

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Szenarienanalyse
Geologische Langzeitbewertung und Ermittlung der Zuflussszenarien ohne
technische Maßnahmen

Autor: Käbel, H., Keller, S. & Gerardi, J.

Erscheinungsjahr: 1999

Unterlagen-Nr.: P 067

Revision: 00

Unterlagenteil:



Inhaltsverzeichnis

Verkürzte Zusammenfassung	4
1 Zielstellung und Grundlagen des Berichts	5
1.1 Zielstellung gemäß Leistungsbeschreibung	5
1.2 Geowissenschaftliche Grundlagen	5
2. Methodische Grundlagen und Vorgehensweise	10
2.1 Übersicht zum internationalen Stand	10
2.2 Vorgehensweise am Endlagerstandort Morsleben	14
3. Identifikation, Beschreibung und Bewertung standortspezifischer ZEP	16
3.1 ZEP-Gruppe 1: Mächtigerkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers	16
3.2 ZEP-Gruppe 2: Zufluß von Wässern in das Endlager	21
3.3 ZEP-Gruppe 3: Vorgänge im lösungsgefüllten Endlager und Austritt kontaminierter Lösungen	38
3.4 Zustandsbezogene zeitliche Differenzierung	43
3.5 Tabellarische Zusammenstellung und Kurzbewertung der ZEP	45
4 Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der standortspezifischen Zuflußszenarien	50
4.1 Verknüpfungselemente zur Szenariendifindung	50
4.2 Ermittlung der potentiellen Zuflußszenarien	54
4.3 Beschreibung und Bewertung der Zuflußszenarien	56
4.3.1 Rangfolge der Herkunftsorte und Migrationspfade von Zuflüssen nach dem potentiellen Liefervermögen	56
4.3.2 Potentielle Zuflußszenarien beim Zustand A (Ausgangszustand) des Endlagers Morsleben	59
4.3.3 Potentielle Zuflußszenarien beim Zustand B des Endlagers Morsleben	60
4.3.4 Potentielle Zuflußszenarien beim Zustand C und D des Endlagers Morsleben	62
4.3.5 Zusammenstellung der vorrangigen Zuflußszenarien	62
5. Modellhafte Schematisierung der von Zuflußszenarien potentiell betroffenen Lokationen des Endlagers Morsleben	65
5.1 Grundsätze der modellhaften Schematisierung	65
5.2 Identifikation der potentiell zuflußgefährdeten Grubenbaue	73
6. Zusammenfassung	79

Literaturverzeichnis	82
Definitionen und Begriffserklärungen	86
Abkürzungsverzeichnis	89
Verzeichnis der Tabellen	90
Abbildungsverzeichnis	90
Anlagenverzeichnis	91
Gesamtblattzahl des Berichts (einschl. Anlage): 112	

ERA
Morsleben

Verkürzte Zusammenfassung

Autoren: H. KÄBEL & J. GERARDI

Titel: Projekt ERA Morsleben. Szenarienanalyse. Geologische Langzeitbewertung und Ermittlung der Zuflußszenarien ohne technische Maßnahmen

Stichworte: Deckgebirge, ERA Morsleben, Geologische Prozesse, Salzbarriere, Szenarienanalyse, Wegsamkeiten, Zuflußszenarien

Die für die Langzeitsicherheit des Endlagers Morsleben wichtigen geowissenschaftlichen Sachverhalte werden in Form von ZEP (Zustände, Ereignisse und Prozesse) dargestellt und bewertet. Das Hauptaugenmerk gilt den Zuflußszenarien, die eine Flutung des Endlagers mit anschließender Kontamination der Lösungen unterstellen. Die hydrogeologisch angelegte Analyse führt zur Identifikation von 26 standortspezifischen Zuflußszenarien und ermöglicht eine qualitative Abschätzung der Zeiträume ihres Auftretens und der relativen Zuflußmengen. Der Lokalisierung potentiell zuflußgefährdeter Grubenhohlräume liegen 8 vorrangige Szenarien zugrunde. Die Transportmechanismen und Ausbreitungsbahnen für kontaminierte Lösungen werden kurz dargelegt.

1 Zielstellung und Grundlagen des Berichts

1.1 Zielstellung gemäß Leistungsbeschreibung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beauftragte die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) mit der „Szenarienanalyse, Szenarienbewertung und geologischen Langzeitprognose“ des Endlagerstandortes Morsleben. Dabei sollen die Veränderungen, denen die geologische Barriere auf Grund geodynamischer Prozesse unterworfen ist (z.B. Epirogenese, Tektonik, Erdbeben, Vulkanismus) unter Beachtung klimatischer Einflußfaktoren (z.B. Permafrost, Vereisungen) identifiziert, beschrieben und bewertet werden. Im Rahmen dieses Auftrages sind Szenarien abzuleiten, die den potentiellen Transport von Radionukliden aus dem Endlager untersuchen. Da als einziges relevantes Transportmedium Lösungen in Frage kommen, sind in erster Linie Szenarien aufzuzeigen, die die Wegsamkeiten für den Eintritt von Lösungen in das Endlager und den Transport kontaminierter Lösungen aus dem Endlager beschreiben. Der Zeitpunkt des Eintritts der Ereignisse ist aus den geologischen und geomechanischen Randbedingungen abzuleiten. Die geologische Langzeitprognose soll einen Zeitraum umfassen, für den die am Standort des Endlagers Morsleben ablaufenden geologischen Veränderungen fachlich vertretbar qualitativ beschrieben und bewertet werden können. Die Ergebnisse der Szenarienanalyse und -bewertung werden in die Konzeptplanung für das Verfüllen und Verschließen des Endlagers und in die Langzeitsicherheitsmodelle Grubengebäude sowie Geosphäre einfließen. Der vorliegende Bericht war ohne Berücksichtigung technischer Maßnahmen abzufassen.

1.2 Geowissenschaftliche Grundlagen

Die Szenarienanalyse stützt sich auf eine umfassende geowissenschaftliche Bearbeitung des Endlagerstandortes, insbesondere auf folgende Untersuchungen und Ergebnisse:

- * geologischer Bau und strukturgeologische Entwicklung des Standortbereiches,
- * geologisches Modell der genutzten Salzlagerstätte,
- * geomechanische Berechnungen zum vorhandenen Bergwerk,
- * geologischer Bau und Durchlässigkeitseigenschaften des Hutgesteins,
- * hydrogeologisches Modell des Deck- und Nebengebirges,
- * Langzeitprognose klimagesteuerter geologischer Prozesse.

Die standortspezifischen Angaben der vorliegenden Ausarbeitung nehmen Bezug auf spezielle, jeweils zitierte Berichte zu den obigen Sachverhalten. Zur strukturgeologischen Orientierung können die Abbildungen 1 bis 3 dienen.

ERA
Morsleben

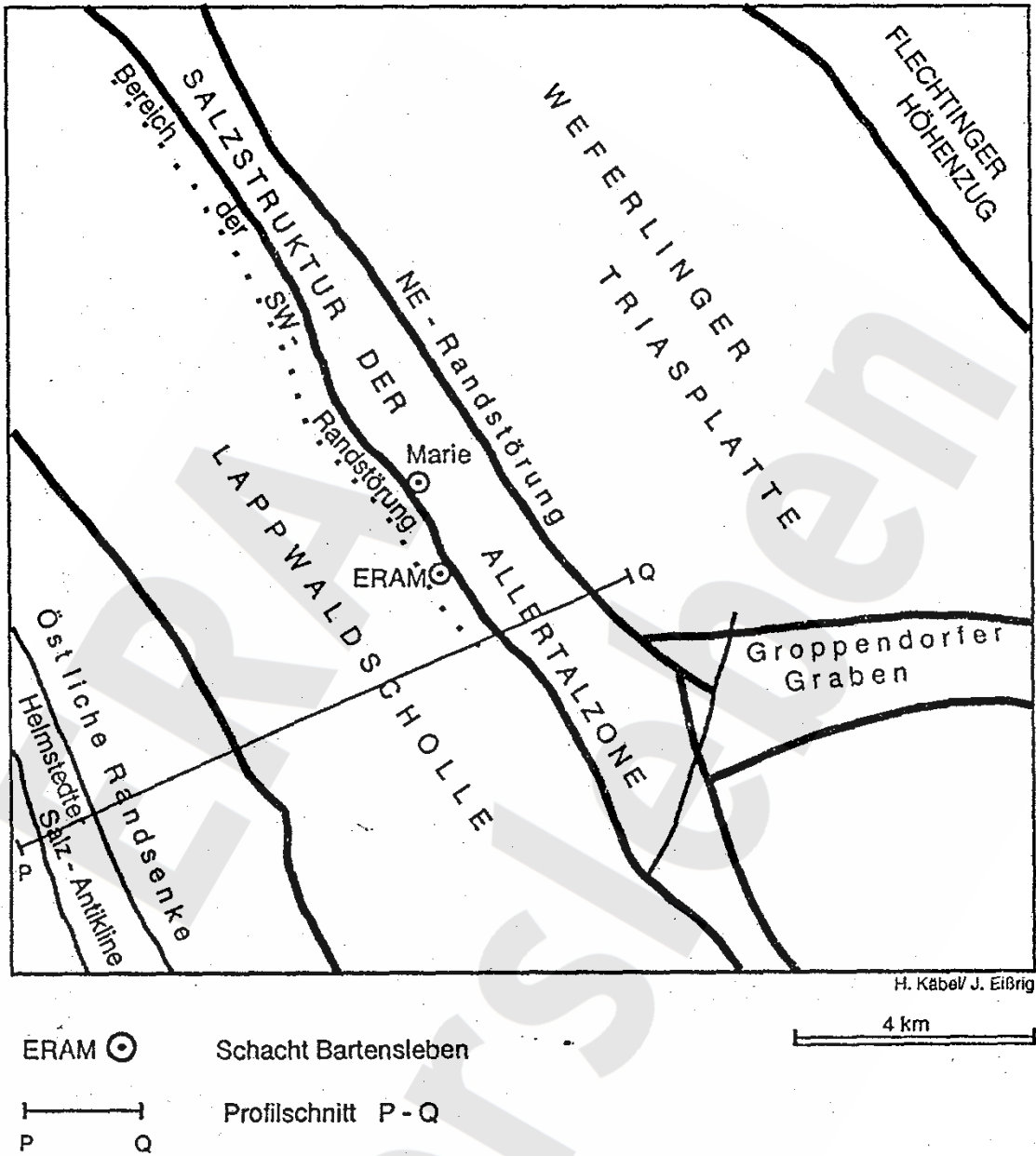
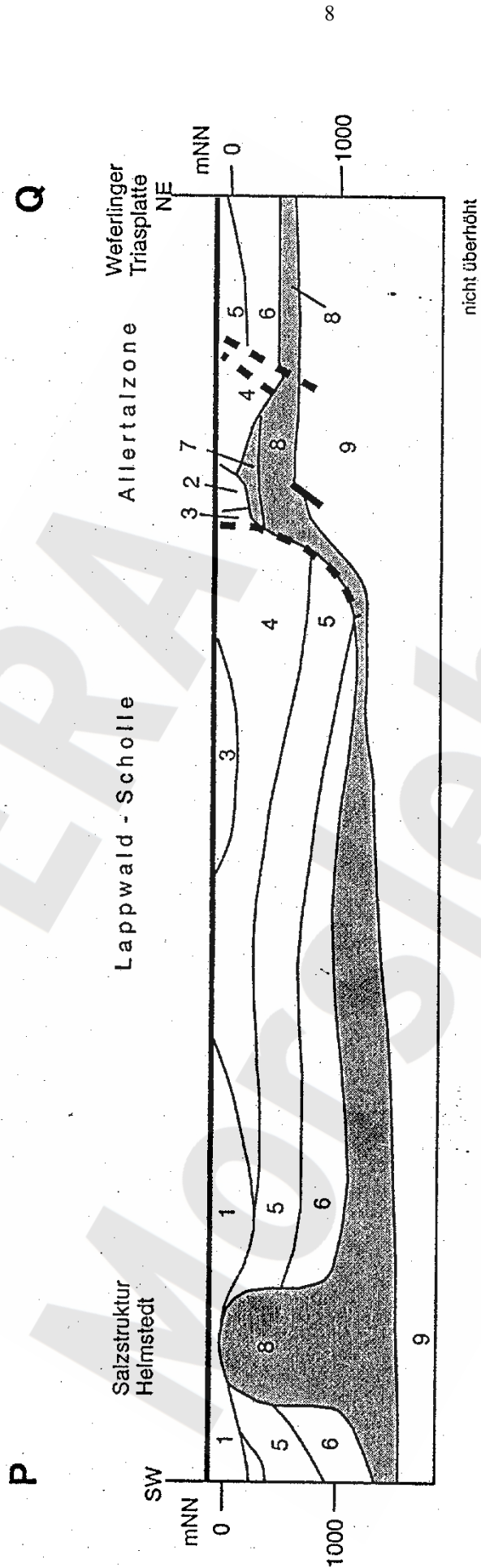
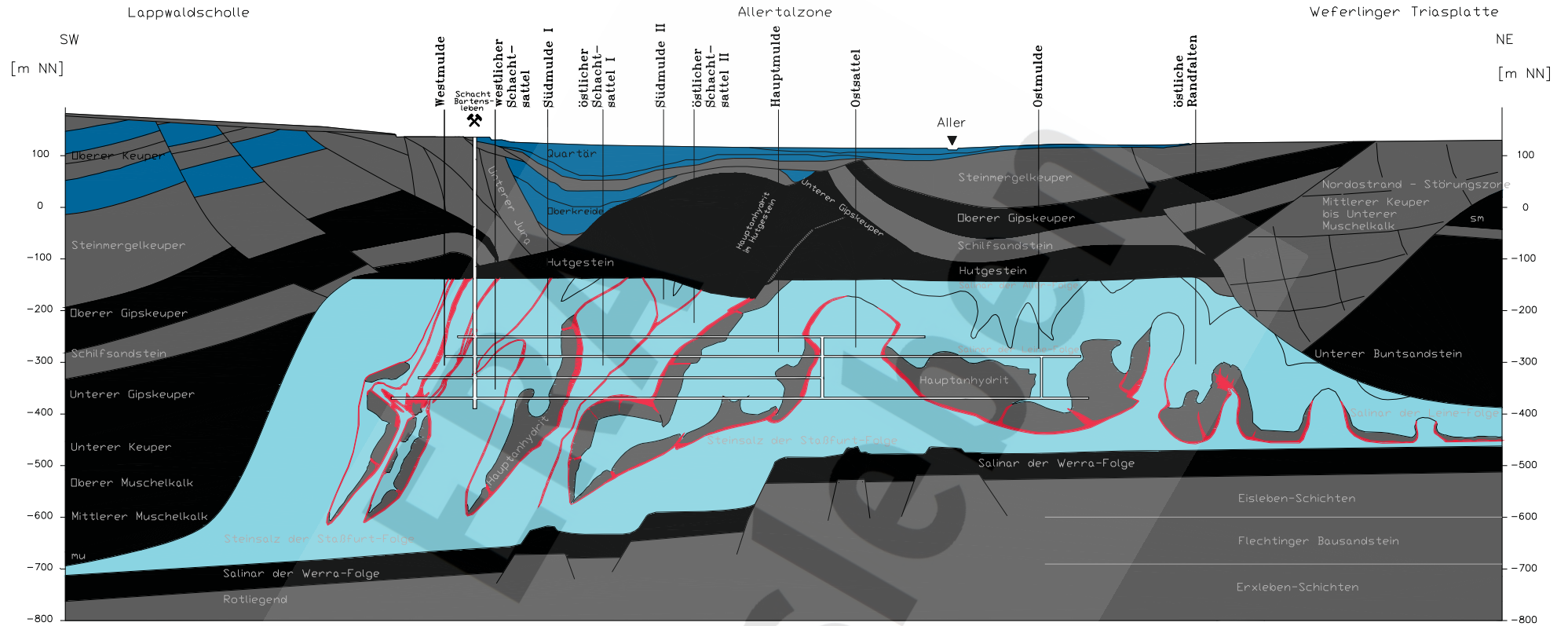


Abb. 1: Übersichtskarte der Hauptstrukturen



- 1 - Quartär und Tertiär, 2 - Obere Kreide, 3 - Jura, 4 - Keuper, 5 - Muschelkalk und Röt,
- 6 - Mittlerer und Unterer Buntsandstein, 7 - Hutgestein, 8 - Zechstein, 9 - Rotliegendes

Abb. 2: Übersichtsprofil mit den Salzstrukturen Helmstedt und Allertal
 (modifiziert nach BALDSCHUHN, R. u. KOKKEL, F. 1996)



LEGENDE

Deck- und Nebengebirge

- q Quartär
- kro Oberkreide
- ju Unterer Jura (Lias)
- ko Oberer Keuper
- km Mittlerer Keuper (Unterer Gipskeuper bis Steinmergelkeuper)
- ku Unterer Keuper
- mo Oberer Muschelkalk
- mm Mittlerer Muschelkalk
- mu Unterer Muschelkalk
- sm Mittlerer Buntsandstein
- su Unterer Buntsandstein

Hutgestein und Salinar

- cr Hutgestein
- X_{ANcr} Hauptanhydrit im Hutgestein
- X "DGL" (Deckanhydrit, Grober Salzen, Leine-Karbonat)
- z4 Salinar der Aller-Folge
- z3AN Hauptanhydrit
- z3 Salinar der Leine-Folge
- z2SF Kaliflöz Staßfurt
- z2NA Steinsalz der Staßfurt-Folge
- z1 Salinar der Werra-Folge

Subsalinar

- r Rotliegend Saxion (Eisleben-Schichten und Flechtinger Bausandstein) Autun (Erleben-Schichten u.a.)

sonstige Signaturen:

- Störung
- Schichtung
- ⊗ Nordstrand – Störungszone
- ▭ Salzspegel

Hydrostratigraphie

- Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \geq 1E-6$ [m/s]
- Durchlässigkeitsbeiwert $k_f < 1E-6$ bis $1E-10$ [m/s]
- Durchlässigkeitsbeiwert $k_f < 1E-10$ [m/s]
- Salinare Schichten des Salzstocks Durchlässigkeitsbeiwert $k_f < 1E-11$ [m/s]
- Kaliflöz Staßfurt (z2SF) Durchlässigkeitsbeiwert $k_f < 1E-11$ [m/s]
- ▭ Grenzen hydrostratigraphischer Einheiten



Abb. 3: Schematischer hydrostratigraphischer Südwest – Nordost Schnitt durch das Allertal im Bereich des ERA Morsleben

2. Methodische Grundlagen und Vorgehensweise

Die Szenarienanalyse ist Teil der Sicherheitsbewertung des Endlagers. Bezogen auf das System Endlager – geologische Barriere, das geologisch und bergbaulich bewirkten Zustandsänderungen unterliegt, sind die dem System immanenten Entwicklungsmöglichkeiten mit ihren Konsequenzen für die Einhaltung der Schutzziele aufzuzeigen (Definitionen und Begriffserklärungen sind hinter dem Literaturverzeichnis zu finden). Das Schutzziel besteht neben der Einhaltung der Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes und des Bundesberggesetzes im sicheren Abschluß des Endlagers gegen die Biosphäre, wobei auch die geologisch nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgänge aus dem verschlossenen Endlager zu berücksichtigen sind, die nicht zu Individualdosen führen dürfen, die die Werte des § 45 der Strahlenschutzverordnung überschreiten.

2.1 Übersicht zum internationalen Stand

Aus der Literatur sind unterschiedliche methodische Ansätze für die Szenarienanalyse bekannt. Zwei Vorgehensweisen haben sich profiliert – die mathematisch-probabilistische einerseits und die deterministisch-beschreibend ausgerichtete andererseits.

Aus geologischer Sicht ist nach CHAPMANN (1994) ein deterministischer Ansatz angemessener: *Alle geologischen Ereignisse „... sind das Ergebnis langsamer, im Hintergrund ablaufender Prozesse, die eng deterministisch mit den generellen Entwicklungen verbunden sind. Kein einziges Ereignis tritt unabhängig von vorhergehenden ähnlichen Ereignissen ein. (...) In dem gesamten Feld der Wahrscheinlichkeitsberechnungen für natürliche Ereignisse trifft wahre Zufälligkeit nur auf Meteoriteneinschläge zu.“*

Zur praktischen Durchführung einer Szenarienanalyse finden sich in der Literatur (BONANO 1994) Ansätze von Arbeitsgruppen u.a. aus England, Frankreich, Kanada, den Vereinigten Staaten von Amerika, Schweden und den Niederlanden. Die jeweils gewählte Methodik sei hier kurz angerissen.

Die in *England* mit der Szenarienanalyse beauftragte UK Nirex Ltd. stellt zunächst nicht akzeptable Konsequenzen zusammen, die ein tiefgelegenes Endlager auslösen könnte.

Als Szenarien werden dann die Ursachen untersucht, die zu den Konsequenzen führen. Dabei wird die „Fehlerbaum“-Analysenmethode eingesetzt (BILLINGTON et al. 1990). Der Weg kann folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- Unterteilung des Endlagersystems in unterschiedliche Komponenten, die Szenarienelemente,

- Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Szenarienelementen anhand eines Einflußdiagramms,
- Festlegung eines vollständigen Satzes von Eigenschaften, die ein Szenarienelement im Sicherheitszeitraum haben kann,
- Aufstellen eines Szenarienelement-Eigenschaften-Baums, um die verschiedenen Eigenschaften kombinieren zu können, wobei jede Kombination ein mögliches Szenarium definiert,
- Durchsicht der Kombinationen anhand von genau definierten Kriterien und
- Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten.

Dieser als „top-down approach“ bezeichnete Ansatz unterscheidet sich völlig von allen anderen, die einem „bottom-up Prinzip“ folgen, indem sie zunächst FEP¹ untersuchen, ehe sie Szenarien beschreiben. Die UK Nirex Ltd. hält ihren Ansatz für einfacher, da er zu einer kleineren Anzahl von Szenarien führen soll.

In *Frankreich* liegt die Vorgehensweise bei der Szenarienauswahl durch die Règles Fondamentales de Sûreté No. III-2-f (RFS) fest. Darin werden in einer vorläufigen Liste Szenarien für potentielle französische Endlagerstandorte vorgegeben, die bei den Untersuchungen zu berücksichtigen sind. Auf der Grundlage dieser RFS hat die ANDRA (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) ein Arbeitsprogramm zur Durchführung von Sicherheitsanalysen entwickelt. Die RFS geben zur Szenarienanalyse folgende Schritte vor (RAIMBAULT et al. 1992):

- Identifizierung eines vollständigen Satzes von unabhängigen auslösenden Ereignissen, die durch natürliche Vorgänge, durch das Endlager oder durch menschliche Aktivitäten bedingt sind und das Verhalten des Endlagers beeinflussen können,
- Aufstellen einer Rangordnung der Ereignisse anhand von Wahrscheinlichkeiten, Konsequenzen oder ihrer Relevanz, bezogen auf eine bestimmte Formation oder einen bestimmten Standort,
- Identifizierung sekundärer Ereignisse oder Prozesse, die durch die auslösenden Ereignisse verursacht werden,
- Definitionen von Szenarienfamilien und Auswahl eines abdeckenden Szenariums aus jeder Szenarienfamilie.

Die abdeckenden Szenarien werden in der Sicherheitsanalyse weiterverwendet.

Das *kanadische* Vorgehen nach STEPHENS & GOODWIN (1989) sieht für die Identifizierung von Szenarien die Aufstellung von „Faktoren“ vor. Dabei handelt es sich um eine umfassende Liste aller möglichen Zustände, Ereignisse oder Prozesse, die ein Bergwerk, die Geo- oder Biosphäre

¹ Features, events and processes (FEP) = Zustände, Ereignisse und Prozesse

betreffen könnten. Nach einer detaillierten Klassifizierung werden die Faktoren kritisch betrachtet, um die wichtigen Faktoren herauszufinden, die quantitative Abschätzungen im Rahmen einer probabilistischen Szenarienanalyse ermöglichen. Die unwichtigen Faktoren werden aus der weiteren Betrachtung herausgenommen.

Über ein „Zentrales Szenarium“ werden die wahrscheinlichsten Freisetzungsmechanismen unter Verwendung möglichst vieler Faktoren beschrieben. Dabei nicht verwendete Faktoren werden zur Aufstellung „alternativer Szenarien“ herangezogen. Nach einer formalen Behandlung dieser Szenarien werden die weiter in Rechenmodellen zu betrachtenden Szenarien festgelegt, wobei ihnen Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden können.

In den *Vereinigten Staaten von Amerika* wurde von den SANDIA National Laboratories (SNL) eine Methode zur Szenarienauswahl entwickelt, die die Arbeiten nahezu aller internationalen Arbeitsgruppen auf diesem Gebiet in irgendeiner Weise beeinflusst hat.

Die auf CRANWELL et al. (1990) zurückgehende Methode enthält folgende Schritte:

- Identifizierung von events and processes (EP, Ereignisse und Prozesse), die schädliche Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit eines Endlagersystems haben können,
- Klassifizierung der EP zur Überprüfung auf Vollständigkeit; Klassen sind:
 - natürlich bedingt,
 - anthropogen,
 - vom Abfall ausgehend,
 - vom Endlager ausgehend,
- Durchsicht (Screening) der anfänglichen EP zur Reduzierung ihrer Anzahl,
- Aufstellen von Szenarien aus den verbliebenen EP mit Hilfe eines Logikbaums,
- Durchsicht der Szenarien anhand der Kriterien:
 - physikalisch vernünftig,
 - Eintrittswahrscheinlichkeit,
 - mögliche Folgen,
- Auswahl eines endgültigen Satzes von Szenarien unter Berücksichtigung der Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit zur Konsequenzanalyse, Einbeziehung der Expertenbeurteilung (BONANO et al. 1990).

Eine Variante der SANDIA-Methode stellt die in sechs Schritten ablaufende Szenarienanalyse der US Nuclear Energy Regulatory Commission (NRC) dar:

- Identifizierung von Ereignissen und Prozessen,
- Abschätzung der Wahrscheinlichkeiten für jedes EP,
- Durchsicht der EP zur Verringerung ihrer Anzahl,
- Szenarienaufstellung aus den nach Durchsicht verbliebenen EP,

- Berechnung der Wahrscheinlichkeiten aus den Szenarien,
- Durchsicht der Szenarien mit dem Ziel der Verringerung der Anzahl.

In *Schweden* wird seit 1988 von SKB (Swedish Nuclear Waste Management Company) und SKI (Swedish Nuclear Power Inspectorate) an der Methodenentwicklung zur Szenarienanalyse gearbeitet. Grundlage der Analyse ist ein hypothetisches Endlager.

Ausgehend von der von Cranwell et al. (1990) vorgestellten, in den USA entwickelten „SANDIA Methode“ zur Szenarienentwicklung, führt SKB / SKI das „Prozeß-System“ ein. Dem Ansatz liegt die Erkenntnis zugrunde, daß unterschiedliche Zustände, Ereignisse und Prozesse (FEP), unterschiedliche Ursachen haben und unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Deshalb sollen sie auch differenziert behandelt werden. Das Prozeß-System soll alle Vorgänge enthalten, die umfassend untersucht sind und kontinuierlich weiterlaufen oder die augenblicklich ruhen, jedoch durch externe Ursachen erneut angeregt werden können.

Zunächst werden FEP zusammengestellt unter Beachtung der Kriterien:

- Eintrittswahrscheinlichkeit: wahrscheinlich, unwahrscheinlich aber möglich, sehr unwahrscheinlich,
- Endlager Systemkomponenten: Nahfeld, Fernfeld, Biosphäre,
- Eintrittszeitraum: 0–100 a, 100–10 000 a, 10 000–1 000 000 a, >1 000 000 a,
- Ursachen: natürlich induziert, vom Endlager induziert oder anthropogen.

Jedes FEP wurde beschrieben, begründet und anschließend gemäß dem SANDIA-Verfahren untersucht. FEP mit zu geringer Datenbasis wurden zunächst nicht in das Prozeß-System übernommen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen war eine Gliederung der FEP in 4 Klassen:

- Klasse 1: FEP, die zur Aufstellung von Szenarien herangezogen werden,
- Klasse 2: FEP gehört zum Prozeß-System,
- Klasse 3: FEP wird bei isolierten Szenarien betrachtet,
- Klasse 4: FEP wird aus der Betrachtung herausgenommen.

Die in den *Niederlanden* erstellte PROSA-Studie (Probabilistic Safety Analysis Assessment) lehnt sich in ihrer Vorgehensweise an die SKB / SKI-Methode an (PRIJ 1993). Der PROSA-Studie folgte die VEOS-Studie (Safety evaluation of disposal concepts in rock salt) als Teil des Nationalen Forschungsprogramms „Opberging te Land (OPLA) Fase 1“. Zu diesem Programm gehörte auch das Projekt GEO-1A des RGD zur Schaffung der geologischen Datenbasis und zur Entwicklung geologisch ausgerichteter Untersuchungsmethoden.

In der VEOS-Studie werden mit konservativen Parametern deterministische Konsequenzanalysen durchgeführt sowie anhand ingenieurmäßiger und geowissenschaftlicher Einschätzungen Freisetzungsszenarien aufgestellt. Aufgabe der GEO-1A Studie ist die Beschreibung und Pro-

gnose der potentiellen zukünftigen Zustände der geologischen Barriere eines Endlagers für radioaktive Abfälle in einem Salzstock in den Niederlanden. Mit der angeschlossenen SESAM-Studie werden die speziellen Fragestellungen zur Subrosion und zu den (Paläo-)Hydrologischen Randbedingungen der Nordost-Niederlande bearbeitet.

Die Ergebnisse der GEO-1A und der SESAM-Studie wurden teilweise für die Definition der in der PROSA-Studie verwendeten ZEP genutzt. Die weitere Verarbeitung der ZEP folgte weitgehend der schwedischen Methode der Szenariendifindung.

Sämtliche vorgestellten Methoden zur Ableitung von Szenarien aus ZEP werden zwischen den Bearbeitern verschiedenster Länder auf internationaler Ebene weiterhin intensiv diskutiert. Es besteht die überwiegende Meinung, daß ZEP vollständig zu identifizieren sind, daß die standortrelevanten Gegebenheiten für eine differenzierte standortspezifische ZEP-Liste anschließend zu Szenarien kombiniert werden sollen und daß diese Szenariendifindung und -analyse strukturiert, übersichtlich und klar nachvollziehbar zu erfolgen hat.

2.2 Vorgehensweise am Endlagerstandort Morsleben

Die für diesen Bericht benutzte Methodik zur Szenariendifindung und -analyse ist der internationalen Vorgehensweise angelehnt und den Erfordernissen des Endlagerstandortes angepaßt.

Beim Endlager Morsleben besteht die Besonderheit, daß es in einem ehemaligen Salzbergwerk installiert wurde, dessen geologische, geometrische und geomechanische Bedingungen in vielen Grubenteilen nicht auf die jetzige Nutzung zugeschnitten sind. Dies ist insbesondere bei der Beschreibung und Bewertung des salinaren Anteils der geologischen Barriere zu berücksichtigen. Eine weitere Besonderheit ergibt sich aus der Zielsetzung, die Ergebnisse der Szenariendifindung bei der Konzeptplanung für die Verfüll- und Verschleißmaßnahmen des Endlagers praxisbezogen zu verwerten.

Im vorliegenden Bericht wird eine Vorgehensweise angewendet, bei der die Zusammenstellung, Beschreibung und Bewertung von ZEP (Zuständen, Ereignissen, Prozessen) mit einer prozeßorientierten geowissenschaftlichen Darlegung der bestimmenden Ursachen, Zusammenhänge und Folgen verbunden ist, die letztlich die Bewertung von Zuflußszenarien als wesentliches Element für die geologischen Langzeitsicherheitsbetrachtungen ermöglicht.

Im Laufe der Erkundung und Beschreibung des Endlagerstandortes Morsleben formierte sich die Erkenntnis, daß Zufluß und Wiederaustritt von wässrigen Lösungen Vorrang vor der potentiellen Gefährdung der Langzeitsicherheit durch andere geologische Prozesse haben. Diese anderen Prozesse könnten die geologische Barriere eventuell so weit reduzieren oder beseitigen, daß die Einlagerungsorte in unmittelbaren Kontakt zu Deckgebirgswässern geraten und Radionuklide durch die Grundwasserbewegung in die Biosphäre gelangen. Um die denkbaren

Hauptdefekte der geologischen Barriere – Beschädigung infolge einer Mächtigkeitsreduzierung oder infolge der Herausbildung von Fließwegen für den Zutritt von Deckgebirgswässern und den Wiederaustritt kontaminierter Lösungen – ganzheitlich gegeneinander und untereinander erfassen und bewerten zu können, werden die zur Szenarienermittlung führenden Zustände, Ereignisse und Prozesse (ZEP) im Hinblick auf diese Konsequenzen folgendermaßen gruppiert:

ZEP-Gruppe 1: Mächtigkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers.

ZEP-Gruppe 2: Zufluß von Wässern in das Endlager.

ZEP-Gruppe 3: Vorgänge im lösungsgefüllten Endlager und Austritt kontaminierter Lösungen.

Die Beschreibung der ZEP-Gruppen erfolgt im Kapitel 3. Eine zeitliche Differenzierung der einzelnen ZEP und eine Aussage darüber, ob sie für die standortbezogene Szenarienermittlung in Frage kommen, gehört zum abschließenden Teil dieses Kapitels (3.4 und 3.5).

Die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der standortspezifischen Zuflußszenarien ist Gegenstand des Kapitels 4, in dem auch diesbezügliche methodische Aspekte dargelegt sind.

Die Ergebnisse der Szenarienanalyse werden anschließend zu Typenfällen von Zuflußvarianten zusammengefaßt und der Lokalisierung potentiell zuflußgefährdeter Grubenhohlräume zugrundegelegt.

3 Identifikation, Beschreibung und Bewertung standortspezifischer ZEP

3.1 ZEP-Gruppe 1: Mächtighkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers

Für die Mächtighkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers, die bis zu seiner direkten Freilegung führen kann, sind theoretisch folgende geologische Prozesse geeignet:

- * Hebung nebst Abtragung (Epirogenese, Denudation),
- * Salzaufstieg,
- * Subrosion,
- * Erosion durch die Aller,
- * Erosion durch subglaziale Wässer,
- * Exaration durch Inlandgletscher,
- * Vulkanismus,
- * Meteoriteneinschlag.

Durch diese geologischen Prozesse könnten die Einlagerungsorte der unmittelbaren Einwirkung von Deckgebirgswässern ausgesetzt werden, was zu vielfältigen Ausbreitungswegen für das radioaktive Inventar führen würde. Nachfolgend wird jeder der aufgeführten Prozesse im Rahmen eines ZEP gekennzeichnet. Der Betrachtungszeitraum für die Auswirkungen der geologischen Prozesse umfaßt 150 000 Jahre (vgl. Kap. 3.4).

ZEP 1-1: Mächtighkeitsreduzierung durch Hebung nebst Abtragung

Die Salzstruktur des Allertals hat im Bestand des Subherzynen Beckens mehrfach großräumige Senkungen, verbunden mit Sedimentakkumulation, und Hebungen nebst Abtragung erfahren. Derartige Prozesse vollzogen sich über geologische Zeiträume in Millionen von Jahren.

