckgebirgswässer von vornherein zu vermeiden, wird konservativ die Temperaturerhöhung am Salzspiegel in Folge der Hydratationswärme begrenzt. Ein Wert von ca. 1 K ist sinnvoll, da er in der Größenordnung sowohl der natürlichen Temperaturschwankungen, z. B. durch Rekristallisationsprozesse, als auch der durch die bisherige Auffahrung und Nutzung des ERAM hervorgerufenen Temperaturschwankungen liegt /16/. Des Weiteren ist bekannt, dass in Grundwasserneubildungsgebieten geringfügige Temperaturschwankungen im Grundwasser keine signifikanten Auswirkungen auf den Grundwasserstrom haben. Auch die Subrosionsraten dürften sich nicht nennenswert ändern.

**Bauzustände: Kriterien zu Nachweis (6)**

In den Bereichen des ERAM, in denen der Anhydrit bis an den Salzspiegel reicht, ist die Schaffung neuer Wegsamkeiten zu vermeiden. Dazu werden durch Modellrechnungen die während der Verfüllung auftretenden Temperatur- oder Spannungszustände in der obersten Anhydritscholle kontrolliert.

Im Anhydrit wird eine Temperaturerhöhung von unter 2 K als ertragbar angesetzt. Um die Plausibilität eines solchen Ansatzes zu belegen, werden die Wettertemperaturen im ERAM herangezogen. In Tabelle 3.4-1 sind die im ERAM üblichen Schwankungen im Jahresgang der Temperatur dargestellt. Aus bergmännischer Erfahrung liegt keine Information vor, dass derartige Temperaturschwankungen Auffälligkeiten, wie z. B. erhöhte Abschalungen in den Anhydritpar-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 17

ten erzeugen. Daraus lässt sich indirekt schließen, dass kleine Temperaturwechsel in der o. g. Größenordnung keine quantifizierbar zuordbaren Schäden am Anhydrit erzeugen.

Monatsmittelwerte Temperatur in °C	Südfeld über Abbau 1	Südfeld über Abbau 2	Westfeld	Ostfeld Wetterort 1
Minimum	21,7	21,4	19,4	20,7
Maximum	23,5	23,1	25,2	22,1
<b>Durchschnitt</b>	<b>22,7</b>	<b>22,6</b>	<b>22,0</b>	<b>21,3</b>
Δ T MAX/MIN	1,8	1,7	5,8	1,4

Tabelle 3.4-1: Übliche thermische Schwankungsbreiten im ERAM. Jeder Monatsmittelwert basiert auf ca. 4300 Einzelwerten

Gemäß Tabelle 3.4-1 erscheint im Anhydrit eine Temperaturerhöhung von 2 K ertragbar. Es werden und wurden lokal offensichtlich auch noch größere Temperaturschwankungen ertragen. Diese Einschätzung wird auch dadurch belegt, dass festigkeitsmechanische Versuche am Anhydrit bei Raumtemperatur durchgeführt werden /17/. Als Raumtemperatur ist ein Temperaturbereich von 20-25 °C festgelegt, d. h. die Schwankungsbreite beträgt 5 K. Sie hat offensichtlich keinen relevanten Einfluss auf die Versuchsergebnisse.

Alternativ ist der Nachweis der Unterschreitung der Bruchgrenze des Anhydrits oder einer Zustandsverbesserung in der obersten Anhydritscholle möglich. Zu Grunde gelegt wird für den Anhydrit das Festigkeitskriterium nach Drucker-Prager gemäß Gl. (3):

$$F = 0 = \alpha J_1 + \sqrt{J_2^D} - k \quad (3)$$

mit

$J_1$  : 1. Invariante des Spannungstensors

$J_2^D$  : 2. Invariante des Spannungsdeviators

$\alpha = 0,415$

$k = 0,0$

Die Parameterwerte entsprechen dem derzeitigen Kenntnisstand.

Spannungszustände unterhalb der Bruchgrenze sind unkritisch, da im Falle des Anhydrits Bruch- und Dilatanzgrenze zusammenfallen. Für Spannungszustände oberhalb der Bruchgrenze wird lediglich der Lastpfad kontrolliert und festgestellt, ob die Spannungszustände sich in den Bereich günstigerer Zustände verlagern oder nicht. Günstige Lastpfade weisen in das Inne-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	<b>DBE</b> 
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

re des Festigkeitskriteriums; siehe Abbildung 3.4-2 zur Verdeutlichung. Auf diese Weise lässt sich durch die Lastpfadkontrolle eines lokalen Festigkeitskriteriums eine Zustandsverbesserung nachweisen. Die Art und Weise, den Sicherheitsnachweis über eine Zustandsverbesserung mit Hilfe der Lastpfadkontrolle des Festigkeitskriteriums zu führen, ist unabhängig vom Festigkeitskriterium selbst, auch wenn z.B. genauere Untersuchungen zeigen sollten, dass der Anhydrit eher ein Festigkeitsverhalten nach Mohr-Coulomb aufweist, hätte das keinen Einfluss auf die Sicherheitsnachweisführung.

