

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Zusammenstellung von modellierungsrelevanten Parametern der Schichtenfolge Deckanhydrit - Grauer Salzton - Leinekarbonat (DGL) im Hutgestein des ERA Morsleben

Autor: Ranft, M.

Erscheinungsjahr: 2001

Unterlagen-Nr.: P 119

Revision: 00

Unterlagenteil:



ERAM, Hutgestein, Geologie, Hydrogeologie, Parameter, Modellierung, Deckanhydrit, Grauer Salztou, Leinekarbonat, DGL

Zusammenstellung von modellierungsrelevanten Parametern der Schichtenfolge Deckanhydrit – Grauer Salztou – Leinekarbonat (DGL) im Hutgestein des ERA Morsleben

Matthias Ranft

Zusammenfassung

Ein wesentliches Element für die Modellierung von Lösungszutritten und Salzlösungsaustritten in der Nachbetriebsphase des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist das Hutgestein mit der Schichtenfolge Deckanhydrit - Grauer Salztou – Leinekarbonat (DGL).

Im Zuge betrieblicher Erkundungsarbeiten nach Abschluss der Erkundungs- und Auswertungsarbeiten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens wurden weitere modellrelevante Daten zur Schichtenfolge DGL gewonnen, welche die bereits im Rahmen der Untersuchungen zum Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des ERA Morsleben ermittelten Parameter bestätigen.

Der vorliegende Bericht dokumentiert zusammenfassend anhand dieser erweiterten Datenbasis die den Lösungstransport im Hutgestein bestimmenden geologischen und hydrogeologischen Parameter der Schichtenfolge DGL. Es wird ein Datensatz zur einheitlichen Verwendung für Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit und für Zuflussberechnungen abgeleitet.

Inhaltsverzeichnis

Inhalt:	Seite:
Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
Anlagenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	8
1 Vorbemerkungen	9
2 Hydrogeologische Charakterisierung des Hutgesteins	11
3 Lagerungsverhältnisse und modellierungsrelevante Parameter der Schichtenfolge DGL	17
3.1 Lagerungsverhältnisse	17
3.2 Mächtigkeit und Textur	21
3.3 Mineralogische Zusammensetzung	29
3.4 Porosität	32
3.5 Permeabilität	33
3.6 Veränderlichkeit der Modellparameter	38
4 Literaturverzeichnis	42
Gesamtblattzahl der Unterlage (Text und Anlagen):	61

Anlagenverzeichnis

Anlage:	Seite:
Anlage 1: Hauptanhydrit und DGL-Ausstrich am Salzspiegel sowie Isolinien der Salzspiegelteufe und Hutgesteinsmächtigkeit	57
Anlage 2: schematischer geologischer Südost- Nordwest- Schnitt.....	58
Anlage 3: Geologie an der Oberfläche des Hutgesteins (aus BALZER 2000).....	59
Anlage 4: Hydrostratigraphische Einheiten über DGL an der Hutgesteinsoberfläche (verändert nach KLEMENZ et al. 2001).....	60
Anlage 5: Schnitte aus dem hydrogeologischen 3D-Modell zur Visualisierung der hydrogeologischen Verhältnisse am Ausstrich der Schichtenfolge DGL am Top Hutgestein (verändert nach KLEMENZ et al. 2001).....	61

Abkürzungsverzeichnis

- ERAM **E**ndlager für **r**adioaktive **A**bfälle **M**orsleben
- BLM **B**ohr**l**och**m**essung Storkow GmbH
- DGL **D**eckanhydrit – **G**rauer Salzton – **L**einekarbonat im Hutgestein
- GFE **G**eologische **F**orschung und **E**rkundung GmbH
- GOK **G**elände**o**ber**k**ante
- IfG **I**nstitut **f**ür angewandte **G**ebirgsmechanik
- m NN **m** unter **N**ormal **N**ull
- PFV **P**lan**f**eststellungs**v**erfahren
- TU **T**echnische **U**niversität
- v. K. **v**om **K**opf (des Bohrkerns)
- WL **W**echs**e**ll**a**gerung

stratigraphische Symbole im Deckgebirge nach [PREUSS et al. \(1991\)](#)

stratigraphische Symbole im Salinar entsprechend [BEHLAU et al. \(1997\)](#)

Tabellenverzeichnis

Tabelle:	Seite:
Tabelle 1: Ergebnisse der hydraulischen Tests am Salzspiegel in den schachtnahen Bohrungen (GOLDER ASSOCIATES 1998a,b,c,d,e).....	14
Tabelle 2: Kluftanzahl je Kernmeter in den Schichtgliedern der DGL.....	25
Tabelle 3: Anzahl der vorhandenen und potentiellen Trennfugen je Kernmeter in den Schichtgliedern der DGL.....	28
Tabelle 4: Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit für verschiedene Fließquerschnitte und Zuflussmengen.....	39
Tabelle 5: Zusammenstellung der Aufschlüsse der zechsteinzeitlichen Leithorizonte z2DA, z3GT, z3LK im Hutgestein des Untersuchungsgebietes und Berechnung der wahren Mächtigkeiten.....	48
Tabelle 6: Mineralogische Zusammensetzung der Schichtfolge DGL aus der Untersuchung einzelner Proben aus dem Grubengebäude ERA Morsleben (Angaben in Prozent) aus SCHRAMM & SÖNNKE (2001).....	51
Tabelle 7: Mineralogische Zusammensetzung der subrosiven Fazies der Schichten Deckanhydrit, Grauer Salzton und Leinekarbonat im Hutgestein (Angaben in Prozent).....	52
Tabelle 8: Porositätsdaten der subrosiven Fazies der Schichtenfolge DGL (Angaben in Vol-%).....	54
Tabelle 9: Hydraulische Tests im Hutgestein mit Einbeziehung der zechsteinzeitlichen Leithorizonte z2DA, z3GT, z3LK und Labordaten von Durchlässigkeitsbestimmungen (verändert und ergänzt nach (LANGKUTSCH et al. 1998).....	55
Tabelle 10: abgeleitete Transmissivitäten der DGL für einzelnen Testintervalle und hydraulische Durchlässigkeit der DGL.....	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung:	Seite:
Abbildung 1: Mittlere Mächtigkeiten [m] der einzelnen Horizonte der Schichtenfolge „DGL“	22
Abbildung 2: Kernabschnitt 202,0m bis 202,3m der Bohrung Dp Mors 65A (z3GT), Brekzie aus Tonstein (z3GT) und Dolomitstein (z3LK), bei 0cm – 7cm gipsgefüllte Kluft	24
Abbildung 3: Kernabschnitt 191,0m bis 195,0m der Bohrung Dp Mors 97A1 (gesamte DGL), rot – Schichtgrenzen, gelb – Leinekarbonatbruchstücke (Beisp.) im z3GT	24
Abbildung 4: Kernabschnitt 200,7m bis 201,0m der Bohrung Dp Mors 65 (z3LK), Dolomitsteinbrekzie, Bruchstücke (Internschichtung) z. T. noch schichtig orientiert, zahlreiche kurze aussetzende Gipsklüfte, bei 200,9m durchgehende Kluft, Trennfläche (vermutlich d. Kerntrennung bei 200,7m).....	26
Abbildung 5: Kernabschnitt 227,38m bis 227,74m der Bohrung Dp Mors 98 (z3GT), massige Textur, vorhandene Trennfugen bei 227,43m, 227,58m, 227,72m, Gipsklüfte teilweise aufgefiedert, durchlaufend und ausgesetzt	26
Abbildung 6: Zusammensetzung des Grauen Salztou in subrosiver und nicht subrosiver Fazies.....	30
Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Ergebnisplot der Bohrlochgeophysik Dp Mors 99A 170m - 182m (BLM 1998).....	34
Abbildung 8: Darstellung der berechneten Filtergeschwindigkeiten im HJULSTRÖM-Diagramm (Farbe der Datenpunkte nach Tabelle 4).....	40

1 Vorbemerkungen

Als eine der Grundlagen für die Betrachtungen der Langzeitsicherheit des Endlagers Morsleben wird von einem in der Nachbetriebsphase nicht auszuschließenden Lösungszutritt in das Grubengebäude ausgegangen (KÄBEL ET AL. 1999; KÄBEL 2002). Für erste Modellrechnungen wurde als einfachste Annahme von einer instantanen Flutung am ersten Tag der Nachbetriebsphase ausgegangen. Diese Annahme ist jedoch geologisch nicht sinnvoll. Vielmehr wird der Prozess der Flutung aufgrund einer begrenzten Zutrittsrate eine längere Zeit in Anspruch nehmen. Sowohl der Prozess des Zulaufs als auch der mögliche Transport von kontaminierten Lösungen aus der Grube in die Biosphäre ist dabei in hohem Maße von den geologischen Gegebenheiten im Deckgebirge (incl. Hutgestein) abhängig. Zur Modellierung der sich ergebenden Transportvorgänge sind daher die relevanten Parameter der den Transport beeinflussenden Schichteinheiten zu erfassen.

Die Auswertung aller vorliegenden geowissenschaftlichen Daten hat gezeigt, dass dem Hutgestein dabei eine entscheidende Rolle zukommt (LANGKUTSCH ET AL. 1998). Innerhalb des Hutgesteins hat sich, basierend auf den hydrogeologischen Eigenschaften und ihrer Umsetzung in ein Transportmodell, die Schichtenfolge Deckanhydrit – Grauer Salzton – Leinekarbonat (DGL) aufgrund ihrer vergleichsweise höheren Durchlässigkeit als wesentliches Element sowohl für den Lösungszutritt als auch für ggf. erfolgende Transportprozesse aus der gefluteten Grube herausgestellt.

Mit diesem Bericht werden als Basis für weitere Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit alle in den Erkundungsergebnissen verfügbaren Daten zur Schichtenfolge DGL in einer Unterlage nachvollziehbar dokumentiert. Dies ist insbesondere erforderlich, da nach Abschluss der geologischen Standorterkundung im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung des ERA Morsleben aufgrund betrieblicher Forderungen des Bergamtes noch weitere umfangreiche Aufschlüsse des Hutgesteins incl. des Salzspiegels und der Schichtenfolge DGL erfolgten. Sie sind in verschiedenen Berichten des Untersuchungsprogramms zu den schachtnahen Bereichen dokumentiert (GOLDER ASSOCIATES 1998A,B,C,D,E; BLM 1998A,B,C,D,E; GFE 1998A,B,C,D,E). Die wesentlichen, im vorlie-

genden Bericht behandelten modellierungsrelevanten Parameter sind dabei:

- die Lagerungsverhältnisse (für die Modelldiskretisierung), [Kap. 3.1](#)
- die Mächtigkeit und Textur der Schichtenfolge DGL und ihrer Schichtglieder, [Kap. 3.2](#)
- ihre mineralogische Zusammensetzung [Kap. 3.3](#)
- die Porosität und [Kap. 3.4](#)
- die Permeabilität. [Kap. 3.5](#)

2 Hydrogeologische Charakterisierung des Hutgesteins

Die hydrogeologische Analyse der im Rahmen der Standorterkundung gewonnenen Daten zeigt, dass der rechnerische Nachweis für den Zu- und Austritt von Lösungen in die Grubenteile des ERAM im wesentlichen vom überlagernden Hutgestein und Deckgebirge bestimmt wird. Möglichen Fließwegen innerhalb der Salzstruktur kann kein belastbarer Fließwiderstand zugewiesen werden, da bei einem Zutritt von untersättigten Lösungen aus dem Deckgebirge erfahrungsgemäß sehr schnell neue und größere Wegsamkeiten durch Lösungsprozesse entstehen können.

Das Deckgebirge stellt hinsichtlich der Zuflussfragestellung das „Wasserreservoir“ dar, welches die in das Grubengebäude eintretenden Lösungen zur Verfügung stellt. Es ist im Bereich des Grubenfeldes des ERAM aus unterschiedlichen Gesteinen zusammengesetzt (sandig-schluffige Kreide, toniger Jura, geklüftete und ungeklüftete z. T. gips-haltige Keupertonsteine, schluffiger Schilfsandstein). Diesen Schichtfolgen ist jedoch mit Ausnahme des Oberen und Unteren Gipskeuper gemeinsam, dass ihre Durchlässigkeit deutlich größer ist, als die des unterlagernden Hutgesteins. Daher spielt das Deck- und Nebengebirge in der Parametrisierung eines Zuflusses in die Grubenhohlräume nur eine nachgeordnete Rolle. Für Zuflussberechnungen und die Parametrisierung von Transportprozessen ggf. radionuklidbelasteter Lösungen liegen alle notwendigen Daten für die Schichtabfolgen des Deck- und Nebengebirges vor, sie sind in der hydrogeologischen Standortbeschreibung ([LANGKUTSCH et al. 1998](#)) und im 3D-Grundwassermodell ([KLEMENZ et al. 2001](#)) dokumentiert und verarbeitet.

Das Hutgestein entstand durch die Einwirkung des Grundwassers auf die löslichen und unlöslichen Schichtglieder der salinaren Abfolge. Entsprechend der strukturgeschichtlichen Entwicklung und der jeweiligen hydrogeologischen Situation ist das Hutgestein während unterschiedlicher Zeitabschnitte entstanden ([KÄBEL 2000](#); [BEST & ZIRNGAST 1998](#)).

Die Entstehung, Lagerungsverhältnisse und Lithologie sind ausführlich in [BALZER \(1998\)](#) beschrieben.

Für die hydrogeologische Charakterisierung des Hutgesteins standen neben den in [LANGKUTSCH et al. \(1998\)](#) genannten 36 verwertbaren

Einzeltests mit summarisch 1064m getestetem Hutgestein weitere 8 Tests aus dem schachtnahen Erkundungsprogramm mit 148 Testmetern zur Verfügung. Alle Erkundungsdaten ([GOLDER ASSOCIATES 1998a,b,c,d](#)) aus diesem Erkundungsprogramm bestätigen die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse zur hydrogeologischen Charakterisierung und zur Parametrisierung des Hutgesteins.

Auf Basis der geologischen Beschreibung des Hutgesteins ([BALZER 1998](#)) werden von [LANGKUTSCH et al. \(1998\)](#) folgende hydrogeologische Ausbildungsformen unterschieden.

residuale Ca-Sulfatgesteine

residuale Ca-Sulfatgesteine

Die residualen Ca-Sulfatgesteine bestehen aus den Resten der im Zuge der Salinarsubrosion gelösten salinaren Zechsteineinheiten sowie Neukristallisationen von Anhydrit und Gips aus sulfatübersättigten Lösungen. Die Kluftdichte liegt zwischen 0,02 und 0,5 Klüften pro Meter. Nur sehr vereinzelt treten offene bzw. partiell offene Klüfte auf, die jedoch kein vernetztes Kluftsystem bilden. Neben Gips tritt auch Steinsalz als Kluftmineral auf.

zechsteinzeitliche Schichtglieder und deren Subrosionsäquivalente

zechsteinzeitliche Leithorizonte

Diese Ausbildungsform des Hutgesteins umfasst die nicht bzw. schwer löslichen Schichtenfolgen des Zechsteins, die im Zuge der Subrosion in das Hutgestein einbezogen wurden. Es handelt sich um:

- Roten Salzton
- Hauptanhydrit
- Leinekarbonat
- Grauen Salzton
- Deckanhydrit.

Je nach subrosiven Verhältnissen können diese Schichtglieder teilweise nahezu unverändert in das Hutgestein einbezogen werden. So hat die Subrosion beim Hauptanhydrit häufig nicht zur Vergipsung der gesamten Schichtenfolge, sondern nur zu einer partiellen Vergipsung in Abhängigkeit von der Verteilung präsubrosiv angelegter Klüfte geführt. Bei den weniger mächtigen zechsteinzeitlichen Leithorizonten (Roter Salzton, Schichtenfolge DGL) kam es im Zuge der Subrosion zu einer zusätzlichen Brekzierung und Vermengung der durch die halotektonischen

Prozesse bereits stark texturgestörten einzelnen Bestandteile. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen zechsteinzeitlichen Leithorizonte findet sich in [BALZER \(1998\)](#) und die Dokumentation der hydrogeologischen Eigenschaften in [LANGKUTSCH et al. \(1998\)](#). Im Kap. 2 dieses Berichtes werden die vorhandenen modellierungsrelevanten Parameter zur Schichtenfolge Deckanhydrit – Grauer Salzton – Leinekarbonat gemeinsam mit den neuen Daten aus der Erkundung der schachtnahen Bereiche dargestellt.

Salzspiegel

Salzspiegel

Der Salzspiegel, definiert als Grenzfläche zwischen subrosiv gebildetem Hutgestein und den unveränderten salinaren Schichtenfolgen in der Salzstruktur, liegt bis auf wenige geologisch definierte Eintiefungen im Bereich des ERAM relativ konstant bei -140m NN. Im Verlauf der geologischen Erkundung im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zu Stilllegung des ERA Morsleben wurden verschiedene Salzspiegelbohrungen und -tests durchgeführt. Die mineralogisch-petrographischen Ergebnisse sind in [BALZER \(1998\)](#), die hydrogeologischen Ergebnisse in [LANGKUTSCH et al. \(1998\)](#) dargestellt. Sie belegen, dass der Bereich des Salzspiegels unter den derzeitigen subrosiven Verhältnissen hydraulisch dicht ist. Lediglich an den Ausstrichen des Kaliflözes ist, sofern diese von einer DGL-Scholle im Hutgestein begleitet werden, aufgrund von selektiven Subrosionsprozessen mit einem bevorzugten Fließweg (entlang des Kaliflözausstrichs) am Salzspiegel zu rechnen ([KÄBEL 1998](#)). Bei Kaliflözausstrichen am Salzspiegel ohne Anbindung an die Schichtenfolge DGL wurden bei der Erkundung keine selektiven Subrosionserscheinungen beobachtet (s. Bohrung Dp Mors 96). In dieser Bohrung wurde das Kaliflöz Staßfurt praktisch unmittelbar am Salzspiegel (1,3m unterhalb) angetroffen. Der Salzspiegel liegt an dieser Stelle im Bereich des Schachtes Bartensleben im Normalniveau der Salzstruktur bei -139,7m NN. Das Hutgestein enthält hier keine zechsteinzeitlichen Leithorizonte, sondern besteht aus den Residuen des z2Na.