Die jüngere geologische Entwicklung wurde an der Grenze Kreide/Tertiär (vor ca. 60 Mio Jahren) mit Hebung, Zurückweichen des Meeres und flächenhafter Abtragung der kreide- und jurazeitlichen Schichten, die die Salzstruktur und ihr Umfeld bedeckten, um ca. 500 m eingeleitet. Im Tertiär fanden mehrfach Hebungs- und Senkungsvorgänge statt. So ist im Untereozän mit einer flächenhaften Überdeckung von 200 - 300 m Mächtigkeit zu rechnen. Weitere strukturbildende Impulse gab es am Ende des Untereozäns, des Obereozäns und des Unteroligozäns. Dabei wurden im Raum Morsleben die zuvor abgelagerten alttertiären Sedimente weitestgehend abgetragen (nach BEST & ZIRNGAST 1998). Als Maßstab für die seitdem stattgefundene Bewegung kann die heutige Höhenlage der obereozänen und unteroligozänen Transgressionsfläche, die ursprünglich etwa Meeresspiegel-Niveau besaß, anhand der von LOTSCH (1998) durchgeführten Analyse eines die Allertalzone, die Weferlinger Triasplatte und Flechtingen-Roßblauer

Scholle umfassenden Gebietes genommen werden. Diese Basisfläche weist heute Höhenlagen auf, die in unterschiedlichen Richtungen um minimal ca. 20 m und maximal ca. 100 m differieren. Eine ähnliche Größenordnung unterschiedlicher Hebungsbeiträge besitzt die Rupelbasisfläche (ca. 110 m).

Die Abtragung der Lappwaldscholle, deren Heraushebung der inzwischen erodierten obereozänen bis mitteloligozänen Transgressionsfläche ca. 250 m über den Meeresspiegel erreichte (BEST & ZIRNGAST 1998), beträgt bis heute ca. 50 bis 120 m unter diese Bezugsfläche.

Die Höhendifferenz von Vorkommen präglazialer Kiese beträgt ca. 85 - 100 m. LOTSCH (1998) schlußfolgert, daß die Weferlinger Triasplatte und die Flechtigen-Roßlauer Scholle in besagten Zeiträumen unterschiedlich stark als einheitliche Scholle gegenüber der Scholle von Calvörde herausgehoben wurden. Die Allertalzone blieb hinter diesen relativen Hebungen zurück.

Aus der dargelegten geologischen Entwicklung ergibt sich:

- * Die Amplituden der Hebungs-Abtragszyklen haben seit der Wende Kreide / Tertiär tendenziell abgenommen und betragen in der jüngsten nachweisbaren geologischen Vergangenheit (Unteroligozän bis Frühquartär) ca. 100 m.
- * Die geologischen Zeiträume für einen Hebungs-Abtragszyklus umfassen mehrere Millionen Jahre.
- * Die jetzigen Deckgebirgsmächtigkeiten über dem Endlager Morsleben von ca. 250 m, die maximal zu erwartende Reduzierung dieser Mächtigkeit im nächsten Hebungs-Abtragszyklus und die dafür benötigte Zeitdauer von mehreren Millionen Jahren begründen den Ausschluß der Freilegung des Endlagers durch Hebung nebst Abtragung aus der weiteren Sicherheitsbetrachtung.

ZEP 1-2: Mächtigkeitsreduzierung nach Salzaufstieg

Die von BEST & ZIRNGAST (1998) vorgenommene Analyse des Bewegungsablaufs an der Allertalstruktur ergab, daß tektonische Aktivitäten im Mittleren Keuper Deckgebirgsschollen entlang der Allertalstörungszone vollständig trennten und das Eindringen von Zechsteinsalz in die sich zunächst ständig erweiternde Spalte ermöglichten. Nach Umkehr des Bewegungssinns im Zuge der oberkretazischen Inversionstektonik wurde die Allertalspalte kompressiv beansprucht, wobei ein Abwandern der unter der Lappwaldscholle noch verfügbaren Zechsteinsalze in die Strukturzone erfolgte. Seither (also seit mehr als 70 Mio Jahren) hat der Spannungszustand entlang der Allertalstruktur zu keinen nachweisbaren Salzbewegungen mehr geführt. Die salinaren Restmächtigkeiten in den randlichen Strukturen (Lappwald-Scholle, Weferlinger Triasplatte) lassen keine Salzwanderung zu. Die derzeitigen großräumigen Verhältnisse lassen auch keine tektonische Mobilisierung des Salzes erwarten.

Es ist geologisch auszuschließen, daß innerhalb des Betrachtungszeitraums (hier: 150 000 Jahre) ein weiterer Salzaufstieg stattfindet und dadurch mächtigkeitsreduzierende Prozesse (Abtragung, Subrosion) beschleunigt werden.

ZEP 1-3: Mächtigkeitsreduzierung durch Subrosion

Nach der tektonischen Mobilisierung der verfügbaren Zechsteinsalze geriet die Salzstruktur im Verlauf starker Hebung und regionaler Abtragung der norddeutschen Großscholle (Obermaastricht) erstmals in den Wirkungsbereich flächenhafter Subrosion. Während des Zeitraums stärkster Heraushebung und Abtragung in der hohen Oberkreide halten BEST & ZIRNGAST (1998) auch Erosion eines Teils der Salzmenge in der Allertalstruktur für wahrscheinlich.

Die Entstehung der mit jungoberkretazischen Bildungen gefüllten Senke über der Salzstruktur mitsamt der wechselhaften Gestaltung ihrer Unterfläche und ihrer Mächtigkeiten (mit Maximalbeträgen über 200 m) führt LOTSCH (1998) auf eine differenzierte flächenhafte Subrosion während jener Zeit zurück. Im Tertiär wurde die Subrosion durch Ablagerung der obereozänen bis miozänen Schichtenfolgen zeitweilig unterbunden und konnte erst nach deren Abtragung im Jungtertiär wieder einsetzen.

Eindeutige Belege jüngerer subrosiver Aktivitäten, die im Alt- und vermutlich Mittelpleistozän stattfanden, liefern die unterschiedlichen Höhenlagen fluviatiler Kiese altquartären Alters im Allertal. Nach ZIERMANN, ZWIRNER & HEDERICH (1998) betragen ihre flächenhaften subrosiven Absenkungen im Standortbereich des Endlagers 12 m bis etwa 31 m. Diese Autoren schließen aus der Lagerungsform des Sandmittels zwischen den beiden Grundmoränen der Elstereiszeit auch auf erhebliche subrosive Prozesse (maximal 35 m Absenkung) während der glazialen und spätglazialen Phase der Elster-Kaltzeit, als sehr hohe hydraulische Gradienten möglich waren und durch das Abschmelzen der mächtigen Gletscher reichlich Schmelzwässer zur Verfügung standen (vor ca. 280 000 Jahren). Die hangende glazilimnische Folge des Elsterspätglazials scheint ebenfalls, wenn auch in geringerem Maße von subrosiven Absenkungen betroffen zu sein. Dagegen sind syngenetische sowie postsedimentäre subrosive Absenkungen für die als Leithorizont besonders geeigneten limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und der beginnenden Saale-Kaltzeit wegen des nahezu gleichen Niveaus ihrer Vorkommen im Standortbereich und einiger pollenanalytischer Indikationen auszuschließen.

Für die jüngste geologische Vergangenheit sprechen nach ZIERMANN et al. (1998) muldenförmige Eintiefungen der Basis der Niederterrasse sowie morphogenetische Fakten (Höhenlage der Mündung weichselzeitlicher Nebentalböden über der Alleraue) zugunsten begrenzter subrosiver Absenkungen bis zu 4 - 5 m seit der frühen Weichsel-Kaltzeit. Daneben gibt es Mächtigkeitshinweise aus dem Verbreitungsgebiet der Auelehme, die sich als muldenförmige subrosive Absenkungen ähnlicher Größenordnung interpretieren lassen.

Die Ergebnisse der Hutgesteinsuntersuchung (BALZER 1998) sowie der Hydrogeologie des Deck- und Nebengebirges (LANGKUTSCH et al. 1998) bezeugen eine gegenwärtig auf äußerst geringem Intensitätsniveau stagnierende, praktisch unbedeutende flächenhafte Subrosion der Salzgesteine (vgl. ZEP 2-6).

Künftige Entwicklungen bedürfen des Übergangs zu einer Kaltzeit mit Permafrost und herannahendem Inlandeis, bevor wieder Bedingungen für eine Intensivierung der Subrosion geschaffen sind. Diese Entwicklung wurde in WILDENBORG (1999) durch mehrere zeitlich aufeinanderfolgende Klimabilder charakterisiert und durch standortspezifische Modellrechnungen quantifiziert. Die Rechenergebnisse zeigen übereinstimmend zu den geologischen Erkundungsergebnissen (BALZER 1998; LANGKUTSCH et al. 1998), daß unter heutigen Klimabedingungen am Standort praktisch keine flächenhafte Subrosion stattfindet. Unter Permafrostbedingungen wird das höchste Ausmaß an Subrosion im Allertal erreicht. Aufgrund der Modellrechnungen wird die Auflösung einer Steinsalzschiebt in der Größenordnung von 2 m in den kommenden 150 000 Jahren angenommen. Die Intensivierung der Subrosion bei Permafrost ergibt sich vor allem aus dem Umstand, daß dabei das Allertal nicht wie gegenwärtig als Exfiltrationsgebiet, sondern als Infiltrationsgebiet wirkt.

Aus den dargelegten Ergebnissen der geowissenschaftlichen Analyse ist zu schlußfolgern:

- * Ein Salzaufstieg findet nicht mehr statt, so daß eventuell aus einem Aufstieg ableitbare Konsequenzen für die geologische Langzeitsicherheit keine Rolle spielen.
- * Die aufgelösten Salzmächtigkeiten haben sich in den wiederholten Phasen erhöhter Subrosion tendenziell verringert. Seit der Holstein-Warmzeit (vor ca. 225 000 Jahren) haben sie in verschiedenen muldenförmigen Teilflächen des Standortbereiches maximal jeweils ca. 4 - 5 m ausgemacht.
- * Die gegenwärtig auf einem unbedenklich niedrigen Niveau stagnierende Subrosion kann sich unter Permafrostbedingungen beim Übergang zu einem Glazial intensivieren. Dabei kann in der überschaubaren Entwicklung von 150 000 Jahren die flächenhafte Subrosion insgesamt ca. 2 m betragen.
- * Da die Salzmächtigkeit zwischen den am höchsten gelegenen Grubenbauen der Schachtanlagen Bartensleben und Marie und der Hutgesteinsbasis ca. 30 m nicht unterschreitet, ist ausgehend von den jüngst abgelaufenen und den bis zu 150 000 Jahren zu erwartenden Subrosionsbeträgen keine Beseitigung der Salzbarriere und damit Freilegung des Endlagers durch flächenhafte Subrosion zu prognostizieren. (Bezüglich selektiver Subrosion siehe ZEP 2-6).

ZEP 1-4: Mächtighkeitsreduzierung durch fluviatile Erosion

Die fluviatile Erosion wird von tektonischen und von klimatologischen Prozessen kontrolliert. Sie wurde für den Flußverlauf der Aller unter Zugrundelegung von fünf standortbezogenen Hebungsabläufen modelliert und berechnet (WILDENBORG 1999). Danach können abhängig von der tektonischen Entwicklung im Zeitraum von 150 000 Jahren 3 m bis 11 m des Deckgebirges im Standortbereich linienhaft abgetragen werden.

Die Größenordnung der berechneten Erosion stimmt gut mit den Erwartungswerten überein, die anhand der Eintiefung der Nebentäler der Aller in die Lappwaldscholle bzw. Weferlinger Triasplatte aus der morphogenetischen Kartierung des Standortbereiches (KUGLER & VILLWOCK 1995) abzuleiten sind.

Eine Freilegung des Endlagers durch fluviatile Erosion ist für die überschaubare Entwicklung (hier: bis 150 000 Jahre) nicht zu erwarten.

ZEP 1-5: Mächtighkeitsreduzierung durch subglaziale Erosion

Zahlreiche Klimaprognosen weisen auf die Entwicklung einer kommenden Kaltzeit mit wechselnder Abkühlung hin (vgl. BOULTON & PAYNE 1992). Es gibt eine geringe Wahrscheinlichkeit, daß der Standort nach ca. 90 000 Jahren von Inlandeis bedeckt wird. Nur dann kann subglaziale Erosion auftreten, die im extremsten Fall zur Ausräumung der gering konsolidierten quartären und kretazischen Ablagerungen über der Salzstruktur führen kann, während die Erosion der Festgesteine (Keuper, Hutgestein) als weniger bedeutsam angesehen wird (WILDENBORG 1999). Die Anlage sehr tiefer subglazialer Rinnen, die während des Elster-Glazials in Norddeutschland auftrat, wird wegen der geringen Intensität des prognostizierten Glazials nicht erwartet.

Die Freilegung des Endlagers durch subglaziale Erosion während des nach ca. 90 000 Jahren erwarteten Glazials ist klimatologisch und geologisch unwahrscheinlich.

ZEP 1-6: Mächtighkeitsreduzierung durch Exaration

ZIERMANN et al. (1998) weisen auf einen gewissen Zusammenhang zwischen der Gletscherexaration während der Elsterkaltzeit und vorgefundenen, durch Kreidesande ausgefüllten Subrosionssenken hin. Die Tiefenexaration in diesen Sanden wird mit maximal 90 - 110 m beziffert. Nimmt man aus ZEP 1-3 die Größenordnung möglicher subrosiver Einwirkung vor dem nächsten prognostizierten Glazial und die in ZEP 1-5 dargelegte geringe Wahrscheinlichkeit und Intensität des Glazials selbst, so kann die Größenordnung der o.a. elsterglazialen Exaration auf keinen Fall erreicht werden.

Eine Freilegung des Endlagers durch Gletscherexaration ist für die überschaubare Entwicklung (150 000 Jahre) auszuschließen.

ZEP 1-7: Freilegung des Endlagers durch Vulkanismus

Die Allertal-Zone ist ein bedeutendes tektonisches Element der Subherzynyen Senke. Diese ist Teil eines mitteleuropäischen Trogsystems, welches im Perm (Rotliegendes) sehr mächtige und regional weit verbreitete Vulkanitserien des Unterrotliegenden (Autun) und Konglomerate und Sandsteine des Oberrotliegenden (Saxon) aufgenommen hat. Im Bereich des ERAM sind die Vulkanite durch Bohrungen nachgewiesen (z.B. BANDLOWA 1992; REMPEL 1993).

Der postvaristische (Rotliegend-) Vulkanismus ist erloschen. Auch für die tektonisch und vulkanisch aktiven Phasen des Tertiär und Quartär in Mitteleuropa gibt es keine Hinweise auf eine Wiederbelebung des Vulkanismus im Allertal. Die letzten vulkanischen Aktivitäten ereigneten sich z.B. im Göttinger Raum im Miozän, vor etwa 25 bis 5 Mio. Jahren.

Wegen der langen Ruhephase von mehr als 150 Mio. Jahren und fehlender geotektonischer Voraussetzungen für die Wiederbelebung wird ein Vulkanausbruch im Bereich des ERAM für den Betrachtungszeitraum ausgeschlossen.

ZEP 1-8: Mächtigerkeitsreduzierung durch Meteoriteneinschlag

Die Betrachtung eines Meteoriteneinschlags muß sich zwangsläufig auf die Größe eines solchen extraterrestrischen Objekts beziehen. Aus Deutschland sind, verglichen mit den USA oder Kanada, nur wenige Meteoriteneinschläge bekannt. Auf dem Gebiet der Bundesrepublik ist das Nördlinger Ries mit ca. 26 km Durchmesser und einer Eindringtiefe von über 500 m der bekannteste Einschlagkrater. Bei einem solchen Ereignis im Bereich von Morsleben würde neben den natürlichen katastrophalen Folgen auch das Endlager zerstört und das radioaktive Inventar direkt freigesetzt werden. In der Literatur wird die Häufigkeit eines Meteoriteneinschlags mit ca. 1 Einschlag auf $10^6 \text{ km}^2/\text{a}$ angegeben. Eine Statistik beschreibt eine mit der Zunahme der Größe eines Meteoriten abnehmende Häufigkeit.

Im Hinblick auf die Wirkung eines Meteoriteneinschlags kann gesagt werden:

- großer Meteorit: Eine Betrachtung ist irrelevant, da Maßnahmen gegen die Folgen nicht getroffen werden können.
- kleiner Meteorit: Dieser könnte soweit eindringen, daß er das Salinar wesentlich thermisch und mechanisch beeinflusst. Im Bericht wird dieses Ereignis nicht weiter betrachtet.

3.2 ZEP-Gruppe 2: Zufluß von Wässern in das Endlager

Ein besonderes Gefährdungspotential für die Langzeitsicherheit des Endlagers ergibt sich aus einem möglichen Zulauf von Lösungen zu den eingelagerten Abfällen. Dort kann es zu chemischen Reaktionen zwischen den Abfällen und den Salzlösungen, einer Kontamination der Salzlösungen und letztlich zu einem Abtransport der Radionuklide kommen.

Eine Bergbaustatistik von GIMM (1969) nennt 255 innerhalb der letzten 100 Jahre geteufte Schächte in Salzgestein, von denen 26 Schächte bereits in der Abteufphase, 23 während der Produktionsphase und 38 nach Stilllegung ersoffen. 42 % der Anlagen waren durch Zuflüsse in Abbaufelder nach einem lang andauernden Abbau, 29 % durch die Auffahrung untertägiger Grubenbaue, 17 % durch Zuflüsse aus benachbarten, bereits ersoffenen Gruben und 12 % durch Zuflüsse aus undichten Schachtröhren betroffen.

Die Analyse der Schadensereignisse zeigt, daß die Zuflüsse überwiegend aus dem Deckgebirge, dem Hutgestein oder aus dem Salzspiegelbereich stammten. In einzelnen Fällen kamen die Zuflüsse aus Salzgesteinen innerhalb der Lagerstätten (z.B. Hauptanhydrit), bzw. aus subsalinaren Schichten. Wesentlichen Einfluß hatten dabei gebirgsmechanische Veränderungen in Form von Spannungsumlagerungen infolge der Bergbauaktivitäten und damit verbundene Auflockerung durch Festigkeitsüberschreitungen.

Da das Endlager Morsleben in einem ehemaligen Gewinnungsbergwerk angelegt wurde, müssen die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Salzbergbau für eine Abschätzung der Langzeitsicherheit und für mögliche Verfüll- sowie Stabilisierungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Von den gegenwärtig in den Gruben Bartensleben und Marie bekannten Salzlösungsvorkommen (SLV) ist für eine Lokation eine Beziehung zu Deckgebirgswässern nachgewiesen (HERRMANN 1997), während die übrigen als Rest- und Umbildungslösungen des Zechsteins erkannt wurden. Eine von KÄBEL (1998) vorgenommene prognostische Bewertung der SLV führte zu der Aussage, daß längerfristig bei drei Vorkommen während der Nachbetriebsphase des Endlagers mit Zuflußerhöhungen, die aus dem Deckgebirge gespeist werden könnten, gerechnet werden muß.

Zuflußszenarien verlangen eine hydrogeologisch determinierte Betrachtungsweise, die auf die Herkunft der Wässer, die Fließwege und die Austrittsorte in der Grube eingeht und die hydraulisch wirksamen Potentiale (Transportmechanismen) berücksichtigt.

Aus der hydrogeologischen Standortbeschreibung (LANGKUTSCH et al. 1998) sind folgende *Herkunftsmöglichkeiten von Wässern* bekannt:

- * Grundwässer des Deckgebirges,
- * Grundwässer des Nebengebirges,
- * Schichtwässer des Subsalinars,
- * Salzlösungen des fossilen Chloridkarstes,
- * Salzlösungsvorkommen im salinaren Hauptanhydrit,

Darüber hinaus sind folgende Herkunftsmöglichkeiten zu beachten:

- * Flutungswässer der Schächte Walbeck und Alleringersleben,
- * subglaziale Grund- und Schmelzwässer.

Die Mobilisierung von nicht freibeweglichen wässrigen Lösungen (z.B. Flüssigkeitseinschlüssen im Steinsalz, Feuchte von eingebrachtem Versatz) durch wärmeproduzierende Abfälle kann im vorliegenden Bericht außer Betracht bleiben, weil derartige Abfälle nicht eingelagert sind.

Als *Fließwege potentieller Zuflüsse* in das Endlager sind sowohl die vorhandenen als auch künftige Wegsamkeiten im Gebirge zu untersuchen.

Vorhandene Wegsamkeiten sind entweder geogen angelegt (Kluft- und Porenleiter) oder bergbaulich verursacht. Zu letzteren gehören Auflockerungszonen um Einzelauffahrungen und um Abbausysteme, aber auch künstliche Wegsamkeiten, die durch Bohrungen und Schächte geschaffen wurden.

Künftige Wegsamkeiten können als Folge natürlicher und anthropogen bedingter Prozesse auftreten. Natürliche wegsamkeitsbildende Prozesse sind im Zusammenhang mit tektonischen Verformungen, Bewegungen innerhalb der Salzstruktur, Nachbrechen des Deckgebirges bei intensiver Subrosion, Einwirkung von Permafrost und Inlandeis sowie Erdbeben denkbar. Anthropogen induzierte Wegsamkeitsbildung kann sich als Folgewirkung der Konvergenz im Salzbergwerk und der Korrosion sowie mikrobiellen Zersetzung eingelagerter Behälter (Gasproduktion) ergeben. Wegsamkeitsbildung durch Druckwirkung eventueller Erdgasmigration ist geologisch a priori unwahrscheinlich.

Für die Bewertung der Zutrittsorte potentieller Zuflüsse in die Grube ist aus hydrogeologischer Sicht die Fließweglänge innerhalb des Salinars, d.h. insbesondere die Distanz der Grubenbaue bis zum Salzspiegel bzw. bis zur Flanke der Salzstruktur von Bedeutung.

Als *Transportmechanismus für Zuflüsse* in das Grubengebäude sind in jedem Fall die hydraulischen Potentiale ausschlaggebend.

Die oben benannten Sachverhalte werden in den nachfolgenden ZEP näher erläutert. Dabei werden erst die Herkunftsmöglichkeiten von Zuflüssen (8 ZEP), danach die potentiellen Wegsamkeiten (13 ZEP) und schließlich sonstige Einflußfaktoren (3 ZEP) abgehandelt. Nicht eingegangen wird auf Wegsamkeiten durch die beiden Schächte, die einer gesonderten Betrachtung in Verbindung mit dem Konzept der Verschleiß- und Verfüllmaßnahmen unterliegen.

ZEP 2-1: Grundwasser im Deckgebirge: Lockergesteine (Kreide, Quartär)

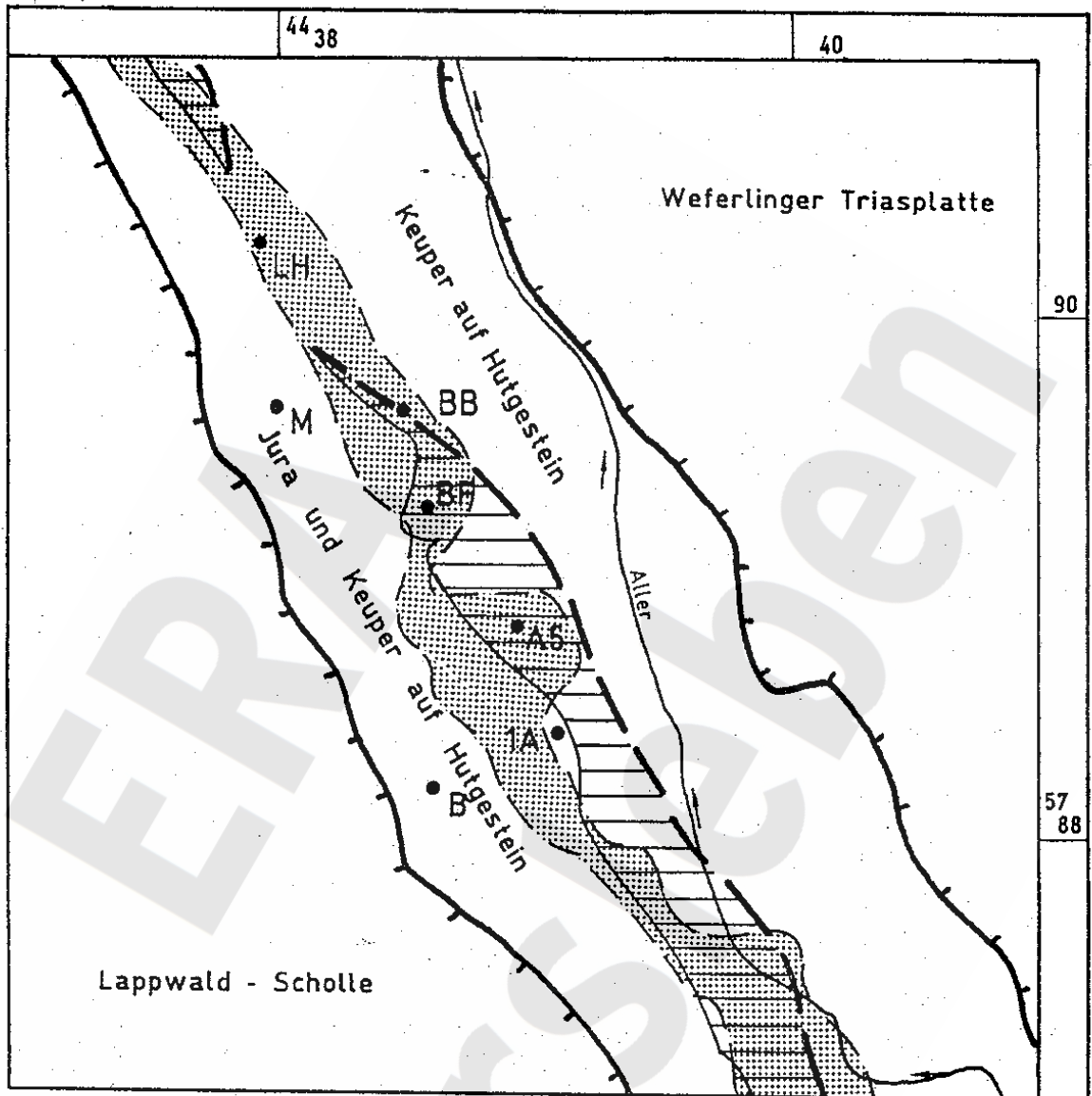
Der Grundwasserspeicherraum in den oberkretazischen Sanden ist wesentlich größer als der in den quartären Bildungen.

Die kreidezeitlichen Sande kommen in einem ca. 300 bis 1100 m breiten Streifen im Deckgebirge über dem Grubengebäude vor (vgl. Abb. 3), der südöstlich Morsleben durch das dort aufragende Hutgestein in zwei Teilsenken gegliedert ist. Die größten Mächtigkeiten betragen bis 210 m. Die hangenden Bereiche dieses Porenaquifers besitzen die höheren Durchlässigkeiten und realisieren den größten Teil des natürlichen Grundwasserdurchsatzes, während in den tie-

feren, eingemuldeten Bereichen ein relativ geringer Grundwasseraustausch stattfindet und sich Salinität und Dichte der Wässer erhöhen (Dichte bis $1,05 \text{ g/cm}^3$). Der Übergang von Süß- zu Salzwasser erstreckt sich über 40 - 60 m Teufendistanz in wechselnden Teuffenniveaus, die teilweise nahe der Oberfläche der Kreidesande liegen.

Die Kreidesande lagern vielfach auf Hutgestein (vgl. Abb. 4) und vermitteln dort den unmittelbaren hydraulischen Kontakt zwischen den Wässern im Kreideaquifer und in den durchlässigen Teilen des Hutgesteins (siehe ZEP 2-5 und Kap 3.4).

Soweit sie als Herkunftsort für potentielle Zuflüsse in das Endlager in Frage kommen, ist das Liefervermögen der Lockergesteine des Deckgebirges als sehr hoch und die Zuflußmenge nicht limitierend einzuschätzen.



- Lokationen mit Lösungszutritten
- B Schachtröhre Bartensleben
- M Schachtröhre Marie
- 1A Abbau 1A
- A5 Abbaustrecke 5
- BF Bunte First
- BB Bremsbergfuß
- LH Lager H



Verbreitungsgrenze des Hutgesteins, zugleich Salzstrukturflanke bei -140m NN

Verbreitung der Folge Deckanhydrit bis Leinekarbonat zwischen der Oberfläche (1) und der Unterfläche (2) des Hutgesteins. Linie (2) markiert auch die Westflanke der Hauptmulde im Niveau der Salinaroberfläche.

Unmittelbare Überdeckung des Hutgesteins durch Sande der Oberen Kreide

Abb. 4: Verbreitungselemente der ZEP 2-1, 2-3 und 2-5 (Deck- und Nebengebirge, Hutgestein)

ZEP 2-2: Subglaziale Wässer im Deckgebirge

Nach WILDENBORG (1999) besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit, daß der Standortbereich nach ca. 90 000 Jahren von Inlandeis bedeckt ist, wodurch die Voraussetzung für die Zirkulation subglazialer Wässer gegeben wäre. Da sich gemäß ZEP 1-5 und ZEP 1-6 die subglaziale Ausräumung und demzufolge Wasserzirkulation bevorzugt auf den Lockergesteinsbereich konzentrieren wird, sind die Konsequenzen für potentielle Grubenzuflüsse ähnlich denen von ZEP 2-1, d. h. die Zuflußmengen werden nicht durch das Herkunftsreservoir begrenzt.

ZEP 2-3: Grundwasser im Deckgebirge: Festgesteine (Keuper, Jura)

Die den nordöstlichen Teil der Salzstruktur bedeckenden keuperzeitlichen Festgesteine sind in ihrem tieferen Teil (Oberer Gipskeuper und älter) vorzugsweise grundwasserhemmend mit Durchlässigkeitsbeiwerten kleiner $1E - 10$ m/s ausgebildet. Der höhere Teil, bestehend aus Steinmergelkeuper und Oberem Keuper, stellt einen zusammenhängenden Kluftaquifer mit wechselhaften Durchlässigkeiten von $1E - 7$ bis kleiner $1E - 9$ m/s dar. Es handelt sich überwiegend um Süßwässer, deren Gesamtmineralisation und Dichte mit der Tiefe geringfügig zunimmt (Dichte bis $1,02 \text{ g/cm}^3$).

Der tiefere, geringer durchlässige Teil der Keuperschichten kontaktiert mit vorhandenen Wegsamkeiten im Hutgestein (siehe ZEP 2 - 5 und Abb. 4).

Die jurazeitlichen Gesteine lagern teils unterhalb, teils südwestlich der Kreidesande und gehören zu den Versturz- und Gleitschollen (BEST 1997) des Bereichs der Südweststrandstörung der Allertalzone. Sie haben sich bei der hydrogeologischen Erkundung als bevorzugt grundwasserhemmend und nichtleitend erwiesen, ihre Durchlässigkeit beträgt südlich Beendorf (Schacht Marie) um $1E - 9$ m/s und kleiner. Die Jura-Schollen lagern auf gegenwärtig nahezu undurchlässigem Hutgestein.

Potentielle Grubenzuflüsse, deren Lieferwege durch die beschriebenen Festgesteine führen, werden dadurch in ihrer Mengenentwicklung gegenüber ZEP 2-1 deutlich limitiert.

ZEP 2-4: Grundwasser im Nebengebirge

Auf Grund der Entfernung von mehreren 100 m zu dem als Endlager genutzten Salzbergwerk bleibt das Nebengebirge an der Nordostflanke der Salzstruktur für potentielle Grubenzuflüsse außer Betracht.

Entlang der Südwestflanke der Salzstruktur sind die Kluftaquifere im Oberen Keuper und im Steinmergelkeuper die dominanten Grundwasserreservoirs mit vorherrschenden Durchlässigkeiten zwischen $1E - 8$ bis $1E - 4$ m/s. Für potentielle Grubenzuflüsse an der SW-Flanke kommen aber wegen der Lagerungsverhältnisse und der Lage der Grubenbaue nur die Formationswässer im Schilfsandstein in Frage. Der Schilfsandstein wird durch den Oberen Gipskeuper hydraulisch sehr wirksam von den höher liegenden, besseren Grundwasserleitern abgeschirmt,

so daß sein Grundwasseraustausch erheblich eingeschränkt ist. Seine inhomogen verteilten Durchlässigkeitsbeiwerte betragen lokal um $1E - 8$ bis $1E - 7$ m/s, meistens sind sie kleiner $1E - 9$ m/s. Die Schilfsandsteinwässer sind im Bereich der SW-Randstörung der Allertalzone mäßig mineralisierte Salzlösungen mit Dichten um $1,03 \text{ g/cm}^3$, in muldentiefern Bereichen der Lappwaldscholle dagegen hochmineralisierte Na-Cl-Solen mit Dichten um $1,19 \text{ g/cm}^3$ (alle Angaben nach LANGKUTSCH et al. 1998). Der Schilfsandstein grenzt zum Teil unmittelbar an die hutgesteinsfreie SW-Flanke der Salzstruktur, teilweise bedeckt er auch das Hutgestein. In Bohraufschlüssen hat sich die Kontaktzone zwischen Salzstruktur und Nebengebirge als nicht wasserwegsam erwiesen. Eine mehrere hundert Meter mächtige Schichtenfolge unterhalb des Schilfsandsteins (Keuper und Muschelkalk) ist wasserundurchlässig ausgebildet.

ZEP 2-5: Grundwasser im Hutgestein

Das aus den salinaren Schichten des Zechstein hervorgegangene Hutgestein überdeckt die Salzstruktur in sehr unterschiedlichen Mächtigkeiten, die an den Rändern im SW und NE der Struktur weniger als 10 m und im mittleren Teil bis 240 m betragen können. Aus bergbaulicher und hydrogeologischer Sicht zählt das Hutgestein zum grundwasserführenden Deckgebirge, aus allgemeingeologischer Sicht gehört es dagegen zur Salinarstruktur. Seine Wasserwegsamkeit war in der geologischen Vergangenheit mehrfachen Veränderungen unterworfen, die z.B. durch die wechselnden Konstellationen von großräumiger Absenkung (erheblicher Überdeckung), Hebung (Abtragung), tektonischer Beanspruchung sowie klimagesteuerten Prozessen verursacht wurden.

Gegenwärtig liegt die überwiegende Masse des Hutgesteins in hydraulisch dichter Ausbildung mit Durchlässigkeiten kleiner $1E-10$ m/s vor, die die Bezeichnung intaktes Hutgestein erhielt (LANGKUTSCH et al. 1998). Außerhalb dieser dichten Ausbildung sind im Hutgestein drei Arten der Grundwasserführung bekannt.

Die erste ist an die schichtförmige Gesteinsfolge Deckanhydrit / Grauer Salzton / Leinekarbonat (DGL) gebunden. Die Folge DGL durchzieht das Hutgestein diskontinuierlich entlang der Westflanke der Hauptmulde vom Salzspiegel bis zu kreidezeitlichen (ZEP 2-1) oder keuperzeitlichen (ZEP 2-3) grundwasserführenden Gesteinen (vgl. Abb. 4). Sie kann, soweit sie durchgehend ausgebildet ist, eine Grundwasserbewegung zwischen Hutgesteinsbasis (Salinaroberfläche) und den Deckgebirgsaquiferen vermitteln, wobei der Grundwasserdurchsatz sowohl durch die vielerorts gegebene Absetzigkeit bzw. fehlende Grundwasserführung der Schicht als auch ihre geringe Mächtigkeit (ca. 5 m) und relativ geringe Durchlässigkeit ($1E-8$ bis $1E-11$ m/s) begrenzt wird. Die Lösungen in der Folge DGL sind vorwiegend ungesättigt; eine Dichtebestimmung ergab $1,07 \text{ g/cm}^3$ ca. 30 m oberhalb des Salzspiegelniveaus. Die Folge DGL findet entlang der Westflanke der Hauptmulde Anschluß an potentielle Wegsamkeiten des Salinars (vgl. ZEP 2-6 und 2-10).

