

Arbeitsgruppe Morsleben (AG Morsleben)

**Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung des ERA Morsleben  
Prüfkomplex 7 - "Verfüllen und Verschließen von Strecken", Teil 3**

**1. Zwischenbericht: Prüfbericht zu Unterlage I-523:**

**"Vertiefte Nachweisführung Abdichtungsbauwerk im Steinsalz,  
Ostquerschlag zwischen Kalilager E und Ostfeld, 2. Sohle  
(03AHB01)"**

**Auftraggeber:** Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt  
des Landes Sachsen-Anhalt  
Rahmenvertrag Reg.-Nr. 29/02/1998  
Einzelauftrag Reg.-Nr. 16/02/2013

**Auftragnehmer:** IHU Geologie und Analytik GmbH  
Dr.-Kurt-Schumacher-Straße 23  
39576 Stendal

Der Sachstandsbericht umfasst 55 Seiten

**Datum:** 19.09.2013

**Unterschrift:** .....  
(Dr. U. Stahl)

Die Stellungnahme wurde im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) erstellt. Das MLU behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des MLU zitiert, vervielfältigt oder Dritten zugänglich gemacht werden. Der Bericht gibt die Meinung und Ansicht der Verfasser wider, diese muss nicht in jedem Falle mit der Meinung des MLU übereinstimmen.

**Erklärung:**

Die Unterzeichnenden versichern, die Stellungnahme unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen frei von Ergebnisanweisungen erstellt zu haben.

**Datum:** September 2013

**Unterschrift:**

.....  
(Dr. rer. nat. U. Stahl)

Mitglieder der Arbeitsgruppe Morsleben:

IHU Geologie und Analytik  
Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH  
Dr.-Kurt-Schumacher-Straße 23  
39576 Stendal

TU Clausthal  
Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik  
Erzstraße 20  
38678 Clausthal-Zellerfeld

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Gegenstand der Prüfung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grundsätzlicher Sachstand und Methodik der Prüfung</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Bewertung des Nachweiskonzeptes und der Ergebnisdokumentation</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Detaillierte Anmerkungen zur Bewertung der Nachweisführung</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Bewertung Lokationsbericht - I505 bzw. Anlage 1 zu I523</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Bewertung Baubeschreibung - P524 bzw. Anlage 2 zu I523</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Verzeichnis der Quellen</b>	<b>52</b>
<b>7.1</b>	<b>Verfahrensunterlagen</b>	<b>52</b>
<b>7.2</b>	<b>Sonstige Literatur</b>	<b>54</b>
<b>7.3</b>	<b>Fachgespräche und Befahrungen</b>	<b>55</b>

## 1 Veranlassung und Gegenstand der Prüfung

Zur Planfeststellung des Stilllegungsbetriebes legt das Bundesamt für Strahlenschutz Unterlagen vor, welche den Gegenstand des Vorhabens beschreiben und die Voraussetzungen für die Planfeststellung nachweisen sollen. Von der Planfeststellungsbehörde (MLU Sachsen-Anhalt) werden diese Unterlagen in so genannte Prüfkomplesse gebündelt, um der Komplexität des Vorhabens gerecht zu werden. Im Prüfkomples 7 „Verfüllen und Verschließen von Strecken“ werden dabei die Unterlagen zur Errichtung von horizontalen Streckenabdichtungen im Steinsalz und im Anhydrit sowie die Unterlagen zur Abdichtung von Bohrungen und Rolllöchern zusammengefasst.

Das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) forderte die Arbeitsgemeinschaft Morsleben, vertreten durch das Ingenieurbüro IHU Geologie und Analytik GmbH, erstmalig mit Schreiben vom 11.04.2008 auf, ein Angebot für die Prüfung der durch das Bundesamt für Strahlenschutz im Prüfkomples „Verfüllen und Verschließen von Strecken“ (Prüfkomples PK7) eingereichten Unterlagen vorzulegen. Das Angebot der AG Morsleben wurde entsprechend den Anmerkungen des MLU vom 22.07.2008, 16.09.2008 und 20.11.2008 überarbeitet und mit Datum vom 16.12.08 beauftragt. Neben den Mitgliedern der AG Morsleben wurde die Firma Brenk Systemplanung als Unterauftragnehmer eingebunden, um die Auswirkungen der Funktion der Streckenverschlüsse beim Langzeitsicherheitskonzept umfassend berücksichtigen zu können. Inhaltlicher Gegenstand der so genannten 1. Phase der Prüfung (Verfüllen und Verschließen von Strecken, Teil 1) war die Prüfung der vom AS vorgelegten Unterlagen auf Konsistenz und Plausibilität. Die erste Phase des Prüfungskomplexes 7 wurde mit dem Prüfbericht [L01] vom 26.04.2010 und dem Fachgespräch vom 18.06.2010 [F01] abgeschlossen.

Mit Datum vom 01.12.2010 erfolgte durch das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) die Beauftragung der 2. Prüfungsphase im Prüfkomples 7 „Verfüllen und Verschließen von Strecken“. Die Beauftragung erfolgte erneut an die Arbeitsgemeinschaft Morsleben, vertreten durch das Ingenieurbüro IHU Geologie und Analytik GmbH unter Einbindung der Firma Brenk Systemplanung als Unterauftragnehmer, um die Auswirkungen der Funktion der Streckenverschlüsse beim Langzeitsicherheitskonzept umfassend berücksichtigen zu können. Wesentliche inhaltliche Gegenstände der 2. Phase der Prüfung (Verfüllen und Verschließen von Strecken, Teil 2) waren:

1. Rechnerische Prüfung der vorliegenden Nachweisführungen (Verifikationsberechnungen, unabhängige Einschätzung von Standsicherheit und Dichtheit);
2. Begleitende Prüfung der In-situ-Versuche des BfS zu den Streckenabdichtungen (Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung, laborative Untersuchungen, begleitende rechnerische Untersuchungen);

### 3. Fortführung der Prüfung zu den Einflussfaktoren auf die Streckenverschlüsse;

Die zweite Phase des Prüfungskomplexes 7 wurde mit dem Prüfbericht [L02] vom 22.12.2012 und dem Fachgespräch vom 07.02.2012 [F02] abgeschlossen.

Der vorliegende 1. Zwischenbericht - Prüfbericht zur Unterlage I-523 ist Bestandteil der so genannten 3. Prüfungsphase im Prüfkomplex 7 „Verfüllen und Verschließen von Strecken“. Die Beauftragung erfolgte mit Datum vom 11.03.2013 durch das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) an die AG Morsleben, vertreten durch das Ingenieurbüro IHU Geologie und Analytik GmbH, auf Grundlage des Angebotes vom 13.11.2012 und beinhaltet ausschließlich eine Prüfung der vertiefenden Planungen für die Abdichtungen im Steinsalz. Art und Umfang der weiteren Prüfungen zu den Abdichtungen im Hauptanhydrit waren bei Vertragsabschluss noch nicht kalkulierbar, da noch kein Konzept bzgl. der weiteren Vorgehensweise vom AS vorgelegt worden war. Übergeordnetes Ziel von Prüfungsphase 3 ist es gemäß Ausführung im Angebot zu beurteilen, ob die vom AS dokumentierten vertiefenden Planungen zur konstruktiven und bautechnischen Gestaltung der Abdichtungsbauwerke dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen bzw. ob und ggf. welche Defizite bestehen. Hierzu im Einzelnen zu beantworten sind Fragestellungen zur

- Konsistenz mit den bisher vorgelegten Verfahrensunterlagen,
- Machbarkeit der konstruktiven Maßnahmen der Baubeschreibungen,
- Berücksichtigung der Erfahrungen und Ergebnisse des In-Situ-Versuchs,
- Eignung der Streckenabdichtungen, die in den Sicherheitsanalysen definierten Anforderungen zu erfüllen,
- Vollständigkeit der Nachweisführung zur Dichtwirkung der Verschlussbauwerke,
- Eignung der verwendeten Nachweiskriterien,
- Nachweisführung hinsichtlich der Abbildung der in situ Situation im Berechnungsmodell (Berechnungsverfahren, Stoffmodelle, Stoffmodellkennwerte, Lastfälle, Einwirkungen, etc.),
- Übertragbarkeit der Nachweisführungen der Referenzstandorte auf die Gesamtheit der Lokationen und
- zu Umfang, Art und Eignung experimenteller Untersuchungen zur Quantifizierung der Materialeigenschaften des Verbundsystems "Abdichtungsbauwerk-Gebirge".

Ausdrücklich darauf hinzuweisen ist, dass sich die mit Prüfungsphase 3 beauftragten Arbeiten auf eine Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung der vertiefenden Planungen für die Abdichtungsbauwerke im Steinsalz beschränken, d.h. eine rechnerische Prüfung der vertiefenden Planungen im Rahmen von Prüfungsphase 3 nicht erfolgt. Entsprechend den Ausführungen im Angebot zu Prüfungsphase 3 ist die inhaltliche Bearbeitung des Prüfungsauftrages insgesamt charakterisiert durch die Positionen

- Prüfung der Lokationsberichte,
- Prüfung der Baubeschreibungen,
- Prüfung der Nachweisführungen für die Referenzstandorte,
- Prüfung der Übertragung der Nachweisführungen für die Referenzstandorte auf die einzelnen Bauwerksstandorte,
- Prüfung der vertiefenden Planungen in Bezug auf ihre Berücksichtigung in der Langzeitsicherheitsanalyse sowie
- Dokumentation, Bewertung und Berichtslegung.

**Ungeachtet der durch die vorstehend genannten Positionen definierten Struktur der insgesamt im Rahmen von Prüfungsphase 3 zu beantwortenden Fragestellungen ist die inhaltliche Zielstellung des vorliegenden 1. Zwischenberichtes beschränkt auf:**

- (1) Prüfung der Unterlage I-523 "Vertiefte Nachweisführung Abdichtungsbauwerk im Steinsalz - Ostquerschlag zwischen Kalilager E und Ostfeld, 2. Sohle (03AHB01)" bzgl. ihrer grundsätzlichen Eignung, hinsichtlich Konzept, Struktur, Systematik, Inhalt und Darstellung die Erwartungen bzw. Anforderungen der Prüfer dahingehend zu erfüllen, dass sie als Vorlage für die Nachweisführung der insgesamt 21 Abdichtungsstandorte im Steinsalz (→ 21 Einzelnachweise) verwendet werden kann;**
- (2) Zusammenstellung der im Sinne einer ersten Durchsicht erkannten Unschärfen, Kritikpunkte und/oder Defizite, die nach Einschätzung der Prüfer einer Überarbeitung bzw. Ergänzung bedürfen.**

**Unter Bezug auf die Erörterung im [FG 03] weiterhin darauf hinzuweisen ist, dass die Ergebnisdarstellung im vorliegenden 1. Zwischenbericht im Sinne einer Kurzstellungnahme erfolgt, d.h. ausdrücklich nicht den Anspruch erhebt, den Anforderungen der Rahmenrichtlinie über die Gestaltung von Sachverständigengutachten in atomrechtlichen Verwaltungsverfahren zu entsprechen.**

## 2 Grundsätzlicher Sachstand und Methodik der Prüfung

Eine Prüfung der mit [U01] bis [U15] durch den AS eingereichten Unterlagen zum Verfüllen und Verschließen von Strecken auf Plausibilität und Konsistenz erfolgte durch die AG Morsleben mit Vorlage des Prüfberichtes [L01]. Er beinhaltet die Ergebnisse der Prüfung für die temporären Streckenabdichtungen (Kap. 4), die Verschlussbauwerke im Steinsalz (Kap. 5), das In-Situ-Verschlussbauwerk (Kap.6), das Verschlussbauwerk im Hauptanhydrit (Kap.7) und die Abdichtung von Bohrungen (Kap. 9). Die Konsistenzprüfung erfolgte unter Berücksichtigung der sonstigen relevanten Verfahrensunterlagen und insbesondere auch des „Plans zur Stilllegung des ERAM“, Stand 31.03.2009, A 281 [U16]. Von besonderer Relevanz für die im vorliegenden 1. Zwischenbericht zur Prüfung der vertiefenden Planungen für das Abdichtungsbauwerk 03HAB01 im Steinsalz zu beantwortenden Fragestellungen sind die Ausführungen in den Kapiteln 5, 6 und 9 des Prüfberichtes [L01]. Wesentliche und für die Prüfung im Rahmen des hier nachstehend vorgelegten 1. Zwischenberichts zu Prüfungsphase 3 besonders relevante Ergebnisse aus [L01] lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (1) Die mit [U02] bis [U06], [U08], [U11] und [U12] vorgelegten Unterlagen zu den Streckenabdichtungen im Steinsalz vermitteln einen insgesamt umfassenden Eindruck von der zentralen Bedeutung der Streckenabdichtungen innerhalb des Verschlusskonzeptes, von den Anforderungen, die an die Leistungsfähigkeit der Streckenabdichtungen gestellt werden, von den Möglichkeiten und Herausforderungen der bautechnischen Herstellung, von den erforderlichen Materialeigenschaften der planmäßig vorgesehenen Baustoffe, von den geführten Nachweisen zu Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit und schließlich von den geplanten Maßnahmen zur Kontrolle und Überwachung einer qualitätsgesicherten Bauwerkserstellung. Die Gesamtstruktur der Unterlagen wird als im Grundsatz geeignet eingeschätzt, die durch den radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis vorgegebenen Zielstellungen eines auf mindestens ca. 30000 Jahre ver- bzw. weitgehend behinderten Zutritts von Lösungen aus der Restgrube in die Ablagerungsbereiche des Süd-West-Feldes und des Ostfeldes zu realisieren.
- (2) Soweit im Rahmen der Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung, d.h. ohne eigene, von der Vorgehensweise des AS unabhängige rechnerische Untersuchungen zu Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit möglich, wird die Gesamtstruktur der Unterlagen zu den Streckenverschlüssen im Steinsalz als in sich schlüssig und nachvollziehbar bewertet.
- (3) Unter Berücksichtigung des in den Unterlagen dokumentierten Planungsstandes werden die zu den Streckenabdichtungen im Steinsalz vorgelegten Unterlagen als inhalt-

lich vollständig und die aufgeführten Nachweise und die Nachweiskonzeption als im Grundsatz dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend bewertet. Hierbei zu berücksichtigen ist, dass die im Rahmen der in situ Versuche zur bautechnischen Machbarkeit und zur Funktionalität der Streckenabdichtungen im Steinsalz vorgesehenen Untersuchungen in [L01] nur untergeordnet bezüglich der konzeptionellen Planungen und Zielstellungen berücksichtigt werden konnten, da die für eine abschließende Bewertung der Streckenabdichtungen im Steinsalz erforderlichen Ergebnisse des in situ Versuches noch nicht vorlagen.

- (4) Gemäß Ausführung in [U03] wird *für die mechanischen Berechnungen eine konstante Temperatur angenommen und diese in den Stoffgesetzen für das Kriechen und das Hydratationsmodell berücksichtigt*. Begründet wird die Vernachlässigung der Temperaturentwicklung in Folge Hydratation durch die Aussage, *dass durch die vorlaufenden Temperaturberechnungen gezeigt wird, dass der Temperatureinfluss vernachlässigt werden kann*. Die Logik vorstehender Einschätzung des AS erschließt sich den Prüfern vorbehaltlich der noch für erforderlich erachteten eigenen, von der Vorgehensweise des AS unabhängigen rechnerischen Untersuchungen nicht. Nach Einschätzung der Prüfer resultieren aus dem Eintrag der Hydratationswärme in das Berechnungsmodell inhomogene Temperaturfelder, die auch bei Ansatz gleicher Wärmeausdehnungskoeffizienten für Salzbeton und Salzgebirge in Folge unterschiedlicher Steifigkeiten von Salzbeton und Salzgebirge in thermisch induzierten Spannungen resultieren, die im Rahmen der Nachweisführung zu berücksichtigen sind. Eine analoge Aussage gilt für den Einfluss unterschiedlicher Temperaturen auf das exponentiell von der Temperatur abhängige Kriechverhalten des Steinsalzgebirges. Eine Berücksichtigung der in Folge der Hydratation des Salzbetons im umgebenden Gebirge induzierten Erwärmung resultiert demnach in einer erhöhten Kriechfähigkeit des Salzgebirges und führt in der Konsequenz zu einem entsprechend intensivierten Aufkriechen des Gebirges auf die Dammbaukonstruktion. Im Ergebnis vorstehender Ausführungen bleibt daher danach zu fragen, warum der AS im Rahmen seiner Nachweisführung ohne Not auf eine weitgehend realitätsnahe Abbildung des Tragverhaltens verzichtet. Hinzu kommt, dass aus den Maßnahmen zur vorgezogenen Verfüllung ein entsprechend validiertes Modellierungs- und Simulationsinstrumentarium vorliegt.
- (5) Die im Zeitraum zwischen dem Nachschnitt der Auflockerungszone und dem Einbau der Abdichtung resultierenden Überschreitungen der Dilatanzfestigkeit des konturnahen Salzgebirges werden in der rechnerischen Nachweisführung nicht berücksichtigt. Die Zulässigkeit dieser Dilatanzbereiche ([U03]: S.104: *Rechnerisch reichen diese*



*Zonen ca. 10cm ins Gebirge (siehe Anhang 9 bis 12). Im Sohlbereich der östlichen Stirnfläche beträgt die Tiefe des potentiell geschädigten Bereichs ca. 20 cm (Anhang 11 und 12))* wird im Sinne des Gebrauchstauglichkeitsnachweises auf der Grundlage vergleichender Betrachtungen zur Permeabilität der Saumzone im Bereich des Asse-Vordammes und zur Injizierbarkeit analog zu den hydratationsbedingten Rissen in der Kontaktfuge zwischen Salzbeton und Salzgebirge verbal-argumentativ begründet.

