Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: QM - 9A 23440000 / SE 4.2.1

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	23440000	GA	RA	0009	00

Seite: I

Stand: 12.04.2017

Titel der Unterlage:

SCHACHTANLAGE ASSE II: KONZEPTPLANUNG FÜR EINEN WEITEREN SCHACHT
ERGEBNISBERICHT REMLINGEN 15
GEOWISSENSCHAFTLICHE AUSWERTUNG DER ERKUNDUNGSERGEBNISSE ZUR BOHRUNG REMLINGEN 15

Ersteller:

ARGE SCHACHT 5

Stempelfeld:

bergrechtlich verantwortliche Person:	atomrechtlich verantwortliche Person:	Projektleitung:	Freigabe zur Anwendung:

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.

Bundesamt für Strahlenschutz

Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RA	0009	00		Stand: 12.04.2017

Titel der Unterlage:

SCHACHTANLAGE ASSE II: KONZEPTPLANUNG FÜR EINEN WEITEREN SCHACHT
ERGEBNISBERICHT REMLINGEN 15
GEOWISSENSCHAFTLICHE AUSWERTUNG DER ERKUNDUNGSERGEBNISSE ZUR BOHRUNG REMLINGEN 15

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer	Rev. Seite	Kat.*	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Änderung
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

Schachtanlage Asse II
Konzeptplanung für einen weiteren Schacht
- Ergebnisbericht Remlingen 15 -

Geowissenschaftliche Auswertung der Erkundungsergebnisse zur Bohrung Remlingen 15

DMT GmbH & Co. KG / TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG

K-UTEC AG Salt Technologies

Thyssen Schachtbau GmbH

Sondershausen, 12.04.2017

Impressum:

Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz
Willy-Brandt-Str. 5
38226 Salzgitter
Telefon: 030 18333-0
Telefax: 030 18333-1885
E-Mail: epost@bfs.de
Internet: www.bfs.de

Ersteller: ARGE Schacht 5
K-UTEC AG Salt Technologies

Der Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Revisionsblatt

Rev.	Rev.-Stand Datum	revidierte Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	12.04.2017			Ersterstellung

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Revision
Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

Kurzfassung

Autoren: EurGeol Dipl.-Geol. , Geol. MSc. , EurGeol Dipl. Geol. , Dr. Ing.

Titel: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht
- Ergebnisbericht Remlingen 15 -
Geowissenschaftliche Auswertung der Erkundungsergebnisse zur Bohrung Remlingen 15

Stand: 12.04.2017

Nach dem Ergebnis des Optionenvergleichs zur Schließung der Asse stellt die Rückholung der Abfälle aus der Schachtanlage Asse II die aus derzeitiger Sicht einzige Stilllegungsoption dar, die eine auf lange Zeit sichere Schließung der Anlage entsprechend den Anforderungen des § 9b AtG erwarten lässt. Daher soll gem. § 57b AtG die Stilllegung der Schachtanlage nach Rückholung der radioaktiven Abfälle erfolgen.

Um die Rückholung aller Gebinde unter den bestehenden Randbedingungen der Schachtanlage ausführen zu können, ist ein weiterer Schacht unabdingbar. Zielstellung im Rahmen des Auftrages ist die Konzeptplanung für das Erstellen dieses weiteren Schachtes.

Um die Planungen für den neuen Schacht auf eine fundierte Datenbasis stützen zu können, wurde eine geowissenschaftliche Erkundungsbohrung nach Auswahl eines geeigneten Ansatzpunktes durchgeführt. Die dabei gewonnenen Daten dienen der Charakterisierung des Gebirgsaufbaus am ausgewählten Standort und liefern wesentliche Informationen und Daten für die weiteren Planungen und sich anschließende Detailauswertungen, wie z. B. für das Salinar durch die BGR.

Im vorliegenden Bericht werden die gewonnenen geologischen, geophysikalischen, geotechnischen und hydrogeologischen Informationen für den ausgewählten Standort der Bohrung Remlingen 15 zusammengefasst und einer ersten Vorauswertung unterzogen.

Dieser Bericht fasst die Erkundungsergebnisse und Untersuchungen zur Remlingen 15 zusammen. Die daraus abzuleitende Bewertung hinsichtlich einer Eignung als potentieller Schachtstandort ist nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung **4**

Inhaltsverzeichnis **5**

Abbildungsverzeichnis **9**

Tabellenverzeichnis **11**

Anhangverzeichnis **16**

Abkürzungsverzeichnis **17**

1 Allgemeines **19**
1.1 Ziel der Bohrung 19
1.2 Aufgabenstellung 19
1.3 Lage der Bohrung 21
1.4 Ausrüstung, Genehmigungen und Unterweisungen 23
1.4.1 Ausrüstung des geologischen Personals 23
1.4.2 Genehmigungen 24
1.4.3 Unterweisungen und Verordnungen für Personal und Aufragnehmer 25
1.5 Geologische Ausgangssituation 26

2 Methodik **28**
2.1 Geologische Bohrkernaufnahme 28
2.1.1 Bohrkernentnahme, Spülprobenentnahme 28
2.1.1.1 Bohrkernentnahme 28
2.1.1.2 Spülprobenentnahme 30
2.1.2 Bohrkernaufnahme 32
2.1.2.1 Vermessen der Bohrkernlänge (Kernmarschlänge) 32
2.1.2.2 RQD-Index-Bestimmung 34
2.1.2.3 Ablage der Kerne in Kernkisten 35
2.1.3 Dokumentation 36
2.1.3.1 Feldgeologische Beschreibung und Protokollierung 36
2.1.3.2 Fotodokumentation 38
2.1.4 Lagerung im Kernlager 38
2.2 Fotodokumentation 39
2.2.1 Auflichtfotographie 40
2.2.1.1 Übersichtsfotos 41
2.2.1.2 Detailfotos 41
2.2.2 Durchlichtfotografie 42
2.3 Feldlabor 43
2.3.1 Zugabe von Uranin (Tracer) zur Bohrspülung 44
2.3.2 Allgemeine Feldtests zur Verifizierung der Bohrkernzusammensetzung 44
2.4 Software 45
2.4.1 GeODin 45
2.4.2 Tec-Corim 45
2.4.3 Well-CAD 46

3 Technischer Bohrungsverlauf **47**
3.1 Überblick 47
3.2 Chronologie 47
3.2.1 1. Abschnitt (0 bis 135 m) 47

3.2.2 2. Abschnitt (135 bis 259 m) ... 48
3.2.3 3. Abschnitt (259 bis 417,5 m) ... 49
3.2.4 4. Abschnitt (406 bis 450 m) ... 49
3.2.5 5. Abschnitt (450 bis 900 m) ... 50
3.3 Bohr- und Verrohrungsschema ... 52
3.4 Neigungsmessungen ... 54
3.5 Bohrlochabweichung ... 55
3.5.1 Bohrlochabweichung der Bohrung Remlingen 15 ... 55
3.6 True Vertical Depth (TVD) ... 60

4 Geologische Feldaufnahme ... 62
4.1 Allgemeine Hinweise ... 62
4.2 Schichtenverzeichnisse ... 63
4.2.1 Abschnitt 1 ... 63
4.2.2 Abschnitt 2 ... 66
4.2.3 Abschnitt 3 ... 67
4.2.4 Abschnitt 4 ... 69
4.2.5 Abschnitt 5 ... 70
4.3 Stratigrafisches Profil gemäß Bohrkernaufnahme ... 71
4.4 RQD-Bestimmung ... 73

5 Bohrlochmessungen ... 74
5.1 Bohrlochgeophysikalische Messungen ... 74
5.1.1 Ziele ... 74
5.1.2 Messprogramm ... 76
5.2 Hydraulische Messungen und Wasseranalytik ... 77
5.2.1 Ziele ... 77
5.2.2 Messprogramm ... 78
5.2.3 Messequipment ... 79
5.2.4 Messprinzip ... 81
5.2.4.1 Genereller Testablauf in der Remlingen 15 ... 82
5.3 Spannungsmessungen ... 84
5.3.1 Ziele ... 84
5.3.2 Messprogramm ... 84
5.3.3 Messequipment ... 85
5.3.4 Messprinzip ... 86
5.4 Dilatometermessungen ... 87
5.4.1 Ziele ... 87
5.4.2 Messprogramm ... 88
5.4.3 Messequipment ... 89
5.4.4 Messprinzip ... 90

6 Analysenprogramm ... 92
6.1 Geochemische Untersuchungen ... 92
6.1.1 Salzvollanalytik ... 92
6.1.1.1 Allgemein ... 92
6.1.1.2 Probennahme und Durchführung ... 92
6.1.2 Bromidanalytik ... 95
6.1.2.1 Allgemein ... 95
6.1.2.2 Probenahme und Durchführung ... 95
6.2 Sorptionsversuche ... 98
6.2.1 Allgemein ... 98

6.2.2 Probenahme und Durchführung 99
6.3 Gebirgsmechanische Untersuchungen 101
6.3.1 Allgemein 101
6.3.2 Probenahme und Durchführung 103
6.4 Geologisch-Paläontologische Untersuchungen 104
6.4.1 Pollenanalysen 105
6.4.1.1 Allgemein 105
6.4.1.2 Probenahme und Durchführung 105
6.4.2 Mikropaläontologische Untersuchungen 107
6.4.2.1 Allgemein 107
6.4.2.2 Probenahme und Durchführung 107
6.4.2.2.1 Muschelkalk 108
6.4.2.2.2 Buntsandstein 110
6.4.3 Geochemisch-mineralogische und geotechnische Untersuchungen 112
6.4.3.1 Allgemein 112
6.4.3.2 Probenahme und Durchführung 112
6.4.3.2.1 Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA) 114
6.4.3.2.2 Röntgendiffraktometeranalytik (RDA) 115
6.4.3.2.3 Wasserempfindlichkeitsbestimmung 115
6.4.3.2.4 Quellversuche an Anhydriten des Salinarabschnittes 116
6.4.3.2.4.1 Versuchsdurchführung 118
6.4.3.2.4.2 Dokumentation und Ergebnisse 118
6.4.3.2.4.3 Strömungstechnische Untersuchungen 121

7 Ergebnisse und Diskussion/Bewertung 123
7.1 Deckgebirge 123
7.1.1 Geologische Schichtabfolge und stratigrafische Zuordnung 123
7.1.1.1 Muschelkalk (0 mT bis 130,4 mT) 124
7.1.1.1.1 Lithologische Beschreibung 124
7.1.1.1.2 Stratigrafische Einordnung 125
7.1.1.2 Buntsandstein (130,4 mT bis 394,30 mT) 130
7.1.1.2.1 Lithologische Beschreibung 130
7.1.1.2.2 Stratigrafische Einordnung 133
7.1.1.3 „Hutgestein“ (39ζ,3 mT bis ζζ 3,8 mT) 137
7.1.1.3.1 Lithologische Beschreibung 137
7.1.1.3.2 Stratigrafische Einordnung 140
7.1.2 Strukturgeologische Aufnahme 143
7.1.2.1 Muschelkalk (0 mT bis 130,4 mT) 143
7.1.2.1.1 Schichtlagerung 143
7.1.2.1.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche 144
7.1.2.1.3 Störungen 146
7.1.2.2 Buntsandstein, gesicherte Ansprache (130,4 mT bis 394,3 mT) 149
7.1.2.2.1 Schichtlagerung 149
7.1.2.2.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche 150
7.1.2.2.3 Störungen 151
7.1.2.3 „Hutgestein“ (39ζ,3 mT bis ζζ 3,8 mT) 152
7.1.2.3.1 Schichtlagerung 152
7.1.2.3.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche 153
7.1.2.3.3 Störungen 153
7.1.3 Hydrogeologische Beschreibung/Eigenschaften 154
7.1.3.1 Muschelkalk (0 mT bis 130,4 mT) 154

7.1.3.2 Buntsandstein (130,4 mT bis 394,3 mT) 161
7.1.3.3 „Hutgestein“ (39ζ,3 mT bis ζζ 3,8 mT) 167
7.1.4 Gebirgsmechanische Beschreibung/Eigenschaften 170
7.1.4.1 Ergebnisse Spannungsmessungen 170
7.1.4.2 Ergebnisse Dilatometermessungen 172
7.1.4.3 Ergebnisse gebirgsmechanische Untersuchungen 174
7.2 Salinar 176
7.2.1 Geologische Schichtabfolge und stratigrafische Zuordnung 176
7.2.1.1 Lithologische Beschreibung 176
7.2.1.2 Stratigrafische Einordnung 179
7.2.2 Strukturgeologische Aufnahme 183
7.2.2.1 Schichtlagerung 183
7.2.2.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche 185
7.2.2.3 Störungen 186
7.2.3 Hydrogeologische Beschreibung/Eigenschaften 187
7.2.4 Gebirgsmechanische Beschreibung/Eigenschaften 190
7.2.4.1 Ergebnisse Spannungsmessungen 190
7.2.4.2 Ergebnisse Dilatometermessungen 193
7.2.4.3 Ergebnisse gebirgsmechanische Untersuchungen 193

8 Zusammenfassung 196

9 Literaturverzeichnis 207

Gesamtseitenzahl: 331

Stichworte: Asse, Schacht 5, Abschlussbericht, Erkundungsbohrung, Geologie, Geophysik, Hydrogeologie, Mess- und Untersuchungsprogramm, Remlingen 15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Schachtanlage Asse II und des Bohransatzpunktes (Quelle: Google Maps). 22

Abbildung 2: Geologischer Profilschnitt 28 und geplanter Verlauf der Erkundungsbohrung Remlingen 15. [2], verändert. 27

Abbildung 3: Entnahme des Kernmarsches (Beispiel für den Salinarabschnitt) aus dem Kernrohr. 29

Abbildung 4: Erfassungsmaske für die Beschreibung der gewonnenen Spülproben (Cuttings). 30

Abbildung 5: Spülproben (Cuttings) der Bohrung Remlingen 15. 31

Abbildung 6: Kernrinne zur Ablage des entnommenen Bohrkernes. Beispiel aus dem Deckgebirge (Muschelkalk). 32

Abbildung 7: Kernrinne zur Ablage des entnommenen Bohrkernes. Beispiel aus dem Salinar. Diese Rinne wurde entsprechend länger angelegt, da die Kernmärsche aus dem Salinar bis zu 6 m lang gewonnen werden konnten. 33

Abbildung 8: Darstellung der Durchführung der Messung und Kalkulation des RQD-Index an einem schematischen Bohrkernabschnitt. Nach [3], verändert. 34

Abbildung 9: Zuschneiden langer, zusammenhängender Bohrkerne auf 1 Meter lange Stücke zur Ablage in den Doppelkernkisten. 35

Abbildung 10: Verpackung und Aufbewahrung der Bohrkerne in den Doppelkernkisten. 36

Abbildung 11: Kernlager in Remlingen. Deponierung und Auslage der Kernkisten der Bohrung Remlingen 15. 39

Abbildung 12: Schematische Darstellung zur Fotodokumentation von Bohrkernen und ein Beispiel. 40

Abbildung 13: Aufbau der Fotoeinrichtung im Bohrkern-Aufnahme-Container auf dem Bohrplatz. 41

Abbildung 14: Beispiel-Detailaufnahme eines Bohrkernes. 42

Abbildung 15: Vergleich Auf- und Durchlichtfotografie am Beispiel von 2 Bohrkernen des 5. Abschnittes der Remlingen 15. 43

Abbildung 16: Bohr- und Verrohrungsschema der Bohrung Remlingen 15. 53

Abbildung 17: Darstellung des Bohrlochverlaufs in der Aufsicht ([2], verändert)..... 56

Abbildung 18: Darstellung des Bohrlochverlaufs als Projektion in den geologischen Schnitt 28 ([2], verändert)..... 57

Abbildung 19: Auswertung und grafische Darstellung der Ergebnisse der Bohrlochverlaufs-messungen im Bohrloch der Remlingen 15 (Bullseye). 58

Abbildung 20: Gesamtauswertung der Ergebnisse der Bohrlochverlaufsmessungen im Bohrloch der Remlingen 15. 59

Abbildung 21: Schematische Darstellung der True Vertical Depth (TVD) im Vergleich zur Drill Depth (Bohrtiefe). 60

Abbildung 22: Darstellung der stratigrafischen Grenzen gemäß feldgeologischer Bohrkern-aufnahme. 72

Abbildung 23: Schematische Darstellung eines Doppelpackersystems. 82

Abbildung 24: Schematischer Aufbau der Dilatometersonde. Aus [11]. 90

Abbildung 25: Schematische Skizze der Probenkörper. 93

Abbildung 26: Darstellung der Probengewinnung sowie der verschiedenen Methoden der Materialentnahme zur Untersuchung des Kernmaterials auf Bromid mittels RFA-Analytik. 97

Abbildung 27: Einlagerungs-Fass für die mit Argon-Gas vorbehandelten Proben (links). Stickstoffbehälter für die Einlagerung der mit Stickstoff zu behandelnden Proben (rechts). 99

Abbildung 28: Synthese der Daten der mikropalöontologischen Untersuchungen zu einem holostratigrafischen Modell für den Bereich des Muschelkalks. Aus [16] 125

Abbildung 29: Veranschaulichung der stratigrafischen Interpretationen für die Bohrung Remlingen 15. Vergrößerter Auszug für den Bereich des Unteren Muschelkalks. 129

Abbildung 30: Veranschaulichung der stratigrafischen Interpretationen für die Bohrung Remlingen 15. Vergrößerter Auszug für den Bereich des Oberen Buntsandsteins. 134

Abbildung 31: Veranschaulichung der stratigrafischen Interpretationen für die Bohrung Remlingen 15. Vergrößerter Auszug für den Bereich des Abschnittes ohne stratigrafische Einstufung. 141

Abbildung 32: PIPER-Diagramm der Probe i2, i3 und Referenz Trinkwasser sowie Grundwasser aus dem mu/so-Bereich der Asse- -Struktur (stark tritiumhaltige Proben hellblau). Mit eingezeichnet ist der Entwicklungspfad eines Ionenaustauschwassers. (Abbildung 6 aus Anhang 1 in [12]) 160

Abbildung 33: PIPER-Diagramm der Probe i6, i7 und Referenz Trinkwasser sowie Grundwässer aus dem so-Bereich der Asse-Sattel-Struktur (stark tritiumhaltige Proben hellfarbig). Mit eingezeichnet ist der Entwicklungspfad eines Ionenaustauschwassers. (Abbildung 8 aus Anhang 1 in [12]) 167

Abbildung 34: Bromidprofil der Remlingen 15; korreliert mit dem Akustik-Log im Salinar. 182

Abbildung 35: Darstellung des ermittelten Spannungsfeldes im Bereich der Bohrung Remlingen 15, aus [10]. 192

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckdaten des Bohransatzpunktes. 22

Tabelle 2: Erwartetes geologisches Vorprofil der Erkundungsbohrung Remlingen 15 gem. [1]. 26

Tabelle 3: Übersicht Bohrablauf Erkundungsbohrung Remlingen 15 und Zuordnung Bohrungsbezeichnung 50

Tabelle 4: Bohr- und Verrohrungsschema der Bohrung Remlingen 15. 52

Tabelle 5: Ergebnisse der Neigungsmessungen im Bohrloch während der Bohrarbeiten (durchgeführt durch Fa. Daldrup & Söhne AG). 54

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Drill Depth und der entsprechenden True Vertical Depth (TVD). 61

Tabelle 7: Übersicht zum tatsächlich durchgeführten Bohrungsablauf der Remlingen 15 62

Tabelle 8: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den ersten Bohrabschnitt. 64

Tabelle 9: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den zweiten Bohrabschnitt. 66

Tabelle 10: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den dritten Bohrabschnitt. 68

Tabelle 11: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den vierten Bohrabschnitt..... 69

Tabelle 12: Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den fünften Bohrabschnitt..... 70

Tabelle 13: Erläuterung der Farbgebung der Strukturen im ABF-Log 75

Tabelle 14: Übersicht über die durchgeführten geophysikalischen Messungen. 76

Tabelle 15: Übersicht über die durchgeführten Testintervalle der hydraulischen Messungen in der Bohrung Remlingen 15..... 78

Tabelle 16: Übersicht über die Testintervalle der Spannungsmessungen in der Bohrung Remlingen 15. Basierend auf [10]. 85

Tabelle 17: Übersicht über die Testintervalle der Dilatometermessungen in der Bohrung Remlingen 15. Nach [11]..... 88

Tabelle 18: Übersicht der im Salinarabschnitt gewonnenen Proben für die chemische Salzvollanalytik..... 93

Tabelle 19: Vergleich der Analyse-Ergebnisse für Bromid der Methoden 1, 2 und 3. 98

Tabelle 20: Definition der Lithotypen für gebirgsmechanische Untersuchungen. 102

Tabelle 21: Gebirgsmechanisches Untersuchungsprogramm (modifizierte Testmatrix) für das Salinar und ergänzende Testanzahl für die Lithotypen 4 bis 7, [14]..... 102

Tabelle 22: Kernbefahrungen durch das IfG. 103

Tabelle 23: Entnommene Proben für die Pollenanalytik (vgl. auch Anhang 7). 105

Tabelle 24: Proben aus dem Bereich des Muschelkalks für mikropaläontologische Untersuchungen..... 108

Tabelle 25: Übersicht über die siliziklastischen Proben (vgl. Anhang 7)..... 111

Tabelle 26: Übersicht über die karbonatisch/sulfatischen Proben, aus [18] (vgl. Anhang 7).... 112

Tabelle 27: Proben für die RFA, RDA und Wasserempfindlichkeit W_s. Vgl. Anhang 7. 113

Tabelle 28: Auswahl der für die experimentellen Tests verwendeten Proben. 117

Tabelle 29: Maße der Probenkörper zu Beginn des Versuchszeitraumes (Startpunkt: 0 Tage). 119

Tabelle 30: Maße der Probenkörper während des Versuchszeitraumes (Zeit: 7 Tage). 119

Tabelle 31: Maße der Probenkörper während des Versuchszeitraumes (Zeit: 14 Tage). 120

Tabelle 32: Maße der Probenkörper während des Versuchszeitraumes (Zeit: 28 Tage). 120

Tabelle 33: Maße der Probenkörper am Ende des Versuchszeitraumes (Zeit: 56 Tage). 121

Tabelle 34: Stratigrafische Abfolge für den Bereich des Muschelkalks (0 mT bis 130,4 mT)... 128

Tabelle 35: Stratigraphische Untergliederung der Rötsequenz. Nach [17]. 136

Tabelle 36: Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen. 142

Tabelle 37: Schichtlagerung im Bereich des Muschelkalks. 144

Tabelle 38: Störungen im Muschelkalk und deren Einfallsrichtung und –winkel gemäß Strukturauswertung (vgl. [9] und Anhang 1.1). 147

Tabelle 39: Schichtlagerung im Bereich des Buntsandsteins. 150

Tabelle 40: Schichtlagerung im Bereich des “Hutgesteins“. 152

Tabelle 41: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]). 155

Tabelle 42: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15. 156

Tabelle 43: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]). 157

Tabelle 44: Entnommene Wasserproben aus den Testintervallen der Bohrung Remlingen 15. 157

Tabelle 45: Physikochemische Parameter der Wasserproben aus der Remlingen 15..... 158

Tabelle 46: Kationen- und Anionen-Gehalte der Wasserproben aus der Remlingen 15..... 158

Tabelle 47: Isotopengehalte (Tritium, Sauerstoff-18 und Deuterium). 159

Tabelle 48: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]). 162

Tabelle 49: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15. 163

Tabelle 50: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]). 163

Tabelle 51: Entnommene Wasserproben aus den Testintervallen der Bohrung Remlingen 15. 164

Tabelle 52: Physikochemische Parameter der entnommenen Wasserproben aus der Remlingen 15. 165

Tabelle 53: Kationen- und Anionen-Gehalte der Wasserproben aus der Remlingen 15. 165

Tabelle 54: Isotopengehalte (Tritium, Sauerstoff-18 und Deuterium). 165

Tabelle 55: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]). 168

Tabelle 56: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15. 169

Tabelle 57: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]). 169

Tabelle 58: Ergebnisse der hydraulischen Spannungsmessungen der Remlingen 15 [10] 170

Tabelle 59: Zusammenstellung der Testintervalle und der Ergebnisse der Dilatometertests (aus [11]) im Deckgebirge und im Bereich des „Hutgesteins“ 173

Tabelle 60: Übersicht der gebirgsmechanischen Ergebnisse (Durchschnittswerte) für das Deckgebirge. 175

Tabelle 61: Ergebnisse der chemischen Vollanalytik für die Anhydrit-Proben des Salinarabschnittes der Bohrung Remlingen 15. Vgl. auch Tabelle 18. 178

Tabelle 62: Übersicht der im Salinarabschnitt gewonnenen Proben zur Bromiduntersuchung. 180

Tabelle 63: Charakteristik der Schichtflächen der Anhydritbänke. 184

Tabelle 64: Charakteristik der Klüfte in den Anhydritbänken des Salinarabschnittes. 185

Tabelle 65: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]). 188

Tabelle 66: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15. 189

Tabelle 67: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]). 189

Tabelle 68: Ergebnisse der hydraulischen Spannungsmessungen der Remlingen 15, [10]..... 190

Tabelle 69: Zusammenstellung der Testintervalle und der Ergebnisse der Dilatometertests (aus [11]) im Salinar 193

Tabelle 70: Übersicht der gebirgsmechanischen Ergebnisse (Durchschnittswerte) für das Salinar. 194

Tabelle 71: Zusammengefasste Ergebnisse der Wasseranalytik 199

Anhangverzeichnis

Anhang 1	Gesamtdarstellung der Beobachtungen und Messergebnisse	210
Anhang 1.1:	Synopsendarstellung Bohrabschnitt 1	211
Anhang 1.2:	Synopsendarstellung Bohrabschnitt 2	212
Anhang 1.3:	Synopsendarstellung Bohrabschnitt 3	213
Anhang 1.4:	Synopsendarstellung Bohrabschnitt 4	214
Anhang 1.5:	Synopsendarstellung Bohrabschnitt 5.1	215
Anhang 1.6:	Synopsendarstellung Bohrabschnitt 5.2	216
Anhang 1.7:	Synopsendarstellung Bohrabschnitt 5.3	217
Anhang 2:	Prüfbericht 14-0488-1, Chemisch-physikalische Analytik (Bromid)	218
Anhang 3:	Prüfbericht 14-1282-1, Chemisch-physikalische Analytik & Bromid	221
Anhang 4:	Prüfbericht 14-1283-1, Chemisch-physikalische Analytik & Bromid	236
Anhang 5:	Mikropaläontologischer Untersuchungsbericht (LBEG) Januar 2014	251
Anhang 6:	Mikropaläontologischer Untersuchungsbericht (LBEG) März 2014	254
Anhang 7:	Probenahmeübersicht	256
Anhang 8:	Versuchsprotokoll zum Quellversuch am Anhydrit	273
Anhang 9:	Fotodokumentation zum Quellversuch am Anhydrit	287
Anhang 10:	Zusammengefasste Ergebnisse der hydraulischen Messungen	294
Anhang 11:	RQD Feldaufnahme	297
Anhang 12:	Betriebsanweisungen	317

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ABBergV	Allgemeine Bundesbergverordnung
ABF	Akustisches Bohrlochfernsehen
AP	Arbeitspaket
AtG	Atomgesetz
BA	Bohrlochabweichung
BAP	Bohransatzpunkt
BBergG	Bundesberggesetz
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BLM	Bohrlochmessung / BLM Gesellschaft für Bohrlochmessungen mbH
BOP	Blow Out Preventer
BPC	Balance Point Control GmbH Celle
CAL	Kaliberlog
CAL4	4-Arm-Kaliber
CBL	Cement-Bond-Log
DIL	Dual Induction Laterolog
DLL	Dual Laterolog
DMT	Deutsche Montan Technologie / DMT GmbH & CO. KG / TÜV Nord
EMR	Bodenradar / Elektromagnetische Reflexionsmessung
FWS	Full Wave Sonic
GG	Gamma-Gamma-Log
GR	Gamma-Ray-Log
IBeWa	Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Deponietechnik
IfG	Institut für Gebirgsmechanik GmbH
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
mT	Meter Teufe
NN	Neutron-Neutron-Log
Psi	Shut-in Druck (Einschließdruck)
QC	Quality Control (Qualitätskontrolle)
QS	Qualitätssicherung
RQD	Rock Quality Designation
SAL/Temp	Leitfähigkeits-/Temperatur-Log

S_h	minimale horizontale Hauptspannung
S_H	maximale horizontale Hauptspannung
SI	Slug Injection
S_{min}	minimale Gebirgsspannung
SP	Self Potential (Eigenpotential)
S_v	vertikale Hauptspannung
SW	Slug Withdrawal
SWS	Slug Withdrawal Shut
VSP	Vertical Seismic Profiling

α	Einfallen der Rissfläche (bzgl. Horizontal)
β	Einfallsrichtung (Nord über Ost)
θ	Streichrichtung (Nord über Ost)
θ_{SH}	Orientierung der maximalen horizontalen Hauptspannung bzgl. magnetisch Nord
ρ	Gesteinsdichte

1 Allgemeines

1.1 Ziel der Bohrung

In der Schachtanlage Asse II sind derzeit rd. 124.500 Behälter mit schwach radioaktiven Abfällen sowie etwa 1.300 Gebinde mit mittelradioaktiven Abfällen eingelagert. Laut Optionenvergleich zur Schließung der Asse stellt die Rückholung der Abfälle aus der Schachtanlage Asse II nach derzeitigem Kenntnisstand die beste Stilllegungsoption dar. Um die Rückholung aller Behälter unter den derzeit bestehenden Randbedingungen der Schachtanlage zu realisieren, ist ein weiterer Schacht notwendig.

Für die notwendigen Planungsarbeiten war es unter anderem wichtig, die geologischen Verhältnisse entlang der geplanten Schachtachse zu erkunden. Mit der Bohrung Remlingen 15 wurde schließlich an der ausgewählten Vorzugslokation eine Erkundungsbohrung bis in eine Teufe von 900,00 m abgeteuft. Auf Grundlage dieser gewonnenen Erkenntnisse soll die Eignung des Standortes für einen möglichen Schacht geprüft und bewertet werden.

1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen der zu erbringenden Planungsleistungen wurde im Zuge des AP1.1 des Projektes *Schachtanlage Asse II – Konzeptplanung für einen weiteren Schacht* zunächst eine Ansatzfläche für einen möglichen weiteren Schachtstandort ausgewählt und festgelegt. An dieser Vorzugslokation sollte eine Erkundungsbohrung abgeteuft werden, um die Eignung des Standortes für einen möglichen Schacht zu prüfen [1].

Für die weiteren Planungsarbeiten war es wichtig, die geologischen Verhältnisse entlang der geplanten Schachtachse zu kennen. Dazu wurde ein Bericht verfasst, in dem die geologischen Standortverhältnisse unter Berücksichtigung des damals verfügbaren Kenntnis- und Wissensstandes für die konkrete Planung der Bohr- und Testarbeiten zusammengetragen wurden.

Mit der Erkundungsbohrung Remlingen 15 wurde schließlich der ausgewählte Standort geowissenschaftlich bis in eine Teufe von 900,00 m erkundet. Dabei wurden neben geologischen Informationen auch geophysikalische und hydrogeologische Kennwerte erfasst und ausgewertet.

Innerhalb der ARGE Schacht 5 oblagen der K-UTEC AG, im Zuge der Durchführung der Erkundungsarbeiten am genannten Standort, die folgenden Aufgaben und Tätigkeiten:

- Geologische Aufnahme, Beschreibung und Dokumentation der gewonnenen Bohrkerne,

- Planung, Koordination und Steuerung der geophysikalischen und hydrogeologischen Messungen im Bohrloch,
- Ständige Kommunikation mit Auftraggeber und Subunternehmen,
- Tagesaktuelle Berichterstattung.

Die Bohrtätigkeiten zum Niederbringen der Erkundungsbohrung Remlingen 15 erfolgten im Zeitraum vom 05. Juni 2013 bis 30. Juni 2014. Zur Beschreibung der geologischen Standortsituation wurde die Bohrung mit durchgehender Kerngewinnung geteuft.

In Abhängigkeit der geplanten Bohrabschnitte und Rohrabsetzteufen sowie unter Berücksichtigung der tatsächlichen geologischen Situation nach Feldansprache und Bohrkernaufnahme, wurde die Bohrung unterbrochen und ein umfangreiches Test- und Untersuchungsprogramm im Bohrloch durchgeführt. Die Planung, Koordination und Betreuung der Testarbeiten erfolgte durch das geologische Personal der K-UTEC AG auf dem Bohrplatz. Nach Abschluss des Messprogramms wurde das Bohrloch gemäß Bohrprogramm auf den entsprechend für den jeweiligen Abschnitt geplanten Bohrdurchmesser mittels Rollenmeißel und ohne Kerngewinn erweitert.

Für die geologische Betreuung und Überwachung der Bohrung war eine ständige Anwesenheit des geologischen Personals auf dem Bohrplatz erforderlich (2 Schichten á 12 h). Die Aufgaben der geologischen Begleitung und Betreuung der Bohrung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Erfassung aller geowissenschaftlicher Daten (Bohrfortschritt, Spülverluste, Kerngewinn, Kernqualität usw.),
- Erstellung tagesaktueller Protokolle zur geologischen Bohrkernaufnahme und zu den Bohrlochmessungen,
- Erstellen von Arbeitsanweisungen,
- Entnahme, Untersuchung sowie Beschreibung und Aufbewahrung der Bohrkerne:
  - Vorbereitung der Kernkisten (Beschriftung mit Teufenangabe, Kernmarschnummer, Kernmarschlänge, Kernmarschteufe, Kernkistennummer),
  - Entnahme der Bohrkerne aus dem Kernrohr,
  - Vermessen der Bohrkernlänge (Kernmarschlänge),
  - Bestimmung des RQD-Index am ausgelegten Kernmarsch,
  - Zurechtschneiden des Bohrkernes entsprechend der Kernkisten,
  - Ablage der Bohrkernstücke in die vorbereiteten Kernkisten,

- Verpackung der Kerne in vorbereitete Folien zum Schutz vor Nässe und Austrocknung,
- Transport der Kernkisten in den Bohrkernaufnahmecontainer auf dem Bohrplatz,
- Säuberung der Bohrkernoberfläche mit geeignetem Fluid,
- geologische (lithologisch, stratigrafisch) Beschreibung,
- Anfertigung von Protokollen,
- fotografische Dokumentation wie in Kapitel 2.2 beschrieben (Übersichtsfotografie),
- Anfertigung von ggf. notwendigen Detailfotos,
- Verpackung der Kerne in den Kernkisten,
- Ablage der Kernkisten und Transport in das vorgesehene Kernlager,

- Entnahme, Untersuchungen sowie Beschreibung und Aufbewahrung von Cuttingproben (im Zuge der Meißelbohrungen),
- Durchführung von chemischen Schnelltests (Feldlabor),
- Organisation, Vorbereitung sowie Durchführung und Betreuung von Probenahme-kampagnen,
- Dokumentation der Probenahmen,
- Organisation, Vorbereitung sowie Durchführung von Fachbesuchen und Bohrkernbegehungen im Bohrkernlager,
- Teilnahme an Projektgesprächen und Baustellenberatungen.

Der vorliegende Bericht fasst die aktuell gewonnenen geologischen, geophysikalischen, geotechnischen und hydrogeologischen Erkenntnisse der Erkundungsbohrung Remlingen 15 zusammen.

1.3 Lage der Bohrung

Der Ansatzpunkt der Bohrung Remlingen 15 befindet sich in einem als Staatsforst ausgewiesenen Waldgebiet in südöstlicher Verlängerung des von Nordwest nach Südost verlaufenden Asse-Heeseberg-Höhenzuges und liegt etwa 560 m südöstlich der Schachtanlage Asse II (vgl. Abbildung 1). Die Schachtanlage Asse II ist von dem FFH-Gebiet „Klein Vahlberger Buchen“ (EU Kennzahl 3829-301) umschlossen. Die Bohrung selbst liegt innerhalb des FFH-Gebietes.

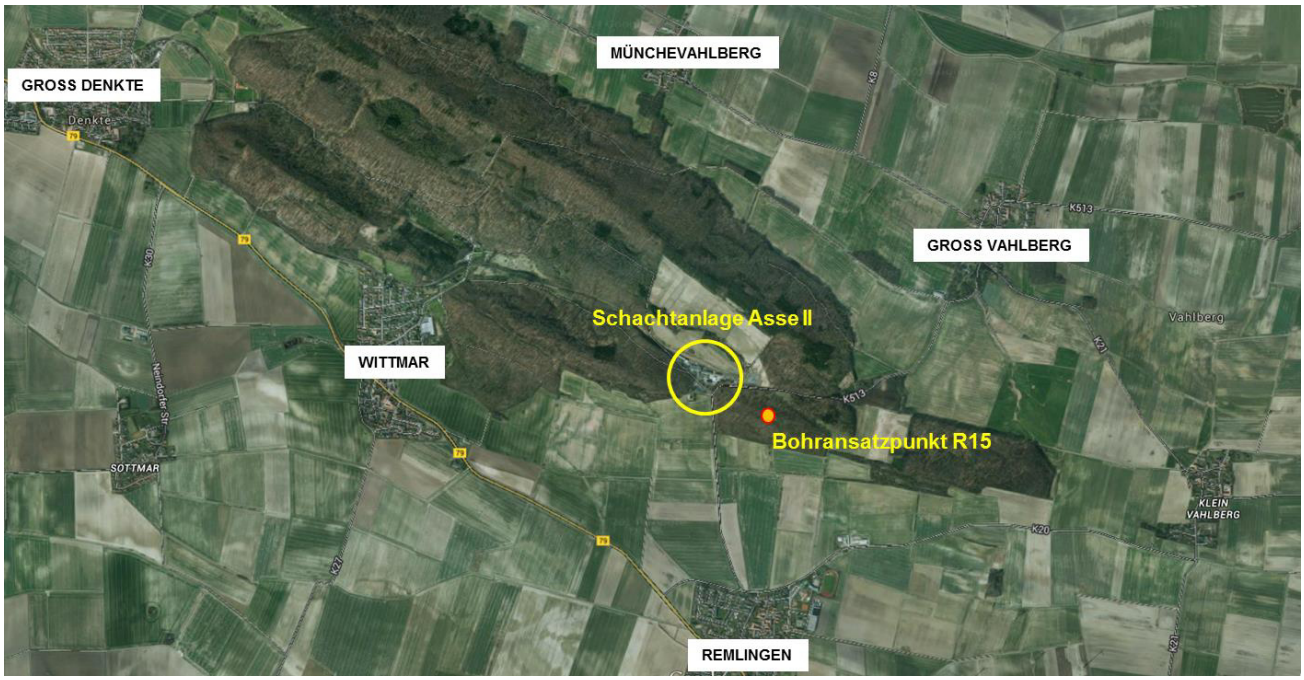


Abbildung 1: Lage der Schachtanlage Asse II und des Bohransatzpunktes (Quelle: Google Maps).

Das Betriebsgelände der Asse befindet sich etwa zentral (siehe Abbildung 1) zwischen den Gemeinden Wittmar im Westen (Entfernung ca. 2,1 km), Mönchevahlberg im Norden (Entfernung ca. 2,1 km), Groß Vahlberg im Nord-Osten (Entfernung ca. 2,1 km) und Remlingen im Süden (Entfernung ca. 1,6 km). Der Ansatzpunkt der Bohrung Remlingen 15 wird durch die in Tabelle 1 aufgeführten Koordinaten und allgemeinen Eckdaten charakterisiert.