Die zweite Art der Grundwasserführung des Hutgesteins ist an fossile Formen des Gipskarstes gebunden, die seinen Topbereich quasi punktförmig durchsetzen. Die mit Deckgebirgsmaterial gefüllten fossilen Erdfälle reichen selten tiefer als 5 bis 10 m unter die Hutgesteinsoberfläche, als Ausnahme sind ca. 40 m bekannt geworden. Die Durchlässigkeit der Füllungen ist meist ähnlich gering wie im intakten Hutgestein, erreicht aber auch Werte um $5E-9$ m/s und kann in Hutgesteinsauftragungen um ca. 2 Größenordnungen höher sein. Die grundwasserführenden Karstfüllungen kommunizieren mit den das Hutgestein überdeckenden Aquiferen und besitzen keine Verbindungen zum Salinar.

Die dritte Form der Wasserführung des Hutgesteins hängt mit dem fossilen Salzkarst zusammen und wird im folgenden ZEP beschrieben.

ZEP 2-6: Salzlösungsvorkommen am Salzspiegel

Die sedimentologischen Untersuchungen des Hutgesteins (BALZER 1998) und die hydrogeologischen Auswertungen (LANGKUTSCH et al. 1998) führten zu der Erkenntnis, daß für die rezenten Verhältnisse kein flächenhafter hydraulisch bewirkter Stofftransport am Salzspiegel, d.h. keine flächenhafte generelle Wasserwegsamkeit am Salzspiegel gegeben ist. Die Wegsamkeiten einer zurückliegenden Entwicklungsphase wurden durch Neubildungen aus NaCl- oder $CaSO_4$ -übersättigten Lösungen weitestgehend verschlossen. Dabei kam es zum Einschluß hydraulisch isolierter Salzlösungsvorkommen, deren isotopisches Alter bei ca. 10 bis 30 Tausend Jahren liegt.

Bei der Erkundung wurden zwei derartige isolierte Salzlösungsvorkommen (SLV) erbohrt. Sie befinden sich beide in jeweils besonderer struktureller Position nahe des SW- und NE-Randes der Hutgesteinsverbreitung. Zehn weitere Bohrungen am SW-Rand der Hutgesteinsverbreitung erbrachten keine Anzeichen von lösungsgefüllten Hohlräumen am Salzspiegel. Bei den SLV handelt es sich um hochkonzentrierte Lösungen mit Dichten um $1,2$ g/cm³. Ihr Volumen ist auf einige Tausend bis Zehntausend m³ beschränkt. Wegsamkeiten von den isolierten SLV in das Salinar hinein sind zwar theoretisch möglich, aber aus standortspezifischen Gegebenheiten (Anbindung an Hauptanhydrit oder Klüfte im Salz fehlen) unwahrscheinlich.

Eine weitere Möglichkeit der Salzlösungsführung am Salzspiegel besteht entlang der Kaliflözausbisse, wobei hier eine durch selektive Subrosion geschaffene Auflockerung des Gebirgsverbandes im Hutgestein unterstellt wird. Diese geologisch vorgezeichnete Wegsamkeit wird insbesondere entlang der Westflanke der Hauptmulde angenommen und spielt eine wichtige Rolle bei der hydrogeologischen Interpretation des SLV Lager H in der Grube Marie (vgl. KÄBEL 1998). Bergbaugeophysikalische Messungen weisen auf Eintiefungen des Salzspiegelniveaus um ca. 10 bis 30 m hin, die im geologischen Lagerstättenmodell dokumentiert sind (vgl. BEHLAU et al. 1997 sowie Abb. 6). In einigen Eintiefungen besteht die Möglichkeit einer hydraulischen Verbindung mit subrosionsbedingten Wegsamkeiten am Kaliflözausbiß.

Die Wegsamkeiten im selektiv subrodierten Kaliflöz an der Westflanke der Hauptmulde können die Wässer aus der Folge DGL des Hutgesteins (ZEP 2-5) lateral am Salzspiegel weiterleiten (wie im Fall des SLV Lager H angenommen) und außerdem hydraulisch mit (potentiellen) Wegsamkeiten des Salinars in Verbindung stehen (ZEP 2-10).

ZEP 2-7: Salzlösungsvorkommen im salinaren Hauptanhydrit

Von den 6 aktuellen Zutritten salinärer Gebirgslösungen in das Grubengebäude stehen vier mit wasserwegsamem Kluftsystemen in Schollen des salinaren Hauptanhydrits in Beziehung. Dabei handelt es sich um die permanent überwachten SLV Abbau 1A, Abbaustrecke 5, Bunte First und Bremsbergfuß. Zwei SLV (Lager H und Schachtröhre Marie) sind an wasserwegsame Abschnitte im Salz gebunden (ZEP 2-9 und 2-15). Die Zutritte aus dem Hauptanhydrit sind gesättigte zechsteinzeitliche Rest- bzw. Metamorphoselösungen (HERRMANN 1997). Sie werden nicht aus Deckgebirgswässern gespeist.

Nach Auswertungen betrieblicher Unterlagen der Gruben Bartensleben und Marie (in KÄBEL 1998; LANGKUTSCH et al. 1998) beträgt die Gesamtzulaufmenge, die im 1962 aufgefahrenen Abbau 1A bis jetzt auftrat, ca. 120 m³. Bei der Abbaustrecke 5 ist die Gesamtmenge der Zuläufe kleiner 10 m³ und bei den übrigen SLV kleiner 1 m³. Weitere Zutritte, die manchmal bei bergmännischen Auffahrungen während der Salzgewinnungsphase in den Gruben vorkamen, lieferten sehr geringe Mengen und versiegten schnell.

Falls während der Nachbetriebsphase des Endlagers bisher nicht angezapfte SLV im Hauptanhydrit des Salinars durch neue Klüfte (z.B. ZEP 2-17) an vorhandene Resthohlräume angeschlossen werden, ist mit dem Zulauf gesättigter Lösungen in der oben genannten Größenordnung zu rechnen.

ZEP 2-8: Subsalinare Schichtwässer

Sowohl aus regionaler Sicht als auch aus konkreten Untersuchungsergebnissen der Kohlenwasserstoffprospektion im Umfeld des Endlagers sind die ca. 100 m mächtigen Schichten des basalen Zechsteins und die darunter lagernden Eislebener Schichten als sehr gering permeabel einzuschätzen (BANDLOVA 1992; REMPEL 1993; LANGKUTSCH et al. 1998). Hydraulische Tests in einigen Erdölerkundungsbohrungen brachten aus diesen Schichten keine Zuflüsse. Bezüglich der in das Rotliegende abgeteuften und nicht verfüllten Untertagebohrung Marie U1/1953 vermerkt SCHRADER (1956) ausdrücklich, daß während des Bohrverlaufs keine Wasserzuflüsse zu verzeichnen waren. Aus mehreren Untertagebohrungen im Schacht Wefensleben traten nur geringe Mengen von Erdgas und Erdöl aus dem basalen Zechstein aus. In ca. 100 m Tiefe unter dem Salinar lagert der Flechtinger Bausandstein, der als regionaler Poren- und Kluftspeicher gilt. Er lieferte bei einem Test in der Erdölbohrung Ostingersleben 1/82 eine hoch gesättigte Salzlösung mit 1,17 g/cm³ Dichte.

Nach REMPEL (1993) schufen tektonische Aktivitäten in der geologischen Vergangenheit Wegsamkeiten für eine Vertikalmigration von Fluiden aus dem Liegenden in das Staßfurt-Karbonat (basaler Zechstein) und in das Salinar. Diese Wegsamkeiten und tektonischen Bedingungen sind zur Zeit nicht vorhanden.

Es ist geologisch wenig wahrscheinlich, daß während des Betrachtungszeitraumes (hier: 150 000 Jahre) subsalinare Schichtwässer in das Salinar gelangen (vgl. ZEP 2-19), zumal der potentiell als Leiter in Frage kommende Hauptanhydrit nach den Erkundungsergebnissen stets durch eine Steinsalzschiefer vom Subsalinar getrennt ist.

ZEP 2-9: Geogene Klüfte im Salz

Steinsalz und Kalisalz der Grube Marie sind lokal in salztektonisch besonders stark beanspruchten Teilen des Salinars geklüftet (z.B. in der Südstrecke und im Hochbau des 2. Nordquerschlages, Lager H). Die Zuflüsse im SLV Lager H werden mit derartigen Klüften, die makroskopisch geschlossen sind, in Zusammenhang gebracht. Eine bergbaulich induzierte Ausbildung der Klüfte im SLV Lager H scheidet nach geomechanischen Berechnungen aus.

Gegenwärtig sind die Klüfte keinen verändernden geologischen Prozessen ausgesetzt.

Man kann nicht ausschließen, daß eine geogene Permeabilität des Salzes in einigen Grubenteilen ebenfalls vorhanden, aber durch fehlenden Anschluß an lösungsführende Teile des Gebirges bisher nicht zuflußwirksam geworden ist. Es kann sich aber eine potentielle Gefährdung insbesondere für nahe dem Salzspiegel gelegene („hochgelegene“) Abbaue ergeben, wenn das intakte Hutgestein (ZEP 2-5) infolge geologisch einwirkender Prozesse wasserwegsam wird (ZEP 2-12).

ZEP 2-10: Geogene Klüfte im salinaren Hauptanhydrit

Die salztektonischen Prozesse der geologischen Vergangenheit haben den Hauptanhydrit geklüftet und in zahlreiche Einzelschollen zerlegt, deren Abmessungen meist einige Zehner Meter betragen. Das geologische Lagerstättenmodell (BEHLAU et al. 1997) zeichnet nach, wie sich die Einzelschollen zu Strängen formieren, die teils im Salz enden, teils die Hutgesteinsbasis erreichen. In letzterem Fall, der vorwiegend entlang der Westflanke der Hauptmulde eintritt, kommen sie als potentielle Leiter für Zuflüsse aus dem Deckgebirge in das Endlager in Frage (vgl. ZEP 2-5, Schicht DGL).

Der überwiegende Teil der Klüfte im Hauptanhydrit ist durch Salze verheilt und hydraulisch dicht. Alle im Hauptanhydrit angetroffenen Systeme mit offener bzw. teilweise offener Klüftung waren in sich geschlossen (isolierte Systeme). WEBER (1999) kennzeichnet die derzeitigen Wegsamkeiten als heterogen und bis in den Zehnmeterbereich stark variierend. Anhand der erkundeten Durchlässigkeitsverteilung schlußfolgert er, daß auch für Distanzen größer 100 m eine gewisse Permeabilität angenommen werden muß und quantifiziert sie mit bis $2 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$.

Dabei ist die Länge der durchlässigen Distanzen durch die Geometrie der Hauptanhydritschollen begrenzt. Diese Schematisierung führt zur Einstufung des salinaren Hauptanhydrits als potentieller Grundwasserleiter, obwohl derzeit nirgendwo im Endlager Salzlösungstransport über den Hauptanhydrit stattfindet (abgesehen von den isolierten SLV, ZEP 2-7).

Die Permeabilität der Hauptanhydritschollen im Salinar ist keinen faßbaren verändernden Einflüssen durch geologische Prozesse während des Betrachtungszeitraumes von 150 000 Jahren ausgesetzt. Jedoch kann die Ausbildung neuer Wegsamkeiten durch anhaltende Konvergenz bei fehlender Verfüllung in stark durchbauten Grubenbereichen nicht ausgeschlossen werden (ZEP 2-17).

ZEP 2-11: Bildung neuer Wegsamkeiten durch Erdbeben

Seismische Ereignisse, die die Salzstruktur am Endlagerstandort insgesamt beeinträchtigen könnten, sind von extrem geringer Wahrscheinlichkeit. Die Beanspruchungen bei realistisch unterstellbaren Erdbeben bleiben im linear-elastischen Verformungsbereich der Gesteine, so daß weder im Hutgestein und sonstigen Deck- und Nebengebirge, noch im Hauptanhydrit des Salinars mit bruchhafter Verformung und neuen Wegsamkeiten zu rechnen ist.

ZEP 2-12: Tektonisch induzierte Wegsamkeitsbildung im Hutgestein

Der in der geologischen Vergangenheit aufgetretene mehrfache Wechsel der Durchlässigkeitseigenschaften des Hutgesteins (vgl. ZEP 2-5 sowie BALZER 1998) muß auch für künftige Entwicklungen in Betracht gezogen werden. Die tektonischen Impulse für differenzierte Bewegungen und Spannungsakkumulationen im Deckgebirge der Salzstruktur können sich aufgrund der Pufferwirkung des Steinsalzes nicht unmittelbar aus dem Subsalinar herleiten. Sie können sich nur aus der Anbindung des Deckgebirges an die benachbarten Strukturen (Lappwaldscholle, Weferlinger Triasplatte) ergeben. Da sich der derzeitige Zustand zwar vorhandener, aber wenig differenzierter Schollenbewegungen im Deck- und Nebengebirge der Salzstruktur im Betrachtungszeitraum fortsetzt, sind für den Spannungsaufbau bis zur Reißbildung und für die hydraulisch wirksame Vernetzung der Einzelklüfte möglicherweise Zeiträume von mehr als zehntausend Jahren erforderlich. Allerdings hat die jüngste Umstellung vom Stadium einer muldenförmig begrenzten Subrosion (vgl. ZEP 1-3) und entsprechender Permeabilitäten des Hutgesteins zum jetzigen Stadium quasi ruhender Subrosion und weitestgehend undurchlässigen Hutgesteins vermutlich weniger als 10 000 bis 37 000 Jahre (isotopisches Alter der fossilen Subrosionslösungen, vgl. ZEP 2-5 und 2-6) benötigt.

Die Anlage neuer Wegsamkeiten in anhydritisch ausgebildeten Teilen des Hutgesteins wird erschwert bzw. verzögert, weil sich bei Wasserzutritt die offenen Klüfte durch Gipsneubildung (größeres Volumen) völlig oder teilweise wieder verschließen. Reißbildungen und Klüftöffnungen infolge differenzierter Deckgebirgsbewegung und die Schließung neuer Klüfte im Anhydrit

nach Wasserzutritt und Vergipsung könnten sich gegenwärtig in einem Gleichheitszustand befinden, worauf das Vorherrschen der undurchlässigen Bereiche des Hutgesteins hinweist.

Als Ergebnis der gegenläufigen Prozesse ist langfristig eine Erhöhung der Durchlässigkeit des (intakten) Hutgesteins und des Salzspiegelbereichs nicht auszuschließen, wobei konservativ ein Zeitraum von weniger als 10 000 Jahren unterstellt wird (siehe Kapitel 3.4, Zustand B).

ZEP 2-13: Subrosiv induzierte Wegsamkeitsbildung im Hutgestein

Prozesse intensiver Subrosion können zum Nachbrechen des Gebirges und eigendynamisch zu fortschreitender Erhöhung der Durchlässigkeiten, des Salzlösungsdurchsatzes und weiteren Intensivierung der Subrosion führen. Am Standort Morsleben stagnieren sowohl die Verkarstung im Gips als auch die Salinarsubrosion (Salzkarst) auf einem sehr niedrigen Niveau, das keine eigendynamische Steigerung erwarten läßt. Mit einer spürbaren Verstärkung der Salinarsubrosion ist erst in Folge klimatisch gesteuerter Veränderungen der hydrogeologischen Situation (Permafrost) zu rechnen. Die subrosiv induzierte Wegsamkeitsbildung im Hutgestein ist für die weiteren Betrachtungen unerheblich.

ZEP 2-14: Halokinetisch induzierte Wegsamkeitsbildung

Seit Abschluß der oberkretazischen Inversion, bei der das letzte verfügbare Salz in die Allertalzone wanderte, ist ein Salzaufstieg geologisch nicht mehr möglich. Umlagerungsprozesse innerhalb des Salinars, die auf gravitative (Überlagerungsdruck) oder tektonische Einflüsse reagierten, sind in der jetzt rudimentären Salzstruktur mit ihren aussteifenden Hauptanhydrit-Anteilen weitestgehend beendet. Nicht völlig ausschließbare Restverformungen des Salinars reichen für eine induzierte Wegsamkeitsbildung im Salinar oder gar im Deckgebirge nicht aus. Das ZEP wird für weiterführende Bewertungen nicht verwendet, weil salztektonische Prozesse und Auswirkungen im Betrachtungszeitraum nicht relevant sind.

ZEP 2-15: Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung im Salz (Auflockerungsbereiche)

Das kriechfähige Salzgestein ist im unverritzten Zustand hydraulisch dicht. Die geomechanische Beanspruchung des Gebirges aufgrund der bergbaulichen Abbautätigkeit kann aber zu einer Auflockerung des Salzgesteins und Ausbildung durchlässiger Bereiche führen. Die rechnerisch nachweisbare geomechanische Beanspruchung der Salzbarriere ist somit ein Indikator für ihre hydraulische Dichtheit.

Für die Bewertung der gebirgsmechanischen Integrität der Salzbarriere sind seitens der BGR zwei Kriterien herangezogen worden:

- * „Frac“-Kriterium; mit diesem Kriterium wird überprüft, ob und ggf. in welchen Bereichen der in der entsprechenden Teufe theoretisch mögliche hydrostatische Druck die dort herrschende minimale Gebirgsspannung überschreitet.

* Dilatanzkriterium; mit diesem Kriterium wird überprüft, ob und ggf. in welchen Bereichen die Dilatanzgrenze des Salzgebirges überschritten wird. Erst Gebirgsspannungen oberhalb der Dilatanzgrenze führen zu einer Auflockerung des Mikrogefüges, wodurch bei andauerndem dilatanten Zustand allmählich ein Netzwerk von Mikrorissen entstehen kann.

Die Verletzung der beiden strengen Kriterien zur mechanischen Integrität bedeutet nicht, daß bereits eine Gefährdung vorliegt. Die Bereiche, in denen beide Kriterien verletzt werden, müssen jedoch als potentielle Schwachstellen angesehen werden.

Die BGR hat Modellrechnungen zur gebirgsmechanischen Beurteilung der Integrität der Salzbarriere für mehrere Grubenbereiche durchgeführt. Daraus geht hervor, daß selbst unter konservativen Annahmen für die Betriebszeit und mindestens einige weitere Jahrzehnte die Auflockerungszonen nicht bis zum Salzspiegel reichen, wohl aber bis an den Hauptanhydrit, so daß an mehreren Stellen Migrationspfade von Deckgebirgswässern über den Hauptanhydrit (ZEP 2-10) denkbar sind. Beispiele dafür sind potentielle Fließwege im Abbau 1A oder 3 Nord auf der 1. Sohle im Zentralbereich der Grube Bartensleben (VIOLA, HEUSERMANN & WALLNER 1997).

Die derzeitige Ausdehnung der Auflockerungszonen um Einzelhöhlräume ist nach den untertätigen Permeabilitätsmessungen (WEBER 1997) als gering zu bewerten und beträgt z.B. um einzelne Abbaukammern selten mehr als 2 m.

Im unverfüllten Bergwerk hält die Konvergenz der Abbaue solange an, bis diese geschlossen sind. Hierfür ist ein Zeitraum von einigen tausend Jahren anzusetzen. Damit ist langfristig in stark durchbauten Grubenteilen auch eine weitere Ausdehnung der Auflockerungsbereiche möglich.

ZEP 2-16: Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung durch Versagen von Tragelementen im Grubengebäude

Einzelne Löserfälle infolge der Abbaukontur, wie sie aus dem Südfeld der Grube Bartensleben bekannt sind, haben keine wesentlichen Auswirkungen auf die Reichweite der Auflockerungen.

In stark durchbauten Grubenbereichen des unverfüllten Grubengebäudes wird es bei fortgeschrittener Konvergenz über die im ZEP 2-15 beschriebenen Prozesse hinaus langfristig zu einem Versagen von Schweben und Pfeilern kommen. Dieses Versagen von Tragelementen im Grubengebäude führt nicht unmittelbar auch zu einem Verlust der Integrität der Salzbarriere, kann aber je nach Abbaugeometrie die Ausweitung der Auflockerungszone wesentlich verstärken. In besonderem Maße ist hiervon der Zentralteil der Grube Bartensleben betroffen, weil hier 3 Abbaureihen in halbsteiler Lagerung nebeneinander liegen.

Ohne Stabilisierungsmaßnahmen in relevanten Grubenbereichen ist nicht auszuschließen, daß langfristig solche ausgeweiteten Auflockerungszonen bis zum Salzspiegel reichen.

ZEP 2-17: Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung im salinaren Hauptanhydrit

In stark durchbauten Grubenbereichen sind infolge der Kriechfähigkeit des Salzgesteins Spannungsumlagerungen zu erwarten, die im spröde reagierenden Hauptanhydrit zu Spannungsakkumulationen und zur Rißbildung führen können. Bei unverfülltem Grubengebäude muß man deshalb in den stark durchbauten Bereichen längerfristig mit einer Ausweitung der unterstellbaren geogenen Wegsamkeiten des Hauptanhydrits (ZEP 2-10) rechnen, z.B. mit einer hydraulischen Vernetzung zuvor lokal begrenzter Kluftsysteme innerhalb einzelner Hauptanhydritschollen. In diesem Zusammenhang könnten isolierte Salzlösungsvorkommen mobilisiert und Zuflüsse in Grubenhohlräume initiiert werden.

ZEP 2-18: Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung im Hutgestein und Deckgebirge

Theoretisch ist eine Zerrungsbeanspruchung nebst Kluftbildung im Festgestein über bergbaulichen Senkungsgebieten möglich. Die geringen Senkungsbeträge, die bisher bei den übertägigen Nivellements des Standortbereichs gemessen wurden, reichen für geomechanische Beanspruchungen bis zur Rißbildung nicht aus. Es ist beim gegenwärtigen Kenntnisstand aber nicht auszuschließen, daß bei unverfüllter Grube die Konvergenz der stark durchbauten Grubenbereiche (Zentralteil Bartensleben, Langabbaue Marie) zu starken Setzungen nebst Rißbildungen und damit zu neuen Wegsamkeiten im Deckgebirge, vor allem im Hutgestein, führt. Deshalb muß längerfristig (Größenordnung - nach mehr als 1 000 Jahren) mit vernetzten Wegsamkeiten von der Basis bis zur Oberfläche des Hutgesteins oberhalb der genannten Grubenbereiche gerechnet werden.

ZEP 2-19: Bildung neuer Wegsamkeiten im Subsalinar

Die im ZEP 2-12 für das Hutgestein beschriebene Möglichkeit einer tektonisch induzierten Wegsamkeitsbildung besteht in ähnlicher Weise auch für das Subsalinar. Hier könnten aus der Tiefe kommende tektonische Impulse eventuell eine Wiederbelebung der von REMPEL (1993) postulierten Migrationspfade für eine Vertikalmigration aus dem Salzwasser führenden Flechtinger Bausandstein in das Salinar bewirken. Die geologische Wahrscheinlichkeit für diese Wegsamkeitsbildung im Subsalinar und für die Überwindung der basalen Steinsalzschiechten unter dem Endlager ist allerdings sehr gering, da die notwendige tektonische Aktivität nicht vorhanden ist. Langfristig (nach mehr als 10 000 Jahren) kann eine derartige Wegsamkeitsbildung jedoch nicht ausgeschlossen werden.

ZEP 2-20: Bildung neuer Wegsamkeiten durch Permafrost und Gletscher

Durch kaltzeitliche Prozesse ist die Entstehung neuer Klüfte im Deckgebirge und im Salzgestein denkbar. So ist die Entstehung von Klüften aus der unterschiedlichen Abkühlung von Salz- und Deckgebirge infolge von Permafrost an hochliegenden Salzstöcken des hannoverschen Raumes

beschrieben und diskutiert worden. Die Permafrost-Basis dürfte bei einer angenommenen Kaltzeit vom Typ Weichsel mit ca. 200 m maximaler Eindringtiefe (vgl. KELLER 1996) die Salzoberfläche in Morsleben wegen des mindestens 250 m mächtigen Deckgebirges nicht mehr erfassen. Für das Hutgestein ist allerdings die Bildung kryogener Risse nach dem bei ca. 25 000 Jahre prognostizierten ersten Kältemaximum nicht auszuschließen.

Klüfte durch die mechanische Beanspruchung eines vorrückenden Inlandgletschers wären mit einer geringen Wahrscheinlichkeit nach ca. 100 000 Jahren möglich (vgl. WILDENBORG 1999). Die zur Klüftbildung führende mechanische Tiefenwirkung eines Gletschers wird nach den geologischen Befunden in Norddeutschland mit maximal 200 bis 300 m beziffert (EISSMANN 1987; HANNEMANN 1995).

ZEP 2-21: Wegsamkeiten durch Bohrungen

Bohrungen, die das Hutgestein durchteufen und bis in das Salzgebirge hineinreichen, können bei ungenügender Verfüllung als Wegsamkeiten für Deckgebirgswässer dienen. In Frage kommen zwei alte Kali-Erkundungsbohrungen: Hmt 4 in der Nähe der Steinsalz-Langabbau der Grube Marie und Hmt 5 in der Nähe der Schachtröhre Marie. Nach geomechanischen Abschätzungen reichen die von den Auffahrungen ausgehenden Auflockerungen nicht bis an die im Grubenrißwerk angegebene Position der Bohrungen heran. Bei der Bohrung Hmt 4, die den Hauptanhydrit durchteuft hat, ist eine mögliche Verbindung zu Grubenbauen über diesen potentiellen Migrationspfad zu bedenken (siehe Kapitel 4). Dabei kommt weniger eine Aktivierung infolge von Umlösungsvorgängen innerhalb der Bohrung in betracht (wegen des stagnierenden Regimes), als vielmehr neue Wegsamkeitsbildung im Hauptanhydrit als Folge konvergenzbedingter Verformungen bei unverfülltem Grubengebäude.

ZEP 2-22: Migration der Flutungswässer aus den Schächten Alleringersleben und Buchberg/Walbeck

Eine potentielle Gefährdung des Endlagers Morsleben könnte von den benachbarten gefluteten Schächten ausgehen, wenn sich die Flutungswässer durch Auflösung der steil einfallenden Kalisalzflöze entsprechende Migrationspfade schaffen.

Der Abteufschacht Alleringersleben, der 1914 wegen erheblicher Deckgebirgszuflüsse bei ca. 330 m Teufe aufgegeben wurde, befindet sich ca. 1 km südöstlich der Grube Bartensleben. Der Schacht hatte bei Endteufe das Kalisalzflöz Staßfurt in carnallitischer Ausbildung erreicht. Der Schachtwasserspiegel hat sich seit langem dem Grundwasser im Deckgebirge (Aquifer der Oberen Kreide) angeglichen und liegt bei 27 m unter Gelände. Die Wassersäule im Schacht ist nach der Dichte geschichtet. Die Dichte des Wassers betrug z.B. 1985 nach bergamtlichen Unterlagen $1,000 \text{ g/cm}^3$ bei 27,2 m, $1,002 \text{ g/cm}^3$ bei 70 m und $1,042 \text{ g/cm}^3$ bei 140 m Tiefe unter Gelände. Eine erhebliche Lösung der Kalisalze ist auf Grund des geringen Querschnitts der

Angriffsfläche und zu geringer Wassermenge für diffusive Stofftransportvorgänge (Hohlraumvolumen ca. 6 000 m³) zu verneinen und die Gefährdung des Endlagers durch die Flutungswässer im Schacht Alleringersleben auszuschließen.

Die Schachanlage Walbeck-Buchberg besitzt einen Gesamthohlraum von ca. 310 000 m³, davon sind ca. 200 000 m³ verfüllt (nach MEYER & SCHÖNBERG 1999). Sie befindet sich in ca. 3,1 km Entfernung vom nördlichen Ende der Grube Marie. Nach LÖFFLER (1962) wurde die Wasserhaltung der 1924 stillgelegten Anlage nach vorheriger Schließung des Dammtores zwischen den Gruben Walbeck und Buchberg 1926 eingestellt. Lotungen ergaben, daß die eingedrungenen Wässer 1930 bis 493 m, 1935 bis 433 m und 1960 bis 400 m unter Gelände angehtiegen waren (also zunächst über der 3. Sohle, später über der 2. Sohle von Buchberg lagen). Die beiden Schachtröhren wurden zwar im Oktober 1946 gesprengt, doch sind weitere Beobachtungen möglich. Messungen von 1985 ergaben im Schacht Buchberg: Wasserspiegel bei 370 m unter Gelände; Dichten bei 370 m 1,012 g/cm³, 400 m 1,278 g/cm³, 420 m 1,281 g/cm³. Der Anteil des gelösten Kaliums betrug 1985 in 400/420 m Teufe ca. 32 g/l. 1990 erreichte der Laugenspiegel ca. 360 m Teufe und hat sich bis 1998 wenig verändert (vermutlich weil das Niveau der 1. Sohle in der Grube Walbeck geflutet wird). Die Beschaffenheitswerte sowie die Dichten am Laugenspiegel und bei 400 m bzw. 418 m Teufe sind 1998 ähnlich wie 1985.

Im Schacht Walbeck wurden eine 360 m-Sohle (ca. -250 m NN) und eine 420 m-Sohle nebst Unterwerksbauten bis zur 570 m-Sohle aufgefahren. Nur die obere Sohle käme für eine potentielle Verbindung zum Nordfeld der Grube Marie, das auf der Hauptsohle (-231 m NN) erschlossen ist, in Betracht, falls das Kalisalzflöz über 3,1 km horizontale Entfernung aufgelöst würde. Diese Annahme erscheint aus folgenden Gründen unwahrscheinlich:

- Die Flutung der Grube Walbeck erfolgt langsam und die eingedrungenen Wässer erreichen durch Auflösung der Kalisalze innerhalb der aufgefahrenen Grube nach kurzer Zeit einen hohen Sättigungsgrad mit Dichten um 1,28 g/cm³ (im Niveau der ersten Sohle des Schachtes Buchberg z.B. nach ca. 25 Jahren).
- Die Flözstränge zwischen den Gruben Walbeck und Marie sind vorherrschend als relativ schwer lösliches Hartsalz ausgebildet (LÖFFLER 1962) und vermutlich wie in den aufgeschlossenen Grubenfeldern durch Quersättel unterbrochen.
- Die Angriffsfläche für die horizontale Ausweitung eines Lösungshohlraumes und den diffusiven Stofftransport ist sehr klein im Vergleich zu den in vertikaler Richtung verfügbaren Angriffsflächen für Lösungsvorgänge. Außerdem erfolgt die weitere Auflösung des Kalilagers bei fortgeschrittener Aufsättigung der zugeflossenen Lösungen nach HERBERT & SANDER (1999) bevorzugt schräg nach oben (d.h. sie kann das Grubenfeld Marie nicht erreichen).

Ein Übertritt von Lösungen aus der gefluteten Schachanlage Walbeck wird deshalb bei den potentiellen Zuflußszenarien nicht berücksichtigt.

Analoge Überlegungen treffen für ein zukünftig in Richtung Walbeck geplantes Grubenfeld Grasleben (nach Stilllegung und Flutung) zu, zumal bei dessen Auffahrung Abschnitte im Kalisalz weitestgehend vermieden werden können.

ZEP 2-23: Marine oder limnische Überflutung des Endlagerstandortes

Eine Überdeckung des Standortes durch ein flaches Meer oder einen See modifiziert die hydraulischen Randbedingungen der Grundwasserströmung im Deck- und Nebengebirge, ohne sie wesentlich zu verändern. Eine marine Transgression ist anhand der langfristig möglichen geologisch-tektonischen Entwicklung ohnehin über mehrere 100 000 Jahre auszuschließen (vgl. die unter ZEP 1-1 angeführten Vertikalamplituden der Krustenbewegungen).

Die glazilimnische Überflutung des Standortes ist im Gefolge der prognostizierten kaltzeitlichen Entwicklung durchaus denkbar. Falls sich ein See von mehr als 2 m Tiefe bildet, kommt es unter dem Seeboden zur Auflösung von Permafrost und damit zur Möglichkeit einer Infiltration von Deckgebirgswässern in den Untergrund. Etwa ableitbare Potentialänderungen, die eventuell das Subrosionsgeschehen beeinflussen könnten, sind viel geringer zu bewerten, als die zugleich mögliche und bei den Subrosionsrechnungen berücksichtigte Umkehrung von Ex- und Infiltrationsgebieten (WILDENBORG 1999).

Das ZEP wird daher im weiteren nicht berücksichtigt.

ZEP 2-24: Fließweglängen im Salinar

Die in den ZEP 2-9, 2-10, 2-15 und 2-17 als relevant bewerteten geogenen und bergbaulich verursachten Wegsamkeiten im Salz und im Hauptanhydrit sind inhomogen im Gebirge verteilt. Die lokal ausgebildeten Wegsamkeiten sind oft nicht untereinander hydraulisch verbunden. Sie haben beim gegenwärtigen Zustand des genutzten Bergwerks und seiner salinaren Barriere in einem Fall zu Deckgebirgszuflüssen bei geringer Distanz zum Salzspiegel geführt (SLV Lager H). Insofern ist die postulierte generelle Wasserwegsamkeit des Hauptanhydrits und der Dilatanzonen bzw. geogenen Klüfte im Steinsalz eine konservative Annahme, deren Realitätsnähe mit wachsender Länge der unterstellten Fließwege im Salinar abnimmt. Dieser Umstand besitzt besondere Bedeutung, wenn potentiell durch Zuflüsse gefährdete Grubenbaue konkret benannt werden sollen. Exakte geowissenschaftliche Methoden zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Länge und tatsächlicher Realisierung potentieller Fließwege stehen im gegebenen Fall nicht bereit, doch kann man sich auf die Erfahrungen und Regeln der bergbaulichen Praxis für Schutzschichtmächtigkeiten beziehen, die nicht von Zuflüssen überwunden werden (siehe Kapitel 5.1).

3.3 ZEP-Gruppe 3: Vorgänge im lösungsgefüllten Endlager und Austritt kontaminierter Lösungen

Zugeflossene Wässer können infolge chemischer Freisetzung des eingelagerten radioaktiven Inventars kontaminiert und aufgrund verschiedener Antriebsmechanismen wieder aus dem Endlager transportiert werden.

Mehrere der für den Zufluß von Wässern in das Endlager relevanten ZEP treffen sinngemäß auch für den Austritt kontaminierter Lösungen aus dem Endlager zu, und zwar:

- für Wegsamkeiten aus dem Salinar die ZEP 2-9, 2-10, 2-12, 2-15, 2-17, 2-18 und 2-21;
- für die Ausbreitung im Deck- und Nebengebirge die ZEP 2-1 bis 2-5.

Nachfolgend werden zunächst ZEP diskutiert, die sich auf Vorgänge in dem durch Zuflüsse betroffenen Endlager beziehen und danach ZEP, die die potentielle Migration kontaminierter Lösungen durch die Geosphäre beinhalten.

ZEP 3-1: Chemische Prozesse nach Zufluß von Lösungen in das Endlager

Zuflüsse aus dem Deck- und Nebengebirge sind grundsätzlich ungesättigt. Die eingedrungenen Wässer werden sich durch Lösung des Salzgesteins aufsalzen, wobei die leicht löslichen Salzmineralien bevorzugt werden. Der Vorgang beschränkt sich jedoch keinesfalls nur auf ein selektives Herauslösen von Schichten, die aus leichtlöslichen Mineralien bestehen. Es werden Wässer mit unterschiedlichem Chemismus entstehen, die bei stagnierenden Verhältnissen im Grubengebäude erhalten bleiben können, soweit keine Durchmischung infolge thermischer Konvektion stattfindet.

Durch die Wechselbeziehungen von radioaktiven Abfällen, Behältermaterialien, Versatz einschließlich seiner Zuschlagstoffe sowie zugetretener Salzlösungen sind zahlreiche chemische Prozesse zu erwarten. Einige wichtige sind:

- * Gasproduktion beim Zusammenwirken der Abfälle, Behälter und Salzlösungen infolge
 - mikrobieller Zersetzung,
 - Korrosion,
- * Folgereaktionen der gebildeten Gase mit Materialien der Umgebung,
- * Bildung von Redoxfronten,
- * Fällungs- und Lösungsreaktionen,
- * Eh- und pH-Änderungen,
- * Sorptionsprozesse.