- (6) Nach Einschätzung der Prüfer ist im Rahmen einer rechnerischen Simulation des realen Betriebsablaufes insbesondere der Fragestellung nachzugehen, wie sich die vom AS in [U03] nicht berücksichtigten transienten Kriecheigenschaften von Salzbeton und Salzgebirge sowie die von der Temperatur abhängigen stationären Kriecheigenschaften auf den Spannungszustand des Verbundtragsystems bzw. dessen Gebrauchstauglichkeit auswirken. Voraussetzung hierfür ist eine Bestimmung der transienten Kriechparameter aus den an Steinsalzprüfkörpern des ERA Morsleben durchgeführten Kriechversuchen und eine Einschätzung der Temperaturabhängigkeit des Kriechvermögens. Dabei zu berücksichtigen ist, dass durch den Konvergenzprozess eine deviatorische Entlastung im konturnahen Salzgebirge resultiert, sodass in der Konsequenz danach zu fragen ist, ob die im Rahmen der rechnerischen Modellierungen verwendeten Stoffmodelle mit ausschließlicher Berücksichtigung des stationären Kriechanteils geeignet sind, das Kriechverhalten bei Entlastung den realen Verhältnissen entsprechend hinreichend genau zu erfassen.
- (7) Für eine das reale in situ Tragverhalten hinreichend physikalisch abbildende rechnerische Analyse und Bewertung der Standsicherheit und Dichtheit der Streckenverschlüsse im Steinsalz wird die Durchführung thermisch-mechanisch-hydraulisch gekoppelter Berechnungen empfohlen. Vorstehende Aussage gilt auch und insbesondere für die rechnerische Berücksichtigung der sich nach dem Nachschnitt der Streckenkontur ausbildenden Dilatanzzone. Die Dilatanzzone ist charakterisiert durch eine gegenüber dem nicht dilatant verformten Gebirge erhöhte Sekundärpermeabilität, sodass der Prozess einer in die dilatant verformte Konturzone zwischen anstehendem Salzgebirge und Abdichtungsstruktur eindringenden Lösung im Szenario „Fluidzutritt“ eine rechnerische Berücksichtigung der mechanisch-hydraulisch gekoppelten Wechselwirkungen erforderlich macht.
- (8) Im Rahmen des Stilllegungsnachweises für das ERA Morsleben wird von den Prüfern erwartet, dass angesichts der Unterschiede in Teufenlage, Geologie und geometrischer Konfiguration für jedes Abdichtungsbauwerk ein Nachweisdokument angelegt und in diesem Rahmen auch ein standortbezogener Nachweis geführt wird. Die in [U03] dokumentierte pauschalierende Übertragung der Ergebnisse eines Referenz-

lastfalles auf andere Standorte wird als geeignet erachtet, die grundsätzliche Machbarkeit der Streckenabdichtungen im Sachzusammenhang zu belegen. Vorstehende Aussage gilt jedoch ausdrücklich nicht für die abschließend im Rahmen der Stilllegung zu führenden Nachweise. Dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend ist nach Einschätzung der Prüfer für jedes Abdichtungsbauwerk ein standortbezogener Nachweis mit Berücksichtigung und Dokumentation der lokationsspezifischen Randbedingungen zu führen.

- (9) Die Plausibilität des auf den vier Teilnachweisen
- (a) Laborativer Nachweis, dass die hydratationsabhängige Zugfestigkeit des Salzbetons deutlich größer ist als die hydratationsabhängige Zugfestigkeit des Kontaktbereiches Salzbeton-Salzgebirge,
  - (b) Rechnerischer Nachweis, dass bei Ansatz der unter (a) ermittelten Materialeigenschaften ein potientiell Versagen des Verbundsystems „Abdichtungsbauwerk-Salzgebirge“ grundsätzlich auf die Kontaktfuge zwischen Abdichtungsbauwerk und Salzgebirge beschränkt ist bzw. permeabilitätserhöhende Längsrisse im Abdichtungsbauwerk ausgeschlossen werden können,
  - (c) Rechnerischer Nachweis, dass die potentiell in der Kontaktfuge zwischen Abdichtungsbauwerk und Salzgebirge induzierten Risse durch die nachträgliche Injektion verschlossen werden können und
  - (d) Verbal-argumentativer Nachweis durch Analogiebetrachtung, dass durch das Aufkriechen des Gebirges langfristig der hydraulische Widerstand des Verbundsystems erhöht wird,
- aufbauenden Nachweiskonzeptes wird durch die Prüfer im Grundsatz bestätigt. Die im Rahmen des Nachweiskonzeptes verwendeten Teilnachweise beruhen jedoch in einigen wesentlichen Detailfragen auf Annahmen, die nicht belegt werden und/oder auf der Basis verbalargumentativer Betrachtungen geführt werden. Hierzu gehören insbesondere die Ausführungen zur Ausbildung dilatanter Gebirgsbereiche im Saumbereich der Abdichtungsbauwerke, Annahmen zur Schubfestigkeit des Materialverbundes Salzbeton-Gebirge, rechnerische Idealisierungen zum Verbundtragverhalten visko-elastischer Salzbeton – visko-elastisches Salzgebirge, rechnerische Idealisierungen zur Ausbildung thermisch induzierter Spannungen im Verbundsystem Abdichtungsbauwerk-Gebirge unter dem Einfluss eines hydratationsbedingten Wärmeeintrags sowie die entkoppelte Berücksichtigung mechanischer und hydraulischer Belastungen. Auch bleibt darauf hinzuweisen, dass Teile der den Nachweisführungen zugrunde liegenden experimentellen Untersuchungen lediglich in Form tabellarischer Zusammenstellungen ohne Dokumentation von Versuchstechnik und Versuchsaus-

wertung beschrieben werden. Ob das vom AS in [U04] vorgestellte Nachweiskonzept abschließend geeignet im Sinne der zu führenden Nachweise ist bzw. ob und gegebenenfalls welche Teilnachweise ergänzt, modifiziert oder geändert werden müssen, kann durch die Prüfer erst nach Durchführung eigener, von der Vorgehensweise des AS unabhängiger Berechnungen abschließend beurteilt werden. Vorstehende Einschätzung begründet sich insbesondere vor dem Hintergrund, dass der AS einzelne, für die Dichtheit bzw. Gebrauchstauglichkeit der Streckenabdichtungen wesentliche Fragestellungen mit unterschiedlichen und jeweils stark idealisierten Teilmodellen untersucht, die Richtigkeit seiner aus den Teilmodellen abgeleiteten Schlussfolgerungen aber nicht durch eine rechnerische Analyse unter Berücksichtigung der tatsächlich gleichzeitig ablaufenden und sich gegenseitig beeinflussenden physikalischen Prozesse belegt. In der Konsequenz behandeln die Unterlagen [U03] und [U04] jeweils ausgewählte Teilaspekte der rechnerischen Nachweise zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Streckenabdichtungen. Die für einen abschließenden Nachweis erforderliche Zusammenführung der Teilaspekte in einer thermisch-mechanisch-hydraulisch gekoppelten Berechnung unter Berücksichtigung der abstrahiert-realen Betriebsgeschichte (Bauablauf / Bauzustände) erfolgt jedoch nicht. Ohne den Erkenntniszuwachs durch die in [U04] dokumentierten rechnerischen Analysen negieren zu wollen, erschließt sich die Übertragbarkeit der an Teilmodellen mit Ansatz linear-elastischer Stoffmodelle für das Salzgebirge und den Salzbeton ermittelten grundsätzlichen Abhängigkeiten zum thermomechanischen Tragverhalten auf die realen Abdichtungsbauwerke nicht bzw. nicht abschließend.

- (10) Als eine wesentliche Voraussetzung für die Nachweise zur bautechnischen Machbarkeit und zur Funktionalität der geplanten Abdichtungsbauwerke im Steinsalz erachten die Prüfer eine positive Bewertung und Auswertung der Arbeiten zum "In-Situ-Versuch zum Bau von Streckenabdichtungen aus Salzbeton", [U01].
- (11) Durch die Unterlagen [U13], [U14] und [U15] wird nach Einschätzung ein Nachweis bzgl. der Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit der verfüllten Bohrungen nicht erbracht. Zu fordern ist, dass im Rahmen geeigneter in situ Versuche die hydraulische Leistungsfähigkeit der Verfüllbohrungen belegt wird und über die qualitätsgesicherte Prüfung der Baustoffkomponenten, der Dosierung und des Verfüllbetriebes hinaus die mechanischen, physikalischen, thermischen und chemischen Kennwerte des in situ eingebrachten Verfüllmaterials durch entsprechende Versuche belegt und dokumentiert werden. Im Nachgang zum Fachgespräch [F04] vom 26.11.2008 ist vom AS zugesagt worden, entsprechende Versuche durchzuführen.

Zusammenfassend bleibt als Fazit der vorstehend skizzierten Ergebnisse von Prüfungsphase 1 damit heute festzuhalten, dass unabhängig von der Fragestellung, ob bzw. inwieweit die vorstehend mit (1) bis (9) skizzierten Prüfergebnisse aus Prüfungsphase 1 im Rahmen der vertiefenden Nachweisführung berücksichtigt worden sind, eine abschließende Prüfung der mit I523, I505 und P524 vorgelegten vertiefende Nachweisführung erst möglich ist, wenn die mit (10) und (11) geforderten Dokumente vorliegen und die im Sinne der Nachweisführung erforderlichen Belege positiv dokumentieren. Folglich ist eine Beantwortung der Frage, ob die mit I523, I505 und P524 vorgelegte vertiefende Nachweisführung im Grundsatz geeignet ist, hinsichtlich Konzept, Struktur, Systematik, Inhalt und Darstellung die Erwartungen bzw. Anforderungen der Prüfer dahingehend zu erfüllen, dass sie als Vorlage für die Nachweisführung der insgesamt 21 Abdichtungsstandorte im Steinsalz (→ 21 Einzelnachweise) verwendet werden kann, abschließend erst möglich, wenn die Machbarkeit und Funktionalität der Abdichtungen von Strecken und Bohrlöchern durch geeignete in situ Versuche belegt ist. D.h. der gegenständliche Beleg der bautechnischen Machbarkeit und der Funktionalität der Abdichtbauwerke ist unabdingbare Voraussetzung für die Eignung und Zulässigkeit des vom AS gewählten Nachweiskonzeptes.

Eine Prüfung der mit [U03], [U04], [U06], [U08] und [U10] durch den AS eingereichten Unterlagen zum Verfüllen und Verschließen von Strecken auf rechnerische Richtigkeit erfolgte durch die AG Morsleben mit Vorlage des Prüfberichtes [L02]. Er beinhaltet die Ergebnisse erster rechnerischer Untersuchungen zur Verifikation der Berechnungsergebnisse des AS zu den Abdichtungen im Steinsalz (Kap. 2.2), zu den temporären Abdichtungen (Kap. 2.3), zum Abdichtungsbauwerk im Anhydrit (Kap. 2.4) und zum In-situ-Versuch Abdichtungsbauwerk im Steinsalz (Kap. 2.5). Von besonderer Relevanz für die im nachstehend vorgelegten 1. Zwischenbericht zur Prüfung der vertiefenden Planungen für das Abdichtungsbauwerk 03HAB01 im Steinsalz zu beantwortenden Fragestellungen sind die Ausführungen in den Kapiteln 2.2 und 2.5 des Prüfberichtes [L02]. Generelle Zielstellung des mit [L02] vorgelegten Prüfberichtes war es einerseits aufzuzeigen, ob bzw. inwieweit die Ausführungen des AS zum Tragverhalten, zur Standsicherheit und zur Dichtheit der Abdichtungsbauwerke rechnerisch richtig sind (Verifikation) und andererseits, ob die auf den rechnerisch ermittelten Zustandsgrößen aufbauenden Einschätzungen zur Leistungsfähigkeit der Abdichtungsbauwerke geeignet sind, die Machbarkeit der Stilllegung abschließend zu beurteilen.

Hierzu im Einzelnen zu beantworten waren insbesondere Fragestellungen

- zur zahlenmäßigen Richtigkeit der dokumentierten Berechnungen,
- zur rechnerisch richtigen Abbildung der jeweiligen in situ Situation im Berechnungsmodell (Berechnungsmodell, Berechnungsverfahren, Stoffmodelle, Stoffmodellkennwerte,

- Lastfälle, Einwirkungen, etc.),
- zur Eignung der verwendeten Kriterien und Grenzwerte, die in den Sicherheitsanalysen definierten Anforderungen zu gewährleisten und
- zur Vollständigkeit der rechnerischen Untersuchungen im Rahmen der Nachweisführungen zur Standsicherheit und Dichtwirkung der Verschlussbauwerke.

Die für eine abschließende Prüfung der Einschätzungen des AS zur Leistungsfähigkeit der Abdichtungsbauwerke erforderliche Durchführung, Auswertung und Bewertung eigener, von der Vorgehensweise des Antragsstellers unabhängiger Berechnungen zu Standsicherheit, Dichtheit und Gebrauchstauglichkeit der verschiedenen Abdichtungselemente konnte im Rahmen von [L02] nicht realisiert werden, da entsprechend den nachfolgenden Ausführungen nicht in allen Berechnungsfällen eine Verifikation der Berechnungsergebnisse des AS möglich war, die Ergebnisdokumentation häufig eine Kontrolle der Berechnungsergebnisse nicht ermöglichte und in Teilen durch den AS fehlerhafte Ansätze für die rechnerische Simulation des realen Tragverhaltens verwendet wurden. Wesentliche und für die Prüfung im nachstehend vorgelegten 1. Zwischenbericht zu Prüfungsphase 3 besonders relevante Ergebnisse aus [L02] lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (12) Die Verifikationsberechnungen zur Prüfung der Ausführungen des Antragstellers zu Verschlussbauwerken im Steinsalz erfolgten ausschließlich für das in P195/[U03] dokumentierte 3D-Berechnungsmodell. Auf eine explizite Prüfung der rechnerischen Aussagen in den Unterlagen P255/[U04] und I343/[U08] wird entsprechend den Ausführungen der Arbeitsgruppe Morsleben im Angebot zum Prüfkomples 7 verzichtet, da die Unterlagen P255/[U04] und I343/[U08] lediglich Teilaspekte der rechnerischen Nachweisführung für Verschlussbauwerke im Steinsalz beinhalten, die im Rahmen der abschließenden Nachweisführung in P195/[U03] bzw. P262/[U06] berücksichtigt werden. Auch wird entsprechend den Ausführungen im Angebot zu Prüfkomples 7 eine explizite rechnerische Prüfung der in P262/[U06] dokumentierten Berechnungsergebnisse nicht für notwendig erachtet. Im Unterschied zu P195/[U03] berücksichtigt P262/[U06] lediglich den ergänzenden Lastfall einer auf der 4. Sohle lokalisierten Abdichtung, während die in P195/[U03] vorgegebenen Beanspruchungen als maximale Teufenlage ein auf der 3. Sohle lokalisiertes Abdichtungsbauwerk erfassen. Aus der ausschließlichen Änderung des Grundspannungszustandes resultieren insofern keine neuen, die rechnerische Richtigkeit beeinflussenden Randbedingungen, da das Berechnungsmodell, die verwendeten Stoffmodelle und Materialparameter und der simulierte Prozessablauf hierbei unverändert übernommen werden. Der geänderte Grundspannungszustand in P262/[U06] dokumentiert damit im Sinne einer Parametervariation ausschließlich den quantitativen Einfluss einer Einwirkungsgröße auf die berechneten Zustandsgrößen.

Die hieraus resultierenden Fragestellungen betreffen primär die Bewertung des Trag- und Dichtigkeitsverhaltens und werden im Rahmen eigener, von der Vorgehensweise des Antragstellers unabhängigen rechnerischen Prüfung analysiert und bewertet.

- (13) Zum Nachweis des Temperaturkriteriums zur Rissbeschränkung werden in P195/[U03] insgesamt 12 Berechnungsvarianten durchgeführt. Ziel der Berechnungen ist es aufzuzeigen, ob innerhalb des Baukörpers eine Temperaturdifferenz von  $\Delta T \leq 20K$  eingehalten wird. Sofern die durch den Hydratationswärmeeintrag induzierte Erwärmung des Salzbetons zu einer Differenz zwischen der maximalen und minimalen Temperatur im Baukörper führt, die größer ist als  $\Delta T = 20K$ , wird gemäß Aussage in P195/[U03], Blatt 69 das Temperaturdifferenzkriterium verletzt. Im Ergebnis der Gegenüberstellung bleibt festzuhalten, dass nahezu identische Berechnungsergebnisse ausgewiesen werden. Folglich wird die zahlenmäßige Richtigkeit der in P195/[U03] dokumentierten Temperaturverläufe im Grundsatz bestätigt.
- (14) Der quantitative Nachweis der Langzeitstabilität erfolgt gemäß Aussage in P195/[U03] unter der Voraussetzung der Rissbeschränkung durch insgesamt vier Berechnungsvarianten. Bei den Berechnungsvarianten BF1 und BF2 wird unterstellt, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes kein Fluidruck ansteht (*lange trockenes Endlager*). Mit den Berechnungsvarianten BF3 und BF4 wird ein Fluidzutritt innerhalb von 2500 Jahren nach Fertigstellung des Abdichtungsbauwerkes analysiert. Für den Berechnungszeitpunkt  $t = 01/2004$  (vor Nachschnitt der Streckenkontur) und den Berechnungszeitpunkt  $t = 02/2004$  (nach Nachschnitt der Streckenkontur) zeigen die Berechnungsergebnisse der Prüfer vergleichbare Resultate, sodass die für die Zeitpunkte unmittelbar vor und nach Nachschnitt der Streckenkontur ermittelten Berechnungsergebnisse als verifiziert eingeschätzt werden.
- (15) Die Auswertungen zur Nachweisführung für den Zeitraum nach Errichtung des Abdichtungsbauwerkes erfolgen in P195/[U03] für die drei Zeitpunkte
- $t = 2/2104a$  (100a nach Streckenverschluss, so genannter früher Nachweiszeitraum)
  - $t = 2/4504a$  (2500a nach Streckenverschluss, so genanntes Ende der Prologphase)
  - $t = 2/32004a$  (30000a nach Streckenverschluss, Ende des Betrachtungszeitraumes)
- Analysiert werden vier Berechnungsvarianten BF1 bis BF4, die unterschiedliche Zuflussszenarien abbilden. Ziel der Berechnungen ist es nachzuweisen, dass innerhalb des frühen Nachweiszeitraumes (bis 100a nach Streckenverschluss) das Kriterium der Rissbeschränkung eingehalten wird ( $\rightarrow$  hydratationsabhängige Festigkeit Salzbeton  $>$  Beanspruchung Salzbeton) und innerhalb des späteren Nachweiszeitraumes ( $> 100a$  nach Streckenverschluss) das Dilatanzkriterium eingehalten wird.