Die hydraulischen Testergebnisse aus den Bohrungen zur Erkundung der schachtnahen Bereiche belegen ohne Ausnahme diese Ergebnisse (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der hydraulischen Tests am Salzspiegel in den schachtnahen Bohrungen (GOLDER ASSOCIATES 1998a,b,c,d,e)

Bohrung/ Test	Intervall [m u. GOK]	Transmissivität [m ² /s]	Bandbreite [m ² /s]		Bemerkung
Dp Mors 96A T8	266.50 275.58	1,0E-10	1,0E-10	2,0E-9	Test überdeckt außer Salzspiegel fast ges. Hutgestein, von 266,5m bis 267,5m Karst mit Keuperfüllung
Dp Mors 97A T6	265,00 270,08	1,0E-12			Salzspiegel bei 268,00m Schätzwert für Salzspiegel, im Testintervall Karstfüllung? (1E-9m ² /s) aufgeschlossen
Dp Mors 98AT6	256,00 270.09	2,5E-10	1,0E-10	4,0E-10	viel Hutgestein im Intervall, teilw. vergipster z2HA
Dp Mors 99AT5	264.50 269.58	1,0E-13	1.0E-13	5,0E-12	fast nur Salzspiegel getestet, Salzspiegel bei 268,35m
Dp Mors 100A T10	267,32 274,40	9,8E-13	7,0E-13	2,0E-11	fast nur Salzspiegel getestet, Salzspiegel bei 273,80m

Der Salzspiegel wurde in allen schachtnahen Bohrungen als direkter Kontakt Salz/Hutgestein (im Gesteinsverband) ohne Hohlräume angetroffen.

Karstbildungen

Sulfatkarsterscheinungen im Hutgestein sind an lokale, räumlich begrenzte Lösungsvorgänge in den residualen sulfatischen Gesteinen und sulfatische zechsteinzeitliche Leithorizonte (Hauptanhydrit) gebunden. Sie sind hinsichtlich Genese, Lithologie und Lagerungsverhältnisse sowie ihrer hydrogeologischen Stellung in BALZER (1998:76-80) und LANGKUTSCH et al. (1998) dokumentiert. Rezente Sulfatkarstbildungen sind nur am Top des Hutgesteins in seinen Hochlagen bei Überlagerung durch Grundwasserleiter (Quartär) möglich.

Auch in den Bohrungen zur Erkundung der schachtnahen Bereiche wurden Sulfatkarsterscheinungen im Hutgestein angetroffen. Es handelt sich um wenige cm bis ca. 5m (Dp Mors 100A) mächtige (scheinbare Mächtigkeit) Einlagerungen von Deckgebirgs-

Karst

material (hier Jura und Keuper) im oberen Teil des Hutgesteins. Hydrogeologisch sind diese Bereiche bei hydraulischen Tests durch eine um ein bis zwei Größenordnungen erhöhte Durchlässigkeit im Vergleich mit dem umgebenden Hutgestein in Erscheinung getreten. Bei der Auswertung dieser Tests zeigte sich jedoch ein Druckverhalten, das auf eine permeablere innere und eine geringer permeable äußere Zone um das Testintervall hinwies. Dies zeigt, dass es sich um lokale, im undurchlässigen Hutgestein eingeschlossene Bereiche mit vergleichsweise höherer Permeabilität handelt. Damit wurde die Aussage in LANGKUTSCH et al. (1998) bestätigt: *„...Bei der Modellierung der regionalen Grundwasserverhältnisse stellen diese Karstbildungenlediglich lokale Unstetigkeiten dar, die vernachlässigt werden können. Dagegen können sie im Zusammenhang mit der Modellierung einer eindimensionalen Strömung (Radionuklidtransport aus dem ERAM) Bedeutung haben, weil sie im Zusammenspiel mit der DGL den Transportweg durch das „intakte“ Hutgestein verkürzen können...“.*

Die geologische und hydrogeologische Synthese aller Daten im Hinblick auf die hydrogeologische Modellierung führte zu einer Gliederung der o.a. Ausbildungsformen des Hutgesteins in zwei hydrostratigraphische Modelleinheiten. Des weiteren wurden 4 Sonderformen des Hutgesteins definiert, die mit den o. a. Karsterscheinungen in Verbindung stehen.

1. Modelleinheit „intaktes Hutgestein“

„intaktes Hutgestein“

In dieser Modelleinheit (Hauptteil des Hutgesteins) werden die residualen Ca-Sulfatgesteine und die zechsteinzeitlichen Leithorizonte Roter Salzton und Hauptanhydrit zusammengefasst. Die Modellpermeabilität beträgt $<K=1E-18m^2$ bzw. $<k_f=1E-11m/s$ (Durchlässigkeitsbeiwert) bei einer diffusionszugänglichen Matrixporosität von $<0,001$ bis $0,005$ (Referenzwert $0,001$) (LANGKUTSCH et al. 1998). Aufgrund der lithologisch bedingten praktischen Undurchlässigkeit der Gesteinsmatrix besteht das konzeptuelle Modell der Durchlässigkeit dieser Modelleinheit aus einem System von weitmaschig vernetzten, gefüllten, partiell offenen Klüften.

2. Modelleinheit „Schichtenfolge DGL“

DGL

Diese Modelleinheit umfasst die zechsteinzeitlichen Leithorizonte Deckanhydrit, Grauer Salzton und Leinekarbonat. Aufgrund der

lithologischen Eigenschaften und gestützt auf die Erkundungsergebnisse weist diese Gesteinseinheit im Vergleich mit dem „intakten Hutgestein“ eine höhere Permeabilität auf. Daher und aufgrund der Lagerungsverhältnisse ist sie von Relevanz für die Transportprozesse im Hutgestein und wurde als gesonderte Modelleinheit behandelt. Ihre Parameter werden im [Kapitel 3](#) zusammenfassend dargestellt.

Sonderformen „Karst“

Karst

Die Karsterscheinungen können hydrogeologisch in 4 Formen gegliedert werden ([LANGKUTSCH et al. 1998](#)):

- Karstschlotten (Sulfatkarst),
- offene oder partiell offene Klüfte im Hauptanhydrit (z3HA),
- isolierte Hohlräume im Salzspiegelniveau (Chloridkarst),
- selektiv subrodiertes Kaliflöz.

Während die als Reste aktiver Subrosionsphasen (Elster-Kaltzeit) zu interpretierenden abgeschlossenen Hohlräume im Salzspiegelniveau keine modelltechnische Bedeutung haben, sind die Elemente „Karstschlotten“ oder „offene Klüfte im z3HA“ für Transportrechnungen von Relevanz, da sie zu einer Verkürzung des Fließweges durch das Hutgestein zum Salzspiegel führen können. Das hydrostratigraphische Element „selektiv subrodiertes Kaliflöz“ ist bei Zuflussberechnungen zu berücksichtigen, da durch dieses Element (ansonsten aufgrund der Lagerungsverhältnisse (Zerblockung, siehe [Kap. 3.1](#)) getrennte DGL-Schollen) an der Basis des Hutgesteins miteinander verbunden werden können. So kann ein größerer Einzugsbereich für aus dem überlagernden Deckgebirge zutretende Grundwässer entstehen.

Der Salzspiegel tritt modellmäßig nicht in Erscheinung, weil seine Permeabilität der des „intakten Hutgesteins“ entspricht ($<1E-18m^2$). Nur in Bereichen mit selektiver Subrosion am Kaliflöz ist mit erhöhten Durchlässigkeiten zu rechnen. Erkundungsdaten liegen dazu nicht vor. Unter Berücksichtigung der Dynamik der Zuflüsse im Lager H ([KÄBEL 1998](#)) sowie der rezenten Bedingungen am Salzspiegel ([BALZER 1998](#)) werden für Modellrechnungen Anfangswerte zwischen $1E-9m/s$ und $1E-8m/s$ vorgeschlagen.

Salzspiegel

Das unterlagernde Salzgestein verfügt im unverritzten Zustand nach [WEBER & WALLNER \(1998\)](#) über eine Permeabilität $<1E-20m^2$.

Salzgestein

3 Lagerungsverhältnisse und modellierungsrelevante Parameter der Schichtenfolge DGL

3.1 Lagerungsverhältnisse

Die Schichtenfolge DGL besteht aus den Bildungen der letzten Sedimentationsphase des Staßfurtzyklus (Deckanhydrit [z2DA]) und der beiden ersten Abscheidungen des folgenden Leinezyklus (Grauer Salzton [z3GT], Leinekarbonat [z3LK]). Unter normalen Lagerungsverhältnissen liegt die Schichtenfolge damit im Liegenden des stratigraphisch jüngeren Hauptanhydrits [z3HA]. Sie wurde im Zuge der Salzstrukturbildung mit dieser kompetenten Schicht verformt, so dass sowohl im Salinar als auch im Hutgestein ihr Verteilungsmuster dem des Hauptanhydrits entspricht. Wie der überlagernde Hauptanhydrit ist die Schichtenfolge DGL im Zuge der Strukturbildung in einzelne Schollen zerbrochen. In die Zwischenräume ist häufig das mobile Kaliflöz Staßfurt (z2SF) oder aber auch Steinsalz gewandert. Der im Vergleich mit den sulfatischen Gesteinen der salinaren Abfolge „plastisch“ reagierende Graue Salzton (z. T. auch der z2DA) ist bei diesen halokinetischen Prozessen z. T. ausgedünnt oder vor Hauptanhydritschollen angestaut worden. Halotektonisch bedingt können auch einzelne Elemente der Schichtenfolge (i. b. die inkompetenteren Schichten des Deckanhydrit oder Leinekarbonat) abgeschert sein. Insgesamt zeigen die Schichten des Deckanhydrit, Grauen Salzton und Leinekarbonat bezüglich Lagerungsverhältnissen und Verbreitung ein einheitliches Verhalten (s. auch [SCHWANDT 1991:16](#)). Aufgrund des einheitlichen Verhaltens ist davon auszugehen, dass die gesamte Schichtenfolge DGL den gleichen „Zerblockungsgrad“ aufweist wie der Hauptanhydrit. Dies bestätigen auch Untersuchungen aus anderen Gebieten ([KAMLOT 1991](#)). Im Lagerstättenmodell des ERAM tritt die DGL wie der Hauptanhydrit am Salzspiegel als durchgehender Strang einzelner Schollen nur an der Westflanke der Hauptmulde auf ([BEHLAU et al. 1997](#), [BEHLAU & MINGERZAHN 1998a/b](#)). Wie beim Hauptanhydrit ist eine flächenhafte Verbreitung (und damit Verbindungen zum Salzspiegel) oberhalb der 1. Sohle im Ostfeld, Westfeld und Südfeld nicht gegeben ([BEHLAU & MINGERZAHN 1999](#)). Die

Verbreitung und Zerblockung des Hauptanhydrits (nur Großschollen) am Salzspiegel ist in [Anlage 1](#) dargestellt.

Im Zuge der Salinarsubrosion wurden die DGL-Schollen mit den Hauptanhydritschollen Bestandteil des Hutgesteins. Die Erkundungsdaten zum Hutgestein belegen das Auftreten einer Vielzahl einzelner, isolierter z3HA-Schollen im Hutgestein. Die größte und flächenhafteste Verbreitung hat die Schichtenfolge DGL im Bereich der medianen Hutgesteinsaufwölbung in Fortsetzung der Westflanke der Hauptmulde des Salinarkörpers (s. [BALZER 1998](#), Anlage 6 bis 15). Hier liegt sie aufgrund der überkippten Lagerungsverhältnisse im Hangenden des Hauptanhydrit. Aber auch hier ist sie sowohl im Streichen als auch in vertikaler Richtung in einzelne Schollen zerblockt (s. [Anlage 2](#)), die durch residuale Ca-Sulfatgesteine voneinander getrennt sind.

Die geologische Situation am Top des Hutgesteins (auf der Basis von Bohrerergebnissen) ist in [Anlage 3](#) dargestellt. Sie belegt die starke Zerblockung der Schichtenfolge DGL gemeinsam mit dem die Lagerungsverhältnisse bestimmenden z3HA. Eine Quantifizierung der Zerblockung ist nur auf der Basis von Analogiebetrachtungen zum Salinar möglich. Die durchschnittliche vertikale Erstreckung von zusammenhängenden Hauptanhydrit- und damit auch DGL-Schollen wird dort in den geologischen Schnitten von [BEHLAU et al. \(1997\)](#) mit ca. 90 m bis ca. 100 m dargestellt, wobei nach Ansicht der Bearbeiter die tatsächliche Zerstückelung größer ist. In horizontaler Richtung ist die durchschnittlich Schollenlänge im Lagerstättenmodell etwas größer. Generell ist die Darstellung jedoch aufschluss- und konstruktionsbedingt sehr differenziert. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten ist ein konservativ gewählter Referenzwert von 200 m für die streichende Erstreckung durchgehender (unzerbrochener) DGL/z3HA-Schollen im Hutgestein sinnvoll.

In vertikaler Richtung (d. h. vom Salzspiegel zum Top Hutgestein) kann die Schichtenfolge DGL für Modellrechnungen trotz der Zerblockung konservativ (im Hinblick auf den Zu- und Abfluss von Lösungen) als durchgehend angesehen werden. Die Länge des sich somit ergebenden Fließweges resultiert aus der jeweiligen Mächtigkeit des Hutgesteins am Ausstrich und der Neigung der DGL im Hutgestein. Für den relevanten Bereich (Zentralteil bis Nordfeld der Grube Bartensleben) ergibt sich somit eine Fließweglänge von ca. 220m (ca. 130m Hutgesteins-

Fließweglänge

mächtigkeit bei ca. 37° Neigung der DGL). Hier ist die Fließweglänge aufgrund der Lagerungsverhältnisse der DGL und der Hutgesteinsmächtigkeit vergleichsweise gering (vgl. [Anlage 5](#), Schnitt 5). Als oberer Wert der Bandbreite sollten 500m angesetzt werden. Dieser Wert berücksichtigt mögliche länger DGL-Stränge im Hutgestein (z.B. im SE-Feld) und die Tortuosität des Fließweges in der DGL. Bei der Festsetzung des unteren Wertes der Bandbreite ist zu berücksichtigen, dass durch die o. a. Karsterscheinungen im Hutgestein

- Karstschloten (Sulfatkarst),
- offene oder partiell offene Klüfte im Hauptanhydrit

der Fließweg in der Schichtenfolge DGL verkürzt werden kann. Als untere Bandbreite wird basierend auf den Erkundungsergebnissen ein Wert von 100m festgelegt. Die Fließwegverkürzung ist im Fall einer Karstschlotte hinsichtlich der Wahl der Parameter (Permeabilität, Sorption) unerheblich, da diese Karsterscheinungen am Top des Hutgesteins bei der Erkundung stets mit tonig schluffigen Sedimenten (Keuper, Kreide, Tertiär) verfüllt angetroffen wurden ([BALZER 1998:77](#)). Hydraulische Testintervalle, in denen verfüllte Karstschloten angetroffen wurden, erbrachten mit der Schichtenfolge DGL vergleichbare Permeabilitäten. Lediglich bei der Fließwegverkürzung über eine offene oder partiell offene Kluft im benachbarten Hauptanhydrit ist mit deutlich abweichenden Parametern (Permeabilität, Sorption) zu rechnen.

Von hydrogeologischer Bedeutung ist die Ansammlung der DGL-Schollen im Hutgestein oberhalb der Westflanke der Hauptmulde. Nur hier kann über diese Schichtenfolge im Hutgestein eine hydraulische Verbindung zwischen Salzspiegel und überlagerndem Deckgebirge unterstellt werden.

Aufgrund der Lagerungsverhältnisse des Deckgebirges trifft die Schichtenfolge DGL an ihrem Ausstrich an der Oberfläche des Hutgesteins auf unterschiedliche hydrostratigraphische Einheiten.

Im Norden, auf Höhe des Schachtes Marie bis ca. 500m südlich des Schachtes wird die Schichtenfolge DGL vom geringdurchlässigen Jura überlagert. Diese sind meist nur wenige Meter mächtig. Darüber folgen die grundwasserleitenden kretazischen und quartären Schichten der Allertalzone. Ein unmittelbarer Kontakt zwischen Kreide und ausstreichenden DGL-Schollen ist hier wegen der teilweise lückenhaften und geringmächtigen Verbreitung des Jura möglich.

Nach Süden folgend, bis zum Nordfeld Bartensleben, wird der Ausstrich der DGL von Steinmergelkeuper heterogener Durchlässigkeit (ca. $k_f=1E-8m/s$ bis $1E-7m/s$) überlagert. Über diesem folgt geringmächtiges Quartär.

Im Bereich des Zentralteils greifen ältere Schichtenfolgen auf die mediane Hutgesteinsaufwölbung über, so dass als Überlagerung von Norden nach Süden Oberer Gipskeuper und Schilfsandstein anstehen.

Südlich des Zentralteils stehen wiederum geringmächtiger Jura und Steinmergelkeuper am Ausstrich der DGL an. Ähnlich wie im nördlichen Teil des Grubenfeldes sind hier direkte Kontakte zu den überlagernden kretazischen Schichten möglich.

Am südlichen Ende des Grubenfeldes (Südende Südostfeld) wird die Schichtenfolge DGL unmittelbar durch Kreide überlagert.