Im Nahbereich der Abfälle kann es durch Eh- und pH-Änderungen zum Überschreiten von Löslichkeitsgrenzen kommen, was zumindest einen Teil der Radionuklide durch Ausfällung zurückhält.

Die genannten chemischen Prozesse sind wichtig zum Verständnis der Freisetzungsmöglichkeiten und des Migrationsverhaltens von radioaktiven Stoffen. In diesem Bericht wird davon ausgegangen, daß die Radionuklide freigesetzt werden und in löslicher Form für einen weiteren Transport zur Verfügung stehen.

ZEP 3-2: Umlösung der Kalilager nach Flutung des Endlagers

Die Auflösung der Kalilager durch eingedrungene Wässer beeinflusst insbesondere:

- * die chemische Beschaffenheit der Lösungen und ihre Dichteverteilung, die sich in den verschiedenen Grubenteilen unterschiedlich gestalten kann und dadurch auf Transportvorgänge innerhalb des Endlagers einwirkt;
- * die im Salinar angelegten Fließwege der Lösungen, indem die durch Auflösung der Kalisalze geschaffenen Hohlräume unmittelbar dem Lösungstransport dienen oder zum Versagen stützender Gebirgsteile beitragen, wodurch zusätzliche Wegsamkeiten im Salinar entstehen können.

Die Auflösung der Kalisalze in der Grube Bartensleben bei instantaner Flutung mit an NaCl und CaSO₄ gesättigten Deckgebirgswässern wurde modellhaft von HERBERT & SANDER (1999) untersucht. Die Rechenergebnisse besagen, daß bei unverfüllter Grube der gesamte Carnallit und Teile des Sylvit aus dem Hartsalz in Lösung gehen, Carnallitit und Hartsalz in den steilen Flözsträngen bis zum Salzspiegel beeinflusst und ihre mechanischen Eigenschaften verändert sowie Kainit und Halit in beachtlichen Mengen ausgefällt werden.

Aus hydrogeologischer Sicht ist allerdings keine instantane, sondern eine länger andauernde Flutung des Endlagers zu unterstellen. In diesem Fall erlangen nach HERBERT & SANDERS (1999) die Auflösungskinetik der Salze, die Zuflußraten und die Zuflußwege eine besondere Bedeutung.

Beim gegenwärtigen Kenntnisstand ist nicht auszuschließen, daß die Umlösung der Kalilager neue Wegsamkeiten für den Transport kontaminierter Lösungen bis zum Salzspiegel bewirkt, zumal nach o.g. Autoren bei fortschreitender Aufsättigung der zugeflossenen Wässer die weitere Auflösung der Kalilager bevorzugt nach oben erfolgen dürfte, während große Anteile in der Tiefe unberührt bleiben.

ZEP 3-3: Tagesbruch nach Aussolung bei einem Zufluß in die unverfüllte Grube

Die Nutzung eines ehemaligen Gewinnungsbergwerkes von Stein- und Kalisalzen für die Endlagerung bedeutet, daß sich aus der Kombination potentieller Wegsamkeiten innerhalb des Salinars (insbesondere ZEP 2-9, 2-10, 2-15, 2-24) mit solchen außerhalb des Salinars

(insbesondere ZEP 2-1, 2-3, 2-4, 2-5, 2-12) vielfältige Zuflußvarianten nichtgesättigter Wässer ergeben. Darunter befinden sich Varianten, die bei langen Fließzeiträumen, wie sie eine unverfüllte Grube ermöglicht, zu beträchtlichen Aussolungskavernen im Salz und zu einem Tagesbruch im darüber befindlichen Gebirge führen können. Damit stünde ein besonderer Pfad für die spätere Ausbreitung kontaminierter Lösungen zur Verfügung. Ein Tagesbruch über dem Grubengebäude kann durch geeignete Verfüllmaßnahmen unterbunden werden.

ZEP 3-4: Geogene Gasausbreitung im Endlager

Die im ERAM auftretenden Kohlenwasserstoffgase sind als Mischgase aus Muttergesteinen im Karbon und im Zechstein (Staßfurtkarbonat, z2SK) im Zuge der Strukturgenese im wesentlichen im Hauptanhydrit (z3HA) akkumuliert worden. Als Migrationswege für die Erdgase kommen Kluftwegsamkeiten im Subsalinar der Allertalzone in Betracht, die nach REMPEL (1993) in der geologischen Vergangenheit mehrfach tektonisch aktiviert wurden, gegenwärtig aber geschlossen sind (vgl. ZEP 2-8). Die Erdgasvorkommen innerhalb des Hauptanhydrits haben erfahrungsgemäß (LÖFFLER 1962; BORNEMANN 1996) geringe Volumina und unterhalb der petrostatischen liegende Drücke. Finden derartige im Hauptanhydrit eingeschlossene natürliche Gase infolge konvergenzbedingter Verformungen des Gebirges hydraulischen Anschluß an zufließende bzw. zugeflossene Lösungen des Deck- und Nebengebirges, vermögen sie eine lokale Modifizierung der ablaufenden Transportvorgänge zu bewirken.

ZEP 3-5: Gasproduktion im Endlager

Die im ERAM vorhandenen Metallmassen, vorwiegend Eisen in Form von Ausbau, Ankern, Sicherungsnetzen, Rohrleitungen und Gestängen, und nicht zuletzt die Abfallbehälter, werden aufgrund der in der Grubenluft und im Salzgestein vorhandenen bzw. zufließender Wässer korrodieren. Bei der Umsetzung von Eisen zu Eisenhydroxid werden bei anaeroben Bedingungen entsprechende Mengen Wasserstoffgas frei. Der sehr langsam ablaufende Prozeß ist solange aktiv, bis entweder alles verfügbare Wasser aufgebraucht ist oder alles vorhandene Eisen umgewandelt wurde.

Das in den Abfallgebänden lagernde organische Material (z. B. zellulosehaltige Materialien oder Kunststoffe) wird durch mikrobielle Zersetzung umgewandelt. Dabei entstehen der Umgebungstemperatur, der Bakterienart und der Ausgangsstoffmasse entsprechende Mengen an CO_2 , N_2O , N_2 , H_2S , H_2 und CH_4 .

Eine Gasausbreitung wird entsprechend den sich einstellenden Druckgradienten in die Umgebung erfolgen, wobei Auflockerungszonen, Streckenteile, Bohrungen oder Schächte als Wegsamkeiten in Frage kommen. Ein Gasfluß in intaktes, ungeklüftetes Salzgestein dürfte dagegen wegen sehr geringer Permeabilitäten gegenüber den vorher erwähnten möglichen Weg-

samkeiten nicht zu erwarten sein, da die Porenwasserdrücke des bergfeuchten Salzgesteins überwunden werden und miteinander verbundene Wegsamkeiten existieren müssen.

Wird ein vollständiges Verschließen der leicht durchlässigen Wegsamkeiten (Auflockerungszonen, Hohlräume) durch Konvergenz unterstellt, ist bei entsprechender Gasproduktion mit einem Druckaufbau zu rechnen, der im Extremfall zu einer Permeation des Gebirges führen kann.

ZEP 3-6: Transport kontaminierter Lösungen durch Gase

Die Einlagerungskammern und ehemaligen Abbaukammern des ERAM weisen vielfach eine konkave First auf, die zudem weit über der Zuwegung liegt. Steigt der Innendruck in einer gasgefüllten Kalotte des Hohlraums über den hydrostatischen Druck in der gefluteten Grube an, kann das dort gesammelte Gas die Lösungen aus der Kammer herauspressen. Eine eventuell entwichene Gasblase verteilt sich anschließend in den Strecken oder auf andere Hohlräume.

Ob das im Endlager produzierte Gas für einen Antrieb der kontaminierten Lösungen in Frage kommt, hängt wesentlich davon ab, in welchem Verhältnis Gasproduktion und Lösungszuläufe zeitlich und mengenmäßig zueinander stehen. Nur wenn die Hauptmenge des Gases produziert wird, nachdem das Endlager weitestgehend durch Zuflüsse gefüllt ist, kann sich der steigende Gasdruck als Antrieb für den Wiederaustritt kontaminierter Lösungen in das Deck- bzw. Nebengebirge erweisen. Ist die Gasproduktion vorauslaufend gegenüber den Hauptzuflüssen, so ist die Rolle der Gase in Bezug auf die Transportvorgänge im wesentlichen passiv.

ZEP 3-7: Transport kontaminierter Lösungen durch ein hydraulisches Druckpotential

Die in einem gefluteten Endlager befindlichen kontaminierten Lösungen werden hochkonzentrierte Solen mit Dichten größer $1,2 \text{ g/cm}^3$ sein, die über einen oder über mehrere Fließwege mit den schwach versalzten Deckgebirgswässern geringer Dichte kommunizieren. Ein von den Deckgebirgswässern übertragener hydraulischer Gradient könnte nur bei Vorhandensein mehrerer Fließwege auftreten. Er würde über die Gesamterstreckung der Grube bei allen zukünftig möglichen hydrogeologischen Konstellationen so gering sein, daß keinerlei Auswirkungen auf das Fließverhalten der Lösungen im Endlager auftreten können, weil die Dichteunterschiede zwischen den Deckgebirgsgewässern und den kontaminierten Lösungen zu stark ins Gewicht fallen. Der Antrieb der kontaminierten Lösungen durch ein hydraulisches Druckpotential ist für ihre Freisetzung aus dem Endlager nicht relevant, kann aber für ihre weitere Ausbreitung im Deckgebirge von Bedeutung sein.

ZEP 3-8: Stofftransport durch Diffusion, Dispersion und geothermische Durchmischung

Bei unbewegter Salzlösung ist die Diffusion der einzige Transportmechanismus für Radionuklide. Der Stofftransport durch Diffusion ist ein verhältnismäßig langsamer Vorgang, der nur mit wachsender Zeitskala an Bedeutung gewinnt, falls die Grubenbauten unverfüllt sind.

Eine geothermisch initiierte Bewegung der Salzlösung, die ihre gravitativ bewirkte Dichteschichtung aufzuheben und eine Durchmischung herbeizuführen vermag, ist ebenfalls nur bei unverfüllter Grube denkbar. Der geothermische Gradient zwischen Einlagerungssohle und den oberen Sohlen ist im ERAM allerdings sehr klein.

Die Dispersion ist an eine Strömung gekoppelt und modifiziert den Stofftransport durch letztere. Ist eine Strömung der Salzlösung gegeben, übertrifft der daran gebundene Stofftransport bei weitem denjenigen durch Diffusion, Dispersion oder thermische Durchmischung. Infolge Dispersion kann die Bewegungsfront kontaminierter Lösungen verbreitert und ein Verdünnungseffekt (im Hutgestein und im Deckgebirge) bewirkt werden.

ZEP 3-9: Transport kontaminierter Lösungen durch Konvergenzdruck

Die Hohlraumkonvergenz des gefluteten Grubengebäudes, d.h. das langsame Schließen der im Salz aufgefahrenen Hohlräume durch das Salzkriechen, wird im wesentlichen von den struktureologischen Verhältnissen des Salinars, der Teufe der Auffahrungen, der Kriechfähigkeit des durchörterten Salzgesteins, den herrschenden Temperaturverhältnissen und dem Innendruck in den Hohlräumen bestimmt. Die Hohlraumverengung überträgt sich als Konvergenzdruck auf die zugeflossenen Lösungen und bewirkt, daß sie auf den Zuflußwegen grundsätzlich wieder ausgepreßt werden können, solange nicht der gesamte verfügbare Hohlraum verschlossen wurde. Unterschiedlich große Konvergenzraten in den verschiedenen Grubenbereichen können infolge lokaler Schließung von Wegsamkeiten zur Einkapselung von (kontaminierten) Salzlösungen in den Grubenbauen führen.

Der Konvergenzdruck ist der wichtigste Antrieb für den Transport kontaminierter Lösungen aus dem Endlager in das Deck- und Nebengebirge (neben dem möglichen Transport durch Gase, vgl. ZEP 3-6).

ZEP 3-10: Strömungsvorgänge durch Dichteunterschiede

Im Verlaufe einer unterstellten Flutung des Endlagers durch ungesättigte Wässer aus dem Deck- und Nebengebirge ist die Erreichung eines zwischenzeitlichen Zustands möglich, bei dem die auf den tiefen Sohlen befindlichen Lösungen eine geringere Dichte aufweisen als auf den höheren Sohlen. Die Ursache dafür ist in der gegebenen Verteilung der verschiedenen Salze innerhalb der Grube und ihren räumlich-zeitlich unterschiedlichen Auflösungsmöglichkeiten durch die eindringenden Wässer zu sehen. Dieser zwischenzeitliche Zustand wird dadurch überwunden, daß die schwereren Lösungen in die Tiefe sinken und dabei die dort befindlichen

und ggf. bereits kontaminierten Lösungen geringerer Dichte verdrängen. Diese Strömungsvorgänge können somit für die Durchmischung der Lösungen innerhalb der gefluteten Grube von Bedeutung sein.

ZEP 3-11: Volumenänderung bei Umlösungsprozessen der Kalilager

Untersuchungen an Lösungszusammensetzungen bei der Migration von NaCl- und CaSO₄-gesättigten Deckgebirgswässern durch das Grubengebäude Bartensleben (HERBERT & SANDER 1999) führten zu der Erkenntnis, daß bei der Zersetzung von Carnallit Volumenänderungen auftreten können. Die durchgeführten Modellrechnungen zeigen eine Abhängigkeit der Volumenbilanz vom verfügbaren Hohlraumvolumen und von der Art des Versatzes in der Grube, bei unverfüllter Grube bewirken die Umlösungsprozesse ein insgesamt geringeres Volumen von Gestein und Lösung; nach Versatzmaßnahmen ist eine Volumenvergrößerung bei der Umlösung möglich, die zum Wiederaustritt der in das Endlager eingedrungenen Lösungen beitragen kann.

ZEP 3-12: Ausbreitung kontaminierter Lösungen im Deckgebirge

Es kann aus geologischer Sicht unterstellt werden, daß sich die Fließwege von Austritten kontaminierter Lösungen aus dem Endlager im Salzspiegelniveau an einer oder mehreren Stellen der potentiell in Frage kommenden salinaren Schichten quasi punktförmig konzentrieren. Dafür prädestiniert ist die Westflanke der Hauptmulde. Die weitere Ausbreitung der kontaminierten Lösungen vollzieht sich im Hutgestein, und zwar zunächst schichtbezogen in der Folge DGL (ZEP 2-5), später eventuell ohne schichtförmige Begrenzung (ZEP 2-12 und 2-18). Auf dem Fließweg durch das Hutgestein geht der durch den Antrieb der Lösungen verliehene Druck verloren und ihre weitere Ausbreitung wird den hydraulischen Verhältnissen im Deckgebirge unterworfen. Die in den Schichten des Deckgebirges (ZEP 2-1 und 2-3) vorherrschenden Potentiale binden die Bewegung der kontaminierten Lösungen in den zur Aller gerichteten Grundwasserstrom ein. Ändern sich die Potentialverhältnisse im Deckgebirge langfristig infolge der prognostizierten Periode mit ausgeprägtem Permafrost und Eisbedeckung, werden sich auch die Fließwege entsprechend ändern.

3.4 Zustandsbezogene zeitliche Differenzierung

Die geologischen Barriereigenschaften unterliegen zeitlich differenzierten Einflüssen und Veränderungen. Dadurch wird eine zeitbezogene Bewertung der geologischen Langzeitsicherheit und der potentiellen Zuflußszenarien ermöglicht und notwendig.

Der geologisch überschaubare zeitliche Rahmen erstreckt sich von der Beendigung der Betriebsphase (gleich aktueller Ausgangszustand) bis zu den klimatologisch gesteuerten Verhältnissen einer prognostizierten Kaltzeit mit Inlandvereisung. Die Zäsuren der kaltzeitlichen Entwicklung werden durch einen möglichen Inlandgletscher nach ca. 100 000 Jahren und die vorausgehende Periode mit Permafrost, die zur Intensivierung der subrosiven Prozesse führt und nach ca. 60 000 Jahren einem markanten Höhepunkt zustrebt, gesetzt (vgl. ZEP 1-2 bis 1-6).

Gleichzeitig wirken geotechnisch induzierte Einflüsse und tektonisch induzierte Einflüsse auf den Zustand des Salinars und des umgebenden Gebirges.

Wichtigster geotechnischer Prozeß ist die Konvergenz der Resthohlräume der Grube. Die Konvergenz führt letztendlich zur Aufhebung der Auflockerungszonen um die Grubenbaue im Salz (vgl. ZEP 2-15) und kann zuvor in intensiv konvergierenden (stark durchbauten) Grubenteilen neue Wegsamkeiten im Salinar und im Hutgestein verursachen (ZEP 2-16, 2-17 und 2-18). Da die Konvergenzrate im ERA Morsleben ca. $10^{-4}/a$ (Volumenkonvergenz) beträgt, werden diese Prozeßabläufe bei unverfüllter Grube ungefähr nach zehntausend Jahren beendet sein.

Wichtigste Auswirkung der tektonischen Bewegungen, die in Morsleben auf einem langfristig sehr niedrigen Intensitätsniveau ablaufen, kann die Anlage neuer Wegsamkeiten im derzeit undurchlässigen intakten Hutgestein sein (ZEP 2-12). Die Zeiträume, die zu Spannungsakkumulationen und zur Ausbildung neuer, hydraulisch vernetzter Klüfte im intakten Hutgestein benötigt werden, sind nicht exakt definierbar. Die beiden erbohrten Vorkommen fossilen Chloridkarstes am Salzspiegel weisen mit isotopischen Altersspannen ihrer Salzlösungen von ca. 10 000 bis ca. 37 000 Jahren darauf hin, daß geologisch bedingte Umstellungen der Wegsamkeiten des Hutgesteins innerhalb von Zeiträumen dieser Größenordnung ablaufen können.

Die bei fortgeschrittener Konvergenz und unverfülltem Grubengebäude möglichen neuen, bergbaulich bedingten Wegsamkeiten im Salz (ZEP 2-16), im Hauptanhydrit (ZEP 2-17) und im Hutgestein (ZEP 2-18) lassen sich mit den möglichen neuen, tektonisch bedingten Wegsamkeiten im Hutgestein (ZEP 2-12) und im Subsalinar (ZEP 2-19) zur Beschreibung eines neuen Zustands der geologischen Barriere zusammenfassen, der sich erheblich vom gegebenen Ausgangszustand unterscheidet. Bei einer derartigen Zusammenfassung wird unterstellt, daß die bei fortgeschrittener Konvergenz bergbaulich induzierten neuen Wegsamkeiten ungefähr zeitgleich mit den tektonisch induzierten Wegsamkeiten potentiell zuflußwirksam werden. Es sei betont, daß die bergbaulich induzierten neuen Wegsamkeiten nur bei unverfüllter Grube und nur in stark durchbauten Grubenbereichen (Zentralteil Bartensleben, Langabbaue Marie) auftreten können. Die tektonisch induzierten Wegsamkeiten sind dagegen unabhängig vom Zustand des Bergwerkes und behalten ihre Bedeutung für Zuflüsse auch bei verfüllter Grube. Sie können sich gemäß ZEP 2-12 vermutlich nach einigen tausend Jahren einstellen.

Im weiteren wird der nach der Betriebsphase gegebene Ausgangszustand der geologischen Barriere mit A und ihr durch neue Wegsamkeiten veränderter Zustand mit B bezeichnet. Diese beiden Zustände sind für die Ermittlung von Zuflußszenarien maßgebend.

Nach Verschluß der Grubenhohlräume durch die Konvergenz des Salzgebirges muß die geologische Langzeitsicherheit des Endlagers im Hinblick auf die Beschädigung der geologischen Barriere durch mächtigkeitsreduzierende geologische Prozesse weiterhin bewertet werden. Als überschaubarer zeitlicher Bezug dient hierbei die prognostizierte kaltzeitliche Entwicklung, wobei die Zustände mit Permafrost (C) und mit Inlandvereisung (D) hervorzuheben sind.

Entsprechend den obigen Darlegungen basiert die Ermittlung der Zuflußszenarien und die geologische Langzeitbewertung auf folgender zustands- und zeitbezogener Differenzierung:

- A: Ausgangszustand (nach der Betriebsphase ohne Verfüllung), gekennzeichnet insbesondere durch die ZEP 2-1 bis 2-10 und 2-15. Die Spannungumlagerungen durch Konvergenz und durch tektonische Kräfte wirken auf eine Zustandsänderung im Salinar und im Hutgestein hin. Die klimatischen Veränderungen sind für die geologische Barriere unerheblich.
- B: Die Bedingungen des Ausgangszustandes sind modifiziert, weil das Hutgestein durch Bildung neuer, hydraulisch vernetzter Klüfte als insgesamt wasserwegsam aufgefaßt wird und im Salinar zusätzliche, konvergenzbedingte Wegsamkeiten möglich sind. Die Konvergenz wirkt auf eine allmähliche Schließung aller Grubenhohlräume hin. Das Klima entwickelt sich zu einer Kaltzeit mit Permafrost.
Der Zustand B ist nach einigen tausend Jahren möglich.
- C: Unter ausgeprägten Permafrostbedingungen erreicht die Subrosion ein relatives Maximum. Das Klima entwickelt sich zu einer Inlandvereisung.
Der Zustand C ist nach ca. 25 000 Jahren möglich.
- D: Ein intensives Glazial ermöglicht Exaration; subglaziale Wässer können die Intensität der Subrosion beeinflussen und außerdem subglaziale Erosion bewirken.
Der Zustand D ist nach ca. 100 000 Jahren möglich und nach ca. 150 000 Jahren abgeschlossen. Mit dieser Zeitmarke wird die Szenarienbetrachtung für das Endlager Morsleben beendet.

3.5 Tabellarische Zusammenstellung und Kurzbewertung der ZEP

Die tabellarische Zusammenstellung lehnt sich an die Identifikation, Beschreibung und Bewertung der ZEP in den Kapiteln 3.1 bis 3.3 an. Die dort begründeten Aussagen zur weiterführenden Verwendung (V) von ZEP bei der Szenarienanalyse werden in der Rubrik „V“ der Tabellen

mit ja bzw. nein vermerkt. Die zeitliche Relevanz der ZEP wird gemäß Kapitel 3.4 in der Rubrik „Zeit“ mit den Buchstaben A bis D angegeben. Ferner wird eine Rubrik „Geo“ für die geowissenschaftliche Nachweisführung der Aussagen zu den ZEP nach folgender Kategorisierung eingeführt:

- a - die Aussagen sind durch Standortbefunde belegt;
- b - die Aussagen sind aus Standortbefunden geowissenschaftlich abgeleitet;
- c - die Aussagen sind auf Grund standortbezogener geowissenschaftlicher Überlegungen plausibel;
- d - die Aussagen beruhen auf allgemeinen, nicht standortbezogenen geowissenschaftlichen Überlegungen.

Tabelle 1:

Übersicht der ZEP-Gruppe 1: Mächtigerkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers

Nr.	Zustände - Ereignisse - Prozesse (ZEP)	Zeit*	Geo*	V*
1-1	Mächtigerkeitsreduzierung durch Hebung nebst Abtragung	ab D	b	nein
1-2	Mächtigerkeitsreduzierung nach Salzaufstieg	-	b	nein
1-3	Mächtigerkeitsreduzierung durch Subrosion	ab C	b	nein
1-4	Mächtigerkeitsreduzierung durch fluviatile Erosion	ab C	c	nein
1-5	Mächtigerkeitsreduzierung durch subglaziale Erosion	D	d	nein
1-6	Mächtigerkeitsreduzierung durch Exaration	D	d	nein
1-7	Freilegung des Endlagers durch Vulkanismus	nach D	d	nein
1-8	Freilegung des Endlagers durch Meteoriteneinschlag	-	d	nein

*) Erläuterung siehe Kap. 3.4 sowie Beginn Kap. 3.5

Die Übersicht zur ZEP-Gruppe 1 verdeutlicht, daß die Mächtigerkeitsreduzierung der geologischen Barriere und die eventuelle Freilegung des Endlagers bis zu einem unmittelbaren Kontakt mit Deckgebirgswässern keine Vorgänge sind, die bis zur Zeitmarke 100 000 - 150 000 Jahre eintreten könnten. Wegen der geringen Wirksamkeit dieser geologischen Prozesse besteht deshalb keine Notwendigkeit, eine weiterführende Szenarienermittlung und -analyse vorzunehmen.

Tabelle 2:

Übersicht der ZEP-Gruppe 2: Zufluß von Wässern in das Endlager

Nr.	Zustände - Ereignisse – Prozesse (ZEP)	Zeit*	Geo*	V*
2-1	Grundwasser im Deckgebirge. Lockergesteine (Kreide-Quartär)	A bis D	a	ja
2-2	Subglaziale Wässer im Deckgebirge	D	d	ja
2-3	Grundwasser im Deckgebirge. Festgesteine (Keuper-Jura)	A bis D	a	ja
2-4	Grundwasser im Nebengebirge	A bis D	a	ja
2-5	Grundwasser im Hutgestein	A bis D	a	ja
2-6	Salzlösungsvorkommen am Salzspiegel	A bis D	a	ja
2-7	Salzlösungsvorkommen im salinaren Hauptanhydrit	A bis D	a	ja
2-8	Subsalinare Schichtwässer	A bis D	b	ja
2-9	Geogene Wegsamkeiten: Klüfte im Salz	A bis D	a	ja
2-10	Geogene Wegsamkeiten: Klüfte im salinaren Hauptanhydrit	A bis D	a	ja
2-11	Bildung neuer Wegsamkeiten durch Erdbeben	A bis D	c	nein
2-12	Tektonisch induzierte Wegsamkeitsbildung im Hutgestein	ab B	c	ja
2-13	Subrosiv induzierte Wegsamkeitsbildung im Hutgestein	C	b	nein
2-14	Halokinetisch induzierte Wegsamkeitsbildung	ohne	b	nein
2-15	Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung im Salz (Auflockerungsbereiche)	A bis C	a	ja
2-16	Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung durch Versagen von Tragelementen im Grubengebäude	B	b	ja
2-17	Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung im salinaren Hauptanhydrit	B	b	ja
2-18	Bergbaulich induzierte Wegsamkeitsbildung im Hutgestein und Deckgebirge	B	a	ja
2-19	Bildung neuer Wegsamkeiten im Subsalinar	ab B	c	ja
2-20	Bildung neuer Wegsamkeiten durch Permafrost und Gletscher	C, D	d	nein
2-21	Wegsamkeiten durch Bohrungen	A	a	ja
2-22	Migration der Flutungswässer in den Schächten Alleringersleben und Buchberg / Walbeck	A bis D	b	nein
2-23	Marine oder limnische Überflutung des Endlagerstandortes	ab D	d	nein
2-24	Fließweglängen im Salinar	A	c	ja

*) Erläuterung siehe Kap. 3.4 sowie Beginn Kap. 3.5

Die meisten der in Tab. 2 enthaltenen ZEP, die für Zuflüsse in das Endlager maßgebend sein können, müssen bei den weiteren Überlegungen berücksichtigt werden. Ihre Verknüpfung zu den am Endlagerstandort Morsleben möglichen potentiellen Zuflußszenarien ist Gegenstand des

Kapitels 4. In diese Verknüpfung werden formal auch Wässer und Wegsamkeiten einbezogen, die während der Zustände C und D vorhanden sind, obwohl die Grubenbaue zu diesem Zeitpunkt bereits durch die Konvergenz verschlossen wurden. Entfallen können einige der geowissenschaftlichen Vollständigkeit halber angeführte ZEP, deren vernachlässigbare Bedeutung für potentielle Zuflüsse aus den Darlegungen im Kapitel 3.2 hervorgeht.

Alle ZEP der Gruppe 3 - Vorgänge im lösungsgefüllten Endlager und Austritt kontaminierter Lösungen (Tab. 3) - könnten im Zeitrahmen des Zustandes A wirksam werden. Ihre geowissenschaftliche Nachweisführung ist mit den Kategorien a bis d zu bewerten.

Eine über die allgemeine Kennzeichnung im ZEP 3-12 wesentlich hinausgehende Darstellung der Ausbreitung kontaminierter Lösungen bedarf der Kenntnis und Berücksichtigung der Verfüll- und Verschleißmaßnahmen sowie der Stützung durch begleitende Modellrechnungen. Deshalb konzentriert sich der vorliegende Bericht auf die geologisch, geomechanisch und hydrogeologisch beschreibbaren Zuflußszenarien als Basis für die weiteren Sicherheitsbetrachtungen und sind die Angaben zur Verwendung der ZEP in Tab. 3 (Spalte V) in Klammern gesetzt.

Die ZEP der Gruppe 3 werden in die weiteren Betrachtungen nicht einbezogen.

Tabelle 3:

Übersicht der ZEP-Gruppe 3: Vorgänge im lösungsgefüllten Endlager und Austritt kontaminierter Lösungen

Nr.	Zustände - Ereignisse Prozesse (ZEP)	Zeit*	Geo*	V*
3-1	Chemische Prozesse nach Zufluß von Lösungen in das Endlager	ab A	b	(ja?)
3-2	Auflösung der Kalilager nach Flutung des Endlagers	ab A	b – c	(ja?)
3-3	Tagesbruch nach Aussolung bei einem Zufluß in die unverfüllte Grube	A, B	c	(nein)
3-4	Geogene Gasausbreitung im Endlager	ab B	c	(nein)
3-5	Gasproduktion im Endlager	ab A	a	(ja)
3-6	Transport kontaminierter Lösungen durch Gase**	ab A	b	(ja)
3-7	Transport kontaminierter Lösungen durch ein hydraulisches Druckpotential	ohne	d	(nein)
3-8	Stofftransport durch Diffusion, Dispersion und geothermische Durchmischung	ohne	d	(nein)
3-9	Transport kontaminierter Lösungen durch Konvergenzdruck**	ab A	b	(ja)
3-10	Strömungsvorgänge durch Dichteunterschiede	ab A	b	(ja)
3-11	Volumenänderung bei Umlösungsprozessen der Kalilager	ab A	b	(ja)
3-12	Ausbreitung kontaminierter Lösungen im Deckgebirge***	ab A	b	(ja)

*) Erläuterung siehe Kap. 3.4 sowie Beginn Kap. 3.5

***) in Verbindung mit ZEP 2-9 bis 2-12, 2-15, 2-17 und 2-21

****) in Verbindung mit ZEP 2-1 bis 2-5

4 Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der standortspezifischen Zuflußszenarien

4.1 Verknüpfungselemente zur Szenarienfindung

Wesentliche Elemente von Zuflußszenarien sind die hydrogeologischen Parameter der Lieferservoire und der Fließwege, die Art der mobilisierten Lösungen sowie der Transportmechanismus. In den Zulaufszenarien müssen die möglichen Herkunftsorte der Wässer mit den potentiellen Fließwegen innerhalb und außerhalb des Salinars so verknüpft werden, daß die potentiellen Zuflußorte im Endlager erkennbar und bewertbar werden. Da es für das ERA Morsleben a priori klar ist, daß es sich um ungesättigte Lösungen und beim Transportmechanismus um das hydraulische Potential handelt, sind vornehmlich Herkunftsorte und Fließwege der Lösungen die variablen Szenarienelemente. Sie gehen aus der im Kapitel 3 beschriebenen ZEP-Gruppe 2 hervor und werden mit dem Ziel ihrer späteren Verknüpfung in Tabelle 4 zusammenfassend formuliert und gegliedert. Während die Beschreibungen im Kapitel 3 umfassend sind und auch Angaben enthalten, die bei der Ermittlung der Zuflußszenarien nicht im Vordergrund stehen, enthält Tab. 4 die aus den ZEP abgeleiteten wesentlichen Herkunftsorte und Migrationspfade potentieller Zuflüsse.

Die Gliederung in

- Herkunftsorte potentieller Zuflüsse (Gruppe I)
- potentielle Migrationspfade außerhalb des Salinars (Gruppe II)
- potentielle Migrationspfade innerhalb des Salinars (Gruppe III)

reflektiert den natürlichen Fließvorgang bis zu den Grubenbauen.

Die Herkunftsaquifere im Deckgebirge bilden hierbei ein komplexes Verknüpfungselement, das sich später bei der Bewertung wieder aufschlüsseln läßt (Kreide - Keuper). Sie werden während der Permafrostentwicklung (Zustand C) möglicherweise zeitweilig in ihrem Liefervermögen eingeschränkt, während des Glazials (Zustand D) kann ihr Liefervermögen durch subglaziale Schmelzwässer erhöht werden.

Isolierte, mit Salzlösung ausgefüllte Hohlräume an der Hutgesteinsbasis sind wegen ZEP 2-12 lediglich beim Zustand A denkbar. Das Hutgestein selbst, das seine migrierenden Lösungen aus dem Deckgebirge bezieht, tritt als zum Salinar hinführender Migrationspfad in schichtgebundener (ZEP 2-5, Zustand A) oder gesamtheitlich durchlässiger Ausbildung (ZEP 2-12, ab Zustand B) auf. Die Migration aus dem Subsalinar über künftige, tektonisch induzierte Wegsamkeiten wird gemäß ZEP 2-19 ab Zustand B unterstellt. Die Liefervorkommen im Schilfsandstein (Nebengebirge, ZEP 2-4) und innerhalb des Hauptanhydrits im Salinar (isolierte Salzlösungsvor-

kommen, ZEP 2-7) bedürfen ebenso wie die SLV am Salzspiegel keines Ausweises zum Salinar hinführender Migrationspfade.

Die potentiellen Migrationspfade innerhalb des Salinars ergeben sich aus den ZEP 2-9, 2-10, 2-15, 2-16, 2-17 und 2-21. Dabei müssen die Wegsamkeiten der Dilatanzbereiche im Salz, die beim Zustand A nie bis zum Salzspiegel reichen, und in Tiefbohrungen, die stets von Sicherheitspfeilern umgeben sind, immer in Kombination mit Wegsamkeiten im Hauptanhydrit betrachtet werden.

Tabelle 4:

Verknüpfungselemente für Zuflußszenarien im Endlager Morsleben

Nr.	Bezeichnung der Verknüpfungselemente	Zeit-relevanz*)	ZEP-Nr.**)
I	<u>Herkunftsorte potentieller Zuflüsse</u>		
1	Deckgebirgsaquifere oberhalb des Hutgesteins	A bis D	2 - 1; 2 - 3
2	Subglaziale Wässer (Deckgebirge)	D	2 - 2
3	Isolierte Salzlösungsvorkommen an der Hutgesteinsbasis	A	2 - 6
4	Nebengebirge (Schilfsandstein) an der SE-Flanke der Salzstruktur	A bis D	2 - 4
5	Isolierte Salzlösungsvorkommen im Hauptanhydrit des Salinars	A bis D	2 - 7
6	Subsalinare Schichtwässer	A bis D	2 - 8
II	<u>Migrationspfade außerhalb des Salinars (Hutgestein, Subsalinar)</u>		
7	Migration in der Schicht DGL des Hutgesteins	A bis D	2 - 5
8	Migration durch das gesamte Hutgestein	B bis D	2 - 12; 2 - 18
9	Migration durch geogene Wegsamkeiten im Subsalinar	B bis D	2 - 19
10	Migration durch eine wegsame Bohrung (bis Hutgesteinsbasis)	A bis D	2 - 21
III	<u>Migrationspfade im Salinar (Salz, Hauptanhydrit)</u>		
11	Geogene Wegsamkeiten im Hauptanhydrit (bis zum Grubenhohlraum)	A bis D	2 - 10
12	Konvergenzbedingte Wegsamkeiten im Hauptanhydrit	B bis D	2 - 17
13	Geogene Wegsamkeiten und Auflockerungszonen im Salz	A bis D	2 - 9; 2 - 16
14	Wegsamkeiten im Hauptanhydrit sowie anschließend in bergbaulichen Auflockerungszonen im Salz	A bis C	2 - 10; 2 - 15
15	Wegsame Bohrung mit hydraulischem Anschluß an wegsamen Hauptanhydrit	A bis C	2 - 10; 2 - 21

*) Erläuterung siehe Beginn Kap. 3.5

**) vgl. Tabelle 2

Im Hinblick auf die Ermittlung zuflußgefährdeter Grubenbaue ist wichtig, in welchem räumlichen Verhältnis sich die Grubenbaue zu den potentiellen Migrationspfaden innerhalb und außerhalb des Salinars befinden. Dazu werden im Kapitel 5.1 entsprechende quantifizierte Bewertungsmaßstäbe angegeben.