Tabelle 1: Eckdaten des Bohransatzpunktes.

Rechtswert (Koordinatensystem GK4*)	4409528,5
Hochwert (Koordinatensystem GK4*)	5777865,2
Höhe	215,6 m NN
Bundesland	Niedersachsen
Landkreis	Wolfenbüttel
Gemeinde	Remlingen

* Gauß-Krüger-Koordinatensystem („GK“)

1.4 Ausrüstung, Genehmigungen und Unterweisungen

Für die geologische Bohrkernaufnahme auf dem Bohrplatz und im Kernlager sowie für koordinative Aufgaben war eine entsprechende Ausrüstung des geologischen Personals notwendig. Zudem waren für die Durchführung der Arbeiten bestimmte Unterweisungen, Schulungen und Nachweise erforderlich.

1.4.1 Ausrüstung des geologischen Personals

Zur Ausrüstung des geologischen Personals zählen sowohl die persönliche Schutzausrüstung, Arbeitsmittel zur feldgeologischen Bohrkernaufnahme, die Feldlaborausstattung als auch die notwendige Büroeinrichtung und Ausstattung für koordinative und organisatorische Aufgaben.

- ***Persönliche Schutzausrüstung***
  - Arbeitsschutzkleidung,
  - Warnschutzjacken nach EN 471 Kat 2/2,
  - Arbeitsschutzschuhe nach EN ISO 20345:2011 S3,
  - Arbeitsschutzhandschuhe nach EN 388, mechanische Risiken 4131 (Sommer) und EN 388, mechanische Risiken 3221 (Winter),
  - Schutzhelm nach DIN EN 397 (CE geprüft),
  - Schutzbrille nach EN 166 / EN 170 (kratzfest, antistatisch),
- ***Persönliche Arbeitsmittel***
  - Geologenhammer, Lupe, 10%tige Salzsäure (verdünnte),
- ***Ausrüstung zur geologischen Feldaufnahme von Bohrkernen und Cuttings***
  - Gliedermaßstab (2 m und 3 m),
  - Geologen-Spiegelkompass,
  - Destilliertes Wasser und Leitungswasser,
  - Fotoausrüstung,
  - Verpackungs- und Schutzmaterialien (Schlauchfolie, Probentüten etc.),
- ***Büroausstattung***
- ***Feldlaborausstattung***
  - Siehe Kapitel 2.3

1.4.2 Genehmigungen

Die Kernbohrarbeiten, die geologische Bohrkernaufnahme, Beschreibung und generelle Bohrungsbetreuung sowie die bohrlochgeophysikalischen Tests, die hydraulisch-hydrogeologischen Tests als auch die Spannungsmessungen wurden sowohl im Tagschicht- als auch im Nachtschichtbetrieb durchgeführt bzw. betreut.

Das geologische Personal war während der Bohrarbeiten und Bohrlochmessungen im 2 x 12 Stunden-Rhythmus für sieben Tage pro Woche (auch Sonn- und Feiertage) auf dem Bohrplatz anwesend (insgesamt also 24 Stunden am Tag).

- Tagschicht: 12 Stunden (7:00 Uhr bis 19:00 Uhr),
- Nachtschicht: 12 Stunden (19:00 Uhr bis 7:00 Uhr).

Im Falle von technischen Reparatur- und Wartungsarbeiten sowie während Wartezeiten (z. B. Zementerhärtung) war das geologische Personal teilweise einschichtig (1 x 12 Stunden) auf dem Bohrplatz anwesend; im Falle von Betriebsunterbrechungen (Weihnachtspause und/oder Jahreswechsel) wurde das geologische Personal von der Baustelle abgezogen und stand auf Abruf bereit.

Mit Erreichen des Salinars wurde auf Grund der unter Gasstatus erforderlichen Explosionsschutzmaßnahmen eine zusätzliche Belegung durch bergrechtlich bestelltes Personal der K-UTEC AG notwendig. Diese so genannte bvP (Bergrechtlich verantwortliche Person) war während der Messkampagnen auf dem Bohrplatz anwesend und zusätzlich im Bereitschaftsdienst abrufbar.

Die bergbehördlichen Genehmigungen (LBEG) für den 12-Stunden-Wechselrhythmus (Tag- und Nachtschicht) sowie für das Arbeiten an Sonn- und Feiertagen lagen für den gesamten Projektzeitraum vor (Ablaufdatum: 31.08.2014; Projektende: Juni 2014):

- *Bewilligung auf Arbeiten in Tag- und Nachtschichten sowie an Sonn- und Feiertagen gemäß § 13 Abs. 4 i. V. m. § 15 Abs. 1. Nr. 1 Buchst. b. ArbZG vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 15.07.2009 (BGBl. I S. 1939) i. V. m. lfd. Nr. 4.1 der Anlage zu § 1 der ZustVO-Umwelt-Arbeitsschutz vom 18. November 2004 (Nds. GVBl. 2004 S. 464), zuletzt geändert durch Verordnung vom 27.10.2009 (Nds. GVBl. 23/2009 vom 31.11.2009 S. 379).*

1.4.3 Unterweisungen und Verordnungen für Personal und Aufragnehmer

Für die sichere und gefahrlose Durchführung aller Arbeiten auf dem Bohrplatz wurden das gesamte Personal sowie sämtliche Auftragnehmer verschiedenen Unterweisungen unterzogen sowie über geltende Verordnungen informiert:

- Gesundheits- und Tauglichkeitsuntersuchung nach § 20 ABBergV und GesBergV (G26.1/U99),
- Information über die Rettungswege und Einweisung in den Feuerwehrplan,
- Gasschutzunterweisung durch Gasschutzbeauftragten vor Ort, Einweisung in Verhaltensregeln bei Gasalarm,
- Mitführung (persönlicher) Selbstretter ab Erreichen des Salinars,
- Gefährdungsbeurteilung der Bohrkernaufnahme und Probenahme und Erstellung von Betriebsanweisungen (BA, siehe Anhang 13) auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung:
    - BA Geologische Bohrkernaufnahme
    - BA Arbeiten mit Sägen/Probenahme
    - BA Arbeiten unter H_2S/Gasschutz Bohrkernaufnahme
    - BA Geophysikalische Messungen mit ausschließlich seilhängenden Einrichtungen
    - BA-Geophysikalische Messungen mit ausschließlich seilhängenden Einrichtungen mit radioaktiven Strahlenquellen
    - BA Messungen und Testarbeiten mit Messeinrichtungen am Gestänge und in Kombination mit Seil, Kabel, Schlauch und Flatpack
    - BA Verfahrensschritte als Freigabevoraussetzung für Mess- und Testarbeiten
- Erstellung von Sicherheits- und Gesundheitsschutzdokumente von und für Messfirmen nach §3 ABBergV inkl. Gefährdungsanalyse:
    - Sicherheits- und Gesundheitsdokument gem. §3 ABBergV Inkl. Gefährdungsanalyse (Aufbau und Durchführung Geophysik)
    - Sicherheits- und Gesundheitsschutzdokument gem. §3 ABBergV Inkl. Gefährdungsanalyse (Ein- und Ausbau sowie Durchführung HDDP System)
- BvP-Begleitung der Messfirmen (Sicherheits- und Ablaufunterweisung der Messungen unter Gasschutzstatus),
- Durchführung der Sicherheits- und Ablaufunterweisung der Messfirmen.

1.5 Geologische Ausgangssituation

Basierend auf einer Ist-Analyse des bergbaulich-geologischen Umfelds [1] wurde im Rahmen der Planung der Bohr- und Testarbeiten für den ausgewählten Standort ein geologisches Vorprofil erstellt. Die gemäß Vorprofil zu erwartenden Tiefenlagen und Mächtigkeiten sind der nachstehenden Tabelle 2, welche auch die ursprünglich geplanten Bohrabschnitte beinhaltet, zu entnehmen.

Tabelle 2: Erwartetes geologisches Vorprofil der Erkundungsbohrung Remlingen 15 gem. [1].

Geologische Einheit	Teufe (m GOK)		Erwartete Mächtigkeit	Bohrabschnitt
	von	bis		
Mittlerer Muschelkalk (mm)	0 m	21 m	21 m	1. Abschnitt
Mittlerer Muschelkalk (mmR)	21 m	56 m	35 m	
Mittlerer Muschelkalk (mm)	56 m	100 m	44 m	
Unterer Muschelkalk (mu)	100 m	248 m	148 m	2. Abschnitt
Oberer Buntsandstein (so)	248 m	361 m	113 m	3. Abschnitt
Störung S4c				
Oberer Buntsandstein (so)	361 m	419 m	58 m	
Hutgestein (cr)	419 m	454 m	35 m	4. Abschnitt
Allersteinsalz (Na4)	454 m	463 m	9 m	
Roter Salzton (T4)	463 m	468 m	5 m	
Schwaden-/Tonmittelsalz (Na3φ+tm)	468 m	472 m	4 m	
Anhydritmittelzone (Na3η/amζ-7)	472 m	484 m	12 m	
Na3β-ζ	484 m	488 m	4 m	
Hauptsalz (Na2β)	488 m	790 m	302 m	5. Abschnitt

Abbildung 2 stellt einen Ausschnitt des geologischen Profilschnitts 28 [2] dar, welcher der Erarbeitung des Vorprofils (vgl. Tabelle 2) zugrunde gelegt wurde. In diesen SW-NE-streichenden Schnitt ist die Lage der geplanten Bohrung projiziert.

Aufgrund der Unsicherheiten in der Datengrundlage und der geringen Aufschlussdichte war mit Abweichungen des Vorprofils zur realen Situation sowohl im Salinar als auch im Deckgebirge zu rechnen.

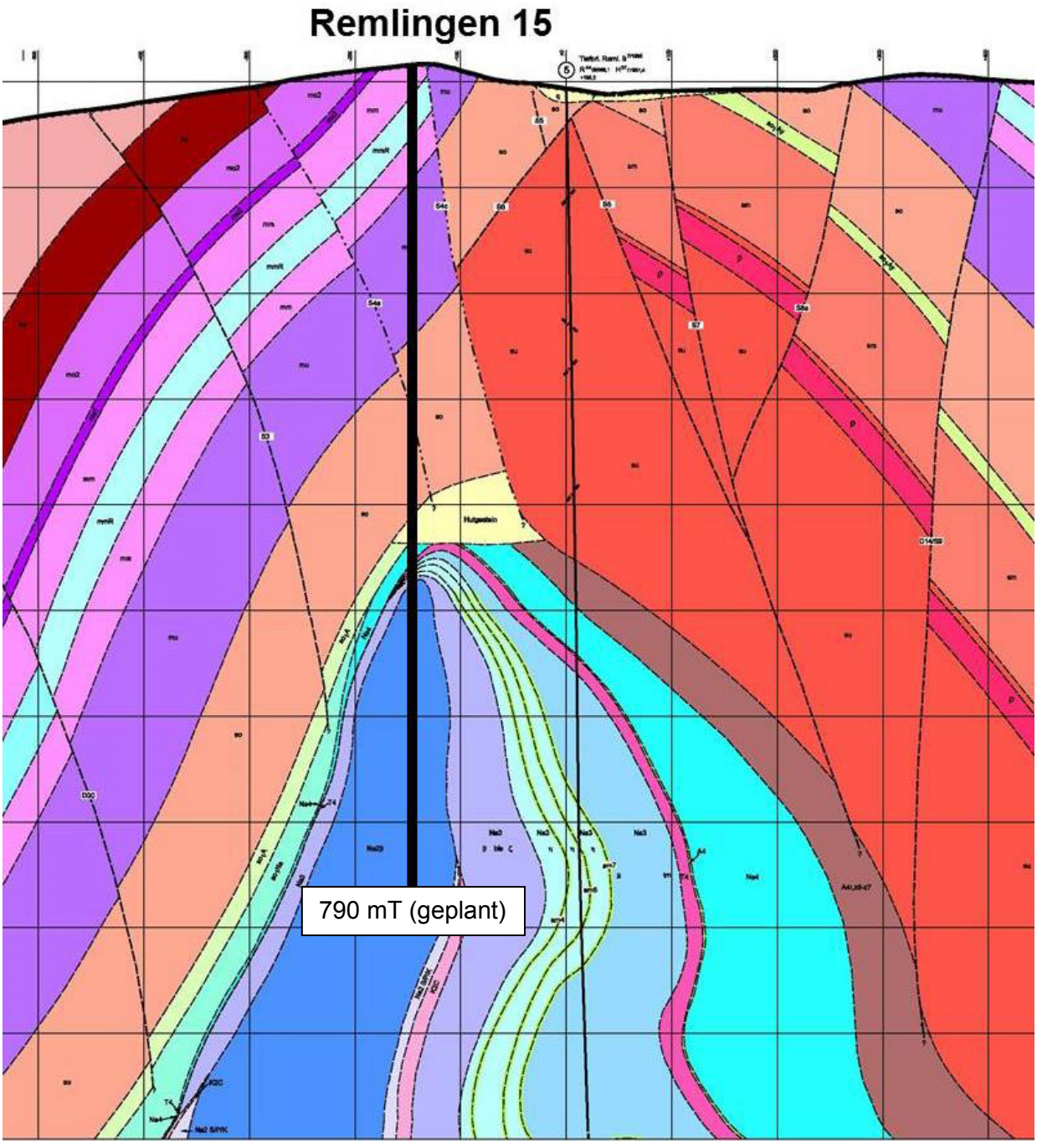


Abbildung 2: Geologischer Profilschnitt 28 und geplanter Verlauf der Erkundungsbohrung Remlingen 15. [2], verändert.

2 Methodik

2.1 Geologische Bohrkernaufnahme

Die Erkundungsbohrung Remlingen 15 wurde bis in eine Teufe von 900,00 Metern niedergebracht. Die Bohrtätigkeiten zum Abteufen der Erkundungsbohrung Remlingen 15 erfolgten im Zeitraum vom 05. Juni 2013 bis 30. Juni 2014 in rollender Woche (7 Tage/24h pro Tag). Zur Beschreibung der geologischen Standortsituation wurde die Bohrung mit durchgehender Kerngewinnung geteuft.

Die Bohrkernbeschreibung (geologische Aufnahme) erfolgte in chronologischer Folge (Bohrkernentnahme bzw. Spülprobenentnahme, Bohrkernaufnahme und Dokumentation), welche in den nachfolgenden Kapiteln 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3 ausführlich beschrieben wird.

2.1.1 Bohrkernentnahme, Spülprobenentnahme

2.1.1.1 Bohrkernentnahme

In Vorbereitung der Entnahme der Bohrkerne aus dem Kernrohr mussten die verwendeten Kernkisten entsprechend beschriftet werden. Dazu wurden die Holzkernkisten, in denen jeweils zwei Meter Bohrkern abgelegt wurden (so genannte Doppelkernkisten), mit den Teufen (in [m]), der Orientierung von Kopf und Krone sowie der Nummer und Teufe des aktuellen Kernmarsches und der Nummer der aktuellen Kernkiste versehen. Zudem wurden die Kernkisten mit PVC-Folie bzw. PVC-Schlauchfolie ausgelegt, um die Bohrkerne vor Witterung und späterer Austrocknung zu schützen.

Die Entnahme des Kernmarsches erfolgte stets durch das Personal des Bohrunternehmens, jedoch unter Anwesenheit des Geologen. Der Kernmarsch betrug im Deckgebirge 3 m, im Salinar 6 m. Abbildung 3 zeigt die Entnahme eines Kernmarsches (hier: Salinar) aus dem Kernrohr.

Vorbereitend für die Bestimmung des RQD-Index (vgl. Kapitel 2.1.2), wurde bereits während der Entnahme des Kerns registriert, in welchem Zustand der Bohrkern aus dem Kernrohr entnehmbar ist (z. B. Bruch des Bohrkernes durch den Vorgang des Herausnehmens oder bereits stark zerbrochenes Gestein auf Grund der geologischen Gegebenheiten im Gebirge).

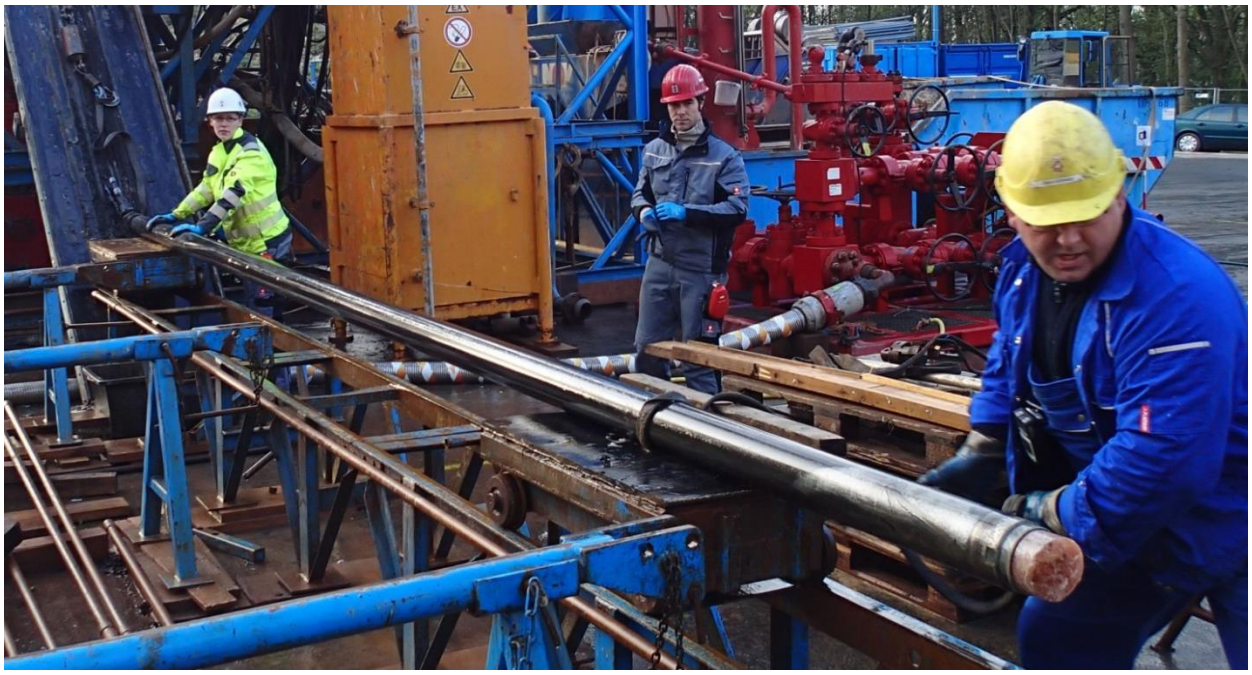




Abbildung 3: Entnahme des Kernmarsches (Beispiel für den Salinarabschnitt) aus dem Kernrohr.

2.1.1.2 Spülprobenentnahme

Spülproben wurden bei auftretenden Meißelstrecken in der Bohrung entnommen. Die Entnahme der Spülproben erfolgte durch den Geologen. Die Spülproben (Cuttingproben) wurden in einem Abstand von 5 m entnommen. Die Dokumentation der Spülproben erfolgte im Formblatt zur Erfassung der geologischen Beschreibung des Bohrgutes. Dazu wurde das Feld „Bohrkernbeschreibung“ durch das Feld „Spülprobenbeschreibung“ ersetzt (Abbildung 4).

Entnahmeteufe [m] **(auftriebskorrigiert)**	**Strat. (vorl.)**	**Spülprobenbeschreibung** **Lithologische Zusammensetzung, Probenbeschreibung (Lithologie, Farbe, Akzessorien, Hinweise auf Fossilreste**	**Bemerkungen**

Abbildung 4: Erfassungsmaske für die Beschreibung der gewonnenen Spülproben (Cuttings).

In Abbildung 5 sind beispielhaft Spülproben (Cuttingproben) dargestellt, welche aus Meißelstrecken der Bohrung Remlingen 15 stammen. Die Entnahme erfolgte direkt am Ausgang der Rüttelsiebe, bevor die Cuttings in den Spülcontainer gelangten. Um die einzelnen Bestandteile der Probe besser sichtbar zu machen und Reste von Spülung und Spülschlamm zu entfernen, wurden die Proben gewaschen. Nach der geologischen Beschreibung der Einzelbestandteile und der entsprechenden Erfassung im vorgesehenen Formblatt wurden die Proben in einer mit Datum, Probennummer, Teufe und Bohrabschnitt beschrifteten Klarsichttüte aufbewahrt.

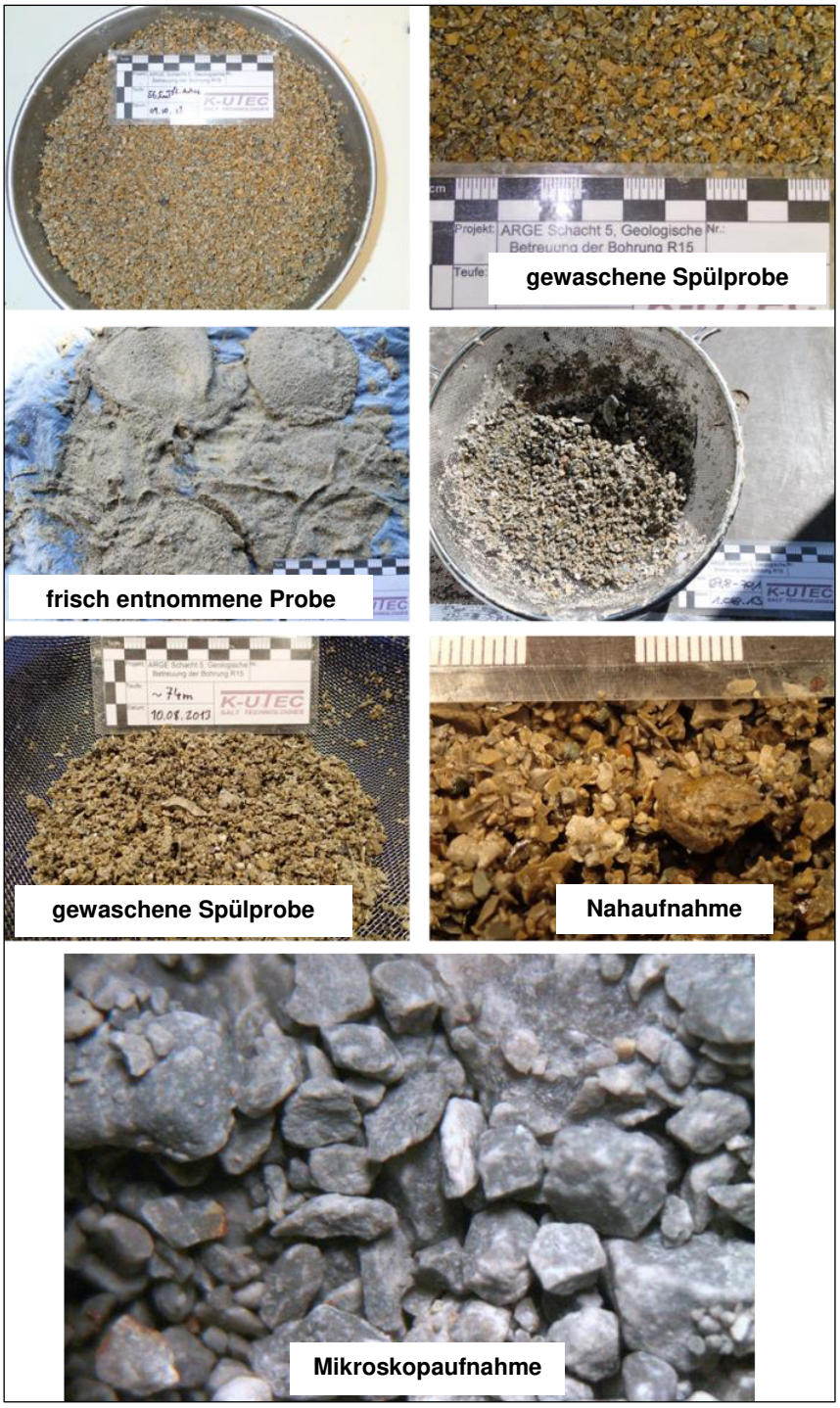


Abbildung 5: Spülproben (Cuttings) der Bohrung Remlingen 15.

2.1.2 Bohrkernaufnahme

Die Aufnahme des Bohrkernes auf dem Bohrplatz umfasste neben der Vermessung der Kernmarschlängen die Erfassung der Kernbruchstücke und damit einhergehend die Bestimmung des RQD-Index, das Zurechtschneiden der Kerne für die Ablage in die vorbereiteten Kernkisten sowie die entsprechende Verpackung und Aufbewahrung der Bohrkerne sowohl vor als auch nach der Bohrkernbeschreibung (geologische Aufnahme) und Dokumentation. Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die Vorgehensweise der Bohrkernaufnahme im Detail.

2.1.2.1 Vermessen der Bohrkernlänge (Kernmarschlänge)

Direkt nach der Entnahme des Bohrkernes (Kernmarsch) aus dem Kernrohr oder Liner wurde der Bohrkern in einer vorbereiteten Kernrinne zur weiteren Bearbeitung abgelegt (Abbildung 6). Zunächst wurde die Kernmarschlänge überprüft und mit den Angaben des Bohrgeräteführers abgeglichen. Mit der Ablage der Bohrkerne in der Kernrinne wurde der jeweilige Kernmarsch an den diensthabenden Geologen zur ersten feldgeologischen Beschreibung übergeben.



Abbildung 6: Kernrinne zur Ablage des entnommenen Bohrkernes. Beispiel aus dem Deckgebirge (Muschelkalk).



Abbildung 7: Kernrinne zur Ablage des entnommenen Bohrkernes. Beispiel aus dem Salinar. Diese Rinne wurde entsprechend länger angelegt, da die Kernmärsche aus dem Salinar bis zu 6 m lang gewonnen werden konnten.

Im Zuge der weiteren Bohrkernaufnahme erfolgten nun die Vermessung der einzelnen Kernbruchstücke und die damit einhergehende Bestimmung des RQD-Index (vgl. Kapitel 2.1.2.2).

2.1.2.2 RQD-Index-Bestimmung

Der RQD-Index (**R**ock **Q**uality **D**esignation) wird angewendet, um in der Geotechnik und Ingenieurgeologie Bohrkerne eines Gesteins zu klassifizieren. Die Fels- bzw. Gebirgsklassifikation nach dem RQD-Wert geht auf DEERE (1963) zurück [3]. Der RQD-Index kann mit folgender Formel und der zugehörigen Abbildung 8 beschrieben und erklärt werden.

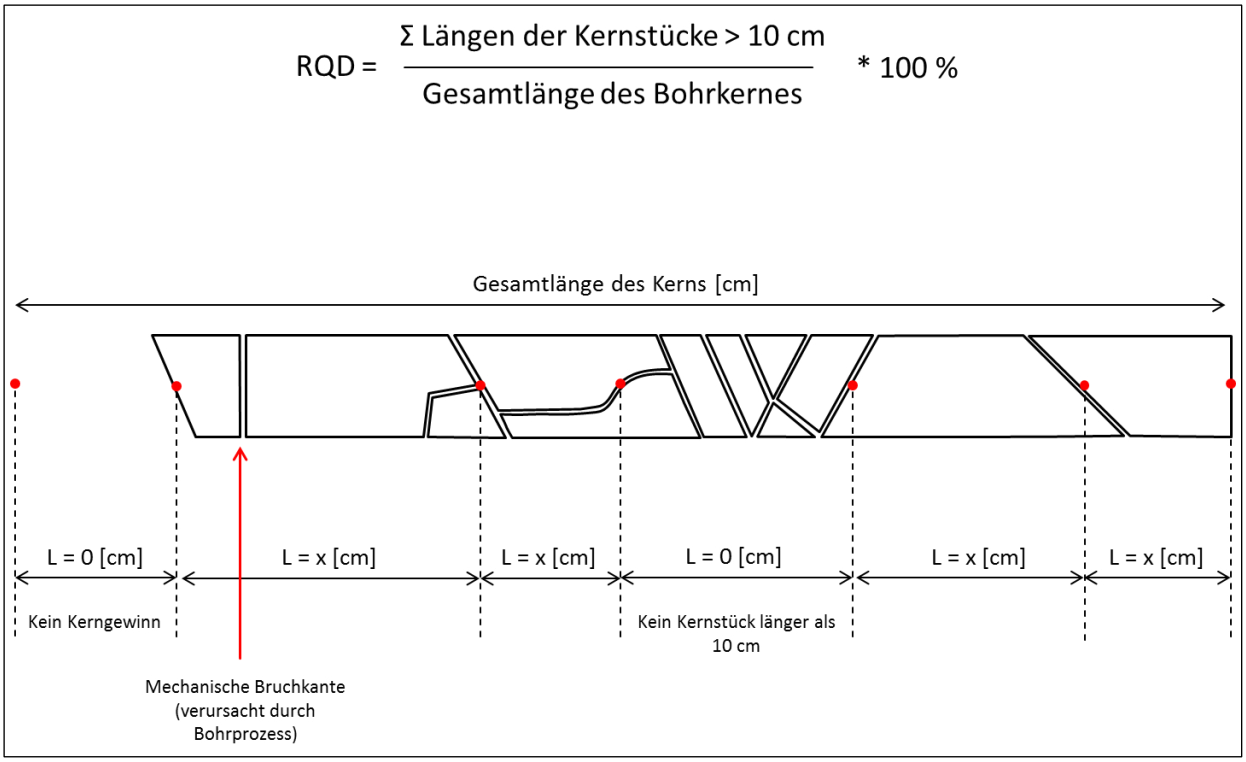


Abbildung 8: Darstellung der Durchführung der Messung und Kalkulation des RQD-Index an einem schematischen Bohrkernabschnitt. Nach [3], verändert.

In Abhängigkeit des sich ergebenden Wertes für RQD (berechnet nach obiger Formel) werden der RQD-Index und damit die Gesteinsqualität in fünf Qualitätsstufen eingeteilt (Angaben nach [3]):

- Sehr schlecht (Very Poor): 0 bis 25 %
- Schlecht (Poor): 25 bis 50 %
- Ausreichend (Fair): 50 bis 75 %
- Gut (Good): 75 bis 90 %
- Ausgezeichnet (Excellent): 90 bis 100 %

2.1.2.3 Ablage der Kerne in Kernkisten

Für die Aufbewahrung der Kerne in den Doppelkernkisten (2 x 1 m) mussten die zu Tage beförderten Bohrkerne auf die Länge von je 1 Meter zugeschnitten werden. Dazu wurde eine Naß-Gesteinssäge verwendet (vgl. Abbildung 9).



Abbildung 9: Zuschneiden langer, zusammenhängender Bohrkerne auf 1 Meter lange Stücke zur Ablage in den Doppelkernkisten.

Die Ablage der Kernstücke in die vorbereiteten Kernkisten erfolgte unter stetiger Beachtung der Bohrkernorientierung (Kopf und Krone) sowie teufengerecht. Wie in Abbildung 10 beispielhaft dargestellt, wurden die Bohrkerne aller Abschnitte (Bohrabschnitt 1 bis 5) durch die Verwendung von Folien und Schlauchfolien vor Witterungseinflüssen, vor Austrocknung und vor Auflösungserscheinungen (eventuell enthaltene hygroskopische Bestandteile im Salinarabschnitt) geschützt.



Abbildung 10: Verpackung und Aufbewahrung der Bohrkerne in den Doppelkernkisten.

2.1.3 Dokumentation

2.1.3.1 Feldgeologische Beschreibung und Protokollierung

Der wesentlichste Bestandteil der Bohrkernaufnahme durch den Geologen auf dem Bohrplatz bestand in der detaillierten feldgeologischen Beschreibung der Kerne. Dazu gehört neben den stratigrafisch-lithologischen Angaben insbesondere die Erfassung des tektonisch-strukturellen Inventars [4]. Die Dokumentation der geologischen Daten erfolgte in einem täglichen Berichtsprotokoll unter Angabe

- des Bohrungsnamens
- der laufenden Nr. des Berichtes
- des Datums der Kernentnahme,
- der Geologen vor Ort (Datum, Uhrzeit, Name, ggf. Bemerkungen)
- des vorläufigen stratigrafischen Profils (Bohrlochteufe, vorläufige stratigrafische Zuordnung),
- der Bohrkernbeschreibung (Kernmeter, vorläufige stratigrafische Zuordnung, Beschreibung) unter Berücksichtigung des „Symbolschlüssels Geologie“ (PREUSS et al. 1991),
- der Gebirgsqualität bzw. des RQD-Index nach DEERE (1963, [3]),

- der weiteren Tätigkeiten (Fotodokumentation, Probenahmen, Messungen, Tests), deren Dokumentation dem täglichen Bericht beigefügt ist/wurde,
- des Datums der Erstellung des Berichts,
- des Berichterstellers und dessen Unterschrift.

Die Bohrkernbeschreibung umfasst für die Aufnahme der Schichten gem. Symbolschlüssel Geologie [5] sieben, in ihrer Reihenfolge fest definierte Datenfelder:

1. Teufe, 2. Stratigraphie; 3. Petrographie; 4. Genese; 5. Farbe; 6. Zusatz; 7. Proben

Im Feld „Bohrkernbeschreibung/Petrographie“ wurden die folgenden Elemente erfasst:

- Gesteins-/Materialbezeichnung (Hauptgemengeteil, Nebengemengeteile),
- Schichtung, Schichtungstyp,
- Mineralbestand (soweit makroskopisch erkennbar),
- Geröllbestand,
- Fossilinhalt,
- Kalkgehalt (HCl-Test).

Die Aufnahme des tektonisch-strukturellen Inventars erfolgte ebenfalls während der feldgeologischen Erstbeschreibung auf dem Bohrplatz. Als Zusatzinformationen wurden diese Daten in die Bohrkernbeschreibung integriert. Zur Charakterisierung des strukturellen Inventars wurden, sofern vorhanden, die nachfolgend aufgeführten Elemente erfasst:

- Einfallen der Schichten (Schichtflächen),
- Erfassung von Klüften, Harnischflächen und Störungen (Einfallen, Kluftabstände, Kluftfüllungen, brekziierte Zonen),
- Falten, Flexuren, Boudinagen,
- Mikrotektonik,
- Diskordanzen.

Zusätzlich zur geologischen Beschreibung wurden die jeweils angefertigten Übersichtsfotos (siehe „Fotodokumentation“, Kapitel 2.2) mit entsprechender Bildnummerierung sowie sofort entnommene Proben protokollarisch erfasst. Für die gezielten und unter speziellen Frage- und Aufgabenstellungen vorbereiteten Probenentnahmen wurde je ein separates Formblatt („Kernproben-Verzeichnis“) zur Erfassung der Daten angefertigt und dem Tagesprotokoll beigefügt.

2.1.3.2 Fotodokumentation

Nach der ersten geologischen Beschreibung der Gesteine erfolgte für jede Kernkiste (Doppelkernkiste) eine fotografische Dokumentation. Das Deckgebirge (Muschelkalk, Buntsandstein) und Hutgestein wurde im Auflicht, die Gesteine des Salinarabschnittes wurden im Auflicht und im Durchlicht fotografiert. Für die ausführliche Beschreibung der fotografischen Dokumentation der Bohrkerne sei auf das Kapitel 2.2 verwiesen.

2.1.4 Lagerung im Kernlager

Zur Lagerung der gewonnenen Bohrkerne der Remlingen 15 stand ein entsprechendes Bohrkernlager für den Zeitraum der Bohr- und Testarbeiten zur Verfügung. Nach der geologischen Beschreibung, der Fotodokumentation und der Verpackung der Kerne wurden die Kernkisten auf dem Bohrplatz gelagert und in regelmäßigen Abständen in das nahe liegende Bohrkernlager (Remlingen) transportiert. Die dort zunächst zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten waren trocken und klimatisiert, sodass sie sich gut für die längerfristige Lagerung der Kernkisten eigneten. Mit dem Fortschritt der Bohrung und dem damit einhergehenden Kerngewinn musste das Kernlager später in einen größeren Raum umgelagert werden (Abbildung 11).





Abbildung 11: Kernlager in Remlingen. Deponierung und Auslage der Kernkisten der Bohrung Remlingen 15.

2.2 Fotodokumentation

Die fotografische Dokumentation der Bohrkerne während der geologischen Betreuung der Bohrung Remlingen 15 erfolgte nach Qualitäts-Standard (interner Qualitäts-Management-Standard der K-UTEC AG), um eine hochwertige fotografische Dokumentation der Bohrkerne zu gewährleisten. Alle Bohrkerne des Deckgebirges und des Salinars wurden im Auflicht als Übersichtsfotos (Kapitel 2.2.1.1) und teilweise als Detailfotos (Kapitel 2.2.1.2) dokumentiert. Die Bohrkerne des

Salinarabschnittes wurden zusätzlich im Durchlicht (Kapitel 2.2.2) fotografiert, um interne Strukturen des Salzkernmaterials besser sichtbar zu machen.

2.2.1 Auflichtfotographie

Die Bohrkerne wurden mit geeignetem Werkzeug (Bürste, Pinsel) vorgereinigt. Zusätzlich wurde die Kernoberfläche mit einem auf die Lithologie abgestimmten Fluid präpariert, um Strukturen besser sichtbar zu machen (fotografieren im angefeuchteten Zustand). Im Rahmen der Fotodokumentation wurden für eine spätere Zuordnung und Nachvollziehbarkeit folgende Markierungen, wie sie auch in Abbildung 12 dargestellt sind, für die Aufnahme vorgenommen:

- Titel/Aufnahmetitel,
- Teufenmarkierung (Teufe *von..bis*),
- Maßstab,
- Farb-/Grauskala,
- Kernverlustbereiche.

Die Aufnahme der Bohrkernfotos erfolgte vor Ort auf dem Bohrplatz in einem entsprechend eingerichtetem Container (siehe Abbildung 13).

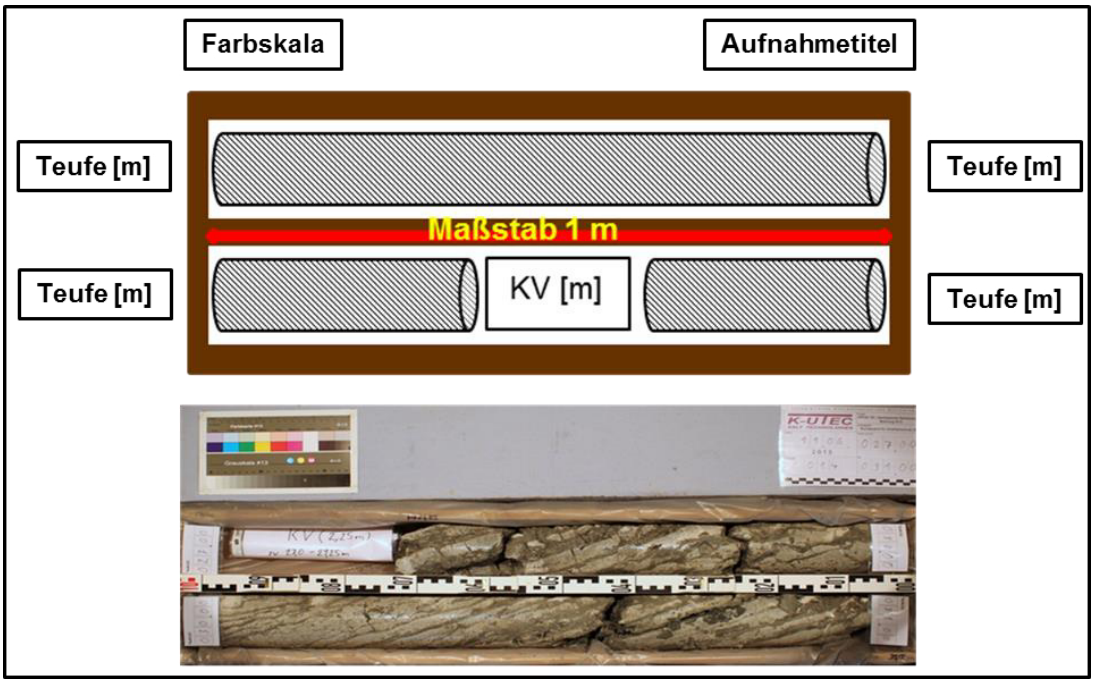


Abbildung 12: Schematische Darstellung zur Fotodokumentation von Bohrkernen und ein Beispiel.