Die beschriebenen Lagerungsverhältnisse am Top der DGL werden durch [Anlage 4](#) illustriert. Sie zeigt einen Ausschnitt aus dem hydrogeologischen 3D-Modell, in dem für die Linie der größten (durchgängigsten) DGL-Verbreitung entlang der medianen Hutgesteinsaufwölbung die jeweils überlagernde Modelleinheit dargestellt ist. Die Form und Größe der dargestellten farbigen Flächen ergibt sich aus der Gittergeometrie des Modells, nicht aus den tatsächlichen Ausstrichflächen der DGL.

Eine weitere Illustration der geologischen Verhältnisse im Deckgebirge oberhalb des DGL-Ausstrichs ist aus den in [Anlage 5](#) dargestellten Schnitten des hydrogeologischen 3D-Modells ([KLEMENZ et al. 2001](#)) ersichtlich (Schnittlagen s. [Anlage 4](#)).

3.2 Mächtigkeit und Textur

Mächtigkeitsangaben für die Schichtglieder der Schichtenfolge DGL existieren aus drei verschiedenen Bearbeitungsbereichen:

- (1) aus der Kartierung im Grubengebäude,
- (2) aus Bohraufschlüssen im Hutgestein der Untersuchungsbohrungen 1994/95,
- (3) aus Bohraufschlüssen im Hutgestein im Rahmen des Bohrprogramms „schachtnahe Bohrungen“ sowie

aus Literaturangaben verschiedener Bearbeiter (SCHULZE 1962; SCHULZE et al. 1961). Zu beachten ist dabei, dass sich die in Berichten dokumentierten Daten sowohl auf erbohrte (scheinbare) Mächtigkeiten (BALZER 1998; GFE 1998a,b,c,d,e) als auch auf wahre Mächtigkeiten beziehen. In Tabelle 5 sind alle Mächtigkeitsangaben der einzelnen Schichtglieder der Schichtenfolge DGL aus den Bohraufschlüssen im Hutgestein des ERAM zusammengestellt und mit den Angaben zum Schichteinfallen in den Schichtenverzeichnissen auf wahre Mächtigkeiten umgerechnet. Lagen für eine Schicht keine Werte für das Schichteinfallen vor, wurden die Daten der jeweils über- oder unterlagernden Schicht übernommen. In den Bohrungen Dp Mors 45 (214,60m - 215,50m), Dp Mors 47 (231,50m - 233,70m) und Dp Mors 69 (221,30m - 222,40m) traten stratigraphisch nicht weiter zu gliedernde Brekzien verschiedener Schichtglieder der DGL auf. Es handelt sich nicht um repräsentative Aufschlüsse der Schichtenfolge DGL, sondern um halo-tektonisch sehr stark gestörte DGL-Bruchstücke. Die Daten wurden daher nicht in den Datensatz aufgenommen (in Tabelle 5 gekennzeichnet). In der Bohrung Dp Mors 11 (65,70m - 70,30m) wurde der Bereich der Schichtenfolge DGL in großer Mächtigkeit aufgeschlossen, jedoch konnten aufgrund der Brekzientextur Grauer Salzton und Leinekarbonat im Schichtenverzeichnis nicht getrennt ausgewiesen (z2DA tritt nicht auf). Da es sich um einen mächtigen DGL-Aufschluss handelt, wurde er im Datensatz berücksichtigt. Die Abgrenzung des Leinekarbonat erfolgte anhand seiner Durchschnittsmächtigkeit im Hutgestein (1m). Die sich aus den Erkundungsdaten ergebenden Mächtigkeiten sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

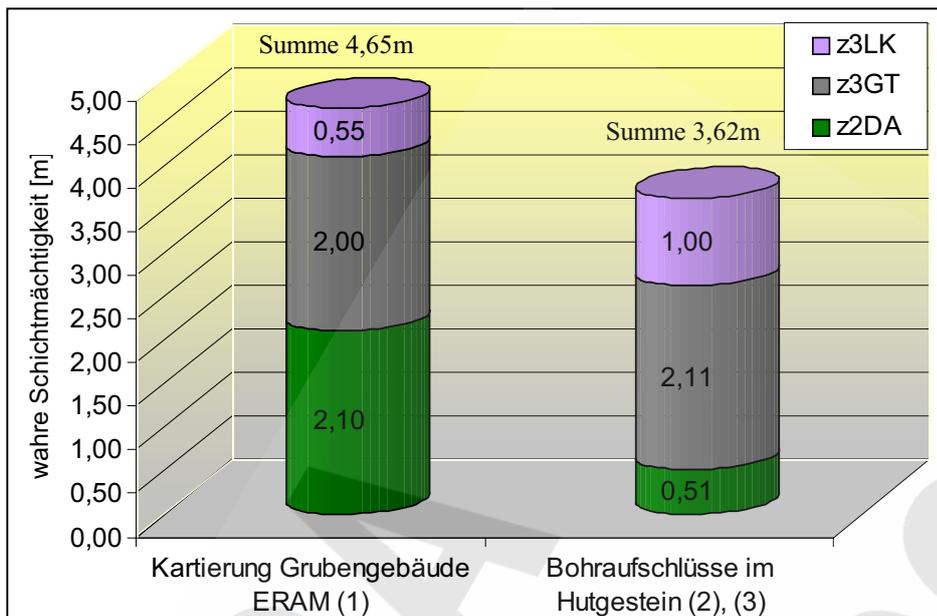


Abbildung 1: Mittlere Mächtigkeiten [m] der einzelnen Horizonte der Schichtenfolge „DGL“

Die aus den verschiedenen Bearbeitungsbereichen (1-3) abgeleiteten Angaben ergeben für den Grauen Salzton eine gute Übereinstimmung. Für den Deckanhydrit ist seine im Vergleich mit den Untertageaufschlüssen deutlich geringere Mächtigkeit im Hutgestein anzumerken. Dies kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Einerseits ist die Abgrenzung von den Staßfurtsteinsalz-Residuen und aufgrund der häufig starken Brekzierung vom Grauen Salzton bei der Bohrungsbearbeitung besonders schwierig. Andererseits enthält der Deckanhydrit in seiner Originalfazies Anteile von Salzmineralen (Kieseritlagen), deren Lösung im Zuge der Salinarsubrosion zu einer deutlichen Mächtigkeitsreduktion führt.

Von [SCHULZE \(1962\)](#) werden für die benachbarten, südöstlich gelegenen Salzlagerstätten des Subherzynen Beckens (Staßfurt, Bernburg, Huy, Aschersleben) Mächtigkeiten von 5,5m bis 9,4m für die gesamte Schichtenfolge DGL angegeben. Die Mächtigkeit des Grauen Salzton ist dabei nicht explizit ausgewiesen, da zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung das Leinekarbonat noch dem Grauen Salzton zugerechnet wurde.

Unter Berücksichtigung der Standortdaten und der Daten aus dem näheren geologischen Umfeld wird für Modellrechnungen als Gesamtmächtigkeit der Schichtenfolge DGL ein Wert von 5m als sinnvoll erachtet.

DGL-Mächtigkeit

Bei separater Betrachtung des Grauen Salzton (z3GT) als permeabelste Schicht der DGL (hohe Porosität) ist als durchschnittliche Mächtigkeit 2,5 m anzusetzen. Dieser Wert berücksichtigt neben den Erkundungsergebnissen (2,0 - 2,1m; 2,11m, s. [Tabelle 5](#)) auch Literaturangaben zum Standort (2,5m) in [SCHULZE et al. \(1961\)](#) und zum geologischen Umfeld (4m bis 7,65m incl. z3LK) in [SCHULZE \(1962\)](#).

z3GT-Mächtigkeit

Als Bandbreite für die Mächtigkeit des z3GT im Hutgestein wird 0,5m bis 5m vorgeschlagen.

Wie bereits unter [Kapitel 3.1](#) erläutert, wurde die Schichtenfolge sowohl im Verlauf der Strukturbildung halokinetisch als auch untergeordnet durch subrosive Prozesse in ihrer Textur stark beansprucht. Dies hat zu vielfältigen Gefügeausbildungen geführt. Einerseits kann der kompetentere Graue Salzton angestaut oder ausgedünnt sein, andererseits sind die inkompetenten Schichten des Deckanhydrit oder Leinekarbonat ganz oder teilweise abgeschert (siehe z. B. Dp Mors 98, Dp Mors 20: kein z2DA) oder schichtparallele Verschiebungen in ihrer Mächtigkeit erhöht (z. B. 4,67m z3LK in der Dp Mors 20). Die strukturbildenden Prozesse (Salzaufstieg) haben außerdem zu einer Klüftbildung im Deckanhydrit und Leinekarbonat, aber auch im Tonstein des Grauen Salzton geführt. Diese Klüfte sind im Grubengebäude mit Steinsalz und Carnallit verheilt.

Durch die Hydratationsprozesse im Hutgestein wurde der in den Schichten enthaltene Anhydrit in Gips umgewandelt. Die Salzminerale (z. B. Kieseritlagen in Deckanhydrit, salzgefüllte Klüfte im Grauen Salzton und Leinekarbonat, Porenfüllungen aus Halit im Grauen Salzton) wurden gelöst und z. T. durch Gipsneubildungen ersetzt. Diese Hydratations- und Kristallisationsprozesse haben zu weiteren Texturänderungen beigetragen.

Im Ergebnis der texturprägenden Prozesse stellt das mächtigste und kompetenteste Schichtglied der Schichtenfolge, der Graue Salzton, die Matrix, in der Bruchstücke der Sulfatanteile des Deckanhydrit und Leinekarbonatklasten schwimmen (s. [Abbildung 2](#)). Seine primär feinschichtige Textur ist dabei nur noch reliktsch zu erkennen.

In den Hutgesteinsaufschlüssen (Bohrungen) dominiert eine massige Textur ([BALZER 1998](#)). Einen Eindruck über die Lagerungsverhältnisse der gesamten Schichtenfolge vermittelt [Abbildung 3](#).

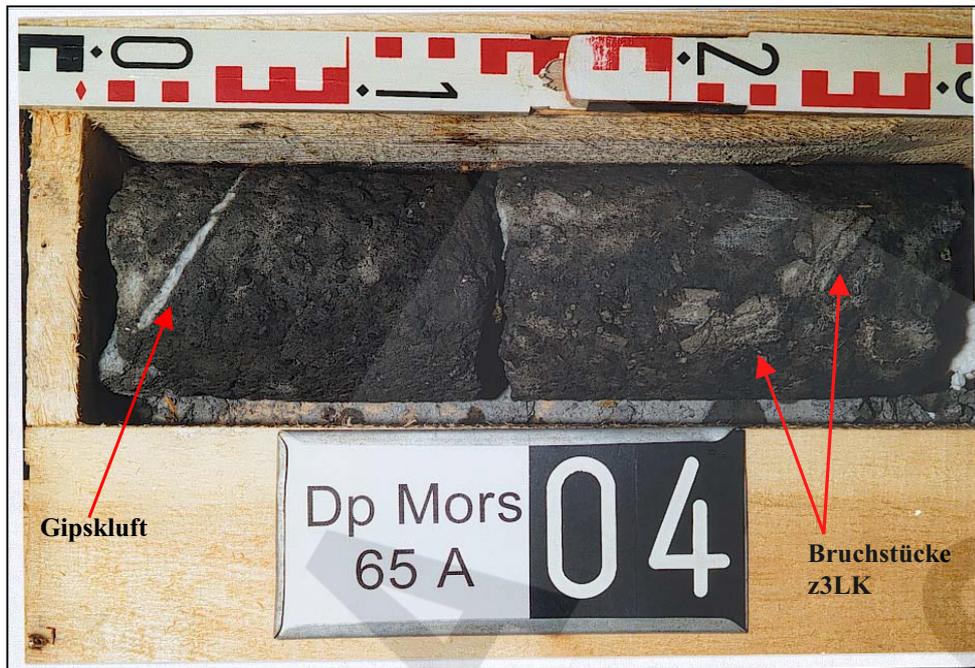


Abbildung 2: Kernabschnitt 202,0m bis 202,3m der Bohrung Dp Mors 65A (z3GT), Brekzie aus Tonstein (z3GT) und Dolomitstein (z3LK), bei 0cm – 7cm gipsgefüllte Kluft



Abbildung 3: Kernabschnitt 191,0m bis 195,0m der Bohrung Dp Mors 97A1 (gesamte DGL), rot – Schichtgrenzen, gelb – Leinekarbonatbruchstücke (Beisp.) im z3GT

Im Zuge der subrosiven Prozesse sind weitere Klüfte (z.B. salzspiegelparallele Setzungsklüfte) entstanden, die überwiegend durch Gips oder gelegentlich tonig, karbonatisch oder (in den unteren Teilen des Hutgesteins) halitisch verheilt sind.

Im Ergebnis der beschriebenen Strukturentwicklung sind die Schichtglieder der Schichtenfolge DGL intensiv geklüftet. Nach [BALZER \(1998\)](#) ist die Verteilung der Klüfte regellos. Die Fallwinkel divergieren zwischen 20° und 90°. Die Klüftweiten liegen meist im mm- bis cm-Bereich. Zur detaillierten Erfassung dieses Klüftinventars wurde an 5 Bohrungen mit vergleichsweise vollständigem Aufschluss der DGL eine detaillierte Klüftaufnahme durchgeführt. Da für die Erstellung eines konzeptuellen Modells für Transportprozesse die Länge von Klüften ggf. eine Rolle spielt, wurden den Kern vollständig oder nur unvollständig durchschlagende Klüfte getrennt erfasst.

Klüftung

Tabelle 2: Klüftanzahl je Kernmeter in den Schichtgliedern der DGL

Stratigraphie Klüftart Bohrung	Deckanhydrit		Grauer Salzion		Leine-Karbonat	
	durchlaufende Klüfte Anzahl/ m	aussetzende Klüfte Anzahl/ m	durchlaufende Klüfte Anzahl/ m	aussetzende Klüfte Anzahl/ m	durchlaufende Klüfte Anzahl/ m	aussetzende Klüfte Anzahl/ m
Dp Mors 97A1	0,8	2,6	11,1	5,9	8,8	6,6
Dp Mors 98A	kein z2DA	kein z2DA	8,8	2,5	5,0	9,2
Dp Mors 99A	10,0	23,3	7,5	9,0	8,0	4,0
Dp Mors 72A	16,2	48,0	4,5	1,7	20,2	17,5
Dp Mors 65A	0,0	0,0	1,6	2,8	2,5	62,5
Mittelwert	6,8	18,5	6,7	4,4	8,9	20,0

Bei der Nutzung der Daten ist zu berücksichtigen, dass Klüftaufnahmen und die o. a. Unterteilung in derartig texturgestörten Sedimenten mit Unsicherheiten behaftet sind. Beispielsweise ist bei einer großen Anzahl von Klüften eine exakte Abgrenzung zwischen beiden Klüftarten nicht zweifelsfrei möglich. Klüftsysteme wurden als eine durchgehende Klüft bewertet, aber auch hier bereitet die räumliche Abgrenzung des Klüftsystems oftmals Schwierigkeiten. Wie die Auswertung zeigt, durchtrennt bereits bei dem geringen Kerndurchmesser von ca. 110mm der größte Teil der angetroffenen Klüfte den Kern nicht vollständig. Unter Berücksichtigung eines größeren Maßstabes und der Genese der Klüfte ist mit über mehrere Meter aushaltenden Klüften in den Schichtgliedern der DGL nicht zu rechnen. Einen Eindruck von Textur und Klüftung vermitteln [Abbildung 4](#) und [Abbildung 5](#).



Abbildung 4: Kernabschnitt 200,7m bis 201,0m der Bohrung Dp Mors 65 (z3LK), Dolomitsteinbrekzie, Bruchstücke (Internschichtung) z. T. noch schichtig orientiert, zahlreiche kurze aussetzende Gipsklüfte, bei 200,9m durchgehende Kluff, Trennfläche (vermutlich d. Kerntrennung bei 200,7m)

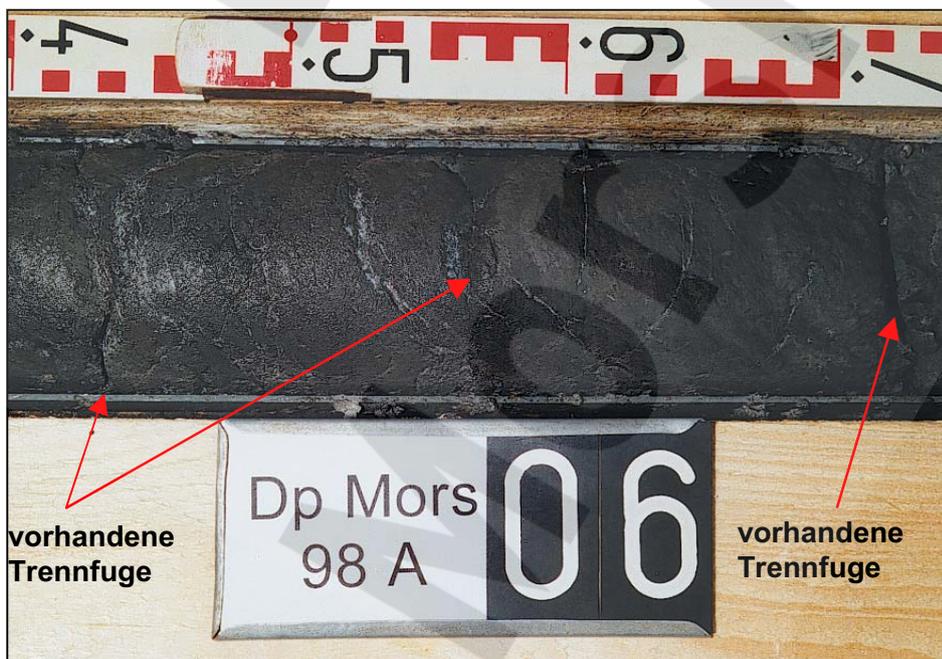


Abbildung 5: Kernabschnitt 227,38m bis 227,74m der Bohrung Dp Mors 98 (z3GT), massige Textur, vorhandene Trennfugen bei 227,43m, 227,58m, 227,72m, Gipsklüfte teilweise aufgefiedert, durchlaufend und ausgesetzt

Neben den Klüften existiert aufgrund der weitgehenden Brekzierung eine große Anzahl von Trennfugen, definiert durch Materialwechsel zwischen den einzelnen lithologisch sehr unterschiedlichen Komponenten (Karbonat, Ton, Gips). Auch diese Trennfugen können ggf. für die Erstellung eines konzeptuellen Transportmodells in der Schichtenfolge DGL von Bedeutung sein. Die in den Kernen der o. a. Bohrungen sichtbaren Trennfugen wurden daher in 2 Gruppen erfasst:

Trennfugen

- vorhandene Trennfugen (entspricht praktisch den Bruchstellen im Bohrkern),
- potentielle Trennfugen.