Einen qualitativen Überblick mit wesentlichen Konstellationen für potentielle Zuflüsse aus dem Deckgebirge vermittelt Tabelle 5. Es sei hier betont, daß in den Fällen (1.2), (2.2) und (3.2) die hydraulische Koppelung mit der Folge DGL gemäß ZEP 2-6 einen Teilweg im selektiv subrodierten Flözausbiß implizieren kann.

Denkbar wäre auch eine Konstellation, wonach eine geogene Durchlässigkeit im Salz (unabhängig von den in Tab. 5 genannten Kali-Hochbauen) mit einer geogenen Wegsamkeit in einer Hauptanhydritscholle verknüpft ist, die nahe der Hutgesteinsbasis aufhört und in der Tiefe zu einem Grubenbau führt (ggf. über eine bergbauliche Auflockerungszone). Dieser Fall wurde anhand der standortspezifischen Gegebenheiten geprüft (Lagerstättenmodell, Grubenrißwerke). Er kommt am Endlagerstandort Morsleben nicht vor. Die Konstellationen für Zuflüsse anderer Herkunft (z.B. Subsalinar) sowie über Bohrungen sind wegen der potentiell geringen Mengen von geringerer Bedeutung und werden in Tab. 5 nicht explizit dargestellt.

Tabelle 5:

Konstellationen für potentielle Zuflüsse aus dem Deckgebirge in das Endlager Morsleben

Art der Grubenbaue	Voraussetzung für Zuflüsse	Geohydraulische Disposition	Zeitrelevanz der Zuflüsse
(1) Auffahrungen im Hauptanhydrit	Die Hauptanhydritschollen reichen bis zum Hutgestein	(1.1) Die Hauptanhydritschollen grenzen an gegenwärtig impermeable Bereiche des Hutgesteins (intaktes Hutgestein und dichte Teile der Folge DGL).	B bis D
		(1.2) Die Hauptanhydritschollen sind mit der grundwasserführenden Folge DGL des Hutgesteins hydraulisch verbunden.	A bis D
		(1.3) Die HA-Schollen grenzen an ein isoliertes Lösungsreservoir (fossiler Salzkartst).	A
(2) Abbaue im Steinsalz	Eine dilatante Auflockerungszone erreicht das Hutgestein	(2.1) Die Auflockerungszone grenzt mittelbar (über die Hauptanhydritschollen, vgl. Fall 1.1) an derzeit impermeables Hutgestein.	B bis C
		(2.2) Die Auflockerungszone grenzt mittelbar (vgl. Fall 1.2) an die grundwasserführenden Teile des Hutgesteins entlang der Westflanke der Hauptmulde.	A bis C
		(2.3) Die Auflockerungszone grenzt mittelbar an ein isoliertes Lösungsreservoir.	A
		(2.4) Die Auflockerungszone grenzt bei fortgeschrittener Konvergenz an permeables Hutgestein	B
(3) Hochbaue im Kalisalz	Die Salzüberdeckung ist geogen durchlässig	(3.1) Der Flözausbiß grenzt an intaktes Hutgestein.	B bis D
		(3.2) Der (selektiv subrodierte) Flözausbiß ist mit der grundwasserführenden Folge DGL hydraulisch verbunden	A bis D
		(3.3) Der Flözausbiß grenzt an ein isoliertes Lösungsreservoir (fossile Subrosion).	A

4.2 Ermittlung der potentiellen Zuflußszenarien

Die Identifikation der am Standort Morsleben möglichen Zuflußszenarien erfolgt ausgehend von den potentiellen Herkunftsorten der Lösungen in zwei Schritten, die den Fließwegen folgen, bis zum Grubengebäude.

Der erste Schritt führt bis zum Salinar, also bis zur Hutgesteinsbasis, zur SW-Flanke oder zur Basis der Salzstruktur, der zweite von dort bis zum Grubenhohlraum.

Es bietet sich an, die möglichen Herkunftsorte der Wässer und ihre Migrationswege bis zum Endlager in Form von Matrizen aus den Elementen der Gruppen I, II und III zu verknüpfen. Hierzu wird die Numerierung der Verknüpfungselemente gemäß Tabelle 4 genutzt (so bedeutet z.B. die Indizierung 1/7/13 eine Verknüpfung der Nr. 1 = Deckgebirgswässer mit der Nr. 7 = Schicht DGL und Nr. 13 = Wegsamkeiten im Salz). Innerhalb dieser Matrizen wird die Zeitrelevanz entsprechend dem frühesten bzw. spätesten gemeinsamen Wirken der verknüpften Elemente abgeleitet. Ist eine Verknüpfung geologisch bzw. hydraulisch auszuschließen, erscheint in den Matrizen eine Null.

Aus den Gruppen I und II der Tab. 4 ergeben sich sieben sinnvolle Verknüpfungen (Matrix 1):

- 1/7 - Deckgebirgswässer (Kreide, Keuper) migrieren über die Schicht DGL des Hutgesteins bis zum Salzspiegelniveau (ab Ausgangszustand möglich).
- 1/8 - Deckgebirgswässer (Kreide, Keuper) können ab Zustand B durch das gesamte Hutgestein bis zum Salzspiegel migrieren.
- 1/10 - Deckgebirgswässer können über eine wegsame Bohrung bis zum Salz vordringen.
- (2/7); 2/8; 2/10 - Subglaziale Wässer, die die Deckgebirgswässer ersetzen oder ergänzen, können über die Schicht DGL bzw. über das gesamte Hutgestein bzw. über eine wegsame Bohrung beim Zustand D bis zum Salz migrieren (2/7 geht in 2/8 auf und wird deshalb im nächsten Schritt nicht berücksichtigt).
- 6/9 - Subsalinare Wässer dringen über neu geschaffene geogene Klüfte ab Zustand B bis zur Basis der Salzstruktur vor.

Die Verknüpfungen der Herkünfte 3, 4 und 5 (isolierte Salzlösungsvorkommen bzw. Nebengebirgswässer an der SE-Flanke der Salzstruktur) mit den Migrationspfaden außerhalb des Salinars sind nicht möglich, weil sich die Lösungen bereits am bzw. im Salinar befinden. Diese drei Herkunftsmöglichkeiten werden selbstverständlich im nächsten Schritt berücksichtigt.

Matrix 1

Verknüpfung von Elementen der Gruppen I und II (Nummern gemäß Tabelle 4; mit Angabe der Zeitrelevanz)

Nr.	1	2	3	4	5	6
7	A-D	(D)	0	0	0	0
8	B-D	D	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	B-D
10	A-D	D	0	0	0	0

Matrix 2

Verknüpfung von Elementen der Gruppen I, II und III zu Zuflußvarianten (Nummern gemäß Tab. 4; mit Angabe der Zeitrelevanz)

Nr.	1/7	1/8	1/10	2/8	2/10	3	4	5	6/9
11	A-D	B-D	(A-D)	D	D	A	0	0	(B-D)
12	0	0	0	0	D	0	0	B-D	0
13	A-D	B-D	(A-D)	D	(D)	(A)	A-D	0	(B-D)
14	A-C	B-C	(A-C)	D	D	A	(A-D)	0	0
15	0	0	A-C	0	0	(A)	0	0	0

Zustandsbezogene Differenzierung gemäß Kapitel 3.4:

- A: Ausgangszustand, gekennzeichnet insbesondere durch die ZEP 2-1 bis 2-10 und 2-15. Die Spannungsumlagerungen durch Konvergenz und durch tektonische Kräfte wirken auf eine Zustandsänderung hin. Die klimatischen Veränderungen sind für die geologische Barriere unerheblich.
- B: Die Bedingungen des Ausgangszustandes sind modifiziert, weil das Hutgestein durch Bildung neuer, hydraulisch vernetzter Klüfte als insgesamt wasserwegsam aufgefaßt wird und im Salinar zusätzliche, konvergenzbedingte Wegsamkeiten möglich sind. Die Konvergenz wirkt auf eine allmähliche Schließung aller Grubenhohlräume hin. Das Klima entwickelt sich zu einer Kaltzeit mit Permafrost.
Der Zustand B ist nach einigen tausend Jahren möglich.
- C: Unter ausgeprägten Permafrostbedingungen erreicht die Subrosion ein relatives Maximum. Das Klima entwickelt sich zu einer Inlandvereisung.
Der Zustand C ist nach ca. 25 000 Jahren möglich.
- D: Ein intensives Glazial ermöglicht Exaration; subglaziale Wässer können die Intensität der Subrosion beeinflussen und außerdem subglaziale Erosion bewirken. Der Zustand D ist nach ca. 100 000 Jahren möglich.

Anmerkung: Schattiert sind die Zuflußvarianten, die die potentiell größten Zuflußmengen erwarten lassen.

Fünf weitere formale Verknüpfungen entfallen, weil sie physikalisch nicht realisierbar sind:

- 1/9 - Deckgebirgswässer migrieren über subsalinare Wegsamkeiten.
- 2/9 - Subglaziale Wässer migrieren über subsalinare Wegsamkeiten.
- 6/7, 6/8 - Subsalinare Schichtwässer migrieren durch Hutgestein.
- 6/10 - Subsalinare Wässer migrieren durch eine Salzspiegelbohrung.

Im nächsten Schritt kann die Verbindung mit den Fließwegen innerhalb des Salinars (Gruppe III in Tab. 4) erfolgen, wozu aus den Gruppen I und II die oben genannten 6 Varianten sowie die Verknüpfungselemente 3, 4 und 5 zur Verfügung stehen. Diese Verknüpfung geschieht mittels der Matrix 2.

Es ergeben sich 26 sinnvolle Verknüpfungen, von denen mindestens 9 (in Klammern gesetzt) in Morsleben zwar denkbar sind, aber vermutlich nicht vorkommen. *Diese 26 Varianten von Lösungsherkünften und Fließwegen repräsentieren zugleich die wesentlichen standortspezifischen Zuflußszenarien für das Endlager Morsleben. Ihre Beschreibung und Bewertung ist Gegenstand des folgenden Kapitels.*

4.3 Beschreibung und Bewertung der Zuflußszenarien

4.3.1 Rangfolge der Herkunftsorte und Migrationspfade von Zuflüssen nach dem potentiellen Liefervermögen

Für die Sicherheitsbewertung des Endlagers ist neben der zeitlichen Einordnung potentieller Zuflüsse die Zuflußmenge von besonderer Bedeutung. Hierzu ist eine vergleichende Bewertung des Liefervermögens der Herkunftsreservoirs und Fließwege aus hydraulischer Sicht möglich. Der neutrale Begriff Liefervermögen umfaßt im gegebenen Fall bezüglich der Herkunftsreservoirs deren Durchlässigkeit, Mächtigkeit und Erneuerbarkeit der Wasservorräte, bezüglich der Fließwege ihre Durchlässigkeiten und durchströmbaren Querschnitte (d.h. ihre Transmissivität).

Bei den Herkunftsreservoirs rangiert das Liefervermögen des Deckgebirges sehr deutlich vor allen anderen Herkunftsorten, wobei wiederum Zuflüsse aus dem Aquifer der Oberen Kreide (ZEP 2-1) größer als aus dem Keuper (ZEP 2-3) sein können. Die subglazialen Wässer, die wegen ihrer spezifischen Zeitbezogenheit gesondert ausgewiesen wurden und während einer Vereisung das veränderte Liefervermögen aus dem Deckgebirge beeinflussen, werden als hypothetischer Fall aufgefaßt. Potentielle Zuflüsse aus dem Nebengebirge sind infolge der gegebenen Mächtigkeit, Durchlässigkeit und begrenzten Erneuerbarkeit der Schichtwässer im Schilfsandstein (vgl. ZEP 2-4) geringer zu bewerten als solche aus dem Deckgebirge. Für die Rangierung der übrigen Herkunftsreservoirs fällt ins Gewicht, daß Schichtwasserzuflüsse aus

dem Subsalinar potentiell größere Gesamtmengen liefern könnten als die vom Volumen her begrenzten Salzlösungsvorkommen an der Hutgesteinsbasis (vgl. ZEP 2-6) und innerhalb des Salinars (vgl. ZEP 2-7).

Bezüglich der Migrationspfade außerhalb des Salinars ist die Transmissivität des gesamten Hutgesteins (ein ab Zustand B möglicher Fall) potentiell größer als die der Schicht DGL des Hutgesteins allein genommen. Die Transmissivität der unterstellten Wegsamkeiten im Subsalinar bzw. in Bohrungen innerhalb des Hutgesteins ist schwierig gegeneinander abzuwägen; sie rangieren deshalb gemeinsam auf den Plätzen 3 und 4.

Bezüglich der Migrationspfade innerhalb des Salinars kommt den potentiellen Transmissivitäten des Hauptanhydrits die Hauptbedeutung zu, wobei auch der Fließweg über Hauptanhydrit mit angeschlossener bergbaulicher Auflockerungszone im Salz zu betrachten ist. Etwas nachgeordnet scheinen die geogenen Wegsamkeiten im Salz zu sein (worauf die geringen Schüttungen des SLV Lager H hindeuten). Wegsamkeiten über schlecht verfüllte Tiefbohrungen mit hydraulischem Ausschluß an den Hauptanhydrit rangieren in dieser Wertung an letzter Stelle.

Bei den Transmissivitäten von Fließwegen im Salinar muß man berücksichtigen, daß Zuflüsse aus dem Deck- und Nebengebirge nach relativ kurzer Zeit erhebliche Lösungsvorgänge beim Eintritt in das Salinar verursachen. Der anfänglich hohe hydraulische Widerstand der Fließwege im Salz geht dabei verloren, so daß die zutretenden Mengen letztendlich durch die Parameter der Fließwege im Hutgestein sowie im sedimentären Deck- und Nebengebirge limitiert werden.

In Tabelle 6 ist die Rangfolge der Herkunftsreservoire und Fließwege nach ihrem Liefervermögen übersichtlich zusammengestellt. Diese Rangfolge spiegelt eine relative, aufeinander bezogene Wertung der Elemente innerhalb jeder Gruppe wider.

Tabelle 6:

Rangfolge der Herkunftsorte und Migrationspfade in den Zuflußszenarien nach dem potentiellen Liefervermögen

Nr.	Bezeichnung der Verknüpfungselemente	Rang
I	<u>Herkunftsorte potentieller Zuflüsse</u>	
1	Deckgebirgsaquifere oberhalb des Hutgesteins	1
2	Subglaziale Wässer (Deckgebirge)	2
3	Isolierte Salzlösungsvorkommen an der Hutgesteinsbasis	5
4	Nebengebirge (Schilfsandstein) an der SE-Flanke der Salzstruktur	3
5	Isolierte Salzlösungsvorkommen im Hauptanhydrit des Salinars	6
6	Subsalinare Schichtwässer	4
II	<u>Migrationspfade außerhalb des Salinars (Hutgestein, Subsalinar)</u>	
7	Migration in der Schicht DGL des Hutgesteins	2
8	Migration durch das gesamte Hutgestein	1
9	Migration durch geogene Wegsamkeiten im Subsalinar	3/4
10	Migration durch eine wegsame Bohrung (bis Hutgesteinsbasis)	3/4
III	<u>Migrationspfade im Salinar (Salz, Hauptanhydrit)</u>	
11	Geogene Wegsamkeiten im Hauptanhydrit (bis zum Grubenhohlraum)	1
12	Konvergenzbedingte Wegsamkeiten im Hauptanhydrit	4/5
13	Geogene Wegsamkeiten und Auflockerungszonen im Salz	3
14	Wegsamkeiten im Hauptanhydrit sowie anschließend in bergbaulichen Auflockerungszonen im Salz	2
15	Wegsame Bohrung mit hydraulischem Anschluß an wegsamen Hauptanhydrit	4/5

Die standortspezifischen Liefervarianten bis zum Salinar sind aus der Kopfzeile in Matrix 2 ersichtlich, in der alle in Gruppe I (Tab. 4 und 6) genannten Herkunftsorte vertreten sind.

Die größten Zuflußmengen treten auf, wenn ein gut grundwassererneuerungsfähiges, quasi unbegrenztes Reservoir gekoppelt ist mit Fließwegen hoher Transmissivität (also großen Querschnitten und Durchlässigkeiten). In dieser Hinsicht rangieren die Zuflüsse aus dem Deckgebirge durch das Hutgestein (Varianten 1/7; 1/8; 2/8) eindeutig vor den übrigen sechs. Allerdings verliert die Variante mit Zustrom subglazialer Schmelzwässer (2/8) wegen ihres späten zeitlichen Eintritts sehr viel an tatsächlicher Bedeutung, so daß die als potentiell nicht unbeträchtlich, weil ebenfalls unbegrenzt zu bewertenden Zuflüsse aus dem Schilfsandstein (Nebengebirge; Nr. 4) noch davor einzuordnen wären. Zuflüsse über Bohrungen (1/10; 2/10) sind wegen der begrenzten Querschnitte ebenso wie die Mobilisierung isolierter Salzlösungsvorkommen (3; 5)

oder subsalinerer Schichtwässer (6/9) wegen der begrenzten Lieferkapazitäten von nachgeordneter Bedeutung.

In Matrix 2 wurden die Verknüpfungen, welche die höchsten Zuflußmengen während der zeitlichen Zustände A und B erwarten lassen, durch Schattierung der entsprechenden Felder hervorgehoben.

Nachfolgend wird eine Gruppierung und qualitative Rangierung aller identifizierten Zulaufszenerarien nach Zeit- und Mengenaspekten vorgenommen (Kap. 4.3.2 und 4.3.3) und eine bewertende Kurzbeschreibung gegeben. Die Indizierung der potentiellen Zuflußszenerarien entspricht der Numerierung in Tabelle 4 bzw. 6 und Matrix 2.

4.3.2 Potentielle Zuflußszenerarien beim Zustand A (Ausgangszustand) des Endlagers Morsleben

Aus den Verknüpfungen der Herkunftsorte und Fließwege ergeben sich folgende 13 potentielle Zuflußszenerarien beim Zustand A:

<u>Index</u>	<u>Kurzbeschreibung</u>
1/7/11	Deckgebirgswässer aus Sanden der Kreide oder Kluftaquiferen des Keupers fließen über die Schicht DGL des Hutgesteins und den Hauptanhydrit des Salinars zu einem im Hauptanhydrit angelegten Grubenhohlraum (z.B. an der Westflanke der Hauptmulde).
1/7/14	Deckgebirgswässer aus Sanden der Kreide oder Kluftaquiferen des Keupers fließen über die Schicht DGL des Hutgesteins, den Hauptanhydrit des Salinars und eine anschließende bergbauliche Auflockerungszone des Salzes zu einem im Salz angelegten Grubenhohlraum (z.B. SLV Abbau 1A und Abbaustrecke 5).
1/7/13	Deckgebirgswässer aus Sanden der Kreide oder Kluftaquiferen des Keupers fließen über die Schicht DGL des Hutgesteins und geogene Wegsamkeiten des Salzes zu einem im Salz angelegten Grubenhohlraum (Beispiel: Tropfstelle Lager H).
4/13, 4/14	Schichtwässer aus dem Schilfsandstein der Lappwaldscholle fließen über geogene oder bergbaulich induzierte Wegsamkeiten an der SW-Flanke der Salzstruktur einem dort angelegten Grubenhohlraum zu (Westquerschlag Grube Marie).
3/11, 3/14	Salzlösungsvorkommen einer früheren Subrosionsphase, die keine Beziehung zu Deckgebirgswässern und begrenzte Volumen (vgl. ZEP 2-6) am Salzspiegel haben, finden über den Hauptanhydrit direkt oder mittelbar über eine bergbauliche Auflockerung Zugang zu einem Grubenbau. (Dieses Szenarium ist wenig wahrscheinlich.)

<u>Index</u>	<u>Kurzbeschreibung</u>
1/10/15	Deckgebirgswässer gelangen über eine wegsame Tiefbohrung in den Hauptanhydrit des Salinars und migrieren dort (ggf. über eine bergbauliche Auflockerungszone) mit geringer Zuflußmenge zu einem Grubenhohlraum (Bohrung Hmt 4/-).
3/13, 3/15	Ein isoliertes Salzlösungsvorkommen (Salzspiegel) findet über geogene Wegsamkeiten im Salz bzw. über eine wegsame Bohrung Zugang zu einem Grubenbau. Die Bedingungen dieser Szenarienvarianten sind für das Endlager Morsleben vermutlich nicht realisiert.
1/10/11, 1/10/13, 1/10/14	Deckgebirgswässer finden über eine wegsame Salzspiegelbohrung Anschluß an die Migrationspfade im Salinar bis zu einem Grubenhohlraum. Diese wenig wahrscheinlichen Zuflußvarianten würden sehr geringe Zuflußmengen liefern.

Die im Abschnitt 4.3.1 gegebene Kennzeichnung des Liefervermögens der Herkunftsreservoirs und Fließwege führt bei komplexer qualitativer Wertung zu folgender aufeinander bezogener Rangordnung der obigen Zuflußszenarien, wobei die jeweils gemeinsam genannten Szenarien untereinander gleichwertig sind:

1. Rang – Zuflußszenarien 1/7/11, 1/7/14 und 1/7/13.
2. Rang – Zuflußszenarien 4/13 und 4/14.
3. Rang – Zuflußszenarien 3/11 und 3/14.
4. Rang – Zuflußszenarium 1/10/15.
5. Rang – Zuflußszenarien 3/13, 3/15, 1/10/11, 1/10/13 und 1/10/14.

4.3.3 Potentielle Zuflußszenarien beim Zustand B des Endlagers Morsleben

Die Zuflußszenarien von Deckgebirgswässern über die Schicht DGL (1/7) gehen bei angenommener genereller Durchlässigkeit des gesamten Hutgesteins in die mit 1/8 indizierten Varianten über und isolierte Vorkommen am Salzspiegel sind nicht mehr denkbar. Die anderen beim Zustand A beschriebenen Zuflußvarianten sind weiterhin möglich. Außerdem ist eine Aktivierung von Salzlösungsvorkommen im Hauptanhydrit und subsalinarer Schichtwässer denkbar. Die Annahme potentieller Zuflüsse beim Zustand B geht von der Unterstellung aus, daß die Grubenhohlräume zuvor nicht vollständig geflutet oder durch Konvergenz verschlossen worden sind.

Aus den Verknüpfungen der Herkunftsorte und Fließwege gemäß Matrix 2 ergeben sich 12 potentielle Zuflußszenarien beim Zustand B:

<u>Index</u>	<u>Kurzbeschreibung</u>
1/8/11, 1/8/13, 1/8/14	Deckgebirgszuflüsse aus den Sanden der Kreide oder Kluftaquiferen des Keupers analog zum Rang 1 beim Ausgangszustand der geologischen Barriere. Die Zuflußmengen können bei Durchlässigkeit des gesamten Hutgesteins größer sein als beim Ausgangszustand.
4/13, 4/14	Zuflüsse aus dem Schilfsandstein an der SW-Flanke der Salzstruktur analog Rang 2 beim Ausgangszustand.
1/10/15	Deckgebirgszuflüsse relativ geringer Menge über eine wasserwegsame Tiefbohrung analog Rang 4 beim Ausgangszustand.
5/12	Mobilisierung isolierter Salzlösungsvorkommen im salinaren Hauptanhydrit durch konvergenzbedingte (neue) Wegsamkeiten innerhalb des Hauptanhydrits. Der Zufluß dieser hochkonzentrierten Lösungen endet relativ schnell (begrenzt Reservoir).
6/9/11, 6/9/13	Zuflüsse subsalinärer Schichtwässer begrenzter Menge über den Hauptanhydrit (falls dieser dem Subsalar quasi aufliegt) oder über geogene Wegsamkeiten des Staßfurt-Steinsalzes. Die Bedingungen dieser Szenarienvarianten sind für das Endlager Morsleben vermutlich nicht realisiert.
1/10/11, 1/10/13, 1/10/14	Deckgebirgszuflüsse über eine Salzspiegelbohrung mit Anschluß an Migrationspfade innerhalb des Salinars. Bewertung wie beim Ausgangszustand A (wenig wahrscheinliche Zuflußvarianten mit sehr geringen Zuflußmengen).

Die im Abschnitt 4.3.1 gegebene Kennzeichnung des Liefervermögens der Herkunftsreservoirs und Fließwege führt bei komplexer qualitativer Wertung zu nachfolgender Rangordnung der aufeinander bezogenen Zuflußszenarien (jeweils gemeinsam genannte Szenarien sind untereinander gleichrangig):

1. Rang – Zuflußszenarien 1/8/11, 1/8/13 und 1/8/14.
2. Rang – Zuflußszenarien 4/13 und 4/14.
3. Rang – Zuflußszenarium 1/10/15.
4. Rang – Zuflußszenarium 5/12.
5. Rang – Zuflußszenarien 6/9/11 und 6/9/13.
6. Rang – Zuflußszenarien 1/10/11, 1/10/13 und 1/10/14.

Das Verknüpfungselement „wegsame Hutgesteinsbohrung“ (10) wird streng genommen durch die beim Zustand B unterstellte Durchlässigkeit des gesamten Hutgesteins (8) unnötig, d. h. inhaltlich wandelt sich die Variante 1/10/15 zu 1/8/15 und die Varianten 1/10/11 bis 14 gehen in 1/8/11 bis 14 auf.

4.3.4 Potentielle Zuflußszenarien beim Zustand C und D des Endlagers Morsleben

Die potentiellen Zuflußszenarien sind in Matrix 2 (Kap. 4.2) formal identifiziert. Es ist auszusprechen, daß das Endlager bis zu diesem Zustand noch nicht vollständig durch Konvergenz geschlossen ist, d.h. Zuflußszenarien werden ab Zustand C keine Rolle mehr bei Langzeitsicherheitsbetrachtungen spielen.

4.3.5 Zusammenstellung der vorrangigen Zuflußszenarien

Aus der vorgenommenen Analyse wird deutlich, daß die sicherheitstechnische Berücksichtigung der potentiellen Defekte der geologischen Barriere eine Konzentration auf die durch das Hutgestein migrierenden Deckgebirgszuflüsse erfordert (differenziert nach Zustand A und B), weil diese Zuflüsse im Vergleich zu anderen Szenarien die meisten Grubenbaue betreffen und die größten Zuflußmengen liefern können. Danach rangiert aus hydrogeologischer Sicht die potentielle Gefährdung durch Zuflüsse aus dem Schilfsandstein (wovon allerdings nur der Westerschlag der Grube Marie betroffen ist).

Deutlich nachgeordnet sind die weiteren potentiellen Zuflußszenarien.

Diese Rangfolge ergibt sich sowohl beim Zustand A (Kapitel 4.3.2) als auch beim Zustand B (Kap. 4.3.3). Läßt man aus den vollständigen Sätzen der beim Zustand A bzw. B möglichen Zuflußszenarien den jeweils letzten Rang – da ohnehin wenig wahrscheinlich und mit geringem potentiellen Liefervermögen ausgestattet – außer Betracht, so erhält man insgesamt 12 zu betrachtende Zuflußszenarien.

Abb. 5 bietet eine schematisierte Darstellung dieser 12 Haupttypen potentieller Zuflüsse.

Die an erster Stelle stehenden Szenarien mit Deckgebirgszuflüssen durch das Hutgestein können im Zustand A und B jeweils in drei Varianten ablaufen, die sich aufgrund der Fließwege im Salinar unterscheiden. Dabei kann während des Zustandes A die grundwasserführende Schicht DGL im Hutgestein wegen ihrer begrenzten Transmissivität einen merklichen Einfluß auf die Langzeitentwicklung der Zuflußmengen ausüben. Infolge der hydraulischen Ankoppelung der Schicht DGL an den unterstellbaren geogenen Auflockerungsbereich entlang des Kaliflözausbisses an der Westflanke der Hauptmulde ist während des Zustandes A eine potentielle Zuflußgefährdung auch dort gegeben, wo die Schicht DGL stellenweise unterbrochen bzw. nicht vorhanden ist. Der potentiell aufgelockerte Kaliflözausbiß bewirkt also eine laterale Ausweitung des Einflusses der Schicht DGL am Salzspiegel für die Szenarienvarianten Typ 1/7/13 (aktuelles Beispiel: SLV Lager H), 1/7/11 und 1/7/14. Während des Zustandes B ist die Durchlässigkeit des gesamten Hutgesteins für Deckgebirgswässer unterstellt, so daß die Schicht DGL und

auch der Kaliflözausbiß keine besondere hydraulische Rolle mehr spielen (Zuflußszenarien Typ 1/8/13, 1/8/11 und 1/8/14). Die Zuflußmengen können deshalb beim Zustand B theoretisch größer sein als beim Zustand A.

Der Zuflußtyp 1/8/13 berücksichtigt neben den ZEP 2-9 und ZEP 2-12 (vorhandene geogene Wegsamkeiten im Salz bzw. tektonisch induzierte neue Wegsamkeiten im Hutgestein) auch die ZEP 2-16 und ZEP 2-18 (bergbaulich induzierte neue Wegsamkeiten im Salz und im Hutgestein bei unverfüllter Grube).

Die den Deckgebirgszuflüssen durch das Hutgestein von den zu erwartenden Mengen her nachgeordneten Zuflüsse aus dem Nebengebirge / Schilfsandstein (Typ 4/13) sind während des Zustandes A und B möglich. Das gleiche betrifft die Deckgebirgszuflüsse durch eine in das Salz hineinreichende Tiefbohrung (Typ 1/10/15).

Nicht näher lokalisierbar sind Zuflüsse aus dem Subsalinar (Typ 6/9/11), weil die zugehörigen subsalinaren Fließwege unbekannt sind, und Zuflüsse infolge der Mobilisierung isolierter Salzlösungsvorkommen (Typ 3/11; 3/14 und 5/12), weil die Lage letzterer unbekannt ist. Zuflüsse aus dem Subsalinar oder aus mobilisierten SLV sind jedoch für Morsleben weitaus weniger wahrscheinlich als Deckgebirgszuflüsse, und sie würden relativ geringe Lösungsmengen bringen. Deshalb sind sie für die ingenieurmäßige Planung von Verfüllmaßnahmen ohne Belang. Sie spielen auch für die Ausbreitung kontaminierter Lösungen in der Geosphäre keine Rolle. Bedeutung könnte die Mobilisierung von isolierten Salzlösungen eventuell erlangen, wenn sie vor den Deckgebirgszuflüssen erfolgt und dadurch wichtig für die Korrosion und die Gasproduktion im Endlager wird.

Somit haben folgende Zuflußszenarien vorrangige Bedeutung für die Sicherheitsbewertung des Endlagers Morsleben:

1. Deckgebirgszuflüsse durch die Schicht DGL des Hutgesteins beim Zustand A (Ausgangszustand; drei Zuflußvarianten).
2. Deckgebirgszuflüsse durch das gesamte Hutgestein beim Zustand B (drei Varianten; nach einigen tausend Jahren möglich).
3. Zuflüsse aus dem Nebengebirge (beim Zustand A und B möglich).
4. Deckgebirgszuflüsse durch eine Tiefbohrung (beim Zustand A und B möglich).

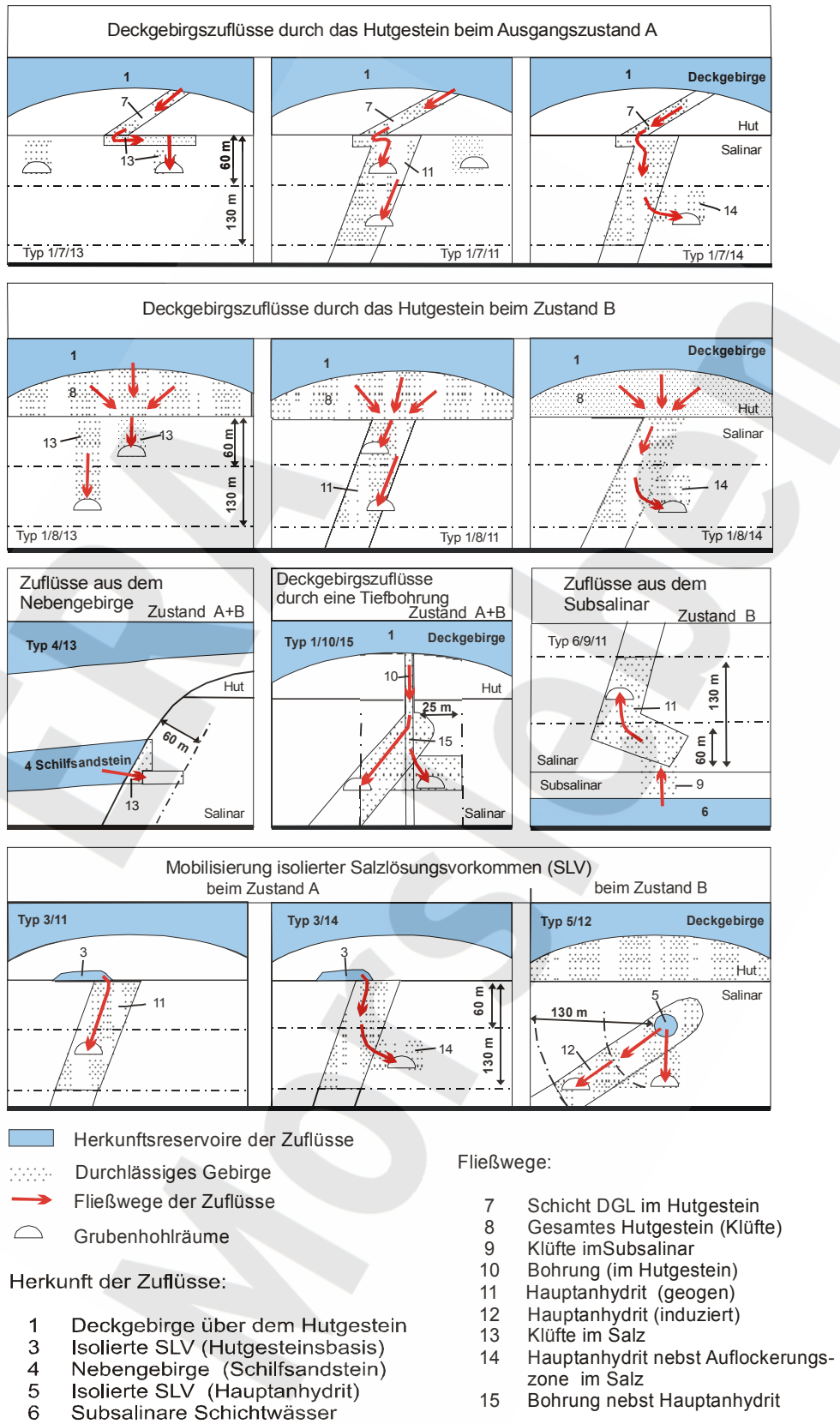


Abb. 5: Haupttypen potentieller Zuflüsse in das Endlager Morsleben

5. Modellhafte Schematisierung der von Zuflußszenarien potentiell betroffenen Lokationen des Endlagers Morsleben

5.1 Grundsätze der modellhaften Schematisierung

Um die potentielle Zuflußgefährdung der Grubenhohlräume einheitlich bewerten zu können, sind quantifizierende Richtwerte innerhalb der salinaren Barriere unerlässlich (vgl. ZEP 2-24). Die derzeitigen Kenntnisse über die heterogene Verteilung geschlossener und offener Klüfte im Salinar und auch die faktische grubenhydrogeologische Situation sprechen dafür, daß weder die geogenen Permeabilitäten im Salz und im Hauptanhydrit noch die Durchlässigkeiten in den bergmännischen Auflockerungsbereichen des Steinsalzes durchgängig angelegt sind.