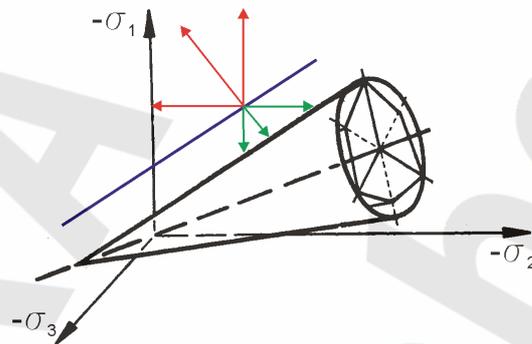


Abbildung 3.4-3: Grenzbedingung nach Drucker-Prager und Mohr-Coulomb. Darstellung zustandsverbessernder Lastpfade (grün) und zustandsverschlechternder Lastpfade (rot)

### 3.4.3 Arbeitssicherheit

Die Bewertung der Arbeitssicherheit beinhaltet die Bewertung der Abbaukonturen sowie der Tragelemente Schweben und Pfeiler. Zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit können zusätzlich technisch-organisatorische Maßnahmen (Messprogramm, Vorsorgekonzept /6/) ergriffen werden.

#### Bauzustand: Kriterien zu Nachweis (7)

Zur Bewertung der Arbeitssicherheit während der Verfüllmaßnahmen werden für das Steinsalz das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium, die Spaltzugfestigkeit, die einaxiale Druckfestigkeit sowie das Dilatanzkriterium gemäß Gl. (1) herangezogen.

Das Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium lautet:

$$\text{zul. } \frac{\tau}{\sigma^*} \leq b \cdot \left( \frac{\sigma}{\sigma^*} \right)^p \cdot \frac{2k}{(1+k) + (1-k) \cdot J_m} \quad (4)$$

mit den Parametern

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 19

$$b = 2,7$$

$$p = 0,65$$

$$k = 0,74$$

und der vom Lode-Parameter m abhängigen Spannungsinvarianten  $J_m$

$$J_m = \frac{m \cdot (9 - m^2)}{(3 + m^2)^{3/2}}$$

Konservativ wird  $m = 1$  gesetzt.

Bereiche mit rechnerischer Überschreitung des Kurzzeitbruchfestigkeitskriteriums werden als nicht tragfähig angesehen.

Weiterhin wird zur Bewertung der Arbeitssicherheit die Zugfestigkeit herangezogen. Da die Zugfestigkeit des Salzes gering ist und stark schwankt, werden alle Bereiche, die Zugspannungen aufweisen, ausgewiesen. Besonders zu betrachten sind Bereiche, in denen die maximale Zugspannungskomponente einen Wert von 1 MPa überschreitet.

Bei einem Mittelwert der Spaltzugfestigkeit von 1,5 MPa wurde ein Wert von 1,3 MPa als charakteristischer Wert der Spaltzugfestigkeit aus Kurzzeitversuchen ermittelt /18/, wobei keine Unterscheidung der stratigrafischen Einheiten erfolgte. Der Wert von 1,3 MPa wurde durch einen materialbezogenen Sicherheitsbeiwert von 1,25 dividiert, der zur Ermittlung des Bemessungswertes für die Scherfestigkeit /1/ angesetzt wird. Damit ergibt sich ein Wert von 1,0 MPa.

Bereiche mit einer Zugspannungskomponente von mehr als 1 MPa werden als durch Makrorisse rissgefährdet angesehen.

Bereiche mit Überschreitung des Kurzzeitbruchfestigkeitskriteriums und Bereiche mit Zugspannungskomponenten von mehr als 1 MPa werden daraufhin überprüft, ob sich rechnerisch ausgedehnte Zonen der Überschreitung und aus diesen frei bewegliche, kinematisch verschiebliche Bruchkörper ausbilden. Im Falle der Ausbildung von Bruchkörpern sind zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes weitere Einzelfallbetrachtungen notwendig.

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 20

Werden bei Anwendung des Kurzzeitbruchfestigkeitskriteriums bzw. bei Ansatz der Grenzbedingung 1 MPa Zugspannungen rechnerisch keine frei beweglichen Bruchkörper ausgewiesen, wird aber das Dilatanzkriterium überschritten, sind die Bedingungen für Kriechbruch gegeben. Dies gilt insbesondere bei gleichzeitiger Existenz einer rechnerischen Hauptverzerrung von mehr als 2 - 3 % in durchgehenden Bereichen. Zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes sind in diesem Fall ebenfalls weitere Einzelfallbetrachtungen notwendig.

Der Wert der einaxialen Druckfestigkeit wird ebenfalls zur Bewertung von Tragelementen, vorzugsweise Pfeilern, herangezogen.