Bei der Erfassung wurden zunächst alle vorhandenen Trennfugen aufgenommen. Soweit erkennbar, erfolgte jedoch die Aussonderung jener Trennfugen, die durch willkürliche Einwirkung wie bohrbedingten Abriss, Kerntrennung zur Einpassung in Kernkisten, Zerschlagen bei der Probenahme u. Ä. hervorgerufen worden sind. An den Kernen der Bohrung Dp Mors 98A wurde im Februar 1998 eine Probenahme durchgeführt. Dabei ist unsicher, inwieweit die vorhandenen Trennfugen in der Nähe der Entnahmestellen auf „natürliche“ Art entstanden sind oder sich durch Einwirkung bei der Probenahme gebildet haben. Diese Flächen wurden deshalb nur als potentielle Trennfugen aufgenommen.

Bei der Bearbeitung wurde ersichtlich, dass mit fortschreitender Lagerungsdauer der Kerne die Häufigkeit von vorhandenen Trennfugen zunahm (Austrocknung der Kerne).

Die Aussonderung potentieller Trennfugen beruht hauptsächlich auf der Diskontinuität der Gesteine. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Abfolge zwischen pelitischer und sulfatischer Substanz. Vor allem bieten sich die Fasergipslagen als mögliche Abrissflächen an, da diese an präexistente Trennfugen (Kluft- und Schichtflächen) gebunden sind. Daneben können aber auch brekziöse Bereiche innerhalb kompakter Gesteinsabschnitte, der Wechsel zwischen Schluff- (z.T. feinsandig) und Tonstein sowie Karbonat- und Tonstein als potentielle Trennfugen angesehen werden.

Die Ergebnisse der statistischen Erfassung und Auswertung der in der Schichtenfolge DGL auftretenden vorhandenen und potentiellen Trennfugen sind in der nachfolgenden Tabelle dokumentiert.

Tabelle 3: Anzahl der vorhandenen und potentiellen Trennfugen je Kernmeter in den Schichtgliedern der DGL

Stratigraphie Kluftart Bohrung	Deckanhydrit		Grauer Salztön		Leine-Karbonat	
	vorhandene Trennfugen Anzahl/ m	potentielle Trennfugen Anzahl/ m	vorhandene Trennfugen Anzahl/ m	potentielle Trennfugen Anzahl/ m	vorhandene Trennfugen Anzahl/ m	potentielle Trennfugen Anzahl/ m
Dp Mors 97A1	4,3	26,0	6,6	8,1	0,0	2,2
Dp Mors 98A	kein z2DA	kein z2DA	6,1	11,6	3,5	7,1
Dp Mors 99A	1,6	30,0	11,9	9,0	5,3	6,6
Dp Mors 72A	5,8	19,7	5,4	4,2	4,0	2,7
Dp Mors 65A	3,7	51,8	3,8	7,0	7,5	0,0
Mittelwert	3,9	31,9	6,8	8,0	4,1	3,7

3.3 Mineralogische Zusammensetzung

Angaben zur mineralogischen Zusammensetzung des Grauen Salzton und des Leinekarbonat finden sich in [BALZER \(1998\)](#). Die Angaben beziehen sich auf die mineralogische Zusammensetzung dieser Schichten in ihrer subrosiven Fazies, d. h. im Hutgestein:

Grauer Salzton:

„Der Graue Salzton im Hutgestein wurde an drei Mischproben von Tonstein und Karbonat (Leine-Karbonat) aus der Bohrung Dp Mors 45A/94 phasenanalytisch untersucht. Als karbonatische Phase wurde Magnesit identifiziert. Neben einem hohen Quarzgehalt (im Schluffanteil) wurden die Tonminerale (=100%) Glimmer-Illit mit 21 % - 32 % und Kaolinit mit 68 % - 79 % bestimmt. Chlorit wurde nicht nachgewiesen.“

Leine-Karbonat:

„Nach mineralogischer Phasenanalyse ist das Leine-Karbonat als Magnesit ausgebildet, untergeordnet treten Tonminerale (Kaolinit >> Illit), Quarz und sowie in Spuren Gips auf.“

Im Rahmen von feinstratigraphischen Aufnahmen im Grubengebäude des ERAM wurde die mineralogische Zusammensetzung von Deckanhydrit, Grauem Salzton und Leinekarbonat in der subrosiv nicht überprägten "Originalfazies" (Aufschlüsse im Grubengebäude) erfasst. Die Werte sind in [Tabelle 6](#) zusammengestellt (s. auch [SCHRAMM & SÖNNKE 2001](#)). Die so ermittelte mineralogische Zusammensetzung ist zwar nicht unmittelbar auf die subrosiv überprägte Fazies zu übertragen (Salzminerale, z. B. Kieserit im z2DA, Halit oder Koenenit werden im Hutgestein nicht auftreten, Anhydrit ist ganz oder teilweise in Gips umgewandelt), aber die Daten liefern grundsätzliche lithologische Informationen zum Tonmineral- und Karbonatgehalt. Eine Bewertung der Sorptionseigenschaften durch Vergleich mit anderen untersuchten Gesteinen ist damit möglich.

Im Rahmen der geologischen Bearbeitung der schachtnahen Bohrungen wurden DGL-Proben röntgendiffraktometrisch untersucht. Hier handelt es sich analog zu den o. a. Angaben aus [BALZER \(1998\)](#) die subrosive Fazies der Schichtenfolge DGL, d. h. um Proben aus dem Hutgestein. Die Ergebnisse sind in [Tabelle 7](#) zusammengestellt.

Der für den Grauen Salztön relativ umfangreiche Datensatz (18 Proben) zeigt eine der nicht subrosiv beeinflussten Fazies sehr ähnliche Zusammensetzung. Eine vergleichbare Zusammensetzung wird von [KAMLOT \(1991\)](#) angegeben. Hauptbestandteil des Grauen Salztön sind neben Quarz, Dolomit und Gips (im Grubengebäude Anhydrit) vor allem Tonminerale (s. [Abbildung 6](#)). Lediglich die hohen Turmalingehalte (in [Abbildung 6](#) unter „sonstige“ berücksichtigt) in den Proben aus der Grube (ca. 15%) finden sich nicht in den subrosiv beeinflussten Proben aus dem Hutgestein. Die Ursache für diesen Unterschied ist nicht geklärt, ist aber wahrscheinlich in der Auswertemethodik der Röntgendiffraktometrie zu suchen. Möglicherweise wurden die Turmalingehalte der Tonmineral/Glimmer-Fraktion zugeschlagen.

Grauer Salztön

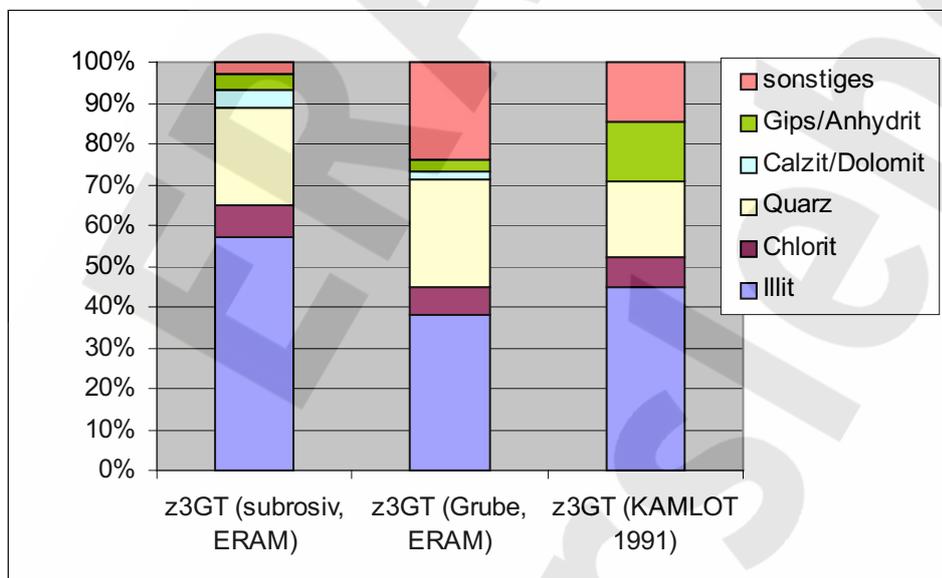


Abbildung 6: Zusammensetzung des Grauen Salztön in subrosiver und nicht subrosiver Fazies

Die Tonmineralverteilung lässt in den untersuchten Proben (ähnlich den Untersuchungen aus dem Grubengebäude) durchweg eine gleiche Assoziation erkennen. Die Tonmineralassoziation besteht aus Illit/ Muskovit und abweichend von den 3 Proben aus der Dp Mors 45A ([BALZER 1998](#)) auch aus Chlorit. Kaolinit und quellfähige Tonminerale wurden nicht nachgewiesen.

Aus dem Deckanhydrit des Hutgesteins liegen nur 2 Proben vor. Neben der zu erwartenden Umwandlung von Gips in Anhydrit und dem Wegfall der löslichen Salzminerale (Kieserit, Halit) weisen diese Proben einen

Deckanhydrit

hohen Tonmineralanteil auf, was auf eine Vermengung der Proben (Subrosionsbrekzie) mit dem Grauen Salztön hinweist.

Für das Leinekarbonat liegt ein repräsentativer Datensatz vor. Bei der Analytik wurde hier der Schwerpunkt auf die Karbonatbestimmung gelegt. Diese zeigt, dass im Zuge der Subrosion der in der Grube vorliegende Magnesit offensichtlich durch Kontakt mit den dabei auftretenden Lösungen in Dolomit (rück)umgebildet wurde. Die dafür erforderlichen Ca-sulfatreichen Lösungen sind in Folge der Hydratationsprozesse des dem Leinekarbonat benachbarten Hauptanhydrit verfügbar. Die „Redolomitisierung“ scheint, wahrscheinlich in Abhängigkeit von Lösungsangebot bzw. der Lösungszusammensetzung, nicht überall im Hutgestein stattgefunden zu haben, da [BALZER \(1998\)](#) für das Leinekarbonat im Hutgestein Magnesit ausweist (s. o.). Auch einzelne Proben aus dem Datensatz der schachtnahen Bohrungen zeigen noch Spuren von Magnesit. Die übrigen Bestandteile des Leinekarbonat im Hutgestein sind, abgesehen von der Vergipsung der Anhydritbestandteile, vergleichbar mit den Proben aus dem Grubengebäude (s. [Tabelle 6](#) und [Tabelle 7](#)).

Leinekarbonat

3.4 Porosität

Porositätsangaben zur Schichtenfolge DGL bzw. ihrer einzelnen Elemente existieren nur von wenigen Proben aus dem Hutgestein aus den Untersuchungen der schachtnahen Bohrungen. Belastbare Daten lassen sich nur für den Grauen Salzton (15 Proben) ableiten. Die Ergebnisse sind in [Tabelle 8](#) zusammengestellt. Bei Verwendung der Daten ist zu beachten, dass Deckanhydrit und Leinekarbonat chemische Sedimente sind, die primär eine sehr geringe Porosität aufweisen. Messbare Porositäten wie z. B. aus drei Proben im Leinekarbonat (Mittelwert Nutzporosität 8,6 %) sind auf Trennflächen (Klüfte) bzw. Risse im Probenkörper sowie den durch tektonischen Prozesse ggf. eingeschuppten Grauen Salzton zurückzuführen. Der einzige Porositätswert aus dem Deckanhydrit ist aufgrund der Höhe, sowie der großen Differenz zwischen Gesamt- und Nutzporosität nicht vertrauenswürdig (ggf. großer Anteil von z3GT in der Probe).

Insgesamt ist festzustellen, dass sich die Porosität der Schichtfolge DGL aus geringer Kluftporosität (im z2DA und z3LK) und großer Tonporosität im (z3GT) zusammensetzt. Da der z3GT durch salztektonische Prozesse auch in die benachbarten Schichten Deckanhydrit und Leinekarbonat eingeschuppt wurde, ist seine Porosität für die hydraulischen Eigenschaften der Schichtfolge DGL bestimmend. Der Mittelwert der Nutzporosität des z3GT beträgt 25%, der der Gesamtporosität 29%.

Die Bestimmung der Gesamtporosität erfolgte im Labor der GFE-Halle. Die Bestimmung der Reindichte, die zur Ermittlung der Gesamt- und Nutzporosität erforderlich ist, erfolgte nach DIN 52 102-D (Pyknometer) an auf eine Korngröße von max. 0,063mm zerkleinertem Probenmaterial. Die Bestimmung der Rohdichte, erforderlich zur Ermittlung der Gesamtporosität, erfolgte mit einem Quecksilbervolumenometer. Die Gesamtporosität wurde aus Roh- und Reindichte berechnet.

Die Bestimmung der Nutzporosität erfolgte mit einem Quecksilberhochdruckporosimeter Serie 200 der Firma Carlo Erba Mailand im Institut für Geologie der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau der TU Bergakademie Freiberg (Frau Dr. H. Schulze). Makroporen wurden mit einem Kathetometer außerhalb des Hochdruckporosimeters gemessen. Grundlage für die Messungen ist die DIN 66 133.

3.5 Permeabilität

Für die Permeabilität der Schichtfolge DGL existieren Werte aus hydraulischen Tests und Laboruntersuchungen. Sowohl die Tests als auch die Laboruntersuchungen beziehen sich auf die subrosiv überprägte Fazies der Schichtfolge DGL im Hutgestein. Die Probenuntersuchungen erfolgten im Rahmen der Bearbeitung der schachtnahen Bohrungen, die hydraulischen Tests im Rahmen des Bohrprogramms 1988 - 1990, im Rahmen des Bohrprogramms 1994/95 sowie im Rahmen des Bohrprogramms *schachtnahe Bohrungen*.

Ein Teil der hydraulischen Tests belegt eine im Vergleich mit dem sonstigen Hutgestein erhöhte hydraulische Durchlässigkeit für die Schichtenfolge DGL. In [LANGKUTSCH et al. \(1998\)](#) wird für die DGL ein Wert von $5E10-9m/s$ bis $<1E10-11m/s$ basierend auf den Erkundungsdaten bis 1995 angegeben.

Diese Werte beziehen sich offensichtlich auf die integralen hydraulischen Eigenschaften aller Schollen der DGL an der (ehemaligen) Westflanke der Hauptmulde, da es bei [LANGKUTSCH et al. \(1998: Kap. 5.2.3.2\)](#) heißt: *„Die mit den hydraulischen Tests ermittelten Durchlässigkeiten decken ein Spektrum zwischen ca. $5E-09$ m/s und $< 1E-11$ m/s bezogen auf die angetroffenen Schichtmächtigkeiten ab. Nach der petrographischen Ausbildung zu urteilen, wird der obere Schätzwert der Durchlässigkeit, bezogen auf einen Teilabschnitt [gemeint ist hier eine einzelne DGL-Scholle im Hutgestein], $k_f=1E-08$ m/s nicht wesentlich überschreiten.“* Der angeführte Satz impliziert die Möglichkeit erhöhter hydraulischer Durchlässigkeiten der Schichtenfolge DGL in Teilabschnitten, z. B. in stärker geklüfteten Bereichen. Dies ist bei der Festlegung der Bandbreite der Durchlässigkeit für Modellrechnungen allerdings unerheblich.

Auch andere Beobachtungen belegen eine im Vergleich mit dem umgebenden „intakten Hutgestein“ erhöhte Durchlässigkeit. So wurde zum Beispiel in den schachtnahen Bohrungen (Dp Mors 97A, 98A, 99A) am Schacht Marie der im Hutgestein nahezu unverändert als Anhydrit eingelagerte Hauptanhydrit im Hangenden und Liegenden der Schichtfolge DGL vergipst angetroffen (siehe [Abbildung 7](#)). Die nahezu vollständige

Vergipsung des Hauptanhydrit (Eindringtiefe bis zu 3m) im Kontakt zur Schichtenfolge DGL belegt die Möglichkeit des bevorzugten Lösungs-transportes durch diese Schichtenfolge. Das in der nicht subrosiven Fazies des Leinekarbonat bestimmende Karbonatmineral Magnesit ist nach den Ergebnissen von röntgendiffraktometrischen Untersuchungen (s. [Kap. 3.3](#)) in diesem Fall (re)dolomitisiert, was die Einwirkung von Lösungen auf diesen Bereich belegt.