Abbildung 13: Aufbau der Fotoeinrichtung im Bohrkern-Aufnahme-Container auf dem Bohrplatz.

2.2.1.1 Übersichtsfotos

Als Übersichtsfotos wurden alle Fotos bezeichnet, welche die in Kernkisten abgelegten Bohrkerne zeigen. Dabei wurden jeweils zwei Meter Bohrkern in einer Kernkiste abgelegt. Nach entsprechender Markierung wurden die Kernkisten des Deckgebirges entsprechend der Vorgabe des BfS im Auflicht (vgl. Kapitel 2.2.1) dokumentiert. Die Bohrkerne des Salinarabschnittes wurden zusätzlich zur Auflichtfotografie auch im Durchlicht dokumentiert (siehe Kapitel 2.2.2 und Abbildung 15). Eine Zusammenstellung der Übersichtsfotos aller Bohrkerne (Abschnitt 1 bis 5) ist im Bericht „Fotodokumentation zur Erkundungsbohrung Remlingen 1η“ [6] zusammengestellt.

2.2.1.2 Detailfotos

Bei makroskopisch erkennbaren Besonderheiten wurden während der Bohrkernaufnahme Detailfotos angefertigt. Analog zu den Übersichtsfotos wurden diese Bilder ebenfalls mit einer eindeutigen Fotonummer (einschließlich Angabe des Teufenabschnittes) fotografiert (Abbildung 14) und mit einer kurzen Bildbeschreibung dokumentiert. Die aufgenommenen Detailfotos für die Bohrkernabschnitte 1 bis 5 sowie deren Kurzbeschreibung können ebenfalls dem Bericht „Fotodokumentation zur Erkundungsbohrung Remlingen 1η“ [6] entnommen werden.



Abbildung 14: Beispiel-Detailaufnahme eines Bohrkernes.

2.2.2 Durchlichtfotografie

Der 5. Bohrabschnitt der Bohrung Remlingen 15 charakterisiert den salinaren Abschnitt der Bohrung, bestehend aus Salz- und Anhydritgesteinen. Um die Strukturen im Salzgestein besser sichtbar zu machen, wurden die entnommenen Kerne sowohl im Auflicht als auch zusätzlich im Durchlicht fotografiert. Dazu wurde ein auf die Maße der Bohrkerne zugeschnittener und geeigneter Lichtkasten angefertigt. Ein Vergleich zwischen Auflicht- und Durchlichtfotografie ist in Abbildung 15 beispielhaft für einen Bohrkernabschnitt der Remlingen 15 dargestellt.

Im Durchlicht sind die internen Strukturen (z. B. Schichtung, Einschlüsse, Kontaktflächen und -bereiche) häufig besser zu erkennen als mit der Auflichtfotografie. Eine Zusammenstellung der Durchlichtfotos des Bohrkernes aus Abschnitt 5 (Salinar) ist im Bericht „Fotodokumentation zur Erkundungsbohrung Remlingen 1η“ [6] zu finden.

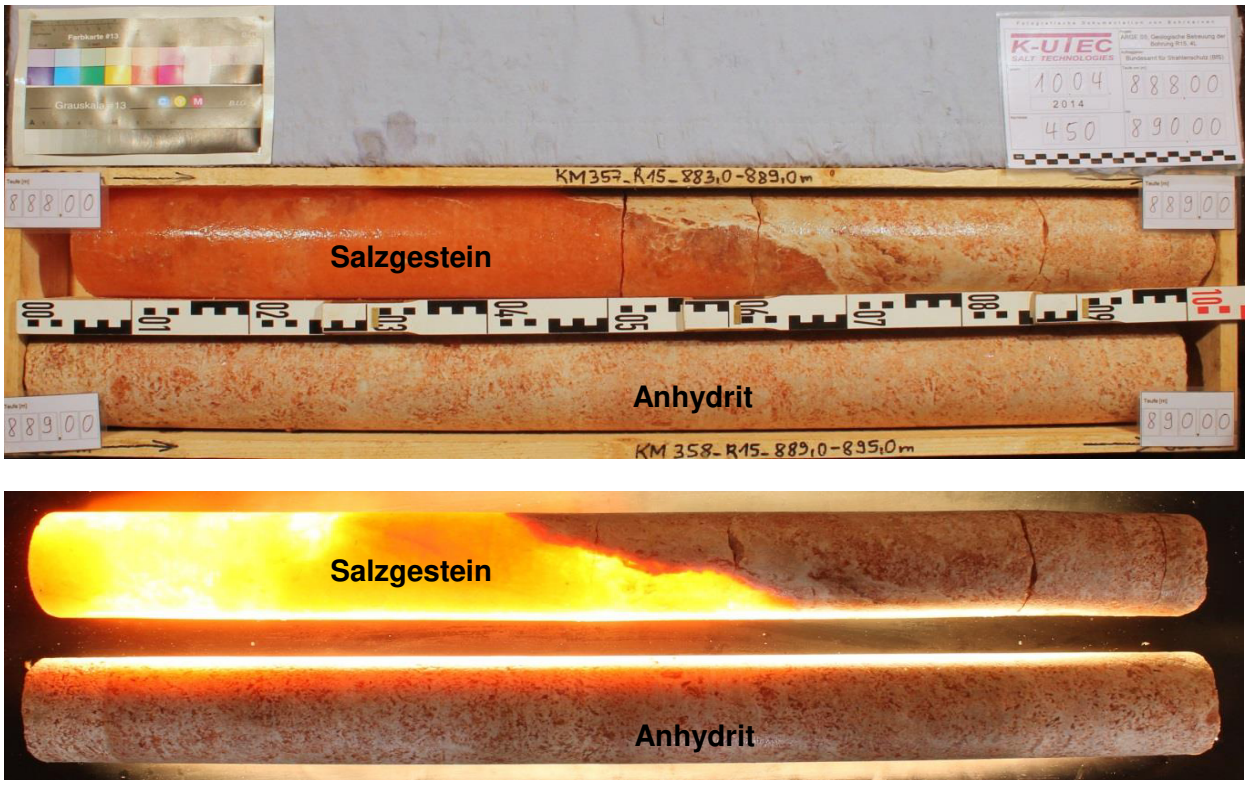


Abbildung 15: Vergleich Auf- und Durchlichtfotografie am Beispiel von 2 Bohrkernen des 5. Abschnittes der Remlingen 15.

2.3 Feldlabor

Zur Untersuchung feldgeologischer Fragestellungen, die unter Anderem als Entscheidungshilfen für weitere Vorgehensweisen während des Bohr- und Testprogrammes herangezogen wurden, stand ein Feldlabor zur Verfügung. Wie bereits in Kapitel 1.4 beschrieben, war das Feldlabor wie folgt ausgestattet:

- Trockenschrank/Wärmeschrank WS51(Temperaturbereich +30°C bis +250°C),
- Stereo-Zoom-Mikroskop (*Inspector-Trino 10-160x)*,
- Präzisionswaage (*KERN EMB 2000-2V / Version 2.0 (01/2013)*),
- Küchenwaage (*SOEHNLE Olympia*),
- Nachweisreagenzien: Uranin, Barium-Chlorid ($BaCl_2$), Salzsäure (10% HCl), Phenolphtalein,
- weiteres Zubehör (Pipetten, Pinzetten, Filterpapier, Alu- und Keramikschalen, Reagenzgläser etc.).

2.3.1 Zugabe von Uranin (Tracer) zur Bohrspülung

Uranin ist aufgrund seiner hohen Nachweisempfindlichkeit, der geringen Sorptionsneigung und des guten Preis-Leistungsverhältnisses der am besten geeignete und auch am häufigsten eingesetzte Fluoreszenztracer. Uranin ist ein Na-Fluorescein und toxikologisch vollkommen unbedenklich. Wie einige andere Fluoreszenzfarbstoffe ist auch Uranin lichtempfindlich, was bei der Aufbewahrung und während der Probenahme beachtet werden muss. Durch Oxidationsmittel wie Chlor, Chlordioxid oder Ozon wird Uranin zerstört.

Zur Kontrolle und Nachweisführung, dass sich die in der Bohrung Remlingen 15 eingesetzte Bohrspülung nicht über Wegsamkeiten des Gebirges unkontrolliert ausbreitet, wurde Uranin als Tracer in die Spülung eingegeben. Uranin zeichnet sich durch Eigenschaften, wie eine sehr gute Nachweisgrenze und eine hohe Tracer-Rückgewinnungsrate, aus. Der Tracer wurde der Bohrspülung mit einer Konzentration von 1 ppm zugegeben.

2.3.2 Allgemeine Feldtests zur Verifizierung der Bohrkernzusammensetzung

Für die Gesteine des Deckgebirges wurde während der feldgeologischen Aufnahme mit Hilfe von verdünnter, 10%iger Salzsäure der Karbonatgehalt ($CaCO_3$) im Gestein geprüft und dokumentiert.

Dies diente vor allem der quantitativen Unterscheidung karbonatreicher und karbonatarmer Gesteine des Muschelkalks.

Zum Nachweis von Anhydrit (Sulfationen) im Bohrkernmaterial wurde im Feldlabormaßstab der so genannte Barium-Chlorid-Nachweis durchgeführt ($BaCl_2$). Dabei wird das zu testende Gestein zunächst mit HCl vorbehandelt (ansäuern), damit der Sulfationen-Nachweis nach Zugabe von $BaCl_2$ als weißer, flockiger Niederschlag zu erkennen ist.

Für die Unterscheidung von Bohrkernmaterial von Zement, besonders beim Durchteufen von Zementbrücken und im Übergangsbereich von zementierten Strecken zum Gestein, wurde Phenolphtalein verwendet. Dieses Reagenz reagiert im pH-Wertbereich von 8,2 bis 12 (basisch) mit einem violetten Farbausschlag und zeigt damit beispielsweise das Vorhandensein von Zement in Cutting-Proben an.

2.4 Software

Zur Erfassung, Darstellung und Bearbeitung der geologischen Feldinformationen sowie der geophysikalischen Daten wurde entsprechend geeignete Software benutzt:

2.4.1 GeODin

Die digitale Erfassung der geologischen Feldinformationen (stratigrafische und petrografische Beschreibung) erfolgte in einer GeODin 7.0 - Datenbank. GeODin ist ein Dateimanagement-Modul für Projekte aus den Anwendungsbereichen Geologie, Geotechnik, Umwelt, Monitoring und Labor. Die Erfassung der Daten für die Erkundungsbohrung Remlingen 15 erfolgte nach dem Standard SEP3, DIN EN ISO14688 [7]. Für die Eingabe der aufgenommenen Feldbeschreibungen wurde die Maske der Hauptschichtbeschreibung verwendet.

Das sich daraus ergebende Bohrprofil nach DIN EN ISO14688 sowie das zugehörige Schichtenverzeichnis ist dem Bericht „Schichtenverzeichnis (GeODin) zur Erkundungsbohrung Remlingen 1η“ [8] zu entnehmen.

Die Eingabe der Schichtdaten erfolgte in den Feldern der *Hauptschichtbeschreibung* des Programmes GeODin 7.0.

2.4.2 Tec-Corim

Die TEC-CORIM Software erlaubt dem Benutzer, Bilder der Kernkisten zu erstellen, diese Bilder zu prozessieren und schließlich als kontinuierliche „Bohrkernsäule“ mit einer justierbaren Tiefenskala darzustellen. Auch extern der Software erstellte Fotos der Bohrkerne oder Kernkisten, welche nach entsprechenden Qualitätsstandards (Beleuchtung, Beschriftung, Maßstab, Orientierung) angefertigt wurden, können der Software als Basis für die Erstellung einer kontinuierlichen Bohrkernsäule dienen.

Die Software ist für die Verarbeitung einer großen Anzahl von Bohrkernfotos (lange Kernstrecken) und für eine ausgezeichnete Dokumentation dieser Daten besonders geeignet. Für die Bohrung Remlingen 15 war die Art und Weise der Bohrkernfotografie festgelegt. Diese berücksichtigte alle notwendigen Voraussetzungen zur späteren Übertragung in die TEC-CORIM Software zur Darstellung der Bohrung als kontinuierliche, zusammengesetzte Bohrkernsäule.

Die mit Hilfe der TEC-CORIM Software erzeugten Daten sind mit dem Programm Well-CAD (vgl. Kapitel 2.4.3) kompatibel und lassen sich daher mit Ergebnissen von geophysikalischen Bohrlochmessungen (z. B. Cal, Akustik-Log, GG, NN usw.) korrelieren. Die dabei für die Remlingen 15 entstandenen synoptischen Darstellungen sind dem Anhang 1.1 bis 1.7 zu entnehmen.

Auf Grund der hohen Daten- und Bildmenge wurde die Bohrung Remlingen 15 u.a. auch unter Berücksichtigung der Bohrabschnitte in 7 Teilabschnitte untergliedert:

- Teilabschnitt 1: Abschnitt 1 der Bohrung (0-135 m),
- Teilabschnitt 2: Abschnitt 2 der Bohrung (135-259 m),
- Teilabschnitt 3: Abschnitt 3 der Bohrung (259-417 m),
- Teilabschnitt 4: Abschnitt 4 der Bohrung (406-450 m),
- Teilabschnitt 5: Abschnitt 5 der Bohrung (450-600 m),
- Teilabschnitt 6: Abschnitt 5 der Bohrung (600-750 m),
- Teilabschnitt 7: Abschnitt 5 der Bohrung (750-900 m).

Die Untergliederung in diese Teilabschnitte erleichterte die Handhabung und die Speicherung der verarbeiteten Datenmengen.

2.4.3 Well-CAD

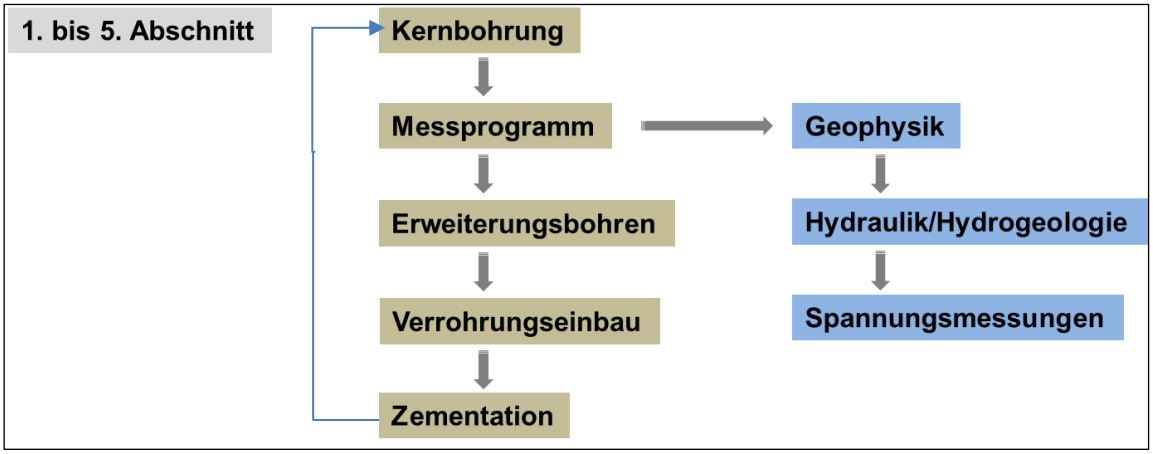
Well-CAD ist ein Programm zur Darstellung und Bearbeitung von geophysikalischen Daten (Well Data), welche beispielsweise bei Bohrlochmessungen gewonnen werden. Es kombiniert umfangreiche grafische Bearbeitungsmechanismen mit Daten-Prozessions-Werkzeugen. Well-CAD ist eine Standard Software zur Bearbeitung und Zusammensetzung von Log-Daten sowohl in der Bergbau- sowie Öl- und Gas-Industrie als auch in der Geotechnik.

Die Darstellung der geophysikalischen Messdaten der Remlingen 15 erfolgte in Form von Logs (Kurven/Diagramme). Durch das ausführende Unternehmen TERRATEC wurden die Messdaten für jeden gemessenen Bohrabschnitt als Datensätze im WCL-Format (Well-CAD), als bereits vorbereitete Log-Kurven sowie als PDF-Dateien zur weiteren Bearbeitung vorgelegt. Die aufbereiteten WCL-Dateien der Bohrabschnitte der Remlingen 15 können den beigefügten Synopsen (Anhang 1.1 bis 1.5) sowie dem abschließenden Bericht der Firma TERRATEC [9] entnommen werden.

3 Technischer Bohrungsverlauf

3.1 Überblick

Der allgemeine technische Bohrungsverlauf und Ablauf der Remlingen 15 kann wie nachfolgend skizziert kurz zusammengefasst werden:



3.2 Chronologie

Die Chronologie der Bohrung Remlingen 15 wird nachfolgend beschrieben und zusammenfassend in Tabelle 3 dargestellt. Am 05. Juni 2013 wurde die Bohrung Remlingen 15 mit einer Schnecke bis in eine Teufe von 2,2 m unter Gewinnung von Meißelproben begonnen. Danach wurde die Bohrung auf das Kernbohrverfahren mit durchgehender Kerngewinnung umgestellt. Alle nachfolgend gemachten Teufenangaben beziehen sich auf die Bohrteufe (Drill Depth, Measured Depth).

3.2.1 1. Abschnitt (0 bis 135 m)

Der erste Abschnitt der Remlingen 15 wurde als vertikale Kernbohrung mit einem Durchmesser von 146 mm (5 ¾ Zoll) im Zeitraum vom 05. Juni 2013 bis 23. Juni 2013 bis in eine Teufe von 135 m abgeteuft. Den Kernbohrarbeiten schloss sich das geophysikalische und hydrogeologisch-hydraulische Messprogramm an (24. Juni 2013 bis 29. Juni 2013).

Im Zuge der Rückzementation des ersten Bohrabschnittes kam es zum Abriss des Zementationsgestänges im Bohrloch. Auf Grund erfolgloser Bergungsversuche wurde die Ablenkung der Bohrung entschieden und somit um das havarierte Zementiergestänge (sog.

„Fisch“) als Erweiterungsbohrung vorbei zu bohren. Im ersten Ansatz wurde versucht, mit einem Durchmesser von 762 mm (30 Zoll) als Meißelbohrung eine natürliche Ablenkung herzustellen. Da die abgelenkte Bohrung jedoch weitgehend in der Spur geblieben ist, d.h. die aufgebaute Ablenkung bei etwa 50 m Teufe zu gering war, um am „Fisch“ vorbei zu bohren, wurde das Bohrloch bis 16 m Teufe zurück zementiert (30. September – 03. Oktober 2013).

Anschließend wurde eine Richtbohrgarnitur mit einem Durchmesser von 311 mm (12 ¼ Zoll) eingesetzt, um eine planmäßig gerichtete Ablenkbohrung herzustellen. Diese wurde dann mit Kies verfüllt, um im nächsten Schritt auf 30 Zoll mit Meißelbohrung und ohne Richtbohrmotor zu erweitern. Da von der ursprünglichen Bohrspur havariebedingt abgewichen, wurde die Bohrlochablenkung zur Nachvollziehbarkeit der Kernbeschreibungen und der Dokumentation nach LBEG Richtlinie „umbenannt“ in Remlingen 1η, 2. Loch (vgl. Tabelle 3). Die bis 135,0 m erstellte Kernbohrung der planmäßigen Bohrspur wird unter der Bezeichnung Remlingen 15, 1. Loch geführt. Im Zuge der Erweiterung der gerichtet abgelenkten Bohrung wurde erneut von der Bohrspur abgewichen. Da der mittels Bochlochabweichungsmessung (Bohrlochverlaufsmessung) festgestellte Ablenkwinkel als ausreichend eingestuft wurde, erfolgte die Erweiterung dieser Bohrspur (Remlingen 15, 3. Loch) bis 133 m Teufe mit einem Durchmesser von 762 mm (30 Zoll). Diese Arbeiten fanden im Zeitraum vom 10. Oktober 2013 bis 29. Oktober 2013 statt. Nach Abschluss der Erweiterung erfolgte der Einbau der 26 Zoll-Verrohrung (660,4 mm) bis in eine Teufe von 92,6 m (Absetzteufe) und die Zementation der Rohre und des offenen Bohrlochabschnitts.

3.2.2 2. Abschnitt (135 bis 259 m)

Mit den Kernbohrarbeiten für den ***2. Abschnitt*** (Remlingen 15, 3. Loch) wurde am 10. November 2013 begonnen. Der 2. Abschnitt wurde bis in eine Teufe von 259 m mit einem Durchmesser von 146 mm (5 ¾ Zoll) als Vertikalbohrung niedergebracht. Nach Abschluss der Kernbohrarbeiten erfolgte ein umfangreiches Messprogramm (geophysikalisch, hydraulisch) im Zeitraum vom 20. November 2013 bis 03. Dezember 2013. An die Testarbeiten schloss die Phase der Erweiterungsbohrung für den 2. Abschnitt mit einem Durchmesser von 23 Zoll (584,2 mm) bis in eine Teufe von 259 m an (03. Dezember 2013 bis 20. Dezember 2013). Am 21. Dezember 2013 wurde mit dem Einbau der 18 ⅝ Zoll-Verrohrung (473 mm) begonnen. Nach erfolgreicher Zementation der Rohre wurde die Bohrung sicher abgeschlossen und stand durch die Betriebsunterbrechung vom 21. Dezember 2013 bis zum 02. Januar 2014 still.

3.2.3 3. Abschnitt (259 bis 417,5 m)

Nach Beendigung vorbereitender Arbeiten wurde am 07. Januar 2014 mit dem Kernbohren des ***3. Bohrabschnittes*** begonnen. Die Kernbohrarbeiten erfolgten mit 146 mm Durchmesser bis in eine Teufe von 417,0 m. Vom 18. Januar 2014 bis 03. Februar 2014 erfolgte das geophysikalische und hydraulische Testing. Nach Beendigung der hydraulischen/hydrogeologischen Bohrlochtests kam es zum Feststecken des Packersystems. Das Ziehen der Messgarnitur war erfolglos, sodass dieses nur durch Überwaschen und Fangen erfolgreich geborgen werden konnte. Während einer Kontrollbefahrung kam es zum Verlust von zwei Rollen des Rollenmeißels. Diese konnten mit der Kerngarnitur erfolgreich geborgen werden. Abschließend erfolgte die Vertiefung des Bohrloches von 417,0 m bis 417,5 m Teufe.

Im Zeitraum vom 03. bis 24. Februar 2014 wurde der 3. Abschnitt der Bohrung (Remlingen 15, 3. Loch) auf einen Bohrlochdurchmesser von 17 ½ Zoll (444,5 mm) erweitert. Wegen Nachfall erfolgte zur Gewährleistung der Bohrlochstabilität zwischen 320 bis 370 m Teufe eine Zementation dieses Bereiches (Rückzementation). Beim wieder aufbohren (ab etwa 335 m Teufe) wurde die Bohrung „langsam“ aus dem harten Zement in das „weiche“ Gebirge abgelenkt. Dennoch wurde das Erweitern des 3. Abschnittes bis 405,0 m Teufe fortgesetzt. Am 25. Februar 2014 wurde mit dem Einbau der 13 ⅜ Zoll-Rohrtour (339,7 mm) begonnen. Die Rohrabsetzteufe liegt bei 401,5 m. Da die Erweiterungsbohrung das vorgegebene Kernbohrloch verlassen hat und der Folgeabschnitt bereits bei 406 m ansetzt, wurde ab dem ζ. Bohrabschnitt die Bezeichnung „Remlingen 1η, 4. Loch“ eingeführt, um Missverständnisse bei der Dokumentation „doppelter“ Kernmeter zu vermeiden.

3.2.4 4. Abschnitt (406 bis 450 m)

Die Kernbohrarbeiten für den ***4. Abschnitt*** (406,0 bis 450,0 m Teufe) wurden vom 04. bis 06. März 2014 durchgeführt. Die Grenze zum Salinar wurde bei 443,8 m Teufe erreicht. Vom 07. März bis 14. März 2014 schloss sich das geophysikalische und hydraulisch-hydrogeologische Messprogramm an. Mit einem Durchmesser von 311 mm (12 ¼ Zoll) wurde der 4. Abschnitt von 406,0 bis 450,0 m Teufe erweitert (15. März bis 22. März 2014) und anschließend die 9 ⅝ Zoll (244,5 mm) Rohrtour bis in eine Teufe von 448,5 m (Absetzteufe) eingebaut (23. März bis 29. März 2014) und zementiert.

3.2.5 5. Abschnitt (450 bis 900 m)

Mit Aufschluss des Salinars wurde die Verwendung eines BOP´s (Blow-Out-Preventer) notwendig (mögliche Gasgefahr). Nach dem Aufbau und Test des BOP wurde mit der Kernbohrung des ***5. Abschnittes*** der Remlingen 15 (4. Loch) fortgesetzt. Die Kernbohrung (146 mm) wurde am 29. März 2014 bei 450,0 m Teufe begonnen. Während der Kernbohrarbeiten wurde über die Vertiefung der Bohrung von ursprünglich 790 m auf 900 m entschieden. Die angepasste Endteufe wurde am 10. April 2014 erreicht. Nach anschließender Spülungsaufbereitung- und -austausch wurden das geophysikalische Bohrlochmessprogramm sowie erste Versuche der hydrogeologischen und Spannungsmessungen in Salzspülung durchgeführt. Dabei stellte sich vermutlich durch die Zusammensetzung der Spülung im Bohrloch ein so genannter „Batterieeffekt“ ein, wodurch keine verwertbaren Ergebnisse entstanden und die Fortführung des Testprogramms nicht gewährleistet war. Nach Umstellung auf Ölspülung für die EMR-Messungen erfolgte ein erneuter Versuch die hydrogeologischen Packertests in Ölspülung durchzuführen. Die vorliegenden Bedingungen im Bohrloch führten zu Packerbeschädigungen, so dass die hydraulischen Messungen jedoch ohne Ergebnis blieben (mögliche Ursachen: Bohrlochkaliber, Rauigkeit der Bohrlochwand und Einfluss der Ölspülung auf das Manschettenmaterial). Es erfolgte eine erneute Umstellung der Spülung auf eine klare Salzspülung ohne Zusatzstoffe. Nach einem weiteren erfolglosen Versuch der hydrogeologischen Bohrlochmessungen (Bohrlochkaliber zu groß, Rauigkeit der Bohrlochwand, Unförmigkeit des Bohrloches) wurde die Bohrlochbegradigung/-erweiterung auf 6 ¾ Zoll veranlasst. Anschließend wurden die hydraulischen Messungen wiederholt und am 20. Mai 2015 abgeschlossen.

Tabelle 3: Übersicht Bohrablauf Erkundungsbohrung Remlingen 15 und Zuordnung Bohrungsbezeichnung.

Bohr-abschnitt	Bohrungs-bezeichnung	Bohr-verfahren	Neigung	Durchmesser	Teufe [m]	Zeitraum
1. Abschnitt	Remlingen 15 **1. Loch**	Kernbohrung	vertikal	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾'')	0 – 135	05.06. – 23.06.2013
		Messprogramm				23.06. – 29.06.2013
		div. Zementations- und Aufbohrarbeiten				30.06. – 16.08.2013
		Erweiterungs-bohrung	Abgelenkt (Versuch Aufbau	Bohr ∅ 762 mm (30'')	2,5 – 50	25.09.- 29.09.2013

Bohr-abschnitt	Bohrungs-bezeichnung	Bohr-verfahren	Neigung	Durchmesser	Teufe [m]	Zeitraum
			natürl. Ablenkg.)			
		Rückzementation bis 16m				30.09. – 03.10.2013
	Remlingen 15, **2. Loch**	Erweiterungs-bohrung	Abgelenkt, gerichtet, max. 2,5°	Bohr ∅ 311 mm (12 ¼'')	16 -58	04.10. - 09./10.10.2013
	Remlingen 15, **3. Loch**	Erweiterungs-bohrung	Abgelenkt, ohne Richtbohrgarnitur	Bohr ∅ 762 mm (30'')	16 – 133	09./10.10. - 29.10.2013
2. Abschnitt	Remlingen 15, **3. Loch**	Kernbohrung	Vertikal	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾'')	125,6 – 259,0	10.11./11.11.-20.11.2013
		Messprogramm				20.11. – 03.12.2013
		Erweiterungs-bohrung	Vertikal	Bohr ∅ 584,2 mm (23'')	88,5 - 259,0	03.12. – 20.12.2013
Betriebsunterbrechung 21.12.2013 – 02.01.2014 / 02.01. 2014 bis 07.01.2014 vorbereitende Arbeiten, Hilfsverrohrung						
3. Abschnitt	Remlingen 15, **3. Loch**	Kernbohrung	Vertikal	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾'')	258,3 – 417,5	07.01.– 18.01.2014
		Messprogramm				18.01. – 03.02.2014
		Erweiterungs-bohrung	Vertikal	Bohr ∅ 444,5 mm (17 ½'')	245,0 – 405,0	03.02. – 24.02.2014
4. Abschnitt	Remlingen 15, **4. Loch**	Kernbohrung	Vertikal	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾'')	406,0 – 450,0	04.03. – 06.03.2014
		Messprogramm				07.03. . 14.03.2014
		Erweiterungs-bohrung	Vertikal	Bohr ∅ 311 mm (12 ¼'')	405,0 – 450,0	15.03. – 22.03.2014
5. Abschnitt		Kernbohrung	Vertikal	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾'')	450,0 – 900,0 (ET)	29.03./ 10.04.2014 –
		Messprogramm				11.04. – 20.05.2014

3.3 Bohr- und Verrohrungsschema

Die Bohrung Remlingen 15 wurde durchgehend als Kernbohrung mit einem Durchmesser von 146 mm (5 ¾ Zoll) erstellt und abschnittsweise erweitert und verrohrt. Die Bohrung ist in mehreren Abschnitten bis in eine Teufe von 448,5 m gemäß Tabelle 4 und Abbildung 16 verrohrt. Von 448,5 m bis 900,0 m Teufe ist die Bohrung unverrohrt (Open Hole). Nach Abschluss der Erkundungstätigkeiten wurde die Bohrung verfüllt.

Tabelle 4: Bohr- und Verrohrungsschema der Bohrung Remlingen 15.

Bohrabschnitt	Bohrungs-bezeichnung	Bohrverfahren	Durchmesser	Teufe [m]
1. Abschnitt	Remlingen 15 **1. Loch**	Kernbohrung	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾")	0 – 135
		Erweiterungs-bohrung	Bohr ∅ 7θ2 mm (30")	2,5 – 50
	Remlingen 15, **2. Loch**	Erweiterungs-bohrung	Bohr ∅ 311 mm (12 ¼")	16 -58
	Remlingen 15, **3. Loch**	Erweiterungs-bohrung	Bohr ∅ 7θ2 mm (30")	16 – 133
			Verrohrung ∅ 660,4 mm (26")	0 – 92,6 m
2. Abschnitt	Remlingen 15, **3. Loch**	Kernbohrung	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾")	125,6 – 259,0
		Erweiterungs-bohrung	Bohr ∅ η8ζ,2 mm (23")	88,5 - 259,0
			Verrohrung ∅ 473 mm (18 ⅝ ")	0 – 257,5 m
3. Abschnitt	Remlingen 15, **3. Loch**	Kernbohrung	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾")	258,3 – 417,5
		Erweiterungs-bohrung	Bohr ∅ ζζζ,η mm (17 ½")	245,0 – 405,0
			Verrohrung ∅ 339,7 mm (13 3/8")	0 – 401,5 m
4. Abschnitt	Remlingen 15, **4. Loch**	Kernbohrung	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾")	406,0 – 450,0
		Erweiterungs-bohrung	Bohr ∅ 311 mm (12 ¼")	405,0 – 450,0
			Verrohrung ∅ 244,5 mm (9 ⅝ ")	0 – 448,5 m
5. Abschnitt	Remlingen 15, **4. Loch**	Kernbohrung	Kernbohrung ∅ 1ζθ mm (η ¾")	450,0 – 900,0 (ET)

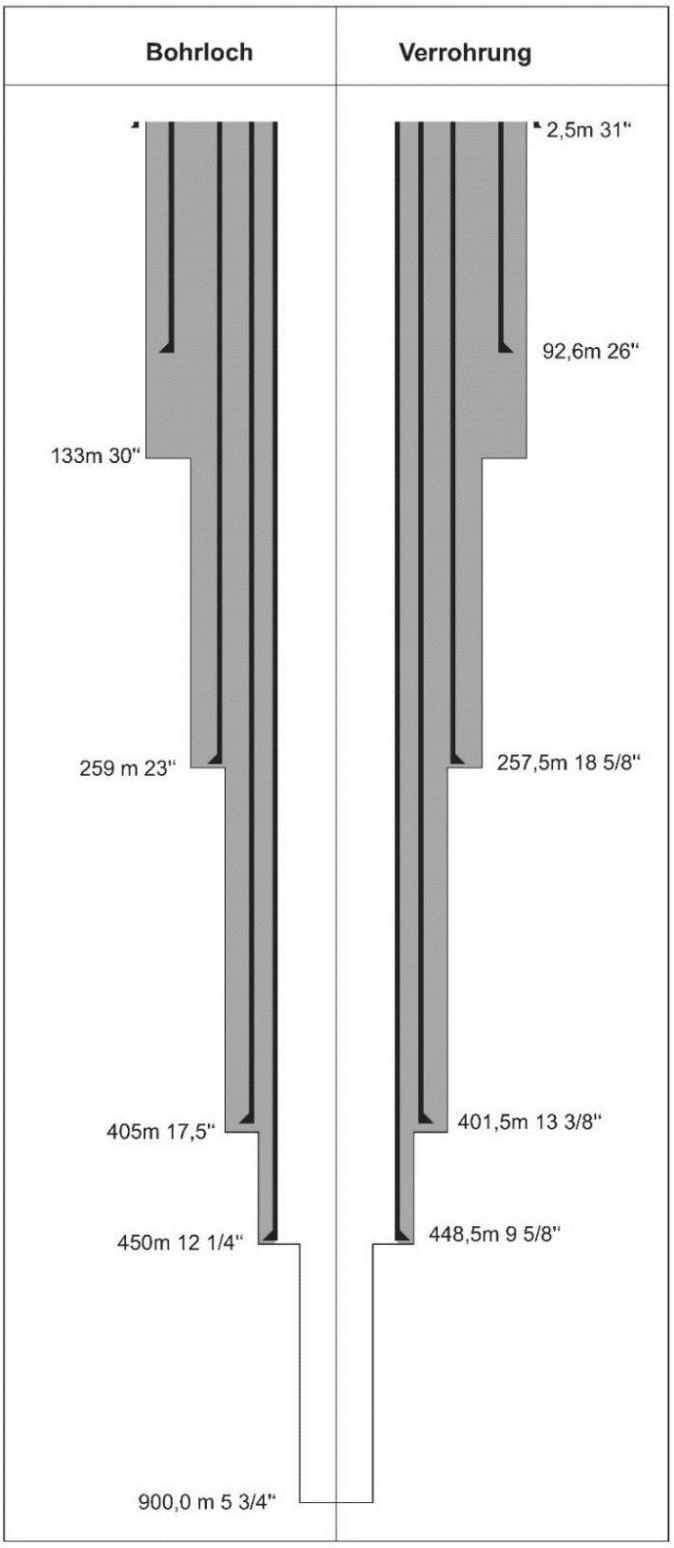


Abbildung 16: Bohr- und Verrohrungsschema der Bohrung Remlingen 15.

3.4 Neigungsmessungen

Neigungsmessungen wurden während der Bohrtätigkeiten als Single-Shot-Messungen durch das ausführende Bohrunternehmen in regelmäßigen Abständen im Bohrloch der Remlingen 15 durchgeführt. Um den Verlauf der Bohrung zu berechnen, ist es notwendig, die Neigung (Neigungswinkel der Bohrung) und das Azimut der Neigung (Richtung der Neigung) in einigen Punkten der Bohrung zu kennen. Die Werte werden in möglichst nahe liegenden Abständen gemessen. Bei Single-Shot-Messungen kann jeweils nur ein Messpunkt während einer Messung registriert werden. Die Ergebnisse der Neigungsmessungen sind in nachfolgender Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Ergebnisse der Neigungsmessungen im Bohrloch während der Bohrarbeiten (durchgeführt durch Fa. Daldrup & Söhne AG).

Datum der Messung	Teufe [m GOK] Drill Depth	Neigung [°]
12.06.2013	48,8	0,5
20.06.2013	74,0	0,1
23.06.2013	105,0	0,1
14.07.2013	95,0	1,8
08.10.2013	30,0	1,5
08.10.2013	39,0	2,0
09.10.2013	50,0	2,5
14.10.2013	42,0	0,7
14.10.2013	52,0	1,0
17.10.2013	59,0	0,4
17.10.2013	63,0	0,4
19.10.2013	73,0	1,0
22.10.2013	85,0	0,3
15.11.2013	186,0	0,5
12.12.2013	195,0	0,3-0,6
12.01.2014	328,0	0,5
19.02.2014	354,0	2,0
03.04.2014	625,0	2,8
05.04.2014	700,0	3,5-3,8
08.04.2014	800,0	4,0

3.5 Bohrlochabweichung

Unter Bohrlochabweichung ist im Allgemeinen die Abweichung der Bohrspur aus der vorgegebenen, meist vertikalen oder lotrechten Richtung und des Verlaufs einer Bohrung zu verstehen.

Abweichungen der Bohrspur aus der Lotrechten können durch verschiedene Parameter beeinflusst werden. Einige Beispiele sind nachfolgend aufgeführt:

- Bohransatzpunkt wurde in den x-y-Koordinaten nicht exakt angefahren,
- Geologische/tektonische Einflussparameter: Genese, Lithologie, tektonischer Beanspruchungsgrad, Einfallen von Schichten, Vorhandensein und Einfallen von Klüften und Störungen,
- Gesteinsmechanische Einflussparameter: einaxiale Druckfestigkeit, E-Modul,
- Bohrlochgeometrie: Bohrlochlänge, -durchmesser, -neigung,
- Maschinentechnische Einflussparameter: Art des Bohrgerätes, Bohrandruck, Drehzahl und die Art des Bohrgestänges.

3.5.1 Bohrlochabweichung der Bohrung Remlingen 15

Mit Hilfe der regelmäßigen Bohrlochverlaufsmessungen im Zuge des geophysikalischen Bohrlochmessprogramms wurde bezogen auf die Endteufe der Bohrung eine Abweichung der Bohrung Remlingen 15 von 37,71 m nach E sowie von 1,93 m nach N festgestellt.