Aus der Gegenüberstellung der vom AS und den Prüfern für die Berechnungsvariante BF1 zeitabhängig berechneten Spannungen für einen Knotenpunkt des Berechnungsmodells deutlich zu erkennen ist, dass für die maximalen Hauptspannungen (größte Druckspannungen) annähernd identische Berechnungsergebnisse ausgewiesen werden, während die minimalen Hauptspannungen (kleinste Druckspannungen) deutlich voneinander abweichen. Eine Verifikation der in P195/[U03] für den Zeitraum nach Erstellung des Abdichtungsbauwerkes dokumentierten Berechnungsergebnisse konnte folglich nicht realisiert werden. Die für eine vertiefende Analyse möglicher Ursachen für die Unterschiede in den Berechnungsergebnissen P195/[U03] und TUC notwendige Dokumentation berechneter Verformungen, Verzerrungen und Spannungen in Raum und Zeit ist in P195/[U03] nicht enthalten. Es kann daher nur vermutet werden, dass in P195/[U03] mit S\_max nicht die minimale Hauptspannung (kleinste Druckspannung) aufgetragen ist, sondern fälschlicherweise eine andere Zustandsgröße eingelesen wurde.

- (16) Bei den Berechnungsvarianten BF1 und BF2 wird unterstellt, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes kein Zufluss erfolgt. Für das Steinsalzgebirge wird elastoplastisches Materialverhalten angesetzt (kein Kriechen), eine mechanisch-thermische Kopplung wird nicht berücksichtigt ( $\alpha_T = 0$ ). Begründet wird der Verzicht auf eine Berücksichtigung des Wärmeausdehnungskoeffizienten in P195/[U03], Blatt 65 wie folgt: *Zwangsspannungen zwischen Streckensaum und Abdichtungskörper können nur entstehen, wenn signifikant unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten vorhanden sind, die zu unterschiedlichen Dehnungen und damit zu Zwang aus Verformungsbehinderung führen. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Salzbeton M2 beträgt  $4,0E 10^{-5} 1/K$  und entspricht damit dem des Salzes, der ebenfalls  $4,0E10^{-5} 1/K$  beträgt. Damit treten in der Kontaktfuge keine Zwangsspannungen aus Verformungsbehinderung in Folge Hydratationswärmeentwicklung auf und brauchen deshalb nicht weiter betrachtet zu werden.*

Vorstehende Aussage des AS wird durch die Prüfer nicht bestätigt wird. Die Größe thermischer Spannungen ist bei behinderter Dehnung gemäß Gl. (2.1) abhängig von den Parametern Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_T$ , Verformungsmodul E und Temperaturdifferenz  $\Delta T$ .

$$\sigma_{th} = \alpha_T \cdot E \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Da benachbarte Elemente im Bereich des Streckensaumes auch bei identischer Größe des Wärmeausdehnungskoeffizienten unterschiedliche Verformungsmoduli und unterschiedliche Temperaturen ausweisen, sind thermisch induzierte Zwangsspannungen zu erwarten und auch zu berücksichtigen. Damit sind nach Einschätzung der Prüfer die

in P195/[U03] zusammengestellten Schlussfolgerungen bzgl. der Funktionstüchtigkeit der Abdichtungsbauwerke zu überarbeiten.

- (17) Für die weiterhin in P195/[U03] dokumentierten Berechnungsvarianten BF3 und BF4 zur Analyse der Tragverhältnisse bei rechnerisch simulierter mechanischer Belastung des Abdichtungskörpers durch einen

BF3: zwischen  $t = 100a$  und  $t = 2500a$  kontinuierlich von  $pfl = 0$  MPa auf  $pfl = 6$  MPa bzw.

BF4: zwischen  $t = 2400a$  und  $t = 2500a$  kontinuierlich von  $pfl = 0$  MPa auf  $pfl = 6$  MPa ansteigenden Fluiddruck auf die östliche bzw. linke Stirnfläche des Abdichtungsbauwerkes bleibt zunächst festzuhalten, dass in P195/[U03] keine Auswertungen zum raum- und zeitbezogenem Verlauf von Spannungen, Verzerrungen oder Temperaturen mitgeteilt werden. Die Möglichkeit einer zahlenmäßigen Prüfung der rechnerischen Richtigkeit der in P195/[U03] zusammengestellten Berechnungsergebnisse ist daher beschränkt auf eine Gegenüberstellung flächenhafter Darstellungen bewerteter Zustandsgrößen zum Dilatanz- bzw. Fluidkriterium. Ein Vergleich der durch die Prüfer ermittelten Berechnungsergebnisse mit den korrespondierenden Abbildungen in P195/[U03] zeigt signifikante Unterschiede. Die durch die Prüfer berechneten Ausnutzungsgrade sind deutlich geringer als in P195/[U03] dokumentiert. Da die Berechnungsvarianten BF3 und BF4 analog zu Berechnungsvariante BF1 für den Salzbeton elasto-plastisches Materialverhalten unterstellen und sich lediglich durch den zeitabhängig mechanisch aktivierten Fluiddruck gegenüber Berechnungsvariante BF1 unterscheiden bleibt nach Einschätzung der Prüfer zunächst zu untersuchen, ob bzw. inwieweit die unterschiedlichen Berechnungsergebnisse der Berechnungsvarianten BF3 und BF4 in Analogie zu BF1 auf eine deutlich reduzierte minimale Hauptspannung (kleinste Druckspannung) zurückzuführen ist. Hierfür erforderlich sind zeitabhängige Auftragungen zur Entwicklung der Spannungen in ausgewählten Zonen des Berechnungsmodells und für die weitere Analyse der Ursachen für die voneinander abweichenden Berechnungsergebnisse raum- und zeitbezogene Darstellungen der berechneten Spannungen, Verzerrungen und Temperaturen.

Zusammenfassend bleibt als Fazit der vorstehend skizzierten Ergebnisse von Prüfungsphase 2 damit heute festzuhalten, dass zumindest noch kein in sich abgeschlossenes rechnerisches Nachweiskonzept zum Tragverhalten, zur Standsicherheit und zur Dichtheit der Abdichtungsbauwerke vorliegt, auf dessen Grundlage eine vertiefende, d.h auch die standort-spezifischen Randbedingungen berücksichtigende Nachweisführung aufbauen kann. Begründet wird vorstehende Einschätzung insbesondere durch die Tatsache, dass noch kein



rechnerischer Nachweis vorgelegt wurde, der die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Abdichtungsbauwerke unter Berücksichtigung aller Bau- und Betriebsphasen hinreichend realitätsnah abbildet, d.h. die im Rahmen idealisierter Teilmodelle erarbeiteten Erkenntnisse in einem abschließenden, alle relevanten Betriebsphasen und Prozesse zusammenführenden rechnerischen Nachweis berücksichtigt. Darüber hinaus ist unabhängig von der Fragestellung, ob bzw. inwieweit die vorstehend mit (12) bis (17) skizzierten Prüfergebnisse aus Prüfungsphase 2 im Rahmen der vertiefenden Nachweisführung berücksichtigt worden sind, eine abschließende Prüfung der mit I523/[U17], I505/[U18] bzw. Anlage 1 zu I523 und P524/[U19] bzw. Anlage 2 zu I523 vorgelegten vertiefenden Nachweisführung erst möglich, wenn die gemäß Prüfungsphase 1 mit (10) und (11) geforderten Dokumente vorliegen und die im Sinne der Nachweisführung erforderlichen gegenständlichen Belege positiv dokumentieren. D.h. eine Beantwortung der Frage, ob die mit I523, I505 und P524 vorgelegte vertiefende Nachweisführung im Grundsatz geeignet ist, hinsichtlich Konzept, Struktur, Systematik, Inhalt und Darstellung die Erwartungen bzw. Anforderungen der Prüfer dahingehend zu erfüllen, dass sie als Vorlage für die Nachweisführung der insgesamt 21 Abdichtungsstandorte im Steinsalz (→ 21 Einzelnachweise) verwendet werden kann, ist abschließend erst möglich, wenn die Machbarkeit und Funktionalität der Abdichtungen von Strecken und Bohrlochern durch geeignete in situ Versuche belegt ist.

Aufbauend auf dem vorstehend skizzierten Sachstand im Prüfkomples 7 - "Verfüllen und Verschließen von Strecken" ist die Methodik der nachfolgenden Prüfung charakterisiert durch die Fragestellung, ob unter der Annahme, dass die in situ Versuche zum Strecken- und Bohrlochverschluss die Machbarkeit und Funktionalität der Abdichtbauwerke im Sinne der Nachweisführung positiv bestätigen, die mit I523/[U17] vorgelegte vertiefte Nachweisführung hinsichtlich Konzept, Struktur und Inhalt geeignet ist, als Vorlage für die jeweils standortbezogenen zu führenden Einzelnachweise der insgesamt 21 Abdichtungsbauwerke im Steinsalz herangezogen zu werden.

Damit ist ein **erster Schwerpunkt der Prüfung** definiert durch die Beurteilung konzeptioneller und grundlegender Sachverhalte, die weitgehend unabhängig von standortspezifischen Besonderheiten charakteristisch sind für alle 21 Einzelnachweise. Ziel hierbei ist es, die Anforderungen der Prüfer an die Berichtsstruktur und das grundsätzliche Nachweiskonzept eindeutig darzulegen und den Ausführungen des AS zumindest insoweit gegenüberzustellen, dass sich wiederholende gleichartige Defizite in den vom AS noch zu erstellenden Einzelberichten zu den 21 Abdichtungsstandorten ausgeschlossen werden können.

Ein **zweiter Schwerpunkt der Prüfung** ist charakterisiert durch die Frage, ob und inwieweit durch die mit I523 vorgelegte Unterlage ein in sich geschlossenes, alle Bau- und Betriebs-

phasen hinreichend realitätsnah abbildendes rechnerisches Nachweiskonzept vorgelegt wurde. Unter Verweis auf die vorstehend dokumentierten Ergebnisse aus Prüfungsphase 1 und Prüfungsphase 2 ist im Rahmen des zweiten Prüfungsschwerpunktes somit insbesondere zu analysieren, ob die geforderte Zusammenführung der aus den Teilnachweisen erarbeiteten Erkenntnisse in einem alle relevanten Lastfälle und Prozesse berücksichtigenden rechnerischen Nachweiskonzept in I523 realisiert wurde.

Ein **dritter Schwerpunkt der Prüfung** dokumentiert und begründet schließlich alle im Rahmen einer ersten Durchsicht erkannten Defizite der Prüfunterlage. Dazu werden die durch den AS in I523 dokumentierten Sachverhalte anhand von vier Kriterien wie folgt geprüft:

- (a) Sind die Ausführungen nachvollziehbar ? (→ sind die Ausführungen hinsichtlich Inhalt und Umfang ausreichend begründet?),
- (b) Sind die Ausführungen vollständig ? (→ sind alle für den Nachweis erforderlichen Informationen genannt?),
- (c) Sind die Ausführungen in sich schlüssig ? (→ ist die dokumentierte Nachweisführung in sich widerspruchsfrei?) und
- (d) Sind die Ausführungen sachlich richtig ? (→ entsprechen die Ausführungen dem Stand von Wissenschaft und Technik?).

Die nach Einschätzung der Prüfer erkannten Defizite werden den Rubriken "Hinweise", "Empfehlungen" und "Forderungen" zugeordnet. Die Zusammenstellung der Hinweise, Empfehlungen und Forderungen folgt der Gliederung der Prüfunterlage.

Die Rubrik „**Hinweise**“ beinhaltet Angaben zu formalen Mängeln wie z.B. das Fehlen von Anlagen, unvollständige Erläuterungen oder fehlende Erklärungen und Definitionen zu verwendeten Formeln oder Symbolen etc.

Unter der Rubrik „**Empfehlungen**“ werden Vorschläge zusammengestellt, die nach Einschätzung der Prüfer zu einer umfassenderen und/oder transparenteren Darstellung der Ergebnisse führen. Angesichts der weitgehend fehlenden Normung im Bereich der sicherheitlichen Nachweisführung für untertägige geotechnische Anlagen und der damit verbundenen Notwendigkeit, individuell durch den jeweiligen Bearbeiter geprägte Einschätzungen und Beurteilungsmaßstäbe zu entwickeln, sind unter der Rubrik „Empfehlungen“ zusammengestellte Anmerkungen als Anregungen für eine fachliche Diskussion zu verstehen. Insofern stellen die unter „Empfehlungen“ zusammengestellten Anmerkungen keine sachlichen Mängel dar, sondern dokumentieren vielmehr unter dem Zugeständnis individueller Vorgehensweisen die Bandbreite möglicher Einschätzungen und möglicher Nachweismethoden im jeweiligen Sachzusammenhang.

In der Rubrik „**Forderungen**“ werden schließlich diejenigen kritischen Anmerkungen und identifizierten Defizite zusammengefasst, die nach Einschätzung der Prüfer einer Nachbearbeitung bedürfen.

### **3 Bewertung des Nachweiskonzeptes und der Ergebnisdokumentation**

Mit der Erarbeitung gesonderter Lokationsberichte zur Charakterisierung der standortspezifischen geologischen, geotechnischen und bergbaulichen Gegebenheiten jedes einzelnen Abdichtungsstandortes (→ hier: Anlage 1 zu I523/[U17] bzw. I505/[U18]) und der Erarbeitung loaktionsbezogener Baubeschreibungen zur Herrichtung der einzelnen Abdichtungsstandorte und zur bautechnischen Ausführung der jeweiligen Abdichtungen (→ hier: Anlage 2 zu I523/[U17] bzw. P524/[U19]) hat der AS zwei wesentliche, in den Prüfberichten [L01] und [L02] gestellte Forderungen erfüllt (→ Dokumentation der anstehenden geologischen Verhältnisse; standortbezogene Nachweisführung für jedes Abdichtungsbauwerk). In der Konsequenz ist die grundlegende Anforderung der Prüfer, für jedes Abdichtungsbauwerk ein vollständiges Nachweisdokument zu erstellen, in dem alle für die Machbarkeit und Funktionalität des Abdichtungsbauwerkes relevanten Informationen zusammengeführt werden, im Grundsatz erfüllt. Unter Verweis auf den im vorigen Abschnitt 2 definierten ersten Prüfungsschwerpunkt konzentriert sich die weitere Prüfung damit zunächst auf die Fragestellung, ob bzw. inwieweit die Berichtsstruktur und das Nachweiskonzept geeignet sind, eine den Anforderungen des Stilllegungskonzeptes und der Langzeitsicherheitsanalyse entsprechende Nachweisführung zu dokumentieren.

Bezüglich der mit I523 vorgelegten Berichtsstruktur bleibt festzustellen, dass der im Bereich geotechnischer Nachweise üblichen und bewährten Vorgehensweise entsprechend zunächst die Zielstellung der Nachweisführung dokumentiert wird (Kap.1). Danach folgen Ausführungen zur Standortcharakterisierung (Kap. 2) und zum Bauablauf (Kap. 3). Kap. 4 dokumentiert und begründet schließlich das Konzept der Nachweisführung (→ Kriterien und Grenzwerte) und beschreibt die für relevant erachteten Bemessungssituationen (→ Bauzustände, lange trockenes Endlager, zugelaufenes Endlager). Aufbauend auf einer Dokumentation der im Rahmen der rechnerischen Nachweisführung verwendeten Berechnungsmodelle (→ Modellgeometrie, Homogenbereiche, Stoffmodelle, Materialparameter, Ablaufplan der Rechenläufe) in Kap. 5 erfolgt in Kap. 6 eine Zusammenstellung und Bewertung der Berechnungsergebnisse. Eine vergleichende und zusammenfassende Bewertung aller im Rahmen der rechnerischen Nachweisführung ermittelten Berechnungsergebnisse erfolgt abschließend in Kap. 7.

Auch wenn durch die vorstehend skizzierte Struktur der im Bereich geotechnischer Nachweise üblichen Vorgehensweise im Grundsatz entsprochen wird, bleibt nach Einschätzung der Prüfer darauf hinzuweisen, dass die mitgeteilten Inhalte erst nach mehrfacher Durchsicht der Unterlage mit Zuordnung bzw. Systematisierung der in unterschiedlichen Kapiteln zusammengestellten Informationen hinreichend transparent erfasst werden können. Ursächlich für vorstehende Einschätzung ist insbesondere, dass mehrere Berechnungsmodelle für jeweils gleiche und/oder unterschiedliche Berechnungsabläufe eingesetzt werden, die den Berechnungsmodellen zugeordneten Informationen zum Nachweisziel, zum Ablaufplan der Rechenläufe, zu den Materialeigenschaften und zu den Berechnungsergebnissen jedoch nicht berechnungsmodellbezogen dokumentiert werden, sondern entsprechend der skizzierten Gliederung sachbezogen erfolgt. In der Folge bleibt es dem Leser bzw. Prüfer überlassen, die jeweils einem Berechnungsmodell zuzuordnenden Informationen zum Nachweisziel, zu den geometrischen und physikalischen Randbedingungen, zu den Nachweiskriterien, zur rechnerisch simulierten Betriebsgeschichte, etc. mit den zugehörigen Berechnungsergebnissen und Bewertungen zu verknüpfen. Der vorstehend skizzierte Sachstand, dass bereits auf dem Gebiet der Geomechanik ausgewiesene Wissenschaftler der Berichtsstruktur zumindest nicht ohne erhebliche Mühe folgen können, wird von den Prüfern als Mangel eingeschätzt. Nach Einschätzung der Prüfer ist die mit I523 vorgelegte Berichtsstruktur nicht geeignet, als Vorlage für die noch zu erstellenden Einzelweise verwendet zu werden.