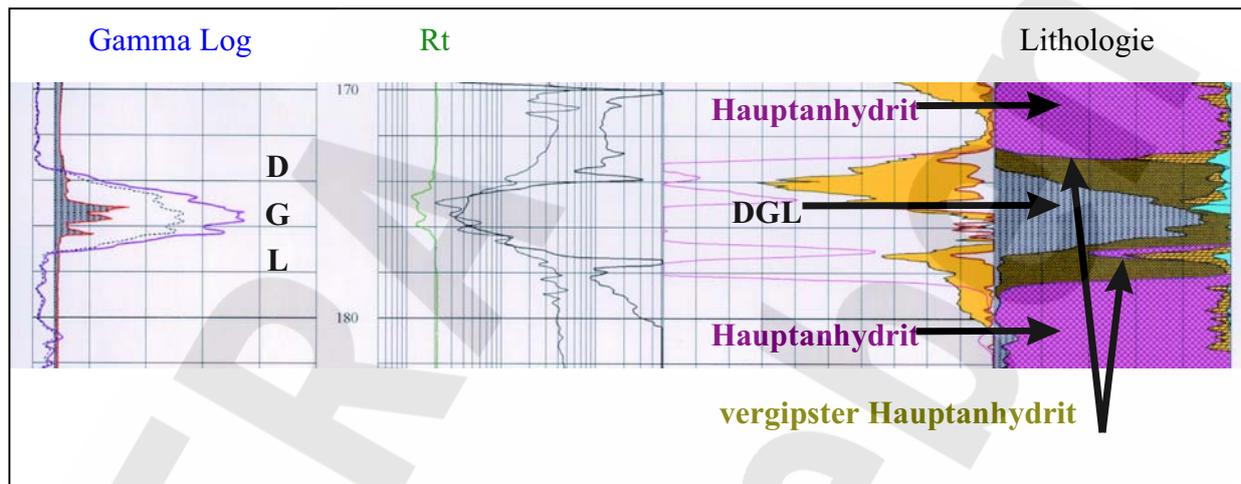


Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Ergebnisplot der Bohrlochgeophysik Dp Mors 99A 170m - 182m (BLM 1998)

Analysen von Wasserproben aus der Schichtenfolge DGL hinsichtlich Alter und chemischer Zusammensetzung belegen, dass ein hydraulischer Kontakt zwischen Teilen der Schichtenfolge DGL und dem Deckgebirge bestehen kann (Bohrung Dp Mors 65A1 – Test 1). Der Bezugshorizont dieses Tests lag zwischen 200m und 213m Teufe (ca. 15m – 22m oberhalb des Salzspiegels). Es ist daher von einer hydraulischen Verbindung durch das Hutgestein entlang der Schichtenfolge DGL bis oberhalb des Salzspiegels auszugehen (siehe [LANGKUTSCH et al. 1998:168](#)).

Mit diesem Bericht werden die aus den schachtnahen Bohrungen stammenden Daten dem Permeabilitätsdatensatz nach [LANGKUTSCH et al. \(1998\)](#) zugefügt. Alle verfügbaren Permeabilitätsdaten sind in [Tabelle 9](#) zusammengestellt.

Bei den bisherigen Transmissivitätsangaben ([LANGKUTSCH et al. 1998](#)) ist zu beachten, dass es sich um Werte für das Gesamttestintervall handelt, von dem die Schichtenfolge DGL in der Regel nur einen Teil einnimmt. Aufgrund dieser Tatsache lässt sich nur schwer ein expliziter

Wert für die Transmissivität der Schichtenfolge DGL ableiten. Die in der Bohrung erfassten Mächtigkeiten der Schichtenfolge DGL entsprechen oft nur einem Bruchteil der gesamten Intervalllänge.

Aufgrund der o.a. Befunde und unter Berücksichtigung der jeweiligen geologischen Verhältnisse im Testintervall (siehe geologisches Schichtenverzeichnis, [GFE 1998a,b,c,d,e](#)) muss für eine konservative Ableitung der Transmissivität für die Schichtenfolge DGL jedoch angenommen werden, dass sich die im Testintervall aufgeschlossenen hydraulischen Wegsamkeiten ausschließlich innerhalb der Schichtenfolge DGL befinden. Daher wurden die im Rahmen der hydraulischen Tests ermittelten Transmissivitäten (T) erstmals für die im Intervall aufgeschlossene DGL-Länge berechnet. Die DGL-bezogene Transmissivität ist mit der Länge des Testintervalls sowie mit der Mächtigkeit der DGL innerhalb des Testintervalls in der [Tabelle 10](#) angegeben.

Wie der [Tabelle 10](#) zu entnehmen ist, kann für die Schichtenfolge DGL auf Grund der Durchlässigkeitsversuche (in situ) die folgende Bandbreite für die Transmissivität angenommen werden:

Bandbreite T_{DGL} $5E10^{-8}$ bis $7E10^{-13}m^2/s$

Zur Bestimmung eines Referenzwertes der Transmissivität wird näher auf die Belastbarkeit der einzelnen Tests eingegangen:

Die Ergebnisse von Test 2 in der Bohrung Dp Mors 11/90 zeigen einen relativ geringen T-Wert, obwohl die DGL auf einer Länge von 6,3m angetroffen wurde. Im bohrlochnahen Bereich treten erhöhte hydraulische Durchlässigkeiten auf (Skin -1,3), die auf mechanische Beanspruchungen der Bohrlochumgebung durch den Bohrvorgang zurückzuführen sein dürften. Da Aufzeichnungen eines zweiten Druckaufnehmers (Ringraum bzw. unterhalb des Testintervalls) fehlen und eventuelle Umläufigkeiten dadurch nicht erkennbar sind, werden die Ergebnisse als nicht stark belastbar charakterisiert. Das Testergebnis ist dadurch mit einer hohen Ungenauigkeit belastet.

Die Ergebnisse des Tests 4 in der Bohrung Dp Mors 20/88 erlauben ebenfalls keine belastbare Aussage zu den Formationsparametern, da keine der Testsequenzen lang genug war, um mit den benutzten analytischen Auswerteverfahren eine eindeutige Modelldiagnose zu erlauben. Das Ergebnis der Interpretation des Tests ist dadurch mit einer hohen Ungenauigkeit belastet.

In Test 4 der Bohrung Dp Mors 42A1 wurde die Schichtfolge DGL auf weniger als einem Meter angeschnitten. Zudem musste der Packer wegen des Bohrlochkalibers innerhalb der Schichtenfolge DGL positioniert werden. Aufgrund der geologischen Verhältnisse im Testintervall ist zu vermuten, dass die beobachtete Transmissivität der Schichtenfolge DGL zuzurechnen ist. Die Strömungsverhältnisse in der Schichtenfolge DGL können durch die nur teilweise Zugänglichkeit der Schichtenfolge stark beeinträchtigt sein, so dass es zu nicht eindeutigen Strömungsverhältnissen während der Testdurchführung kommen kann. Im Bohrlochabschnitt unterhalb des unteren Packers ist eine ständige Druckabnahme während der Testdurchführung zu beobachten. Da das Druckniveau im Testintervall während des gesamten Tests weitestgehend unterhalb des Druckniveaus im Bohrlochabschnitt unterhalb des unteren Packers lag und dieser Flüssigkeit in die Formation verlor (Druckabnahme), ist zu vermuten, dass es zu einer Umströmung des Packers bzw. Störungen der Strömungsverhältnisse um das Testintervall kam. Die Ergebnisse der Auswertung sind lediglich als Abschätzung zu betrachten, da sie mit einer hohen Ungenauigkeit belastet sind.

Während der Testdurchführung des Tests T6 in der Bohrung Dp Mors 45A und des Tests T1 in der Bohrung Dp Mors 65A wurden keine Anomalien beobachtet. Die Drucksignale im Ringraum und unterhalb des Testintervalls waren über den gesamten Zeitraum der Testdurchführung konstant. Die Ergebnisse der Testdurchführungen sind belastbar.

In den Tests der Bohrungen Dp Mors 97A1, Dp Mors 98A und Dp Mors 100A bildete die Schichtenfolge der DGL jeweils ebenfalls nur einen Teil des Testintervalls. Die Bandbreiten der Ergebnisse für die hydraulische Durchlässigkeit der Testintervalle zeigen dabei obere Grenzen, die eine Größenordnung geringer sind als die Ergebnisse der vorhergehenden Bohrungen. Die Transmissivität der Testintervalle zeigte ebenfalls Werte, die um eine Größenordnung geringer sind als die der Testdurchführungen in den vorhergehenden Bohrungen. Eine Überschneidung der Bandbreiten zwischen den Ergebnissen dieser Bohrungen und den vorherigen existiert praktisch nicht.

In den Tests der Bohrung Dp Mors 72A wurde die Testdurchführung jeweils durch die Präsenz einer Skin-Zone in der Bohrlochumgebung leicht gestört. Eine hydraulische Verbindung zwischen dem Ringraum und dem Testintervall kann für den gesamten Zeitraum der Testdurch-

führungen ausgeschlossen werden. Infolge der kurzen Versuchsdauer des Tests T2 ist jedoch keine Bestimmung des Formationsdruckes innerhalb dieses Tests möglich, wodurch das Ergebnis für die Transmissivität des Intervalls gegenüber dem Ergebnis des Tests T3 weniger belastbar ist. Das Ergebnis der Transmissivitätsbestimmung des Tests T2 liegt innerhalb der Bandbreite der Ergebnisse des Tests T3. Zur Bestimmung des Referenzwertes wird daher aus der Bohrung Dp Mors 72A das Ergebnis des Tests T3 herangezogen.

Werden die Ergebnisse der Bohrlochversuche mit den Resultaten der Laboruntersuchungen an den Kernproben verglichen, so ergibt sich nahezu die gleiche Bandbreite in den Laborergebnissen ($3E10-8m/s$ bis $4E10-10m/s$) wie für die Bohrlochversuche. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass für die Laborversuche (aus anderen Gründen) ähnliche Einschränkungen gelten wie für die erstgenannten hydraulischen Tests. Sie können nur als Abschätzung für die Parametrisierung herangezogen werden.

Die Bestimmung des Referenzwertes der Transmissivität basiert entsprechend der o. a. qualitativen Beurteilung der vorliegenden Daten auf den Transmissivitäten der belastbaren Bohrlochversuche, d. h. auf der Grundlage der Auswertung von 6 Bohrlochversuchen (in [Tabelle 10](#) farbig hinterlegt). Eine Abschätzung für die Transmissivität kann wie folgt ermittelt werden:

Beste Abschätzung: $T_{\text{Geom}} = 3.0E10-10m^2/s$
(geometrischer Mittelwert)

Konservative Abschätzung: $T_{\text{arith}} = 7.5E10-9m^2/s$
(arithmetischer Mittelwert)

Die konservative Abschätzung mittels des arithmetischen Mittelwertes (starke Überbetonung der Maximalwerte) wird dabei als Referenzwert betrachtet.

Auf Basis der o. a. Bewertung und Auswertung der vorliegenden Daten wird für Verwendung in Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit und für die Abschätzung eines Lösungszutritts für die Transmissivität der Schichtenfolge DGL ein Referenzwert von

$$T_{\text{DGL}} = 7.5E10-9m^2/s$$

mit einer Bandbreite von $5E10-8m^2/s$ bis $7E10-13m^2/s$ festgelegt.

3.6 Zeitliche Veränderlichkeit der Modellparameter

In Bezug auf mögliche Modellrechnungen zur Quantifizierung eines Lösungszutritts in das Grubengebäude sind nicht nur die durch Untersuchungen bestimmten rezenten Gesteinseigenschaften von Relevanz. Es stellt sich die Frage, ob und in welchem Umfang die den Transport von Wässern durch die Schichtenfolge DGL bestimmenden Eigenschaften durch diesen Lösungstransport Veränderungen unterliegen.

Die modellrelevanten Parameter sind:

- Lagerungsverhältnisse (für die Modelldiskretisierung), [Kap. 3.1](#)
- Mächtigkeit und Textur, [Kap. 3.2](#)
- mineralogische Zusammensetzung, [Kap. 3.3](#)
- Porosität und [Kap. 3.4](#)
- die Permeabilität. [Kap. 3.5](#)

Die geologischen Lagerungsverhältnisse der Schichtenfolge DGL werden durch einen Lösungszufluss nicht nennenswert verändert. Denkbar ist lediglich eine Rückwirkung der unterhalb des Salzspiegels erfolgenden Lösungsvorgänge auf das Hutgestein und damit auf die Lagerungsverhältnisse der Schichtenfolge DGL. Der durch Lösungsprozesse in Folge eines Zutritts untersättigter Lösungen entstehende Hohlraum könnte zu einem Verbruch der unteren Teile des Hutgesteins oder (im Falle eines standfesten Hutgesteins) zu einem Hereinbrechen von Teilen der Schichtenfolge DGL in den gebildeten Hohlraum führen. Der modellrelevante Effekt wäre eine Verkürzung der Fließweglänge in der Schichtenfolge DGL (Basiswert 200m, Bandbreite 100m - 500m). Bei der Wahl der Bandbreite wurde dieser mögliche Effekt vollständig berücksichtigt.

Lagerungsverhältnisse

Auch die mineralogische Zusammensetzung wird beim Durchströmen der Schichtenfolge DGL durch NaCl-untersättigte Lösungen keinen nennenswerten Veränderungen unterliegen. Diese sind in Form von Lösungs- und Hydratationsprozessen im Zuge der Salinarsubrosion bereits abgelaufen (Lösung der Salzminerale, Umwandlung Anhydrit in Gips, Gipsneubildung, (Re-)dolomitisierung des Leinekarbonats, Veränderungen an den Tonmineralen). Die heutige mineralogische Zusammensetzung der Schichtenfolge DGL stellt unter geringen NaCl-Konzentrationen im Porenwasser eine stabile Phase dar. Mögliche

mineralogische
Zusammensetzung

Lösungsprozesse an karbonatischen und sulfatischen Komponenten sind angesichts der Kinetik der ablaufenden Prozesse nicht von Bedeutung.

Veränderungen der Porosität sind aufgrund stark begrenzter Möglichkeiten weiterer Mineralumbildungen nicht zu erwarten. Auch Verheilungsprozesse z. B. durch Kontakt der Tonminerale mit im Laufe der Zuflussentwicklung zunehmend NaCl-untersättigten Lösungen sind nicht möglich, da quellfähige Tonminerale nicht bzw. nur in Spuren vorkommen. Geringfügige Veränderungen dieses Parameters sind letztendlich auch durch die gewählte Bandbreite (20% bis 30%) abgedeckt.

Porosität

Eine Veränderung der Permeabilität der Schichtenfolge DGL ist nach Ausschluss von wesentlichen Änderungen der Zusammensetzung und Porosität nur noch durch Erosions- bzw. Suffosionsprozesse denkbar. Mögliche Texturveränderungen (Kluftbildung, Auflockerung) wurden, wie unter dem Parameter Lagerungsverhältnisse beschrieben, bei der Festlegung der Bandbreite dieses Parameters berücksichtigt.

Permeabilität

Die mögliche Erosion bzw. Suffosion in der DGL (im Wesentlichen nur für den Grauen Salztön zu unterstellen) ist abhängig von der Transportgeschwindigkeit im durchflossenen Porenraum (Abstandsgeschwindigkeit). Daher wurde für verschiedene Fälle (Zuflussmenge, durchströmte DGL-Fläche) die Filtergeschwindigkeit und unter Verwendung des Mittelwertes für die Nutzporosität die Abstandsgeschwindigkeit im Porenraum berechnet. Die Ergebnisse sind in [Tabelle 4](#) dargestellt.

Tabelle 4: Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit für verschiedene Fließquerschnitte und Zuflussmengen

Fall	durchströmte DGL-Fläche [m ²]	Zuflussmenge [m ³ /a]	Filtergeschwindigkeit		Porosität	Abstandsgeschwindigkeit	
			[cm/d]	[cm/s]		[cm/s]	[cm/d]
1	10	10	0,274	3,17E-06	0,25	1,27E-05	1,10
2	100	10	0,027	3,17E-07	0,25	1,27E-06	0,11
3	1.000	10	0,003	3,17E-08	0,25	1,27E-07	0,01
4	10	100	2,740	3,17E-05	0,25	1,27E-04	10,96
5	100	100	0,274	3,17E-06	0,25	1,27E-05	1,10
6	1.000	100	0,027	3,17E-07	0,25	1,27E-06	0,11
7	10	1.000	27,397	3,17E-04	0,25	1,27E-03	109,59
8	100	1.000	2,740	3,17E-05	0,25	1,27E-04	10,96
9	1.000	1.000	0,274	3,17E-06	0,25	1,27E-05	1,10
10	100	1.000	2,740	3,17E-05	0,01	3,17E-03	273,97

Die Daten zeigen, dass unter realistischen Szenarien keine Fließgeschwindigkeiten erreicht werden, die zu Erosion in der DGL führen. Zur Veranschaulichung der Daten wurden (soweit maßstäblich überhaupt möglich) diese in ein Diagramm zur Beurteilung der Erosionsgefahr durch Sickerwasserströmung nach HJULSTRÖM (aus RICHTER 1989) eingetragen.