Da sich die geogenen Durchlässigkeitsverhältnisse der deterministischen Analyse (Lokalisierung) entziehen, muß man sich standortbezogen an der bergbaulichen Erfahrung und Praxis orientieren.

Am Standort Morsleben ist eine *geogene Durchlässigkeit des Salzes* (die sich in den Zuflüssen der Tropfstelle Lager H der Grube Marie manifestiert) möglich. Die „Schutzmächtigkeit“ der Salzbarriere gegen „Standwässer“ des Deckgebirges wird in der bergbaulichen Praxis üblicherweise mit 60 bis 80 m festgelegt. Beim Salzlösungszutritt im Lager H wurde sie erheblich unterschritten und beträgt noch ca. 40 m. Andere Hochbaue im Grubenfeld Marie mit ähnlichen Restmächtigkeiten der Salzschwebe gegen die Hutgesteinsbasis blieben zuflußfrei. Die bergamtlich verfügbaren Sicherheitspfeiler um Tiefbohrungen im Salz betragen für die Gruben Bartensleben und Marie ca. 15 bis 30 m, meistens 25 m. Es scheint den Verhältnissen im Endlager angemessen (vgl. ZEP 2-9), alle Grubenhohlräume im Stein- und Kalisalz, die weniger als 60 m vom Salzspiegel entfernt sind, als grundsätzlich zuflußgefährdet infolge nicht ausschließbarer geogener Durchlässigkeit des Salzes aufzufassen. Dieses Abstandsmaß muß in der Konsequenz auch für die Nähe von Grubenbauen zur SW-Flanke und zur Basis der Salzstruktur gelten. Alle Grubenbaue, die mehr als 60 m vom Salzrand entfernt sind, werden dementsprechend bei der geologischen Prognose als nicht zuflußgefährdet infolge geogener Durchlässigkeit des Salzes aufgefaßt.

Hinsichtlich der *geogenen Wegsamkeit des Hauptanhydrits* folgt aus der Beobachtung vereinzelt aufgetretener Fluidzutritte, daß die Reichweite vernetzter Kluftsysteme mehrere zehn Meter betragen kann. Gleichzeitig zwingt die derzeitige Kenntnislage zu der Annahme, daß *innerhalb* der einzelnen Anhydritschollen großräumig vernetzte Wegsamkeiten vorhanden sein können (WEBER, 1999; vgl. ZEP 2-10). Die Tiefenreichweite der an der Hutgesteinsbasis anstehenden einzelnen Anhydritschollen ist im geologischen Lagerstättenmodell mit durchschnittlich 90 bis 110 m dargestellt (BEHLAU et al. 1997), wobei nach Ansicht der Bearbeiter die Zerstückelung

tatsächlich noch größer ist. Nimmt man die Angaben über die Absetzigkeit der hydraulisch vernetzten Kluftsysteme und die Ausdehnung der einzelnen Anhydritschollen zusammen, so scheinen Deckgebirgszuflüsse über den Hauptanhydrit ca. 120 m unterhalb des Hutgesteins auch potentiell kaum noch möglich zu sein. Das Sohlen-Niveau 10Y (2a-Sohle in Bartensleben, 390 / 403 m-Sohle in Marie), das ungefähr in diesem Tiefenbereich verläuft, wird pragmatisch noch als zuflußgefährdet eingestuft und das Abstandskriterium für die durchgängige Wegsamkeit im Hauptanhydrit mit 130 m unter dem mittleren Salzspiegelniveau (-140 m NN) festgelegt. Es wird also aus geologischer Sicht erwartet, daß alle potentiellen Deckgebirgszuflüsse über den Hauptanhydrit in Auffahrungen der Niveaus 01 bis 10Y eintreten, soweit sie ihn durchörtern oder mit ihm durch permeable Auflockerungszonen des Stein- bzw. Kalisalzes hydraulisch verbunden sind.

Die *bergbaulich induzierten Auflockerungsbereiche im Salz* (ZEP 2-15 und ZEP 2-16) gehen aus den Permeabilitätsuntersuchungen und aus den geomechanischen Berechnungen der BGR (WEBER & WALLNER 1998; VIOLA et al. 1997) sowie darauf basierenden Analogieschlüssen hervor.

Die Untersuchungs- bzw. Berechnungsergebnisse besagen:

- (1) Die Auflockerung um Einzelhohlräume (Strecken, Abbaukammern) erreicht maximal 10 m Eindringungstiefe in das Salzgebirge.
- (2) Die dilatanten Auflockerungen in stark durchbauten Grubenteilen (d.h. bei mehreren Abbaureihen auf mehreren Sohlen) reichen nicht bis zum Salzspiegel, aber oft bis zu den potentiell wasserwegsamem Hauptanhydritschollen.
- (3) Im stark durchbauten Zentralteil Bartensleben reichen die parallel der Westflanke der Hauptmulde gelegenen Kaliabbaue Lager C und Steinsalzabbaue der ersten und zweiten Reihe auf der 1. und 2. Sohle mit ihren Auflockerungszonen immer bis an die Hauptanhydritschollen, wenn die Entfernung der Abbaue zum Hauptanhydrit ≤ 25 m beträgt.
- (4) Im stark durchbauten Zentralteil Bartensleben reichen die Steinsalzabbaue der dritten Reihe auf der ersten Sohle und der 2a-Sohle mit ihren Auflockerungszonen unmittelbar bis zu einer nahe dem Salzspiegel gelegenen Hauptanhydritscholle, wobei eine Entfernung von ca. 60 m in der Hauptmulde überbrückt wird (Pfad 2a in VIOLA et al. 1997).
- (5) In stark durchbauten Grubenbereichen ist bei unverfülltem Grubengebäude eine Ausweitung der Auflockerungszonen bis zum Salzspiegel im Stadium fortgeschrittener Konvergenz nicht auszuschließen.

Diese Ergebnisse begründen eine auf die Identifikation potentiell zuflußgefährdeter Grubenhohlräume ausgerichtete Schematisierung, wonach a) alle bis zu 25 m von den Hauptanhydritschollen entfernten Grubenbaue [Ergebnisse (1) bis (3)] und b) die Steinsalzabbaue auf der 1.

und 2a-Sohle in der Hauptmulde Bartensleben sowie die Langabbau der Grube Marie [Ergebnis (4) und (5)] betroffen sind.

In Abb. 5 wurden die bei der Szenarienanalyse ermittelten Haupttypen potentieller Zuflüsse in das Endlager Morsleben zusammen mit den oben diskutierten maximalen Abstandskriterien für die geogenen Wegsamkeiten im Salz und im Hauptanhydrit dargestellt. Diese Schemata dienen der Identifizierung zuflußgefährdeter Hohlräume (Lokationen) des unverfüllten Endlagers Morsleben.

Wichtige Grundlagen dafür sind das geologische Lagerstättenmodell, das die potentiellen Fließwege im Hauptanhydrit vorgibt, das hydrogeologische Modell, das die Fließwege im Hutgestein sowie Deck- und Nebengebirge liefert und die geomechanisch begründete Ausgliederung der bergbaulichen Auflockerungsbereiche. Mit ihrer Hilfe können Lokationen benannt werden, in denen Deckgebirgszuflüsse durch das Hutgestein (unterschieden nach Zustand A und B) bzw. durch Tiefbohrungen oder Zuflüsse aus dem Nebengebirge möglich sind.

Die beim Zustand A durch Deckgebirgszuflüsse potentiell betroffenen Grubenbaue sind es auch beim Zustand B. Hinzu kommen beim Zustand B einige hochgelegene Abbaue im Salz und auch Abbaue, deren Zuflußwege über den Hauptanhydrit führen, sofern sie nicht an die Schicht DGL im Hutgestein angebunden sind.

Einige Standortgegebenheiten, die der Ermittlung potentiell zuflußgefährdeter Grubenbaue dienen, sind in Abb. 6 als Gesamtüberblick (Blatt 1) und als Teilübersicht (Blatt 2 bis 4) dargestellt. Dazu gehören insbesondere die differenzierte Tiefenlage der Grubenbaue unter dem Salzspiegelniveau (nach DBE 1998) und die Ausbisse der Hauptanhydritstränge an der Hutgesteinsbasis (nach BEHLAU et al. 1997).

Die potentielle Zuflußgefährdung der Grubenhohlräume, die von den genannten vorrangigen Szenarien ausgeht, wird den obigen Ausführungen entsprechend durch folgende Merkmale ausgewiesen:

- (1) Grubenhohlräume im Salz, die ≤ 60 m entfernt sind
 - (1.1) - von der Schicht DGL an der Hutgesteinsbasis bzw. von dem hydraulisch angeschlossenen (selektiv subrodierten) Kaliflözausbiß an der Westflanke der Hauptmulde; Typ 1/7/13.
 - (1.2) - vom derzeit intakten Hutgestein; Typ 1/8/13.
 - (1.3) - von der SW-Flanke der Salzstruktur; Typ 4/13.
- (2) Grubenhohlräume in Hauptanhydritschollen, die einzeln oder als Folge von Schollen bis zur Hutgesteinsbasis reichen, wenn die Hohlräume
 - bis 130 m von der Hutgesteinsbasis entfernt sind; Typ 1/7/11 und 1/8/11.

Anmerkung: Entsprechend dem geologischen Lagerstättenmodell reichen die Schollen an der Westflanke der Hauptmulde in den Gruben Bartensleben und Marie sowie an der Ostflanke der Ostmulde im Südosten der Grube Marie (siehe Profilsur 11 in Abb. 6) bis zur Hutgesteinsbasis.

- (3) Grubenhohlräume im Salz, die > 60 m bis 130 m unter der Hutgesteinsbasis liegen
- (3.1) - alle Hohlräume, die bis zu 25 m von den unter (2) genannten Hauptanhydritschollen entfernt sind.
- (3.2) - alle Abbaue der dritten Reihe in der Hauptmulde auf der 1. und 2a-Sohle Bartensleben.

Die Merkmale (3.1) und (3.2) führen zum Typ 1/7/14 und 1/8/14.

- (3.3) - alle Steinsalzabbaue auf der 1. und der 2a-Sohle der Hauptmulde im Zentralteil Bartensleben sowie die Langabbaue in der Grube Marie; Typ 1/8/13.

Anmerkung: Die genannten Abbaue sind zugleich von den Zuflußtypen 1/7/14 und 1/8/14 betroffen.

- (4) Grubenhohlräume in der Nähe von Tiefbohrungen bei
- (4.1) - gegenseitiger Entfernung bis zu 25 m im Steinsalz.
- (4.2) - Auffahrung bzw. Verteufung in ein und derselben Hauptanhydritscholle.

Diese Merkmale können zum Typ 1/10/15 führen.

Die bei der Definition der obigen Merkmale verwendeten Abstandskriterien (25 m, 60 m, 130 m) berücksichtigen in ausreichendem Maße die geologischen Unsicherheiten am Standort Morsleben.

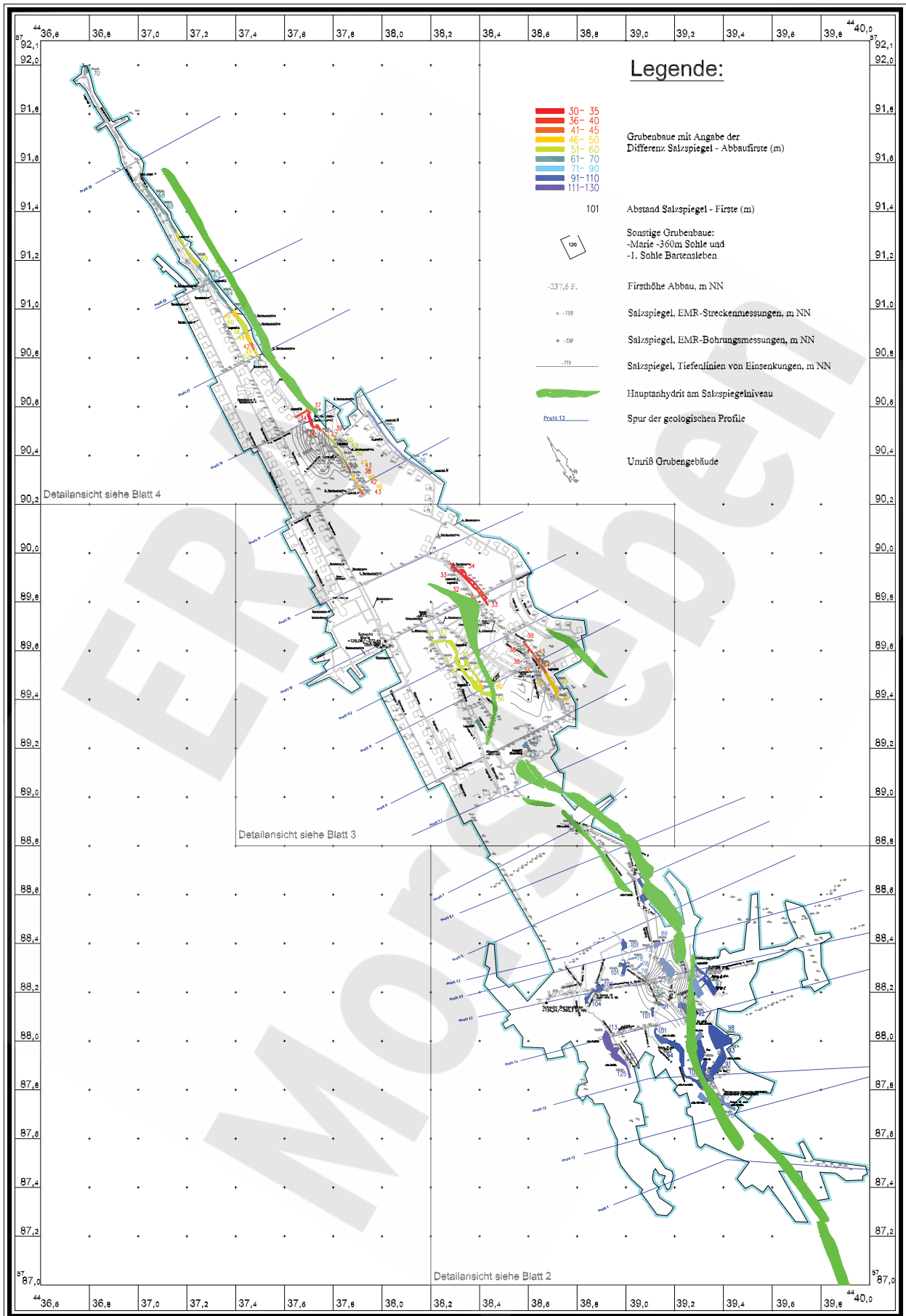


Abb. 6.1: Salzspiegelniveau mit Ausbiß des Hauptanhydrits und Tiefenlage der Grubenbaue
Blatt1: Gesamtübersicht der Gruben Bartensleben und Marie

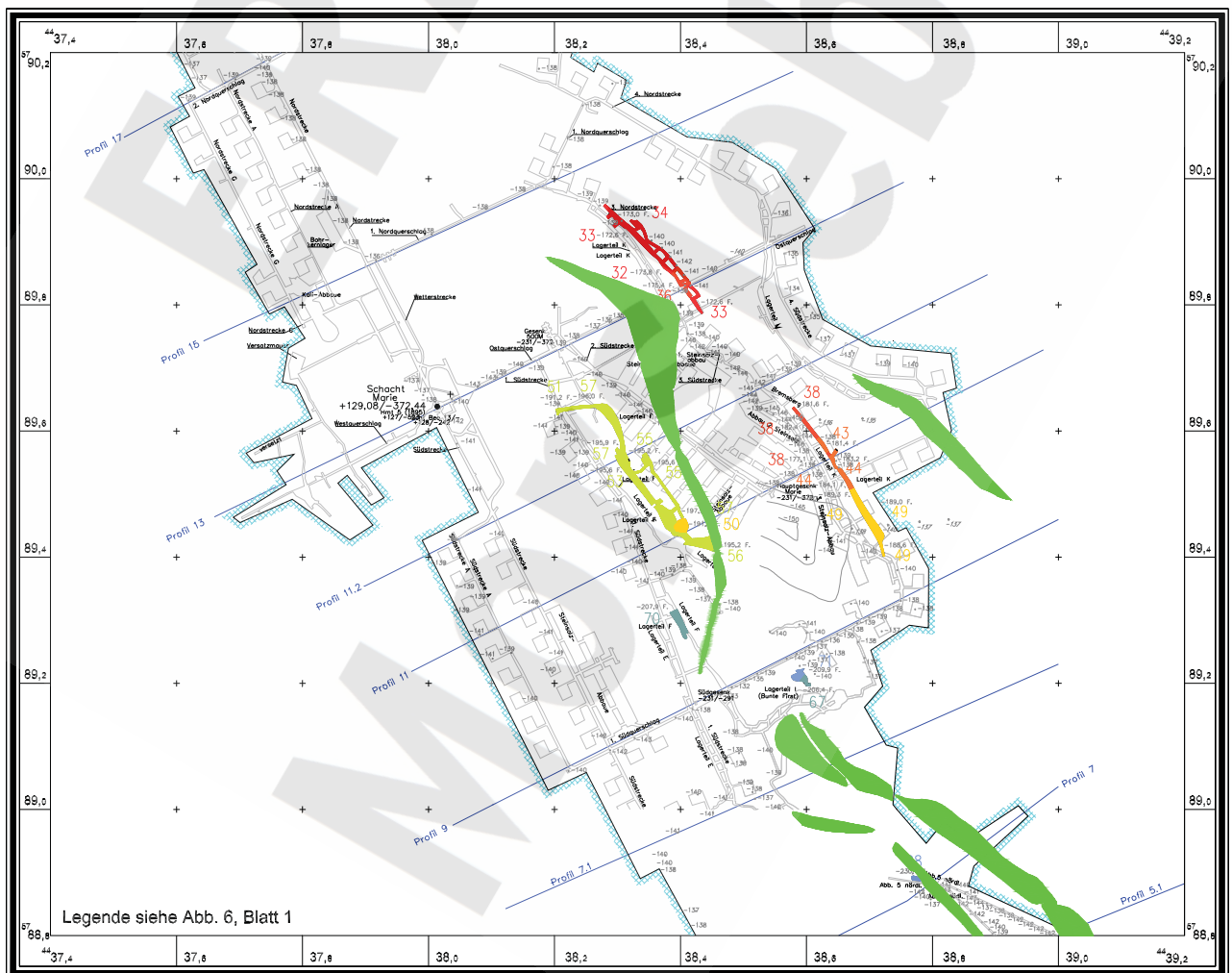


Abb. 6.3: : Salzspiegelniveau mit Ausbiß des Hauptanhydrits und Tiefenlage der Grubenbaue
Blatt3: Teilbereich Marie, Südfeld

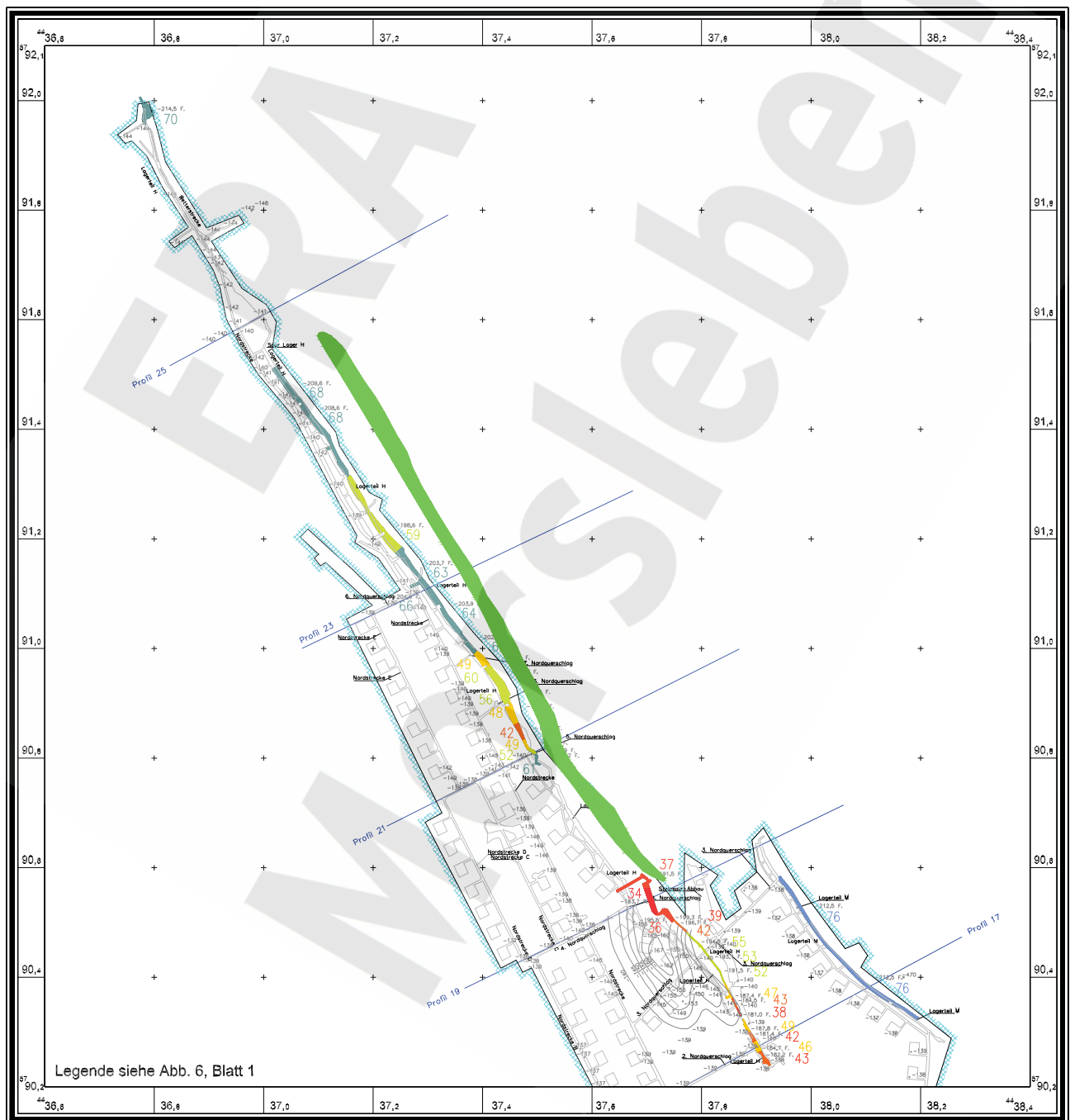


Abb. 6.4.: Salzspiegelniveau mit Ausbiß des Hauptanhydrits und Tiefenlage der Grubenbaue
Blatt4: Teilbereich Marie, Nordfeld

5.2 Identifikation der potentiell zuflußgefährdeten Grubenbaue

Die Identifikation der potentiell zuflußgefährdeten Grubenbaue erfolgt anhand der Merkmale (1) bis (5) des Kapitels 5.1 unter Verwendung der Risse und Profile des geologischen Lagerstättenmodells (BEHLAU et al. 1997) sowie der „Hohlraumangaben Endlager Morsleben“ von DBE (1998). Die Tabellen 7.1 bis 7.4 (Anlage 1) enthalten die Auflistung der potentiell gefährdeten Lokationen.

Den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten entsprechend gruppieren sich die meisten gefährdeten Grubenhohlräume entlang der Westflanke der Hauptmulde. Dabei überwiegt ein Szenariotyp, der die unterstellten Fließwege in den bergbaulichen Auflockerungszonen und in den Hauptanhydritschollen des Salinars mit den vorhandenen Fließwegen für Deckgebirgswässer durch die Schicht DGL des Hutgesteins (Typ 1/7/14 beim Zustand A) oder mit den unterstellten Fließwegen durch das gesamte Hutgestein (Typ 1/8/14 beim Zustand B) koppelt. Einige Strecken und Querschläge, die im Salz und Hauptanhydrit verlaufen, sind sowohl durch den Zuflußtyp 1/7/11 (Zustand A) bzw. 1/8/11 (Zustand B), der die Auflockerungszone nicht benutzt, als auch 1/7/14 (Zustand A) bzw. 1/8/14 (Zustand B), also mit Fließweg in der Auflockerungszone, gefährdet. Die Steinsalzabbau auf der 1. und der 2a-Sohle in der stark durchbauten Hauptmulde der Grube Bartensleben und die Steinsalz-Langabbau der Grube Marie können sowohl durch die Zuflußtypen 1/7/14 (Zustand A) bzw. 1/8/14 (Zustand B) als auch durch Typ 1/8/13 (Zustand B) betroffen werden. Diese in Tabelle 7 vorgenommene doppelte Nennung eines Zuflußtipes ist aber keinesfalls gleichbedeutend mit einer höheren Gefährdung der betreffenden Grubenbaue. Für die hochgelegenen Kaliabbau in den Lagerteilen K und M, die unter derzeit intaktem Hutgestein aufgefahren wurden, ist ein potentieller Zufluß erst im Zeitabschnitt B postulierbar (Typ 1/8/13), was analog für die Streckenauffahrung im Hauptanhydrit zwischen den Kammern 52 und 53 im Ostteil der Grube Marie gilt (Typ 1/8/11). Singulär sind die Voraussetzungen für potentielle Zuflüsse aus dem Nebengebirge (Westquerschlag Marie, Typ 4/13) oder aus einer Bohrung gegeben (Typ 1/10/15, Hauptgesenk Marie unterhalb der 390 m-Sohle, ausgehend von der Bohrung Hmt4).

Die bei HERRMANN (1992) und KÄBEL (1998) beschriebenen aktuellen Salzlösungsvorkommen Lager H (Kennung 2634 in Tab. 7), Abbau 1A (Kennung 1420) und Abbaustrecke 5 (Kennung 1398) sind nach ihrer potentiellen Zuflußveranlagung anhand der definierten Merkmale gleichrangig mit anderen Lokationen eingestuft worden, auf die die gleichen Merkmale zutreffen. Der bei VIOLA et al. (1997) ausgewiesene potentielle Migrationspfad 2a ist in Tab. 7.1 unter Kennung 1452 zu finden.

Abbildung 7 bietet eine Visualisierung der potentiell zuflußgefährdeten Grubenbaue

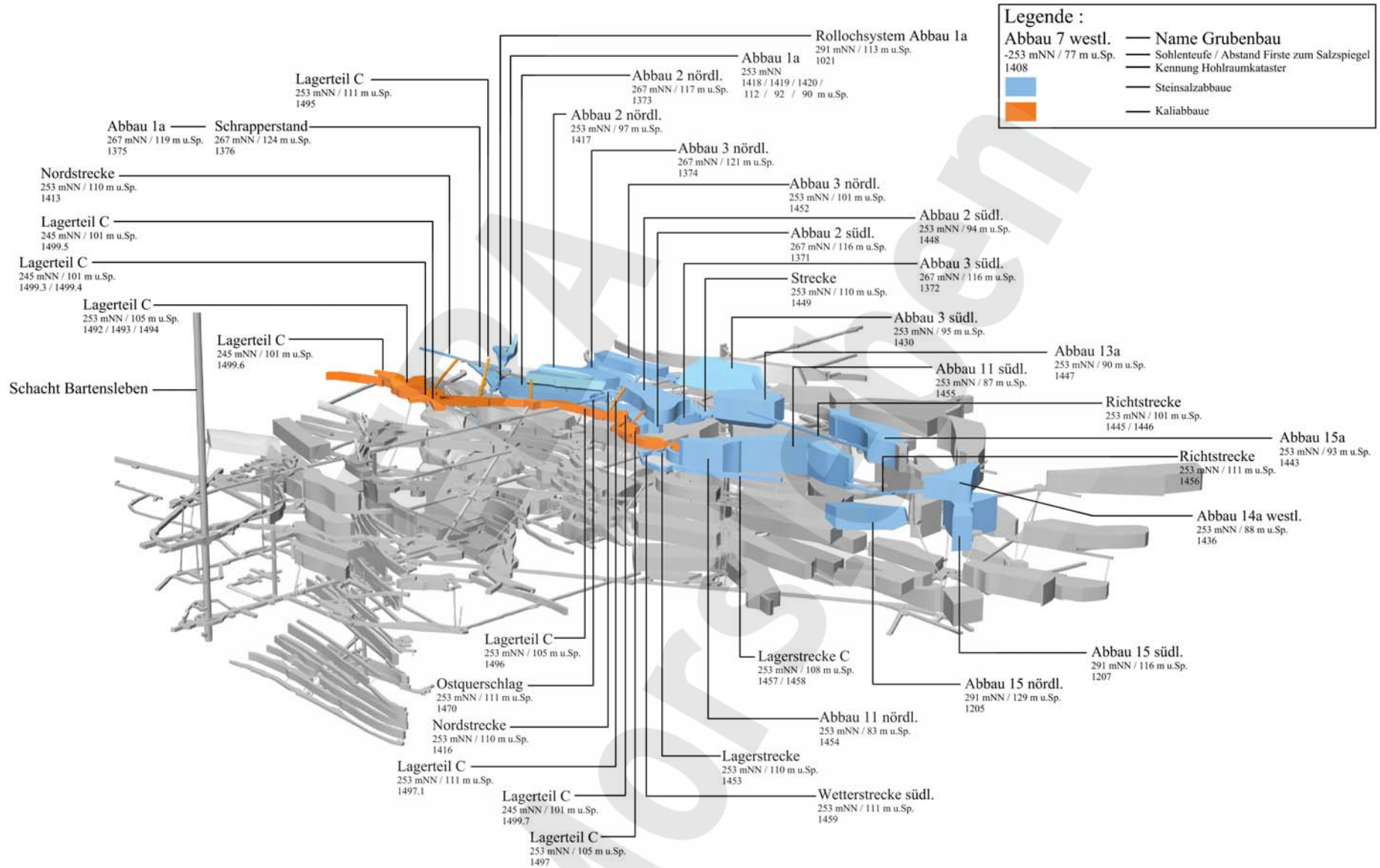


Abb. 7: Visualisierung der potentiell zuflussgefährdeten Grubenbaue
Blatt1: Zentralteil Grube Bartensleben

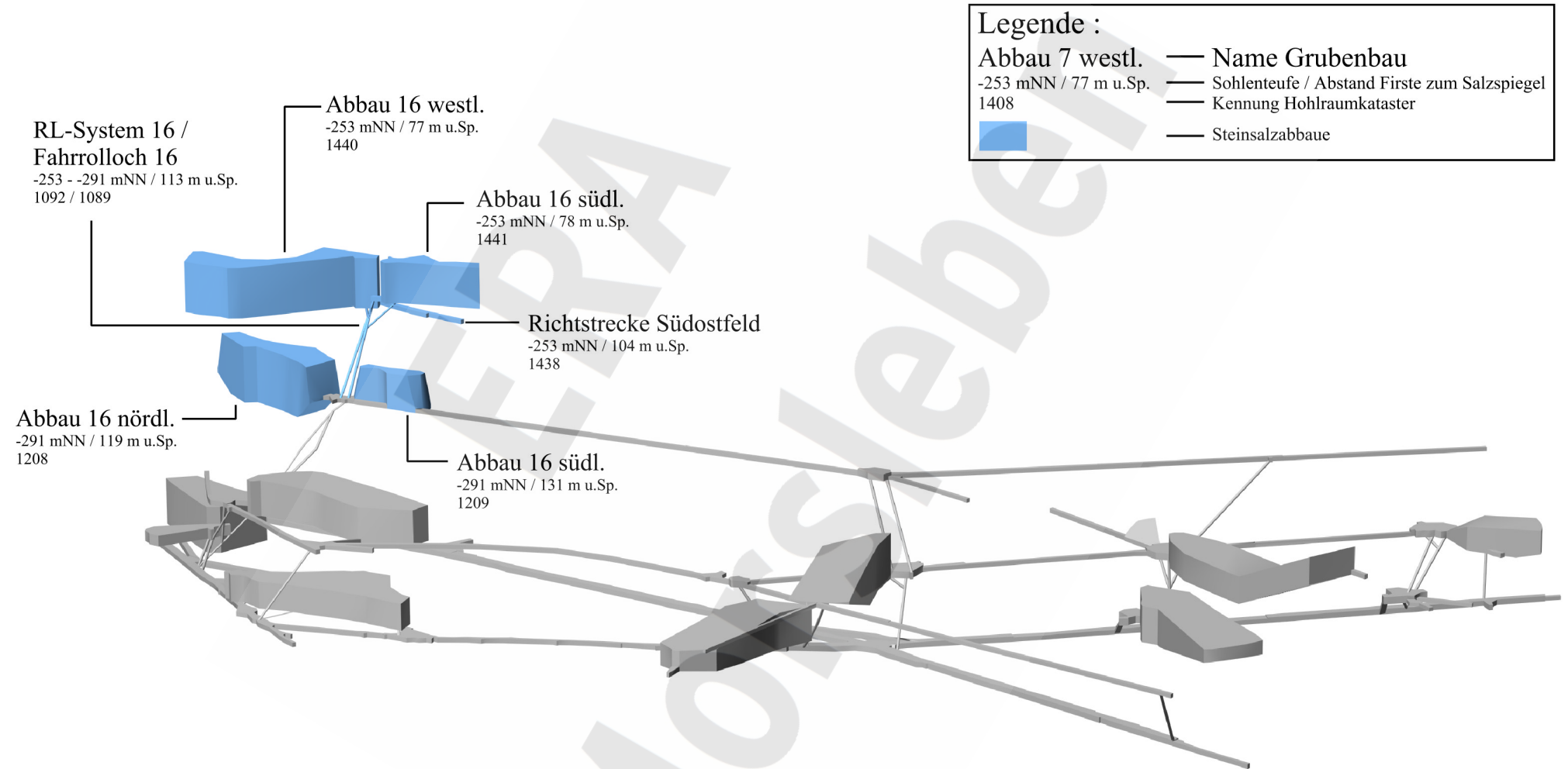


Abb. 7: Visualisierung der potentiell zuflussgefährdeten Grubenbaue
Blatt2: Südostfeld Grube Bartensleben