Anhand der aus den geophysikalischen Messungen zur Bohrlochabweichung stammenden Daten und Informationen ergibt sich, dass die Bohrung in ENE-Richtung aus der Lotrechten abgewichen ist. Abbildung 17 veranschaulicht die projizierte Abweichung der Remlingen 15 in nördliche Richtung. Die Abweichung der Bohrung nach Osten lässt sich lediglich in der Aufsicht, allerdings nicht im Profilschnitt darstellen. Dazu wurde der Bohransatzpunkt, belegt mit Koordinaten als Hoch- und Rechtswert, sowie der Bohrendpunkt, ebenfalls belegt mit Koordinaten (errechnet aus den Angaben der Abweichung nach Norden und nach Osten), aufgetragen.

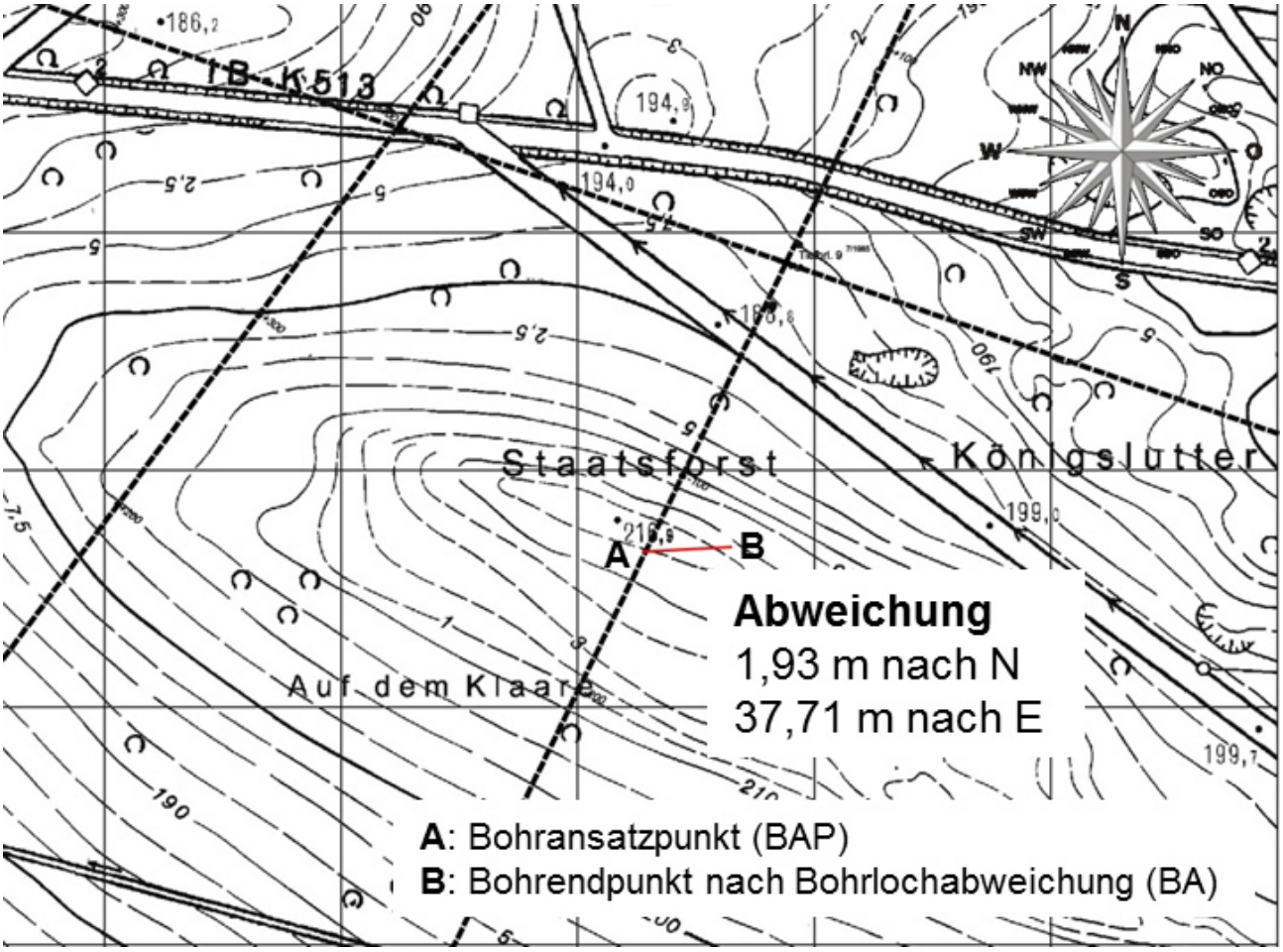


Abbildung 17: Darstellung des Bohrlochverlaufs in der Aufsicht ([2], verändert).

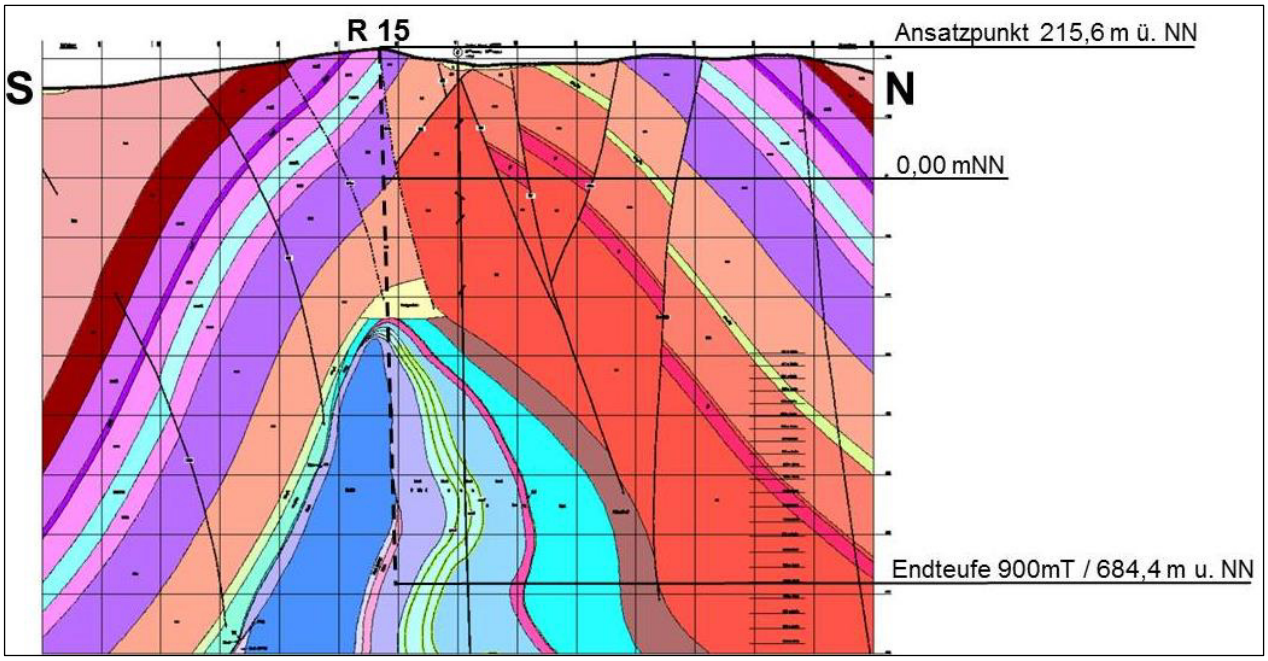


Abbildung 18: Darstellung des Bohrlochverlaufs als Projektion in den geologischen Schnitt 28 ([2], verändert).

Die während der Bohrlochverlaufsmessung erfassten Daten sowie deren Auswertung und grafische Darstellung ist in Abbildung 19 veranschaulicht. Mit Hilfe des dargestellten „Bullseye“ wird die gemessene Bohrlochabweichung als Verlaufsspur in einer 360°-Darstellung abgebildet. Die konzentrischen Kreise markieren dabei die Abweichung der Messpunkte (Teufenmarkierungen) vom Bohransatzpunkt in Meter. Der Abstand der Kreise beträgt 5 Meter. Auf der dargestellten Bohrspur sind die Teufenmarkierungen zu erkennen. An den von innen nach außen verlaufenden Strahlen des „Bullseye“ lässt sich die Abweichung der Bohrung in die entsprechende Himmelsrichtung ablesen. Dabei bedeuten 0° und 360° Norden, 90° Osten, 180° Süden und 270° Westen.

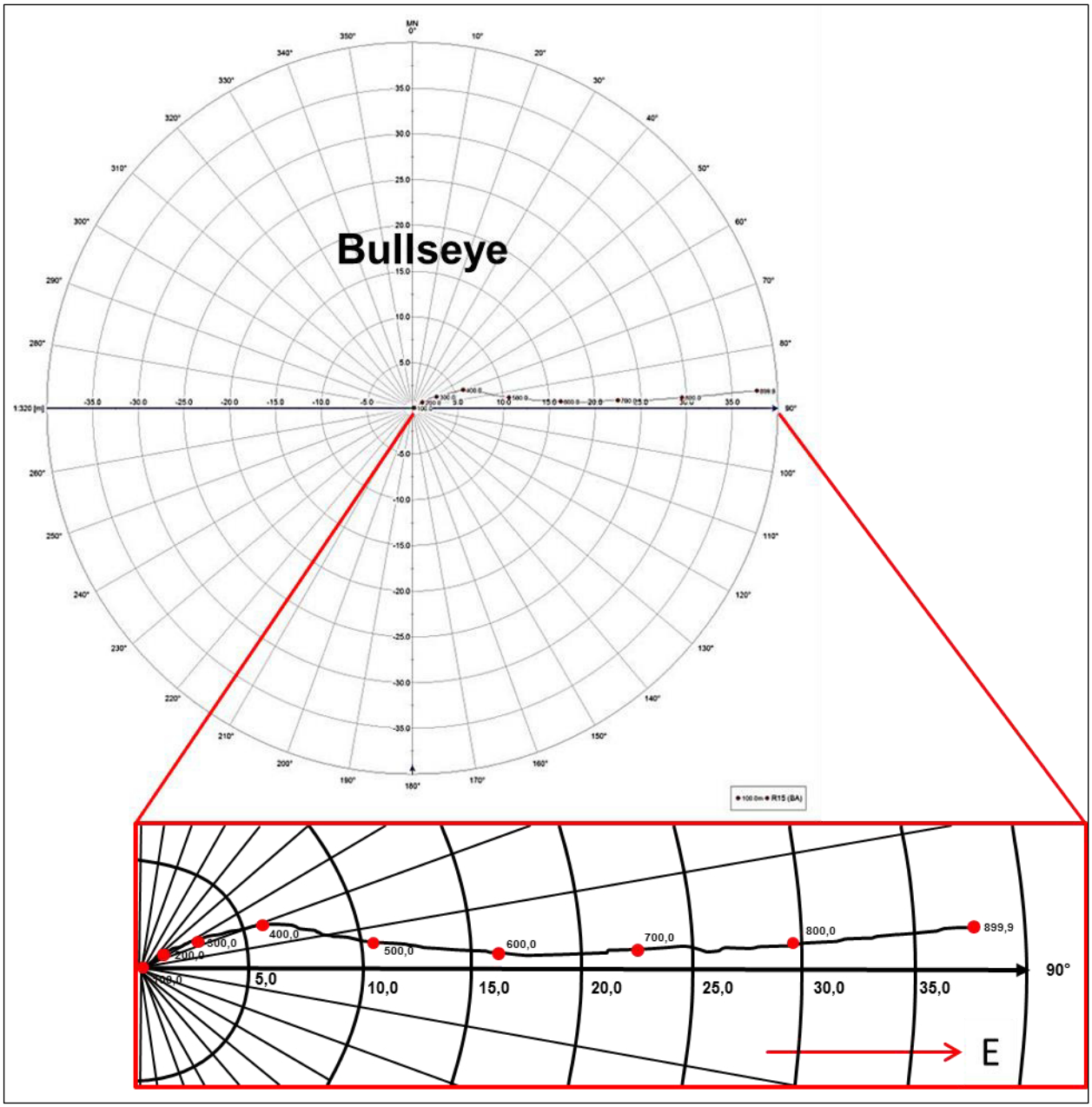


Abbildung 19: Auswertung und grafische Darstellung der Ergebnisse der Bohrlochverlaufsmessungen im Bohrloch der Remlingen 15 (Bullseye).

Die Gesamtauswertung der Bohrlochverlaufsmessung stellt die genannten Informationen in Form von Kurvenverläufen (Logs) dar. Azimut (Richtung) und Neigung, die Abweichung nach Osten (Easting) und nach Norden (Northing) sowie die True Vertical Depth (TVD).

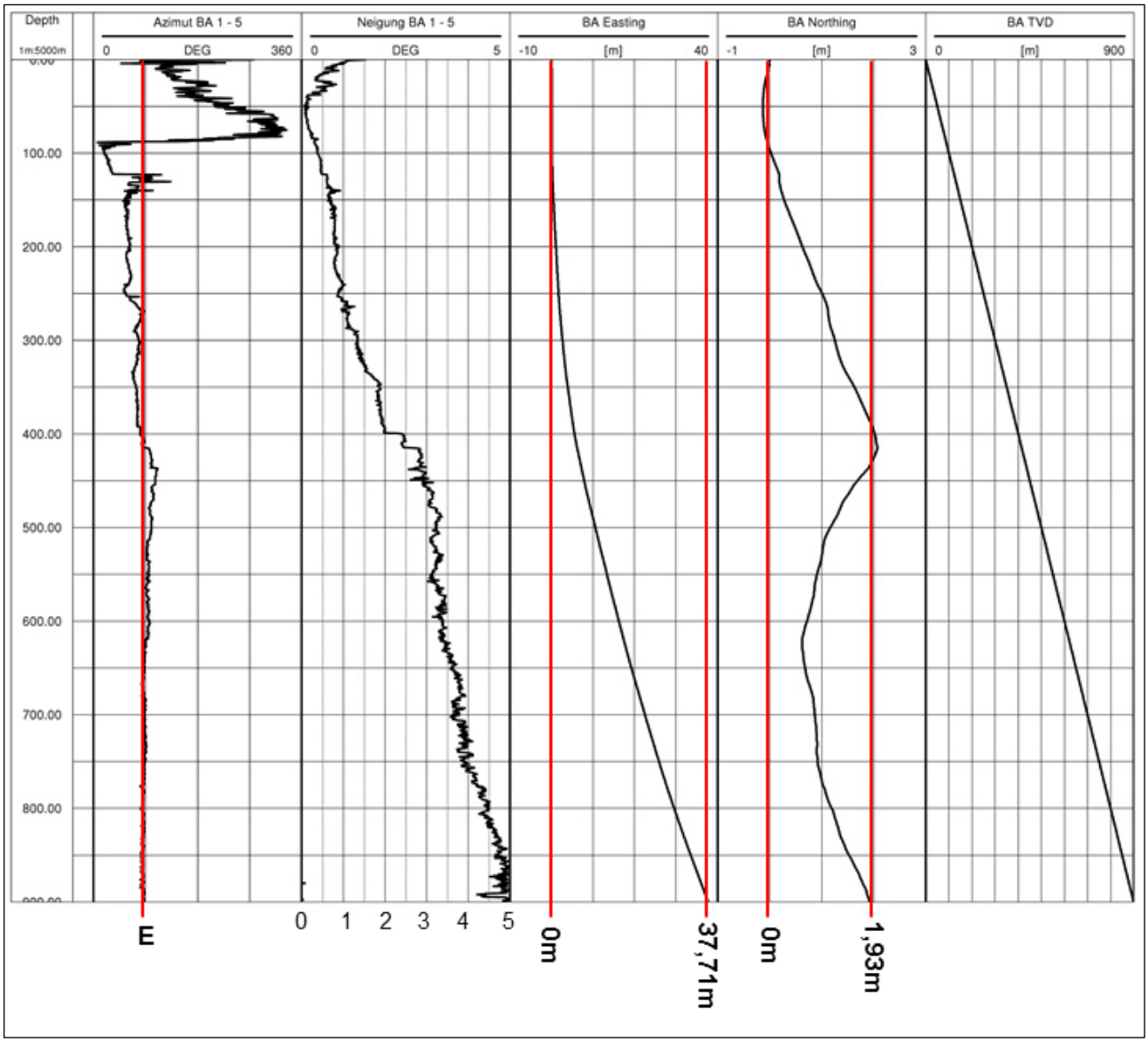


Abbildung 20: Gesamtauswertung der Ergebnisse der Bohrlochverlaufsmessungen im Bohrloch der Remlingen 15.

3.6 True Vertical Depth (TVD)

Unter True Vertical Depth (TVD) versteht man die senkrechte Linie von der Geländeoberkante bis zum Ende eines Bohrloches (vgl. schwarze / gestrichelte Linie in Abbildung 21). Dem gegenüber steht die gemessene Tiefe (Measured Depth oder Drill Depth) eines Bohrloches (vgl. rote Linie in Abbildung 21), die der Bohrlochlänge entspricht. Die TVD ist dabei immer gleich oder kleiner als die gemessene Bohrlochtiefe (Drill Depth).

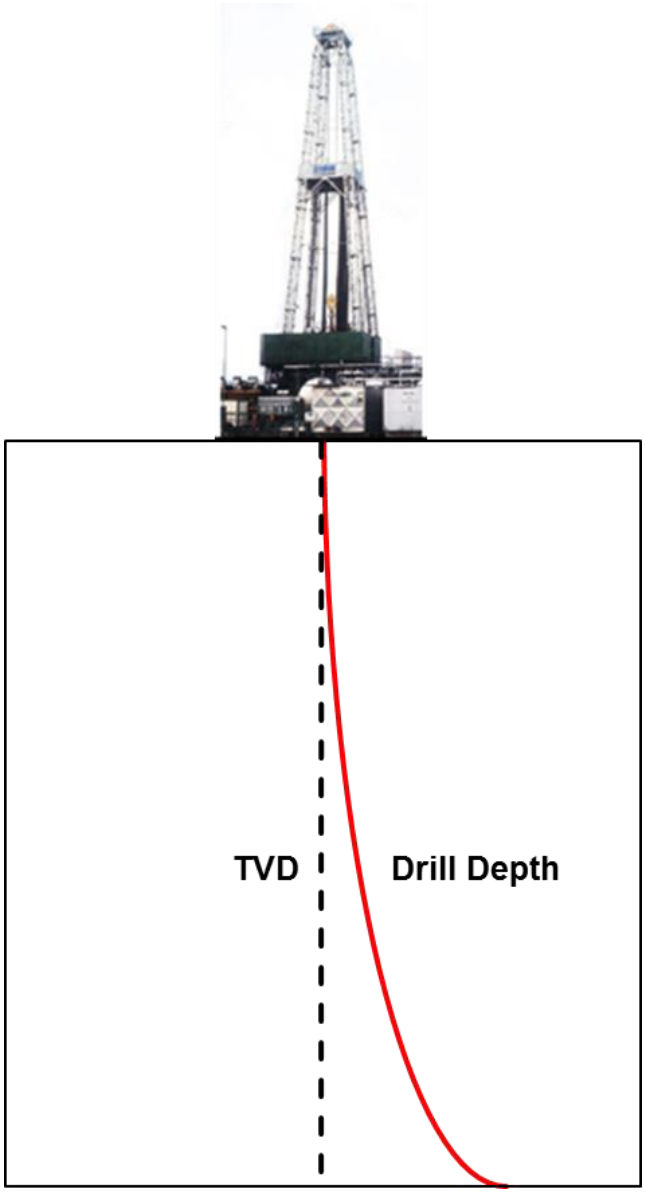


Abbildung 21: Schematische Darstellung der True Vertical Depth (TVD) im Vergleich zur Drill Depth (Bohrtiefe).

Die nachfolgende Tabelle 6 fasst die gemessenen Bohrlochteufen (Drill Depth) und die zugehörigen vertikalen Teufen (TVD) für die Bohrlochabschnitte der Bohrung Remlingen 15 zusammen. Dabei ist zu beachten, dass die in der Tabelle angegebenen Teufen für die einzelnen Bohrabschnitte nicht den Bohrlochendteufen der Abschnitte entsprechen. Bedingt durch die Geometrie der Mess-Sonde kann die Sonde nicht bis zum Bohrlochtiefsten messen. Der erfasste Messwert der Mess-Sonde liegt, bedingt durch die Lage des Sensors in der Sonde, höher als die jeweilige Bohrlochsohle.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Drill Depth und der entsprechenden True Vertical Depth (TVD).

Bohrabschnitt	Teufe [m] (Drill Depth)	True Vertical Depth [m] (TVD)
Abschnitt 1	126,63	126,63
Abschnitt 2	258,24	258,21
Abschnitt 3	415,03	414,87
Abschnitt 4	445,16	444,81
Abschnitt 5	899,92	897,94

4 Geologische Feldaufnahme

4.1 Allgemeine Hinweise

Entsprechend eines erarbeiteten geologischen Vorprofils [1] sollte die Bohrung in fünf Bohrabschnitte unterteilt werden. Dabei markieren die einzelnen Bohrabschnitte gleichzeitig die prognostizierten stratigrafischen Wechsel im Bohrprofil. In Folge der gegenüber dem Vorprofil abweichenden angetroffenen geologischen Situation wurden die Teufen der einzelnen Bohrabschnitte während der Bohrarbeiten aktualisiert und den Gegebenheiten angepasst. In nachfolgender Tabelle 7 ist der tatsächlichen Bohrungsablauf kurz zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 7: Übersicht zum tatsächlich durchgeführten Bohrungsablauf der Remlingen 15

Teufe [m] Drill Depth	Bohrschema	Bohrabschnitt	Stratigrafische Zuordnung
130,4	Bohr Ø 30“ Ankerrohrtour Ø 2θ“	1	Unterer Muschelkalk
259,0	Bohr Ø 23“ 1. Techn. Rohrtour Ø 18 η/8“	2	Oberer Buntsandstein
394,3	Bohr Ø 17 ½“ 2. Techn. Rohrtour Ø 13 3/8“	3	
443,8	Bohr Ø 12 ¼“ 3. Techn. Rohrtour Ø 9 η/8“	4	Sekundäre Sulfate (Hut)
900,0	Kernbohr Ø η ¾“ keine Verrohrung	5	Zechstein

Sämtliche Teufenangaben der feldgeologischen Aufnahme und der Bohrlochmessungen sind auf Geländeoberkante (m unter GOK) bezogen und entsprechen im Allgemeinen der sog. Drillers Depth bzw. Measured Depth (vgl. Kap. 3.6), die vor Ort erfasst wird.

Dies betrifft:

- die Teufenangaben der feldgeologischen Bohrkernaufnahme, welche die lithologische Beschreibung, stratigrafische Wechsel, Beschriftung der Fotodokumentation, Schichtenverzeichnis, Proben usw. umfassen, sowie

- die Teufenangaben der Messintervalle der hydraulischen Tests und der Spannungsmessungen.

Aus dieser feldgeologischen Aufnahme resultieren somit die Teufenangaben in den Berichten Fotodokumentation [6] und Schichtenverzeichnis [8].

4.2 Schichtenverzeichnisse

Die in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellten Schichtenverzeichnisse der einzelnen Bohrabschnitte basieren auf den feldgeologischen Beschreibungen der Lithologie. Auf Grundlage der Bohrkernaufnahme vermutete Störungszonen werden im Schichtenverzeichnis mit der Abkürzung TZ angegeben. Das ausführliche Schichtenverzeichnis gemäß Bohrkernaufnahme liegt im GeoDin-Format als eigenständiger Bericht [8] vor.

4.2.1 Abschnitt 1

Der erste Abschnitt der Remlingen 1η („Remlingen 1η, 1.-3. Loch“) wurde einschließlich der Bohrlocherweiterung im Zeitraum vom 05. Juni 2013 bis 10. November 2013 von 0,00 m bis 135,00 m geteuft, erweitert und verrohrt. Die aufgeschlossene stratigrafische und lithologische Abfolge wird in der nachstehenden Tabelle 8 zusammengefasst vorgestellt.

Der erste Bohrabschnitt der Remlingen 15 ist durch das Auftreten von Spülungsverlusten während des Kernbohrens gekennzeichnet. Aus den Bohranlagentagesberichten (BAT) gehen folgende Angaben zu Spülungsverlusten im 1. Bohrabschnitt hervor:

- BAT 006 (10.06.2013): 8,5 bis 27,0 mT – 8,8 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 007 (11.06.2013): 27,0 bis 46,7 mT – 11,9 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 008 (12.06.2013): 46,7 bis 49,8 mT – 10,0 m^3, totaler Spülungsverlust bei 48,8 mT.

Im Bereich mit totalem Spülungsverlust erfolgte eine Zementation. Während des Aufbohrens des zementierten Kernbereiches traten erneut Spülungsverluste auf:

- BAT 010 (14.06.2016): 48,7 bis 53,0 mT – 14,0 m^3, totaler Spülungsverlust bei 52,0 mT,
- BAT 011 (15.06.2013): 52,0 bis 53,0 mT – 0,2 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 012 (16.06.2013): 0,3 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 013 (17.06.2013): 49,5 bis 53,0 mT – 16,5 m^3 Spülungsverlust.

Während der weiteren Kernbohrarbeiten im 1. Abschnitt traten entsprechend der BAT zum Teil starke Spülungsverluste auf:

- BAT 014 (18.06.2013): 56,0 bis 70,0 mT – 95 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 015 (19.06.2013): 70,0 bis 75,0 mT – 35 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 016 (20.06.2013): 75,0 bis 87,0 mT – 65 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 017 (21.06.2013): 87,0 bis 107,0 mT – 80 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 018 (22.06.2013): 107,0 bis 125,0 mT – 80 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 019 (23.06.2013): 125,0 bis 135,0 mT – 60 m^3 Spülungsverlust.

Während der Kernbohrarbeiten im ersten Abschnitt (0,0 mT bis 135,0 mT) ergab sich eine kumulative Spülverlustmenge von 476,7 m^3. Die Spülungsverluste resultieren, nach der feldgeologischen Bohrkernaufnahme sowie der Interpretation der vorhandenen Strukturen aus dem ABF, aus einer hohen Trennflächendichte (v.a. Klüfte) im gesamten ersten Bohrabschnitt. Dabei zeichnen sich einzelne Klüfte durch Öffnungsweiten zwischen minimal 1,9 cm (80,2 mT) und maximal 11,8 cm (49,66 mT) aus. Neben geöffneten Klüften treten gehäuft im Teufenbereich zwischen 53 mT und 76 mT offene Schichtflächen auf. Die starke Klüftigkeit, die teilweise großen Öffnungsweiten, geöffnete Schichtflächen sowie die vermutlich in diesem Bereich des ersten Bohrabschnittes auftretenden Störungen können direkt mit den erfassten Spülungsverlusten in Verbindung gebracht werden.

Tabelle 8: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den ersten Bohrabschnitt.

Teufe [m]		**Lithologische Beschreibung (Feldaufnahme)**	**Stratigrafische Einordnung nach Feldaufnahme**
von	**bis**		
0,00	8,0	stark aufgelockerter, mergeliger Kalkstein, keine/ undeutliche Schichtung, dünnbankig, tw. fossilführend	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
8,0	14,0	aufgelockert, Wechsellagerung von Kalkstein mit Kalk-/Tonmergel, deutliche Schichtung	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
14,0	21,0	kompakte Kerne, Wechsellagerung von Kalkstein mit Kalk-/Tonmergel, deutliche Schichtung (ss 65° - 70°), Schillkalklagen	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW

Teufe [m]		Lithologische Beschreibung (Feldaufnahme)	Stratigrafische Einordnung nach Feldaufnahme
21,0	26,0	aufgelockert, Kalkstein, Schillkalk, keine/undeutliche Schichtung	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
26,0	29,25	stark aufgelockert, deutlicher Farbwechsel (dunkelgrau), Störungsletten, KV 2,25m	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
29,25	39,0	kompakte Kerne, Wechsellagerung Kalkstein und Tonmergel, deutliche Schichtung (ss 70° - 80°)	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
39,0	41,5	kompakte Kerne, Wechsellagerung Kalkstein und Tonmergel, grau bis ocker, knauerig	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
41,5	43,0	stark aufgelockert, Kalkstein, Tonmergel, KV ca. 1 m	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
43,0	46,0	aufgelockert, Schaumkalk, Schillkalk, grau bis ocker, KV 20 cm	Unterer Muschelkalk – Schaumkalkbänke - muS
46,0	48,8	aufgelockert, grauer massiger Kalk, keine Schichtung	Unterer Muschelkalk – Schaumkalkbänke - muS
48,8	49,8	stark aufgelockert, Kalkstein, plastische tonige Bereiche, markant gelb bis ocker, totaler Spülungsverlust	TZ
49,8	52,0	kompakter Kern, Kalkstein, tw. plastische tonige Bereiche, markant gelb bis ocker, undeutliche Schichtung (ss ca. 80°)	Unterer Muschelkalk – Schaumkalkbänke - muS
52,0	53,0	aufgelockert, Wechsellagerung Kalkstein und Tonmergel, grau, deutlich geschichtet (ss 85° - 90°), KV 80 cm, totaler Spülungsverlust	TZ/ Unterer Muschelkalk – Schaumkalkbänke - muS
53,0	68,2	Dichter Kalkstein, stark geklüftet, teilw. kavernös, dazwischen Bereiche mit Wechsellagerung Kalkstein und Kalk-/Tonmergel	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
68,2	69,3	Oolithischer Kalkstein	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
69,3	70,2	Kernverlust	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
70,2	75,7	Wechsellagerung Kalkstein und Tonmergel, dazwischen Bänke aus Schaumkalk	Unterer Muschelkalk – Schaumkalkbänke - muS
75,7	79,2	Wechsellagerung Kalkstein und Kalk-/Tonmergel, bioturbat	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
79,2	80,6	Kalkmergel, zerfallen, 20 cm KV	TZ
80,6	84,4	Kalkmergelstein mit Tonlagen, wellig (ss 80°-90°)	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
84,4	87,15	Kalkmergelstein, Tonmergel, zerbrochen, insges. 50 cm KV	TZ
87,15	121,8	Wechsellagerung Kalkmergelstein und Tonmergel	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW

Teufe [m]		Lithologische Beschreibung (Feldaufnahme)	Stratigrafische Einordnung nach Feldaufnahme
121,8	122,6	Wechsellagerung Kalkmergelstein und Tonmergel, ungeregelte Klüfte, verheilte Brüche, Calcit-Füllungen im cm-Bereich	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
122,6	125,2	Wechsellagerung Kalkmergelstein, Kalkstein und Tonmergel, Schichtflächen glatt und schmierig (ss 85°)	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
125,2	130,4	Kalkmergelstein/Tonmergel, Schichten stark tektonisch beansprucht	Unterer Muschelkalk – Wellenkalk - muW
130,4	135,0	Ton-/Schluffstein, rotbraun bis violett mit grauen Schlieren	Oberer Buntsandstein – so

4.2.2 Abschnitt 2

Der zweite Bohrabschnitt der Remlingen 1η („Remlingen 1η, 3. Loch“) wurde von 12η,θ m bis 259,00 m im Zeitraum vom 11. November 2013 bis 22. Dezember 2013 erstellt. Dabei wurde zunächst von 125,6 mT bis 135,0 mT (unkorrigiert) die Ankerrohrzementierung aufgebohrt, bevor ab 135,0 mT (unkorrigiert) das anstehende Gebirge angetroffen wurde.

Die aufgeschlossene stratigrafische und lithologische Abfolge wird in der nachstehenden Tabelle 9 zusammengefasst vorgestellt. Für den zweiten Bohrabschnitt wurden keine Spülungsverluste festgestellt.

Tabelle 9: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den zweiten Bohrabschnitt.

Teufe [m]		Lithologische Beschreibung	Stratigraphische Einordnung nach Feldaufnahme
von	**bis**		
125,6	135,0	Zement	-
135,0	145,0	Dolomit-Mergelstein mit Gipslagen, geschichtet, graugrün/rotbraun (ss 70°)	Oberer Buntsandstein – so
145,0	151,0	Wechsellagerung Tonstein und Anhydrit, gipsverheilte Klüfte (ss 70°)	Oberer Buntsandstein – so
151,0	157,0	Wechsellagerung Tonstein, Feinsandstein, Anhydrit und Gips; (ss 70°)	Oberer Buntsandstein – so
157,0	190,0	Tonstein mit Feinsandsteinlagen, Feinsandstein karbonatisch zementiert, gipsverheilte Klüfte, Wechsel	Oberer Buntsandstein – so

Teufe [m]		Lithologische Beschreibung	Stratigraphische Einordnung nach Feldaufnahme
von	**bis**		
		des Einfallens von 70° auf 30°	
190,0	196,0	Tonstein, schluffig, ungeschichtet (ss 40°)	Oberer Buntsandstein – so
196,0	208,0	karbonatischer Feinsandstein (Kalksandstein) mit Tonlagen, geschichtet, (ss 40°)	Oberer Buntsandstein – so
208,0	211,0	Tonstein mit Feinsandlagen, undeutlich geschichtet (ss 45°)	Oberer Buntsandstein – so
211,0	217,0	karbonatischer Feinsandstein, geschichtet (ss 45°)	Oberer Buntsandstein – so
217,0	245,0	Ton-/Schluffstein mit vereinzelten karbonatischen Feinsandsteinlagen, geschichtet (ss 45°)	Oberer Buntsandstein – so
245,0	259,0	Ton-/Schluffstein/Anhydrit Wechsellagerung, erhöhter Kalkgehalt, undeutlich geschichtet, Einfallen kontinuierlich ansteigend bis 75°	Oberer Buntsandstein – so

4.2.3 Abschnitt 3

Die Bohrarbeiten für den 3. Bohrabschnitt (258,30 m bis 417,50 m) der Bohrung Remlingen 15 („Remlingen 1η, 3. Loch“) wurden am 02. Januar 2014 fortgesetzt. Beendet wurden die Arbeiten für diesen Bohrabschnitt am 04. März 2014. Die aufgeschlossene stratigrafische und lithologische Abfolge wird in der nachstehenden Tabelle 10 zusammengefasst vorgestellt. Die Mengenangabe der Spülungsverluste wird in den BAT für die oben aufgezählten Teufenbereiche der Kernbohrarbeiten summiert angegeben; sie können keinen exakten Teufen zugeordnet werden. Es ist zu vermuten, dass die Spülungsverluste für den Bereich 258,3 mT bis 265,0 mT in Zusammenhang mit der vorhandenen Auskesselung im Bereich des Rohrschuhs dieses Bohrabschnittes gebracht werden können. Die erfassten Spülungsverluste zwischen 291 mT und 345,5 mT sind auf Klüfte und geöffnete Schichtflächen zurückzuführen.

Für den 3. Bohrabschnitt wurden während des Kernbohrens Spülungsverluste festgestellt. Aus den Bohranlagentagesberichten (BAT) gehen folgende Angaben zu Spülungsverlusten im 3. Bohrabschnitt hervor:

- BAT 206 (07.01.2014): 258,3 mT bis 265,0 mT – 2 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 209 (10.01.2014): 291,0 mT bis 310,5 mT – 1 m^3 Spülungsverlust,
- BAT 210 (11.01.2014): 310,5 mT bis 327,3 mT – 1 m^3 Spülungsverlust,

- BAT 211 (12.01.2014): 327,3 mT bis 345,5 mT – 1 m^3 Spülungsverlust.

Die Mengenangabe der Spülungsverluste wird in den BAT für die oben aufgezählten Teufenbereiche der Kernbohrarbeiten summiert angegeben; sie können keinen exakten Teufen zugeordnet werden. Es ist zu vermuten, dass die Spülungsverluste für den Bereich 258,3 mT bis 265,0 mT in Zusammenhang mit der vorhandenen Auskesselung im Bereich des Rohrschuhs dieses Bohrabschnittes gebracht werden können.

Die erfassten Spülungsverluste zwischen 291 mT und 345,5 mT sind gemäß ABF auf Trennflächen zurückzuführen.

Tabelle 10: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den dritten Bohrabschnitt.

Teufe [m]		**Lithologische Beschreibung**	**Stratigraphische Einordnung nach Feldaufnahme**
von	**bis**		
258,3	261,0	Ton- / Schluffstein / Feinsandstein Wechsellagerung, Glimmerführend, unregelmäßig geschichtet, brekziös (ss 60°-70°)	Oberer Buntsandstein – so
261,0	265,0	Kernverlust	Oberer Buntsandstein – so
265,0	290,0	Ton-/Schluffstein, karbonatische Feinsandsteinlagen, unregelmäßige bis undeutliche Schichtung, bei 274 mT ss 75°-90°, sonst ss 45°	Oberer Buntsandstein – so
290,0	394,3	Ton-/Schluffstein, karbonatische Feinsandlagen, ab 345 mT leicht kalkhaltig (dolomitisch), immer wieder stark gestörte/ aufgelockerte Bereiche, unregelmäßiges Einfallen (zwischen 40° und 90°),	Oberer Buntsandstein – so
394,3	417,5	Gips/Anhydrit, stark tektonisch überprägt, Gipskristalle ausgebildet, Kleine mm-mächtige Tonlagen/-schlieren, mylonitisiert	Oberer Buntsandstein (?) sekundäre Sulfate (Hut) ?

Im Rahmen der feldgeologischen Bohrkernansprache war für den Teufenbereich zwischen 395,5 mT und 417,5 mT (3. Bohrabschnitt) eine konkrete stratigrafische Zuordnung bzw. die Differenzierung zwischen Buntsandstein (Röt) und Hutgestein nicht möglich. Als gesichert wurde angenommen, dass bis 395,5 mT der Obere Buntsandstein (Röt) vorliegt. Ab 359,5 mT wurde das

Gestein während der feldgeologischen Aufnahme zwar noch als Röt angesprochen, Hutgestein konnte aber nicht ausgeschlossen werden.

4.2.4 Abschnitt 4

Die Bohr- und Testarbeiten für den vierten Bohrabschnitt der Bohrung Remlingen 1η („Remlingen 1η, ζ. Loch“) fanden im Zeitraum vom 0ζ. März 201ζ bis zum 23. März 201ζ statt. Die dabei gewonnenen Bohrkerne stammen aus einer Teufe von 406,00 mT bis 450,00 mT. Die aufgeschlossene stratigrafische und lithologische Abfolge wird in der nachstehenden Tabelle 11 zusammengefasst vorgestellt. Für den vierten Bohrabschnitt wurden keine Spülungsverluste festgestellt.

Tabelle 11: Tabellarische Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den vierten Bohrabschnitt.

Teufe [m]		Lithologische Beschreibung	Stratigraphische Einordnung nach Feldaufnahme
von	**bis**		
406,2	420,0	ungeschichteter, stark tektonisch überprägter Anhydrit, schwarze Tonlagen (mm-mächtig), weiße Gipsschlieren	Oberer Buntsandstein (?) sekundäre Sulfate (Hut) ?
420,0	439,6	ungeschichteter, stark tektonisch überprägter Anhydrit, schwarze, bituminöse Tonlagen (cm-mächtig), weiße Gipsschlieren, roter Tonstein vermutlich als Hohlraumfüllung, sehr weich, leicht verformbar, verfüllter Karsthohlraum (?, vermutlich Auslaugungsgebirge)	Oberer Buntsandstein (?) sekundäre Sulfate (Hut) ?
439,6	443,8	geschichteter Anhydrit, schwarze, bituminöse Tonlagen, rot-brauner Tonstein als Hohlraumfüllung bei 443,8 mT, scharfe Grenze zum Salinar	sekundäre Sulfate (Hut)
443,8	450,0	reines Steinsalz, rot-orange, cm-mächtige Anhydritlage bei 446,2 mT	Zechstein / Salinar

4.2.5 Abschnitt 5

Bohrabschnitt 5 der Bohrung Remlingen 1η („Remlingen 1η, ζ. Loch“) stellt mit ζη0 gebohrten Kernmetern die längste Aufschluss-Strecke der genannten Bohrung dar. Der fünfte Bohrabschnitt wurde zwischen 450 mT und der Endteufe von 900 mT niedergebracht. Die aufgeschlossene stratigrafische und lithologische Abfolge des 5. Bohrabschnitts wird in der nachstehenden Tabelle 12 zusammengefasst vorgestellt. Die allgemeine stratigraphische Einordnung des Salinar-Abschnittes konnte im Rahmen der feldgeologischen Aufnahme nur auf das jüngere Zechstein (z3/z4) eingegrenzt werden. Eine detaillierte stratigrafische Einordnung des Salinars erfolgt nachlaufend durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Für den fünften Bohrabschnitt wurden keine Spülungsverluste festgestellt.