Aus altem Datenmaterial von unregelmäßigen Kurzzeitversuchen zur einaxialen Druckfestigkeit lässt sich ein Mittelwert von 24,4 MPa und ein charakteristischer Wert von 20,5 MPa ermitteln, wobei keine Unterscheidung nach stratigrafischen Einheiten erfolgt. Der charakteristische Wert von 20,5 MPa wird durch den materialbezogenen Sicherheitsbeiwert von 1,4 dividiert, der zur Ermittlung des Bemessungswertes für die Druckfestigkeit /2/ angesetzt wird. Der Teilsicherheitsbeiwert von 1,4 deckt die Anforderungen des jeweiligen Regelwerkes /1/ konservativ ab. Daraus ergibt sich ein Wert von 14,6 MPa ~ 15 MPa als zulässige einaxiale Druckfestigkeit für Steinsalz. Durch Einzelversuche neueren Datums wird gezeigt, dass für die einaxiale Druckfestigkeit ein Bemessungswert von größer als 15 MPa in Betracht gezogen werden kann /17/. Konservativ wird der Wert von 15 MPa als Bemessungswert angesetzt.

Bereiche in Tragelementen mit einer Druckspannungskomponente von mehr als 15 MPa werden als bruchgefährdet angesehen. Bereiche mit Druckspannungskomponenten von mehr als 15 MPa werden daraufhin überprüft, ob rechnerisch ausgedehnte Zonen der Überschreitung vorhanden sind, so dass kinematisch verschiebliche Teilsysteme entstehen können. In diesem Fall sind weitere Einzelfallberechnungen notwendig. Werden bei Anwendung des Druckfestigkeitskriteriums keine kinematisch verschieblichen Teilsysteme ausgewiesen, wird aber das Dilatanzkriterium überschritten, sind die Bedingungen für Kriechbruch gegeben. Dies gilt insbesondere bei gleichzeitiger Existenz einer rechnerischen Hauptverzerrung von mehr als 2 - 3 % in durchgehenden Bereichen. Zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes sind in diesem Fall ebenfalls weitere Einzelfallbetrachtungen notwendig.

Zur Bewertung der zeitlichen Entwicklung der Arbeitssicherheit kann in den konturnahen Bereichen der Grubenräume sowie in den Tragelementen Schweben und Pfeilern weiterhin das Lastpfadkriterium zur Überprüfung einer Zustandsverbesserung im Salz gegenüber dem Ausgangszustand herangezogen werden. Analog zu /19/ wird entweder das Dilatanzkriterium oder

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 21

die im maßgebenden Bereich niedriger Spannungen lineare Approximation des Dilatanzkriteriums nach Hunsche gemäß Gl. (1) herangezogen. Die lineare Approximation weist ebenfalls die funktionale Form der Drucker-Prager Bedingung nach Gl. (3) auf, allerdings beträgt der Wert  $\alpha = 1/(2\sqrt{3}) \approx 0,2887$ , der Wert  $k = 0,0$  wird beibehalten. Auch hierbei wird überprüft, ob sich der Spannungszustand in Richtung günstigerer Werte verändert. Allerdings ist dies im Hinblick auf die Bauzustände nur für den Zeitraum nachzuweisen, für den das Tragelement entweder aus Gründen der Standicherheit des gesamten Hohlraumsystems bzw. der Barrieren oder aus der Notwendigkeit des Arbeitsschutzes erforderlich ist. Im letzteren Fall ist die Berücksichtigung des Zeitverlaufs von thermischer Expansion und Kontraktion in die Bewertung einzubeziehen, so dass die Lastpfadkontrolle ggf. nur über einen sehr begrenzten Zeitraum erfolgt. So ist es zum Beispiel gleichgültig, ob eine Schweben ihren Zustand infolge thermischer Kontraktion wieder verschlechtert, was durch einen ungünstigen Lastpfad im Festigkeitskriterium beschrieben wird, wenn sie als Tragelement nicht mehr benötigt wird. Deshalb ist gerade bei der Bewertung der Bauzustände der Zeitverlauf zu berücksichtigen.

Der Nachweis der Zustandsverbesserung ist beim Fehlen von lokalen Bruchkörpern hinreichend für den Sicherheitsnachweis, da sich das ERAM derzeit bei Beachtung bergmännischer Sicherheitsmaßnahmen offensichtlich in einem sicheren Zustand befindet. Bei Versatzmaterialien, die keine Hydratationswärme entwickeln, ist der Nachweis der Zustandsverbesserung für die Tragelemente Schweben und Pfeiler sowie die Kontur der Grubenbaue auch ohne numerische Berechnung i. d. Regel automatisch geführt, da durch das Einspannen der Kontur durch den Versatz, und damit Überführung in den triaxialen Zustand, ein zustandsverbessernder Lastpfad automatisch gegeben ist. Das gilt sowohl für intaktes als auch für geschädigtes Gestein. Eine Ausnahme könnten nur sehr schlanke Schweben und Pfeiler darstellen, wenn auf der vom Versatz abgewandten Seite infolge des Versatzes sich die Spannungen in Richtung Zug verlagern. Dieser Fall wird gesondert betrachtet und ggf. durch technisch-organisatorische Maßnahmen beherrscht.