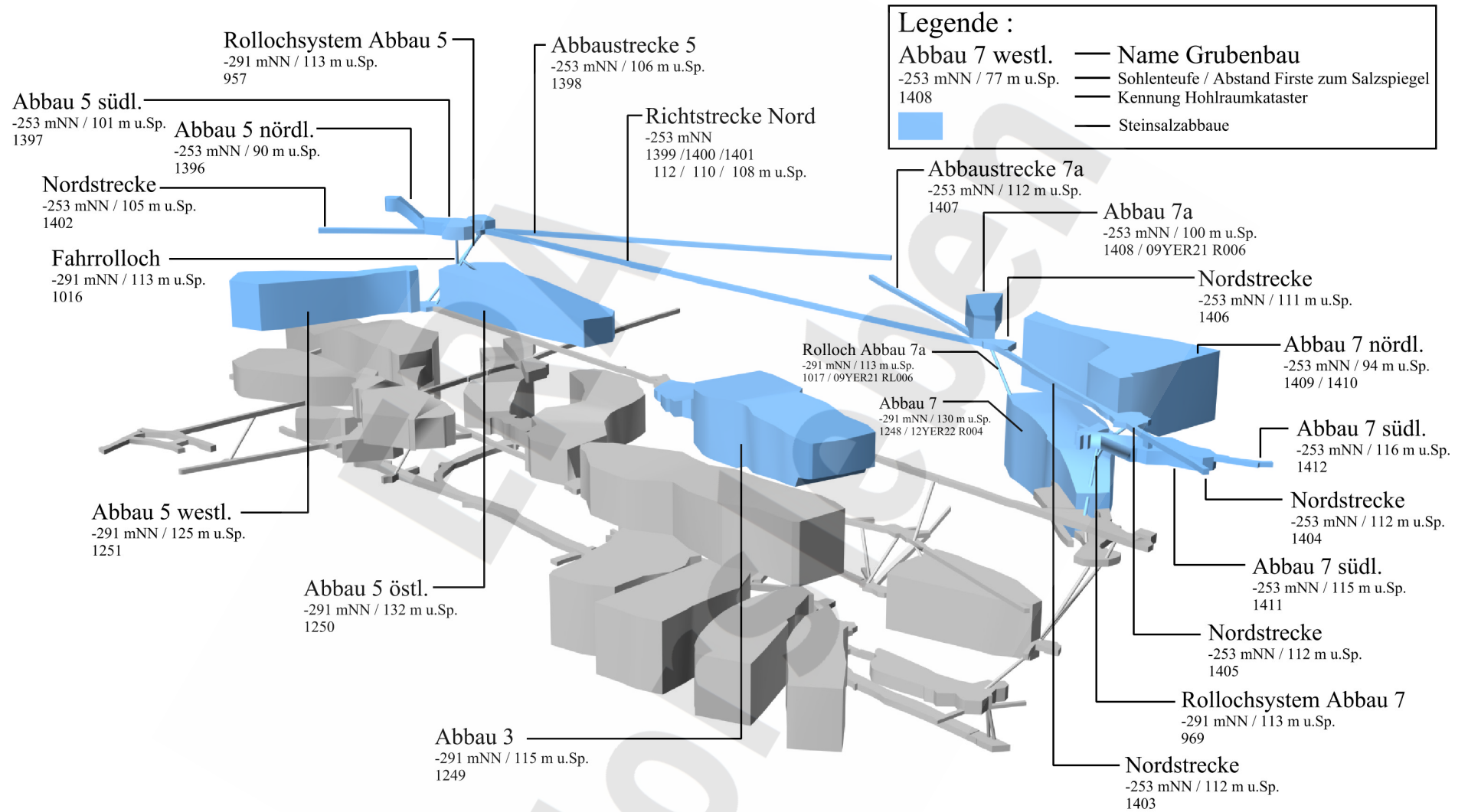
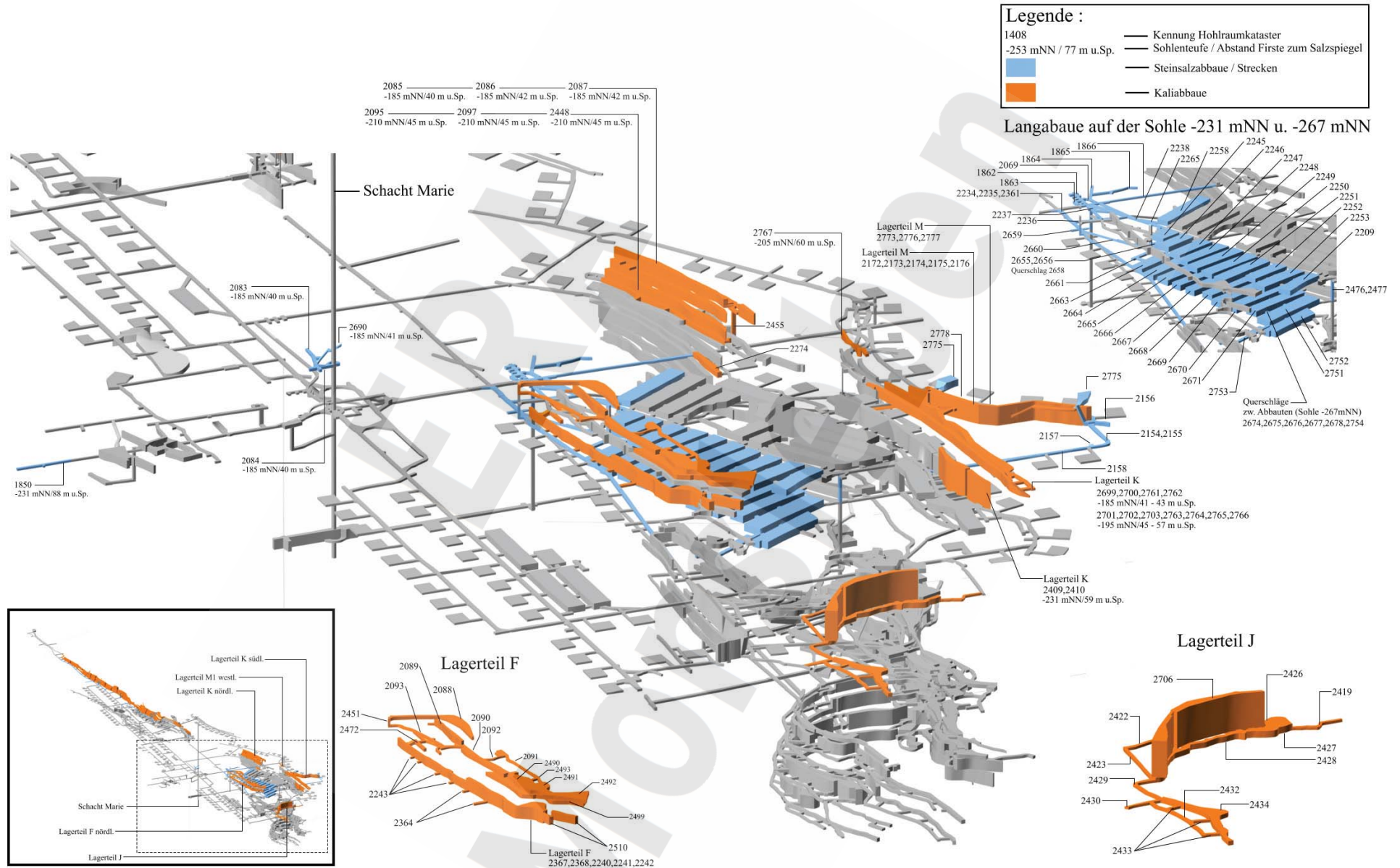


Abb. 7: Visualisierung der potentiell zuflussgefährdeten Grubenbaue
Blatt3: Nordfeld Grube Bartensleben



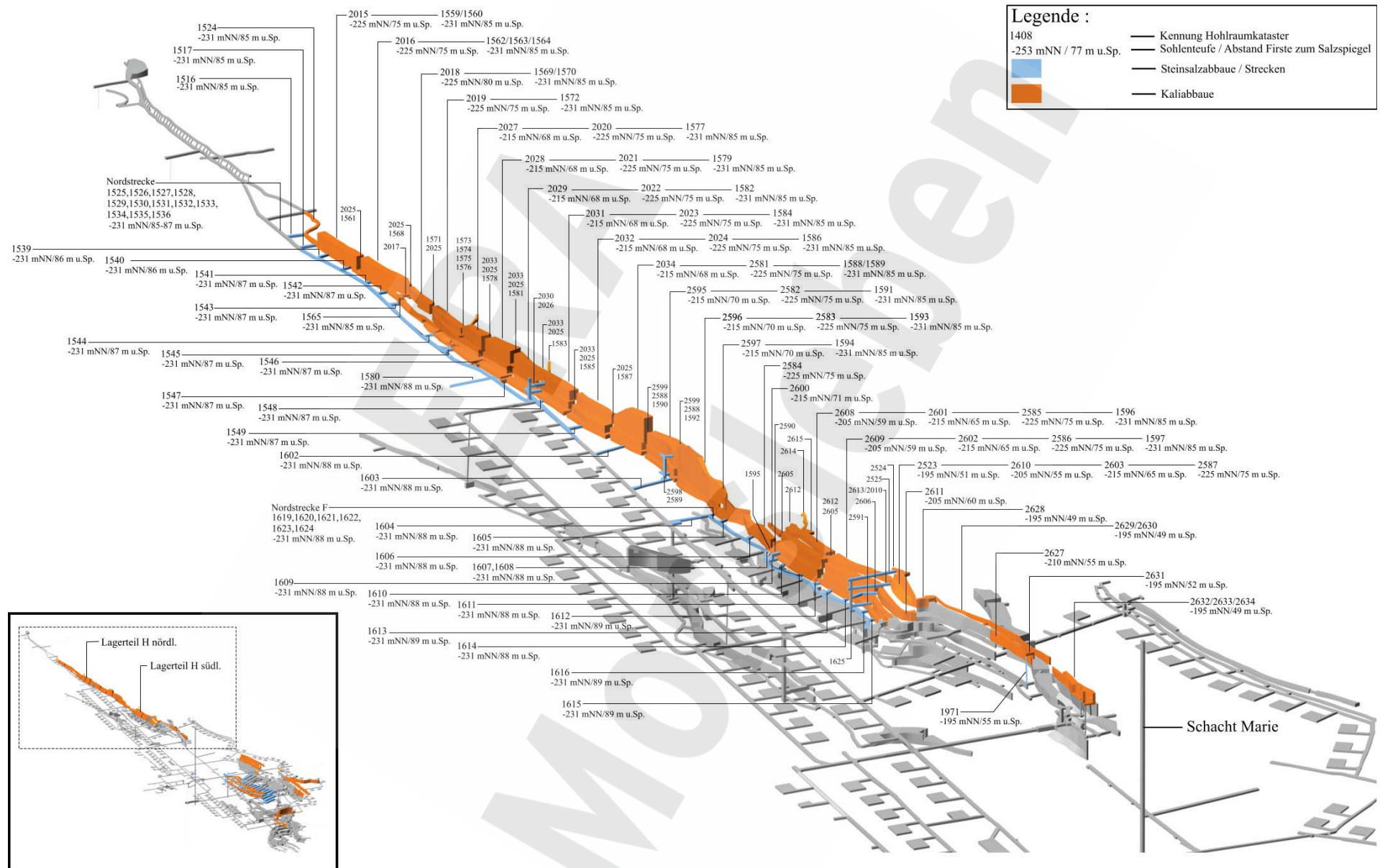


Abb.7 : Visualisierung der potentiell zuflußgefährdeten Grubenbaue

Blatt 5: Grube Marie - nördlicher Teil

6. Zusammenfassung

Die Szenarienanalyse zum Langzeitverhalten der geologischen Barrieren des Endlagers Morsleben basiert auf einer umfassenden geowissenschaftlichen Bearbeitung des Standortbereiches und seiner geologischen Umgebung. Sie nutzt die international übliche Methode, deterministische Sachverhalte und Zusammenhänge durch die Kennzeichnung der Zustände, Ereignisse und Prozesse (ZEP), die für die Langzeitsicherheit des Endlagers relevant sein können, in standortspezifischer Weise darzustellen und zu bewerten. Die Szenarienanalyse beschreibt schwerpunktmäßig die Zuflußszenarien, um Grundlagen für Modellrechnungen und für das Verfüll- und Verschlußkonzept zu liefern.

Die ZEP gliedern sich nach den für die geologische Barriere zu erwartenden Konsequenzen in drei Gruppen.

ZEP-Gruppe 1: Mächtigkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers infolge geologischer Prozesse und Ereignisse. Die Konsequenz daraus wäre ein unmittelbar möglicher Kontakt zwischen den Deckgebirgswässern und dem eingelagerten radioaktiven Inventar bzw. dessen Freilegung. Die Gruppe umfaßt 8 ZEP, die spezifische geologische Szenarien repräsentieren. Keines dieser Szenarien könnte in der überschaubaren geologischen Entwicklung des Endlagerstandortes (hier: 150 000 Jahre) zu einer Freisetzung von Radioaktivität führen.

ZEP-Gruppe 2: Zufluß von Wässern in das Endlager. Die Konsequenz wäre die Flutung des verfügbaren Hohlraumes im Endlager bis hin zu den Einlagerungsorten der radioaktiven Abfälle und eine anschließende Kontamination der Lösungen.

Die Gruppe umfaßt 24 ZEP, von denen 16 als relevant für die Betrachtung nicht ausschließbarer Zuflußszenarien bewertet werden. Den Zuflußszenarien wird folgende zeitbezogene Differenzierung des Zustandes der geologischen Barriere zugrundegelegt:

- A: Ausgangszustand (nach der Betriebsphase ohne Verfüllung). Die Spannungsumlagerungen im Salinar (durch Konvergenz) und im Hutgestein (durch tektonische Kräfte) wirken auf eine Zustandsänderung hin. Die klimatischen Veränderungen sind für die geologische Barriere unerheblich.
- B: Die Bedingungen des Ausgangszustandes sind modifiziert, weil das Hutgestein durch Bildung neuer, hydraulisch vernetzter Klüfte als insgesamt wasserwegsam aufgefaßt wird und im Salinar zusätzliche, konvergenzbedingte Wegsamkeiten möglich sind. Die Konvergenz wirkt auf eine allmähliche Schließung der Grubenhohlräume hin. Das Klima entwickelt sich zu einer Kaltzeit mit Permafrost.

Der Zustand B ist nach einigen tausend Jahren möglich.

- C: Unter ausgeprägten Permafrostbedingungen erreicht die Subrosion ein relatives Maximum. Das Klima entwickelt sich zu einer Inlandvereisung. Der Zustand C ist nach ca. 25 000 Jahren möglich.
- D: Ein intensives Glazial ermöglicht Exaration; subglaziale Wässer können die Intensität der Subrosion beeinflussen und außerdem subglaziale Erosion bewirken. Der Zustand D ist nach ca. 100 000 Jahren möglich und nach ca. 150 000 Jahren abgeschlossen. Mit dieser Zeitmarke wird die Szenarienbetrachtung für das Endlager Morsleben beendet.

Die Identifikation der möglichen Zuflußszenarien erfolgt nach hydrogeologischen Aspekten, indem die Herkunftsorte der Zuflüsse mit den Migrationspfaden bis zum Salinar und innerhalb des Salinars in zwei Schritten durch Matrizen verknüpft werden. Es leiten sich daraus 26 hydrogeologisch sinnvolle Varianten von Lösungsherkünften und Fließwegen ab, von denen 9 in Morsleben auf Grund der konkreten Gegebenheiten nicht vorkommen.

Anhand des Liefervermögens der Herkunftsreservoirs und der Leistungsfähigkeit der Fließwege (Querschnitte, Durchlässigkeiten) ist eine vergleichende Bewertung der potentiellen Zuflußmengen zur Wichtung der Szenarien möglich. Auf dieser Grundlage wurden für den Zustand A der geologischen Barriere 13 Szenarien und für den Zustand B 12 Szenarien ihrer Rangordnung nach beschrieben.

Die abschließende Rangierung und Bewertung der bei den Zuständen A und B möglichen Zuflußszenarien führt zur Typisierung von 8 Varianten, die der Lokalisierung potentiell zuflußgefährdeter Grubenhohlräume zugrunde gelegt werden. Anhand der im Bericht definierten Merkmale gibt es zahlreiche Lokationen der Grubenfelder Bartensleben und Marie, die beim Zustand A und B als potentiell zuflußgefährdet gelten. Sie gruppieren sich vorwiegend entlang der Westflanke der Hauptmulde und sind in einer Liste erfaßt sowie graphisch visualisiert.

Einige Grubenhohlräume sind durch mehrere Zuflußtypen gefährdet. Dazu gehören Steinsalzabbau der Hauptmulde im Grubenfeld Bartensleben und die Langabbau im Grubenfeld Marie. Dort und auch in anderen Lokationen können Zuflüsse sowohl bei unverfüllter Grube als auch nach Verfüllung auftreten, wenn Resthohlräume vorhanden sind.

Gegenwärtig gibt es in den zuflußgefährdeten Grubenbereichen mit hohem Durchbaugrad des Gebirges bzw. geringem Abstand zwischen Grubengebäude und Deckgebirge keine Anzeichen für entstehende hydraulische Wegsamkeiten.

Die in der Betriebsphase vorhandene Integrität der Salzbarriere wird auch ohne Verfüllung eine zeitlang fortbestehen. Eine positive Aussage im Sinne eines Ausschlusses von Zuflüssen innerhalb bestimmter Zeiträume nach der Betriebsphase ist allerdings nicht möglich. Die verfügbaren Erkenntnisse und Methoden lassen zwar die potentiellen Schwachstellen der Barriere erkennen, aber keine differenzierten Angaben darüber zu, ob die geowissenschaftlich begründete Erwartung von Zuflüssen aus dem Deckgebirge in offene Hohlräume des Endlagers während des Zustands A oder B realisiert wird.

Bezüglich des Verhaltens der zugeflossenen Wässer im Grubengebäude und des Wiederaustritts kontaminierter Lösungen in das Deck- und Nebengebirge (ZEP-Gruppe 3) beschränkt sich der Bericht auf generalisierende Darlegungen. Es wird davon ausgegangen, daß für den Wiederaustritt die Fließwege der vorrangigen Zuflußszenarien in Frage kommen. Als wichtigster Antrieb für die Bewegung kontaminierter Lösungen gilt der Konvergenzdruck, daneben Antrieb infolge von Gasproduktion innerhalb des Endlagers. Genauere Angaben dazu setzen Kenntnis der technischen Verfüll- und Verschleißmaßnahmen sowie iterative Abstimmungen voraus, weil das Konvergenzverhalten bei Verfüllung wesentlich anders als bei unverfüllter Grube zu beurteilen ist.

Gelangen kontaminierte Lösungen beim Zustand A in das Hutgestein, so ist ihre weitere Ausbreitung vom Ausstrich der Schicht DGL an der Basis der Keuperschichten bzw. der Kreidesande abhängig. Von diesem Ausstrich ausgehend, werden die ausgepreßten Lösungen vom Grundwasserstrom erfaßt und auf relativ schmal gefächertem Weg in die Niederterrasse-Schotter der Aller entlastet. Beim Zustand B erfaßt der regionale Grundwasserstrom die ausgepreßten Lösungen bereits im Niveau des Salzspiegels, wodurch die Transportstrecke im Grundwasser länger und die Auffächerung des kontaminierten Bereiches im Deckgebirge größer wird. Auch in diesem Fall sind die Fließwege auf die Niederterrasse ausgerichtet, in welcher die kontaminierten Lösungen stromab (parallel zur Aller oder in der Aller) gelangen können.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Hannover, den 1999

Im Auftrag



(Dr. H. Raschka)
Abteilungsleiter
Dir. u. Prof.



(Dr. M. Wallner)
Projektleiter
Wiss. Dir.-



(J. Gerardi)
Arbeitspaketleiter
WA

Sachbearbeiter:



(H. Käbel)
WA



(J. Gerardi)
WA

Literaturverzeichnis

- BACKHAUS, D., SCHNIER, H. & SPIES, T. (1997): ERA Morsleben. Bewertung geomechanischer und markscheiderischer Messungen. Zwischenbericht. – BGR, Archiv-Nr. 116499, Hannover [Unveröff.].
- BALZER, D. (1998): Projekt Morsleben. Geologische Bearbeitung des Hutgesteins. – BGR, Archiv-Nr. 116622, Berlin [Unveröff.].
- BANDLOWA, T. (1992): Erdgasführung im Rotliegenden der Allertalzone und der angrenzenden Gebiete der Subherzynen Senke. – BGR, Archiv-Nr. 110335, Berlin [Unveröff.].
- BEHLAU, J., MINGERZAHN, G. & BORNEMANN, O. (1997): ERA Morsleben. Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells. – BGR, Archiv-Nr. 116872, Hannover [Unveröff.].
- BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. (1998): ERA Morsleben – Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells. 2. Anhang zum Abschlußbericht – Struktureller Bau der Westflanke der Hauptmulde im Bereich des Abbaues 1a. – BGR, Archiv-Nr. 117708, Hannover [Unveröff.].
- BEST, G. (1997): Projekt Morsleben, Reflexionsseismische Untersuchungen – Begleitung und Auswertung. – BGR, Archiv-Nr. 115984, Hannover [Unveröff.].
- BEST, G. & ZIRNGAST, M. (1998): Projekt Morsleben. Analyse der struktureologischen Entwicklung der Salzstruktur Oberes Allertal und ihrer Umgebung. – BGR, Archiv-Nr. 116873, Hannover [Unveröff.].
- BILLINGTON, D. E., LEVER, D. A. & WISBY, S. J. (1990): Radiological assessment of deep geological disposal: Work for UK Nirex Ltd., Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories: Nuclear Energy Agency: Organization for Economic Cooperation and Development, S. 271-282, Paris.
- BONANO, E. J., HORA, S. C., KEENLY, R. L. & VON WINTERFELD, D. (1990): Elicitation and Use of Expert Judgement in Performance Assessment for High-Level Radioactive Waste Repositories. – NUREG/CR-5411, SAND89-1821, Washington DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- BONANO, E. J. & BACA, R. G. (1994): Review of Scenario Selection Approaches For Performance Assessment of High-Level Waste Repositories and Related Issues. – Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, CNWRA 94-002, San Antonio, Texas.
- BORNEMANN, O., MINGERZAHN, G. & REMPEL, E. (1996): Bericht zur Geologie des Ostfeldes Bartensleben. – BGR, Archiv-Nr. 115 668, Hannover [Unveröff.].

- BOULTON, G.S. & PAYNE, A. (1992): Reconstructing past and predicting future regional components of global change: The case of glaciation in Europe. – Waste Disposal and Geology Scientific Perspectives, Proceedings of Workshop WC-1 of the 29th Int. Geol. Congr., Tokyo.
- CHAPMAN, N. & GRINDROD, P. (1994): A scientific approach to integrating scenarios, simulation and natural systems. – Actes dur Colloque GEOPROSPECTIVE, - S. 345-354, UNESCO, Paris.
- CRANWELL, R. M., GUZOWSKI, R. W., CAMPBELL, J. E. & ORTIZ, N. R. (1990): Risk Methodology for Geologic Disposal of Radioactive Waste. Scenario-Selection Procedure. – NUREG/CR-1667, SAND80-1429, Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission, Albuquerque.
- DBE (1998): Hohlraumangaben Endlager Morsleben. – Peine [Unveröff.].
- EICKEMEIER, R. & WALLNER, M. (1994): Standsicherheitsberechnungen geotechnisches Konzept Morsleben. – BGR, Archiv-Nr. 112621, Hannover [Unveröff.].
- EISSMANN, L. (1987): Lagerungsstörungen im Lockergebirge. Exogene und endogene Tektonik im Lockergebirge des nördlichen Mitteleuropa. – Geophys. u. Geol., KMU Leipzig, Bd. III, 4, S. 7-77; Berlin.
- GIMM, W. (1969): Kali- und Steinsalzbergbau. – Bd. 1, 600 S., Deutscher Verlag, Leipzig.
- HANNEMANN, M. (1995): Intensität und Verbreitung glazigener Lagerungsstörungen im tieferen Quartär und Tertiär. – Brandenburgische Geowiss. Beiträge, 2, 1, S. 51-59; GLA Kleinmachnow.
- HERBERT, H.-J. & SANDER, W. (1999): Projekt Morsleben. Untersuchung an Lösungszusammensetzungen bei der Migration durch das Grubengebäude Bartensleben. Ergebnisbericht zu den Lösevorgängen bei der instantanen Flutung. – GRS, Braunschweig [Unveröff.].
- HERRMANN, A. G. (1992 bis 1997): Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Dokumentationen für 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996. – Erstellt im Auftrag des BfS. TU Clausthal [Unveröff.].
- KÄBEL, H. (1998): Projekt Morsleben. Geologische Gesamtbewertung der Lösungszutritte in den Gruben Bartensleben und Marie. – BGR, Archiv-Nr. 116678, Berlin [Unveröff.].
- KELLER, S. (1996): Beschreibung der paläohydrogeologischen Verhältnisse seit Ende der Saale-Kaltzeit und Langzeitprognose der hydrogeologischen Entwicklung für den Elbe-Raum zwischen Burg und Boizenburg. Teil 1: Klimatische Entwicklung und Auftreten von Permafrost. – BGR, Archiv-Nr. 114499, Hannover [Unveröff.].
- KUGLER, H. & VILLWOCK, G. (1995): Morphogenetische Kartierung Untersuchungsgebiet ERA Morsleben. – GFE Halle / Aerocart Delitzsch [Unveröff.].

- LANGKUTSCH, U., KÄBEL, H., MARGANE, A & SCHWAMM, G. (1998): Projekt ERA Morsleben. Hydrogeologische Standortbeschreibung und Modellgrundlagen. – BGR, Archiv-Nr. 116906, Berlin [Unveröff.].
- LÖFFLER, J. (1962): Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins der Deutschen Demokratischen Republik. Teil III Sachsen-Anhalt. – Freib. Forschungshefte C97/III, Akademie-Verlag Berlin, 347 S., 135 Abb., 89 Tab.
- LOTSCH, D. (1998): Projekt Morsleben, Geologische Bearbeitung von Kreide und Tertiär. – BGR, Archiv-Nr. 116620, Berlin/Hannover, [Unveröff.].
- MEYER, G. & SCHÖNBERG, G. (1999): Sanierung des Kali- und Steinsalztbergbaus ohne Rechtsnachfolger im Zuständigkeitsbereich des Bergamtes Staßfurt. – Veröffl. GGW, 205 (1999), S. 147-152, Berlin.
- PRIJ, J. (1993): PROSA – Probabilistic Safety Assessment. – Final Report, ECN, Petten (NL):
- RAIMBAULT, P., IZABEL, C. & PERES, J. M. (1992): Methodology developed by the French National Nuclear Waste Management Agency (ANDRA) for the performance assessment of a deep geological repository. Proceedings of the 3rd International Conference on High Level Radioactive Waste management. – American Nuclear Society, S. 510-516, La Grange Park, IL.
- REMPEL, E. (1993): Paläogeographische Analyse und KW-Führung des basalen Zechsteins in der Subherzynen Senke, - BGR, Archiv-Nr. 111891, Berlin [Unveröff.].
- SCHRADER, K. H. (1956): Abschlußbericht über geologische Untersuchungsarbeiten auf Erdöl im Salzbergwerk Marie bei Beendorf (Untertagebohrung Marie U1). – BGR, Archiv-Nr. 2007331, Berlin [Unveröff.].
- STEPHENS, M. E. & GOODWIN, B. W. (1989): Scenario analysis for the postclosure assessment of the Canadian concept for nuclear fuel waste disposal. – Proceedings of the Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories. – Nuclear Energy Agency. Organization for Economic Cooperation and Development, S. 405-416, Paris.
- VIOLA, S., HEUSERMANN, S. & WALLNER, M. (1997): ERA Morsleben. Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere im Zentralbereich der Grube Bartensleben. – BGR, Archiv-Nr. 116808, Hannover [Unveröff.].
- WEBER, J. R. & WALLNER, M. (1998): Hydraulische Untersuchungen im Grubengebäude Morsleben. Abschlußbericht. – BGR, Archiv-Nr. 117 106 Hannover [Unveröff.].
- WEBER, J. R. (1999): Hydraulische Eigenschaften des Anhydrits im ERAM. – BGR, Archiv-Nr. 117709, Hannover [Unveröff.].

- WILDENBORG, A. F. B. (1999): Langzeitprognose der Auswirkungen klimagesteuerter geologischer Prozesse auf die Barrieren des Endlagers Morsleben. – In GERARDI, J. & WILDENBORG (1999): Szenarienanalyse, Szenarienbewertung und geologische Langzeitprognose für das Endlager radioaktiver Abfälle Morsleben. – BGR, Archiv-Nr. 117869, Hannover [Unveröff.].
- ZIERMANN, H., HEDERICH, N. & ZWIRNER, R. (1998): Projekt Morsleben. Geologische Bearbeitung des Quartärs. – BGR, Archiv-Nr. 116619 [Unveröff.].

ERA
Morsleben

Definitionen und Begriffserklärungen

Auflockerungszone (engl.: excavation damaged zone)	Zone mit Mikroklüftung oder erweiterten Porenräumen, die um Strecken, Schächte oder Bohrungen entwickelt ist.
Ereignisse (engl.: events)	Jegliche spontane Veränderungen von kurzer Dauer, wie das Einsetzen oder Aufhören von Prozessen, oder auch von Vorgängen (z. B. Erdbeben etc.)
Fernfeld (engl.: far-field)	Umfaßt den Bereich der Salzstruktur einschließlich des Bergwerkes und des über und neben der Salzstruktur liegenden Deck- und Nebengebirges. Der Bereich ist zu untergliedern in: <ul style="list-style-type: none"> - Bergwerk, ausschließlich Nahfeld, - Salzstruktur (auch: Salinar), - Deckgebirge. Das Deckgebirge besteht aus Sedimenten, die unmittelbar über der Salzstruktur vorhanden sind. - Nebengebirge. Als Nebengebirge werden die Teile von Gesteinsschichten verstanden, die sich von den Flanken bis in die Randsenken einer Salzstruktur erstrecken, - Subsalinar. Gesteine unter der Salzstruktur.
Humidsubrosion:	Teil der Hutgesteinsgenese. Betrifft die partielle oder vollständige Umwandlung der anhydritisch zementierten Residuen und der in das Hutgestein eingebauten zechsteinzeitlichen Anhydritfolgen (z.B. Hauptanhydrit) zu Gips unter der Einwirkung ungesättigter sulfatischer Lösungen, die sich unter humiden Klimaverhältnissen gebildet haben. Sättigen sich diese Lösungen, kommt es zur Entstehung von Kristallgips (Marienglas) auf Klüften oder am Salzspiegel. Dagegen kann es an der Oberfläche des Hutgesteins, wo die noch ungesättigten Lösungen sulfatische Gesteinsanteile angreifen, zu Gipskarsterscheinungen kommen.
Permafrost: (engl.: permafrost)	<u>Kontinuierlich</u> : dauernd gefrorener Boden mit wenigen nicht gefrorenen Bereichen (z.B. unterhalb von großen Seen und Flüssen); <u>Diskontinuierlich</u> : größere Abschnitte von nicht gefrorenen Teilbereichen, aber insgesamt nicht mehr als 50 % der Gesamtfläche des von der im Boden verlaufenden 0° C-Isotherme abgegrenzten Bereiches;

- Sporadisch: überwiegend ungefrorene Bereiche. Weniger als 50 % der Gesamtfläche wird von Permafrost eingenommen.
- Prozesse:
(engl.: processes) Veränderung der Zustände von Systemen, die entweder direkt zu beobachten und zu messen sind oder hypothetisch erschlossen werden können und mit gleichbleibender oder unterschiedlicher Geschwindigkeit über längere Zeiträume ablaufen (z.B. Epirogenese, Bildung von Korrosionsgasen, Entstehung von Kaltzeiten, etc.). Prozesse unterliegen bestimmten Wirkungskräften und –mechanismen. Sie können Ereignisse auslösen.
- Regionalfeld: Umfaßt ein Gebiet, das außerhalb des Fernbereiches und innerhalb eines ca. 50 km großen Radius um den Endlagerstandort liegt.
- Salinarsubrosion: Teil der Hutgesteinsgenese. Betrifft die diffusiv gesteuerte chemische Lösung von Steinsalzfolgen, die Akkumulation der nicht- oder nur schwer löslichen sulfatischen sowie tonig-silikaklastischen Gemengteile in Form von Residuen und deren spätdiagenetisch-subrosive Zementation durch Neukristallisation von Anhydrit aus sulfatüberstättigten Natriumchlorid-Lösungen. Bei zeitweilig vorherrschender Auflösung des Steinsalzes kann es am Salzspiegel zur Bildung flacher Hohlräume (Salzkarst) kommen.
- Szenarium:
(engl.: scenario)
- I. Ein einzelnes Szenarium spezifiziert ausgehend von den heutigen Zuständen einen möglichen Satz von Ereignissen und Prozessen, die zu einer Zustandsänderung als Funktion der Zeit führen. Es gibt eine Beschreibung ihrer Charakteristika sowie ihrer zeitlichen Abfolge (vgl. NEA / OECD, 1992).
 - II. Ein Szenarium beschreibt die Entwicklungsmöglichkeit eines Systems, das durch einen Satz von Merkmalen (Zuständen), Ereignissen und Prozessen spezifiziert wird.
- Übertragen auf die Endlagerarbeiten: Ein Szenarium beschreibt die Entwicklungsmöglichkeit eines Endlager-Systems bestehend aus Biosphäre, Geosphäre und Endlager, das durch einen Satz von Merkmalen (Zuständen), Ereignissen und Prozessen spezifiziert wird und das System charakterisiert. Ein Szenarium wird durch einen Satz von Merkmalen, Ereignissen

und Zuständen bestimmt (def. Deutsche Arbeitsgruppe Szenarien, BfS / Salzgitter, BGR / Hannover, GRS / Köln; Stand 30.3.1998).

- Szenarienanalyse: Szenarienauswahl und die Bewertung der Szenarien hinsichtlich der Langzeitsicherheit für das Endlager werden als Szenarienanalyse verstanden.
(engl.: Scenario analysis)
- Szenarienauswahl: Reduzierung eines vollständigen Satzes denkbarer Szenarien oder Kombinationen von Szenarien zur Findung der für eine Standortsicherheitsanalyse bedeutsamen Szenarien aufgrund von standortspezifischen Gegebenheiten (Salz, Granit, Ton etc.), aufgrund des Eintretens von Ereignissen und Prozessen (Gefährdungspotential), aufgrund der Eliminierung von physikalisch wenig sinnvollen Phänomenen und/oder von Ereignissen und Prozessen, die eine geringe Konsequenz für die Sicherheit des Endlagerstandortes nach sich ziehen.
(engl.: screening)
- Wahrscheinlichkeit: Aussage zur Einstufung eines zu erwartenden Ereignisses, das sich vermutlich in einer bestimmten Art und Weise entwickeln wird, wobei ein gegenteiliges Ergebnis der Entwicklung aber nicht grundsätzlich auszuschließen ist. Der Begriff wird im Bericht nicht in mathematisch-statistischem Sinn gebraucht.
(engl.: probability)
- ZEP Abkürzung für **Z**ustände, **E**reignisse und **P**rozesse. Ereignisse, Prozesse und Zustandsänderungen sind Bestandteil von Szenarien.
(engl.: FEP)
- Zustände (Z): Gesamtheit von Parametern, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes System charakterisieren.
(engl.: features)

Abkürzungsverzeichnis

BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
DGL	Schichtenfolge D eckanhydrit / G rauer Salzton / L einekarbonat im Hutgestein
EP	E reignis, P rozeß
ERAM	E ndlager für r adioaktive A bfälle M orsleben
Geo a	
b	Kategorien der geowissenschaftlichen Nachweisführung in Tab. 1 und 2 gemäß
c	Kap. 3.5
d	
NE	Nordost(en)
RSK	Reaktorsicherheitskommission
SLV	Salzlösungsvorkommen
SW	Südwest(en)
Y	Markscheiderische Sohlniveaus (01 bis 22) der Grubenfelder Bartensleben und Marie
Zeit A	
B	Zeitlich differenzierte und bewertete Zustände der geologischen Barriere
C	gemäß Kapitel 3.5
D	
ZEP	Z ustände, E reignisse, P rozesse zur Kennzeichnung der geologischen Barriere und Langzeitsicherheit des Endlagers (englisch: FEP).