Tabelle 12: Beschreibung der erbohrten geologischen Gegebenheiten in der Bohrung Remlingen 15 für den fünften Bohrabschnitt.

Teufe [m]		Lithologische Beschreibung	Stratigraphische Einordnung nach Feldaufnahme
von	**bis**		
450,00	450,75	Schwarzer Tonstein, bituminös, ungeschichtet, spröd brechend	Zechstein
450,75	533,05	rot-oranges Steinsalz, mit vereinzelten, cm-mächtigen Anhydritlagen, Einfallen 75-85°	Zechstein
533,05	534,45	Anhydrit, fein- bis mittelkristallin, grau, vereinzelte mm-starke Tonlagen, Einfallen 75-80°	Zechstein
534,45	567,65	rot-oranges, ungeschichtetes Steinsalz mit vereinzelten, dm-mächtigen Anhydritlagen, Einfallen 75-90°	Zechstein
567,65	570,30	Anhydrit, fein- bis mittelkristallin, grau, mit eingelagerten grobkristallinem Steinsalz, Einfallen 85°	Zechstein
570,30	586,50	rot-oranges Steinsalz, Anhydritlagen und –knauern, Tonverunreinigungen, Einfallen 75-85°	Zechstein
586,50	587,50	Anhydrit, fein- bis mittelkristallin, grau, mit Lagen von Bittersalz, Einfallen 75°	Zechstein
587,50	628,70	rot-oranges Steinsalz, Anhydritlagen und –knauern, Tonverunreinigungen, Einfallen 40-75°	Zechstein
628,70	631,35	Anhydrit, mit scharfer Grenze zum Steinsalz, Einfallen 45°	Zechstein
631,35	700,10	rot-oranges Steinsalz, vereinzelt Anhydritlagen/-knauern und Tonverunreinigungen, große Salzkristalle, Einfallen 10-40°	Zechstein

Teufe [m]		Lithologische Beschreibung	Stratigraphische Einordnung nach Feldaufnahme
700,10	704,00	Anhydrit, mit dispers verteiltem orange-rotem NaCl, tektonisch beansprucht, Einfallen 10°	Zechstein
704,00	734,10	rot-oranges Steinsalz, vereinzelt Anhydritlagen/-knauern und Tonverunreinigungen , Einfallen 10-70°	Zechstein
734,10	738,30	Anhydrit, mit dispers verteiltem orange-rotem NaCl, Einfallen 45-50°	Zechstein
738,30	888,50	rot-oranges Steinsalz, vereinzelt Anhydritlagen/-knauern und Tonverunreinigungen, Einfallen 20-45°	Zechstein
888,50	893,00	Anhydrit, mit dispers verteiltem orange-rotem NaCl, zum Liegenden hin reiner Anhydrit, Einfallen 40-50°	Zechstein
893,00	900,00	rot-oranges Steinsalz, vereinzelt Anhydritlagen/-knauern und Tonverunreinigungen, Einfallen 60-70°	Zechstein

4.3 Stratigrafisches Profil gemäß Bohrkernaufnahme

Während der feldgeologischen Bohrkernaufnahme wurden sowohl lithologische als auch stratigrafische Wechsel in der Abfolge der Bohrkerne der Remlingen 15 identifiziert und dokumentiert. Aus der feldgeologischen Bohrkernbeschreibung resultieren die angegebenen Teufen für lithologische Beschreibungen sowie für die im Rahmen der Feldaufnahme vorläufige Festlegung der stratigrafischen Grenzen.

Die stratigrafische Grenze Unterer Muschelkalk (mu) zu Oberen Buntsandstein (so) wurde am 23.06.2013 bei 130,4 mT erbohrt, die Grenze von Oberen Buntsandstein (so) zum Hutgestein wurde am 14.01.2014 angetroffen.

Der Wechsel vom Hutgestein in die Salinarabfolge wurde am 05.03.2014 erreicht. Während der feldgeologischen Bohrkernaufnahme wurde eine sehr detaillierte lithologische Beschreibung des Bohrkernmaterials vorgenommen, welche sich in [8] (GeODin-Schichtenverzeichnis) wieder findet. Die stratigrafische Unterteilung im Feld erfolgte in *Gruppe* und *Untergruppe* (z. B. Buntsandstein – Oberer Buntsandstein). Eine konkrete stratigrafische Untergliederung der erbohrten Abfolgen des Muschelkalks und des Buntsandsteins in ihre *Folgen*, *Unterfolgen*, *Formationen* und *Subformationen* wurde im Rahmen der feldgeologischen Beschreibung nicht vorgenommen. Für diese stratigrafische Untergliederung wurde eine umfangreiche Beprobungskampagne durch die Firma IBeWa Ingenieurpartnerschaft, unter Koordination von K-UTEC und BfS, durchgeführt. In Abbildung 22 ist das stratigraphische Profil der Bohrkernaufnahme dargestellt.

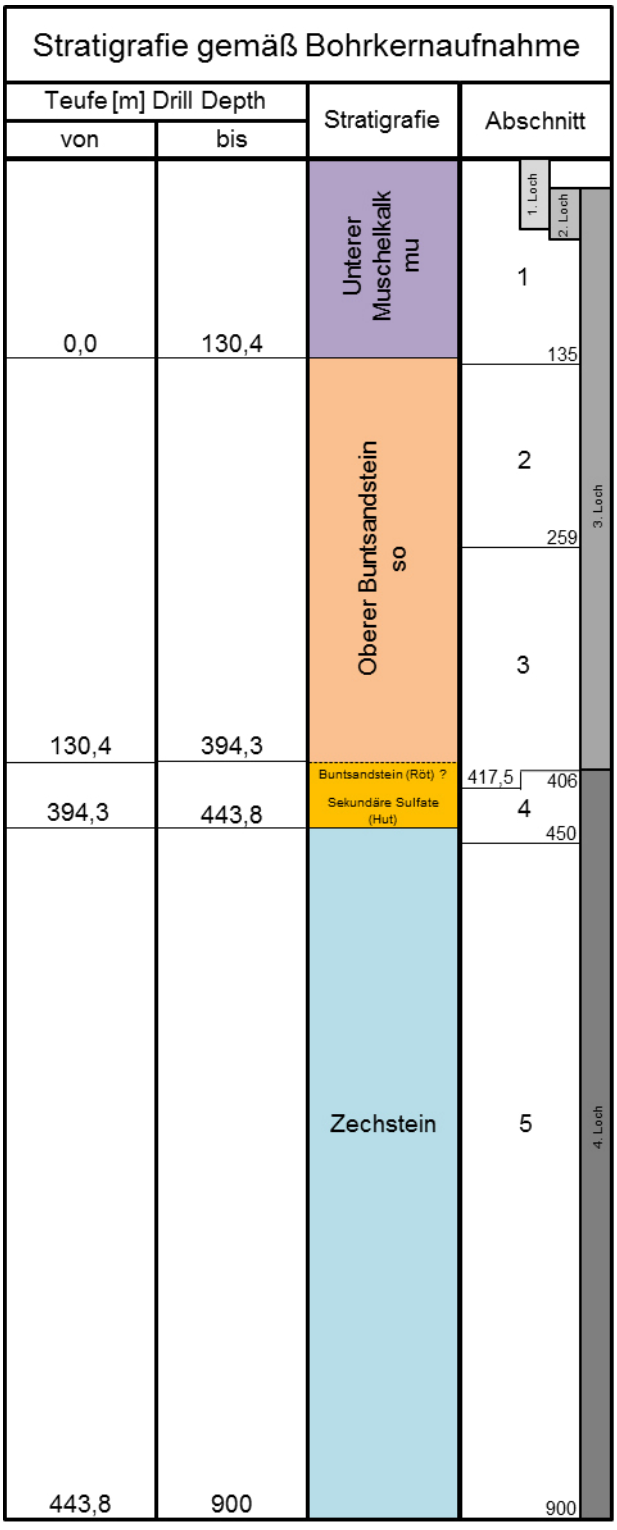


Abbildung 22: Darstellung der stratigrafischen Grenzen gemäß feldgeologischer Bohrkernaufnahme.

4.4 RQD-Bestimmung

Der RQD-Index (**R**ock **Q**uality **D**esignation) wird angewendet, um in der Geotechnik und Ingenieurgeologie Bohrkerne eines Gesteins zu klassifizieren. Die Fels- bzw. Gebirgsklassifikation nach dem RQD-Wert geht auf DEERE (1963) zurück [3]. Eine genaue Erläuterung zu Methodik und Definition ist in Kapitel 2.1.2.2 zu finden. In Abhängigkeit des sich ergebenden Wertes werden der RQD-Index und damit die Gesteinsqualität in fünf Qualitätsstufen eingeteilt.

Entsprechend dieser Klassifizierung sind die ermittelten RQD-Werte für die Bohrung Remlingen 15, wie nachfolgend beschrieben, zu bewerten und nach dem RQD-Index einzustufen. Für die gesamte Bohrkernstrecke wurden dazu 336 Werte gemessen und bestimmt (Anhang 11).

- Bohrabschnitt 1: RQD [%] = 58,26 (119 Messwerte); Einstufung: Fair (ausreichend)
- Bohrabschnitt 2: RQD [%] = 85,41 (49 Messwerte); Einstufung: Good (gut)
- Bohrabschnitt 3: RQD [%] = 76,93 (68 Messwerte); Einstufung: Good (gut)
- Bohrabschnitt 4: RQD [%] = 95,74 (19 Messwerte); Einstufung: Ecxellent (ausgezeichnet)
- Bohrabschnitt 5: RQD [%] = 98,28 (81 Messwerte); Einstufung: Excellent (ausgezeichnet)

An den ermittelten RQD-Werten ist zu erkennen, dass die Bohrkern- und Gebirgsqualität mit zunehmender Teufe besser wird. In Bohrabschnitt 1 wurden die Gesteine des Unteren Muschelkalks erbohrt, welche sich im Vergleich zum Oberen Buntsandstein (Bohrabschnitt 2 und 3) mit schlechteren RQD-Werten darstellen. Vermutlich ist dies mit einer oberflächennahen Auflockerung des Gesteins verbunden. Verkarstungsbereiche, Klüftigkeit sowie das Vorhandensein mehrerer Störungen im Muschelkalkabschnitt können als weitere Einflussfaktoren benannt werden. Des Weiteren kann das Verhalten des Gesteins (z. B. beim Bohrprozess) Einfluss auf den RQD-Wert haben (Kompatibilität/Inkompatibilität). Die Gesteine des Oberen Buntsandsteins können als Ton- und Schluffsteine sowie Feinsandsteine bezeichnet werden. Der Anteil an Ton und Schluff im Gestein macht sich hier durch einen besseren RQD-Index bemerkbar. Bohrabschnitt 4 (Hutgestein) und Bohrabschnitt 5 (Salinar) weisen mit einem durchschnittlichen RQD-Wert von 97% eine exzellente Bohrkern- und Gebirgsqualität aus („weichere“ Gesteine).

5 Bohrlochmessungen

Unter der Überschrift *Bohrlochmessungen* werden in den nachfolgenden Kapiteln die Ziele und das durchgeführte Messprogramm der geophysikalischen Bohrlochmessungen, der hydraulischen Tests, der Spannungsmessungen sowie der Dilatometermessungen im Bohrloch der Remlingen 15 zusammengefasst. Ergänzend dazu liegen die Ergebnisse der einzelnen Methoden und Untersuchungen der Bohrlochmessungen in der Remlingen 15 in eigenständigen Berichten ([9], [10], [11], [12]) vor.

5.1 Bohrlochgeophysikalische Messungen

5.1.1 Ziele

Die Hauptziele der geophysikalischen Messungen waren die lithologische Ansprache, die Porositätsbestimmungen der Gesteinsschichten und die Bestimmung der Porenwassersalinität im gesamten Bohrloch. Hinzu kamen weitere Parameter, die mit den unterschiedlichen, nachfolgend beschriebenen Messverfahren, bestimmt wurden.

Die Neigung und die Orientierung der Bohrung sowie die wahre Vertikalteufe (TVD) wurden mittels Bohrlochabweichung (BA) bestimmt. Weiterhin wurde auf Grundlage diese Messungen die Bohrlochabweichung gegenüber der geplanten Bohrspur ermittelt.

Mit dem Kaliberlog (Vier-Arm-Kaliber, CAL-4) wurde die Bohrlochgeometrie erfasst (bspw. Auskesselungen oder Verengungen). Anhand der Messdaten wurde zudem das Bohrlochvolumen für die Ringraumzementationen berechnet. Die Positionen der Gebirgs-Packer für die hydraulischen Tests sowie die Spannungsmessungen wurden mit Hilfe des Kaliberlogs ausgewählt und festgelegt.

Mit Hilfe des Neutron-Neutron-Logs (NN) und des Gamma-Gamma-Logs (GG) kann die Porosität im Gestein quantitativ bestimmt werden. Eine qualitative Beschreibung der durchteuften Gesteine und der vorhanden Schichtgrenzen erfolgt mit dem Neutron-Neutron-Log (NN). Das Gamma-Gamma-Log (GG) erfasst die gesteinsspezifische Dichte, mit der unter zu Hilfenahme von weiteren Messmethoden die genaue Lithologie bestimmt werden kann.

Mit dem Induktionslog wurde weiterhin die elektrische Leitfähigkeit bestimmt und mit dem SP-Log das elektrische Eigenpotential des Gebirges.

Das Dual-Laterolog (DLL) stellt das geeignetste Verfahren zur Bestimmung des elektrischen Gebirgswiderstandes dar. Mit der Auswertung der Messung können Informationen über die

Permeabilität des Gesteins, zu Schichtgrenzen und zur Grundwassersalinität gewonnen sowie lithologische Rückschlüsse gezogen werden. Wasserzutritte aus dem Gebirge ins Bohrloch können mit der SAL-TEMP-Sonde und dem Impeller-Flowmeter (Flow) ermittelt werden. Die SAL-TEMP-Sonde misst die elektrische Leitfähigkeit und die Temperatur der Spülung und kann somit im Ruhezustand eine mögliche Schichtung der Spülungssäule erkennen. Der Impeller-Flowmeter erfasst die vertikale Strömungsgeschwindigkeit in der Spülungssäule. Dies erlaubt Aussagen über die Existenz von Ruheströmungen sowie über die Tiefenlage der Wasserzutritte.

Mit Hilfe des Full-Wave-Sonic (FWS) können gebirgsmechanische Parameter des Gebirges bestimmt werden. Es werden die Ausbreitungsgeschwindigkeiten von P-Wellen und S-Wellen ermittelt und daraus lassen sich mechanische Gebirgsparameter, wie die Poisson-Zahl, berechnen. Die FWS-Sonde wird ebenfalls für das Cement-Bond-Log (CBL) genutzt, um die Anbindung des Zementes an die Verrohrung und das Gebirge zu überprüfen. Mit Hilfe des akustischen Bohrlochfernsehens (ABF) wurde die Bohrlochwand mit Ultraschall abgetastet. Das Ergebnis stellt eine 360-Grad-Darstellung der Bohrlochwand dar, welche nach Norden orientiert ist. Es können, durch die Orientierung der Bilder auf magnetisch Nord, geologische Strukturen (Schichtflächen, Klüfte, Störungen) in Teufe, Azimut und Einfallswinkel erfasst werden. Die Strukturen werden in den Anhängen 1.1 bis 1.7 mit farbigen Stecknadeln klassifiziert, welche in Tabelle 13 erläutert sind. Der Punkt dieser farbigen Stecknadeln gibt sowohl die Teufe als auch den wahren Einfallswinkel (entsprechend der Skalierung in den Anhängen 1.1 bis 1.7) der erfassten Struktur wieder; der Strich der Stecknadeln verdeutlicht die wahre Einfallsrichtung (oben: Richtung Norden, unten: Richtung Süden, links: Richtung Westen, rechts: Richtung Osten).

Tabelle 13: Erläuterung der Farbgebung der Strukturen im ABF-Log

Farbe	Struktur
rot	Kluft
blau	Schichtgrenze
türkis	Schichtgrenze offen
grün	unbestimmt
orange	Störung

Das Vertical-Seismic-Profil (VSP) bestimmt die seismischen Laufzeitintervalle der einzelnen geologischen Schichten.

5.1.2 Messprogramm

Abhängig vom hydraulischen Testprogramm wurden die Messverfahren abschnittsweise oder nach Erreichen der Endteufe im spülungsgefüllten Bohrloch gemessen. Die geophysikalischen Messungen in der Bohrung Remlingen 15 erfolgten federführend durch die Firma Terratec Geophysical Services, Büro für Geologie und Geophysik. Zusätzliche Messungen wurden durch die Firmen

- BLM Bohrlochmessung Gommern (als Unterauftragnehmer der Fa. Daldrup & Söhne AG[1]) und
- Balance Point Control (BPC) GmbH durchgeführt.

Dem Messprogramm liegen die ursprünglichen Planungen nach [4] zugrunde. Ergänzend zu den geplanten geophysikalischen Messungen wurden EMR- und Leitfähigkeitsmessungen im 5. Bohrabschnitt durchgeführt. Weiterhin erfolgten zusätzliche Kalibermessungen, um u.a. zwischen den Messprogrammen den Zustand des Bohrloches zu prüfen. Aufgrund der Beschaffenheit der Bohrlochwand im 5. Abschnitt wurde nach den Spannungsmessungen ein zusätzliches ABF gemessen, um eventuell erzeugte Risse zu detektieren. Nachstehende Tabelle 14 gibt einen Überblick darüber, welche Messungen in den jeweiligen Bohrabschnitten durchgeführt wurden.

Tabelle 14: Übersicht über die durchgeführten geophysikalischen Messungen.

Messverfahren	Messfirma	Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 3	Abschnitt 4	Abschnitt 5
SAL-TEMP	Terratec	24.06.2013	21.11.2013 22.11.2013 23.11.2013	16.01.2014 17.01.2014	-	-
	DMT	-	-	-		14.05.2014
TEMP	Terratec	-	-	-	08.03.2014	13.04.2014
Flow	Terratec	-	21.11.2013	17.01.2014	-	-
GR	Terratec	24.06.2013 29.10.2013	21.11.2013	16.01.2014	07.03.2014	12.04.2014
GG	Terratec	24.06.2013	21.11.2013	17.01.2014	07.03.2014	14.04.2014

[1] Die Ergebnisse der BLM-Messungen wurden in die Auswertungen des vorliegenden Ergebnisberichtes nicht integriert. BLM führte die Messungen als Unterauftragnehmer der Fa. Daldrup & Söhne AG durch.

Messverfahren	Messfirma	Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 3	Abschnitt 4	Abschnitt 5
				18.01.2014		
NN	Terratec	24.06.2013	21.11.2013	18.01.2014	07.03.2014	14.04.2014
CAL-4	Terratec	24.06.2013 28.06.2013 29.10.2013	21.11.2013 23.11.2013 25.11.2013 02.12.2013 19.12.2013	16.01.2014 18.01.2014 02.02.2014 24.02.2014	07.03.2014 18.03.2014	12.04.2014 07.06.2014
	DMT	-	-	-	-	13.05.2014 16.05.2014
	BPC	-	-	-	-	20.05.2014
DLL	Terratec	24.06.2013	21.11.2013	17.01.2014	07.03.2014	13.04.2014
SP	Terratec	24.06.2013	21.11.2013	16.01.2014		
DIL	Terratec	28.06.2013	21.11.2013	16.01.2014		
FWS	Terratec	24.06.2013	21.11.2013	16.01.2014	07.03.2014	13.04.2014
ABF	Terratec	24.06.2013	21.11.2013 25.11.2013 02.12.2013	16.01.2014 24.02.2014	07.03.2014	13.04.2014 24.06.2014
BA	Terratec	24.06.2013 29.10.2013	21.11.2013	16.01.2014	07.03.2014	12.04.2014
VSP	Terratec	28.06.2013	21.11.2013	17.01.2014	-	14.04.2014
CBL	Terratec	-	-	-	18.03.2014	13.04.2014
EMR	DMT	-	-	-	-	08.05.2014 12.05.2014

5.2 Hydraulische Messungen und Wasseranalytik

5.2.1 Ziele

Die hydraulischen Messungen in der Bohrung Remlingen 15 erfolgten durch die Firma Solexperts AG und dienten der geohydraulischen Charakterisierung des Gebirges im Bereich des Bohrloches.

Folgende Parameter werden mit den Versuchen bestimmt:

- hydraulische Druckhöhe, möglichst unbeeinflusst von Bohr- und Bohrspülungs-Effekten,
- Transmissivität und Durchlässigkeit,
- Eingrenzung des Speicherkoeffizienten,
- Einschätzung der Strömungsgeometrie und Randbedingungen,

- Entnahme von Wasserproben aus einzelnen Testintervallen zur chemischen Analyse.

Mit diesen Parametern lassen sich Aussagen über die Durchlässigkeit des Gebirges/der Gesteine in den getesteten Bereichen treffen und Rückschlüsse auf das Umfeld der Bohrung ziehen. Es wird das gesteinsspezifische Verhalten beim Durchströmen mit Fluiden sowie die Stimulierbarkeit des Gebirges im Bereich der Bohrung ermittelt. So können Aussagen zum Auftreten einer generellen Druckströmung, auch in zum Testzeitpunkt nicht fluidführenden Gesteinen, getroffen werden.

Anhand der Parameter kann eine Zuordnung zu Grundwasserleiter- und Grundwassergering-oder -nichtleiterbereichen erfolgen. Abschnitte mit verstärkter Grundwasserzuströmung können konkret ausgewiesen werden.

5.2.2 Messprogramm

Dem Messprogramm liegen die ursprünglichen Planungen nach [4] zugrunde, welche in [13] an die prognostizierten Gegebenheiten angepasst wurden. Vorort wurden die Testintervalle anhand des Kaliberlogs sowie der SAL/TEMP- bzw. Flowmeter-Messungen in Absprache in Zusammenarbeit mit dem geologischen Personal auf dem Bohrplatz sowie dem BfS festgelegt. In den Intervallen wurden nachfolgende Testverfahren zur Bestimmung der hydraulischen Gebirgseigenschaften angewendet. Tabelle 15 fasst die durchgeführten Messungen in den entsprechenden Bohrlochabschnitten im Überblick zusammen.

- „Constant Head“ – Test (Injektions-/Pumpversuch mit konstanter Druckdifferenz),
- „Constant Rate“ – Test (Injektions-/Pumpversuch mit konstanter Flussrate),
- Druckerholung nach Constant Head/Rate – Test,
- Slug-Test (Aufstiegs- oder Absenkversuch),
- Pulse-Test (positiver oder negativer Druckimpuls).

Tabelle 15: Übersicht über die durchgeführten Testintervalle der hydraulischen Messungen in der Bohrung Remlingen 15.

Testintervall	Teufe	Testdauer	Test	Bohr-abschnitt
RE-15-i1	52,0 – 67,06 mT	27.06.2013	Doppelpackertest	Abschnitt 1
RE-15-i2	78,00 – 93,06 mT	26./27.06.2013	Doppelpackertest	Abschnitt 1

	78,00 – 134,58 mT	27.06.2013	Einfachpackertest	
RE-15-i3	100,00 – 115,06 mT	25./26.06.2013	Doppelpackertest	Abschnitt 1
RE-15-i4	151,00 – 259,00 mT	29./30.11.2013	Einfachpackertest	Abschnitt 2
RE-15-i5	156,00 – 181,05 mT	27.11. – 29.11.2013	Doppelpackertest	Abschnitt 2
RE-15-i6	193,00 – 218,05 mT	30.11. – 02.12.2013	Doppelpackertest	Abschnitt 2
RE-15-i7	302,00 – 357,27 mT	19.01. – 24.01.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 3
RE-15-i8	**Test nicht durchgeführt, Packersystem in Bohrung blockiert**			
RE-15-i9	409,00 – 421,23 mT	13./14.03.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 3/4
RE-15-i10	421,30 – 433,53 mT	10./11.03.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 4
RE-15-i11	421,30 – 450,00 mT	11.03. – 13.03.2014	Einfachpackertest	Abschnitt 4
RE-15-i12	496,00 – 536,04 mT	18.06. – 20.06.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 5
RE-15-i13	535,00 – 575,04 mT	17./18.06.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 5
RE-15-i14	575,00 – 615,04 mT	15.06. – 17.06.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 5
RE-15-i15	605,00 – 645,04 mT	13./14.06.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 5
RE-15-i16	679,50 – 719,54 mT	11.06. – 13.06.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 5
RE-15-i17	720,00 – 760,04 mT	11.06.2014	Doppelpackertest	Abschnitt 5
RE-15-i18	780,00 – 899,60 mT	09.06. – 11.06.2014	Einfachpackertest	Abschnitt 5

5.2.3 Messequipment

Für die Durchführung der so genannten Doppelpackertests wurde ein Doppelpackersystem (HDDP-System) für maximal 2000 m tiefe Bohrung verwendet. In der Remlingen 15 wurde bis in eine Teufe von 450 m (Testintervalle i1 bis i11) mit einem 4 ½ Zoll-Packersystem gemessen. In den tieferen Intervallen (i12 bis i18) kam eine 5 ¾ Zoll-Packergarnitur zum Einsatz. Eine schematische Darstellung zum Aufbau und zur Funktionsweise des eingesetzten Packersystems ist in [12] dargestellt.

Die Bohrlochinstrumentierung besteht aus zwei pneumatisch expandierbaren und 1,25 m langen Packern zur Isolierung des zu testenden Bohrlochabschnittes. Die Durchmesser der Standardpacker betragen 110 mm (4 ¼ Zoll) für einen Bohrlochdurchmesser von 5 ¾ Zoll. Aufgrund der größeren Bohrlochdurchmesser im unteren Bereich der Bohrung (450 mT bis 900 mT) kamen dort Packer mit einem Durchmesser von 146 mm (5 ¾ Zoll) zum Einsatz.

Zusätzlich zu den Doppelpackertests wurden so genannte Einfachpackertests durchgeführt. Für Einfachpackerversuche besteht die Möglichkeit, die Packer der Doppelpackergarnitur unabhängig voneinander zu expandieren.

Folgendes Equipment (***Downhole-Equipment***) wurde für die Durchführung der Packertests im Bohrloch der Remlingen 15 eingesetzt und vorgehalten (vgl. [12]):

- Heavy-Duty Doppelpacker-System (HDDP-System),
- 110 mm Packer passend für 5 ¾" Bohrdurchmesser: Packer-Nominaldurchmesser ζ ¼“ (110 mm), expandierbar bis = 240 mm (max.), Packerlänge 1,25 m,
- 146 mm Packer passend für 8 ½" Bohrdurchmesser: Packer-Nominaldurchmesser 5 ¾" (146 mm), expandierbar bis = 280 mm (max.), Packerlänge 1,20 m,
- 230 mm Packer passend für 12 ¼“ Bohrdurchmesser: Packer-Nominaldurchmesser 230 mm, expandierbar bis = 400 mm (max.), Packerlänge 1,00 m,
- Verdrängungsfreies Bohrlochventil, Schließmechanismus erfolgt über Hydraulikleitung im Messkabel. Die Rückstellung erfolgt über eine eingebaute Feder, unterstützt durch ein Druckausgleichselement,
- Dreifach-Bohrlochsonde mit hochpräzisen Druck- und Temperatursensoren,
- Mobiler eintauchbarer Drucksensor,
- Autonome Druck- und Temperaturmessung im Intervall und im Teststrang unmittelbar oberhalb des Shut-in Tools,
- 2 ⅞ Zoll Test-Gestänge mit EU API-Gewinden, Stangenlänge ca. 9,45 m,
- Bohrlochkabel (Quatro-Flatpack) auf Winde mit 1 Signalleitung, 2 Packerleitungen, 1 Ventilleitung,
- Swabbing-System für Wasserentnahme aus 2⅞ Zoll –Gestänge,
- Probennehmer mit elektronischer Zeitvorwahl für Schließ- und Öffnungszeiten für Proben aus dem Testgestänge oder definierten Bohrlochtiefen,
- Pumpengehäuse mit 4 Zoll Unterwasserpumpe für Pumpversuche in einem mit Packern isolierten Bohrlochabschnitt,
- Moyno-Pumpe für 2⅞ Zoll Gestänge mit ζ0 0 m Suckerrods.

Folgendes Equipment (***Testausrüstung Oberfläche***) wurde für die Durchführung der Packertests eingesetzt und vorgehalten (vgl. [12]):

- Mobiler Messcontainer mit Durchfluss-Messeinrichtung (Flowboard) und Datenerfassung (DAS),
- Bohrlochkabelwinde mit hydraulischem Antrieb, Packerkontrollarmaturen und Druck-sensoren zur Erfassung des Packerdrucks (angeschlossen an Datenerfassung),

- Druck- und Temperatursensoren an Wellhead und Flowboard (angeschlossen an Datenerfassung),
- Kreiselpumpen für Wasserinjektion,
- Frequenzgesteuerte Kontrolleinheiten für diverse Injektions- und Unterwasserpumpen,
- Zusätzliche mobile Durchflussmesser für hohe Durchflüsse bis 4700 l/min,
- Flowboard zur Steuerung und Messung von Pump- und Injektionsraten mit drei Durchflussmessern, die einen Flussbereich von 0.03 l/min bis 600 l/min abdecken. Die spezifizierte Genauigkeit beträgt ± 0.35% innerhalb 3 – 100% des Messbereichs,
- Datenerfassung mit Netzwerkverbindung für online-Auswertung und Übertragung auf Visualisierungssoftware WebDavis,
- Durchflussmesszellen für hydrogeochemische Sensoren zur Messung von pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Temperatur mit online Übertragung an Datenerfassung.

Zur Durchführung von Tests in sehr gering durchlässigen Formationen wurde ein so genanntes Slim-Tubing eingesetzt. Dieses besteht aus einem 1“-Testgestänge mit Packer und integriertem Drucksensor. Die Verkleinerung des Tubing-Innendurchmessers durch das Slim-Tubing führt bei Pulse- und Slug-Tests in gering durchlässigen Formationen zu einer Verminderung des Brunnenspeichers, d. h. zu einer höheren Auflösung der Wasserspiegeländerung.

5.2.4 Messprinzip

Geohydraulische Bohrlochtests mit dem Doppelpacker-System (Abbildung 23) werden in Bohrungen schichtspezifisch zur Ermittlung der geohydraulischen Parameter eingesetzt. Die geohydraulischen Parameter sind:

- Transmissivität (T),
- Durchlässigkeitsbeiwert (k_f),
- Piezometrische Druckhöhe (h).

Der Einsatz von Packern ermöglicht es, frei wählbare Gebirgsabschnitte hydraulisch zu isolieren und abgetrennt vom restlichen Bohrloch zu untersuchen. Nach einem Packer-Versuch können die Packer gelöst und auf eine weitere Tiefenposition verschoben werden. Ziel ist, die Variation der Eigenschaften von wasserführenden und/oder stauenden Schichten im Tiefenprofi darzustellen.

Mit dem Doppelpackersystem des ausführenden Unternehmens (Solexperts) war es zudem möglich schichtspezifisch Grundwasser-Proben zu entnehmen. Die nachfolgende Abbildung 23 stellt den Aufbau, die Funktionsweise und die Darstellung und Interpretation gewonnener Ergebnisse von Doppelpackersystemen schematisch und beispielhaft dar.

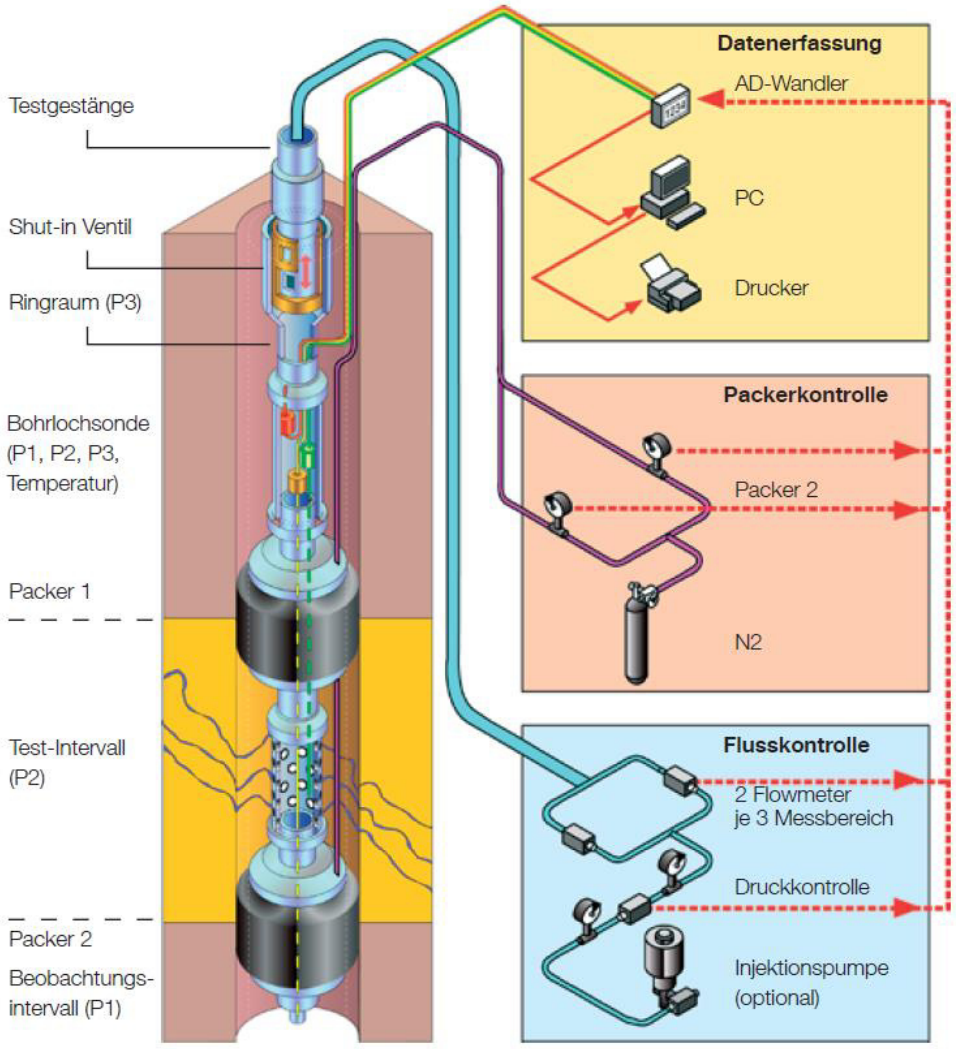


Abbildung 23: Schematische Darstellung eines Doppelpackersystems.

5.2.4.1 Genereller Testablauf in der Remlingen 15

Die genaue Bestimmung der hydraulischen Parameter einer geologischen Formation setzt neben der erwähnten Messausrüstung einen mehrphasigen Testablauf voraus. Eine typische

Testsequenz, wie sie in der Remlingen 15 angewendet wurde, setzt sich aus den folgenden Testphasen zusammen:

- Expandieren der Packer, gefolgt von der Compliance-Phase (COM) bei dichten Testzonen. Diese Stabilisierungsphase dient der Minimierung von Temperatureffekten und Volumenänderungen (verursacht durch geringfügige Veränderungen der Packer) bei offenem Bohrlochventil.
- Einschließen des Intervalls (Shut-In, Start PSR). Ziel der PSR ist das Erreichen des statischen natürlichen Formationswasserdruckes vor Beginn der "aktiven" Testsequenzen. Die PSR-Phase kann auch eine vorläufige Abschätzung der ungefähren Durchlässigkeitsverhältnisse liefern.
- Pulse-Test für eine Abschätzung der Durchlässigkeit sowie zur Bestimmung der (Testzonen-) Kompressibilität (PW (Pulse Entnahme/Withdrawal) oder PI (Pulse Injection)).
- Slug-Test (SI (Slug Injection/Absenkversuch), SW (Aufstiegsversuch)), mit anschließender Druckerholung bei geschlossenem Ventil.
- "Flusstest" (HI, RI, HW, RW).
- Druckerholungsphase bei geschlossenem Ventil (HIS, RIS, HWS, RWS).
- evtl. Pulse Injection-Test zur Verifizierung der Kompressibilität (fakultativ).

Der eigentliche Test wurde in der Regel erst dann begonnen, wenn sich im Testintervall der Formationswasserdruck annähernd stabilisiert hatte. Die PSR-Phase verkürzt sich durch den Einsatz des Bohrlochventils (Shut-in Tool; vgl. Ausführungen in [12]).

Die Durchführung bestimmter Testphasen (z.B. RI, RW) ist bei geringen Transmissivitäten sehr zeitaufwendig. Deshalb wurden bei undurchlässigen Verhältnissen Pulse- und Slug-Tests bevorzugt. Für stark durchlässige Testzonen, z.B. in geklüfteten Bereichen, wurden, um die flussratenabhängigen Druckverluste („quadratic head losses“) zu bestimmen, mehrstufige Pumpversuche durchgeführt.

Die Druckerholungsphasen eignen sich häufig besser für die Anwendung diagnostischer Verfahren als die Absenk- oder Injektionsphasen, weil die Flussrate meist nicht exakt konstant gehalten werden kann. Wasserproben wurden am Ende der Pumptests aus dem Auslauf und nach Produktionsphasen von Slug-Tests aus dem untersten Test-Tubing entnommen.

5.3 Spannungsmessungen

5.3.1 Ziele

Die Spannungsmessungen wurden in der Remlingen 15 durch die Firma MeSy-Solexperts, ein Unternehmen der Solexperts AG, durchgeführt. Um Kenntnis zu in-Situ-Spannungen im Gebirge zu erlangen, müssen diese in-Situ-Spannungen direkt gemessen werden. Dazu wird ein Fluid in einem mit Packern isolierten Bohrlochabschnitt injiziert um einen Zugriss im Gebirge zu erzeugen. Diese Daten bilden, zusammen mit weiteren Testergebnissen, die Grundlage für weitergehende Berechnungen zur Dimensionierung und Orientierung von Bauwerken und deren Langzeitstabilität.

Die Ergebnisse der hydraulischen Spannungsmessungen sind im Abschlussbericht der Firma MeSy-Solexperts [10] dargestellt.

5.3.2 Messprogramm

Dem Messprogramm liegen die ursprünglichen Planungen nach [4] zugrunde. Die Testintervalle wurden anhand des Kaliberlogs und der Fotodokumentation der einzelnen Bohrabschnitte in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt (siehe Tabelle 16). Im dritten Bohrabschnitt der Remlingen 15 (259 mT bis 417,5 mT) konnten aufgrund einer Havarie der Messsonde von Solexperts keine Spannungsmessungen durchgeführt werden.