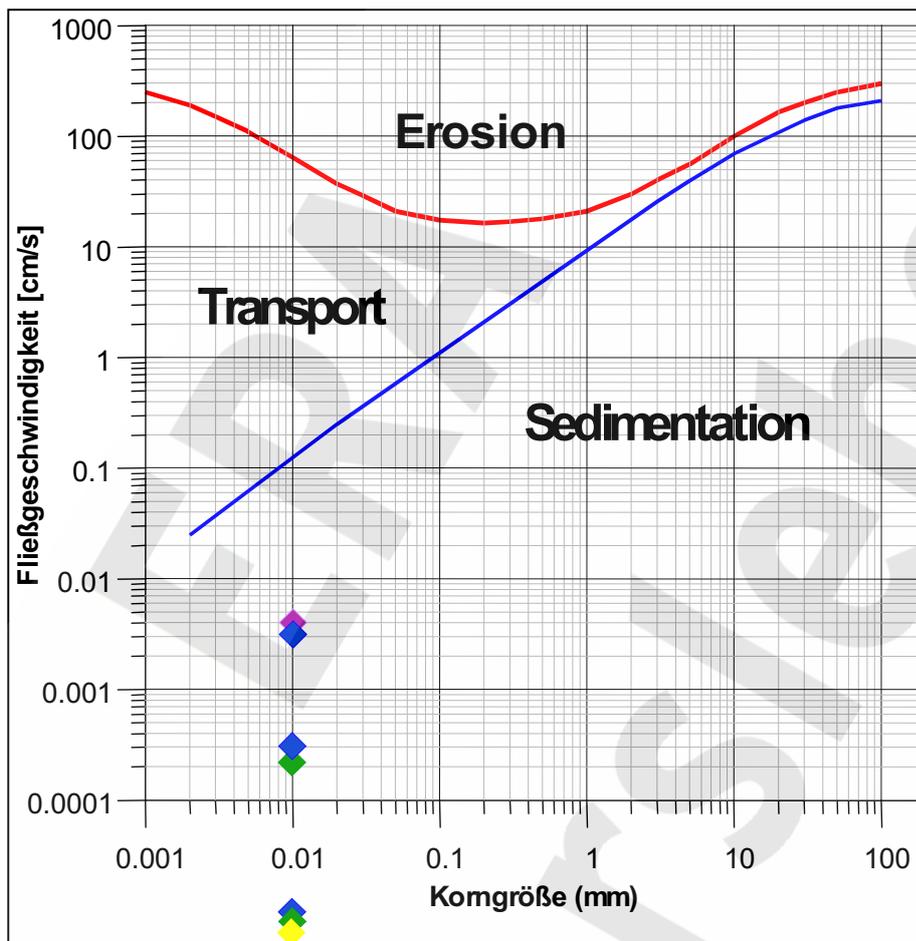


Abbildung 8: Darstellung der berechneten Filtergeschwindigkeiten im HJULSTRÖM-Diagramm (Farbe der Datenpunkte nach Tabelle 4)

Das HJULSTRÖM-Diagramm zeigt, dass selbst für den geologisch unrealistischen Fall Nr. 10 (1000m³-Zutritt, 100m² Fläche) mit einer auf 1% herabgesetzten Porosität keine Sickerwasserströmungen erreicht werden, bei denen Gesteinspartikel der relevanten Korngrößen transportiert werden könnten.

Die in diesem Bericht dokumentierten und begründeten modellrelevanten Eigenschaften der Schichtenfolge DGL gelten im gesamten geowissenschaftlich bewerteten Zeitraum der Nachbetriebsphase. Doch kann die Rolle der Schichtenfolge DGL für Zufluss- und Austritts-

Zeitraumen

szenarien hinsichtlich Transmissivitäten und Sorption im Hutgestein an Bedeutung verlieren, wenn sich nach künftigen Klufthbildungsprozessen zusätzliche Wegsamkeiten im derzeit intakten Hutgestein gebildet haben. Anhand geologischer Abschätzungen bedarf es dazu langer Zeiträume, die einige 10.000 Jahre oder länger betragen ([KÄBEL 2000](#), [KÄBEL 2002](#)). Für die Langzeitsicherheitsbetrachtungen wird für diesen Wandel der Rolle der Schichtenfolge DGL ein frühest möglicher Zeitpunkt von 25.000 Jahren vorgeschlagen.

4 Literaturverzeichnis

BALZER, D. [1998]:

Geologische Bearbeitung des Hutgesteins.- BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 116 622, 90 S., 6 Abb., 14 Tab., 15 Anl.; Berlin/Hannover [Unveröff.].

BALZER, D. [2000]:

Lithostratigraphie, Fazies, Strukturbaue und subrosive Entwicklung des Hutgesteins über der Allertal-Salzstruktur zwischen Alleringersleben und Beendorf .- Geologisches Jahrbuch, Reihe A 154, 79 S., 3 Abb., 15 Tab., 15 Anl., 6 Tafeln; Hannover.

BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. & BORNEMANN, O. [1997]:

ERA Morsleben – Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells.- BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 117 296, 73 S., 1 Tab., 61 Anl.; Hannover [Unveröff.].

BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. [1998a]:

ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells.
1. Anhang zum Abschlußbericht - Struktureller Bau des Ostsattels im Bereich der Bohrung 12YEQ01RB385. - BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 117 296, 11 S., 10 Anl.; Hannover [Unveröff.].

BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. [1998b]:

ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells.
2. Anhang zum Abschlußbericht - Struktureller Bau der Westflanke der Hauptmulde im Bereich des Abbaues 1a. - BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 117 708, 17 S., 13 Anl.; Hannover [Unveröff.].

BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. [1999]:

ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells.
4. Anhang – Isopachenplan des Salinars über dem Hauptanhydrit. - BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 118 872, 9 S., 2 Anl.; Hannover [Unveröff.].

BEST, G. & ZIRNGAST, M. [1998]:

Analyse der strukturgeologischen Entwicklung der Salzstruktur oberes Allertal und ihrer Umgebung. - BGR-Bericht, Archiv-Nr. 116 873, 108 S., 20 Abb., 6 Tab., 6 Anl.; Hannover [Unveröff.].

BLM (1998a):

Abschlußbericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen Lokation Dp Mors 96. 70 S., 28 Anl.; 15 Tab., [Autor: FRICKE, S., mit einem Beitrag von: RÜBEL, A.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Gommern.

BLM [1998b]:

Abschlußbericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen Lokation Dp Mors 97. 80 S., 38 Anl.; 18 Tab., [Autor: FRICKE, S., mit einem Beitrag von: RÜBEL, A.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Gommern.

BLM [1998c]:

Abschlußbericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen Lokation Dp Mors 98. 58 S., 22 Anl.; 11 Tab., [Autor: FRICKE, S., mit einem Beitrag von: RÜBEL, A.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Gommern.

BLM [1998d]:

Abschlußbericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen Lokation Dp Mors 99. 52 S., 20 Anl.; 14 Tab., [Autor: FRICKE, S., mit einem Beitrag von: RÜBEL, A.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Gommern.

BLM [1998e]:

Abschlußbericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen Lokation Dp Mors 100. 70 S., 29 Anl.; 14 Tab., [Autor: FRICKE, S., mit einem Beitrag von: RÜBEL, A.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Gommern.

GFE [1998a]:

Geologischer Abschlußbericht Lokation Dp Mors 96. 28 S., 10 Anl.; [Autor: BOEHME, O.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Halle.

GFE [1998b]:

Geologischer Abschlußbericht Lokation Dp Mors 97/97A1. 33 S., 199 Anl.; [Autor: BOEHME, O.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Halle.

GFE [1998c]:

Geologischer Abschlußbericht Lokation Dp Mors 98. 201 S., 10 Anl.; [Autor: BOEHME, O.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Halle.

GFE [1998d]:

Geologischer Abschlußbericht Lokation Dp Mors 99. 200 S., 10 Anl.; [Autor: BOEHME, O.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Halle.

GFE [1998e]:

Geologischer Abschlußbericht Lokation Dp Mors 100. 29 S., 10 Anl.; [Autor: BOEHME, O.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Halle.

GOLDER ASSOCIATES [1998a]:

Abschlußbericht Hydraulisches Testing Bohrungen Dp Mors 96A. 344 S., 133 Abb., 10 Anl., 142 Tab.; [Autoren: ENACHESCU, C. & PRINGLE, A. & KUHR, C. & LAVANCHY, J.-M., & PASQUIER, F. & CROISÉ, J.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Celle.

GOLDER ASSOCIATES [1998b]:

Abschlußbericht Hydraulisches Testing Bohrungen Dp Mors 97A/97A1. 304 S., 122 Abb., 9 Anl., 124 Tab.; [Autoren: ENACHESCU, C. & PRINGLE, A. & KUHR, C. & LAVANCHY, J.-M., & PASQUIER, F. & CROISÉ, J.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Celle.

GOLDER ASSOCIATES [1998c]:

Abschlußbericht Hydraulisches Testing Bohrungen Dp Mors 98A. 322 S., 120 Abb., 10 Anl., 137 Tab.; [Autoren: ENACHESCU, C. & PRINGLE, A. & KUHR, C. & LAVANCHY, J.-M., & PASQUIER, F. & CROISÉ, J.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Celle.

GOLDER ASSOCIATES [1998d]:

Abschlußbericht Hydraulisches Testing Bohrungen Dp Mors 99A. 166 S., 58 Abb., 6 Anl., 71 Tab.; [Autoren: ENACHESCU, C. & PRINGLE, A. & KUHR, C. & LAVANCHY, J.-M., & PASQUIER, F. & CROISÉ, J., & VOUTTA, A.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Celle.

GOLDER ASSOCIATES [1998e]:

Abschlußbericht Hydraulisches Testing Bohrungen Dp Mors 100A. 348 S., 146 Abb., 10 Anl., 141 Tab.; [Autoren: ENACHESCU, C. & PRINGLE, A. & KUHR, C. & LAVANCHY, J.-M., & PASQUIER, F. & CROISÉ, J.], [Unveröff., erstellt im Auftrag des BfS]; Celle.

KÄBEL, H. [1998]:

Projekt ERA Morsleben – Geologische Gesamtbewertung der Lösungszutritte in den Gruben Bartensleben und Marie. – BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS] Archiv-Nr. 116 678; 90 S.; Hannover [Unveröff.].

KÄBEL, H. & GERARDI, J. & KELLER, S. [1999]:

ERA Morsleben – Szenarienanalyse, Geologische Langzeitbewertung und Ermittlung der Zuflussszenarien ohne technische Maßnahmen. – BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 0119 098, 112 S.; Hannover [Unveröff.].

KÄBEL, H. [2000]:

Langzeitbewertung der Durchlässigkeit des Hutgesteins. – BGR-Bericht BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 0120 218, 37 S., 4 Abb., 1 Tab.; Hannover [Unveröff.].

KÄBEL, H. [2002]:

Geowissenschaftliche Bewertung der Langzeitsicherheit sowie der Zufluss- und Austrittszenarien nach Verfüllung des Endlagers. – BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS]; Hannover [in Vorbereitung].

KAMLOT, P. [1991]:

Zusammenfassung und Beurteilung des derzeitigen Wissensstandes über das geotechnische Verhalten von Anhydrit und Salzton.- Bericht IFG-Leipzig [erstellt im Auftrag des BMFT], Nr. BMFT – FB (02 E 8241), 121 S.; Leipzig [Unveröff.].

KLEMENZ, W. & KLUBERTANZ, G. & OSWALD, S. & SIEGEL, P. [2001]:

3D Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter Süßwasserverhältnissen – Modellaufbau, Modellkalibrierung R42. Rechenfall R43 und Referenzfall R44.- Colenco-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Nr. 4305/33, 233 S., 83 Abb., 19 Tab., 1 Anh.; Baden [Unveröff.].

KLEMENZ, W. & SIEGEL, P. [2001]:

ERAM Salzwasserrechnungen mit dem SW-NE verlaufenden 2D Modellen Schnitt 5 und Schnitt 5_mod. – Stationäre Salzwasserrechnungen mit NAMU mit einem Quellterm an der Modellbasis.- Colenco-Memorandum [erstellt im Auftrag des BfS], Nr. 4305/37, 73 S., 32 Abb., 11 Tab.; Baden [Unveröff.].

LANGKUTSCH, U. & KÄBEL, H. & MARGANE, A. & SCHWAMM, G. [1998]:

Hydrogeologische Standortbeschreibung und Modellgrundlagen. – BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 116 906; 558 S.; Berlin [Unveröff.].

PREUSS, H.; VINKEN, R.; VOSS, H.-H.; BARCKHAUSEN, J.; BECKMANN, A.;

HENNIG, E.-W., HINZE, C.; HOMANN, H. H. & REUTER, G. [1991]:

Symbolschlüssel Geologie.- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung / Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.]: 328 S.; Hannover.

RICHTER, D. [1989]:

Ingenieur- und Hydrogeologie.- 3. Auflage , 362 Abb., 79 Tab., Verlag Walter de Gruyter, Berlin 1989

SCHRAMM, M. & SÖNNKE, J. [2001]:

ERA Morsleben – Mineralogisch-geochemische Untersuchungen im Grubengebäude der Schachanlage Bartensleben und Marie. – BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 0120 069, 40 S., 29 Anl.; Hannover [Unveröff.].

SCHULZE, G. [1962]:

Die Salzlagerstätte des Allertal“grabens“, in: LÖFFLER, J.: Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik, Teil III, Sachsen-Anhalt.- FFH C 97/III, 347 S., 135 Abb., 89 Tab.; Berlin, Akademie-Verlag.

SCHULZE, H & GREULICH, CH. & SEYFERT, H. [1961]:

Untersuchungen am Grauen Salzton im Spaltendiapir des oberen Allertals. unveröff. Manuskript, Halle 1961, zitiert in LÖFFLER, J.: Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik, Teil III, Sachsen-Anhalt.- FFH C 97/III, 347 S., 135 Abb., 89 Tab.; Berlin, Akademie-Verlag.

SCHWANDT, A. [1991]:

Analyse der geologisch-petrographischen Situation des Hauptanhydrits und Grauen Salztons zwischen Südharz und Allertalgraben, in: KAM-LOT, P.: Zusammenfassung und Beurteilung des derzeitigen Wissensstandes über das geotechnische Verhalten von Anhydrit und Salzton.- Bericht IFG-Leipzig [erstellt im Auftrag des BMFT], Nr. BMFT – FB (02 E 8241), 121 S.; Leipzig [Unveröff.].

WEBER, J.R. & WALLNER, M. [1998]:

Hydraulische Untersuchungen im Grubengebäude Morsleben. – BGR-Bericht [erstellt im Auftrag des BfS], Archiv-Nr. 117065, 98 S., 90 Abbl., 31 Tab.; Hannover [Unveröff.].

Tabelle 5: Zusammenstellung der Aufschlüsse der zechsteinzeitlichen Leithorizonte z2DA, z3GT, z3LK im Hutgestein des Untersuchungsgebietes und Berechnung der wahren Mächtigkeiten

Bohrung	Horizont	Teufe		Einfallswinkel		z2DA [m]			Horizont z3GT [m]			z3LK [m]		Bemerkung	
		Von	bis	von	bis	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit		
Dp Mors 10	Z2DA	200,95	201,25	20	20	0,30	0,10								
	Z3GT	201,25	204,05	20	20			2,80	0,96						
	Z3GT	204,05	204,30	5	20			0,25	0,05						
	Z3GT	204,30	204,93	5	20			0,63	0,14						
	Z3LK	204,93	205,40	20	20					0,47	0,16				
Dp Mors 11	Z3GT	65,70	69,20	60	70			3,50	3,17 ¹⁾						
	Z3LK	69,20	70,30	60	70					1,10	1,00			rechnerischer Mittelwert	
Dp Mors 20	Z3LK	271,30	272,30	75	75										
	Z3GT	272,30	278,00	75	75			5,70	5,51						
	Z3LK	278,00	283,70	50	60										
	Z2DA	36,40	37,80	40	40	1,40	0,90								
Dp Mors 42A1	Z3GT	37,80	38,40	40	40					0,60	0,39				
	Z3GT	38,40	40,30	40	40					1,90	1,22				
	Z3LK	40,30	41,10	30	30							0,80	0,40		
	Z3GT	234,97	235,45	40	40					0,48	0,31				
	Z3LK	235,45	235,64	40	40							0,19	0,12		
Dp Mors 45A	Z3GT/z3LK	214,60	215,50	35	35										Brekzie aus z3GT und z3LK, kein repräsentativer Aufschluss, wahre Mächtigkeit brekzierter Bereich 0,5m
Dp Mors 47	Z2DA/z3GT	231,50	233,70	40	40										Brekzie aus z3GT und z3LK, kein repräsentativer Aufschluss, wahre Mächtigkeit brekzierter Bereich 1,41m

Fortsetzung Tabelle 5: Zusammenstellung der Aufschlüsse der zechsteinzeitlichen Leithorizonte z2DA, z3GT, z3LK im Hutgestein des Untersuchungsgebietes und Berechnung der wahren Mächtigkeiten

Bohrung	Horizont	Teufe		Einfallswinkel		z2DA [m]		Horizont z3GT [m]		z3LK [m]		Bemerkung
		Von	bis	von	bis	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	
		[m u. GOK]		[GRAD]								
Dp Mors 65	Z3LK	200,50	200,90	65	65					0,40	0,36	
	Z3GT	200,90	202,50	65	65			1,60	1,45			
	Z3GT	202,50	204,00	45	45			1,50	1,06			
	Z3GT	204,00	205,50	45	45			1,50	1,06			
	Z3GT	205,50	205,90	15	20			0,40	0,12			
	Z2DA	205,90	206,20	20	25		0,30					
	Z2DA	206,20	206,40	10	15		0,20					
	Z2DA	206,40	207,80	15	20		1,40					
	Z3GT	211,90	212,40	35	35		0,42					
	Z3LK	212,40	213,50	35	35			0,50	0,29			
Dp Mors 69	Z2DA/z3GT	221,30	222,40	10	10					1,10	0,63	isolierte z2DA/z3GT Bruchstücke, kein repräsentativer Aufschluss, wahre Mächtigkeit brekzierter Bereich 0,19m
Dp Mors 72	Z2DA	128,00	128,12	40	40		0,12					
	Z3GT	128,12	130,47	50	50			2,35	1,80			
	Z3LK	130,47	131,37	60	60					0,90	0,78	
	Z3LK	131,37	132,58	50	55					1,21	0,96	
Dp Mors 97	Z2DA	191,45	192,60	50	50		1,15					
	Z3GT	192,60	193,85	75	75			1,25	1,21			
	Z3LK	193,85	194,40	55	65					0,55	0,48	
Dp Mors 98	Z3GT	225,50	229,10	40	50			3,60	2,55			
	Z3LK	229,10	230,50	30	40					1,40	0,80	

Fortsetzung Tabelle 5: Zusammenstellung der Aufschlüsse der zechsteinzeitlichen Leithorizonte z2DA, z3GT, z3LK im Hutgestein des Untersuchungsgebietes und Berechnung der wahren Mächtigkeiten