Soweit aus I523 zu entnehmen, basiert das Nachweiskonzept auf der Zielstellung, eine so genannte "hydraulisch wirksame Abdichtungslänge" für das aus insgesamt 6 Abdichtungssegmenten bestehende Abdichtungsbauwerk mit einer Gesamtlänge von 152,7m zu ermitteln. Als hydraulisch wirksam werden alle Bereiche des Abdichtungsbauwerkes definiert, für die im Rahmen der rechnerischen Nachweise keine Überschreitungen der mechanischen, thermischen und hydraulischen Versagenskriterien nachgewiesen werden und die nicht aufgrund geologischer Standortverhältnisse eine Umläufigkeit besorgen lassen. Hierzu werden mit unterschiedlichen Berechnungsmodellen (2D-Scheibenmodell-ebener Verzerrungszustand, 2D-rotationssymmetrisches Berechnungsmodell, 3D-Berechnungsmodelle mit variiertem Streckengeometrie) jeweils unterschiedliche Bau- und Betriebsphasen simuliert und unter Anwendung der mechanischen, thermischen und/oder hydraulischen Versagenskriterien diejenigen Bereiche der Abdichtungssegmente identifiziert, für die eine Schädigung und damit eine Erhöhung der vorgegebenen Anfangspermeabilität ausgeschlossen werden kann. Die Addition der ungeschädigten und nicht aufgrund der geologischen Standortverhältnisse potenziell umläufigen Teillängen der einzelnen Abdichtungssegmente resultiert schließlich in der so genannten hydraulisch wirksamen Länge des Abdichtungsbauwerkes. Sofern diese hydraulisch wirksame Länge größer ist als die im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse

angesetzte bzw. berücksichtigte hydraulisch wirksame Länge, wird der Nachweis als erbacht eingeschätzt. Dieser vorstehend skizzierten Vorgehensweise wird durch die Prüfer im Grundsatz entsprochen. Vorstehende Aussage gilt jedoch ausdrücklich nicht für die rechnerische Quantifizierung der hydraulisch wirksamen Längen der einzelnen Abdichtungssegmente. Begründet wird vorstehende Einschätzung insbesondere durch:

- (1) Die Ableitung der infolge einer hydratationsbedingten Erwärmung mit nachfolgender Abkühlung resultierenden Schädigungen im jeweils benachbartem Segment (gegenseitige thermo-mechanische Beeinflussung benachbarter Segmente; Berechnungsfall BZ5) erfolgt unter Verwendung von Berechnungen, bei denen *das Kriechen des Salzgebirges nicht berücksichtigt wird, da der Zeitraum der Bauzustände so kurz ist, dass der durch das Kriechen des Salzgebirges induzierte Spannungszustand vernachlässigt werden kann* [Blatt 50, U17]. Unter Verweis auf [L01] verzichtet der AS auch im Rahmen der vertiefenden Nachweisführung ohne Not auf eine möglichst realitätsnahe Abbildung der real ablaufenden Prozesse. Eine gleich lautende Aussage gilt auch bzgl. der Vernachlässigung der durch die Hydratation induzierten Änderungen im Kriechvermögen des anstehenden Salzgebirges (*→ Demnach werden lediglich für die Berechnungen zur gegenseitigen thermischen Beeinflussung (Bauzustände) thermische und thermo-mechanische Berechnungen durchgeführt. Für alle anderen durchgeführten Berechnungen wird eine konstante Temperatur angenommen und diese in den Stoffgesetzen für das Kriechen und das Hydratationsmodell berücksichtigt.* [Blatt 95, U17]).
- (2) Die für die Bemessungssituation "(lange) Trockenes Endlager" und "Zugelaufenes Endlager" durchgeführten Berechnungen erfolgen gemäß (1) ohne Berücksichtigung des hydratationsbedingten Wärmeeintrages (*→ ... lediglich für die Berechnungen zur gegenseitigen thermischen Beeinflussung (Bauzustände) werden thermische und thermo-mechanische Berechnungen durchgeführt.*). Die in [L02] ausführlich dokumentierte Ausbildung thermisch induzierter Zugspannungen im Übergangsbereich zwischen Salzbeton und Salzgebirge wird folglich nicht berücksichtigt. Eine gleich lautende Aussage gilt für die Temperaturabhängigkeit des Kriechvermögens des anstehenden Salzgebirges.
- (3) Die mechanisch-hydraulisch (einseitig) gekoppelten Berechnungen beschreiben das ungeschädigte Gebirge entsprechend Tab. 5-7 [Blatt 94, U17] als "Darcy-Medium" mit endlicher Permeabilität. Stand von Wissenschaft und Technik ist: Salzgestein ist im unverritzten Zustand dicht gegenüber Flüssigkeiten und Gasen! Die Idealisierung des ungeschädigten Salzgebirges als poröses Medium wird durch die Prüfer nicht akzeptiert. Sollten derartige Befunde vorliegen und diese Sichtweise durch den AS bestätigt

werden, muss die Nachweisführung für die Stilllegung insgesamt auf diesen Befund umgestellt werden.

- (4) Die Ergebnisdokumentation für die Bemessungssituation "(lange) Trockenes Endlager" beschränkt sich auf die Zustände (a) vor Nachschnitt der ALZ, (b) vor Errichtung der Abdichtung und (c) am Ende des Betrachtungszeitraumes (30.000a). Die für die Nachweisführung wesentlichen Bau- und Betriebszustände werden nicht dokumentiert. In der Konsequenz kann aus der Unterlage I523 nicht entnommen werden, ob bzw. inwieweit innerhalb der Bauphasen Betonage, Hydratation, Injektion und konvergenzbedingtes Aufkriechen des Gebirges die Kriterien eingehalten werden und die Modellierung den realen Verhältnissen entsprechend erfolgte. Auch wenn Teile der Nachweisführung auf gegenständliche Belege des in situ Versuchs zum Abdichtungsbauwerk im Steinsalz abgestützt werden sollen, sind nach Einschätzung der Prüfer die Bauzustände und die nachfolgenden Zustände im noch offenen und später verschlossenen Endlager soweit möglich vollständig in einem Berechnungsmodell abzubilden, da das langfristige Trag- und Dichtigkeitsverhalten nicht durch den in situ Versuch abschließend belegt werden kann.
- (5) Schließlich bleibt unter Verweis auf die Ausführungen zur Berichtsstruktur festzustellen, dass es den Prüfern trotz mehrfacher Durchsicht und Analyse der in I523 dokumentierten Einzelnachweise nicht gelungen ist (und auch bei weiterem Bemühen wohl nicht gelingen wird), sich ein abschließendes Bild von der Plausibilität der dokumentierten Berechnungen und damit der Nachweisführung zu erarbeiten. Ursächlich hierfür ist einerseits die Tatsache, dass es auf Grundlage der Ausführungen in I523 nur bedingt möglich ist zu entscheiden, wie die verbal beschriebenen Einwirkungen durch Differenzlastfälle im jeweiligen Berechnungsmodell berücksichtigt wurden. Erwartet wird, dass der üblichen Vorgehensweise entsprechend berechnungsmodell- und lastfallbezogen eindeutig dokumentiert wird, wie die jeweilige Einwirkung in den Ablaufplan der Rechenläufe integriert wurde und welche für das Trag- und Dichtigkeitsverhalten relevanten Reaktionen aus dem Lastfall resultieren. Wenn beispielsweise ausgeführt wird: *Für alle anderen durchgeführten Berechnungen wird eine konstante Temperatur angenommen und diese in den Stoffgesetzen für das Kriechen und das Hydratationsmodell berücksichtigt.* [Blatt 95, U17]), dann ist nach Einschätzung der Prüfer nicht erkennbar, ob das Hydratationsmodell nur teilweise, d.h. lediglich hinsichtlich der hydrationsabhängigen Entwicklung der Festigkeit und Verformbarkeit berücksichtigt wurde, während der hydrationsbedingte Wärmeeintrag vernachlässigt wurde, oder ob der Wärmeeintrag berücksichtigt wurde und lediglich die Temperaturabhängigkeit des Kriechens vernachlässigt wurde. Andererseits bleibt unter Verweis auf die Ausführungen in [L02]

festzuhalten, dass eine auf 8cm x 8cm bzw. 5,5cm x 5,5cm reduzierte flächenhafte Dokumentation berechneter Zustandsgrößen in keiner Weise geeignet ist, die Berechnungsergebnisse nachzuvollziehen. Vorstehende Aussage gilt insbesondere, wenn Schädigungsbereiche in der Größenordnung von wenigen Dezimetern Mächtigkeit für ein Berechnungsmodell mit mehreren Dekametern Kantenlänge interpretiert werden. Aus derartig reduzierten graphischen Darstellungen können die textlichen Interpretationen des AS zu den Berechnungsergebnissen weder nachvollzogen noch überprüft werden. Ungeachtet dessen wird auch und insbesondere vor dem Hintergrund der Komplexität der Berechnungen erwartet, dass die flächenbezogenen Darstellungen der Zustandsgrößen durch geeignete Umfangs- Längs- und Radialschnitte derart ergänzt werden, dass eine Reproduktion der Berechnungsergebnisse möglich ist. Die Dokumentation muss in Art und Umfang geeignet sein, eine auch zahlenmäßig basierte und hinreichend determinierte Verifikation der in Raum und Zeit berechneten Zustandsgrößen zu gewährleisten.

Im Ergebnis der mit (1) bis (5) skizzierten Ausführungen wird durch die Prüfer eingeschätzt, dass auch das mit I523 vorgelegte Nachweiskonzept in seiner konkreten Umsetzung nicht bzw. nicht abschließend geeignet ist, eine den Anforderungen des Stilllegungskonzeptes und der Langzeitsicherheitsanalyse entsprechende Nachweisführung zu realisieren und angemessen nachvollziehbar zu dokumentieren.

## 4 Detaillierte Anmerkungen zur Bewertung der Nachweisführung

Entsprechend den einleitenden Ausführungen erfolgt die nachfolgende Prüfung der Nachweisführung ausdrücklich nicht gemäß den Anforderungen der Rahmenrichtlinie über die Gestaltung von Sachverständigengutachten in atomrechtlichen Verwaltungsverfahren. Vielmehr werden im Sinne einer Kurzstellungnahme der Berichtsstruktur folgend die Anmerkungen der Prüfer in chronologischer Reihenfolge zusammengestellt. Soweit erforderlich werden die Ausführungen des AS in *kursiver Schrift* der jeweiligen Bewertung vorangestellt.

Blatt 24: Hinweis H1: Die mit Anlage 1 und Anlage 2 bezeichneten Unterlagen sind nicht in den Bericht integriert.

Blatt 25: *An diesen Lokationen lassen sich die erforderlichen Strömungswiderstände ....nachweisen.* Hinweis H2: Es werden keine Strömungswiderstände nachgewiesen.

Blatt 25: *Diese beiden Referenzstandorte wurden so gewählt, dass die Gesamtheit der vorhandenen numerischen Berechnungen auf die übrigen Lokationen übertragen werden kann ....* Hinweis H3: Zwischenzeitlich überholt, gemäß FG vom 24.10.2012 sind z.Zt. 3 Referenzstandorte (+2 Standorte, bei denen die Übertragbarkeit noch nicht abschließend geklärt ist) ausgewählt.

Blatt 26: *Zum anderen erfolgt eine vertiefende thermomechanische Berechnung ...* Hinweis H4: Was ist eine vertiefende Berechnung ?

Blatt 26: *Der Nachweis der Rissbeschränkung schließt prinzipiell den Nachweis der Lagestabilität mit ein.* Hinweis H5: Nicht eindeutig, setzt kohäsiven Verbund voraus, bei umläufiger Gleitfuge kann auch ohne Rissentwicklung translatorische Bewegung erfolgen.

Blatt 27: *Für die nicht injizierten Abdichtungssegmente wird nachgewiesen, dass unter Ansatz möglicher Kriechklassen ein potenziell vorhandener Konturspalt vollständig geschlossen und überdrückt wird. Für das lange trockene Endlager ohne Gasdruck wird dies innerhalb des Betrachtungszeitraumes gezeigt;...* Forderung F1: Wenn das Ostfeld mit hydraulisch abbindendem Salzbeton verfüllt wird, dann ist auch der Lastfall "einseitiger Gasdruck auf östliche Stirnsei-



te" für das Szenario "lange trockenes Endlager" zu untersuchen bzw. alternativ: Worauf begründet sich die Vernachlässigung eines Gasdruckes?

Blatt 27: *Die Berechnungen wurden für einen verkürzten Berechnungszeitraum durchgeführt, da im Laufe der Bearbeitung eine weitergehende Anpassung des Parametersatzes zur Beschreibung des Stoffmodells Salzbeton notwendig wurde. Die bis dato durchgeführten hydraulisch-gekoppelten Berechnungen unter Ansatz des elasto-plastisch - viskoplastischen Stoffmodells für Salzbeton erschienen nach Prüfung nicht plausibel und wurden daher in der zusammenfassenden Bewertung (Abschnitt 7) nicht berücksichtigt. Hinweis H6: Aus vorstehender Ausführung kann nicht plausibel entnommen werden, warum bei Wahl eines "verkürzten Berechnungszeitraumes" das elasto-plastisch - viskoplastische Stoffmodell für die Abbildung des Materialverhaltens als geeignet eingeschätzt wird. Forderung F2: Das Stoffmodell, die Stoffmodellparameter und die der Parameterermittlung zu Grunde liegenden Versuche sind abschließend zu dokumentieren.*

Blatt 28: *Für die im Sinne einer Sensitivitätsstudie betrachtete geomechanisch ungünstigste Kombination eines sehr frühen Zulaufbeginns mit sehr kurzer Zulaufdauer (Prologphase 50 Jahre) ... und der unteren Bandbreite der Kriechklasse des Gebirges und/oder Kriechfähigkeit des Salzbetons liegt eine deutlich größere Schädigungstiefe vor. Hinweis H7: In Verbindung mit der Aussage, dass elasto-plastisch - viskoplastisches Verhalten von Salzbeton (noch) nicht zuverlässig rechnerisch simuliert werden kann, folgt hieraus unmittelbar, dass der geomechanisch ungünstigste Lastfall noch nicht abschließend nachgewiesen ist. Forderung F3: Vollständige Nachweisführung.*

Blatt 28: *Um die Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfolgreich zu führen, lässt sich auf Basis der vorliegenden Berechnungen grob abschätzen, dass es eines Zeitraums für den Fluidruckaufbau von mindestens einigen (wenigen) hundert Jahren Bedarf. Hinweis H8: Aus dieser Formulierung folgt unmittelbar, dass der Nachweis für das Szenario früher Zulaufbeginn mit kurzer Zulaufdauer nicht erbracht ist. Empfehlung E1: Präzisieren und zuordnen der Szenarien und Nachweisziele für Normalentwicklung, wahrscheinliche und weniger wahrscheinliche Entwicklung. Die Formulierung "grob abschätzen" sollte überdacht werden bzw. erscheint wenig geeignet darzulegen, ob bzw. inwieweit die Nachweisführung erfolgreich im Sinne der Zielsetzung ist. Was ist, wenn der Zulauf schneller erfolgt?*

Blatt 25- Blatt 28:

Die unter der Kapitelüberschrift *Zusammenfassung* dokumentierten Ausführungen sind nach Einschätzung der Prüfer nicht geeignet darzulegen, warum welche Nachweise geführt werden, in welcher Wechselwirkung die Einzelnachweise stehen, ob bzw. inwieweit die Einzelnachweise erfolgreich im Sinne des Nachweisziels sind und ob bzw. inwieweit die Summe der Teilnachweise schlussendlich belegt, dass die an das Abdichtungsbauwerk gestellten Anforderungen erfüllt werden. Forderung F4: Überarbeitung.

Blatt 29: *Nach Abschluss der Berechnungen zur exemplarischen Nachweisführung [P195] stellte sich heraus, dass auf der tiefer liegenden 4. Sohle .... ebenfalls nur eine kurze realisierbare Abdichtungslänge zur Verfügung steht. In ergänzenden numerischen Berechnungen [P262] wurde gezeigt, dass die exemplarische Nachweisführung [P195] auf diese Lokation der 4. Sohle ... übertragbar ist und zu vergleichbaren Ergebnissen führt. Im Rahmen der Nachweisführung sind nunmehr alle Lokationen im Steinsalz (Referenzstandorte) gewählt, für die eine vertiefte Nachweisführung mittels numerischer Berechnungen erfolgen soll. Diese beiden Referenzstandort .... wurden so gewählt, dass die Gesamtheit der vorhandenen numerischen Berechnungen auf die übrigen Lokationen übertragen werden kann, weil die lokationsspezifischen Randbedingungen und Belastungsbedingungen entweder vergleichbar oder konservativ und die Berechnungsergebnisse deshalb abdeckend sind.* Empfehlung E2: Erscheint nicht schlüssig; wo ist der Unterschied zwischen exemplarischer und vertiefender Nachweisführung mittels numerischer Berechnungen. Forderung F5: Gemäß Fachgespräch F05 vom 24.10.2012 ist die Anzahl der Referenzstandorte z.Zt. mit 3 zzgl. ggf. weiterer Standorte beziffert.