Insgesamt erfolgte die Durchführung der Versuche in vier Messphasen mit 3 Versuchen im Unteren Muschelkalk zwischen 60 mT und 128,5 mT, 4 Versuchen im Oberen Buntsandstein zwischen 179,4 mT und 232,4 mT, 2 Versuchen im Bereich der Sulfatgesteine (ohne konkrete stratigrafische Zuordnung) in 413,5 mT und 424,0 mT und schließlich 6 Versuchen im Salinar zwischen 499,0 mT und 888,8 mT.

Die Ergebnisse der detaillierten Auswertung der in-situ Versuche zur Bestimmung der charakteristischen Druckwerte (Risserzeugungsdruck P_c, Rissöffnungsdruck P_r, Shut-in Druck P_{si}) sowie die Ergebnisse der Bestimmung der räumlichen Orientierung der induzierten bzw. stimulierten Rissflächen (Streichen θ und Einfallen α) sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tabelle 16: Übersicht über die Testintervalle der Spannungsmessungen in der Bohrung Remlingen 15. Basierend auf [10].

Bohrabschnitt	Test Nr.	Teufe [m u. GOK] Drill Depth	Datum
Abschnitt 1	3	60,00 m	29.06.2013
	2	117,30 m	
	1	128,50 m	
Abschnitt 2	7	179,40 m	02.12.2013
	6	191,95 m	
	5	209,05 m	
	4	232,40 m	
Abschnitt 3	**Keine Messung. Havarie der Messsonde.**		
Abschnitt 4	9	413,50 m	14.03.2014
	8	424,00 m	
Abschnitt 5	15	499,00 m	21.06.2014
	14	545,00 m	
	13	608,20 m	
	12	646,50 m	
	11	735,00 m	
	10	888,80 m	

5.3.3 Messequipment

Die hydraulischen in-situ Primärspannungsmessungen wurden in den Messphasen I und III mit einer Wireline Apparatur durchgeführt; aufgrund erwarteter Bohrlochinstabilitäten bzw. der Versuchsdurchführung in potentiell gasführenden Schichten in den Messphasen II und IV wurden die Messungen als Kombination aus dem sogenannten konventionellen und dem Wireline-Verfahren durchgeführt. Während bei der Wireline Apparatur die Doppelpackersonde an einem Bohrlochmesskabel in der Bohrung bewegt wird, erfolgt im letzteren Fall der Einbau der Packersonde mit einem Testtubing, wobei gleichzeitig die Sonde mit dem Bohrlochmesskabel verbunden ist, welches parallel zum Gestänge in die Bohrung eingebracht wird. Die hydraulische Verbindung zwischen den Packerelementen bzw. dem Testintervall der Sonde und der Hydraulikpumpe wird in diesem Fall über zwei dünne Hochdruck - Coil Tubings hergestellt, die ebenfalls parallel zum Gestänge in die Bohrung abgelassen werden. Hingegen wird bei der Wireline Apparatur nur ein Hochdruck - Coil Tubing verwendet.

Die in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 eingesetzte Testausrüstung bestand aus folgenden untertägigen Komponenten (vgl. [10]):

- Doppelpackersonde 2 je ca. 1,6 m langen Blähschläuchen (Packern),

- Umschaltventil (Push-Pull Ventil) PPV-70/40 zur getrennten Druckbeaufschlagung der Packerelemente und des Testintervalls durch Kontrolle der Zugspannung im Messkabel (Wireline Apparatur),
- Downhole Elektronikgehäuse mit 2 kalibrierten Druckaufnehmern (Genauigkeit: 0,1%),
- Edelstahl - Coil-Tubings,
- Einzelpacker-Abdrucksonde in Verbindung mit einem digitalen Multi-Shot Orientierungsgerät,

Folgendes Equipment (***Testausrüstung Oberfläche***) wurde für die Durchführung der Tests eingesetzt und vorgehalten (vgl. [10]):

- Messkabelwinde zur Bewegung der Packer-Sonden im Bohrloch inklusive Umlenkrollen am Bohrgerät. Die Tiefenmessung erfolgt über einen mechanischen und elektrischen Teufenzähler am Messkabel,
- Elektrisch betriebene, frequenzgeregelte Hochdruckpumpe,
- Pumpenstand mit obertägigen Druckaufnehmern (Genauigkeit: 0,1%) und einem Turbinen-Flowmeter,
- Digitale Messdatenerfassungssysteme mit einer digitalen Abtastrate von 5 Hz.

5.3.4 Messprinzip

Die Durchführung der hydraulischen Spannungsmessungen erfolgte in vier Messphasen mit 3 Versuchen im Unteren Muschelkalk zwischen 60,0 mT und 128,5 mT, 4 Versuchen im Oberen Buntsandstein zwischen 179,4 mT und 232,4 mT, 2 Versuchen im Oberen Buntsandstein (so, sekundäre Sulfate (Hut)) in 413,5 mT und 424,0 mT Tiefe und schließlich 6 Versuchen im Salinar zwischen 499,0 mT und 888,8 mT.

Nach der Positionierung der Doppelpackersonde in der entsprechenden Messteufe und dem anschließenden Setzen der Packerelemente stellt sich der Ablauf einer hydraulischen Spannungsmessung (am Beispiel des Versuchs in 424,0 mT) wie nachfolgend beschrieben dar (aus [10]):

- Injektion in das Messintervall und Erhöhung des Intervalldrucks auf ca. 2 MPa bis 3 MPa (Kopfdruck) mit anschließender Beobachtung des Druckabfalls bei geschlossenem System (Druckstoßtest zur Feststellung der Dichtigkeit des Messintervalls),
- Druckentlastung des Messintervalls durch Öffnung des Ablassventils am Pumpenstand,

- Injektion in das Messintervall bis zum Erreichen des Rissinitiierungsdrucks (plötzlicher Druckabfall durch Öffnen eines Risses) bzw. bis zur Öffnung eines vorhandenen Risses,
- Vollständige Druckentlastung des Messintervalls,
- Anschließend mehrere Injektionsphasen zur Bestimmung des Öffnungs- und Einschließdruckes,
- Slow-Pump / Step-Rate Test bei stufenweiser Erhöhung der Injektionsrate zur Überprüfung des Shut-in Drucks,
- Anschließend Druckentlastung der Packer bis zur vollständigen Lösung von der Bohrlochwand und Bewegung der Sonde zum nächsten Testintervall.

Nach Abschluss der letzten hydraulischen Spannungsmessung einer jeden Messphase wurde die

Doppelpackersonde durch die so genannte Abdruckpackersonde ersetzt. Die Abdruckpackertests liefen nach folgendem Schema ab (vgl. [10]):

- Positionieren der Abdruckpackersonde in einer Teufe, in der vorher eine hydraulische Spannungsmessung erfolgte,
- Anpressen des Abdruckpackers an die Bohrlochwand mit einem Druck höher als der Rissöffnungsdruck über einen Zeitraum von etwa 10 Minuten,
- Entlastung der Abdruckpackersonde bis zur vollständigen Lösung von der Bohrlochwand und Ausfahrt der Sonde,
- Aufzeichnung der Riss-Spuren am Packer auf eine Plastikfolie sowie Auslesen der Daten aus dem Multi-Shot-Kompass.

Zusätzlich zu den Abdruckpackertests wurde in Messphase II und IV die Orientierung der hydraulisch induzierten Risse mithilfe von BHTV-Logs vor und im Anschluss an die Spannungsmessungen bestimmt.

5.4 Dilatometermessungen

5.4.1 Ziele

Die Dilatometermessungen wurden in der Remlingen 15 durch die Firma Solexperts AG durchgeführt. Dilatometerversuche dienen zur Bestimmung der Verformungs- und Elastizitätsmodule von Fels und Lockergestein im Bohrloch unter in-situ Bedingungen. Durch die Aufweitung des Bohrloches in mehreren Belastungs- und Entlastungszyklen wird das Verformungsverhalten des Gebirges gemessen. Zur Messung der Verformungseigenschaften der

entlang der Bohrung Remlingen 15 anstehenden Gesteine wurden in fünf Bohrlochabschnitten insgesamt 16 Dilatometerversuche mittels Dilatometer-Sonde (Bohrlochsonde) durchgeführt.

5.4.2 Messprogramm

Die Testintervalle wurden anhand des Kaliberlogs und der Fotodokumentation der einzelnen Bohrabschnitte in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt. Insgesamt erfolgte die Durchführung der Dilatometerversuche in fünf Messeinsätzen mit 6 Versuchen im Unteren Muschelkalk zwischen 25 mT und 112,2 mT, 6 Versuchen im Oberen Buntsandstein zwischen 163,5 mT und 311,5 mT, 2 Versuchen im Bereich der Sulfate ohne stratigrafische Zuordnung in 413,5 mT und 426,8 mT und schließlich 2 Versuchen im Salinar in 702,5 mT und 737,0 mT. Die Ergebnisse der in-situ Versuche zur Bestimmung der Verformungs- und Elastizitätsmodule sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Übersicht über die Testintervalle der Dilatometermessungen in der Bohrung Remlingen 15. Nach [11].

Testtiefe	**Empfohlene Werte**		
	Verformungsmodul Γi WIEDERBELASTUNG [MPa]	Verformungsmodul Γi ERSTBELASTUNG [MPa]	Elastizitätsmodul Ei ENTLASTUNG [MPa]
1. Einsatz			
25,0 m	210	180	240
32,5 m	130	150	160
56,3 m	320	260	350
83,5 m	3410	1360	3390
103,5 m	6080	4270	6820
112,2 m	74	72	84
2. Einsatz			
163,5 m	17800	11700	17800
203,5 m	7060	4240	6430
224,0 m	6760	4360	6620
235,0 m	11000	5410	10300
3. Einsatz			
292,5 m	1930	830	2300
311,5 m	1640	610	1870

4. Einsatz			
413,5 m	4450	1320	2940
426,8 m	20900	11600	-
5. Einsatz			
702,5 m	7480	7970	-
737,0 m	2730	1880	-

Bezugspunkt für alle Teufenangaben in dieser Tabelle ist die Geländeoberkante. Die Teufenangaben sind nicht vertikal korrigiert. Sie entsprechen den Bohrmeterangaben (Drill Depth).

5.4.3 Messequipment

Die Dilatometermessungen wurden zur Bestimmung der Verformungs- und der E-Module vor Ort mit einer 1 m langen Dilatometersonde durchgeführt. Diese bestehend aus einem Metallzylinder mit drei, im Zentrum um je 120° orientierten, Wegaufnehmern (Abbildung 24). Der Achsabstand zwischen den Wegaufnehmern beträgt 75 mm. Über einen Packer wird der Druck zur Aufweitung des Bohrloches gleichmäßig auf die Bohrlochwand aufgebracht. Die daraus resultierende Aufweitung des Bohrloches wird über Stahlstifte im Packer direkt auf die Wegaufnehmer übertragen. Die Dilatometerversuche in der Bohrung Remlingen 15, mit einem gebohrten Durchmesser von 146 mm, wurden mit einer 142 mm-Sonde durchgeführt.

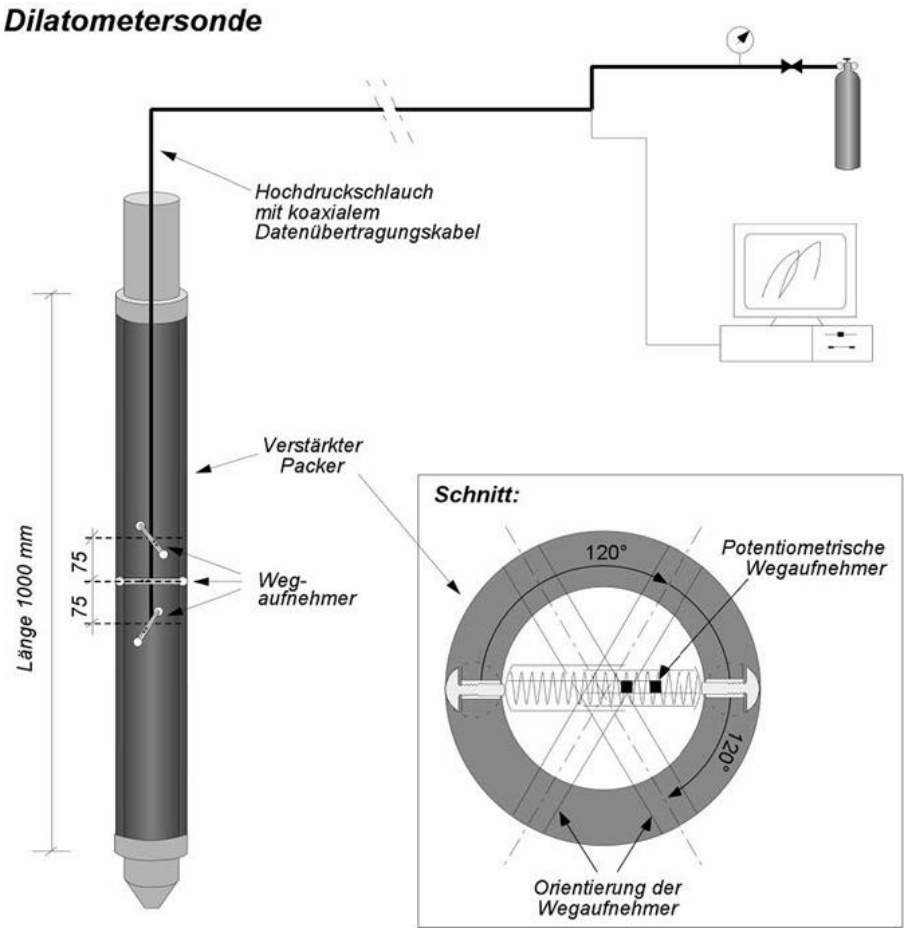


Abbildung 24: Schematischer Aufbau der Dilatometersonde. Aus [11]

5.4.4 Messprinzip

Nach der Positionierung der Dilatometersonde in der entsprechenden Messteufe und dem anschließenden Setzen des Packerelementes stellt sich der Ablauf einer Dilatometermessung wie nachfolgend beschrieben dar (aus [11]). Die vorliegenden Messungen wurden nach Erreichen der jeweiligen Endteufe (Abschnitt 1 bis 5) unmittelbar nacheinander beginnend mit dem tiefsten Versuch durchgeführt.

- Nach Positionierung der Sonde wird zuerst eine Grundlast von etwa 0.5 MPa über dem herrschenden hydrostatischen Druck aufgebracht, um ein sattes Anliegen der Manschette an der Bohrlochwand zu gewährleisten,
- Danach wird die Bohrlochwandung durch den Packer stufenweise belastet,

- Der Druck wird stufenweise erhöht, bis ein „pseudolinearer“ Bereich, d.h. für gleiche Druckstufen gleiche Durchmesseränderungen, erreicht ist.

Die Laststufen richten sich nach der Steifigkeit der zu untersuchenden geologischen Formation und variieren im Bereich von 0.05 MPa (Lockergestein) bis zu 0.5 MPa (Granit). Für die vorliegenden Messungen wurden Laststufen von 0.1 MPa bzw. 0.5 MPa gewählt.

- Mit einer Aufzeichnungsrate für die Messwerte von in der Regel 15 Sekunden wird nach Erreichen der gewünschten Druckstufe gestartet,
- Während des Belastungsastes wird der Druck auf jeder Laststufe für drei Minuten gehalten, bevor er auf die nächste Laststufe erhöht wird. In dieser Zeit sind die Bewegungen weitgehend abgeklungen. Aufgrund von Erfahrungswerten kommt die Bewegung bei der Entlastung rascher zum Stillstand. Entsprechend wird der Druck nur für eine Minute konstant gehalten.

Die Messungen wurden mit drei resp. vier Lastzyklen durchgeführt. Der erste Lastzyklus besteht aus einer Erstbelastung und einer Entlastung. Der zweite, dritte und vierte Lastzyklus setzt sich aus einer Wiederbelastung (bis zum maximalen Belastungswert des vorangegangenen Lastzyklus), dann einer Erstbelastung mit anschliessender Entlastung zusammen.

Die Testdurchführung sowie die Bewertung der Ergebnisse der Dilatometertests sind in einem eigenständigen Abschlussbericht der Firma Solexperts AG (siehe [11]***) dargestellt.***

6 Analysenprogramm

Am Bohrkernmaterial der Remlingen 15 wurde ein sehr umfangreiches Untersuchungs- und Analyseprogramm geplant und durchgeführt. Neben geochemischen Untersuchungen (vgl. Kapitel 6.1) erfolgten unter anderem auch Sorptionsversuche (Kapitel 6.2), gebirgsmechanische Untersuchungen (Kapitel 6.3) sowie geologisch-paläontologische (Kapitel 6.4) und geotechnische Untersuchungen (Kapitel 6.4.3.2.4). In den folgenden Kapiteln werden die genannten Untersuchungsprogramme und -methoden sowie deren Analyseergebnisse vorgestellt.

6.1 Geochemische Untersuchungen

Zu den geochemischen Untersuchungen und Tests am Bohrkernmaterial der Remlingen 15 zählen die chemische Salzvollanalytik (Kapitel 6.1.1) sowie die durchgeführte Bromid-Analytik (Kapitel 6.1.2). Diese geochemischen Untersuchungen beschränkten sich dabei ausschließlich auf den Salinarabschnitt der Bohrung (450 mT bis 900 mT) und sollten unterstützend zur stratigrafischen Einordung des Salzgesteines beitragen.

6.1.1 Salzvollanalytik

6.1.1.1 Allgemein

Die durchgeführten salzvollanalytischen Untersuchungen bedeuteten im Wesentlichen die präzise Hauptkomponentenanalytik mit angepassten, nasschemischen Verfahren und dienten der Bestimmung der Zusammensetzung des Salzgesteins und sollten, wie oben beschrieben, in Kombination mit der Bromid-Analytik zur stratigrafischen Zuordnung des Gesteins in die Abfolge des Zechsteins beitragen. Die Planung und Durchführung der Probenahme im Kernlager erfolgte durch die geologische Baustellenbetreuung vor Ort (K-UTEC AG).

6.1.1.2 Probennahme und Durchführung

Aus dem 5. Abschnitt der Bohrung Remlingen 15, dem Salinar-Abschnitt (450 mT bis 900 mT), wurden durch die K-UTEC AG insgesamt 50 Proben entnommen (vgl. Anhang 3 und 4), welche mittels chemischer Salzvollanalyse untersucht wurden. Die Entnahme der Proben aus dem laufenden Bohrkern des 5. Abschnittes wurde, wie in Abbildung 25 dargestellt, durchgeführt.

Die dabei entnommene Probenmenge war für die Durchführung der vorgesehenen Untersuchungen ausreichend. Um eine entsprechende Rückstellprobe zurück zu lassen, wurden die Kernproben zusätzlich längs geteilt.

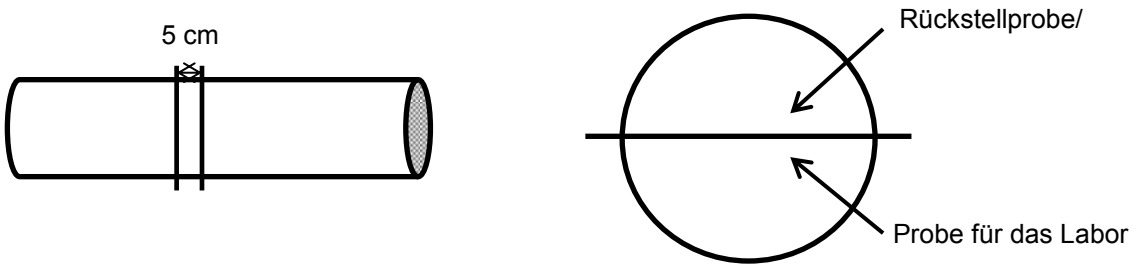


Abbildung 25: Schematische Skizze der Probenkörper.

Die aus dem laufenden Bohrkern des 5. Abschnittes entnommenen Proben können der Tabelle 18 entnommen werden. Den Anhängen 3 und 4 des vorliegenden Berichtes sind die Ergebnisse der chemischen Salzvollanalytik zu entnehmen.

Tabelle 18: Übersicht der im Salinarabschnitt gewonnenen Proben für die chemische Salzvollanalytik.

Probe Nr.	Teufe [m u. GOK] Drill Depth von	bis	Br [mg/kg]	NaCl [%]	$CaSO_4$ [%]	$MgSO_4$ [%]	$MgCl_2$ [%]	KCl [%]
1	451,93	451,98	118	96,12	1,56	1,16	0,02	0,57
2	456,57	456,62	135	97,70	0,75	0,56	0,02	0,27
3	463,67	463,72	137	98,53	0,55	-	0,05	0,08
4	466,85	466,90	138	97,52	1,40	-	0,07	0,08
5	474,45	474,50	135	97,32	1,84	-	0,07	0,08
6	482,65	482,70	143	96,85	1,49	0,70	0,10	0,10
7	487,65	487,70	135	96,09	2,31	0,84	0,05	0,13
8	492,45	492,50	129	94,55	3,53	0,70	0,10	0,32
9	496,21	469,26	131	95,59	2,58	0,56	0,07	0,23
10	502,39	502,44	133	96,70	2,17	0,68	0,07	0,13
11	506,15	506,20	142	94,93	2,58	1,26	0,07	0,17
12	515,50	515,55	147	97,08	2,18	-	0,05	0,08
13	533,50	533,55	Anhydrit	2,56	84,69	-	0,24	0,04

Probe Nr.	Teufe [m u. GOK] Drill Depth von	bis	Br [mg/kg]	NaCl [%]	$CaSO_4$ [%]	$MgSO_4$ [%]	$MgCl_2$ [%]	KCl [%]
14	537,20	537,25	145	96,96	2,48	-	0,05	0,08
15	547,07	547,12	145	98,23	0,91	-	0,02	0,06
16	554,00	554,05	Anhydrit	45,56	53,84	-	0,07	0,06
17	557,00	557,05	155	90,48	7,35	-	0,02	0,08
18	566,83	566,88	189	96,98	2,01	-	0,07	0,08
19	567,75	567,80	Anhydrit	28,69	68,14	-	0,10	0,02
20	575,65	575,70	175	95,38	3,51	-	0,05	0,10
21	580,85	580,90	183	88,80	7,22	-	0,12	0,10
22	586,50	586,55	Anhydrit	25,26	71,34	-	0,26	0,06
23	594,60	594,65	152	88,17	8,41	-	0,10	0,10
24	620,70	620,75	138	82,09	9,27	-	0,10	0,06
25	633,25	633,30	185	97,01	1,36	-	0,10	0,10
26	642,65	642,70	154	84,04	8,54	-	0,19	0,10
27	662,17	662,22	164	98,73	0,42	-	0,05	0,08
28	678,80	678,85	150	78,38	10,25	-	0,10	0,10
29	685,50	685,55	166	96,71	2,41	-	0,07	0,10
30	702,00	702,05	117	30,97	10,56	-	0,14	0,02
31	707,55	707,60	194	97,16	2,08	-	0,02	0,08
32	726,80	726,85	114	93,45	5,07	-	0,10	0,08
33	734,50	734,55	Anhydrit	12,04	69,03	-	0,29	0,04
34	743,50	743,55	127	99,29	0,08	-	0,05	0,06
35	757,70	757,75	117	97,03	1,87	-	0,07	0,06
36	777,00	777,05	126	84,05	9,66	-	0,12	0,04
37	795,45	795,50	115	90,08	6,83	-	0,10	0,04
38	815,00	815,05	120	98,43	0,93	-	0,02	0,04
39	826,50	826,55	111	98,10	1,05	-	0,10	0,05
40	841,15	841,20	121	97,29	1,64	-	0,10	0,04
41	844,65	844,70	129	98,84	0,13	-	0,12	0,04
42	853,38	853,43	127	94,78	4,39	-	0,12	0,06
43	861,65	861,70	115	96,38	1,35	-	0,14	0,06
44	867,35	867,40	140	98,43	0,57	-	0,10	0,06
45	872,40	872,45	147	96,05	2,55	-	0,12	0,06
46	876,80	876,85	141	97,88	1,22	-	0,10	0,06
47	882,80	882,85	148	98,73	0,14	-	0,07	0,07

Probe Nr.	Teufe [m u. GOK] Drill Depth von	bis	Br [mg/kg]	NaCl [%]	$CaSO_4$ [%]	$MgSO_4$ [%]	$MgCl_2$ [%]	KCl [%]
48	891,00	891,05	Anhydrit	23,50	75,82	-	0,07	0,03
49	895,22	895,27	128	92,08	6,73	-	0,07	0,06
50	899,95	900,00	108	95,44	3,14	-	0,10	0,08

6.1.2 Bromidanalytik

6.1.2.1 Allgemein

Durch mineralogische und geochemische Untersuchungen an Salzgesteinen kann nachgewiesen werden, dass anhand des Bromidgehaltes, unter Verwendung von Vergleichsprofilen (s.g. Standardprofil), eine stratigrafische Einordnung des Salzgesteines möglich ist. Für die Bohrung Remlingen 15 wurde angestrebt, mit Hilfe der Bromidanalytik unter Verwendung möglicher vorhandener Vergleichsdaten die genauere stratigrafische Einstufung der erbohrten Salinargesteine vorzunehmen.

Die Bromidanalysen wurden im akkreditierten und TÜV-zertifizierten Labor der K-UTEC AG, wie in der Probenkonzeption beschrieben, durchgeführt. Die K-UTEC AG verfügt über entsprechende Referenzen zur Bromanalytik und Auswertung. Sämtliche Kali- und Steinsalzerkundungs- sowie Mutungsbohrungen im Südharzraum wurden durch das Kaliforschungsinstitut mit Standort in Sondershausen begleitet, geologisch aufgenommen und mineralogisch-geochemisch mit speziellem Fokus auf die Bromanalytik untersucht.

6.1.2.2 Probenahme und Durchführung

Zunächst wurden vier Proben im Übergangsbereich vom Hutgestein zum Salinar zum Zwecke einer ersten stratigrafischen Einstufung des Salzgesteins auf ihren Bromgehalt untersucht. Die Ergebnisse dieser Analytik sind in Anhang 2 zusammen gefasst. In Tabelle 62 (Kapitel 7.2.1.2, vgl. Anhang 2) werden die Ergebnisse, in Kurzform und auf das Verhältnis Br/NaCl umgerechnet, dargestellt.

50 weitere Proben wurden für die Bromidanalyse entnommen. Die beprobte Kernstrecke beträgt insgesamt 450 m. Da für die Erstellung eines Bromidprofils die aufgeschlossenen Anhydritbereiche und Kernverluststrecken auszuklammern waren, ergab sich eine beprobte Salzkernstrecke von 421,65 m. Die Gesamtzahl von 50 Proben ist auf Grund der vorliegenden geologischen und

strukturgeologischen Verhältnisse im Bohrkern ausreichend. Die steil einfallenden Schichten im Salinarabschnitt der Bohrung Remlingen 15 schließen vermutlich einen nur kleinen Querschnitt der salinaren Abfolge auf und liefern damit auch nur einen relativ kleinen Querschnitt der zu gewinnenden Informationen.

In den Bromidprofilen wird das Bromid in Abhängigkeit vom NaCl dargestellt; daher muss der NaCl-Gehalt im Gestein bekannt sein. Aus diesem Grund wurden in sogenannten Homogenbereichen zusätzlich die oben beschriebenen chemischen Vollanalysen durchgeführt. Die aus dem laufenden Bohrkern des 5. Abschnittes entnommenen Proben sowie deren Ergebnisse können der Tabelle 18 (Kapitel 6.1.1.2) und dem Anhang 3 entnommen werden. Alle angegebenen Teufen sind als Drill Depth angegeben.

Probenentnahme

Die Probenkörper von ca. 5 cm Dicke (Länge) wurden zunächst mittels Gesteinssäge aus dem Bohrkern gewonnen, anschließend wurde der Probenkörper halbiert, wobei eine Hälfte für das Labor zur Analyse bestimmt war und die andere Hälfte als Rückstellprobe im laufenden Bohrkern verblieb. Die Probenkörper wurden in beschrifteten Probentüten (Probennummer, Bohrungsname, Teufe, Datum) verschweißt und in die Kernkisten beschriftete Platzhalter gelegt.

Nach Abschluss der Arbeiten wurden die Kernkisten des Salinarabschnittes der Bohrung Remlingen 15 nach Vorgabe mit Holzdeckeln verschlossen.

Laboranalytik

Im Labor wurden die Probenkörper gereinigt und getrocknet. Mit einem Backenbrecher wurden die Proben auf eine einheitliche Korngröße von 1 mm bis 2 mm gebracht. Anschließend wurden sie mit einem Mischungskreuz homogenisiert und auf eine repräsentative Laborprobe von 100 g verjüngt. Die Laborproben wurden dann für die weitere Bearbeitung in einer Mörsermühle auf ca. 10 µm zermahlen. Die Bromid-Bestimmung erfolgte für alle Salzproben (43 Stück) am ***Röntgenfluoreszenz-Spektrometer***. Hierfür werden 2,5 g vorbereitete Laborprobe mit deionisierten Wasser gelöst und zu 10 mL aufgefüllt. Die Lösung wird vor der Vermessung über einen 0,45 µm-Membranfilter gereinigt. Die Bestimmungsgrenze bei dieser Messmethode liegt bei 40 mg/kg. Die ermittelten Messwerte wurden in Tabelle 19 zusammengefasst.

Für die Durchführung der Röntgenfluoreszenz-Analytik wurde jeweils Material aus dem Zentrum der Probenstücke verwendet (siehe Abbildung 26, Methodik 1). Zum Nachweis der Zuverlässigkeit der Messmethode mittels ***Röntgenfluoreszenz-Spektrometer*** wurden zusätzlich 5 Proben der bereits analysierten 43 Proben ausgewählt, um diese mittels Auszählung von Halitkristallen unter dem Binokular und anschließender Röntgenfluoreszenz-Analytik erneut zu messen (Abbildung 26, Methodik 2). Die Ergebnisse dieser Methodik wurden mit den Ergebnissen der „Mischproben“ im ersten Analyseschritt verglichen. Daraus ergeben sich nur geringfügige Abweichungen der Messwerte für Bromid in [ppm] (Tabelle 19).

Als dritte Referenz der angewandten Messmethodik wurden diese fünf Proben zusätzlich beprobt, indem randliches Material der Kernproben verwendet und analysiert wurde (Methodik 3 in Abbildung 26).

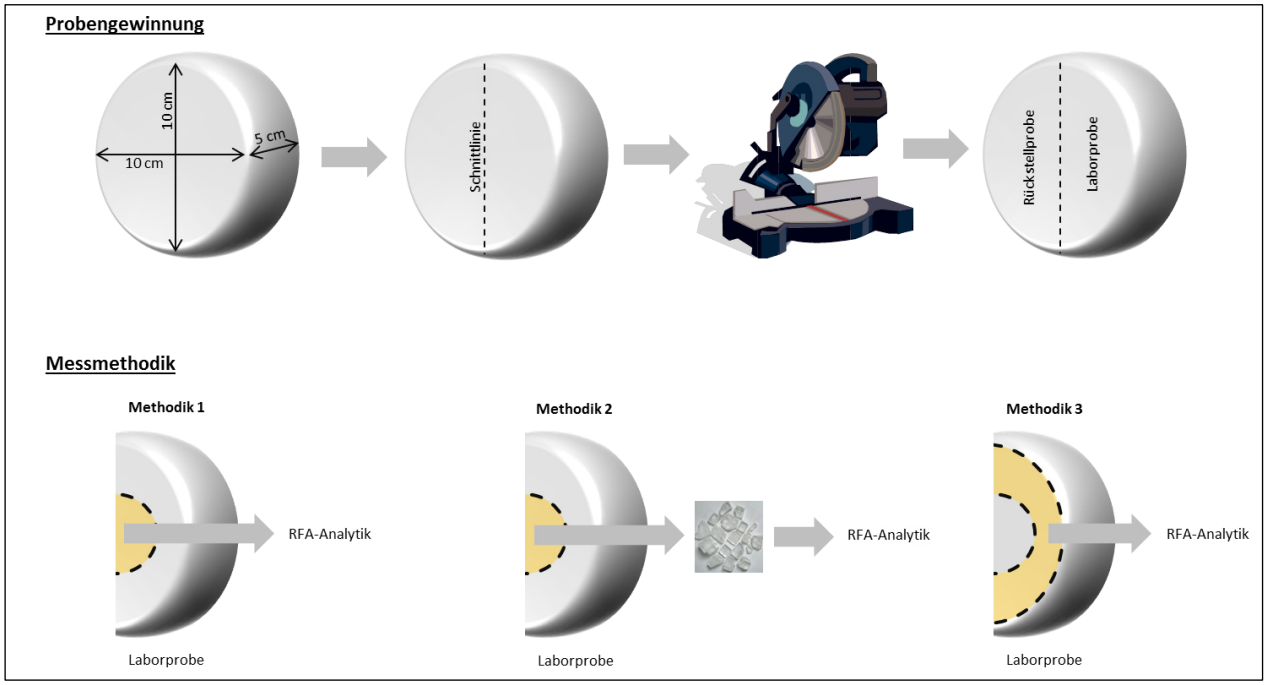


Abbildung 26: Darstellung der Probengewinnung sowie der verschiedenen Methoden der Materialentnahme zur Untersuchung des Kernmaterials auf Bromid mittels RFA-Analytik.

Tabelle 19: Vergleich der Analyse-Ergebnisse für Bromid der Methoden 1, 2 und 3.

Proben-Nr.	Einwaage [g]	Br [ppm]	Br [ppm] korrigiert*
6 (Zentrum)	2,496	143	143
6 (Binokular)	2,505	147	147
6 (Rand)	2,500	150	150
12 (Zentrum)	2,505	147	147
12 (Binokular)	2,498	147	147
12 (Rand)	2,505	150	150
18 (Zentrum)	2,500	189	189
18 (Binokular)	2,500	219	219
31 (Zentrum)	2,502	194	194
31 (Binokular)	2,500	195	195
31 (Rand)	2,500	178	178
37 (Zentrum)	2,500	115	115
37 (Binokular)	2,500	107	107

* interne Korrektur/Gerätekorrektur

6.2 Sorptionsversuche

6.2.1 Allgemein

Das Institut für nukleare Entsorgung (INE) des KIT (Karlsruher Institut für Technologie; im Folgenden KIT-INE genannt) führte an Bohrkernstücken aller Bohrabschnitte Untersuchungen zur *Sorption* durch. Die Probenahme und Einlagerung der mit Argon behandelten Proben vor Ort wurden sowohl durch die geologische Betreuung auf dem Bohrplatz (K-UTEC AG) als auch durch das KIT-INE selbst durchgeführt. Zur Einlagerung der zuvor entsprechend präparierten Proben stand auf dem Bohrplatz ein mit Argon-Gas geflutetes Fass zur Verfügung (Abbildung 27).



Abbildung 27: Einlagerungs-Fass für die mit Argon-Gas vorbehandelten Proben (links). Stickstoffbehälter für die Einlagerung der mit Stickstoff zu behandelnden Proben (rechts).

Die Probenahme und Einlagerung der mit Stickstoff zu behandelnden Proben wurden ausschließlich durch das Fachpersonal des KIT-INE durchgeführt. Abbildung 27 zeigt ein mit Stickstoff gefülltes Einlagerungsfass.

6.2.2 Probenahme und Durchführung

Für die Durchführung der Sorptionstests wurden aus dem laufenden Bohrkern des Muschelkalks und Oberen Buntsandsteins insgesamt 26 Proben entnommen (vgl. Anhang 7). Die entnommenen Kernproben haben Längen zwischen minimal 5 cm und maximal 60 cm.

Die Kernproben wurden in der Regel nach der feldgeologischen Ansprache und fotografischen Dokumentation aus den Kernkisten entnommen. Die Vorgehensweise zur Einlagerung der Proben in das Argon-Fass kann wie folgt beschrieben werden:

- Vorbereitende Maßnahmen (Anschluss der Folienschweißzange an Stromversorgung, gegebenenfalls Akkuschrauber aufladen),
- Einfüllen der Gesteinsproben in Folienbeutel (Aluminium-Beutel),
- Folienbeutel auf entsprechende Länge schneiden,
- Spülen des befüllten Folienbeutels mit Argon,
- Spülen der Probe mit Argon für ca. 1 min. bis 2 min.,
- Verschweißen des Folienbeutels nach Beendigung des Spülvorgangs,
- Öffnen des Transportfasses,
- Hineinlegen der Gesteinsprobe,
- Verschließen des Transportfasses,
- Argon in das Fass einspülen bis sich das Sicherheitsventil am Fass öffnet,
- Auslass am Sicherheitsventil öffnen und das Fass ca. 2 min mit Argon spülen,
- Ventil am Druckminderer des Argonbündel schließen,
- Fass unter Druck stehen lassen.

Die Durchführung und Auswertung sowie die Ergebnisdarstellung der Sorptionsexperimente erfolgte durch das KIT-INE und ist in einem separaten Bericht dokumentiert. Die Ergebnisse der durchgeführten Sorptionsuntersuchungen sind für die lithologische und stratigrafische Einstufung der Bohrung Remlingen 15 nicht relevant und werden daher im vorliegenden Bericht nicht berücksichtigt.

6.3 Gebirgsmechanische Untersuchungen

Neben der geologischen Bearbeitung liegt eine wichtige Zielsetzung in der vollständigen gebirgs- und gesteinsmechanischen Charakterisierung der in der Bohrungen Remlingen 15 angetroffenen Schichtenfolge für die weiteren Planungen (z. B. Teufverfahren, Ausbau des Schachtes, etc.) des neu zu errichtenden Schachtes [14]. Dafür war die Durchführung von Laboruntersuchungen mit Bestimmung gebirgsmechanischer Parameter an Probenmaterial aus dem Deckgebirge und dem Salinar (Durchführung IfG GmbH) sowie strömungstechnische Versuche (IBeWa, [15]) vorgesehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in eigenständigen Berichten der IfG GmbH [14] sowie der IBeWa Ingenieurpartnerschaft Freiberg zusammengestellt [15].

Im Rahmen des vorliegenden Berichtes werden die Ergebnisse der strömungstechnischen Untersuchungen (IBeWa) nicht betrachtet, da diese für die geologische Auswertung und Interpretation (Lithologie und Stratigrafie) im Rahmen des vorliegenden Berichtes keine Relevanz haben. Zu den durchgeführten gesteinsmechanischen Untersuchungen des IfG werden im Folgenden allgemeine Angaben kurzgefasst sowie Informationen zur Probenahme und Durchführung wieder gegeben. Aussagen zu den Ergebnissen der gesteinsmechanischen Untersuchungen können dem Kapitel 7.1.4.3 entnommen werden.

6.3.1 Allgemein

Das Institut für Gebirgsmechanik GmbH (im Folgenden IfG genannt) wurde mit der Durchführung von gesteinsmechanischen Untersuchungen der angetroffenen Schichtenfolge beauftragt. Dabei stand die Ermittlung gesteinsmechanischer Parameter an Probenmaterial der Erkundungsbohrung Remlingen 15 im Deckgebirge und im Salinar im Vordergrund. Es wurden folgende Untersuchungen und Laborarbeiten am entnommenen Probenmaterial durchgeführt:

- Probenpräparation,
- TC (Triaxiale Druckversuche/Druckfestigkeit),
- TCMS, TCR (Triaxiale Druckversuche/Druckfestigkeit im Mehrstufenversuch),
- TCC (Kriechversuche),
- UC (Einaxiale/Uniaxiale Druckversuche/Druckfestigkeit),
- SV (Scherversuche),
- SZ (Spaltzug, BRAZIL-Tests),
- Tr (Wassergehaltsbestimmung).