Die Eigenschaften des Verfüllmaterials sowie die Eigentragfähigkeit der Versatzkörper gehen in die Untersuchung der Bauzustände ebenfalls ein. Die Versatzmaterialien werden geeignet gewählt. Deshalb wird auf sie an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Es ist lediglich zu beachten, dass je nach Art des Versatzmaterials neben den mechanischen Lasten aus Eigengewicht auch thermische Lasten und die gegenseitige thermomechanische Beeinflussung zu berücksichtigen sind.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

### 3.5 Einzelfallbetrachtungen zur Arbeitssicherheit

In dem Fall, dass auf Basis der allgemeinen Einschätzung, der Wirtsgesteinsuntersuchungen und der Berechnungsergebnisse die Arbeitssicherheit nicht gewährleistet werden kann, werden die Berechnungsergebnisse in Zusammenhang mit In-situ-Befunden (Vorhandensein von statisch relevanten Trennflächen und Trennflächensystemen) im Hinblick auf den Arbeitsschutz erneut bewertet.

Die Einzelfallbetrachtungen beziehen sich auf die Identifikation von potenziell kinematisch verschieblichen Teilsystemen (Bruchkörpern) sowie auf Tragelemente, für die bedingt durch lokale bzw. zonale Überschreitung von Bemessungswerten im ersten Schritt kein hinreichendes Sicherheitsniveau für Tragfähigkeit ausgewiesen werden kann. Das Sicherheitsniveau für Tragfähigkeit wird charakterisiert durch die lokale bzw. zonale Überschreitung von Bemessungswerten, charakteristischen Werten und Mittelwerten, vgl. Kapitel 3.4.3, sowie der Schadensverträglichkeit des Tragwerks. In Abhängigkeit des ausgewiesenen Sicherheitsniveaus für Tragfähigkeit und der arbeitssicherheitlichen Anforderungen werden abgestuft geeignete zusätzliche Sicherheitselemente bestimmt, die auf der Beobachtungsmethode /1/ sowie technisch-organisatorischen Maßnahmen beruhen. Die technisch-organisatorischen Maßnahmen sind im Rahmen eines Konzepts von Vorsorgemaßnahmen beschrieben und es ist systematisch gezeigt, dass durch die zusätzlichen Sicherheitselemente eine angemessene Arbeitssicherheit gewährleistet ist /6/.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

#### 4 Stabiler Endzustand

##### 4.1 Vorbemerkungen zum stabilen Endzustand

Der Nachweis des stabilen Endzustandes beinhaltet, dass die Prognose zu den Bauzuständen für einen signifikanten Zeitraum weitergeführt wird. Der Nachweis wird einmal für das trockene Endlager geführt, weil in diesem Fall kein zusätzlich stabilisierender Laugendruck vorhanden ist und damit der stabile Endzustand nur durch die Kombination von Gebirge und Versatzkörper zu gewährleisten ist. Ein weiteres Mal wird der Nachweis für das zugelaufene Endlager geführt, wobei ausschließlich der Laugendruck als stabilisierend betrachtet wird und kein Ansatz für die stabilisierende Wirkung des Versatzmaterials erfolgt.

##### 4.2 Nachweise für den stabilen Endzustand

Es sind folgende Nachweise rechnerisch zu führen:

(1) Nachweis der Begrenzung der Verformungen der Tagesoberfläche unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums. Alternativ dazu ist die Begrenzung der Schiefstellungsrate von Gebäuden möglich

(2) Nachweis einer ausreichend dicken Salzbarriere für nicht zutrittsgefährdete Grubenbaue

Weiterhin ist die Erfüllung nachstehender Kriterien wünschenswert, wenn auch nicht notwendig, da Zutritte in zutrittsgefährdeten Abbauen im radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis behandelt werden. Bei Erfüllung der nachstehenden Kriterien nimmt jedoch die Wahrscheinlichkeit erhöhter Zutrittsraten in das Endlager ab und damit das Risiko einer potenziellen Strahlenbelastung.

(3) Nachweis des Erhalts der vorhandenen Barrierenintegrität für zutrittsgefährdete Grubenbaue aus geomechanischer Sicht

(4) Nachweis der Unterschreitung der Bruchgrenze des Anhydrits oder der Zustandsverbesserung des Anhydrits gegenüber dem heutigen Zustand über die Lastpfadkontrolle des lokalen Festigkeitskriteriums

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

#### 4.3 Nachweismethoden für den Endzustand

Der Nachweis des stabilen Endzustandes wird rechnerisch erbracht. Für den rechnerischen Nachweis werden numerische Berechnungsverfahren eingesetzt, siehe dazu auch Kapitel 3.3.

Zum Abbau von Konservativitäten im Nachweisverfahren ist für den Teilaspekt der Senkung der Tagesoberfläche und der daraus resultierenden Schiefstellung der Einsatz analytischer Verfahren auf statistischer Basis wie das polnische Verfahren oder das RAG-Verfahren denkbar. Eine zusammenfassende Darstellung der beiden vorgenannten Verfahren findet sich in /20/. Ein weiteres vergleichbares Verfahren basierend auf dem Rechenmodell nach Wieland /21/ wurde zur Beurteilung der Abbaueinwirkungen im Deckgebirge über der Grube Konrad genutzt.