Bohrung	Horizont	Teufe		Einfallswinkel		z2DA [m]		Horizont		z3LK [m]		Bemerkung
		Von	bis	von	bis	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	scheinbare Mächtigkeit	wahre Mächtigkeit	
		[m u. GOK]		[GRAD]								
Dp Mors 99	Z2DA	173,50	174,10	70	60	0,60	0,54					
	Z3GT	174,10	174,50	80	75			0,40	0,39			
	Z3GT	174,50	175,00	70	40			0,50	0,41			
	Z3GT	175,00	176,20	75	70			1,20	1,14			
	Z3LK	176,20	176,35	65	65					0,15	0,14	
	Z3LK	176,35	176,55	60	60					0,20	0,17	
	Z3LK	176,55	176,95	65	60					0,40		
Mittelwerte							0,51		2,11		1,00	

30

Schichteinfallen von überlagernder oder unterlagernder Schicht übernommen

0,35

Für die Mächtigkeitsermittlung benutzter Wert

3,17¹⁾

z3GT-Mächtigkeit im Schichtenverzeichnis nicht ausgewiesen, rechnerisch ermittelt durch Abzug der durchschnittlichen z3LK-Mächtigkeit

Tabelle 6: Mineralogische Zusammensetzung der Schichtfolge DGL aus der Untersuchung einzelner Proben aus dem Grubengebäude ERA Morsleben (Angaben in Prozent) aus [SCHRAMM & SÖNNKE \(2001\)](#)

strat. Horizont	Proben Nr.	Anhydrit	Kieserit	Glimmerillit	Quarz	Chlorit	Serpentin	Magnesit	Halit	Koenenit	Calcit	Plagioklas	Pyrit	Turmalin
z2DA	105001	51	33	6	3	2	2	2	1	0	0	0	0	0
	105004	51	38	0	3	2	2	2	0	3	0	0	0	0
	105008	67	0	8	14	2	2	0	0	7	0	0	0	0
	105010	71	0	11	14	1	0	0	0	3	0	0	0	0
	105014	47	0	11	32	4	3	2	1	0	0	0	0	0
	105015	26	0	17	40	3	3	4	5	0	1	1	0	0
	105016	20	0	29	29	5	4	2	2	0	1	2	0	6
	Mittelwert	48	10	12	19	3	2	2	1	2	0	0	0	1
z3GT	105018	3	0	38	27	7	5	1	2	0	1	2	0	14
	105019	0	0	37	27	7	7	1	1	0		2	0	18
	105020	5	0	38	22	6	5	0	1	0	1	2	0	20
	105021	5	0	38	22	6	6	1	0	0	1	2	0	18
	105022	3	0	39	27	8	5	0	1	0	1	2	0	14
	105024	0	0	32	36	9	7	1	2	0	0	1	2	0
	105025	3	0	42	19	8	6	2	1	0	1	0	2	14
	Mittelwert	3	0	38	26	7	6	1	1	0	1	2	0	15
z3LK	105026	7	0	8	18	3	2	54	0	4	1	0	0	3
	105028	3	0	20	30	4	3	21	1	15	1	2	0	0
	105029	19	0	4	7	2	2	62	1	2	1	0	0	0
	105030	20	0	6	11	2		56	0	4	1	0	0	0
	Mittelwert	12	0	10	17	3	2	48	1	6	1	1	0	1

Tabelle 7: Mineralogische Zusammensetzung der subrosiven Fazies der Schichten Deckanhydrit, Grauer Salzton und Leinekarbonat im Hutgestein (Angaben in Prozent)

strat. Horizont	Name der Bohrung	Probenbezeichnung Teufenlage	Illit	Chlorit	Summe Tonmin.	Quarz	Kalifeld- spat	Plagio- klas	Kalzit	Dolo- mit	Halit	Gips	Pyrit
z2DA	Dp 99A/1	172,0 – 175,0 m; 1,77 m v. K.	42	13	55	33	0	2	0	?	0	10	0
	Dp 72A/1	169,0 – 172,0 m; 1,65 m v. K.	49	9	58	25	0	3	0	6	0	11	0
		Mittelwert	46	11	57	29	0	3	0	6(?)	0	11	0
z3GT	Dp 97A1	192,0 – 193,0 m; 0,9 m v. K.	50	7	57	29	?	2	0	?	Spur	12	0
	Dp 97A1	193,0 – 194,0 m; 0,15 m v. K.	66	9	75	22	0	2	0	0	1	0	0
	Dp 97A1	193,0 – 194,0 m; 0,8 m v. K.	41	6	47	22	0	2	0	25	1	3	0
	Dp 98A	223,0 – 226,0 m; 3 m v. K.	59	7	66	15	0	3	0	?1	2	13	0
	Dp 98A	226,0 – 229,0 m; 0,2 m v. K.	52	8	60	30	0	1	0	?1	2	6	0
	Dp 98A	226,0 – 229,0 m; 1,2 m v. K.	66	8	74	21	0	3	0	?	2	0	0
	Dp 98A	226,0 – 229,0 m; 2,9 m v. K.	54	6	60	24	0	3	0	9	0	3	1
	Dp 99A	172,0 – 175,0 m; 2,20 m v. K.	64	11	75	15	?	4	0	?1	0	5	0
	Dp 99A	172,0 – 175,0 m; 2,70 m v. K.	47	10	57	35	?	2	0	?	0	6	0
	Dp 99A	175,0 – 178,0 m; 0,4 m v. K.	62	10	72	24	0	4	0	0	0	0	0
	Dp 99A	175,0 – 178,0 m; 1,05 m v. K.	69	8	77	15	0	4	0	4	0	0	0
	Dp 72A	169,0 – 172,0 m; 2,30 m v. K.	63	9	72	22	0	1	0	0	0	5	0
	Dp 72A	172,0 – 175,0 m; 0,90 m v. K.	64	11	75	21	0	4	0	0	0	0	0
	Dp 72A	172,0 – 175,0 m; 1,75 m v. K.	64	10	74	23	0	3	0	0	0	0	0
	Dp 72A	172,0 – 175,0 m; 2,45 m v. K.	52	8	60	32	0	1	0	7	?	?	0
Dp 65A	199,0 – 202,0 m; 2,10 m v. K.	49	6	55	29	1	1 ?1	11	2	0	0	0	
Dp 65A	202,0 – 205,0 m; 2,90 m v. K.	59	11	70	24	0	2	0	1	3	0	0	
Dp 65A	205,6 – 208,0 m; 0,3 m v. K.	40	6	46	23	0	1	0	8	0	22	0	
		Mittelwert	57	8	65	24	0(?)	2 0(?)	4(?)	1(?)	4(?)	0	

Fortsetzung Tabelle 7: Mineralogische Zusammensetzung der subrosiven Fazies der Schichten Deckanhydrit, Grauer Salztou und Leinekarbonat im Hutgestein aus fünf ausgewählten Bohrungen (Angaben in Prozent)

strat. Horizont	Name der Bohrung	Probenbezeichnung Teufenlage	Dolo- mit	Mag- nesit	Side- rit	Quarz	Plagio- klas	Halit	Gips	Tonmine- ralien	Illit	WL Illit/ Siderit	Chlo- rit	Kaolinit
z3LK	Dp 97A1	194,0 – 195,0 m; am Kopf	72			22	2		4	vorhanden				
	Dp 97A1	194,0 – 195,0 m; am Kopf	78			10	3		9	gering vorhanden				
	Dp 98	229,0 – 232,0 m; 0,80 m v. K.	67			22	3	2	6	vorhanden				
	Dp 98A	229,0 – 232,0 m; 0,40 m v. K.	89			6	2	Spur	3	gering vorhanden				
	Dp 98A	229,0 – 232,0 m; 1,10 m v. K.	84			8	2	Spur	6	gering vorhanden				
	Dp 98A	229,0 – 232,0 m; 1,10 m v. K.	74			9	2		15	vorhanden	+	+	?	?
	Dp 98A	229,0 – 232,0 m; 1,20 m v. K.	86			6	3		5	vorhanden				
	Dp 99A	175,0 – 178,0 m; 1,25 m v. K.	86			6	2		6	vorhanden				
	Dp 99A	175,0 – 178,0 m; 1,45 m v. K.	72	Spur		24	3		1	vorhanden				
	Dp 99A	175,0 – 178,0 m; 1,65 m v. K.	89	2		5	3		1	vorhanden				
	Dp 72A	172,0 – 175,0 m; 2,70 m v. K.	61			19	2		18	vorhanden				
	Dp 72A	172,0 – 175,0 m; 2,92 m v. K.	61			35	2		2	vorhanden				
	Dp 72A	175,0 – 178,0 m; 0,10 m v. K.	81			8	3		8	vorhanden				
	Dp 65A	199,0 – 202,0 m; 1,70 m v. K.	86	Spur		9	2		3	vorhanden				
			Mittelwert	78	Spur	0(?)	14	2	Spur	6	vorhanden			(?)

Tabelle 8: Porositätsdaten der subrosiven Fazies der Schichtenfolge DGL (Angaben in Vol-%)

Name der Bohrung	Teufenlage der Probe/ Abstand vom Kopf	Deckanhydrit		Grauer Salzton		Leinekarbonat	
		Gesamt- porosität	Nutzporosität	Gesamt- porosität	Nutzporosität	Gesamt- porosität	Nutzporosität
Dp Mors 97A1	191 – 192 m / 0,65 - 0,70 m	30,2	11,2				
Dp Mors 97A1	192 – 193 m / 0,80 - 0,85 m			31,4	29,6		
Dp Mors 97A1	193 - 194 m / 0,40 - 0,45 m			27,2	16,3		
Dp Mors 98A	226 - 229 m / 0,45 - 0,50 m			33,9	29,4		
Dp Mors 98A	226 - 229 m / 2,30 - 2,35 m			24,7	24,5		
Dp Mors 98A	229 - 232 m / 0,05 - 0,10 m			28,2	28,0		
Dp Mors 98A	229 - 232 m / 1,35 - 1,40 m					9,9	7,9
Dp Mors 99A	122 - 125 m / 2,21 - 2,26 m			22,0	13,5		
Dp Mors 99A	172 - 175 m / 2,35 - 2,40 m			22,4	11,4		
Dp Mors 99A	172 - 175 m / 2,85 - 2,90 m			32,0	28,0		
Dp Mors 99A	175 - 178 m / 0,90 - 0,95 m			31,9	31,0		
Dp Mors 99A	175 - 178 m / 1,55 - 1,65 m					5,7	4,2
Dp Mors 72A	172 - 175 m / 0,70 - 0,75 m			31,9	29,5		
Dp Mors 72A	172 - 175 m / 1,25 - 1,30 m			28,3	26,0		
Dp Mors 72A	172 - 175 m / 2,30 - 2,35 m			24,8	23,1		
Dp Mors 72A	175 - 178 m / 0,10 - 0,20 m					17,8	13,8
Dp Mors 65A	199 - 202 m / 2,60 - 2,65 m			29,5	28,5		
Dp Mors 65A	202 - 205 m / 2,80 - 2,85 m			29,2	27,9		
Dp Mors 65A	205- 205,6 m / 0,35 - 0,4 m			32,9	29,4		
	Mittelwerte	30,2	11,2	28,7	25,1	11,1	8,6

Tabelle 9: Hydraulische Tests im Hutgestein mit Einbeziehung der zechsteinzeitlichen Leithorizonte z2DA, z3GT, z3LK und Laboraten von Durchlässigkeitsbestimmungen (verändert und ergänzt nach (LANGKUTSCH et al. 1998))

Dp Mors - Test	Testintervall von bis [m u. GOK]	FCON-Log	Pumptest		Bemerkung	Testanalyse					Hydrogeologische Bewertung
			Zeit [h]	Rate [l/min]		Permeabilität [m ²]	Transmissivität T [m ² /s]	Durchlässigkeitsbeiwert k _f [m/s]	Frischwassersp. [m NN]		
10/88-3	194,70-235,00	n.g.			kein Zufluss Horizont dicht	n.b.	n.b.			n.b.	keine Wegsamkeit
11/90-2	103,40-150,40	n.g.			kein Zufluss	7,7E-20	3E-11				keine Wegsamkeit
20/88-4	251,40-324,90	n.g.			ca. 700 l	1,5E-16	7,7E-08				Isoliertes Lösungsreservoir im Salinar
42A1-4	233,40-238,50	+	0,1 6,0	0,26		4E-16	1,5E-08			< 126	Wegsamkeit nachgewiesen
45A-6	204,00-216,10	-				3E-17	3E-09			129±2	0,4m DGL d. Packer abgedeckt, begrenzte Wegsamkeit
65A-1	198,00-216,20	+	7,0 3,5 35	1,0 0,5 0,3		3E-16	4,1E-08			107-115	Wegsamkeit nachgewiesen
72A-2	169,00-250,00	n.g.				< 1E-18				113-135	keine Wegsamkeit
72A-3	115,00-150,00	n.g.				< 1E-18				114-127	keine Wegsamkeit
65A					z3GT			3,5E-10			(Labor)
98A ²⁾					z3GT			1,3E-09			(Labor)
99A ²⁾					z3LK			2,8E-08			(Labor)
97A1-T7 ²⁾	189,50-278,00 191,45-194,40				Salzspiegel DGL			4,6E-10 1,5E-11 4,6E-10	5,2E-12 5,2E-12 1,6E-10		
98A-T8 ²⁾	224,00-238,09				cr(DGL,AN)			5,0E-10	3,5E-11		
100A-T10 ²⁾	267,32-274,40				cr(kmGo) ¹⁾			9,8E-13	1,4E-13		

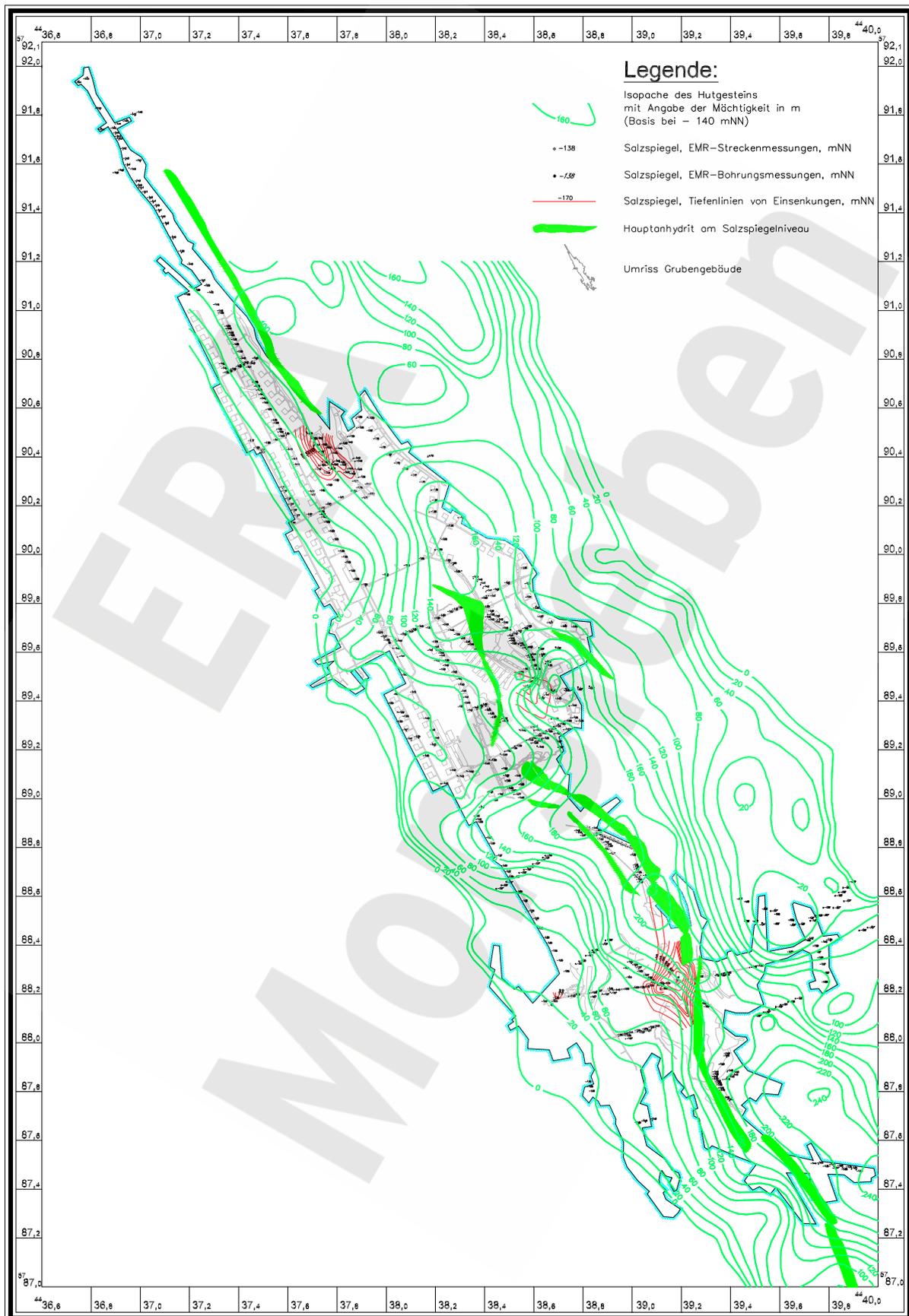
n. b. nicht bestimmbar, n. g. nicht gemessen, + positive FCON-Indikation, - keine FCON-Indikation