Im Zuge des gebirgsmechanischen Untersuchungsprogramms wurden insgesamt 52 Versuche an den in nachfolgender Tabelle 20 definierten Lithotypen durchgeführt. Die Lithotypen 1 bis 2 wurden

mit der Bohrung Remlingen 15 nicht aufgeschlossen. Ebenso wurde der Lithotyp 8 mit der Bohrung Remlingen 15 nicht nachgewiesen.

Tabelle 20: Definition der Lithotypen für gebirgsmechanische Untersuchungen.

Lithotyp	Beschreibung / Benennung	Beprobt / Untersucht
1	dolomitische/mergelige Kalksteine/mergelige Tonsteine des Mittleren Muschelkalk	nein
2	Gips- und Anhydritstein im Residualgebirge des Mittleren Muschelkalk	nein
3	Werksteinbänke des Unteren Muschelkalk (z.B. Schaumkalk, Terebratelbänke)	**ja**
4	mergelige Kalksteine der Wellenkalkfazies des Unteren Muschelkalk	**ja**
5	Tonsteine des Oberen Buntsandstein	**ja**
6 / 6a	Anhydritstein und Tonstein des Residualgebirges des Oberen Buntsandsteins	**ja**
7 / 7a	Gips- und Anhydritstein - Residualgebirge Zechstein (Hutgesteinskomplex)	**ja**
8	Tonstein der Zechsteinformation (hier im Wesentlichen Roter Salzton der Aller-Formation, ggf. auch Tonsteine der Zechsteinformationen 5 und 6)	nein
9 und 10	Halit und Anhydrit des Zechsteinsalinars (im Wesentlichen Hauptsalz der Staßfurt-Formation, untergeordnet auch Halithorizonte der Leine- und Aller-Formation)	**ja**, jedoch unklar ob Aller- oder Leinesteinsalz vorliegt (Staßfurt-Steinsalz wurde nicht erbohrt)

Tabelle 21: Gebirgsmechanisches Untersuchungsprogramm (modifizierte Testmatrix) für das Salinar und ergänzende Testanzahl für die Lithotypen 4 bis 7, [14].

Test / Untersuchung	Anzahl gesamt	Lithotyp / modifiziertes Untersuchungsprogramm		
		Deckgebirge (4 – 7)*	Salinar (9-10)	
		Selektive Auswahl von Tonsteinen für TCC bzw. Verdichtung der Datenbasis mit UC und SV für sonstige Deckgebirgsgesteine	kompakter Anhydrit	Halit des Zechstein-salinars
einaxiale Druckfestigkeit (UC)	9	3	4	2
triaxiale Druckfestigkeit (TC)	21	-	4	17
Kriechversuche (TCC)	14	5	-	9
Scherversuche (SV)	8	2	-	6

* ergänzende Anzahl Tests für die Lithotypen 4 bis 7 (zusätzlich zum eigentlich durchgeführten Testprogramm für die Lithotypen 4 bis 7).

Informationen zur ursprünglich geplanten Untersuchungsmatrix für das Deckgebirge und das Salinar können dem Bericht „*Ermittlung gebirgsmechanischer Parameter an Kernprobenmaterial der Remlingen 15 für Schacht Asse*“ (Anlage 1-1 in) entnommen werden.

6.3.2 Probenahme und Durchführung

Im Rahmen von 5 Kernbefahrungen (vgl. Tabelle 22) wurde in umfangreichem Maß Kernmaterial der erbohrten Lithotypen für das Laborprogramm durch das IfG ausgewählt. Dazu wurden die im Kernlager liegenden und zumeist eingeschweißten Kernabschnitte geöffnet und in Zusammenarbeit bzw. Absprache mit der K-UTEC AG qualitativ geeignetes und quantitativ ausreichendes Material ausgewählt. Eine übersichtliche Darstellung der entnommenen Proben kann dem Anhang 7 zu diesem Bericht entnommen werden.

Tabelle 22: Kernbefahrungen durch das IfG.

Termin der Befahrung	Beprobter Bohrabschnitt
03.07.2013	0 bis 135 m
13.12.2013	126 bis 260 m
05.02.2014	258 bis 417 m
10.04.2014	405 bis 449 m
27.05.2014	450 bis 900 m

Im Zuge der Kernbefahrungen wurden insgesamt 62 Proben (Kernstücke und tw. ganze Kernmeter) durch das IfG entnommen; 52 Proben wurden den geomechanischen Untersuchungen und Tests zugeführt. Die übrigen Proben waren entweder ungeeignet für die Versuche (zerfallen, zu kurz oder gerissen) oder dienten als Reservematerial.

Die gewählten Kernbereiche wurden jeweils in einem Kernbefahrungsprotokoll dokumentiert (vgl. Anhang 10) und durch „Platzhalter“ (Dummies) in den Kernkisten ersetzt. Die Protokolle der Kernbefahrungen enthalten neben Angaben zu Bohrteufe, Kernmarsch und der Angabe ob ein kompletter Kern oder nur teilentnommene Bereiche beprobt wurden, auch Angaben bezüglich der geplanten Versuche, welche anhand einer ersten visuellen Ersteinschätzung bezüglich Eignung (Länge, Qualität etc.) vorgenommen wurden. Das tatsächlich durchgeführte Laborprogramm unterscheidet sich teilweise von diesen Erstangaben.

Das Kernmaterial war qualitativ sehr unterschiedlich. Vor allem die kalkig bzw. mergelig ausgebildeten Tonsteine sowie Wellenkalke waren aufgrund ihrer Ausbildung und Charakteristik

nur schwierig zu beproben. Besonders scheibchenweise Ablösungen („core discing“), die durch dünnbankige Schichtwechsel oder löserartige Tonschichten begünstigt wurden, traten auf. Einige Bereiche des Bohrkernes waren gekennzeichnet durch steil einfallende Schichtung, Abschalungen, Ausbrüche und zusätzliche tektonische Zerscherung der Kernmaterialien.

Tieferliegende Tonsteine waren deutlich kompakter und größtenteils intakt ausgebildet und ermöglichten eine weitaus günstigere Probenauswahl und Präparation. Gleiches gilt für die Einheiten des Salinars aus den bohrlochtiefsten Bereichen.

Die ausgewählten Kerne bzw. Kernstücke wurden noch vor Ort (Kernlager Remlingen) in Schlauchfolie verpackt und verklebt (bzw. teils eingeschweißt). Bei einigen Kernabschnitten wurden komplette Kernmeter gewählt, um eine mögliche Schädigung bei der Kernstückentnahme und Umpacken zu vermeiden. Die Ummantelung sichert zudem die Vermeidung von Trockeneffekten bei der Lagerung bis zur Präparation bzw. dem Prüfzeitpunkt im Labor des IfG Leipzig. In den Laborräumen des IfG wurden die Proben fachgerecht bei konstanten Temperatur- und Luftfeuchtebedingungen gelagert.

6.4 Geologisch-Paläontologische Untersuchungen

Im Zuge der geologisch-paläontologischen Untersuchungen an den Probenmaterialien des Bohrkernes der Remlingen 15 wurden zahlreiche Labortests durchgeführt. Zu diesen Tests zählten unter anderem mikropaläontologische Untersuchungen sowie geochemisch-mineralogische (RFA, RDA) und geotechnische Untersuchungen (Wasserempfindlichkeit, Quellvermögen. Strömungstechnische Laborversuche). Die dabei eingesetzten Methoden sind in Kapitel 6.4.2 aufgeführt und in separaten Berichten ([16], [17] und [18]) detailliert beschrieben. Durchgeführt wurden diese Tests durch die IBeWa-Ingenieurpartnerschaft Freiberg.

Die Ergebnisse dieser Methoden und Untersuchungen wurden unterstützend zur Verifizierung der stratigrafischen Einstufung der Gesteine herangezogen. Des Weiteren wurden geomechanische und hydrogeologische Aussagen abgeleitet. In Ergänzung zu den oben genannten Untersuchungen erfolgten zusätzlich Pollenanalysen, um die ersten stratigrafischen Einordnungen (Feldansprache) zu unterstützen. Diese Untersuchungen wurden durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt.

6.4.1 Pollenanalysen

Die wissenschaftliche Bezeichnung der Pollenanalyse ist *Palynologie*. Die Palynologie untersucht sowohl rezente als auch fossile Palynomorphe (Pollen, Sporen und weitere Mikrofossilien, einschließlich der Dinoflagellaten). Im Rahmen der Erkundungsbohrung Remlingen 15 wurden die Pollenanalysen unterstützend zur stratigrafischen Einordnung der erbohrten Gesteine durchgeführt.

6.4.1.1 Allgemein

Aus dem Bohrkern der Remlingen 15 wurden in verschiedenen Abschnitten und Teufen insgesamt 46 Proben für die Pollenanalysen entnommen und analysiert.

6.4.1.2 Probenahme und Durchführung

Die Entnahme der Proben für die Pollenanalysen aus dem Bohrkern der Remlingen 15 erfolgte durch die K-UTEC AG. Bis auf zwei Proben (Entnahme im Januar 2014) wurden alle anderen Proben im März 2014 entnommen und durch die K-UTEC AG an die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) in Hannover verschickt. Tabelle 23 stellt die entnommenen Proben übersichtlich dar. Die angegebenen Teufen der Proben beziehen sich auf die Drill Depth und sind nicht teufenkorrigiert.

Tabelle 23: Entnommene Proben für die Pollenanalytik (vgl. auch Anhang 7).

Probe	Teufe (Drill Depth) [m u. GOK]		Datum
	von	bis	
PA-R154L-1	443,40	443,50	27.01.2014
PA-R154L-2	443,90	444,00	27.01.2014
PA-R154L-3	433,95	434,00	06.03.2014
PA-R154L-4	426,23	426,35	06.03.2014
PA-R154L-5	424,00	424,13	06.03.2014
PA-R154L-6	419,18	419,26	06.03.2014
PA-R154L-7	416,20	416,25	06.03.2014
PA-R154L-8	408,20	408,30	09.03.2014
PA-R154L-9	345,00	345,15	09.03.2014
PA-R154L-10	345,35	345,40	09.03.2014
PA-R154L-11	345,78	345,83	09.03.2014
PA-R154L-12	344,85	344,90	09.03.2014
PA-R154L-13	324,64	324,72	09.03.2014

Probe	Teufe (Drill Depth) [m u. GOK]		Datum
PA-R154L-14	322,00	322,20	09.03.2014
PA-R154L-15	320,20	320,30	09.03.2014
PA-R154L-16	320,80	320,90	09.03.2014
PA-R154L-17	319,20	319,30	09.03.2014
PA-R154L-18	319,70	319,80	09.03.2014
PA-R154L-19	318,30	318,40	09.03.2014
PA-R154L-20	318,70	318,80	09.03.2014
PA-R154L-21	317,20	317,30	09.03.2014
PA-R154L-22	317,80	317,90	09.03.2014
PA-R154L-23	314,10	314,20	09.03.2014
PA-R154L-24	314,65	314,80	09.03.2014
PA-R154L-25	308,15	308,40	09.03.2014
PA-R154L-26	306,00	306,20	09.03.2014
PA-R154L-27	301,00	301,20	09.03.2014
PA-R154L-28	301,70	301,90	09.03.2014
PA-R154L-29	289,50	289,75	09.03.2014
PA-R154L-30	257,00	257,15	09.03.2014
PA-R154L-31	442,75	442,80	12.03.2014
PA-R154L-32	446,80	446,85	12.03.2014
PA-R154L-33	447,10	447,15	12.03.2014
PA-R154L-34	448,30	448,35	12.03.2014
PA-R154L-35	449,00	449,20	12.03.2014
PA-R154L-36	136,15	136,20	26.03.2014
PA-R154L-37	137,55	137,60	26.03.2014
PA-R154L-38	138,55	138,60	26.03.2014
PA-R154L-39	143,35	143,40	26.03.2014
PA-R154L-40	144,15	144,20	26.03.2014
PA-R154L-41	149,75	149,80	26.03.2014
PA-R154L-42	150,40	150,45	26.03.2014
PA-R154L-43	153,85	153,90	26.03.2014
PA-R154L-44	245,15	245,20	26.03.2014
PA-R154L-45	256,58	256,63	26.03.2014
PA-R154L-46	253,45	253,50	26.03.2014

Alle Proben wurden nach einem in der BGR/LBEG üblichen Verfahren palynologisch aufbereitet und mit dem Ziel der biostratigrafischen Einordnung untersucht. Zu den angewendeten Methoden gehörten beispielsweise die Untersuchung mit HCl und HF, die Schweretrennung, Ultraschallsiebung (10 µm) und die Untersuchung der Streupräparate in Glyceringelatine.

6.4.2 Mikropaläontologische Untersuchungen

6.4.2.1 Allgemein

Für die stratigrafische Einstufung, sowie für geomechanische und hydrogeologische Aussagen wurde die Firma IBeWa Ingenieurpartnerschaft Freiberg mit der Durchführung folgender umfangreicher Untersuchungen beauftragt:

- Mikropaläontologische Untersuchungen,
- Mikrofossilanalyse,
- Mikroskopische Untersuchungen,
- Röntgenfluoreszensanalytik,
- Röntgendiffraktometrie,
- Strömungstechnische Laborversuche,
- Wasserempfindlichkeit.

Die durchgeführten Untersuchungen lassen sich in geologisch-mikropaläologische, geochemisch-mineralogische und geotechnische Untersuchungen (Bestimmungen der Wasserempfindlichkeit einschließlich des Quellverhaltens) sowie Untersuchungen zu den strömungstechnischen Eigenschaften der Gesteine unterteilen. Nachfolgend werden die mikropaläontologischen Untersuchungen an Proben des Muschelkalks, Untersuchungen zum Phasenbestand an siliziklastischen Proben des Oberen Buntsandsteins sowie die mikropaläontologisch-stratigrafischen Untersuchungen an karbonatischen Proben des Oberen Buntsandsteins zusammengefasst vorgestellt. Die Ergebnisse zu diesen Untersuchungen sind in Kapitel 7 sowie in den eigenständigen Berichten der IBeWa [16], [17], [18] dargestellt.

6.4.2.2 Probenahme und Durchführung

Die Entnahme der Proben für die oben aufgeführten Untersuchungen aus dem Bohrkern der Remlingen 15 erfolgte durch die IBeWa Ingenieurpartnerschaft und die K-UTEC AG. Die Proben wurden jeweils nach Beendigung eines Kernbohrabschnittes und nach Begutachtung im Kernlager entnommen. Anhang 7 stellt die entnommenen Proben übersichtlich dar. Die angegebenen Teufen der Proben beziehen sich auf die Drill Depth und sind nicht teufenkorrigiert.

Insgesamt wurden 156 Proben aus dem laufenden Bohrkern der Remlingen 15 entnommen (siehe Anhang 7).

6.4.2.2.1 Muschelkalk

Der Bereich des Muschelkalks umfasst den gesamten ersten Bohrabschnitt mit einem Teufenbereich von 0,0 mT bis 135,0 mT. Die stratigrafische Grenze zwischen Unterem Muschelkalk und Oberem Buntsandstein ist in 130,40 mT aufgeschlossen.

Am 23.10.2013 erfolgte die erste Beprobung dieses ersten Kernabschnittes durch die IBeWa unter Begleitung des geologischen Personals der K-UTEC AG. Es wurden 49 Proben für die mikropaläontologisch-stratigrafischen Untersuchungen, wie zum Beispiel mikroskopische Faziesanalysen und mikropaläontologische Spezialuntersuchungen, aus den unterschiedlichen Schichtsequenzen des Muschelkalks (Karbonate) entnommen [16]. In Tabelle 24 sind die Proben mit ihren Entnahmebereichen aufgeführt.

Tabelle 24: Proben aus dem Bereich des Muschelkalks für mikropaläontologische Untersuchungen.

Probe	Teufe [m u. GOK] Drill Depth		Untersuchung
	von	bis	
P237-1/1	127,30	127,45	Dünn-/Dickschliffe, Mikropaläontologie, Mikroskopische Faziesanalyse
P237-1/2	126,50	126,70	
P237-1/3	123,55	123,70	
P237-1/4	123,00	123,10	
P237-1/5	120,30	120,55	
P237-1/6	118,70	118,88	
P237-1/7	116,35	116,55	
P237-1/8	113,30	113,50	
P237-1/9	110,20	110,37	
P237-1/10	109,67	109,99	
P237-1/11	102,65	102,90	
P237-1/12	100,84	100,99	
P237-1/13	98,50	98,70	
P237-1/14	94,86	94,99	
P237-1/15	90,35	90,53	
P237-1/16	83,15	83,47	
P237-1/17	82,65	83,00	
P237-1/18	77,75	78,00	
P237-1/19	76,00	76,40	
P237-1/20	75,70	76,00	
P237-1/21	74,70	74,95	
P237-1/22	72,67	72,80	
P237-1/23	70,90	71,00	
P237-1/24	68,52	68,67	
P237-1/25	66,00	66,26	

Probe	Teufe [m u. GOK] Drill Depth		Untersuchung
P237-1/26	64,45	64,57	
P237-1/27	63,33	63,46	
P237-1/28	60,33	60,53	Dünn-/Dickschliffe, Mikropaläontologie, Mikroskopische Faziesanalyse
P237-1/29	59,80	60,00	
P237-1/30	55,17	55,29	
P237-1/31	52,70	52,95	
P237-1/32	49,70	49,90	
P237-1/33	47,23	47,38	
P237-1/34	46,65	46,95	
P237-1/35	45,75	45,90	
P237-1/36	43,33	43,50	
P237-1/37	40,00	40,28	
P237-1/38	38,60	38,85	
P237-1/39	34,30	34,50	
P237-1/40	32,20	32,40	
P237-1/41	30,85	31,00	
P237-1/42	25,00	25,20	
P237-1/43	23,50	23,65	
P237-1/44	21,65	21,80	
P237-1/45	19,35	19,50	
P237-1/46	17,30	17,40	
P237-1/47	15,80	16,00	
P237-1/48	13,00	13,20	
P237-1/49	8,90	9,00	

Die in der Tabelle angegebenen Probebezeichnungen stellen die während der Vor-Ort-Probenahme vergebenen Probennummern dar. Für die Auswertung und im Zuge der Präparation der Proben für die durchzuführenden Untersuchungen, sind diese Probenbezeichnungen im Bericht des IBeWa [16] teilweise verändert worden.

Aus der Anzahl der 49 entnommenen Proben wurden für die speziellen Untersuchungen des IBeWa insgesamt 104 Präparate hergestellt, aus denen sowohl Schliffbereiche für Dünn- und Dickschliffe orientiert heraus präpariert wurden als auch Probenmaterial für die Untersuchung des Mikrofossilbestandes aufbereitet wurden. Zur mikropaläontologischen Analyse wurden vorwiegend unabgedeckte Dünnschliffe mittels Durchlichtmikroskop betrachtet. Zur Untersuchung des Mikrofossilbestandes in den Proben erfolgte zunächst eine nasschemische Aufbereitung. Mit Hilfe des Stereomikroskopes wurden dann die Löserückstände manuell ausgelesen. Die so gewonnenen Mikrofossilien wurden mit einem hochauflösenden Stereomikroskop taxonomisch bestimmt und teilweise dokumentiert.

Der in den Proben ermittelte mikropaläontologische und ichnologische Bestand umfasst vor allem Conodonten, Foraminiferen und Spurenfossilien (Ichnia). Neben den genannten Taxa

(Fossilienarten und Unterarten) traten in den Dünnschliffen weitere Fossilien auf (Ostrakoden, Mollusken, Echinodermen, Vertebraten sowie organische Reste (z. B. Algen) und Calcisphären), die jedoch biostratigrafisch nicht verwertbar für die stratigrafische Zuordnung der Gesteine der Remlingen 15 waren.

6.4.2.2.2 Buntsandstein

Der Bereich des Buntsandsteines umfasst den gesamten zweiten (135 mT bis 259 mT) und dritten (259 mT bis 417,5 mT) Bohrabschnitt. Die stratigrafische Grenze zwischen Unterem Muschelkalk (erster Bohrabschnitt) und Oberem Buntsandstein ist in 130,40 mT aufgeschlossen; die stratigraphische Grenze zwischen Oberem Buntsandstein und den sekundären Sulfaten (vierter Bohrabschnitt) ist bei 395,50 mT zu ziehen.

Die Beprobung der Kernabschnitte durch IBeWa unter Begleitung des geologischen Personals der K-UTEC AG erfolgte nach dem jeweiligen Ende eines Bohrabschnittes. Es wurden insgesamt 51 Proben für die mikropaläontologisch-stratigrafischen Untersuchungen aus dem Bereich des Buntsandsteins entnommen ([17] und [18]). Während der Bearbeitung des Probenmaterials ergaben sich Hinweise auf einen mögliche Mikrofossilführung in den Karbonaten und Sulfaten. Daher wurden während einer erneuten Probennahme konzentriert Proben aus diesen Bereichen entnommen, um eine Mikrofossilanalyse durchzuführen.

Im Labor wurden die Proben zusätzlich nach der anzuwendenden Analysemethode aufgeteilt, sodass es zu, von den Benennungen der Proben in Anhang 7, abweichenden Probenbezeichnungen kommen kann.

Die durch die IBeWa entnommenen Proben wurden in den Synopsen (Anhang 1.1 bis 1.6) mit der Nomenklatur der Liste in Anhang 7 eingetragen. In Tabelle 25 und Tabelle 26 sind die aus dem Bereich des Buntsandsteins entnommenen Proben aufgeführt.

Tabelle 25: Übersicht über die siliziklastischen Proben (vgl. Anhang 7).

Probe	Teufe [m u. GOK] Drill Depth		Untersuchung
	von	bis	
P237-2/1	136,20	136,44	Mikroskopische Faziesanalyse an siliziklastischen Proben anhand von Dünnschliffen
P237-2/2	152,00	152,03	
P237-2/4	153,00	153,60	
P237-2/5	165,24	165,52	
P237-2/6	178,85	179,00	
P237-2/7	188,53	188,72	
P237-2/8	200,37	200,70	
P237-2/9	202,30	202,42	
P237-2/10	203,69	203,76	
P237-2/11	213,17	213,40	
P237-2/12	214,40	214,71	
P237-2/13	223,00	223,20	
P237-2/14	234,74	235,00	
P237-2/15	240,40	240,74	
P237-2/16	244,36	244,64	
P237-2/18	257,65	257,71	
P237-3/30	260,80	260,95	
P237-3/31	278,11	278,25	
P237-3/32	283,16	283,25	
P237-3/33	285,24	285,35	
P237-3/34	291,00	291,20	
P237-3/35	291,64	291,73	
P237-3/36	299,73	299,90	
P237-3/37	304,48	304,60	
P237-3/38	305,40	305,75	
P237-3/39	315,20	315,30	
P237-3/40	316,62	316,82	
P237-3/41	318,00	318,08	
P237-3/42	320,66	320,82	
P237-3/43	322,39	322,45	
P237-3/44	343,55	343,63	
P237-3/45	345,60	345,66	
P237-3/46	345,88	346,00	
P237-3/47	346,06	346,24	
P237-3/48	346,48	346,60	
P237-3/49	348,25	348,56	
P237-3/50	363,52	363,88	
P237-4/37	163,00	163,50	
P237-4/38	181,00	182,00	
P237-4/39	199,65	200,00	
P237-4/40	218,20	218,40	
P237-4/41	256,80	257,00	
P237-4/42	219,60	219,70	
P237-4/43	257,70	257,90	

Tabelle 26: Übersicht über die karbonatisch/sulfatischen Proben, aus [18] (vgl. Anhang 7).

Probe	Teufe [m u. GOK] Drill Depth		Untersuchung
	von	bis	
P237-3/39	315,20	315,30	Mikroskopische Faziesanalyse, Mikrofossil Analyse
P237-3/42	320,66	320,82	Mikrofossil Analyse
P237-3/46	345,88	346,00	Mikroskopische Faziesanalyse, Mikrofossil Analyse
P237-3/47	346,06	346,24	Mikroskopische Faziesanalyse, Mikrofossil Analyse
P237-3/48	346,48	346,60	Mikroskopische Faziesanalyse, Mikrofossil Analyse
P237-4/30	302,20	302,30	Mikroskopische Faziesanalyse
P237-4/31	302,70	302,85	Mikroskopische Faziesanalyse, Mikrofossil Analyse
P237-4/32	322,30	322,40	Mikroskopische Faziesanalyse, Mikrofossil Analyse
P237-4/33	289,20	289,30	Mikrofossil Analyse
P237-4/34	290,65	290,80	Mikroskopische Faziesanalyse, Mikrofossil Analyse
P237-4/35	346,65	346,75	Mikrofossil Analyse
P237-4/36	347,75	348,00	Mikroskopische Faziesanalyse

6.4.3 Geochemisch-mineralogische und geotechnische Untersuchungen

6.4.3.1 Allgemein

Nachfolgend sind die geochemisch-mineralogischen Untersuchungen (Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA) und Röntgendiffraktometeranalytik (RDA)) sowie die geotechnischen Untersuchungen (Wasserempfindlichkeitsbestimmung (W_S), Quellvermögen anhydritischer Proben aus dem Salinar, Strömungstechnische Untersuchungen) vorgestellt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen zu RFA, RDA und Wasserempfindlichkeit lag auf den feinkörnigen und möglicherweise quellfähigen Siliziklastiten (Tongesteinen) des Oberen Buntsandsteines (vgl. [19]).

6.4.3.2 Probenahme und Durchführung

Die Probenahme erfolgte durch die IBeWa Ingenieurpartnerschaft und der K-UTEC AG in 3 Probennahmekampagnen. Die entnommenen Proben stammen aus dem 2., 3. und 4. Bohrabschnitt, eine weitere Probe stammt aus dem 5. Bohrabschnitt. Diese Entnahmebereiche sind den Teufenabschnitten zwischen 157 mT bis 450 mT zuzuordnen. Im Fokus standen vor allem Bereiche mit erhöhtem Tonanteil. Es wurden insgesamt 54 Proben für die geochemisch-mineralogischen und geotechnischen Untersuchungen genommen. Die Probenahmebereiche sind

stratigrafisch entweder dem Bereich des Oberen Buntsandsteins zuzuordnen oder nicht stratigrafisch eingeordnet (394 mT bis etwa 440 mT und bei ca. 450 mT).

Die 54 Proben wurden zerkleinert, homogenisiert und gedrittelt, sodass für die RDA, RFA und die W_S je eine Einzelprobe zur Verfügung stand. Insgesamt wurden 162 Analysen durchgeführt. In nachfolgender Tabelle 27 sind die Probenahmebereiche für die durchgeführten Untersuchungen zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 27: Proben für die RFA, RDA und Wasserempfindlichkeit W_s. Vgl. Anhang 7.

Probe	Teufe [m u. GOK] Drill Depth		Untersuchung
	von	bis	
P237-2/21	157,85	158,00	Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA), Röntgendiffraktometeranalytik (RDA) und Wasserempfindlichkeitsbestimmung
P237-2/22	157,70	157,85	
P237-2/23	157,55	157,70	
P237-2/24	157,40	157,55	
P237-2/25	158,00	158,20	
P237-2/26	158,50	158,70	
P237-2/27	159,60	159,80	
P237-2/28	171,60	171,81	
P237-2/29	172,25	172,55	
P237-2/30	175,10	175,30	
P237-2/31	235,30	235,55	
P237-2/32	236,10	236,30	
P237-2/33	236,30	236,50	
P237-2/34	236,50	236,80	
P237-2/35	238,35	238,55	
P237-2/36	238,55	238,75	
P237-2/37	240,75	241,00	
P237-2/38	246,65	246,85	
P237-2/39	250,80	251,00	
P237-2/40	257,20	257,4	
P237-3/1	266,40	266,60	
P237-3/2	274,40	274,58	
P237-3/3	279,65	279,80	
P237-3/4	280,74	280,88	
P237-3/5	290,28	290,45	
P237-3/6	298,40	298,60	
P237-3/7	299,56	299,73	
P237-3/8	300,25	300,45	
P237-3/9	333,64	333,82	
P237-3/10	356,00	356,36	
P237-3/11	362,55	362,77	
P237-3/12	370,20	370,40	
P237-3/13	373,40	373,67	
P237-3/14	374,00	374,27	

Probe	Teufe [m u. GOK] Drill Depth		Untersuchung
P237-3/15	376,00	376,30	
P237-3/16	393,70	393,85	
P237-3/17	400,35	400,50	
P237-3/18	402,00	402,10	
P237-3/19	407,20	407,55	
P237-3/20	303,30	303,50	
P237-4/1	406,60	407,00	
P237-4/2	407,00	407,30	
P237-4/3	418,50	419,00	
P237-4/4	421,50	422,00	
P237-4/5	422,00	422,50	
P237-4/6	423,00	423,30	
P237-4/7	428,45	429,00	
P237-4/8	429,00	429,40	
P237-4/9	430,70	431,00	
P237-4/10	431,00	431,40	
P237-4/11	436,00	437,00	
P237-4/12	437,00	438,00	
P237-4/13	438,00	439,00	
P237-5/1	450,00	450,35	

6.4.3.2.1 Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA)

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen mittels Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA) lag auf der Erhebung von Daten zur geochemischen Gesteinszusammensetzung, um das Auftreten von Tonmineralen im Oberen Buntsandstein zu untersuchen und Aussagen zu einem möglicherweise auftretenden Quellverhalten der Gesteine zu treffen. Die Bestimmung der Gehalte der Haupt- und Nebenelemente sowie der häufigsten Spurenelemente mittels RFA gibt das Auftreten der wesentlichen Hauptbestandteile der Sulfat- als auch der Karbonatphasen wieder.

Die Bestimmung der Haupt- und Spurenelementgehalte wurde mittels wellenlängendispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (WDRFA) durchgeführt. Dafür wurden die Proben pulverisiert und anschließend homogenisiert. Als Flussmittel diente MERCK-Spectromelt A12 (di-Lithiumtetraborat). Aus einer Probenpulver/Flussmittel Mischung, mit dem Verhältnis 1:11, wurde die Boratglas-Schmelztablette unter zu Hilfenahme einer plangeschliffenen Platinkokille gegossen. ***Detaillierte Informationen zur Methodik der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) können dem eigenständigen IBeWa-Bericht*** [19] ***entnommen werden. Eine detaillierte Beschreibung der ermittelten Elemente mittels RFA kann dem eigenständigen IBeWa-Bericht*** [19] ***entnommen werden und ist nicht Bestandteil des vorliegenden Berichtes.***

6.4.3.2.2 Röntgendiffraktometeranalytik (RDA)

Die Proben wurden in Vorbereitung der Analysen zerkleinert und zu Pulverpräparaten verarbeitet (vgl. Kapitel 5.2 in [19]). Mit den Pulverpräparaten wurde in einem Diffraktometer der Gesamtmineralbestand qualitativ und quantitativ bestimmt. Anhand der Ergebnisse wurden die relativen kristallinen Mineralgehalte berechnet. Durch amorphe Phasen im Mineralbestand konnte keine genaue quantitative Analyse durchgeführt werden. Die Standardabweichung wird mit ± 5 % angegeben.

Für eine genauere qualitative Bestimmung wurde ein Teil des zerkleinerten Probenmaterials in Suspension gebracht und mittels 10 % HCl-Säure Kalzit und Dolomit vollständig zerstört. Anschließend wurden die Salze mehrfach ausgewaschen bis eine Leitfähigkeit unter 50 µS/cm erreicht wurde. Danach konnte der Ton (< 2 µm) für die Tonmineralbestimmung aus der Suspension gewonnen werden. Die Tonfraktion wurde in eine Mg^{2+}-Fraktion und eine K^{+}-Fraktion geteilt. Für die qualitative Bestimmung wurden die 2 Proben jeweils 5 mal mit unterschiedlichen Konfigurationen gemessen (vgl. Kapitel 5.2 in [19]).

Detaillierte Informationen zur Methodik der Röntgendiffraktometeranalyse (RDA) können dem eigenständigen IBeWa-Bericht [19] ***entnommen werden.***

Mit Hilfe der ermittelten Daten aus der Röntgendiffraktometrie (RDA) lassen sich die Ergebnisse der vorab durchgeführten RFA überprüfen. Die Ergebnisse der RFA und RDA lassen feststellen, dass ausschließlich Gips als Sulfatphase ermittelt wurde. Die Karbonatphasen werden durch Kalzit, Dolomit und Magnesit definiert.

Nach den Ergebnisse in [19] ist bei allen tonigen Proben des Buntsandsteins sowie des karbonatischen Sedimentgesteins (dolomitisch) aus dem Zechsteinsalinar von nur gering wasserempfindlichen sowie wenig quellfähigen Materialien auszugehen.

6.4.3.2.3 Wasserempfindlichkeitsbestimmung

Die Wasserempfindlichkeitsuntersuchungen stellen grundsätzlich eine Möglichkeit dar, in Form von Voruntersuchungen den Grad der Volumenzunahme infolge intrakristallinem Wassereinbaus in Tonmineralen zu beurteilen. In Verbindung mit den Ergebnissen der RDA stellen Sie die

Grundlage zur Beurteilung des Auftretens quellfähiger Tonmineralphasen im untersuchten Kern- und Bohrungsabschnitt dar.

Die Untersuchungen zur Wasserempfindlichkeit der Proben ergeben, dass auf Grund der festgestellten geringen Wasserempfindlichkeiten und der ermittelten Montmorillonitgehalte in den Proben bezogen auf das Gesamtgestein ein ausgeprägtes Quellverhalten als unwahrscheinlich eingestuft wird.

Die Wasserempfindlichkeit wurde nach DIN EN 1744-4 (Quelle [3] in [19]) bestimmt. Das Probenmaterial wird auf die entsprechende Korngröße mit dem Mörser gemahlen. Danach wird eine Mischung aus Probe und Bitumen in heißem Wasser gerührt. Wenn Probenmaterial aus der Mischung abgeschieden wird, wird diese auf einem Filterpapier wiedergewonnen und gewogen [19]. Anhand folgender Gleichung wird die Wasserempfindlichkeit (W_S) bestimmt:

$$W_S = \frac{m_{FP+F} - m_{FP}}{m_P}$$

W_S – Wasserempfindlichkeit (Ma.-%)
m_P – Masse der Probe (g)
m_{FP} – Masse des Filterpapiers (g)
m_{FP+F} – Masse von Filterpapier und Probe (g)

Detaillierte Informationen zur Methodik der Wasserempfindlichkeitsbestimmung können dem eigenständigen IBeWa-Bericht [19] ***entnommen werden.***

6.4.3.2.4 Quellversuche an Anhydriten des Salinarabschnittes

Geotechnische Untersuchungen erfolgten im Sinne von experimentellen Tests zur Volumen- und Gewichtszunahme von Anhydritkernen aus dem Salinarabschnitt (5. Abschnitt) der Bohrung Remlingen 15. Die geplanten gebirgsmechanischen (geomechanisch, geotechnisch) und geologisch-paläontologischen Untersuchungen und Tests der Institutionen IfG und IBeWa konnten auf Grund des fehlenden Ton- und Tonsteingehaltes im Salinarabschnitt der Bohrung Remlingen 15 (Bohrabschnitt 5) nicht wie geplant durchgeführt werden.

Eine pauschale Übertragung der vorgesehenen Untersuchungen auf die im Salinarabschnitt aufgeschlossenen Anhydrite war jedoch nicht möglich. Die Untersuchung des Verhaltens von Anhydrit in Hinblick auf die Beurteilung eines möglichen Schachtes ist nur durch sehr zeit- und kostenintensive Quell- und Schwelltests möglich.

Zur Beurteilung der zwingenden Notwendigkeit solcher Untersuchungen wurden zunächst experimentelle Voruntersuchungen an 13 Proben aus den aufgeschlossenen Anhydriten sowie aus Anhydrit-Steinsalz-Mischbereichen des Salinarabschnittes durchgeführt. Diese experimentellen Voruntersuchungen wurden im Labor der K-UTEC AG durchgeführt. Dazu wurden Proben aus den folgenden Bereichen der Bohrung Remlingen 15 entnommen (siehe Tabelle 28).

Tabelle 28: Auswahl der für die experimentellen Tests verwendeten Proben.

Beprobung 4. Abschnitt							
Nr. der Probe	**Teufe**		**KK**	**KM**	**Untersuchungsmethode**	**Labor**	**Datum der Probenahme**
	von	**bis**					
Anh-R154L-24	403,50	403,60	201	255	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-28	425,00	425,20	218	267	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Beprobung 5. Abschnitt							
Nr. der Probe	**Teufe**		**KK**	**KM**	**Untersuchungsmethode**	**Labor**	**Datum der Probenahme**
	von	**bis**					
Anh-R154L-1a	533,25	533,35	201	255	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-3	534,35	534,45	273	297	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-5	568,00	568,10	218	267	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-6	569,30	569,40	290	303	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-8a	587,00	587,15	299	306	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-9a	630,60	630,75	321	314	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-11	703,40	703,50	357	326	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-13a	734,90	735,00	373	331	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-17	738,00	738,10	375	332	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-18	888,83	888,95	450	357	Volumen	K-UTEC	10.06.2014
Anh-R154L-23	892,35	892,45	452	358	Volumen	K-UTEC	10.06.2014

KK…Kernkiste

KM…Kernmarsch

Zur möglichst optimalen Durchführung der Untersuchungen wurden aus 12 der 13 Proben einheitliche Prüfkörper hergestellt. Diese Prüfkörper wurden mit Hilfe einer Steinsäge (trocken) in Würfel mit einer Kantenlänge von rund 6 cm gesägt. Aufgrund der Bauart der Säge sowie Brüchen oder Trennflächen in den Bohrkernen war ein exaktes Zuschneiden auf Würfel im vorgesehenen Format 6x6x6 cm nicht gelungen.

Ein Prüfkörper (Probe Anh-R154L-23) ist beim Schneiden entlang eines Risses in zwei Teile zerbrochen und wurde für die Versuche nicht verwendet. Die erhaltenen 12 Prüfkörper wurden trocken gesäubert, vermessen (Länge, Breite, Höhe und zwei Diagonalen), gewogen, fotografiert und entsprechend der Bohrkernorientierung markiert. Die abgetrennten Teile der Bohrkerne wurden wieder in die Tüten verpackt und stehen ggf. für weitere Versuche zur Verfügung.

6.4.3.2.4.1 Versuchsdurchführung

Die Prüfkörper wurden einzeln orientiert in 1-Liter-Eimer gestellt und mit gesättigter NaCl-Lösung übergossen. Da das geplante Volumen 1-Verhältnis Feststoff: Lösung von 1 : 1 nicht ausreichte, um die Prüfkörper komplett zu bedecken, wurde die doppelte Menge Lösung verwendet. Anschließend wurden die Eimer mit Deckeln verschlossen und bei ca. 25°C im Labor gelagert.

Nach jeweils 7, 14, 28 und 56 Tagen wurden die Eimer geöffnet, die Prüfkörper entnommen, entsprechend der Vorgaben gewogen und vermessen. Die zusätzliche Messung nach 14 Tagen wurde durchgeführt, da die gemessenen Werte nach 7 Tagen teilweise auffällig waren. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die 7-Tage-Messung von einem anderen Laboranten durchgeführt wurde, als alle anderen Messungen.

Die Prüfkörper wurden jeweils nach 30 sec. Abtropfen auf die Waage gelegt und das Gewicht auf ± 0,01 g bestimmt. Länge, Breite, Höhe sowie zwei Diagonalen wurden mit einer Schieblehre auf ± 0,1 mm genau gemessen. Das Anlegen der Schieblehre wurde allerdings durch ungerade Kanten und einzelne Ausbrüche an den Ecken der Prüfkörper erschwert. Dadurch ergeben sich Ungenauigkeiten, die, v. a. bei den Diagonalen, bis zu 1 Millimeter betragen können.