Durch die numerischen Berechnungen werden Zustandsgrößen des Systems, Spannungen und Verzerrungen, für den Zeitraum bis zum stabilen Endzustand ermittelt. Bei Anwendung der analytischen bzw. statistischen Verfahren wird die Setzungsmulde im Endzustand direkt bestimmt. Diese Zustandsgrößen bzw. die Setzungsmulde sind mit Hilfe eines Maßstabes zu bewerten, der die Entscheidung ermöglicht, ob Sicherheit gegeben ist oder nicht. Des Weiteren sind behördlich festgesetzte Grenzwerte zu beachten.

#### 4.4 Nachweiskriterien für den stabilen Endzustand

Für den stabilen Endzustand gelten analoge, aber weniger Nachweiskriterien als für die Bauzustände, da die Gesichtspunkte Arbeitsschutz und Hydratationswärmeentwicklung keinen Einfluss mehr haben. Die verbleibenden Nachweiskriterien sind nachstehend zusammengestellt.

##### 4.4.1 Schutz der Tagesoberfläche

###### Stabiler Endzustand: Kriterien zu Nachweis (1)

Im Zusammenhang mit den Modellrechnungen zum Nachweis des Schutzes der Salzbarriere im Betrachtungszeitraum wird im ersten Schritt geprüft, ob der Grenzwert für die Senkung der Tagesoberfläche von 1 m, für den gemäß /11/ keine UVP erforderlich ist, eingehalten wird, wobei als Zeitpunkt des Beginns der Senkung der Beginn der Stilllegungsmaßnahme angesetzt wird. Wird eine Senkung dieser Größenordnung rechnerisch innerhalb des Betrachtungszeitraums nicht überschritten, ist damit der Nachweis des Schutzes der Tagesoberfläche bergrechtlich erbracht. Eine alternative Möglichkeit besteht darin, die Schiefstellung von Gebäuden gemäß Kapitel 3.4.1 als eine Schiefstellungsrate pro 100 Jahre zu interpretieren und diese rechnerisch

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

über die Neigung der Setzungmulde zu kontrollieren. Damit ergibt sich eine Schiefstellungsrate von 1/300 pro 100 Jahre. Im Grenzfall sehr kleiner  $I_i$  (Abbildung 3.4-1) entspricht dieser Wert gerade der maximalen Neigung (dem maximalen Gradienten) der Setzungmulde. Durch Einhaltung des Grenzwertes für die Schiefstellungsrate wird sichergestellt, dass auch nachfolgende Generationen dort Bauwerke errichten können.

#### 4.4.2 Barrierenintegrität

##### Stabiler Endzustand: Kriterium zu Nachweis (2)

Die Sicherheit nicht zutrittsgefährdeter Abbaue wird automatisch durch die Einhaltung von Sicherheitsabständen gewährleistet, vgl. Kapitel 3.4.2 Kriterium zu Nachweis (3).

##### Stabiler Endzustand: Kriterium zu Nachweis (3)

Analog zu den Bauzuständen lässt sich die Integrität der Salzbarriere zutrittsgefährdeter Abbaue mit dem Dilatanzkriterium Gl. (1) oder dem Fluidkriterium Gl. (2) bewerten. Diese werden auf die Salzbarriere zutrittsgefährdeter Abbaue angewandt und es wird gezeigt, dass keine nennenswerte Aufweitung dilatanter Zonen erfolgt oder die Zonen, in denen das Fluidkriterium nicht erfüllt ist, sich nicht vergrößern. Begleitend wird die Vergleichsverzerrung überprüft.

##### Stabiler Endzustand: Kriterium zu Nachweis (4)

In den Bereichen des ERAM in denen der Anhydrit bis an den Salzspiegel reicht, ist es wünschenswert, die Schaffung neuer Wegsamkeiten zu vermeiden. Zu dem Zweck lässt sich der rechnerische Spannungszustand in der obersten Anhydritscholle kontrollieren. Es lässt sich für den gesamten Betrachtungszeitraum überprüfen, ob Bedingungen für Bruch gegeben sind und/oder eine Zustandsverbesserung gegenüber dem derzeitigen Zustand erreicht wird, da sich das ERAM bei Beachtung bergmännischer Sicherheitsmaßnahmen derzeit offensichtlich in einem sicheren Zustand befindet (vgl. Kapitel 3.4.2).

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 26

**5      **Verwendete Unterlagen****

- /1/      DIN 1054  
Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau; Januar 2005
  
- /2/      DIN EN 1997-1  
Eurocode 7, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1; Allgemeine Regeln, Deutsche Fassung EN 1997-1: 2004, Oktober 2005
  
- /3/      DIN 1055-100  
Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung. Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln; März 2001
  
- /4/      DIN EN 1990  
Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Teil 1: Deutsche Fassung EN 1990: 2002, Oktober 2002
  
- /5/      SIA  
Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken, Dokumentation 260, N 5148-11, 1982
  
- /6/      DBE  
Konzept von Vorsorgemaßnahmen für die Stilllegung, Stand 15.12.2005
  
- /7/      DBV  
Merkblatt: Beton für massige Bauteile, Fassung Oktober 1996
  
- /8/      DBV  
Sachstandsbericht: Beschränkung von Temperaturrissen im Beton, Fassung Oktober 1996
  