Blatt 31: *Nach /39/, /40/ (→Häfner) hängt die Größe einer Auflockerungszone im Steinsalz wesentlich ab von der Hohlraumgröße bzw. der Größe des Hohlraumquerschnittes, der Hohlraumgeometrie (z.B. sind Rechtecke ungünstiger als Kreise und Ellipsen), dem Auffahrverfahren (Sprengvortrieb oder Schneiden mittels Teilschnittmaschine), der Standzeit des offenen Hohlraums (sofern diese geringer als ca. 2a ist; für nachfolgende Zeiträume tritt nur noch eine geringfügige Änderung ein), dem Gebirgsdruck ( $\approx$  äquivalent : Teufenlage).* Empfehlung E3: Rechtecke, Kreise, Ellipsen definieren keine räumliche Struktur (→ präzisieren). Empfehlung E4: Mit zunehmender Standzeit werden Beanspruchungen oberhalb der Dilatanzfestigkeit in jeweils benachbarte und

noch ungeschädigte Gebirgsbereiche umgelagert. Eine zunehmende Schädigung resultiert in zunehmenden schädigungsinduzierten Kriechdeformationen. Die Aussage *für nachfolgende Zeiträume tritt nur noch eine geringfügige Änderung ein* ist folglich zumindest unpräzise. Ob bzw. inwieweit Schädigungen mit der Standzeit zunehmen, ist abhängig von der Relation Beanspruchungsniveau zu Dilatanzfestigkeit und der Intensität des schädigungsinduzierten Kriechens. Forderung F5: In der Aufzählung fehlen als wesentliche Elemente die Materialeigenschaften (Dilatanzfestigkeit, schädigungsinduziertes Kriechvermögen) des anstehenden Gebirges sowie die Beanspruchungsintensität oberhalb der Schädigungsfestigkeit.

Blatt 31: Tabelle 2-1 dokumentiert, dass die rechnerisch analysierten Referenzstandorte einen Streckenquerschnitt von 20m<sup>2</sup> bzw. 21m<sup>2</sup> ausweisen. F6: Wenn gemäß vorstehend zitierter Aussage des AS die Hohlraumgröße einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der Auflockerungszone hat, dann ist unverständlich bzw. unbelegt, warum nicht beispielsweise der mit 29m<sup>2</sup> in Tab. 2-1 dokumentierte Streckenquerschnitt "nördliche Richtstrecke Marie" als Referenzstandort ausgewählt wurde.

Blatt 32: *Eine vergleichende Auswertung zeigt, dass die Hohlraumgröße mit 20,5 ± 8,5m<sup>2</sup> nur mäßig variiert, ...* Forderung F7: Eine Variation des Streckenquerschnittes um  $\Delta A = 8,5\text{m}^2/20,5\text{m}^2 = 41\%$  wird nicht durch das Adjektiv "mäßig" charakterisiert, sondern ist signifikant.

Blatt 32: *Somit werden die Unterschiede in der Ausdehnung der Auflockerungszone im Wesentlichen durch den Teufendruck bzw. die Teufenlage bestimmt.* Empfehlung E6: Hier fehlt eine Berücksichtigung der Materialeigenschaften bzw. Beanspruchungsintensitäten.

Blatt 32: *Der Gebirgsdruckaufbau an den Abdichtungsstandorten im Steinsalz hängt ab von .... der Kriechklasse des umgebenden Steinsalzes, der Temperatur (für das ERAM von geringer Bedeutung).* Forderung F8: Das Kriechvermögen von Steinsalz ist exponentiell abhängig von der Temperatur. Bei Berücksichtigung der durch die Hydratation in das Salzgebirge eingetragenen Temperaturerhöhung ändert sich folglich das Kriechvermögen. In der Konsequenz ist die Temperatur für das ERAM zumindest grundsätzlich von Bedeutung. Ist die geringe Bedeutung zahlenmäßig exemplarisch belegt?

- Blatt 32: *Die Abdichtung im Ostquerschlag wurde - ohne weitere Untersuchungen - hierbei als repräsentativ bewertet und wird daher als Referenzstandort 2 betrachtet.* Forderung F9: Was ist mit "ohne weitere Untersuchungen" ausgesagt? Die Nachweisführung muss u.a. in sich schlüssig, vollständig und nachvollziehbar sein. Warum kann auf weitere Untersuchungen verzichtet werden?
- Blatt 32: Die übrigen Abdichtungen sind in Bezug auf das Kriterium Aufkriechen und Druckaufbau konservativ. *Exemplarische Betrachtungen zu diesem Sachverhalt finden sich in /41/.* Forderung F10: Die Nachweisführung muss u.a. in sich schlüssig, vollständig und nachvollziehbar sein. Sollen die Leser/Prüfer hier selbständig erarbeiten, ob die Aussage sachlich richtig ist? Die Übertragbarkeit der Ausführung aus /41/ auf den Standort ERAM ist zu dokumentieren.
- Blatt 33: *Potenzielle Zutrittspfade für Lösungen aus dem Deckgebirge existieren nur für die Restgrube, die abgedichteten Einlagerungsbereiche selbst weisen keine solchen potenziellen Zutrittspfade auf.* Forderung F11: Der Nachweis der Barrierenintegrität ist noch nicht abschließend geführt, [L03, L04].
- Blatt 35: *Dieser Teil des Ostquerschlages wurde ....nachgeschnitten (Anlage 1).* Hinweis H9: vgl. Hinweis H1, Anlage 1 ist nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 35: *Die Streckenbreite im Ostquerschlag beträgt .... (Anlage2).* Hinweis H10: vgl. Hinweis H1, Anlage 2 ist nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 35: *..... Risswerk entspricht nicht dem aktuellen Stand.* Hinweis H11: Finale Version des Berichtes sollte aktuelle Darstellungen beinhalten.
- Blatt 36: *... wird auf bis zu 50cm geschätzt (Anlage 1).* Hinweis H12: vgl. Hinweis H1, Anlage 1 nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 36: *.. Weitere Informationen zum Standort befinden sich in Anlage 1 und 2.* Hinweis H13: vgl. Hinweis H1, Anlage 1 und 2 nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 36: *.... lt. Anlage 2 und Anlage 1):* Hinweis H14: vgl. Hinweis H1, Anlage 1 und 2 nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 42: *Die Planungen sehen vor, die plastischen Fugen als Mauerwerk aus Salzbricketts zu erstellen.* Hinweis H15: Diese Information gehört an den Beginn des Berichtes.

- Blatt 42: *Das Querschnittsprofil der Abdichtungssegmente ergibt sich aus dem jeweiligen Streckenprofil und dem erforderlichen Nachschnitt von ca. 0,4m.* Forderung F12: Auf Blatt 39 wird ausgeführt, dass in der Sohle bis in eine Messteufe von 50cm Permeabilitäten größer  $1E10^{-18} \text{ m}^2$  ermittelt wurden. Der erforderliche Nachschnitt ist damit größer als die genannten ca. 0,4m.
- Blatt 42: *Die detaillierte Planung der Abdichtungssegmente kann Anlage 2 entnommen werden.* Hinweis H15: vgl. Hinweis H1, Anlage 2 ist nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 43: *Bei der bereits verfüllten Bohrung (12YER61/RB606) wird deren anforderungsgerechte Verfüllung separat nachgewiesen. Die hierfür erforderlichen Schritte werden in Anlage 2 dargestellt.* Forderung F13: In P524 wird bzgl. der Bohrung 12YER61/RB606 ausgeführt: *Die Verfüllung wird entsprechend den in /7/ und /8/ definierten Anforderungen durchgeführt.* "Kettenbriefe" sind zu vermeiden. Entweder Informationen in P524 aufnehmen oder Verweis auf Anlage 2 ersetzen durch Verweis auf /7/ und /8/. Auch ist darauf hinzuweisen, dass ein gegenständlicher Beleg für die Funktionalität der abgedichteten Bohrungen vom AS noch nicht vorgelegt wurde (vgl. Folie 26, TUC, FG01), sodass zumindest die Quellenangaben zu ergänzen sind. Hinweis H16: vgl. Hinweis H1, Anlage 2 ist nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 44: *.... Rückbau in der Reihenfolge von Ost nach West (Anlage 2):* Hinweis H17: vgl. Hinweis H1, Anlage 2 ist nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 44: *Details zum geplanten Bauablauf können Anlage 2 entnommen werden.* Hinweis H18: vgl. Hinweis H1, Anlage 2 ist nicht in den Bericht integriert.
- Blatt 45: *Für die vertiefte Nachweisführung am Referenzstandort 1 findet das Nachweiskonzept nach [P195] Anwendung.* Forderung F14: Eine Bearbeitung der in L01 und L02 dokumentierten Bewertungen ist Voraussetzung dafür, dass die in [I523] dokumentierte "vertiefende Planung" folgerichtig und lückenlos auf den Ergebnissen von [P195] aufbauen kann. Auch bleibt unter Verweis auf die Bewertungen in L01 und L02 darauf hinzuweisen, dass eine wesentliche Voraussetzung für die Machbarkeit des Nachweiskonzeptes in [P195] und damit auch für die vertiefende Nachweisführung in [I523] die im Sinne der Nachweisführung positive Aus- und Bewertung des in situ Versuches ist. Die diesbezügliche Unterlage ist vom AS noch nicht vorgelegt worden.

- Blatt 45: *Die Vorgehensweise bei der Führung des Funktionsnachweises wird u.a. in /11/ und /12/ beschrieben.* Forderung F15: Die Vorgehensweise bei der Führung des Funktionsnachweises ist in sich schlüssig, vollständig und nachvollziehbar in der Prüfunterlage zu dokumentieren. Verweise auf englischsprachige Veröffentlichungen sind darüber hinaus im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises für ein deutsches Endlager nach Einschätzung der Gutachter lediglich dann als ergänzende Informationen zulässig, wenn alle für eine in sich schlüssige, vollständige, nachvollziehbare und sachlich richtige Darstellung der Nachweisführung erforderlichen Informationen aus landessprachlichen Quellen zu entnehmen sind. Allein aus Gründen einer teilweise unterschiedlichen Nomenklatur bzw. inhaltlichen Definition von Fachbegriffen (z.B. Sicherheitsnachweis / safety case) resultieren andernfalls Unwägbarkeiten in der Dokumentation der Nachweisführung.
- Blatt 45: *Die Bauwerksintegrität ist Voraussetzung für einen ausreichenden hydraulischen Widerstand.* Empfehlung E7: Hier fehlt nach Einschätzung der Prüfer der ergänzende Hinweis "Sofern nachgewiesen ist, dass das die Integrität zu behaltende Bauwerk schon von vornherein einen hinreichenden hydraulischen Widerstand besitzt (→ Anfangspermeabilität).
- Blatt 45: *Wird der Nachweis der Rissbeschränkung geführt, .... ist dieser Nachweis abdeckend ... auch für den Nachweis der Lagesicherheit.* Empfehlung E8: Auch ohne Risse könnte grundsätzlich eine Verschiebung des Bauwerkes erfolgen (→ kohäsionslose Kontaktzone).
- Blatt 46: *.... dass folgende Einzelnachweise rechnerisch oder versuchsgestützt zu erbringen sind: 1. Nachweis eines ausreichenden hydraulischen Widerstandes* .... Hinweis H19: Gemeint ist im Sinne des Nachweiskonzeptes nach Einschätzung der Prüfer der hydraulische "Anfangswiderstand". Auch bleibt zu empfehlen: Empfehlung E9: Der Begriff des "hydraulischen Widerstandes / Anfangswiderstandes" ist als Synonym für die Permeabilität / querschnittsgemittelte Permeabilität zu definieren oder zu substituieren. Es wird kein hydraulischer Widerstand nachgewiesen.
- Blatt 46: *In Abhängigkeit des zu führenden Nachweises sind die Konstruktionselemente gekoppelt oder getrennt zu betrachten.* Empfehlung E10: Die Konstruktionselemente des Abdichtungsbauwerkes sind immer als Verbundtragsystem zu berücksichtigen. Lediglich die Bewertung der rechnerisch ermittelten Zu-

standsgrößen erfolgt getrennt nach Einzelnachweis und Konstruktionselement.

Blatt 47: *Es wird von einer Dauer der Gebrauchstauglichkeit der Abdichtungsbauwerke von ca. 20000 Jahren ausgegangen.* Hinweis H19: Gebrauchstauglichkeit ist nicht definiert/quantifiziert.

Blatt 48: *Die Langzeitstabilität wird gemäß /14/ (/14/ = DAfStb - Richtlinie "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen", 1996) über den Nachweis der Schädigungstiefe gezeigt.* Hinweis H20: Welchen Zeitraum definiert Langzeitstabilität gemäß /14/ ?

Blatt 49: *In einer zweiten Variante wird im Rahmen eines "what-if"-Szenarios ein konstanter Anstieg innerhalb von 50 Jahren betrachtet. In der Langzeitsicherheitsanalyse wird diese Variante eines frühen Zutritts ebenfalls als "what-if"-Szenario betrachtet, bei welcher die sofortige Auffüllung der Restgrube nach Ende der Betriebsphase .... zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  modelliert wird.* Hinweis H21: 50a identisch  $t_0 = 0a$  ?

Blatt 49: *Die Gasdruckentwicklung ... ist in Abbildung 4-1 dargestellt.* Hinweis H22: Abbildung 4-2.

Blatt 50: *Da sich bei niedrigen Gasdrücken und Gasdruckaufbauraten der Gasdruck positiv auf die Abdichtung auswirkt, sind die Fälle ohne Gasdruck für die Nachweisführung maßgebend, d.h. die Fälle (lange) Trockenes Endlager ohne Gasdruck und der Fall einer einseitigen Lösungsbelastung.* Forderung F16: Noch nicht abschließend dokumentiert ist durch vorstehend zitierte Ausführungen, ob auch für das Szenario "Gasdruckentwicklung im Ostfeld infolge Salzbetonversatz und trockene Restgrube" (→ 1-Phasenfluss kontaminiertes Gas) die analysierten Lastfälle abdeckend sind.

Blatt 50: *Der ingenieurtechnische Nachweis der Integrität der Streckenabdichtungen umfasst verschiedene Einzelnachweise (vgl. /1/, /11/ und /18/.* Empfehlung E10: Vgl. Forderung F15; sind Hinweise auf englischsprachige Veröffentlichungen hier zweckdienlich?

Blatt 50: *Betrachtete Einwirkungen: Eigengewicht, Hydratationswärme ....* Hinweis H23: Hier fehlt der Nachschnitt.

- Blatt 50: *Nicht betrachtete Einwirkungen: ..... Das Kriechen des Salzgebirges wird nicht berücksichtigt, ....* Forderung F17: Der AS verzichtet ohne Not auf eine die in situ Verhältnisse weitgehend realitätsnah abbildende rechnerische Simulation des Verbundtragverhaltens. Auch bleibt nicht nachvollziehbar, warum das gegenüber Steinsalz tendenziell geringere Kriechvermögen des Salzbetons als Einwirkung berücksichtigt wird, das Kriechen des Salzgebirges selbst aber vernachlässigt wird. Eine gleich lautende Aussage gilt für die Berücksichtigung des autogenen Schwindens des Salzbetons einerseits und die Vernachlässigung des transienten Kriechvermögens des Steinsalzes andererseits.
- Blatt 51: *Zu betrachtende Gefährdungsbilder: Aufgrund der Hydratationswärmeentwicklung entstehen Zwangsspannungen in Folge von Temperaturgradienten im Bauwerk .... die zu Rissbildungen führen. ....* Forderung F18: Hier fehlt der Hinweis und die Berücksichtigung der Tatsache, dass die im konturnahen Salzgebirge ebenfalls erhöhte Temperatur in einem exponentiell erhöhten Kriechvermögen des Steinsalzgebirges resultiert.
- Blatt 52: *Es wird der Nachweis der Rissbeschränkung im Abdichtungskörper aus Salzbeton /2/ übertragen. Hinweis H24: Worauf übertragen? Präzisieren des Nachweiskriteriums.*
- Blatt 52: *Zu Gefährdungsbild (III): Rissbildung infolge Injektionsdruck: Für die Bauzustände/Injektion ist der Nachweis der Rissbeschränkung zu führen, d.h. es ist nachzuweisen, dass die Injektion zu keiner oder vernachlässigbarer Schädigung von Salzbetonkörper, Kontaktzone oder Gebirge führt. Gemäß /1/ ist für den Lastfall Injektion eine versuchsgestützte Behandlung erforderlich, ....* Hinweis H24: Absichtserklärung, noch kein vertiefter Nachweis. Erst wenn in situ Nachweis erbracht und belegt, ist die v.g. Voraussetzung für die vertiefte Nachweisführung gegeben.
- Blatt 52: *..... wobei für die Nachweisführung angenommen wird, dass zum Zeitpunkt der Injektion die aus den Bauzuständen/Betonage resultierenden Effekte (d.h. Änderungen im Spannungs-Verformungsverhalten beispielsweise infolge Schwindens oder thermischer Kompaktion) abgeklungen sind bzw. vernachlässigt werden können.* Forderung F19: Die Annahme ist nachzuweisen, da andernfalls ein Bruch in der Nachweisführung resultiert.



Blatt 53: *Ein Lösungsdruck und damit verbundene Einwirkungen (Strömungskräfte) treten im Falle des Trockenen Endlagers nicht auf. Der Gasdruck wird im Rahmen dieser Bemessungssituation nicht behandelt, da er im Betrachtungszeitraum geringer ist als der Lösungsdruck und deshalb durch die Betrachtung des Lösungsdrucks abgedeckt ist...* Forderung F20: Für den Fluidtransport weiterhin entscheidend sind die Größe des Biot-Koeffizienten und die dynamische Viskosität des Strömungsfluids. Eine Präzisierung ist erforderlich.

Blatt 54: *In /1/ kommt für die Materialfestigkeiten ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 für das Betontragverhalten und zum Nachweis der Dichtheit ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,25 zur Anwendung /20/.* E10: Sind die in /20/ dokumentierten Ausführungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton hier anwendbar bzw. ohne Modifikation/ohne weitere Begründung übertragbar? Eine Begründung ist erforderlich.

Blatt 54: *Dilatanzgrenze* Forderung F21: Dilatanzfestigkeit fehlerhaft determiniert; vgl. z.B. Ausführungen in L03

Blatt 55: *Die Dilatanzbedingung ist nur für mittlere Spannungen  $\sigma_0 \geq 0$  definiert.* Hinweis H25: Nicht eindeutig. Bsp.:

$$\sigma_o = 0,5MPa \geq 0MPa = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1}{3}(-2MPa + -2MPa + 5,5MPa)$$

In vorstehendem Beispiel wäre die Dilatanzfestigkeit definiert, obwohl zwei Hauptspannungen im Zugbereich lokalisiert sind.