Stratigraphische Symbole nach Symbolschlüssel Geologie

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	Übersicht der ZEP-Gruppe 1: Mächtigkeitsreduzierung der geologischen Barriere des Endlagers	46
Tabelle 2	Übersicht der ZEP-Gruppe 2: Zufluß von Wässern in das Endlager	47
Tabelle 3	Übersicht der ZEP-Gruppe 3: Vorgänge im lösungsgefüllten Endlager und Austritt kontaminierter Lösungen	49
Tabelle 4	Verknüpfungselemente für Zuflußszenarien im Endlager Morsleben	51
Tabelle 5	Konstellationen für potentielle Zuflüsse aus dem Deckgebirge in das Endlager Morsleben	53
Tabelle 6	Rangfolge der Herkunftsorte und Migrationspfade in den Zuflußszenarien nach dem potentiellen Liefervermögen	58
Tabelle 7	siehe Anlage 1	

Abbildungsverzeichnis

1	Übersichtskarte der Hauptstrukturen	7
2	Übersichtsprofil mit den Salzstrukturen Helmstedt und Allertal	8
3	Schematischer hydrostratigraphischer Schnitt durch das Allertal im Bereich des ERA Morsleben	9
4	Verbreitungselemente der ZEP 2-1, 2-3 und 2-5 (Deckgebirge und Nebengebirge, Hutgestein)	25
5	Haupttypen potentieller Zuflüsse in das Endlager Morsleben	64
6	Salzspiegelniveau mit Ausbiß des Hauptanhydrits und Tiefenlage der Grubenbaue	
	Blatt 1: Gesamtübersicht der Gruben Bartensleben und Marie	69
	Blatt 2: Teilbereich Bartensleben	70
	Blatt 3: Teilbereich Marie, Südfeld	71
	Blatt 4: Teilbereich Marie, Nordfeld	72
7	Visualisierung der potentiell zuflußgefährdeten Grubenbaue	
	Blatt 1: Zentralteil Grube Bartensleben	74
	Blatt 2: Südostfeld Grube Bartensleben	75
	Blatt 3: Nordfeld Grube Bartensleben	76
	Blatt 4: Grube Marie, Südteil	77
	Blatt 5: Grube Marie, Nordteil	78

Anlagenverzeichnis

Anlage 1

Tabelle 7.1 Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume Zentralteil Bartensleben

Tabelle 7.2 Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume SE-Feld Bartensleben

Tabelle 7.3 Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume Nordfeld Bartensleben

Tabelle 7.4 Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume Grube Marie

ERA
Morsleben

Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume

- Tab. 7.1: Zentralteil Bartensleben
Tab. 7.2: SE-Feld Bartensleben
Tab. 7.3: Nordfeld Bartensleben
Tab. 7.4: Grube Marie

Tabelle 7.1: Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume, Zentralteil Bartensleben

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
1021	Rollochsystem Abbau 1a	-291	1,0	1,5	38,0	-291,0	-253,0	113,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1205	Abbau 15 nördlich	-291	70,0	12,0	22,0	-291,0	-269,0	129,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1207	Abbau 15 südlich	-291	70,0	19,0	35,0	-291,0	-256,0	116,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1371	Abbau 2 südlich	-267	97,0	25,0	10,5	-267,0	-256,5	116,5	1/7/14; 1/8/14; 1/8/13	A; B
1372	Abbau 3 südlich	-267	85,0	33,0	10,5	-267,0	-256,0	116,0		A; B
1373	Abbau 2 nördlich	-267	110,0	37,0	10,3	-267,0	-256,7	116,7		A; B
1374	Abbau 3 nördlich	-267	117,0	27,0	6,3	-267,0	-261,0	121,0		A; B
1375	Abbau 1a	-267	73,0	22,0	4,2	-263,0	-258,8	118,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1376	Schrappertstand	-267	13,0	7,0	2,8	-267,0	-264,2	124,2	1/7/14; 1/8/14	A; B
1413	Nordstrecke	-253	100,0	2,7	2,5	-253,0	-250,5	110,5	1/7/11; 1/8/11;	A; B
1416	Nordstrecke	-253	16,0	3,5	2,5	-252,0	-249,5	109,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1417	Abbau 2 nördlich	-253	18,0	20,0	15,0	-252,0	-237,0	97,0	1/7/14; 1/8/14; 1/8/13	A; B
1418	Abbau 1a	-253	20,0	4,0	2,0	-254,0	-252,0	112,0		A; B
1419	Abbau 1a	-253	12,0	10,0	6,0	-238,0	-232,0	92,0		A; B
1420	Abbau 1a	-253	10,0	4,0	2,5	-232,0	-229,5	89,5		A; B
1430	Abbau 3 südlich	-253	100,0	15,0	18,0	-253,0	-235,0	95,0		A; B
1436	Abbau 14a westl.	-253	55,0	20,0	30,0	-258,0	-228,0	88,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1443	Abbau 15a	-253	60,0	20,0	20,0	-253,0	-233,0	93,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1445	Richtstrecke	-253	50,0	2,6	2,5	-244,0	-241,5	101,5	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.1 Fortsetzung Tabelle 7.1</i>										
1446	Richtstrecke	-253	107,0	2,6	2,5	-244,0	-241,5	101,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1447	Abbau 13a	-253	70,0	27,5	30,0	-260,0	-230,0	90,0	1/7/14; 1/8/14; 1/8/13	A; B
1448	Abbau 2 südlich	-253	90,0	26,0	18,5	-253,0	-234,5	94,5		A; B
1449	Strecke	-253	30,0	5,0	3,0	-253,0	-250,0	110,0		A; B
1452	Abbau 3 nördlich	-253	80,0	12,0	12,0	-253,0	-241,0	101,0		A; B
1453	Lagerstrecke	-253	100,0	3,0	2,5	-253,0	-250,5	110,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1454	Abbau 11 nördlich	-253	50,0	12,0	30,0	-253,0	-223,0	83,0	1/7/14; 1/8/14;	A; B
1455	Abbau 11 südlich	-253	110,0	14,0	31,0	-258,0	-227,0	87,0	1/8/13	A; B
1456	Richtstrecke	-253	80,0	3,5	2,2	-253,0	-250,8	110,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1457	Lagerstrecke C	-253	80,0	3,0	4,5	-253,0	-248,5	108,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1458	Lagerstrecke C	-253	90,0	3,0	4,5	-253,0	-248,5	108,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1459	Wetterstrecke südlich	-253	250,0	2,8	2,2	-253,0	-250,8	110,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1464	Ostquerschlag	-253	85,0	4,0	2,5	-252,6	-249,0	109,0	1/7/14; 1/8/14; 1/7/11; 1/8/11	A; B
1492	Lager C	-253	70,0	4,5	8,0	-253,0	-245,0	105,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1493	Lager C	-253	50,0	30,0	8,0	-253,0	-245,0	105,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1494	Lager C	-253	140,0	5,0	8,0	-253,0	-245,0	105,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1495	Lager C	-253	130,0	2,5	2,2	-253,0	-250,8	110,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1496	Lager C	-253	50,0	4,5	8,0	-253,0	-245,0	105,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1497	Lager C	-253	140,0	9,0	8,0	-253,0	-245,0	105,0	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.1.2 Fortsetzung Tabelle 7.1</i>										
1497,1	Lager C	-253	65,0	2,5	2,2	-253,0	-250,8	110,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1499,3	Lager C	-245	34,0	10,0	4,0	-245,0	-241,0	101,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1499,4	Lager C	-245	19,0	10,0	4,0	-245,0	-241,0	101,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1499,5	Lager C	-245	15,0	12,0	4,0	-245,0	-241,0	101,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1499,6	Lager C	-245	25,0	15,0	4,0	-245,0	-241,0	101,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1499,7	Lager C	-245	30,0	4,0	4,0	-245,0	-241,0	101,0	1/7/14; 1/8/14	A; B

Tabelle 7.2: Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume, SE-Feld Bartensleben

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
1089	Fahrrolloch 16	-253/-291	1,0	1,5	38,0	-291,0	-253,0	113,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1092	Rollochsystem 16	-253/-291	1,0	1,5	38,0	-291,0	-253,0	113,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1208	Abbau 16 nördlich	-291	80,0	15,0	32,0	-291,0	-259,0	119,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1209	Abbau 16 südlich	-291	60,0	2,7	2,4	-246,0	-243,6	131,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1438	Richtstrecke	-253	80,0	13,0	28,5	-246,0	-217,5	104,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1440	Abbau 16 westl.	-253	40,0	7,0	5,0	-241,0	-236,0	96,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1441	Abbau 16 südlich	-253	40,0	7,0	23,0	-240,6	-217,6	77,6	1/7/14; 1/8/14	A; B

Tabelle 7.3: Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume, Nordfeld Bartensleben

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
957	Rollochsystem Abbau 5	-253/-291	1,0	1,5	38,0	-291,0	-253,0	113,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
969	Rollochsystem Abbau 7	-253/-291	1,0	1,5	38,0	-291,0	-253,0	113,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1016	Fahrrolloch	-253/-291	1,0	1,5	38,0	-291,0	-253,0	113,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1017	Rolloch Abbau 7a	-253/-291	1,0	1,5	38,0	-291,0	-253,0	113,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1248	Abbau 7	-291	95,0	25,0	33,0	-303,0	-270,0	130,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1249	Abbau 3	-291	120,0	25,0	30,0	-285,0	-255,0	115,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1250	Abbau 5 östlich	-291	80,0	23,0	19,0	-291,0	-272,0	132,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1251	Abbau 5 westlich	-291	85,0	17,0	25,0	-290,0	-265,0	125,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1396	Abbau 5 nördlich	-253	20,0	8,0	17,9	-248,0	-230,1	90,1	1/7/14; 1/8/14	A; B
1397	Abbau 5 südlich	-253	10,0	20,0	7,0	-248,0	-241,0	101,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1398	Abbaustrecke 5	-253	215,0	2,4	2,3	-248,0	-245,7	105,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1399	Richtstrecke Nord	-253	113,0	2,4	2,5	-254,0	-251,5	111,5	1/7/11; 1/8/11; 1/7/14; 1/8/14	A; B
1400	Richtstrecke Nord	-253	85,0	2,6	2,5	-252,0	-249,5	109,5		A; B
1401	Richtstrecke Nord	-253	92,0	2,6	2,5	-250,0	-247,5	107,5		A; B
1402	Richtstrecke Nord	-253	55,0	2,4	2,5	-247,5	-245,0	105,0		A; B
1403	Richtstrecke Nord	-253	90,0	2,5	2,5	-254,0	-251,5	111,5		A; B
1404	Richtstrecke Nord	-253	55,0	2,4	2,5	-255,0	-252,5	112,5		A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.1.3 Fortsetzung Tabelle 7.3</i>										
1405	Richtstrecke Nord	-253	22,0	10,0	3,0	-255,0	-252,0	112,0	1/7/11; 1/8/11;	A; B
1406	Richtstrecke Nord	-253	15,0	6,0	3,0	-254,0	-251,0	111,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1407	Abbaustrecke 7a	-253	100,0	2,3	2,2	-254,0	-251,8	111,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1408	Abbau 7a	-253	30,0	10,0	14,0	-254,0	-240,0	100,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1409	Abbau 7 nördlich	-253	50,0	10,0	30,0	-264,0	-234,0	94,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1410	Abbau 7 nördlich	-253	50,0	25,0	30,0	-264,0	-234,0	94,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1411	Abbau 7 südlich	-253	50,0	10,0	6,0	-261,0	-255,0	115,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1412	Abbau 7 südlich	-253	20,0	2,5	2,0	-258,0	-256,0	116,0	1/7/14; 1/8/14	A; B

Tabelle 7.4: Potentiell zuflußgefährdete Grubenhohlräume, Grube Marie

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
1509	Nordstrecke	-231	110,0	3,5	2,4	-228,1	-225,7	85,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1515	Nordstrecke	-231	59,0	3,7	2,5	-228,0	-225,5	85,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1516	Nordstrecke	-231	19,0	3,5	2,5	-228,0	-225,5	85,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1517	Nordstrecke	-231	17,5	3,5	2,5	-228,0	-225,5	85,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1524	Lagerteil H	-231	103,0	3,3	2,5	-228,0	-225,5	85,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1525	Nordstrecke	-231	24,0	3,5	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1526	Nordstrecke	-231	47,0	3,0	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1527	Nordstrecke	-231	39,0	3,5	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1528	Nordstrecke	-231	33,0	3,5	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1529	Nordstrecke	-231	33,0	3,5	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1530	Nordstrecke	-231	93,5	3,5	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1531	Nordstrecke	-231	44,0	4,0	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1532	Nordstrecke	-231	58,0	4,0	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1533	Nordstrecke	-231	50,0	3,5	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1534	Nordstrecke	-231	65,0	3,0	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1535	Nordstrecke	-231	117,0	3,6	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1536	Nordstrecke	-231	22,0	4,2	2,5	-229,0	-226,5	86,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1539	Nordstrecke	-231	14,5	2,8	2,2	-228,0	-225,8	85,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1540	Nordstrecke	-231	9,0	3,3	2,2	-228,0	-225,8	85,8	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.4 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
1541	Nordstrecke	-231	5,0	3,3	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1542	Nordstrecke	-231	10,0	3,3	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1543	Nordstrecke	-231	11,0	4,8	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1544	Nordstrecke	-231	11,0	2,9	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1545	Nordstrecke	-231	9,0	3,6	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1546	Nordstrecke	-231	2,0	3,8	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1547	Nordstrecke	-231	1,5	3,0	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1548	Nordstrecke	-231	5,0	2,8	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1549	Nordstrecke	-231	14,0	3,8	2,2	-229,0	-226,8	86,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1559	Lagerteil H	-231	38,0	6,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1560	Lagerteil H	-231	50,0	7,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1561	Lagerteil H	-231	6,0	4,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1562	Lagerteil H	-231	38,0	10,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1563	Lagerteil H	-231	32,0	7,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1564	Lagerteil H	-231	30,0	6,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1565	Hochbruch 5	-231	4,2	2,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1568	Lagerteil H	-231	5,5	4,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1569	Lagerteil H	-231	38,5	6,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1570	Lagerteil H	-231	20,0	7,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1571	Lagerteil H	-231	6,5	3,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1572	Lagerteil H	-231	55,0	11,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.1.5 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
1573	Lagerteil H	-231	8,5	12,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1574	Lagerteil H	-231	5,0	12,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1575	Lagerteil H	-231	30,0	3,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1576	Lagerteil H	-231	15,0	3,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1577	Lagerteil H	-231	42,5	15,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1578	Lagerteil H	-231	6,0	4,5	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1579	Lagerteil H	-231	46,0	13,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1580	Lagerteil H	-231	57,0	3,5	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1581	Lagerteil H	-231	6,0	4,0	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1582	Lagerteil H	-231	50,0	13,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1583	Lagerteil H	-231	30,0	3,0	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1584	Lagerteil H	-231	61,0	9,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1585	Lagerteil H	-231	5,0	2,5	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1586	Lagerteil H	-231	72,5	10,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1587	Lagerteil H	-231	6,5	4,0	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1588	Lagerteil H	-231	14,0	11,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1589	Lagerteil H	-231	42,0	12,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1590	Lagerteil H	-231	5,5	2,5	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1591	Lagerteil H	-231	75,5	11,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1592	Lagerteil H	-231	6,5	4,0	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1593	Lagerteil H	-231	84,5	7,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.6 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
1594	Lagerteil H	-231	105,0	4,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1595	Lagerteil H	-231	5,0	5,0	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1596	Lagerteil H	-231	103,0	7,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1597	Lagerteil H	-231	69,0	4,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1602	7. Nordquerschlag	-231	37,0	3,5	2,2	-230,0	-227,8	87,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1603	6. Nordquerschlag	-231	49,0	3,5	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1604	5. Nordquerschlag	-231	177,0	4,5	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1605	Nordstrecke F	-231	10,0	3,3	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1606	Lager H	-231	11,0	3,3	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1607	Nordstrecke F	-231	2,5	3,0	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1608	Nordstrecke F	-231	2,5	3,3	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1609	Nordstrecke F	-231	9,0	3,0	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1610	Lager H	-231	16,5	3,5	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1611	Nordstrecke F	-231	5,0	3,0	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1612	Lager H	-231	7,0	3,5	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1613	Lager H	-231	17,0	3,5	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1614	Lager H	-231	8,0	3,0	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1615	Lager H	-231	4,0	4,0	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1616	Nordstrecke F	-231	15,0	3,7	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1619	Nordstrecke F	-231	109,0	3,2	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1620	Nordstrecke F	-231	49,0	3,5	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.1.7 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
1621	Nordstrecke F	-231	43,0	3,5	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1622	Nordstrecke F	-231	48,0	3,1	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1623	Nordstrecke F	-231	44,0	2,9	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
1624	Nordstrecke F	-231	43,0	3,5	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A;B
1625	Nordstrecke F	-231	3,0	4,5	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A;B
1850	Westquerschlag	-231	109,0	4,6	2,2	-231,0	-228,8	88,8	4/13	A; B
1862	Materiallager	-231	42,5	3,8	3,5	-231,0	-227,5	87,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1863	Materiallager	-231	20,0	4,5	3,5	-231,0	-227,5	87,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
1864	Abwetterstrecke	-231	59,0	3,4	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
1865	Abwetterstrecke	-231	69,0	3,2	3,0	-231,0	-228,0	88,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
1866	Ostquerschlag	-231	177,5	3,7	2,4	-231,0	-228,6	88,6	1/7/11; 1/8/11	A; B
1971	Rolloch	-231	1,0	1,5	36,0	-231,0	-195,0	55,0	1/8/13	B
2010	Hochbruch 11	-205	2,2	3,5	10,0	-205,0	-195,0	55,0	1/8/13	B
2015	Lagerteil H	-225	78,0	9,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2016	Lagerteil H	-225	70,0	8,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2017	Lagerteil H	-225	18,0	4,2	2,5	-225,0	-222,5	82,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2018	Lagerteil H	-225	40,0	6,0	5,0	-225,0	-220,0	80,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2019	Lagerteil H	-225	65,0	11,0	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2020	Lagerteil H	-225	40,0	11,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2021	Lagerteil H	-225	42,0	11,0	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2022	Lagerteil H	-225	40,0	8,0	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.8 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2023	Lagerteil H	-225	55,0	7,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2024	Lagerteil H	-225	60,0	8,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2025	Lagerteil H	-225	90,0	2,5	2,5	-225,0	-222,5	82,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2026	Lagerteil H	-225	20,0	4,2	2,5	-225,0	-222,5	82,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2027	Lagerteil H	-215	40,0	7,5	7,0	-215,0	-208,0	68,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2028	Lagerteil H	-215	40,0	13,0	7,0	-215,0	-208,0	68,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2029	Lagerteil H	-215	45,0	6,0	7,0	-215,0	-208,0	68,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2030	Lagerteil H	-215	18,0	4,2	2,5	-215,0	-212,5	72,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2031	Lagerteil H	-215	45,0	10,0	7,0	-215,0	-208,0	68,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2032	Lagerteil H	-215	50,0	6,0	7,0	-215,0	-208,0	68,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2033	Lagerteil H	-215	45,0	3,0	2,5	-215,0	-212,5	72,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2034	Lagerteil H	-215	50,0	7,5	7,0	-215,0	-208,0	68,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2069	Materiallager/Ni	-231	30,0	3,8	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2083	Strecke/Schacht Marie	-185	50,0	3,1	2,5	-183,0	-180,5	40,5	1/8/13	B
2084	Strecke/Schacht Marie	-185	50,0	2,8	3,0	-183,0	-180,0	40,0	1/8/13	B
2085	Lagerteil K	-185	179,0	5,4	5,0	-185,0	-180,0	40,0	1/8/13	B
2086	Lagerteil K	-185	184,5	3,7	2,5	-185,0	-182,5	42,5	1/8/13	B
2087	Lagerteil/Querschlag	-185	54,7	3,0	2,5	-185,0	-182,5	42,5	1/8/13	B
2088	Lagerteil F	-195	149,5	6,8	4,0	-195,0	-191,0	51,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2089	Lagerteil F	-205	89,0	3,0	10,0	-205,0	-195,0	55,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2090	Lagerteil F	-205	87,0	6,4	5,0	-205,0	-200,0	60,0	1/7/13; 1/8/13	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.9 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2091	Lagerteil F	-205	74,0	6,7	2,5	-205,0	-202,5	62,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2092	Lagerteil Querschlag	-205	25,5	2,8	2,5	-205,0	-202,5	62,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2093	Lagerteil F	-205	124,4	5,7	2,5	-205,0	-202,5	62,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2095	Lagerteil K	-210	42,0	7,5	25,0	-210,0	-185,0	45,0	1/8/13	B
2097	Lagerteil K	-210	153,0	9,2	25,0	-210,0	-185,0	45,0	1/8/13	B
2154	4. Südstrecke	-231	77,0	4,2	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/8/14	B
2155	4. Südstrecke	-231	89,7	3,5	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/8/14	B
2156	4. Südstrecke	-231	15,5	3,0	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/8/14	B
2157	4. Südstrecke	-231	196,5	3,5	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/8/14	B
2158	4. Südstrecke	-231	4,0	4,0	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/8/14	B
2172	Lagerteil M/Strecke	-231	118,0	3,8	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/8/14	B
2173	Lagerteil M/Strecke	-231	3,0	3,0	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/8/14	B
2174	Lagerteil M/Strecke	-231	4,0	3,0	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/8/14	B
2175	Lagerteil M/Strecke	-231	7,5	4,2	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/8/14	B
2176	Lagerteil M/Strecke	-231	7,4	4,4	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/8/14	B
2209	Abbau 1	-231	67,0	18,0	7,0	-231,0	-224,0	84,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2234	1. Südstrecke	-231	140,0	3,8	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2235	1. Südstrecke	-231	108,0	3,8	2,5	-231,0	-228,5	88,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2236	1. Südstrecke/Querschlag	-231	56,0	6,3	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2237	Gesenk 500, Lagerstrecke	-231	60,5	3,6	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
2238	2. Südstrecke	-231	110,5	5,2	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.10 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2240	Lagerteil F	-231	166,5	4,5	10,0	-231,0	-221,0	81,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2241	Lagerteil F	-231	15,5	5,5	2,4	-231,0	-228,6	88,6	1/7/14; 1/8/14	A; B
2242	Lagerteil F	-231	118,6	3,1	3,0	-231,0	-228,0	88,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2243	Zufahrten Lagerteil F	-231	19,0	3,1	2,2	-231,0	-228,8	88,8	1/7/14; 1/8/14	A; B
2245	Abbau 10	-231	30,0	20,2	7,0	-231,0	-224,0	84,0	1/7/14; 1/8/14; 1/8/13	A; B
2246	Abbau 9	-231	47,0	18,0	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2247	Abbau 8	-231	61,0	18,5	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2248	Abbau 7	-231	74,0	17,7	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2249	Abbau 6	-231	84,0	18,5	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2250	Abbau 5	-231	85,0	18,0	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2251	Abbau 4	-231	87,0	18,2	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2252	Abbau 3	-231	58,0	18,0	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2253	Abbau 2	-231	73,0	19,0	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2258	Abbau	-231	96,5	18,5	7,0	-231,0	-224,0	84,0		A; B
2265	Zufahrt Abbau	-231	19,0	3,9	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2274	Lagerteil K	-231	59,0	5,4	32,0	-231,0	-199,0	59,0	1/8/13	B
2361	1. Südstrecke	-231	245,5	4,5	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/8/14	B
2364	Zufahrt Lagerteil F	-231	23,0	4,0	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2367	Lagerteil F	-231	105,0	3,5	16,0	-231,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2368	Lagerteil F	-231	33,0	17,8	16,0	-231,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2409	Lagerteil K	-231	54,0	4,9	32,0	-231,0	-199,0	59,0	1/8/13	B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.11 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2410	Lagerteil K	-231	36,0	3,0	32,0	-231,0	-199,0	59,0	1/8/13	B
2419	Zugang Lagerteil J	-231	51,0	3,0	2,4	-231,0	-228,6	88,6	1/8/14	B
2422	Lagerstrecke Lager J	-231	121,0	3,6	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/8/14	B
2423	Querschlag	-231	68,0	3,2	2,3	-231,0	-228,7	88,7	1/8/14	B
2426	Lagerteil J	-231	18,0	5,0	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/8/14	B
2427	Lagerteil J	-231	51,0	14,8	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/8/14	B
2428	Lagerteil J	-231	137,0	6,5	6,0	-231,0	-225,0	85,0	1/8/14	B
2429	Lagerstrecke Lager J	-231	71,0	4,0	2,3	-229,0	-226,7	86,7	1/8/14	B
2430	Lagerstrecke Lager J	-231	22,0	3,2	2,3	-229,0	-226,7	86,7	1/8/14	B
2432	Steinsalzstrecke	-231	86,0	3,0	2,3	-229,0	-226,7	86,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2433	Zugänge Lager F	-231	38,0	3,0	2,3	-230,0	-227,7	87,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2434	Carnallit-Lager F	-231	97,0	8,6	4,0	-230,0	-226,0	86,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2448	Lagerteil K	-210	64,5	7,1	25,0	-210,0	-185,0	45,0	1/8/13	B
2451	Hochbruch 21	-205	4,2	2,5	10,0	-205,0	-195,0	55,0	1/8/13	B
2455	Hochbruch 8	-210	4,2	2,5	25,0	-210,0	-185,0	45,0	1/8/13	B
2472	Lagerteil F	-225	32,0	3,6	4,0	-225,0	-221,0	81,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2476/77	Hauptgesenk Marie	-267				-	-	-	1/10/15	A; B
2490	Lagerteil F	-205	23,5	5,2	5,0	-205,0	-200,0	60,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2491	Lagerteil F	-205	74,5	15,8	5,0	-205,0	-200,0	60,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2492	Lagerteil F	-205	48,0	15,5	5,0	-205,0	-200,0	60,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2493	Lagerstrecke	-205	53,5	3,6	2,5	-205,0	-202,5	62,5	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.12 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2499	Lagerteil F	-210	167,0	13,5	5,0	-210,0	-205,0	65,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2510	Lagerteil F	-225	53,5	4,4	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2523	Lagerteil H	-195	60,0	8,5	4,0	-195,0	-191,0	51,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2524	Lagerteil H	-195	18,0	3,5	2,5	-195,0	-192,5	52,5	1/7/13; 1/8/13	A; B
2525	Lagerteil H/Querschlag	-195	52,0	3,5	2,5	-195,0	-192,5	52,5	1/7/13; 1/8/13	A; B
2581	Lagerteil H	-225	47,0	12,0	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2582	Lagerteil H	-225	73,0	12,0	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2583	Lagerteil H	-225	68,0	7,0	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2584	Lagerteil H	-225	36,0	6,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2585	Lagerteil H	-225	86,0	8,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2586	Lagerteil H	-225	60,0	7,5	10,0	-225,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2587	Lagerteil H	-225	92,0	7,5	40,0	-255,0	-215,0	75,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2588	Lagerteil H/Durchhiebe	-225	17,0	2,7	2,5	-225,0	-222,5	82,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2589	Lagerteil H/Querschlag	-225	12,0	3,2	2,5	-225,0	-222,5	82,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2590	Lagerteil H/Querschlag	-225	9,0	3,5	2,5	-225,0	-222,5	82,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2591	Lagerteil H/Querschlag	-225	12,0	3,5	2,5	-225,0	-222,5	82,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2595	Lagerteil H	-215	74,0	13,0	5,0	-215,0	-210,0	70,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2596	Lagerteil H	-215	60,0	9,0	5,0	-215,0	-210,0	70,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2597	Lagerteil H	-215	85,0	2,8	5,0	-215,0	-210,0	70,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2598	Lagerteil H/Querschlag	-215	13,0	3,8	2,5	-215,0	-212,5	72,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2599	Lagerteil H/Durchhiebe	-215	16,0	2,8	2,5	-215,0	-212,5	72,5	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.13 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2600	Lagerteil H	-215	32,0	4,0	4,0	-215,0	-211,0	71,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2601	Lagerteil H	-215	84,0	7,5	10,0	-215,0	-205,0	65,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2602	Lagerteil H	-215	83,0	8,0	10,0	-215,0	-205,0	65,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2603	Lagerteil H	-215	80,0	5,0	10,0	-215,0	-205,0	65,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2605	Lagerteil H	-215	22,0	2,6	2,5	-215,0	-212,5	72,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2606	Lagerteil H/Querschlag	-215	32,0	3,8	2,5	-215,0	-212,5	72,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2608	Lagerteil H	-205	80,0	8,8	6,0	-205,0	-199,0	59,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2609	Lagerteil H	-205	83,0	9,0	6,0	-205,0	-199,0	59,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2610	Lagerteil H	-205	50,0	4,2	10,0	-205,0	-195,0	55,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2611	Lagerteil H	-205	20,0	5,8	5,0	-205,0	-200,0	60,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2612	Lagerteil H/Durchhiebe	-205	34,0	2,4	2,5	-205,0	-202,5	62,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2613	Lagerteil H/Querschlag	-205	44,0	3,8	2,5	-205,0	-202,5	62,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2614	Lagerteil H	-205	44,0	2,6	2,0	-205,0	-203,0	63,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2615	Lagerteil H	-205	10,0	5,0	3,0	-205,0	-202,0	62,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2627	Lagerteil H	-210	70,0	3,0	15,0	-210,0	-195,0	55,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2628	Lagerteil H	-195	75,0	1,8	6,0	-195,0	-189,0	49,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2629	Lagerteil H	-195	100,0	1,7	6,0	-195,0	-189,0	49,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2630	Lagerteil H	-195	38,0	1,6	6,0	-195,0	-189,0	49,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2631	Lagerteil H/Querschnitt	-195	8,0	2,2	3,0	-195,0	-192,0	52,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2632	Lagerteil H	-195	16,0	1,6	6,0	-195,0	-189,0	49,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2633	Lagerteil H	-195	54,0	3,8	6,0	-195,0	-189,0	49,0	1/7/13; 1/8/13	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.14 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2634	Lagerteil H	-195	18,0	4,8	6,0	-195,0	-189,0	49,0	1/7/13; 1/8/13	A; B
2641	Lagerteil K	-267	26,0	4,1	13,0	-277,0	-264,0	124,0	1/8/14	B
2642	Lagerteil K/Steinsalzabbau	-267	62,5	10,8	5,0	-264,0	-259,0	119,0	1/8/14	B
2643	Lagerteil K	-267	73,0	4,3	2,5	-264,0	-261,5	121,5	1/8/14	B
2644	Lagerteil K	-267	61,0	8,7	13,0	-277,0	-264,0	124,0	1/8/14	B
2645	Strecke zum Lager M	-267	60,0	3,3	2,3	-277,0	-274,7	134,7	1/8/14	B
2648	Lagerteil K	-267	91,5	4,5	2,4	-264,0	-261,6	121,6	1/8/14	B
2653	Lagerteil K	-267	154,0	4,0	4,0	-277,0	-273,0	133,0	1/8/14	B
2654	Lagerteil K	-267	71,0	6,3	2,4	-263,0	-260,6	120,6	1/8/14	B
2655	Abbau 12	-267	56,0	14,8	8,0	-263,0	-255,0	115,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2656	Abbau 11	-267	91,0	14,3	8,0	-263,0	-255,0	115,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2658	Querschlag zum Abbau 11	-267	37,5	3,2	2,3	-263,0	-260,7	120,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2659	Querschlag aus Strecke	-267	30,0	3,6	2,4	-263,0	-260,6	120,6	1/7/14; 1/8/14	A; B
2660	Strecke zu den Abbauen	-267	374,0	4,1	2,5	-263,0	-260,5	120,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2661	Querschlag	-267	64,0	3,5	2,5	-263,0	-260,5	120,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2663	Steinsalz Abbau 10	-267	63,5	18,2	8,0	-263,0	-255,0	115,0	1/7/14; 1/8/14; 1/8/13	A; B
2664	Steinsalz Abbau 9	-267	72,5	16,8	8,0	-263,0	-255,0	115,0		A; B
2665	Steinsalz Abbau 8	-267	73,5	18,8	8,0	-263,0	-255,0	115,0		A; B
2666	Steinsalz Abbau 7	-267	78,0	16,5	8,0	-263,0	-255,0	115,0		A; B
2667	Steinsalz Abbau 6	-267	82,0	17,3	8,0	-263,0	-255,0	115,0		A; B
2668	Steinsalz Abbau 5	-267	80,5	16,8	8,0	-263,0	-255,0	115,0		A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.15 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2669	Steinsalz Abbau 4	-267	93,0	18,3	8,0	-263,0	-255,0	115,0		A; B
2670	Steinsalz Abbau 3	-267	89,5	17,3	8,0	-263,0	-255,0	115,0		A; B
2671	Steinsalz Abbau 2	-267	89,5	17,5	8,0	-263,0	-255,0	115,0	1/7/14; 1/8/14; 1/8/13	A; B
2674	Querschlag/Steinsalzabbau	-267	24,0	3,6	2,3	-263,0	-260,7	120,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2675	Querschlag/Steinsalzabbau	-267	49,6	3,4	2,3	-263,0	-260,7	120,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2676	Querschlag/Steinsalzabbau	-267	44,1	3,8	2,3	-263,0	-260,7	120,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2677	Querschlag/Steinsalzabbau	-267	62,0	3,7	2,3	-263,0	-260,7	120,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2678	Querschlag/Steinsalzabbau	-267	39,0	3,5	2,3	-263,0	-260,7	120,7	1/7/14; 1/8/14	A; B
2690	steigende Strecke	-185	40,0	2,7	2,2	-183,0	-180,8	40,8	1/8/13	B
2699	Lagerteil K	-185	85,0	10,3	4,0	-185,0	-181,0	41,0	1/8/13	B
2700	Lagerteil K	-185	25,0	3,5	4,0	-185,0	-181,0	41,0	1/8/13	B
2701	Lagerteil K/Begleitstrecke	-195	117,0	4,0	2,4	-199,0	-196,6	56,6	1/8/13	B
2702	Lagerteil K/Querschläge	-195	55,0	4,0	2,4	-199,0	-196,6	56,6	1/8/13	B
2703	Lagerteil K/Abbau	-195	132,8	7,2	14,0	-199,0	-185,0	45,0	1/8/13	B
2706	Strecke	-225	156,0	4,5	33,0	-255,0	-222,0	82,0	1/7/14; 1/8/14	A; B
2751	Steinsalz Abbau 1	-267	101,5	22,0	8,0	-264,0	-256,0	116,0	1/7/14;	A; B
2752	Steinsalz Abbau 1a	-267	91,0	13,9	8,0	-264,0	-256,0	116,0	1/8/14; 1/8/13	A; B
2753	Querschlag zum Abbau 1	-267	94,5	6,8	2,5	-264,0	-261,5	121,5	1/7/14; 1/8/14	A; B
2754	Querschlag zum Abbau 1 und 1a	-267	61,0	4,3	2,5	-264,0	-261,5	121,5	1/7/14; 1/8/14	A; B

Kennung Hohlraum- kataster	Bezeichnung	Sohle	Maße					Abstand zum Salzspiegel m	potentieller Zufluß	
			Länge m	Breite m	Höhe m	Sohle m NN	First m NN		Typ	Zustand
<i>1.2.1.1.1.16 Fortsetzung Tabelle 7.4</i>										
2761	Lagerteil K	-185	168,5	4,6	4,0	-185,0	-181,0	41,0	1/8/13	B
2762	Querschlag Lagerteil K	-185	16,5	4,6	2,5	-185,0	-182,5	42,5	1/8/13	B
2763	Lagerteil K	-195	170,0	5,5	14,0	-199,0	-185,0	45,0	1/8/13	B
2764	Begleitstrecke zum Lagerteil K	-195	214,0	3,6	2,5	-199,0	-196,5	56,5	1/8/13	B
2765	Querschlag Lagerteil K	-195	78,9	3,9	2,5	-199,0	-196,5	56,5	1/8/13	B
2766	Bremsberg	-195	36,5	4,2	1,8	-199,0	-197,2	57,2	1/8/13	B
2767	Lagerteil M	-205	92,0	3,9	5,5	-205,0	-199,5	59,5	1/8/13	B
2773	Lagerteil M	-231	60,0	3,5	4,0	-231,0	-227,0	87,0	1/8/14	B
2775	Steinsalzabbau	-210	56,0	8,0	3,0	-210,0	-207,0	67,0	1/8/14	B
2776	Lagerteil M	-210	65,0	4,4	1,5	-210,0	-208,5	68,5	1/8/14	B
2777	Lagerteil M	-210	60,0	6,9	1,7	-210,0	-208,3	68,3	1/8/14	B
2778	Bremsberg	-195	112,0	4,1	1,8	-199,0	-197,2	57,2	1/8/13	B