- /9/      Swanson Analysis Systems  
ANSYS User`s Manuals, Houston, 1992
  
- /10/     Itasca Consultants  
FLAC Handbücher, Minnesota, USA, 1997
  
- /11/     Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau) vom 13.07.1990, zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung zur Änderungen bergrechtlicher Verordnungen vom 10.08.1998

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 27

- /12/ Schneider, K.-J.  
Bautabellen für Ingenieure mit europäischen und nationalen Vorschriften, Werner Verlag, 11. Auflage 1994
- /13/ Cristescu, N.D., Hunsche, U.  
Time Effects in Rock Mechanics, Wiley & Sons, 1998
- /14/ BGR  
Projekt ERA Morsleben: Szenarienanalyse - Geologische Langzeitbewertung und Ermittlung der Zuflussszenarien ohne technische Maßnahmen, 1999
- /15/ Stockmann  
Beitrag zur Untersuchung geomechanischer Probleme bei der Einführung verlustarmer Abbauverfahren im Südharz-Kalirevier der DDR, Dissertation, Freiberg, 1983
- /16/ BGR  
ERA Morsleben, Untertägige Temperaturmessungen im Rahmen der geowissenschaftlichen Standorterkundung des Endlagers für radioaktive Abfälle in Morsleben, Archiv-Nr. 116704, Tgb.-Nr. 10506/98, 1998
- /17/ BGR  
Projekt Morsleben: Festigkeitsmechanische Untersuchungen an Bohrkernen (Darstellung der Einzelergebnisse), Archiv Nr. 117 221, Tgb.-Nr. 10742/98, 1998
- /18/ Düsterloh, U.  
Bericht der sachverständigen Prüfung auf dem Gebiet der Gebirgsmechanik im Auftrag des Bergamtes Staßfurt (Az. 34560/Abbau 1a), Anlagenband, Endlager für radioaktive Abfälle (ERAM), Gebirgsmechanische Beurteilung zur Standicherheit von Abbau 1a im Zentralfeld des ERA Morsleben, Professur für Deponietechnik und Geomechanik, TU Clausthal, 1999
- /19/ BGR  
ERA Morsleben - Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere in der Schachtanlage Bartensleben, Archiv-Nr.: 0120259, Tgb.-Nr.: 11118100, 2000
- /20/ Hou, Z.  
Untersuchungen zum Nachweis der Standicherheit für Untertagedeponien im Salzgebirge, Schriftenreihe der Professur für Deponietechnik und Geomechanik - Institut für Aufbereitung und Deponietechnik, TU Clausthal, Heft 9, 1997

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

/21/ Wieland, R.:  
Ein Verfahren zur Senkungsvorausberechnung über Abbauen in flachgelagerten Flözen auch unter Berücksichtigung der Besonderheiten eines durchbauten Gebirgskörpers, Dissertation, Aachen 1984

ERA  
Morsleben

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

## 6 Glossar

<b>Abbau:</b>	Bezeichnung für einen durch bergmännische Tätigkeiten bei der Gewinnung von Kali- oder Steinsalz hergestellten Hohlraum
<b>Anhydrit:</b>	Mineral und Gestein $\text{CaSO}_4$
<b>Auffahren (Auffahrung):</b>	Herstellen einer söhligem oder geneigten Strecke oder eines anderen Grubenbaus
<b>Barrieren, geologische:</b>	Geologische Gegebenheiten zur Verhinderung von unzulässigen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen (z. B. Endlagerformationen, Nebengestein, Deckgebirge)
<b>Bauzustand:</b>	Zustand, der während der Baumaßnahme temporär auftritt
<b>Bemessungswert:</b>	Der Wert, der sich durch Verknüpfung des repräsentativen Wertes mit dem Teilsicherheitsbeiwert ergibt. Man unterscheidet z.B. Bemessungswerte für Einwirkungen, Materialeigenschaften und geometrische Eigenschaften
<b>Beobachtungsmethode:</b>	Verfahren, das auf Beobachtungen und Messungen an einem Tragwerk beruht. Die Beobachtungsmethode kann zum Nachweis der Sicherheit von Tragsystemen unterstützend herangezogen werden
<b>Bruchkörper:</b>	Gesteinskörper, der durch Trennflächen vom übrigen Gesteinverband getrennt ist
<b>Deckgebirge:</b>	Die Lagerstätte überdeckende Gebirgsschichten
<b>Deviator:</b>	Mathematische Größe; ein Tensor, in dem der hydrostatische Anteil abgespalten ist
<b>Dilatanz:</b>	Volumenvergrößerung eines Körpers in Folge von mikrostrukturellen Änderungen wie Phasenumwandlungen oder Rissbildung
<b>Dilatanzkriterium:</b>	Grenzbedingung für das Auftreten von mikroskopischen Rissen, die zur Volumenvergrößerung und über Risswachstum innerhalb eines langen Zeitraums zum Versagensfall Bruch führen
<b>Diskretisierung:</b>	Mathematische Beschreibung eines räumlich zusammenhängenden Systems (Kontinuums) durch räumlich beschränkte Gebiete