Blatt 55: *Abbildung 4-3* Forderung F22: Austauschen gegen sachlich richtige Darstellung, lokationsbezogene Bewertung der Festigkeitseigenschaften.

Blatt 56: *Unter Ansatz der Teilsicherheitsbeiwerte von 1,5 und 1,25 für die Materialfestigkeiten ...../20/, /28/...* E11: Sind die in /20/ und /28/ dokumentierten Ausführungen hier anwendbar bzw. ohne Modifikation/ohne weitere Begründung übertragbar? Eine Begründung ist erforderlich.

Blatt 60: *Zu betrachtende Einwirkungen: Eigengewicht, Kriechen ....* Hinweis H26: Es wird nicht deutlich, ob bzw. inwieweit die aufgeführten Einwirkungen in allen Bau- und Betriebsphasen berücksichtigt werden. Beinhaltet "Gebirgsdruck" Sekundärspannungen aus Auffahrung und Nachschnitt?

- Blatt 60: *Nicht betrachtete Einwirkungen: .... Vorspannung und Relaxation aus Injektion ..... Betonschwinden ...*Forderung F23: In sich geschlossene Nachweisführung unter Berücksichtigung aller Bau- und Betriebszustände. Auf welcher Grundlage kann geschlossen werden, dass der sich mit Berücksichtigung der Injektion einstellende zeitabhängige Sekundärspannungszustand (Sekundärspannungszustand unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus Hydratation, Thermospannungen, thermisch induziertem Kriechen, transientem Kriechen nach Nachschnitt, ...) immer günstiger ist als ohne Berücksichtigung? Nach Einschätzung der Prüfer sind die insgesamt ablaufenden Prozesse zu komplex, um eine abschließende Aussage bzgl. der Zustandsgrößen bei gleichzeitiger Vernachlässigung mehrerer Einwirkungen zu treffen.
- Blatt 60: *Zu betrachtende Gefährdungsbilder: Korrosion im Abdichtungskörper bzw. in der Kontaktzone führt zu einer Reduktion der wirksamen Länge der Abdichtung und damit zu einer Verringerung oder gar zum Verlust des hydraulischen Widerstandes.* Forderung F24: Hier ist nach Einschätzung der Prüfer zusätzlich der Lastfall einer bilateralen Reduktion der "wirksamen Länge" des Abdichtungssystems durch restgrubenseitigen Flüssigkeitszutritt und ostfeldseitigen Gasdruck einschließlich Infiltration zu berücksichtigen.
- Blatt 62: *Im Rahmen der mechanisch-hydraulisch gekoppelten Berechnung .... erfolgt die Berücksichtigung der effektiven Spannungen durch die Reduktion der mittleren Spannung um den Wert des lokal wirksamen Porendruckes ( $\sigma_o' = \sigma_o - p$ ).* Forderung F25: Warum bzw. auf Grundlage welcher Überlegung wird der Biot-Koeffizient zu  $\alpha = 1,0$  angesetzt?
- Blatt 62: *Die Dilatanzbedingung ist nur für mittlere Spannungen  $\sigma_o \geq 0$  definiert.* Hinweis H27: vgl. Hinweis H25.
- Blatt 64: *Die sich ggf. erneut ausbildende Auflockerungszone wird hinsichtlich der Erfüllung des Dilatanz- und Fluidkriteriums bewertet. Bei Erfüllung der Kriterien ist eine schädigungsbedingte Zunahme der Permeabilität ausgeschlossen.* Hinweis H28: Sprachlich unpräzise; wenn sich ALZ ausbildet, dann ist Dilatanzkriterium verletzt und in der Folge eine erhöhte Sekundärpermeabilität zu berücksichtigen. "Erfüllung der Kriterien" gegen "Einhaltung der Kriterien" o.ä. ersetzen.

- Blatt 64: *In /2/ wird anhand von Versuchen an Kernen der Kontaktzone des Asse-Vordamms belegt, dass es infolge des aufkriechenden Gebirges zu einer Reduktion der hydraulischen Durchlässigkeit der gerissenen Kontaktzone kommt, sodass ein ausreichender hydraulischer Widerstand gegeben ist. Forderung F26: Sofern über die qualitative Erkenntnis einer kriechbedingten Reduktion von Schädigungen (Schädigungsrückbildung abhängig von Beanspruchungsniveau, Einwirkdauer, etc) hinaus die Prozesse der mechanischen und hydraulischen "Verheilung" in der Nachweisführung quantitativ genutzt werden, sind zumindest Ausführungen zur Übertragbarkeit der Erkenntnisse aus dem Asse-Vordamm auf die Verhältnisse im ERAM erforderlich.*
- Blatt 65: *Durch die Wahl des Verfüllmaterials und die qualitäts- und anforderungsgerechte Verfüllung der am Standort vorhandenen sicherheitsrelevanten Bohrungen wird ein ausreichender hydraulischer Widerstand erreicht. Forderung F27: Im Rahmen einer vertieften Nachweisführung ist vorstehende Aussage zu belegen.*
- Blatt 66: *Für ...den Nachweis der Rissbeschränkung .....kommen ein Modell mit ca. 25 m<sup>2</sup> und 30 m<sup>2</sup> Abdichtungsquerschnitt zum Ansatz. Hinweis H29: z.B.: Für den rechnerischen Nachweis der Rissbeschränkung werden zwei Berechnungsmodelle eingesetzt, die sich lediglich durch die Größe des mit 25 m<sup>2</sup> bzw. 30 m<sup>2</sup> diskretisierten Querschnitts der Abdichtungen unterscheiden.*
- Blatt 66: *Für die Anpassung des Modells, die Ableitung der Nachschnitttiefe .... Hinweis H30: Anpassung woran?*
- Blatt 66: *Unter Anpassung der Kriechklasse wird ein geometrisches Modell sowohl für die Standorte nicht injizierter Segmente als auch des injizierten Segmentes verwendet. Hinweis H31: Was ist ein geometrisches Modell?*
- Blatt 68: *Die abschließende Planung für das Abdichtbauwerk (Anlage 2) weicht daher teilweise von den Modellannahmen ab. So wird beispielsweise für das nicht injizierte Abdichtungssegment HY011 im Modell eine Länge von 25m anstelle 22,9m berücksichtigt. Ebenso wurde die erst im Rahmen der Standorterkundung festgestellte Auffüllung im Sohlbereich im 3D-Modell des Standorts vernachlässigt. Die Einflüsse dieser Abweichungen auf das Ergebnis der Berechnungen und deren Bewertung wird in beiden Fällen als vernachlässigbar eingeschätzt. Forderung F28: Mit "beispielsweise" werden offensichtlich nicht alle*

Abweichungen aufgeführt. → vollständige Zusammenstellung. Warum ist die Auffüllung im Sohlbereich vernachlässigbar? Warum ist eine nicht an die in situ Verhältnisse angepasste Bauwerkslänge vernachlässigbar?

- Blatt 69: *Vereinfachende Annahmen im Rahmen der geometrischen Modellbildung: ... Es wird nur ein Material, gekennzeichnet durch einen Satz thermischer Parameter, im offenen Streckenbereich betrachtet. Berechnungsvarianten mit zunächst offener Strecke und einem späteren Stellen der Plastischen Fuge werden nicht betrachtet. Es wird lediglich ein geomechanischer Homogenbereich erfasst.* Hinweis H32: Vorstehende Ausführungen charakterisieren das physikalische Modell, nicht die geometrische Modellbildung. Wieso nur ein Homogenbereich? vgl. Abbildung 5-2?
- Blatt 73: *Abbildung 5-4* Forderung F29: Nicht geeignet für Reproduktion des Berechnungsmodells.
- Blatt 75: *Abbildung 5-5* Forderung F30: Nicht geeignet für Reproduktion des Berechnungsmodells.
- Blatt 82: *...abweichend zur Planung gem. Anlage 2 wird anstatt einer Segmentlänge von 22,9m mit 2 Trennblechen eine Länge von 25m mit 3 Trennblechen modelliert. ... Die Abweichung wird hinsichtlich der Bewertung der Ergebnisse als vernachlässigbar bewertet.* Hinweis H33: Anlage 2 nicht in den Bericht integriert, vgl. Hinweis H1. Forderung F31: Begründung, warum Abweichungen zwischen in situ und Modellierung vernachlässigbar.
- Blatt 83: *Die an der Basis der Anhydritmittelsalze anstehende geringmächtige Lage sekundären Carnallits (Anlage 2) wird nicht mit modelliert. Ebenso werden die Bohrungen modellbedingt nicht mit erfasst.* Hinweis H34: Anlage 2 nicht in Bericht integriert, vgl. Hinweis H1. Forderung F32: Nachweisbezogene Begründung, warum Abweichungen zwischen in situ und Modellierung zulässig.
- Blatt 83: Die Modelle werden mit einer für den Teufenbereich von -291 mNN ermittelten Umgebungstemperatur von 20,0 °C (=293,15 K) initialisiert /25/. *Diese Temperatur wird in den Stoffgesetzen für das Kriechen und das Hydratationsmodell berücksichtigt und bleibt über den gesamten Berechnungszeitraum konstant.* Hinweis H35: Präzisieren, ob nur Initialisierungstemperatur (einmalig) mit 20 °C konstant vorgegeben wird oder ob auch Hydratationswärmeeintrag in das Gebirge unberücksichtigt bleibt.

- Blatt 83: *Für beide Berechnungsmodelle wird von einem initial trockenen Zustand des Gebirges ausgegangen. Mit der Simulation des Einbringens des Salzbetons wird dieser Modellbereich mit einer Teilsättigung von  $S_r = 85\%$  initialisiert.* Hinweis H36: Präzisieren, was wird in v.g. Zusammenhang mit "dieser Modellbereich" definiert, Salzgebirge?, Salzbeton ?, Auflockerungszone ? Kontaktzone ?
- Blatt 83: *Mit Beginn des Zulaufs werden die fluiddruckseitigen Streckenbereiche (westlich der Stirnfläche des jeweils betrachteten Abdichtungssegmentes) instantan vollständig aufgesättigt ( $S_r = 100\%$ ).* Hinweis H37: Präzisieren, wie die "fluiddruckseitigen Streckenbereiche definiert sind, Salzbeton?, Auflockerungszone?, Salzgebirge?, Kontaktzone?.
- Blatt 87: *Die plastischen Fugen aus Salzbrikett-Mauerwerk werden ebenfalls als elasto-plastisches Material mit Mohr-Coulomb'scher Grenzbedingung modelliert.* Forderung F33: Begründung, warum Kriechen von Salzbrikett-Mauerwerk vernachlässigt wird.
- Blatt 90: *In Variationsbetrachtungen wird ein modifiziertes Stoffmodell /34/ zum Ansatz gebracht (elasto-plastisch - viskoplastisches Stoffmodell). .. Aufgrund des Entwurfsstandes des Berichts der DBE /34/ konnten die Berechnungen zum 1. Referenzstandort vorerst nur auf dem derzeit verfügbaren Parametersatz für das Stoffmodell erfolgen. Der gegenwärtig aktuelle Parametersatz kann dem Stand aus /42/ entnommen werden.* Hinweis H38: /34/, /42/ sind interne DBE Unterlagen und liegen den Prüfern nicht vor. Forderung F34: Stoffmodell muss dokumentiert, verifiziert, validiert werden. Forderung F35: Stoffmodellparameter sind auf der Grundlage geeigneter Versuche zu belegen.
- Blatt 91: *Die Beschreibung des modifizierten Stoffmodellansatzes, die ihm zugrunde liegenden Daten sowie die Ableitung der Parameter werden in /34/ dargestellt.* Hinweis H39: /34/ ist interne DBE Unterlage und liegt den Prüfern nicht vor. Forderung F36: Für eine in sich schlüssige, vollständige und nachvollziehbare Dokumentation sind das modifizierte Stoffmodell und die Stoffmodellparameter begründet im Bericht darzulegen.
- Blatt 92: *Den Trennblechen wird eine Zugfestigkeit von Null zugewiesen. Reibungswinkel und Kohäsion werden zu  $\varphi = 20^\circ$  und  $c = 0$  MPa angenommen.* Forderung F40: Scherfestigkeit Trennblech/Salzbeton ist laborativ zu belegen. Insbesondere

dere, weil Konzept der Nachweisführung Funktionalität der Trennbleche voraussetzt. Wird den Trennblechen eine Zugfestigkeit von Null zugewiesen als Approximation für die Kontaktfläche Trennblech/Salzbeton?

- Blatt 93: *In den Berechnungen wird der Salzbeton mit einer Permeabilität von  $k = 5 \times 10^{-20} \text{ m}^2$  und einer Porosität von  $n = 18\%$  angesetzt. Empfehlung E12: Angesichts der Tatsache, dass vielfältige und deutlich unterschiedliche Vertiefungsgrade einer mechanisch-hydraulisch gekoppelten Prozesssimulation existieren, die real zweiseitig gekoppelten Wechselwirkungen zwischen mechanischen und hydraulischen Zustandsgrößen rechnerisch zu modellieren, sollten ergänzende Hinweise zu den unberücksichtigten Wechselwirkungen und den daraus resultierenden Konsequenzen für die Sicherheitsanalyse ergänzt werden. Durch die konstante Vorgabe von Permeabilität und Porosität (→ Blatt 94: *Im Rahmen der Berechnungen werden Porositäts - Permeabilitätsbeziehungen oder Dilatanz - Permeabilitätsbeziehungen nicht berücksichtigt*) wird im vorliegenden Fall die stationäre "Darcy-Strömung" lediglich ergänzt durch den Aufsättigungsprozess. D.h., raum- und zeitbezogene Änderungen der Permeabilität und/oder der Porosität werden durch die gewählte Kopplung nicht berücksichtigt.*
- Blatt 94: *Die effektiven Spannungen  $\sigma_{ij}'$  ermitteln sich zu:  $\sigma_{ij}' = \sigma_{ij} - \alpha_b \times p$ . Forderung F37: Dokumentation und Begründung für Zahlenwert von  $\alpha_b$ .*
- Blatt 95: *Demnach werden lediglich die Berechnungen zur gegenseitigen thermischen Beeinflussung (Bauzustände) thermische und thermo-mechanische Berechnungen durchgeführt. Für alle anderen durchgeführten Berechnungen wird eine konstante Temperatur angenommen und diese in den Stoffgesetzen für das Kriechen und das Hydratationsmodell berücksichtigt. Forderung F38: Nach Einschätzung der Prüfer verzichtet der AS ohne Not auf die Berücksichtigung real ablaufender Prozesse.*
- Blatt 99: *Für die nicht injizierten Abdichtungssegmente ist zusätzlich der Nachweis der konvergenzbedingten Überdrückung zu führen, d.h. es ist zu zeigen, dass zum Zeitpunkt des Fluiddruckaufbaus die Funktionsfähigkeit der Abdichtung gegeben ist. Dies beinhaltet, dass kein offener Spalt vorhanden ist bzw. dass der Konturspalt allseitig überdrückt wird. Hinweis H40: Nachweis, dass kein offener Spalt vorhanden ist und (nicht bzw.) die Minimalspannung im Konturspalt größer ist als der angreifende Fluiddruck und der geschlossene und*

überdrückte Konturspalt die gleiche Permeabilität aufweist wie das Verbundsystem Salzbeton-Gebirge.

- Blatt 101: *Die bis dato durchgeführten Berechnungen .... erschienen nach Prüfung nicht plausibel und wurden daher in der zusammenfassenden Bewertung nicht berücksichtigt.* Forderung F39: Danach ist die rechnerische Nachweisführung noch nicht abgeschlossen. Dessen ungeachtet wird in der Zusammenfassung ausgeführt, dass die Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Abdichtungsbauwerkes geführt werden.
- Blatt 106: *Für die Modellierung des Schwindens wird angenommen, dass es zu einem vollumfänglichen Abreißen des Salzbetonkörpers von der Gebirgskontur kommt. Es wird an dieser Stelle von einem Konturspalt ausgegangen, welcher sich bei einem allseitig angesetzten Schwinden mit einem Schwindmaß von  $\epsilon_{\text{Schwind}} = 1,048 \text{ mm/m} /19/$  ergibt.* Forderung F40: Dokumentation der Schwindversuche. Forderung F41: Nachvollziehbare Dokumentation der numerischen Umsetzung. Wie werden Zustandsgrößen vor und nach Initialisierung des Konturspaltes im Berechnungsgebiet auf die "Spaltränder" aufgebracht?
- Blatt 107: *Abbildung 6-1 Hinweis H41: Warum keine Auswertelokationen im Kontaktbereich Abdichtung/Salzgebirge ?*
- Blatt 116: *Die Ergebnisse der Konvergenzmessung an Station 12YEQ01/CG033K werden zur Anpassung der Kriechklassen ... herangezogen.* Forderung F42: Wo sind die Konvergenzmessungen dokumentiert? In der Unterlage "Geomechanische Betriebsüberwachung" konnte die Station nicht gefunden werden.
- Blatt 116: *Im Anhang 1-1 sind die Vergleiche der Messergebnisse und der berechneten Konvergenzen für die Kriechklassen 1 bis 3 dargestellt.* Forderung F43: Messwerte/Gegenüberstellung zumindest nicht ohne weitere Informationen nachvollziehbar. Es werden sowohl für die horizontalen als auch für die vertikalen Konvergenzen jeweils drei Messkurven dargestellt (→ eine Messstation, drei Messreihen?), die sich offensichtlich nur durch einen jeweils konstanten Faktor im Konvergenzmaß voneinander unterscheiden.
- Blatt 116: *In den Berechnungen am 2D-Scheibenmodell ergibt die Auswertung der kleinsten Hauptspannung geringfügig kleinere Spannungswerte als die Messergebnisse liefern (Anhang 1-2).* Forderung F44: Die gemessenen Minimal-

spannungen sind regelmäßig um mehrere Faktoren größer als die berechneten Minimalspannungen.