1) Roter Salzton z4RT

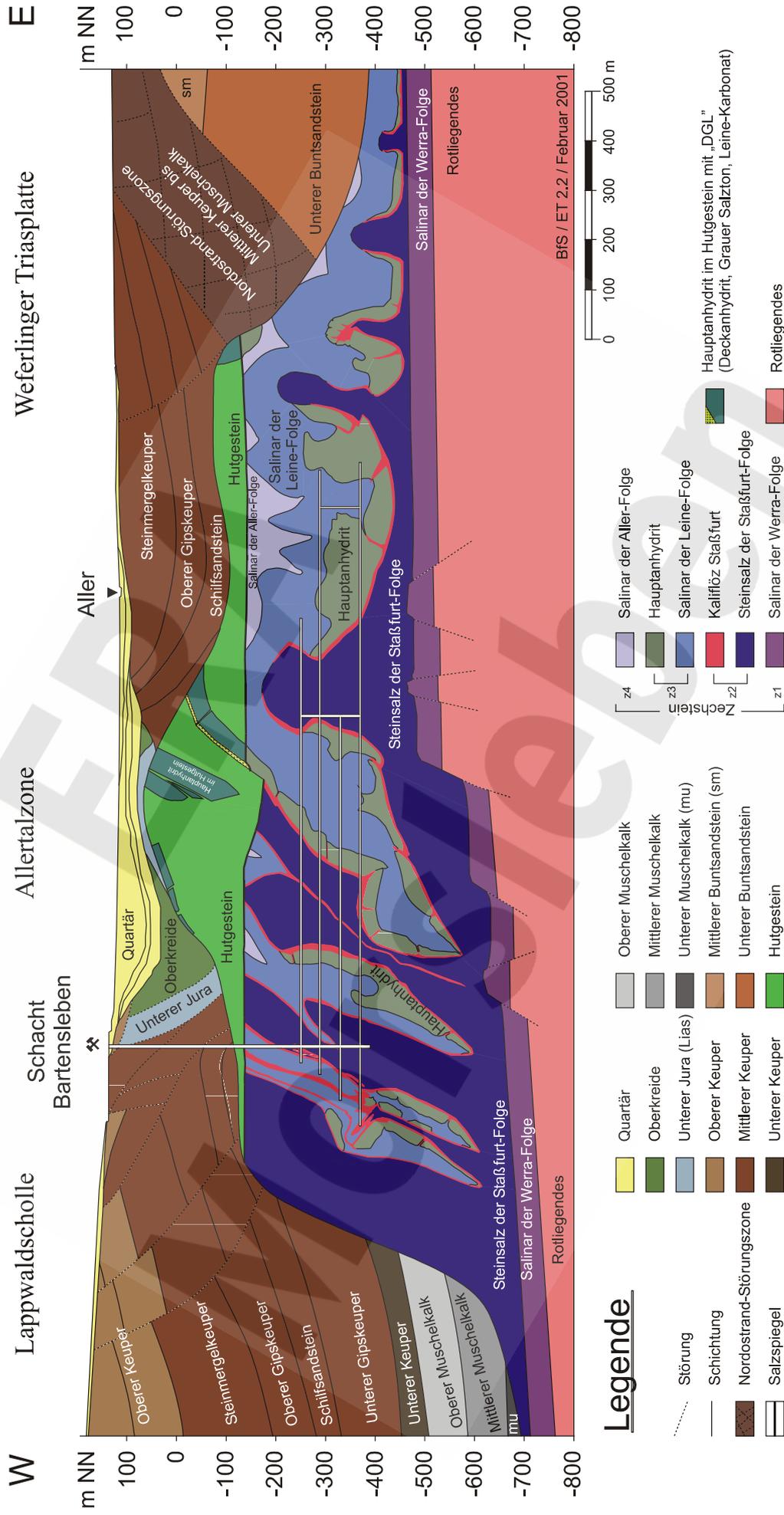
2) Daten aus GOLDER ASSOCIATES (1998c, d, e)

Tabelle 10: abgeleitete Transmissivitäten der DGL für einzelnen Testintervalle und hydraulische Durchlässigkeit der DGL

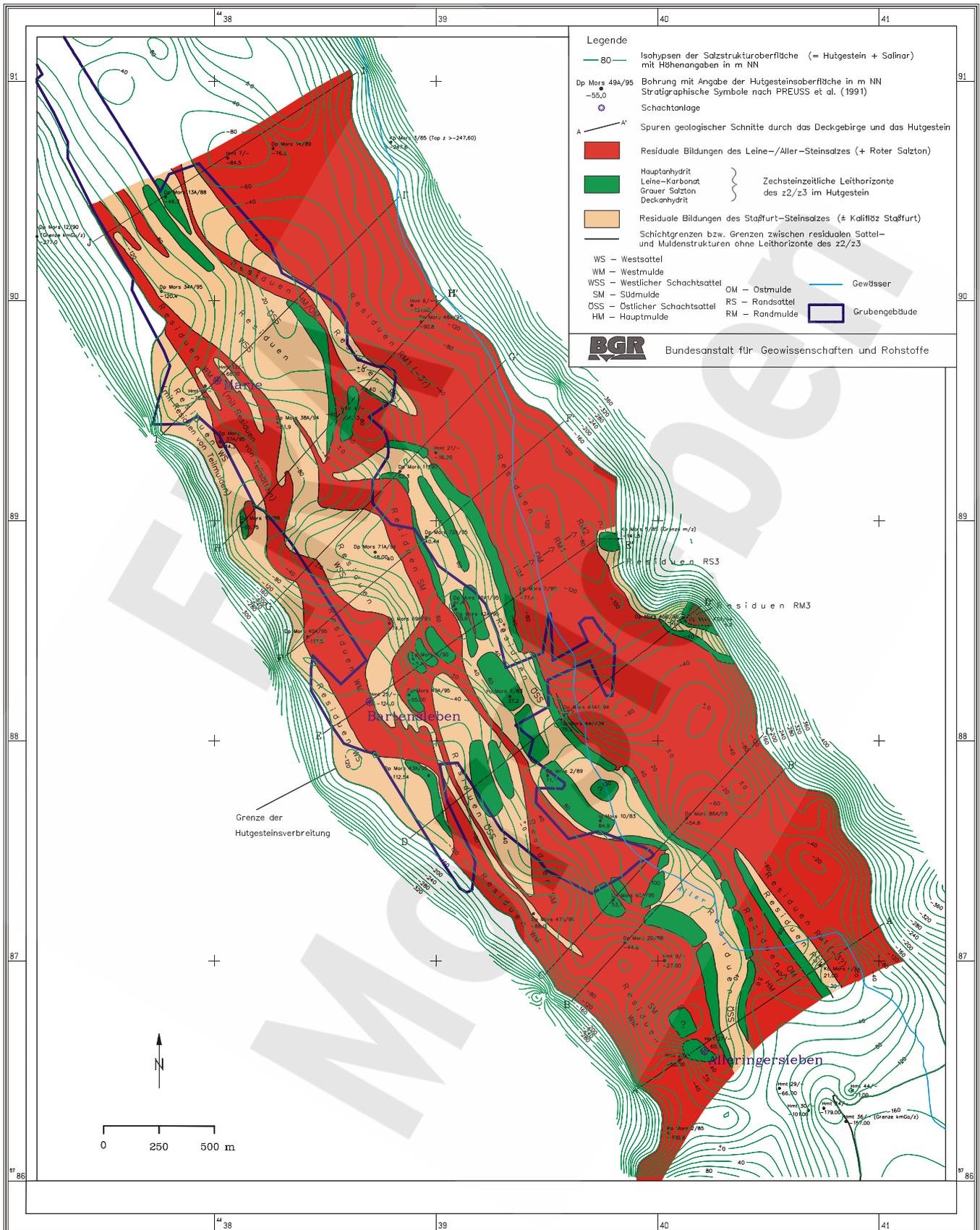
Bohrung, Dp Mors	Testintervall			DGL Mächtigkeit im Testintervall [m]	Transmissivität		Durchlässigkeitsbeiwert DGL		Kommentar	
	von [m u. GOK]	bis	Länge [m]		Bestwert	Bandbreite	Bestwert [m/s]	Bandbreite [m/s]		
-Test										
11/90-T2	103,4	150,4	47	6,3	3E-11			4,7E-12	verm. beeinflusst d. bohrloch- nahe Effekte. Ermitteltes Best- wert ist als Abschätzung verwendbar	
20/88-T4	251,4	324,9	73,5	12,4	7,7E-8			6,2E-9	Test zu kurz Abschätzung für die DGL	
42A1-T4	233,4	238,5	5,1	0,7	1,5E-8	1E-8 – 3E-8		2,1E-8	hydraul. Verbindung mit Bohr- lochabschnitt unterhalb des Test- intervalls – Abschätzung für die DGL	
45A-T6	204,0	216,1	12,1	0,9	3E-9	2E-9 – 7E-9		3,3E-9	belastbares Ergebnis	
65A-T1	198,0	216,2	18,2	6,8	4,1E-8	3E-8 – 5E-8		6,0E-9	belastbares Ergebnis	
72A-T2	169,0	250,0	81,0	4,74	5,3E-11			1,1E-11	Ergebnis ohne Berücksichtigung des Formationsdrucks	
72A-T3	115,0	150,0	35,0	4,58	2,6E-11	8E-12 – 1E-10		1,7E-12	belastbares Ergebnis	
97A1-T7	189,5	278,0	88,5	2,95	5E-10	6E-10 – 2E-9		1,7E-10	belastbares Ergebnis	
98A-T8	224,0	238,1	14,1	5	5E-10	-		1,0E-10	belastbares Ergebnis	
100A-T10	267,3	274,4	7,1	2,3	1E-12	7E-13 – 2E-11		4,3E-13	belastbares Ergebnis	
Durchlässigkeitsbestimmungen an Kernproben im Labor										
65A				Grauer Salztzn		3,5E-10				
98A				Grauer Salztzn		1,3E-9				
99A				Leinekarbonat		2,8E-8				



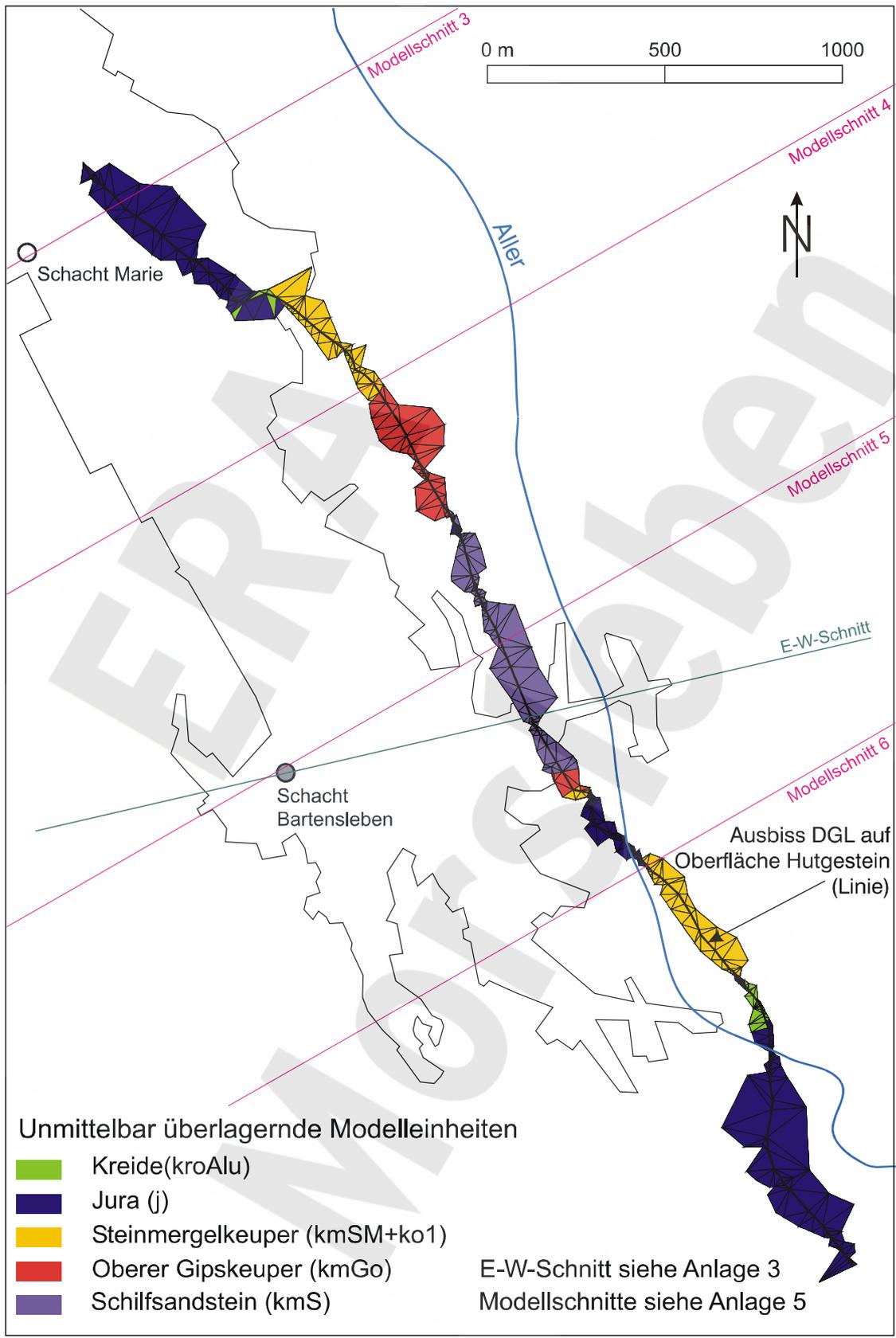
Anlage 1: Hauptanhydrit und DGL-Ausstrich am Salzspiegel sowie Isolinien der Salzspiegelteufe und Hutgesteinsmächtigkeit



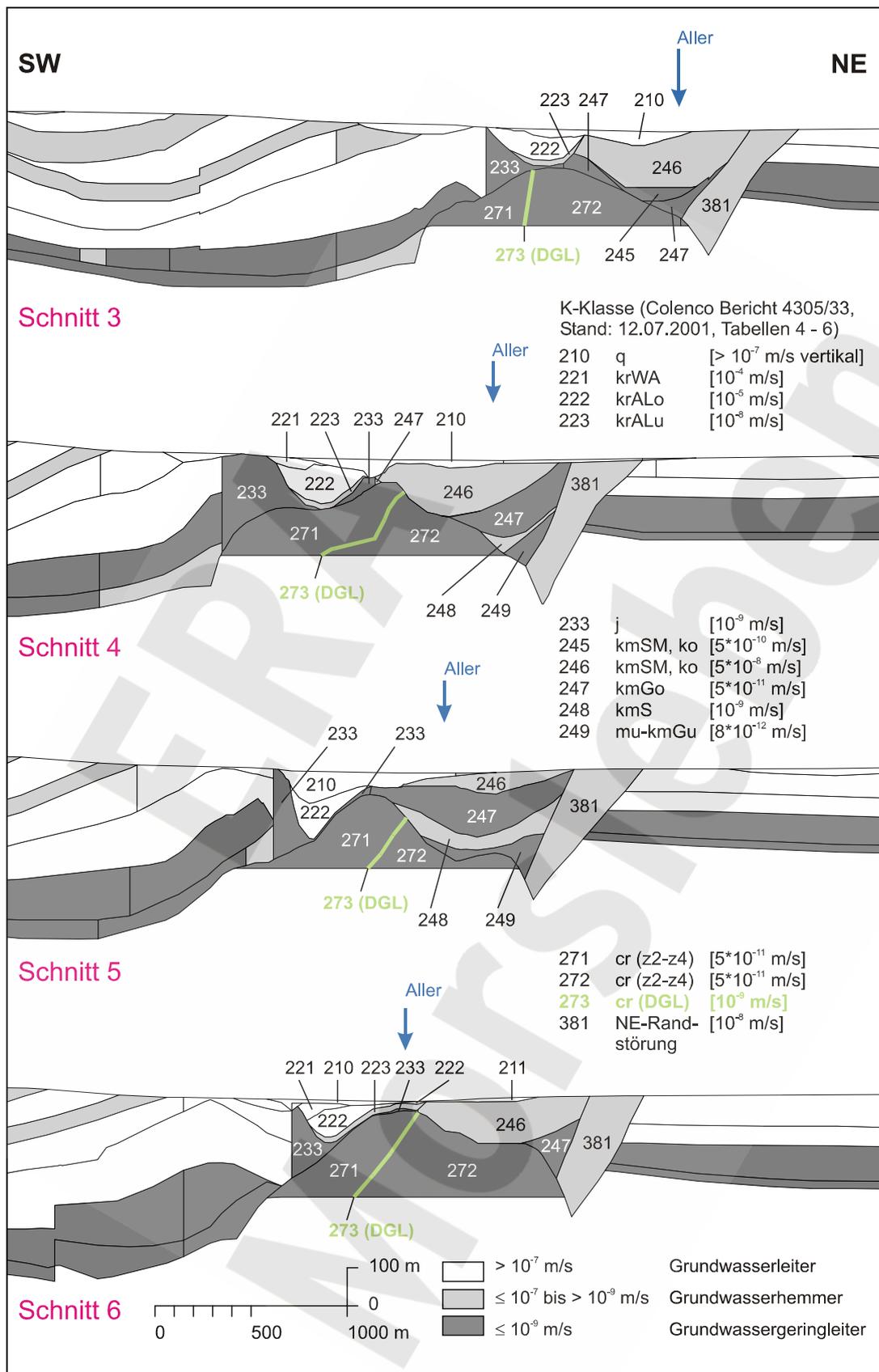
Anlage 2: schematischer geologischer Südost- Nordwest- Schnitt



Anlage 3: Geologie an der Oberfläche des Hutgesteins (aus BALZER 2000)



Anlage 4: Hydrostratigraphische Einheiten über DGL an der Hut-gesteinsoberfläche (verändert nach KLEMENZ et al. 2001)



Anlage 5: Schnitte aus dem hydrogeologischen 3D-Modell zur Visualisierung der hydrogeologischen Verhältnisse am Ausstrich der Schichtenfolge DGL am Top Hutgestein (verändert nach KLEMENZ et al. 2001)