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	



Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

- Diskretisierungsverfahren:** Berechnungsverfahren, das auf der Zerlegung eines räumlich zusammenhängenden Gebietes (Kontinuum) in räumlich beschränkte Gebiete basiert
- Druckfestigkeit:** Festigkeit eines Materials unter Druckbeanspruchung
- Eintrittswahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses im statistischen Sinne
- Elastizität:** Eigenschaften eines Stoffes nach einer Belastung und anschließender Entlastung wieder seine ursprüngliche Form anzunehmen. Die Geschwindigkeit der Lastaufbringung kann gering (statisch) oder hoch (dynamisch) sein
- Endzustand, stabiler:** Zustand eines (Trag)systems, in dem sich sein Zustand im Betrachtungszeitraum nicht mehr verschlechtert
- Ereignisse:** Jegliche spontane Veränderungen von kurzer Dauer, wie das Einsetzen oder Aufhören von Prozessen, oder auch von Vorgängen (z.B. Erdbeben etc.)
- Finite Elemente:** Spezielles Diskretisierungsverfahren
- Finite Differenzen:** Spezielles Diskretisierungsverfahren
- Firstfall:** Herabfallen von Gesteinsmaterial aus der Firste
- Flugasche:** (Filterasche) Feinkörniges Material, das hauptsächlich aus kugelförmigen, glasigen Partikeln besteht und bei der Verbrennung von Kohle anfällt
- Fluidkriterium:** Grenzbedingung für das Öffnen von Rissen bei Fluiddruck
- Frischbeton:** Beton, der fertig gemischt ist und sich in einem verarbeitbaren Zustand befindet
- Gebirge:** Komplexbezeichnung aller um das Grubengebäude herum anstehender Schichten
- Gefahr:** Potenziell schadenauslösendes Ereignis oder potenziell schadenauslösender Zustand
- Grubenbau:** Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum unter Tage
- Grundwasserneubildung:** Zugang von in den Boden infiltriertem Wasser zum Grundwasser (Niederschlagsmenge abzüglich Abfluss und Verdunstung)

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

- Hauptspannung:** In jedem Punkt eines belasteten Körpers gibt es drei ausgezeichnete, aufeinander senkrecht stehende Schnittebenen, in denen die Schubspannungen verschwinden und zwei der Normalspannungen Extremwerte erreichen; in diesem Falle werden die Normalspannungen Hauptspannungen  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  genannt.
- Hauptverzerrung:** Werte des Verzerrungstensors nach Hauptachsentransformation
- Hydratationswärme:** Wärme, die als Folge exothermer Mineralreaktionen der Bindemittel (z. B. Zement, Flugasche) mit der Anmischflüssigkeit freigesetzt wird
- Kalilagerteil:** Bezeichnung für durch tektonische Vorgänge separiertes Teil des Kaliflözes
- Kontur:** Umriss(linie)
- Konvergenz, bergmännische:** Natürlicher Prozess der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung aufgrund des Gebirgsdrucks
- Kriechbruch:** Bruch, der in Folge dissipativer Prozesse bei Kriechvorgängen auftritt
- Kurzzeitbruchfestigkeit:** Festigkeit gegenüber Bruch im Kurzzeitversuch
- Kurzzeitbruchfestigkeitskriterium:** Grenzbedingung für die Bruchfestigkeit im Kurzzeitversuch
- Lode-Parameter:** Einheitenfreier Parameter zur Kennzeichnung des Verhältnisses von Spannungskomponenten
- Löser:** Gesteinsmasse, die in Folge von Trennflächen  
1. herabgefallen ist (gefallener Löser)  
2. möglicherweise herabfällt (hängender Löser)
- Mittelwert:** Summe einzelner Messwerte dividiert durch die Anzahl der Messwerte
- Permeationsbarriere:** Widerstand gegen das Durchdringen von Fluiden. Die Wirkung beruht auf einer geringen Permeabilität
- Pfeiler:** Für eine bestimmte Zeit zur Sicherheit von Grubenbauen oder der Tagesoberfläche stehen bleibender Lagerstätten- teil, der später abgebaut werden kann