- Blatt 117: *In Anhang 1-3 bis Anhang 1-9 werden ... die potenziell geschädigten Zonen dargestellt. Die Größe der Auflockerungszone .... beträgt in Firste und Stößen maximal 0,3m und in der Sohle maximal 0,45m.* Forderung F45: Kann aufgrund der Abbildungsgröße nicht nachvollzogen werden. Abbildungen vergrößern und durch Schnittdarstellungen ergänzen.
- Blatt 118: *Für die Bauzustände der Betonage wird die Modellierung nach /2/ übertragen.* Hinweis H42: ..wird die Modellierung gemäß /2/ verwendet.
- Blatt 118: *Dieses ist möglich, weil ein Kriechen des Salzgebirges für die kurze Zeit der Bauzustände nicht berücksichtigt werden muss.* Forderung F46: Gilt ohne weiteren Beleg lediglich für temperaturunabhängige stationäre Kriechverformungen. Bei weiterer Berücksichtigung der transienten und der exponentiell von der Temperatur abhängigen Kriechverformungen ist vorstehende Aussage ohne Beleg.
- Blatt 118: *An der Oberseite des Baukörpers wurde ein freier Rand angesetzt. Die Berechnungsannahme wurde gewählt, weil davon ausgegangen wird, dass die Verbundankopplung des Salzbetonkörpers beim Einbringen des Frischbetons an das Salzgestein an der Oberseite schlechter ist als an Sohle und Stoß.* Forderung F47: Bezüglich welcher Kriterien und warum ist diese Annahme konservativ? Wie erfolgt numerische Umsetzung / welche kinematischen Randbedingungen an welchen Knotenpunkten? Simulation Wärmeübergang? Freier Rand = Verbund mit  $c = \phi = 0$ ? Initialisierung ?
- Blatt 118: *Um die Verbundzone herum wurde das Salzgestein, innerhalb der Verbundzone der erhärtende Salzbetonkörper mit hydrationsgradabhängigen Materialparametern den Berechnungen zu Grunde gelegt.* Forderung F48: Salzgestein mit hydrationsabhängigen Materialparametern? Bitte Präzisieren.
- Blatt 118: *Das Salzgestein wurde als linear elastisch angenommen ....* Forderung F49: Der AS verzichtet ohne Not auf eine die in situ Verhältnisse hinreichend abbildende Modellierung.
- Blatt 119: *Dem Salzbeton M2 wurden ... folgende Kennwerte zugewiesen: ... Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha_T = 2,0 \times 10^{-5} 1/K$ .* Forderung F50: Gemäß Blatt



86 wird für Salzbeton  $\alpha_T = 4,0 \times 10^{-5} \text{ 1/K}$  angesetzt. Widerspruch? Begründung?

Blatt 119: *Der Verbundzone wurden die Materialeigenschaften des Salzgesteins unter der Annahme einer zeit- und ortsunabhängigen Zugfestigkeit von  $\sigma_z = 0,2 \text{ MPa}$  zugewiesen. Forderung F51: Beleg? Begründung? Teilsicherheitsbeiwert?*

Blatt 121: Hinweis H43: Es ist nicht eindeutig ersichtlich, ob die Ausführungen eine Kurzfassung der in P255 dokumentierten Berechnungen dokumentieren oder ergänzende Berechnungen beschreiben.

Blatt 121 *Übertragung der Nachweisführung* Hinweis H44: Von wo auf was?

Blatt 121: *Maßgebend für die Bauzustände ist der Nachweis der Rissbeschränkung aus der Kombination von thermischer Expansion/Kontraktion und autogenem Schwinden von Salzbeton M2. Dabei wird der Einfluss von Verformungshinderungen auf den Spannungszustand und die dadurch ausgelösten Kriechvorgänge mit berücksichtigt. Die mechanische Belastung infolge des Aufkriechens des Salzes kann für die Bemessungssituation Bauzustände - wie bereits erwähnt - vernachlässigt werden. Hinweis H45: Wird Kriechen berücksichtigt oder nicht? Bitte Präzisieren.*

Blatt 125: *Mit zunehmendem Abstand ist eine deutliche Abnahme der maximalen Temperaturerhöhung feststellbar. Hinweis H45: Zunehmender Abstand von der Stirnfläche des Bauwerks?!*

Blatt 128: *Gemäß /1/ ist hierfür eine versuchsgestützte Behandlung erforderlich .... Als ein solcher Vorversuch dient hierfür der im ERAM durchgeführte "in situ-Versuch Abdichtbauwerk im Steinsalz". Forderung F52: Dokumentation und im Sinne der Nachweisführung positive Bewertung des in situ-Versuches sind eine grundlegende und noch zu erbringende Voraussetzung für die Machbarkeit der Nachweisführung.*

Blatt 130: *Scherwiderstand bei Abscheren des Steinsalzes zwischen luftseitiger Stirnfläche und Stahlkragen. Forderung F53: Wenn Stirnfläche nachweislich geschädigt ist, dann fehlt eine Bewertung / ggf. erforderliche Abminderung der Scherfestigkeit des geschädigten Salzgebirges gegenüber dem ungeschädigten Salzgebirge.*

- Blatt 131:  $T_{Scher} = 2(b+h) \times a \times \tau_s = 37600 \text{ kN}$ ;  $\mu_a = \frac{1,5 \cdot H}{T_{Sohle,v} + T_{Scher}} = 0,8 < 1,0$  vgl. Forderung F53
- Blatt 132: *Im Anhang 3-2 bis Anhang 3-7 werden Berechnungsergebnisse .... dargestellt.*  
Forderung F54: Darstellungen vergrößern und durch linienhafte Auftragungen der Zustandsgrößen einer auch zahlenmäßigen Dokumentation und Kontrolle zugänglich machen. Lesbarkeit/Reanalyse der Ergebnisse nur eingeschränkt möglich.
- Blatt 132: .... werden für den Gebirgsbereich am Standort teilweise Zugspannungen errechnet (Anhang 3-3). ... Die potenziell geschädigte Zone reicht am östlichen Ende des Abdichtungssegmentes bis zu 2m tief ins Gebirge (Anhang 3-7).  
Forderung F55: Schädigungszone reicht am östlichen Ende bis in den liegenden Anhydrit. Damit sind ergänzende Ausführungen erforderlich für das Szenario einer von Ost nach West gegebenen potenziellen Umläufigkeit (gegenüber Gasdruck aus dem Ostfeld) des Abdichtbauwerkes über den liegenden Anhydrit.
- Blatt 133: *Die Ergebnisse zeigen, dass es im westlichen Abschnitt des Abdichtungssegmentes - bedingt durch die lokalen geologischen Randbedingungen - schneller zum Druckaufbau kommt als im östlichen Segmentbereich.* Hinweis H46: ... schneller zum Spannungsaufbau (nicht Druckaufbau) kommt. Andernfalls zumindest verwirrend bzgl. Abgrenzung von hydraulischen und mechanischen Einwirkungen/Prozessen.
- Blatt 138: Forderung F56: Stoffmodell und Parameter für viskoplastischen Salzbeton liegen nicht vor. Nicht vollständig, nicht prüfbar.
- Blatt 139: *Die Berechnungen dienen dem Vergleich mit Ergebnissen des 3D-Modells (Plausibilitätskontrolle) und der Nachweisführung an den Standorten weiterer Abdichtbauwerke (Übertragungsstandorte).* Hinweis H47: Nach Einschätzung der Gutachter wird hier erstmalig die erweiterte Zielstellung der 2D-Berechnungen dokumentiert. Derartige Informationen sind grundlegend für die Beschreibung des Nachweiskonzeptes und gehören in die Einleitung.
- Blatt 141: Forderung F57: Berechnungsergebnisse für das lange trockene Endlager werden lediglich für die Betriebszustände "vor Errichtung des Abdichtungs-

segmentes" und "am Ende des Betrachtungszeitraumes" dokumentiert. Erwartet wird eine vollständige, d.h. alle Bau- und Betriebsphasen erfassende Dokumentation. Darstellung der Ergebnisse in Anhang 4 nicht geeignet für eine Reanalyse. Lesbarkeit der Ergebnisdarstellung marginal.

Blatt 142: Forderung F58: Aus den Ausführungen kann nicht entnommen werden, durch welche Lastfälle sich die Berechnungen mit bzw. ohne Injizierung der Kontaktzone unterscheiden.

Blatt 143: Forderung F59: Warum erfolgt keine Erwähnung der berechneten Zugspannungen in der Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse?

Blatt 144: *Zugspannungen werden im 2D-Modell über die gesamte Länge des Abdichtungssegmentes an der Streckenkontur mit einer Tiefe von ca. 10cm ins Gebirge ausgewiesen.* Forderung F60: Ergebnisdarstellung unzureichend. Lesbarkeit nur sehr eingeschränkt / Reanalyse nicht möglich.

Blatt 145: Empfehlung E13: Die vergleichende Darstellung der Berechnungsergebnisse aus den 2D- und den 3D-Modellierungen kann durch die Auftragung jeweils gleicher Zustandsgrößen in einem Diagramm deutlich verbessert werden.

Blatt 146: *Ausgehend von der aufgesättigten ALZ findet entsprechend dem Gradienten des Porendruckfeldes auch ein Abströmen in (radialer) Richtung der geringer permeablen Medien Abdichtung und Gebirge statt. Trotz der deutlich geringeren Permeabilitäten dieser Modellbereiche kommt es insbesondere im Gebirge aufgrund des geringen Porenvolumens zu einer fortschreitenden Aufsättigung.* Forderung F61: Steinsalz ist im ungeschädigten Zustand dicht gegenüber Flüssigkeiten und Gasen!! Eine Modellierung des intakten Steinsalzgebirges als poröses und durchlässiges "Darcy-Medium" ist nicht akzeptabel. Sollten derartige Befunde vorliegen und diese Sichtweise durch den AS bestätigt werden, muss die Nachweisführung für die Stilllegung insgesamt auf diesen Befund umgestellt werden.

Blatt 154: *Die bis dato durchgeführten hydraulisch gekoppelten Berechnungen unter Ansatz des elasto-plastisch - viskoplastischen Stoffmodells für Salzbeton erschienen nach Prüfung nicht plausibel ....* Forderung F62: Stoffmodell und Stoffmodellparameter liegen den Prüfern nicht vor. Rechnerische Nachweisführung durch AS selbst noch nicht abgeschlossen.

- Blatt 168: *Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt eine standortspezifische Nachweisführung für das Abdichtungsbauwerk .... Hinweis H48: Gilt nur eingeschränkt bei Berücksichtigung der Materialkennwerte des anstehenden Gebirges.*
- Blatt 168: *Als Kriterium hierfür wird die hydraulisch wirksame Länge des Abdichtbauwerkes herangezogen. Forderung F63: Grenzwert für hydraulisch wirksame Länge?*
- Blatt 169: *Die Bereiche, in denen kurz nach Errichtung der Streckenabdichtung geringe Zugspannungen ... ausgewiesen werden, werden zunächst als potenziell geschädigt betrachtet. Ist keine kurzfristige Verbesserung festzustellen, werden die Bereiche bei der Ermittlung der hydraulisch wirksamen Länge mit berücksichtigt. Hinweis H49: wie berücksichtigt, präzisieren*
- Blatt 169: *..die Bereiche des Anhydritmittelsalzes mit streckenparallel aufgeschlossenem Anhydritmittel ... werden zunächst nicht als potentiell umläufig betrachtet, sofern die Kartierung /7/ im Maßstab 1:100 für diesen Streckenabschnitt keine Klüfte und Trennflächen ausweist. Forderung F64: Anhydrit gilt grundsätzlich als geklüftet. Nach Einschätzung der Gutachter ist eine ausschließlich auf die angeschnittene Stoßfläche des Anhydritmittels fokussierende visuelle Kontrolle der Rissfreiheit nicht ausreichend, um begründet darzulegen, dass standortbezogen von einer Dichtheit des Anhydritmittels ausgegangen werden kann.*
- Blatt 171: *In Tabelle 7-3 werden... die Abdichtungslängen benannt, welche infolge lokal anstehender leichtlöslicher Salze und/oder Trennflächen als potenziell umläufig bewertet werden. Forderung F65: Präzisieren, wie die Ermittlung der potenziell umläufigen Abdichtungslängen erfolgt.*
- Blatt 173: *Die bis dato durchgeführten hydraulisch gekoppelten Berechnungen unter Ansatz des elasto-plastisch - viskoplastischen Stoffmodells für Salzbeton erschienen nach Prüfung nicht plausibel .... Forderung F66: Stoffmodell und Stoffmodellparameter liegen den Prüfern nicht vor. Rechnerische Nachweisführung durch AS selbst noch nicht abgeschlossen.*
- Blatt 177: *Ebenso weicht der nachgewiesene Wert der hydraulisch wirksamen Länge vom Referenzwert der Abdichtungslänge ab, welcher im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalysen verwendet wird. .... Um die sich ergebenden Abwei-*

*chungen qualitativ und nach Möglichkeit quantitativ bewerten zu können, werden im Folgenden die verwendeten Berechnungsannahmen hinsichtlich ihrer Konservativität bewertet ..... Forderung F67: Entweder ergänzende/neue Berechnungen mit Verzicht auf vermeidbare Konservativitäten oder ergänzende Sicherheitsanalysen.*

Blatt 178: Forderung F68: Es fehlt eine abschließende Aussage hinsichtlich der Frage, ob nach Einschätzung des AS der Nachweis geführt ist.

## **5 Bewertung Lokationsbericht - I505 bzw. Anlage 1 zu I523**

Die in I523 als Anlage 1 bezeichnete Unterlage I505-Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB01 auf der -291 mNN-Sohle (2.Sohle) im Ostquerschlag zwischen dem Kalilagerteil E und dem Ostfeld [U18] dokumentiert die bergbauliche und geologische Situation im Bereich des Abdichtungsstandortes, die geometrische Konfiguration und die im Rahmen der geotechnischen Standorterkundung ermittelten Daten zum mechanischen und hydraulischen Verhalten des anstehenden Salinargebirges. Die Unterlage I505 erfüllt damit die grundsätzliche Anforderung für jeden Abdichtungsstandort ein Kompendium zu schaffen, in dem alle für den standortbezogenen Nachweis erforderlichen Informationen zusammengefasst sind. Bezüglich der Eignung von I505 als Vorlage für die Charakterisierung der insgesamt 21 Abdichtungen herangezogen zu werden, bleibt nach Einschätzung der Prüfer auf drei relevante Sachverhalte wie folgt hinzuweisen:

(1) Gemäß den Ausführungen in I505 sind noch nicht alle für eine abschließende Charakterisierung des Standortes erforderlichen Informationen erarbeitet (→ z.B. abschließende Erkundung der für sicherheitlich relevant eingeschätzten Bohrungen im Umfeld des geplanten Abdichtbauwerkes). Aus der Unterlage kann nicht entnommen werden, ob bzw. inwieweit diese Informationen zu einem späteren Zeitpunkt nachgetragen bzw. in den Bericht eingearbeitet werden. Nach Einschätzung der Prüfer ist zu empfehlen, eine diesbezügliche Festlegung zu treffen, um insbesondere zu gewährleisten, dass vor Ausführung des Abdichtungsbauwerkes alle relevanten Standortcharakteristika in einer Unterlage zusammenfassend dokumentiert sind. Auch sollte vereinbart werden, dass im Sinne einer vollständigen Dokumentation auch solche Informationen ergänzt werden, die im Rahmen der Bauausführung (→ z.B. im Zuge der Aufwältigung der Standorte bzw. des Nachschnitts der Kontur o.Ä.) erarbeitet werden und für die Nachweisführung von Relevanz sind.

(2) In [U18] finden sich keine Informationen dahingehend, ob bzw. welche gesteinsphysikalischen Laboruntersuchungen an Bohrkernmaterial aus dem Nahbereich des Abdichtungsbauwerkes durchgeführt worden sind. Es wird empfohlen, einen entsprechenden Abschnitt in

die Unterlage aufzunehmen und, sofern Ergebnisse zum Festigkeits- und Verformungsverhalten (UC, TC, TE, TCc, etc) und/oder zur Permeabilität aus Laborversuchen an standortbezogenem Material vorliegen, diese in die jeweiligen Berichte zur Standortcharakterisierung zu integrieren.

(3) Bezüglich der mit I505 vorgelegten Berichtsstruktur bleibt schließlich festzuhalten, dass die Ausführungen zur geotechnischen Standorterkundung in Abschnitt 6 der Unterlage charakterisiert sind durch (a) eine Beschreibung des Untersuchungs- und Messprogramms (Abschnitt 6.2) und (b) durch eine Dokumentation der Messergebnisse (Abschnitt 6.3). Die Erwartung des Lesers, im Nachgang zur Beschreibung der jeweils eingesetzten Messtechnik (Permeabilitätsmessung, Hydrofracmessung, Konvergenzmessung) und der Lokation der jeweiligen Messung auch die zugehörigen Messergebnisse zu finden, wird durch die gewählte Dokumentation nicht erfüllt. Eine vertiefte Analyse der jeweils zusammengehörenden Inhalte Messtechnik, Messlokation, Messergebnisse, Auswertung/Interpretation wird durch die gewählte Dokumentation nach Einschätzung der Prüfer deutlich erschwert. Vorstehende Einschätzung gilt auch für die zur Dokumentation von Messtechnik, Messlokation und Messergebnissen beigefügten Abbildungen und Graphiken, die einer dreigliedrigen Systematik folgend als Abbildung im Anhang oder als Anlagen am Schluss der Unterlage beigefügt sind. Im Ergebnis der skizzierten Struktur erfordert die inhaltliche Analyse der geotechnischen Standorterkundung ein vielfaches "Blättern" zwischen den textlichen Ausführungen im Hauptteil der Unterlage und den zugehörigen Dokumentationen in Anhang und Anlage. Zur Verbesserung der Lesbarkeit der dokumentierten Informationen wird daher empfohlen, die Struktur der Berichtsfassung dahingehend zu ändern, dass die jeweils einem geotechnischen Messverfahren zugeordneten Informationen zusammenhängend dokumentiert werden.