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

<b>potenziell zutrittsgefährdete Grubenbaue:</b>	Grubenbaue, deren verbleibende intakte Salzscheibe zu lösungsführenden Strukturen im Hutgestein oder zum grundwasserführenden Nebengebirge nicht ausreicht, einen durch fortschreitende Auflockerung oder Salzlösung entstehenden Zufluss von Grundwasser auszuschließen. Auch Grubenbaue mit einem unzureichenden Abstand von potenziell lösungsführenden Gesteinsschichten innerhalb der Salzstruktur, die das grundwasserführende Deckgebirge erreichen, gelten als potenziell zutrittsgefährdet.
<b>Prozesse:</b>	Veränderung der Zustände von Systemen, die entweder direkt zu beobachten und zu messen sind oder hypothetisch erschlossen werden können und mit gleichbleibender oder unterschiedlicher Geschwindigkeit über länger Zeiträume ablaufen (z.B. Epirogenese, Bildung von Korrosionsgasen, Entstehung von Kaltzeiten, etc.). Prozesse unterliegen bestimmten Wirkungskräften und -mechanismen. Sie können Ereignisse auslösen
<b>Rekristallisationsprozess:</b>	Umbildungsprozess von Kristallen
<b>Risiko:</b>	Erwartungswert eines Schadens (Eintrittswahrscheinlichkeit x Auswirkung)
<b>Salzbarriere:</b>	Geologische Gegebenheit aus Salz zur Verhinderung von unzulässigen Freisetzungen
<b>Salzspiegel:</b>	Obere Grenzfläche diapirischer Salzkörper oder flach gelagerter Salzgesteine etwa parallel zum Grundwasserspiegel, entstanden durch flächenhafte Lösung des Salzgesteins
<b>Schadensverträglichkeit:</b>	Bezeichnung für ein Tragwerk, dessen Versagen sich durch deutliche Schäden an Tragwerk vorankündigt
<b>Scheibe:</b>	Teil des Gebirges, der einen Grubenraum in der Firste zu einem darüber liegenden Grubenraum hin abschließt
<b>Sicherheitsanalyse, thermo-mechanische:</b>	Berechnungen und Untersuchungen möglicher Zustände, die zum Verlust der Standicherheit oder Integrität führen können
<b>Sicherheitsbefahrung:</b>	Befahrung abgeworfener Grubenbaue zur visuellen Kontrolle (Beobachtungsmethode)
<b>Sicherheitsniveau:</b>	Zahlenwert, der als Maßstab für die (nachweisbare) Sicherheit verwendet wird

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 33

<b>Spaltzugfestigkeit:</b>	Zugfestigkeit, die bei spezieller Versuchsanordnung (Spaltzugversuch) ermittelt wird
<b>Spannung:</b>	Unter Spannung versteht man die auf die Flächeneinheit bezogenen inneren Kräfte eines Körpers. Man unterscheidet Normalspannungen (senkrecht auf die Schnittfläche wirkende Druck- oder Zugspannungen) und Schubspannungen (parallel zur Schnittfläche wirkende Spannungen).
<b>Steinsalz</b>	Salzmineral, NaCl, Halit
<b>Stilllegung:</b>	Alle Maßnahmen zum Sichern des Bergwerkes nach Einstellung des Betriebes
<b>Subrosionsrate:</b>	Geschwindigkeit von diffusiv gesteuerter chemischer Lösung von Steinsalzfolgen, vorzugsweise am Salzspiegel
<b>Teilsicherheitsbeiwert:</b>	Sicherheitsbeiwert zur Anwendung auf einzelne Kenngrößen eines Tragwerkes (z. B. Einwirkungen und Widerstände)
<b>Teilsystem, kinematisch verschieblich:</b>	Verschiebliches statisches Teilsystem
<b>Tensor:</b>	Mathematische Form (Multilinearform) zur Beschreibung des physikalischen Zustandes oder der physikalischen Eigenschaft eines Raumpunktes: Z. B. ist Temperatur als skalare Größe ein Tensor nullter Stufe, Verschiebung als vektorielle Größe ein Tensor erster Stufe, Spannung und Verzerrung sind Tensoren zweiter Stufe und ein mechanisches Stoffgesetz ein Tensor vierter Stufe
<b>Teufe:</b>	Tiefenlage unter der Tagesoberfläche
<b>Tragwerk:</b>	Anordnung miteinander verbundener Tragelemente (Bauteile), die ein bestimmtes Maß an Tragwiderstand aufweisen
<b>Trennfläche, statisch relevante:</b>	Fläche mit sprunghafter Änderung der Materialeigenschaften, die sich auf das Tragverhalten auswirken
<b>Verfüllen:</b>	Einbringen von Versatz in Grubenbaue
<b>Vergleichsverzerrung:</b>	Skalares Maß zur Bewertung von Verzerrungszuständen
<b>Versatz:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Material für die Verfüllung oder Stützung von Gruben Hohlräumen</li> <li>2. Verfüllung eines Grubenbaus (Versetzen)</li> </ol>

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M	22343021		W			GH	BZ	0004	03	

Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die  
Maßnahmen der Stilllegung (Standicherheit und Integrität)

Blatt: 34

- Verzerrung:** Änderung von Längen- und Winkelgrößen eines Körpers in Folge von Formänderungen des Körpers
- Wert, charakteristischer:** Wichtiger repräsentativer Wert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht erreicht bzw. nicht überschritten wird. Man unterscheidet z.B. charakteristische Werte für Einwirkungen, Materialeigenschaften und geometrische Eigenschaften
- Wetter:** Grubenluft
- Wettertemperatur:** Temperatur der Grubenluft
- Zement:** Hydraulisches Bindemittel. Anorganischer, fein aufbereiteter Stoff, der infolge chemisch-mineralogischer Reaktionen mit der Anmachflüssigkeit dauerhaft erhärtet
- Zugfestigkeit:** Festigkeit eines Materials unter Zugbeanspruchung
- Zustände:** Gesamtheit von Parametern, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes System charakterisieren
- Zustandsgröße:** Größe (Parameter), die zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes System charakterisiert