Entsprechend den einleitenden Ausführungen erfolgt die nachfolgende Prüfung des Lokationsberichtes ausdrücklich nicht gemäß den Anforderungen der Rahmenrichtlinie über die Gestaltung von Sachverständigengutachten in atomrechtlichen Verwaltungsverfahren. Vielmehr werden im Sinne einer Kurzstellungnahme der Berichtsstruktur folgend die Anmerkungen der Prüfer in chronologischer Reihenfolge zusammengestellt. Soweit erforderlich werden die Ausführungen des AS in *kursiver Schrift* der jeweiligen Bewertung vorangestellt.

Blatt 11: *Die Beschreibung der bergbaulichen Situation, der Geometrie und Bohrungen und der geologischen Verhältnisse sind Grundlagen für die Bauwerksentwürfe der vorgesehenen Abdichtbauwerke.* Hinweis H1: Präzisieren, z.B. Die Beschreibung der Abdichtstandorte hinsichtlich bergbaulicher Situation, geomet-

rischer Konfiguration und Vorhandensein sicherheitlich relevanter Bohrungen  
....

Blatt 11: *Die Sohle ist durch eine Aufschüttung von geschätzt 0,5m eben und ... befahrbar.* Forderung F1: Die Mächtigkeit der Aufschüttung ist sicherheitsrelevant für die spätere Bauausführung. Sofern noch nicht abschließend untersucht, fehlt hier ein Hinweis dahingehend, ob, wann und ggf. wie die tatsächliche Mächtigkeit der Aufschüttung ermittelt werden soll.

Blatt 12: *Da die Bohrung vollständig mit Lauge gefüllt ist, konnte noch keine Bohrlochvermessung durchgeführt werden.* Forderung F2: Wann, wie erfolgt Vermessung?

Blatt 12: *Im Zuge der ..... Untersuchungen zur Auffindung der Bohrung 12YEQ01/RB002 wurde auch eine Erkundung der Bohrung 12YEQ01/RB009 durchgeführt, die aber bisher ergebnislos verlief.* Forderung F3: Weitere Vorgehensweise bzgl. Auffindung?

Blatt 12: *... verläuft die Bohrung 12YER61/RB606 ... welche auch bezüglich des Langzeitsicherheitsnachweises sicherheitsrelevant ist. Sie ist eine verfüllte geologische Kernbohrung von 1994 .... Weitere Details sind im Datenblatt (Anhang 1), dem Bohrlochbild (Anlage 3) und dem Verfüllprotokoll (Anlage 4) ersichtlich.* Forderung F4: Permeabilität der verfüllten Bohrung? Verweise auf Datenblatt, Bohrlochbild und Verfüllprotokoll sind durch einen beschreibenden und bewertenden Textteil zu ergänzen.

Blatt 13: *280m - 265m: Liniensalz ..*Empfehlung E1: Ergänzender Hinweis, dass hier der 1. Abschnitt des geplanten Dammbauwerkes im Westen beginnt.

Blatt 13: *.... hellgrauen Anhydritbrocken (Abbildung 14).* Hinweis H2: Abbildung 14 im Textteil nicht vorhanden. Gemeint ist evtl. Abb. 14, Anhang 4 ??

Blatt 14: *229m - 168m: Hauptanhydrit ...*Empfehlung E2: Ergänzender Hinweis, dass in diesem Streckenbereich kein Abdichtungsbauwerk geplant ist.

Blatt 14: *168m - 76m und ...* Empfehlung E3: Ergänzender Hinweis, welcher Abdichtungsabschnitt hier lokalisiert ist.

Blatt 14: *... hat sich sekundärer Carnallit schichtparallel abgelagert (Abbildung 15 bis 18).* Hinweis H3: Abbildung 15 bis 18 im Textteil nicht vorhanden. Gemeint ist evtl. Abb. 15 - 17 in Anhang 4?? Forderung F5: Gemäß Blatt 8, P524 wird ausgeführt: *Relevant für die anforderungsgerechte Herstellung des Abdichtsegmentes 02AHB01/HY010 ist der an der Basis der Anhydritmittelsalze schichtparallel abgelagerte sekundäre Carnallit ( $\leq 15\text{cm}$  mächtige linsen- bis*

*bankartige Ablagerung*). Vorstehende Information ist aufgrund ihrer Bedeutung zu ergänzen.

- Blatt 16: *Unterhalb der Streckensohle wird unterhalb des Steinsalzes (z3AM4/na) eine mehrere Dezimeter bis Meter mächtige Anhydritscholle (z3AM4/ah) vermutet.*  
Forderung F6: Präzisierung durch Schnittdarstellung, Relevanz für Nachweisführung? streckenparallele Umläufigkeit?
- Blatt 16: *... bei Stationierung 139m (Anlage 1, Anlage 18)...Die Streckenbreite beträgt 4,7m. Die Höhe der Strecke beträgt 3,1m.* Hinweis H3: Geometrische Abmessungen in Anlage 18 nicht dokumentiert.
- Blatt 16: *... bei Stationierung 32m (Anlage 1, Anlage 19). Die Streckenbreite beträgt 4,5m. Die Höhe der Strecke beträgt 3,9m.* Hinweis H4: Geometrische Abmessungen in Anlage 19 nicht dokumentiert.
- Blatt 17: *Die Ergebnisse wurden als Videos mit Standbildern dokumentiert.* Hinweis H5: Wo dokumentiert? Empfehlung E4: Auf Datenträger dem Bericht beifügen.



## 6 Bewertung Baubeschreibung - P524 bzw. Anlage 2 zu I523

Die in I523 als Anlage 2 bezeichnete Unterlage P524 - Baubeschreibung Abdichtbauwerk im Steinsalz "Ostquerschlag zwischen Kalilager E und Ostfeld, 2. Sohle (02AHB01)" dokumentiert aufbauend auf einer für die Planungen zur Bauausführung erforderlichen Standortbeschreibung den Bauwerksentwurf mit Zweck und Aufbau der einzelnen Bauwerksabschnitte sowie den geplanten Bauablauf. Die Unterlage wird von den Prüfern als in sich schlüssig, nachvollziehbar und soweit auf der Grundlage der vorliegenden Belege und Teilnachweise möglich als im Grundsatz vollständig und sachlich richtig eingeschätzt. Die Berichtsstruktur ist nach Einschätzung der Prüfer im Grundsatz geeignet, als Vorlage für die insgesamt zu errichtenden Abdichtungen im ERAM verwendet zu werden. Dabei zu berücksichtigen ist jedoch, dass

- (1) einige wesentliche Elemente des geplanten Bauablaufes zumindest noch nicht abschließend belegt sind (→ Voraussetzung für die Zulässigkeit und/oder Machbarkeit des in P524 beschriebenen Bauwerksentwurfs wie auch der Bauausführung sind die noch nicht vorliegenden positiven Belege zur bautechnischen Machbarkeit und zur Funktionalität des in situ Versuchs Abdichtungsbauwerk im Steinsalz wie auch zur Verfüllung sicherheitsrelevanter Bohrungen mit Magnesiabinder),
- (2) ggf. unter Bezug auf die Erfahrungen im Rahmen des in situ Versuches Abdichtungsbauwerk im Steinsalz präzisierende Ausführungen zur eingesetzten Technik wie auch zu den eingesetzten Materialien und deren Qualitätssicherung zu ergänzen sind,
- (3) der zeitliche Ablauf vor Bauausführung zu präzisieren ist und
- (4) ein Sicherheitsplan zu integrieren ist, aus dem eindeutig hervorgeht, ob und ggf. welche Maßnahmen zu treffen sind, falls die realisierte Bauausführung von der geplanten Bauausführung abweicht (→ Ursache-Wirkungsprinzipien, welche Konsequenzen haben Verschiebungen im Zeitplan, Maßnahmenkatalog, etc.).

Schließlich bleibt bzgl. der konzeptionellen Planungen zum Bauwerksentwurf und zum Bauablauf danach zu fragen, ob und ggf. wie und wann belegt werden kann, dass die geforderte Funktionalität der Bauwerkskomponenten nach Herstellung auch erreicht wurde. Unter Bezug auf die Einwendungen im Rahmen des Erörterungstermins sind nach Einschätzung der Prüfer im Rahmen der Baubeschreibung Ausführungen dahingehend zu ergänzen, ob bzw. inwieweit durch blower door tests oder ähnliche Verfahren zumindest eine partielle Kontrolle der Funktionalität erfolgen kann.

Entsprechend den einleitenden Ausführungen erfolgt die nachfolgende Prüfung der Baubeschreibung ausdrücklich nicht gemäß den Anforderungen der Rahmenrichtlinie über die Gestaltung von Sachverständigengutachten in atomrechtlichen Verwaltungsverfahren. Vielmehr

werden im Sinne einer Kurzstellungnahme der Berichtsstruktur folgend die Anmerkungen der Prüfer in chronologischer Reihenfolge zusammengestellt. Soweit erforderlich werden die Ausführungen des AS in *kursiver Schrift* der jeweiligen Bewertung vorangestellt.

- Blatt 4: Hinweis H1: Die als Anlage 1 und Anlage 2 der Unterlage beigefügten Datenblätter sind nicht als Anlage gekennzeichnet.
- Blatt 5: *.... sind bedeutsame Bohrungen mit Magnesiabinder zu verfüllen.* Forderung F1: Machbarkeit und Funktionalität sind noch nicht belegt.
- Blatt 9: *... die Einlagerungsbereiche selbst weisen keine potenziellen Zutrittspfade auf.* Forderung F2: Gemäß Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung ist vorstehende Aussage noch auf der Grundlage von Dilatanz- und Fluidkriterium zu belegen.
- Blatt 9: *...ist eine integral über den Querschnitt gemittelte Permeabilität  $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$  als Anfangswert zu gewährleisten.* Forderung F3: Nachweis im Rahmen in situ Abdichtungsbauwerk noch zu erbringen.
- Blatt 11: *Durch den Einbau perforierter Trennbleche ....* Forderung F4: Nachweis im Rahmen in situ Abdichtungsbauwerk noch zu erbringen.
- Blatt 13: *Die Festlegung der erforderlichen Nachschnitttiefe der Streckenkontur erfolgt auf der Grundlage der Ergebnisse der Permeabilitätsmessungen ....* Forderung F5: Permeabilitätsmessungen erfolgen nur punktuell. Bei Festlegung der Nachschnitttiefe auch Ergebnisse der numerische Berechnungen berücksichtigen.
- Blatt 15: *Die Verfüllung wird entsprechend den in /7/ und /8/ definierten Anforderungen definiert.* Forderung F6: Beleg für Machbarkeit und Funktionalität liegt noch nicht vor.
- Blatt 15: *Ein Nachweis der anforderungsgerechten Verfüllung erfolgt separat.* Forderung F7: Nachweis in Unterlage integrieren.
- Blatt 16: *Vor der Verfüllung werden der Zustand und der Verlauf der Bohrung mit geeigneten Methoden erkundet und die Bohrung anschließend aufgewältigt, ...* Forderung F8: Methoden präzisieren und Prozessbeschreibung in Unterlage integrieren.
- Blatt 16: *....ist ggf. der Auftrag eines Trennmittels auf die Oberfläche ...* Forderung F9: Trennmittel und "ggf." präzisieren.
- Blatt 17: *...im Bereich ausstreichender Kalisalzlinsen mit einem Trennmittel ...* Forderung F10: Trennmittel definieren, Eignungsnachweis
- Blatt 17: *Als Schalung .... sind mehrfach einsetzbare Systeme vorgesehen,...* Forderung F11: Präzisieren

- Blatt 20: *Nach dem Nachschnitt ... werden ringförmige Schlitze in das Streckenprofil des Abdichtbauwerks eingefräst, ...* Forderung F12: Nachweis Machbarkeit und Funktionalität durch in situ Abdichtungsbauwerk im Steinsalz
- Blatt 20: *Nach einer Standzeit des Baukörpers von ca. 60 Tagen und nach Verpressen...* Forderung F12: Beleg für Eignung/Zulässigkeit der zeitlichen Terminierung
- Blatt 20: *... Hüllrohr durch Ausbohren entfernt und die Bohrung ...* Forderung F13: Beleg für Machbarkeit und Funktionalität
- Blatt 22: *...und andererseits eine Neubildung durchlässiger Auflockerungszonen so gering wie möglich gehalten wird. Diese Zeitspanne beträgt ca. 3 Monate.* Forderung F14: Begründung / Beleg

## 7 Verzeichnis der Quellen

### 7.1 Verfahrensunterlagen

- U01 Laske, D. (2007): Planungsstudie für einen In-situ-Versuch zum Bau von Streckenabdichtungen aus Salzbeton, BfS.
- U02 P192 – Verfüllmaterial für Strecken mit hohen Anforderungen – Materialeigenschaften und Materialkennwerte Salzbeton M2, DBE, 17.11.2004.
- U03 P195 – Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen - Konzeptplanung und Nachweisführung, DBE, 28.06.2004.
- U04 P255 - Mauke, R.; Laske, D. (2007): Stilllegung Endlager Morsleben – Verfüllen von Strecken mit hoher Anforderung – Bauzustände für horizontale Strecken (ergänzende Untersuchungen zum Nachweis der Rissbeschränkung im Salzbeton) und Nachweis-konzept für das südliche Wetterrollloch, BfS.
- U05 G256 - Mauke, R. (2007): Stilllegung Endlager Morsleben – Verfüllung von Strecken mit hoher Anforderung – Konzept- und Systembeschreibung, BfS, 14.03.2007.
- U06 P262 - Mohlfeld, M.; Stielow, B. (2007): Numerische Untersuchungen zur Übertrag-barkeit der exemplarischen Nachweisführung der Streckenabdichtung von der 3. Sohle auf die 4. Sohle, Zerna Ingenieure, 30.05.2007.
- U07 P263 - Heimer, St.; Mohlfeld, M.; Scholzen, A.: Konzeptplanung und Nachweisfüh-rung für das Abdichten des südlichen Wetterrolllochs, Zerna Ingenieure, 14.02.2007.
- U08 I343 - MPA/ IBMB-TU Braunschweig: Untersuchungen zum Nachweis der Rissbe-schränkung im Salzbeton von Streckenverfüllungen, MPA Braunschweig, 06.03.2007.
- U09 P264 - Pettenpohl, H.; Pier, J.: Endlager Morsleben – Die Errichtung und Nachweis-führung für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen, DMT, 31.01.2007.
- U10 P266 - Konzeptplanung und Nachweisführung für ein Abdichtbauwerk im Hauptan-hydrit aus Magnesiabeton; K-UTEC, Stand 17.09.2008.
- U11 P298 - Injektion von Abdichtungssegmenten mit Feinstsuspensionen; IGH Ingenieur-gesellschaft Grundbauinstitut, Hannover, 26.02.2009.
- U12 G296 - Anforderungen an Salzbeton als Baustoff für Abdichtbauwerke im Steinsalz, DBE, Stand 26.02.2009.
- U13 P145 – ERA Morsleben – Kriterien für das Verfüllen von Bohrungen, BfS, JM 2234021, 30.07.2002.
- U14 G148 – ERA Morsleben – Systembeschreibung und Qualitätssicherungskonzept – Bohrlochverfüllung mit Magnesiabinder, BfS, 9M 22343021, 19.07.2002.
- U15 P174 – Verfüllen untertägiger Bohrungen mit Magnesiabinder, BfS, 9M 66412031, 17.12.1999.

- U16 A281 - Plan zur Stilllegung des ERAM, BfS, Stand 31.03.2009
- U17 I523 - Stilllegung ERAM - Vertiefte Nachweisführung Abdichtungsbauwerk im Steinsalz, Ostquerschlag zwischen Kalilager E und Ostfeld, 2. Sohle (03AHB01), BfS, 9M/32343021, 15.12.2011.
- U18 I505 - Lokationsbericht Abdichtungsbauwerk 03AHB01 auf der -291mNN-Sohle (2. Sohle) im Ostquerschlag zwischen dem Kalilager E und dem Ostfeld, DBE, KZL, 9M/32341023/03AHB01///G/BZ/0001/01, 22.02.2011.
- U19 P524 - Baubeschreibung Abdichtbauwerk im Steinsalz "Ostquerschlag zwischen Kalilager E und Ostfeld, 2. Sohle (03AHB01)", DBE, KZL, 9M/32343021-/03AHB01///GH/BZ/001/01, 09.02.2011.

## 7.2 Sonstige Literatur

- L01 AG Morsleben (26.04.2010): Prüfbericht im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung des ERA Morsleben - Prüfkomples "Verfüllen und Verschließen von Strecken" - Teil 1: Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung, Stendal, April 2010.
- L02 AG Morsleben (22.12.2012): Prüfbericht im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung des ERA Morsleben - Prüfkomples "Verfüllen und Verschließen von Strecken" - Teil 2: Sachstandsbericht 2011, Stendal, Dezember 2012.
- L03 TU Clausthal (04.05.2012): Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung von Einzelunterlagen zum Standsicherheits- und Integritätsnachweis des ERA Morsleben - Unterlagen P214/P215/P224/P234/P243/P245/P267, Prüfkomples 8, Clausthal, Mai 2012.
- L04 TU Clausthal (23.10.2012): Stellungnahme zu ausgewählten Fragestellungen der Brenk Systemplanung GmbH im Rahmen der Prüfung des Sicherheitskonzepts (PK8), Clausthal, Oktober 2012.

### **7.3 Fachgespräche und Befahrungen**

F01 Fachgespräch und Protokoll: „Streckenverschlüsse“, Magdeburg 18.06.2010

F02 Fachgespräch und Protokoll: „Streckenverschlüsse“, Infohaus ERAM 07.02.2012

F03 Fachgespräch: „Anforderungen an die Abdichtungsbauwerke im ERAM“, Köln, BMU  
07.05.2013

F04 Fachgespräch und Protokoll: „Streckenverschlüsse“, Magdeburg 26.11.2008

F05 Fachgespräch: „Abdichtbauwerke im Steinsalz“, Infohaus ERAM 24.10.2012