6.4.3.2.4.2 Dokumentation und Ergebnisse

Sämtliche Messwerte wurden notiert und in den TabellenTabelle 29 bisTabelle 33 (vgl. auch Anhang 8) zusammengetragen. Außerdem wurden die Prüfkörper in allen Stadien des Versuches (außer nach 7 Tagen) fotografisch dokumentiert (Anhang 9).

Außer geringfügigen Abweichungen in den Messwerten nach 7-tägiger Lagerung sind während des Versuches keine Auffälligkeiten an den Probenkörpern registriert worden. Optische Veränderungen sind lediglich bei den Prüfkörpern 332V-06 und 333V-06 zu bemerken gewesen, deren Tonanteile sich teilweise gelöst und am Eimerboden abgesetzt haben. Alle anderen Prüfkörper wiesen nach Versuchsende das gleiche Aussehen auf, wie vor dem Versuch. Die nachfolgenden Tabellen stellen die Ergebnisse des Versuches zu den einzelnen Messzeitpunkten (0, 7, 14, 28 und 56 Tage) dar.

Tabelle 29: Maße der Probenkörper zu Beginn des Versuchszeitraumes (Startpunkt: 0 Tage).

Nr. der Probe	EVT-Nr.	Maße der Probe vor Versuchsbeginn [mm]					Datum	Gewicht [g]	Volumen [cm³]
		Länge	Breite	Höhe	Diagonale 1*	Diagonale 2*			
Anh-R154L-24	332V-06	62,7	61,3	63,6	87,2	87,6	19.08.2014	548,67	244,45
Anh-R154L-28	333V-06	61,9	61,9	62,8	87,8	88,2	19.08.2014	560,33	240,63
Anh-R154L-1a	334V-06	62,8	61,0	62,8	86,9	88,5	21.08.2014	723,21	240,38
Anh-R154L-3	335V-06	64,9	64,7	60,7	90,8	88,2	21.08.2014	718,88	254,68
Anh-R154L-5	336V-06	62,7	63,7	63,2	85,2	87,5	21.08.2014	636,35	252,42
Anh-R154L-6	337V-06	61,0	62,0	64,4	84,2	87,6	21.08.2014	658,67	243,36
Anh-R154L-8a	338V-06	60,7	61,3	62,5	85,5	85,4	21.08.2014	640,95	232,37
Anh-R154L-9a	339V-06	62,9	63,3	57,7	87,5	84,2	21.08.2014	541,59	229,54
Anh-R154L-11	340V-06	60,3	60,5	61,6	83,9	85,3	22.08.2014	600,8	224,35
Anh-R154L-13a	341V-06	61,2	61,1	60,5	86,0	85,2	22.08.2014	583,92	225,86
Anh-R154L-17	342V-06	59,3	61,7	61,2	83,2	84,4	22.08.2014	567,52	223,73
Anh-R154L-18	343V-06	60,9	60,3	61,3	84,6	85,9	22.08.2014	570,39	224,92

* gemessen von den Markierungen (M1 und M2) aus

Tabelle 30: Maße der Probenkörper während des Versuchszeitraumes (Zeit: 7 Tage).

Nr. der Probe	EVT-Nr.	Maße der Probe nach 7 Tagen [mm]					Datum	Gewicht [g]	Volumen [cm³]
		Länge	Breite	Höhe	Diagonale 1*	Diagonale 2*			
Anh-R154L-24	332V-06	62,2	61,4	63,1	87,4	86,7	26.08.2014	553,02	240,98
Anh-R154L-28	333V-06	62,2	63,2	62,7	87,5	87,9	26.08.2014	561,83	246,48
Anh-R154L-1a	334V-06	62,0	60,8	62,3	86,7	88,1	28.08.2014	723,78	234,85
Anh-R154L-3	335V-06	64,2	64,3	60,5	90,5	88,0	28.08.2014	719,59	249,75
Anh-R154L-5	336V-06	61,5	63,1	62,9	85,6	87,0	28.08.2014	637,09	244,09
Anh-R154L-6	337V-06	60,9	61,5	63,9	84,1	87,2	28.08.2014	659,1	239,33
Anh-R154L-8a	338V-06	60,4	61,2	61,9	85,2	85,1	28.08.2014	641,27	228,81
Anh-R154L-9a	339V-06	62,6	63,1	57,3	87,2	83,8	28.08.2014	542,67	226,34
Anh-R154L-11	340V-06	60,5	60,2	61,3	83,7	85,4	29.08.2014	601,44	223,26

Anh-R154L-13a	341V-06	60,4	60,6	60,4	85,1	84,9	29.08.2014	584,84	221,08
Anh-R154L-17	342V-06	58,3	61,7	60,6	83,7	84,2	29.08.2014	568,33	217,98
Anh-R154L-18	343V-06	60,0	59,7	61,0	84,7	85,5	29.08.2014	570,81	218,50

Nach 7 Tagen des Versuchszeitraumes sind keine signifikanten Veränderungen an den Probenkörpern zu beobachten gewesen.

Tabelle 31: Maße der Probenkörper während des Versuchszeitraumes (Zeit: 14 Tage).

Nr. der Probe	EVT-Nr.	Maße der Probe nach 14 Tagen [mm]					Datum	Gewicht [g]	Volumen [cm³]
		Länge	Breite	Höhe	Diagonale 1*	Diagonale 2*			
Anh-R154L-24	332V-06	62,9	61,3	63,7	87,2	87,5	02.09.2014	552,37	245,42
Anh-R154L-28	333V-06	62,1	62,7	63,1	87,2	88,5	02.09.2014	561,14	245,49
Anh-R154L-1a	334V-06	62,7	61,0	62,8	86,8	87,2	04.09.2014	723,41	239,99
Anh-R154L-3	335V-06	64,7	64,6	60,7	90,9	88,5	04.09.2014	718,99	253,49
Anh-R154L-5	336V-06	62,3	63,9	62,9	84,5	87,4	04.09.2014	636,39	249,81
Anh-R154L-6	337V-06	61,1	62,4	64,0	84,1	87,6	04.09.2014	658,67	243,82
Anh-R154L-8a	338V-06	60,8	61,4	62,5	85,6	85,4	04.09.2014	640,87	232,75
Anh-R154L-9a	339V-06	62,9	63,2	57,6	87,3	83,9	04.09.2014	542,24	228,79
Anh-R154L-11	340V-06	60,4	60,5	61,6	84,4	85,2	05.09.2014	601,05	224,54
Anh-R154L-13a	341V-06	60,9	60,9	60,4	85,3	85,0	05.09.2014	584,28	223,64
Anh-R154L-17	342V-06	59,2	61,9	60,9	83,6	84,5	05.09.2014	567,89	222,98
Anh-R154L-18	343V-06	60,1	59,1	61,4	84,4	85,6	05.09.2014	570,38	217,91

Nach 14 Tagen des Versuchszeitraumes sind keine signifikanten Veränderungen an den Probenkörpern zu beobachten gewesen.

Tabelle 32: Maße der Probenkörper während des Versuchszeitraumes (Zeit: 28 Tage).

Nr. der Probe	EVT-Nr.	Maße der Probe nach 28 Tagen [mm]					Datum	Gewicht [g]	Volumen [cm³]
		Länge	Breite	Höhe	Diagonale 1*	Diagonale 2*			
Anh-R154L-24	332V-06	62,8	61,5	63,6	87,4	87,6	16.09.2014	552,60	245,44
Anh-R154L-28	333V-06	62,1	61,9	62,8	87,4	87,8	16.09.2014	561,35	241,21
Anh-R154L-1a	334V-06	62,7	60,8	62,8	86,7	87,9	18.09.2014	723,41	239,40
Anh-R154L-3	335V-06	64,7	64,5	60,6	90,6	88,2	18.09.2014	718,97	252,50
Anh-R154L-5	336V-06	62,1	63,9	62,8	84,5	87,6	18.09.2014	636,35	249,01
Anh-R154L-6	337V-06	61,1	62,3	64,1	84,1	87,4	18.09.2014	658,65	243,81
Anh-R154L-8a	338V-06	60,5	61,3	62,5	82,6	85,2	18.09.2014	640,81	231,61
Anh-R154L-9a	339V-06	62,7	63,2	57,6	87,2	83,8	18.09.2014	542,28	228,25
Anh-R154L-11	340V-06	60,4	60,6	61,7	85,0	85,3	19.09.2014	601,07	225,47
Anh-R154L-13a	341V-06	61,2	61,1	60,4	85,4	85,1	19.09.2014	584,23	225,30
Anh-R154L-17	342V-06	58,9	62,1	61,1	84,1	84,7	19.09.2014	567,82	223,12
Anh-R154L-18	343V-06	60,3	59,3	61,2	84,6	85,4	19.09.2014	570,42	218,66

Nach 28 Tagen des Versuchszeitraumes sind keine signifikanten Veränderungen an den Probenkörpern zu beobachten gewesen.

Tabelle 33: Maße der Probenkörper am Ende des Versuchszeitraumes (Zeit: 56 Tage).

Nr. der Probe	EVT-Nr.	Maße der Probe nach 56 Tagen [mm]					Datum	Gewicht [g]	Volumen [cm³]
		Länge	Breite	Höhe	Diagonale 1*	Diagonale 2*			
Anh-R154L-24	332V-06	63,2	61,6	63,7	87,3	87,5	14.10.2014	552,88	247,60
Anh-R154L-28	333V-06	62,1	62,2	63,0	87,4	87,8	14.10.2014	561,44	243,35
Anh-R154L-1a	334V-06	62,4	61,0	62,6	86,6	87,8	16.10.2014	723,46	237,90
Anh-R154L-3	335V-06	64,8	64,2	60,7	90,5	88,1	16.10.2014	718,93	252,12
Anh-R154L-5	336V-06	62,1	63,5	63,0	84,7	87,3	16.10.2014	636,50	248,24
Anh-R154L-6	337V-06	61,0	62,2	64,0	84,0	87,3	16.10.2014	658,62	242,83
Anh-R154L-8a	338V-06	60,5	61,4	62,3	83,9	84,6	16.10.2014	640,83	231,24
Anh-R154L-9a	339V-06	62,7	63,2	57,6	87,3	83,9	16.10.2014	542,23	228,05
Anh-R154L-11	340V-06	60,4	60,5	61,5	83,8	85,0	17.10.2014	601,08	224,55
Anh-R154L-13a	341V-06	61,1	60,9	60,4	85,1	84,7	17.10.2014	584,27	224,38
Anh-R154L-17	342V-06	58,8	62,0	60,9	83,6	84,1	17.10.2014	567,64	221,66
Anh-R154L-18	343V-06	60,0	59,1	61,2	84,4	85,4	17.10.2014	570,53	217,02

Nach 56 Tagen des Versuchszeitraumes sind keine signifikanten Veränderungen an den Probenkörpern zu beobachten gewesen. Leichte Gewichts- und Volumenzunahmen wurden ermittelt, welche sich jedoch ausschließlich im Bereich von wenigen Gramm bzw. Kubikzentimetern bewegen. An der Ausgangsform der Probenkörper haben sich keine Veränderungen ergeben.

Die Untersuchungen zur Quellfähigkeit der Proben aus den Anhydritbereichen des Salinarabschnittes ergeben, dass ein ausgeprägtes Quellverhalten als unwahrscheinlich eingestuft wird.

6.4.3.2.4.3 Strömungstechnische Untersuchungen

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen an Kernprobenmaterial der Bohrung Remlingen 15 erfolgten durch die IBeWa Ingenieurpartnerschaft Freiberg strömungstechnische Untersuchungen an Kernproben aus dem Bereich des Oberen Buntsandsteins. Es wurden 25 Proben im Teufenbereich von 154 mT bis 436 mT entnommen und auf Wassergehalte, Porengrößenverteilungen, Porositäten und Permeabilitäten untersucht. Zusätzlich erfolgte die Bestimmung des Quellverhaltens an zwei tonmineralreichen Siliziklastit-Proben (einaxiale Quelldruckversuche).

Grundsätzlich bestätigen die Ergebnisse der im Rahmen der strömungstechnischen Untersuchungen durchgeführten Tests (vgl. [15]), dass das mit der Bohrung Remlingen 15 erkundete Gebirge am konkreten Standort als dicht einzustufen ist.

Die detaillierte Beschreibung der Durchführung und Auswertung sowie die Ergebnisdarstellung der strömungstechnischen Untersuchungen erfolgte durch IBeWa in einem eigenständigen Bericht [15]***. Die Ergebnisse der strömungstechnischen Untersuchungen sind für die lithologische und stratigrafische Einstufung der Bohrung Remlingen 15 nicht relevant. Sie werden daher im vorliegenden Bericht nicht weiter erläutert oder interpretiert.***

7 Ergebnisse und Diskussion/Bewertung

Es wird darauf hingewiesen, dass die feldgeologische Beschreibung und Dokumentation des Bohrkernes als Grundlage für die im Gesamtkontext erstellten Berichte [6] ***und*** [8] ***und der dort gemachten Teufenangaben diente.***

Für die Korrelation der geophysikalischen und geologischen Informationen sowie der durchgeführten Bohrlochmessungen, Untersuchungen und der entnommenen Proben wurden für jeden Abschnitt der Bohrung Remlingen 15 so genannte *Synopsendarstellungen* angefertigt. Diese Synopsen können den Anhängen 1.1 bis 1.7 zum vorliegenden Bericht entnommen werden.

7.1 Deckgebirge

Mit der Remlingen 15 wurden im Bereich des Deckgebirges Schichtenfolgen aus dem Unteren Muschelkalk, dem Oberen Buntsandstein im Wesentlichen in steilgestellter Lagerung erbohrt. Des Weiteren beinhaltet die Beschreibung des Deckgebirges die sekundären Sulfate des Hutgesteins, welche sich auf Grundlage der feldgeologischen Bohrkernaufnahme und der bisherigen geologischen und geochemischen Untersuchungen nicht deutlich vom Oberen Buntsandstein trennen lassen.

7.1.1 Geologische Schichtabfolge und stratigrafische Zuordnung

Zur Verifizierung der stratigrafischen Einordnung der erbohrten und feldgeologisch aufgenommenen Gesteine der Remlingen 15 erfolgten zahlreiche Untersuchungen, welche in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich beschrieben wurden. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen ist für das mesozoische Deckgebirge (Muschelkalk und Buntsandstein) eine im Vergleich zur feldgeologischen Bohrkernaufnahme konkretere stratigrafische Untergliederung möglich.

Im Liegenden der Röt-Formationen des Oberen Buntsandsteins wurden Gesteine aufgeschlossen, welche mit Hilfe der feldgeologischen Bohrkernaufnahme sowie der Ergebnisse der durch IBeWa durchgeführten Untersuchungen an Bohrkernproben in einen Abschnitt ohne konkrete stratigrafische Zuordnung (395,5 mT bis 439,6 mT) und in das so genannte Hutgestein (Ansprache als sekundäre Sulfate (Hut), 439,6 mT bis 443,8 mT) untergliedert wurden. Aus den

Untersuchungen der IBeWa geht für den Abschnitt ohne stratigrafische Zuordnung kein Ergebnis hervor, welches eine konkrete Zuordnung der untersuchten Proben zum hangenden Röt (Röt 1) oder zum liegenden Hutgestein zulässt. Für den Abschnitt der sekundären Sulfate (Hut) wurden keine Proben aus dem Bohrkern für Untersuchungen entnommen, sodass die feldgeologische Bohrkernansprache weder bestätigt noch wiederlegt werden kann.

7.1.1.1 Muschelkalk (0 mT bis 130,4 mT)

7.1.1.1.1 Lithologische Beschreibung

Die lithologische Beschreibung der feldgeologischen Bohrkernaufnahme (vgl. Tabelle 8 in Kapitel 4.2.1) bestätigt sich durch die Auswertung der geophysikalischen Messungen.

Die Schwankungen des Gamma-Logs über den gesamten Teufenbereich des Muschelkalks (Wertebereich zwischen 10 und 80 Cps) spiegeln den unterschiedlichen Tongehalt des am Bohrkern angesprochenen Kalksteins wieder. Die Abschnitte mit den geringeren Werten zeigen einen Kalkstein mit wenig Tonanteil an und mit steigenden Werten steigt der Tongehalt im Kalkstein. In den Bereichen mit erhöhten Werten ist im Bohrkern ein Kalkmergel zu erkennen. Anhand der Korrelation der verschiedenen Kurven können Sandsteineinschaltungen und evaporitische Sequenzen ausgeschlossen werden.

Insgesamt zeigt die GR-Kurve des ersten Bohrabschnittes eine karbonatische Abfolge mit tonig-mergeligen Bereichen bis in eine Teufe von 130,4 mT. An dieser Stelle wird ein deutlich lithologischer Wechsel in der GR-Kurve mit der Erhöhung der Cps von 40 auf etwa 80 bis 100 angezeigt. Dieser lithologische Wechsel spiegelt zugleich den stratigrafischen Wechsel vom karbonatischen Muschelkalk zum tonreichen Oberen Buntsandstein wider. Der stratigrafische Wechsel ist an den Kurven von GR, DLL, ABF, Sonic, GG und NN ebenfalls sehr deutlich zu erkennen.

Der Abstand zwischen den Kurven LL3-D (DLL) und LL3-S (DLL) spiegelt vermutlich höhere Porositäten im Bereich des Muschelkalks wieder, was mit der lithologischen Situation am Bohrkern in Einklang gebracht werden kann. Mit Beginn der Buntsandstein-Formation (130,4 mT) sind die Kurven (LL3-D (DLL) und LL3-S (DLL)) auf Grund der Lithologie enger beieinander und zeigen damit geringere Porositäten an.

7.1.1.1.2 Stratigrafische Einordnung

Stratigraphisch ist das Kernprofil des Muschelkalks (0,0 mT bis 130,40 mT) der Oberen Wellenkalk-Zone und der unteren Schaumkalk-Zone der Mittleren Germanischen Trias zuzuordnen (vgl. [16]). Die verschiedenen Profilabschnitte liegen nicht im ursprünglichen Verband vor, was vermutlich durch halokinetisch bzw. -tektonische Deformation des Deckgebirges begründet werden kann. Für den Muschelkalk wurde durch IBeWa ([16]) eine stratigraphische Aufeinanderfolge rekonstruiert (Abbildung 28) die durch komplizierte tektonische Prozesse, im Unteren Muschelkalk vermutlich sowohl durch Abschiebungen als auch Aufschiebungen, erklärt werden kann. Die untersuchten Profilabschnitte im Muschelkalk belegen stratigraphisch nahezu den gesamten Bereich des Oberen Wellenkalks. Ein kleiner Bereich von basalem Mittlerem Muschelkalk konnte außerdem nachgewiesen werden [16]. Dieser Bereich umfasst den Teufenabschnitt 49,80 mT bis 52,00 mT (vgl. dazu auch [6] und [8]) und ist in Abbildung 28 mit den Orbicularis-Schichten gekennzeichnet.

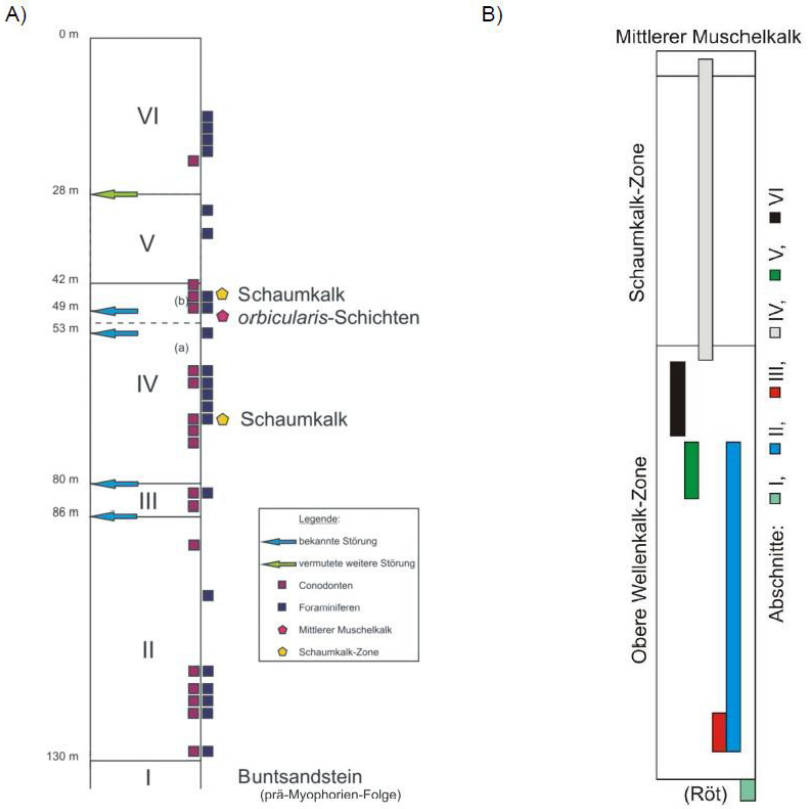


Abbildung 28: Synthese der Daten der mikropalöontologischen Untersuchungen zu einem holostratigrafischen Modell für den Bereich des Muschelkalks. Aus [16]

Abbildung 28 zeigt die stratigraphische Einordnung einer Auswahl untersuchter Proben in die lithostratigraphische Gliederung des beprobten Gesamtprofils. Das mit A) bezeichnete Profil stellt die Untergliederung des Profils in separierte Abschnitte sowie die Positionen von Störungen, lithostratigraphischen Marker-Horizonten und signifikanter Mikrofossil-Führung dar. Das in Abbildung 28 mit B) bezeichnete Profil charakterisiert eine Übersicht zur Interpretation der stratigrafischen Reichweiten der in A) definierten Abschnitte.

- Der Bereich von 0,0 mT bis etwa 28 mT des Muschelkalkprofils (***Abschnitt VI***) weicht lithofaziell von den anderen Profilabschnitten etwas ab. Eine solche Lithofazies tritt anderenorts ganz ähnlich innerhalb der Schaumkalkzone auf (zwischen den Schaumkalk-Bänken). Die Mächtigkeit dieses Abschnittes erscheint als Beleg dafür jedoch viel zu groß; Horizonte, die in der Schaumkalk-Fazies auftreten, fehlen. Eine Zuordnung zum Mittleren oder gar Unteren Wellenkalk ist aufgrund des Fehlens jeglicher ökostratigraphischer Leitbänke auszuschließen. Es ist zu schlussfolgern, dass dieser Muschelkalkabschnitt (0,0 mT bis 28 mT) einen Profilbereich markiert, der stratigraphisch oberhalb des ***Abschnitts II*** und gleichzeitig unterhalb der Schaumkalk-Zone (***Abschnitt IV***, Teufenbereich 42 mT bis 80 mT) einzuordnen ist. Die Schaumkalk-Zone ist nur mit ihrem unteren Bereich vorhanden; der Mittlere Muschelkalk (Orbicularis-Schichten) lediglich mit seiner Basis.

- Der Teufenabschnitt 28 mT bis 42 mT (***Abschnitt V***) des Muschelkalkprofils liefert keine eindeutigen Hinweise für eine stratigraphische Einstufung. Jedoch ähnelt er lithofaziell dem höheren Bereich des ***Abschnittes II*** zwischen 80 mT bis 130 mT, so dass eine Korrelation zwischen diesen beiden Bereichen denkbar ist.
- Der Profilabschnitt von 42 mT bis 80 mT (***Abschnitt IV***) wird nochmals in zwei Einheiten separiert, da diese eine tektonisch bedingte Profilwiederholung darstellen (zweimal Untere Schaumkalk-Bank). In diesem ausgewiesenen Störungsbereich tritt der Mittlere Muschelkalk in Form von Orbicularis-Schichten auf. Oberhalb und unterhalb des Mittleren Muschelkalks ist jeweils eine Störung durch die Auswertung der bohrlochgeophysikalischen Messungen (ABF (Amplitute und Strukturen) sowie Kaliber) identifiziert worden.
- Insgesamt ist der Profilabschnitt IV gem. ABF-Auswertung zusätzlich durch eine Vielzahl von Klüften (76 Klüfte auf 38 m Kernstrecke (Teufenbereich 42 mT bis 80 mT)), geöffneten Klüften (5 Stück im genannten Abschnitt) und vereinzelt geöffneten Schichtflächen (19 Stück im genannten Abschnitt) gekennzeichnet. Für einen Störungsbereich sprechen zudem das erfasste Erscheinungsbild des entnommenen Bohrkernes (vgl. [6]) sowie die ermittelten Spülungsverluste (vgl. Kapitel 4.2.1).

- Es ist lithostratigraphisch belegt, dass dieser Profilabschnitt (42 mT bis 80 mT) im obersten Oberen Wellenkalk einsetzt und bis in die Untere Schaumkalk-Zone reicht. Der Störungsbereich, in welchem der Mittlere Muschelkalk auftritt, unterdrückt weite Bereiche der Schaumkalk-Zone selbst.
- Die ermittelte Conodonten-Fauna in ***Abschnitt III*** (80 mT bis 86 mT in Abbildung 28) ist in ihrer biofaziellen Zusammensetzung sehr ähnlich der Conodonten-Fauna im unteren Bereich des ***Abschnitts II*** (86 mT bis 130 mT). Nach den Ergebnissen der Conodonten ist die untere Hälfte des Teufenabschnittes von 86 mT bis 130 mT (***Abschnitt II***) sehr wahrscheinlich in den tieferen Teil der Oberen Wellenkalk-Folge zu stellen und repräsentiert damit den tiefsten, in der Bohrung aufgeschlossenen Abschnitt des Oberen Wellenkalks.

Der Interpretationsansatz, basierend auf den Ergebnissen der mikropaläontologischen Untersuchungen belegt, dass die Abfolge eine Sedimentation auf einem flachen niedrigenergetischen Karbonatschelf mit tempestitischen Einflüssen anzeigt. Geringe Meeresspiegelschwankungen führten zu Milieuänderungen hinsichtlich Salinität, Lebewelt und Sedimenttyp, die für regionale Korrelationszwecke benutzt werden können. Die Sedimente unterlagen mutmaßlich einer markanten diagenetischen Überprägung, welche eine Beeinträchtigung der Erhaltung karbonatischer Biota sowie eine abschnittsweise Imprägnierung durch neomorphe Sulfat-Minerale einschließt. Letzteres wird auf Mobilisierung entsprechender Fluide des Zechsteins relativ zeitig in der Diagenese zurückgeführt [16].

Insgesamt ergibt sich ein stratigraphisches Modell, welches auf biostratigraphisch-biofaziellen Einstufungen, lithostratigraphischen Positionierungen sowie litho-ökostratigraphischen Ableitungen basiert, und welches eine halokinetisch/-tektonisch verkomplizierte Situation im Bereich des Oberen Wellenkalks bis zur Basis des Mittleren Muschelkalks widerspiegelt. Mit den Ergebnissen der mikropaläontologischen Untersuchungen am Muschelkalk sind die geologischen Feldaufnahmen präzisiert worden.

Basierend auf den mikropaläontologischen Auswertungen durch IBeWa [16] ergibt sich für den Muschelkalk folgende Abfolge (Tabelle 34):

Tabelle 34: Stratigrafische Abfolge für den Bereich des Muschelkalks (0 mT bis 130,4 mT)

Teufe [mT]	Beschreibung
0 – 28 mT	oberhalb Oberer Wellenkalk und gleichzeitig unterhalb Schaumkalkzone
Störung	
28 – 42 mT	keine Hinweise für eine konkrete stratigrafische Einstufung innerhalb des Muschelkalks, auf Grund von Ähnlichkeiten zum Oberen Wellenkalk gezählt.
42 – 49 mT	Untere Schaumkalk-Bank (tektonisch bedingte Profilwiederholung)
Störung	
49 – 53 mT	Basaler Mittlerer Muschelkalk (Orbicularis-Schichten)
Störung	
53 – 80 mT	Untere Schaumkalk-Bank (tektonisch bedingte Profilwiederholung)
Störung (?)	
80 – 86 mT	Oberer Wellenkalk
Störung	
86 – 95 mT	Oberer Wellenkalk
Störung (?)	
95 – 130,4 mT	Oberer Wellenkalk
Störung	

Die Abfolge für den Unteren Muschelkalk der Bohrung Remlingen 15 ist in der nachfolgenden Abbildung 29 zusätzlich grafisch dargestellt.

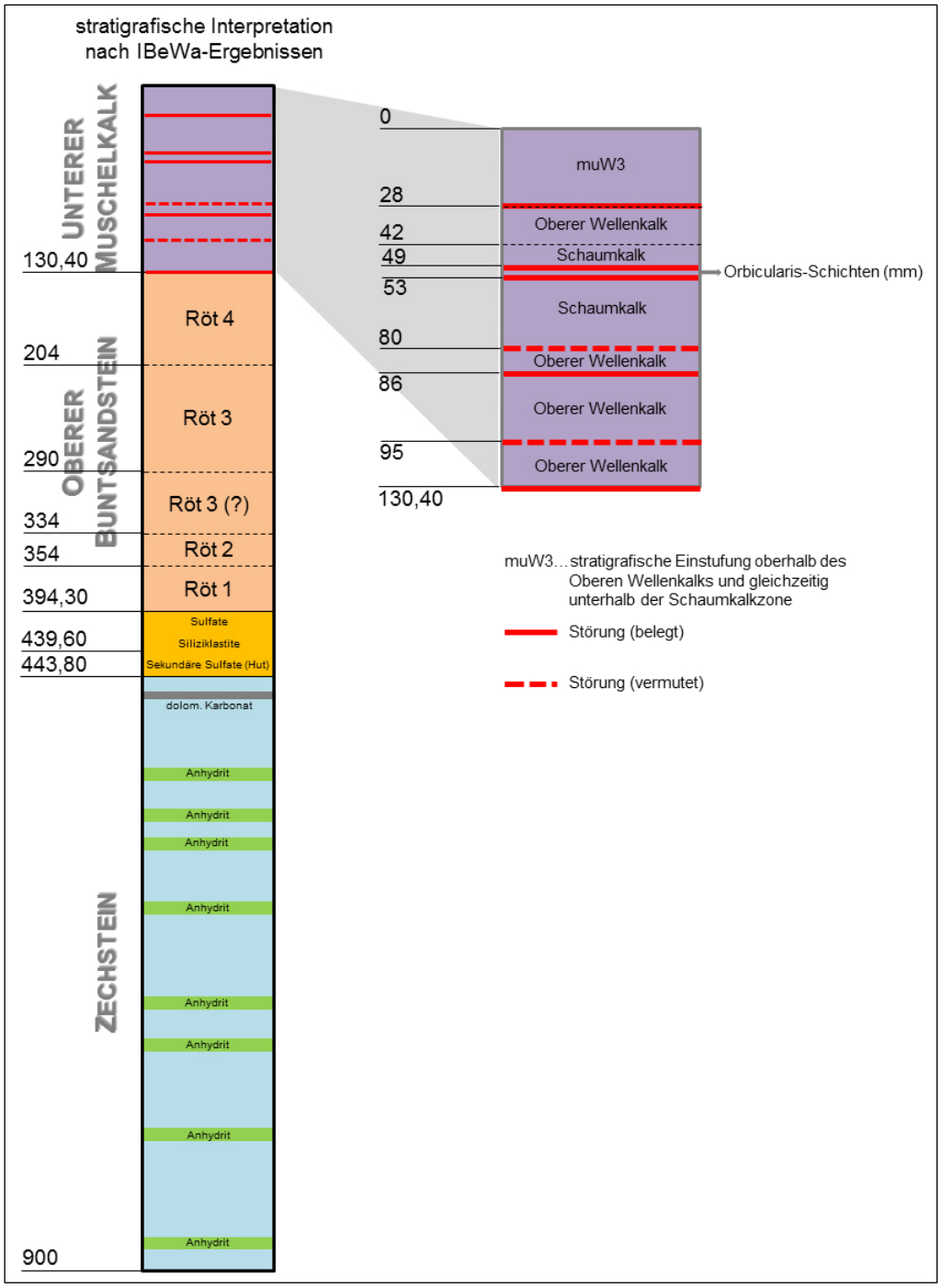


Abbildung 29: Veranschaulichung der stratigrafischen Interpretationen für die Bohrung Remlingen 15. Vergrößerter Auszug für den Bereich des Unteren Muschelkalks.

Bei 130,4 mT liegt der stratigrafische Übergang vom Unteren Muschelkalk (1. Bohrabschnitt) zum Oberen Buntsandstein (2. Bohrabschnitt). Der stratigrafische Wechsel vom Muschelkalk zum

Buntsandstein ist an der Gamma-Ray-Kurve des ersten Abschnittes an einer deutlichen Zunahme der Cps von 40 bis 50 Cps auf 80 bis 110 Cps zu erkennen. Das ABF-Log (Amplitude) zeigt sich ab 130,4 mT mit einer merklich dunkleren Amplitude und zeigt damit ebenfalls den stratigrafischen und lithologischen Wechsel an.

7.1.1.2 Buntsandstein (130,4 mT bis 394,30 mT)

7.1.1.2.1 Lithologische Beschreibung

Der obere Buntsandstein in der Bohrung Remlingen 15 wird als Wechselfolge von meist rötlich braunen, schluffig bis sandigen Ton- bis Tonmergelsteinen sowie Feinsandsteinen charakterisiert (Siliziklastite). Untergeordnet finden sich Einschaltungen von Evaporiten (Sulfat, Karbonat, anhydritische Bindemittel, ca. 10%) und Feinsand- bis Schluffsteinen (ca. 5 %).

Die Gamma-Ray-Kurve weißt deutlich auf Veränderungen in der lithologischen Abfolge gegenüber dem Muschelkalk bzw. dem 1. Bohrabschnitt hin, jedoch kann eine genaue Bestimmung der Lithologie nur im Vergleich mit anderen geophysikalischen Messungen sowie der geologisch-geochemischen Untersuchungen stattfinden. Anhand des Gamma-Logs lassen sich folgende Aussagen zur Lithologie für den zweiten Bohrabschnitt allgemein wie folgt ableiten:

- Gemäß den bohrlochgeophysikalischen Messungen des 1. Abschnittes sowie der Bohrkernaufnahme liegt der stratigrafische Übergang vom Unteren Muschelkalk zum Oberen Buntsandstein bei 130,4 mT.
- Von 135 mT bis 143 mT liegt die GR-Kurve bei Werten um 100 Cps, was mit einer deutlich schluffigeren bis sandigeren Lithologie begründet werden kann.
- Danach folgt bis in eine Teufe von 154,5 m eine sehr deutlich zu erkennende Wechselfolge von feinsandigen und schluffig-tonigen Schichten, die durch Gips- und Anhydritlagen unterbrochen werden. Die Cps-Werte der GR-Kurve schwanken je nach Lithologie zwischen 20 Cps (Gips/Anhydritlagen) und 120 Cps (schluffig-tonig bis feinsandig). Die geophysikalischen Messungen spiegeln die Bohrkernaufnahme gut wieder.
- Ab 154,5 mT ist ein markanter Anstieg der Cps-Werte von 20 Cps auf etwa 150 Cps zu sehen, die wesentlich weniger schwanken als im oberen Bereich des zweiten Abschnittes. Diese Werte beschreiben einen hohen Schluff- bis Sandanteil im anstehenden Gestein bis 253,5 mT, woraus ein Schluff- bis Feinsandstein abgeleitet wird.

- Der Abschnitt wird bei 200,5 mT bis 203 mT und etwa 245 m sowie bei 253 m durch deutlich geringe GR-Werte unterbrochen, die einen geringen Tonanteil in diesen Horizonten bedeuten und damit in Verbindung mit der Bohrkernaufnahme einen Kalksandstein-Horizont bzw. eine Anhydritlage bei 245,2 mT bis 245,5 mT repräsentieren. In der IBeWa-Probe (vgl. [20], Probe-Nr. P237-2/108-111) sind neben Tonmineralen auch Glimmer und Feldspäte mit 6 % bzw. 15 % an der mineralogischen Zusammensetzung beteiligt. Damit erreichen die Kalksandsteine Cps-Werte um 80 -100.
- Von 258 mT bis 393 mT liegt die GR-Kurve bei Werten zwischen 100 Cps und 150 Cps, was durch hohe Schluff- und Sandsteinanteile im Gestein begründet werden kann.
    - Bei 289 mT bzw. 290 mT zeigt die GR-Kurve einen Anstieg bis etwa 180 Cps und 240 Cps an. Diese Werte zeigen dort auftretende Tonsteinlagen an
- Ab 393 mT ist ein markanter Abfall der Cps-Werte bis auf etwa 25 Cps im Mittel zu sehen. Diese Werte beschreiben ab 395 mT die während der feldgeologischen Aufnahme beschriebenen und durch IBeWa ([19]) konkretisierten Sulfatgesteine ohne stratigrafische Einstufung (Gips- und Anhydritsteine).

Mit Hilfe der Korrelation von GR, DLL (LL3-S, LL3-D; Widerstand), DIL (ILM, ILD; Leitfähigkeit des Gebirges) und dem Sonic-Log (FWS) lässt sich der beschriebene lithologische Wechsel bei etwa 395 mT an den einzelnen Kurvenverläufen ablesen. Wie bereits beschrieben stellt sich das in der GR-Kurve durch einen deutlichen Abfall der Cps-Werte dar. Gleichzeitig charakterisiert die Widerstandskurve diesen lithologischen Wechsel mit einem abrupten, scharfen Anstieg der Werte von etwa 2 Ohm Meter auf mehr als 20 Ohm. Die definierten Anomalien (Kalksandsteinlagen bzw. Lagen mit höherem schluffig-sandigem bis tonigem Anteil) spiegeln sich in der Widerstandkurve wieder (niedrigere Widerstandswerte). Die DIL-Kurve (Leitfähigkeit des Gebirges) verläuft ab 395 mT gegenläufig zur Widerstandskurve. Sowohl die Vs-Kurve als auch die Vp-Kurve (FWS) zeigen mit ihren Kurvenverläufen ebenfalls den Wechsel der Lithologie an. Die Geschwindigkeiten Vp steigen von 2600 m/s auf etwa 4500 m/s (ab einer Teufe von 395 m) an. Die Geschwindigkeiten Vs steigen von 1750 m/s auf ca. 2400 m/s an.

Insgesamt spiegelt die GR-Kurve die beschriebenen Siliziklastite (Wechsellagerung von Ton-, Schluff- und Feinsandstein) gut wieder und unterstützt die feldgeologische Bohrkernbeschreibung.

Das Dichte-Log (Gesteinsdichte) für den Teufenabschnitt von 135 mT bis 259 mT verhält sich unauffällig. Zwischen 135 mT und 139 mT liegt die gemessene Gesteinsdichte bei 2,3 bis 2,4

g/cm^3. Bei 139 mT geht die Dichte bis auf 2,0 g/cm^3 zurück. Ab etwa 142 mT steigt die Dichtekurve (Gesteinsdichte) von 2,0 g/cm^3 auf 2,5 bis 2,7 g/cm^3 an und zeigt diese Dichtewerte kontinuierlich bis in eine Teufe von 257 mT an. Der Maximalwert der im Teufenabschnitt 135 – 259 mT erfassten Gesteinsdichten liegt mit 2,9 g/cm^3 in 258 mT (vgl. Anhang 1.2).

Das Dichte-Log (Gesteinsdichte) für den Abschnitt zwischen 259 bis 417 mT verhält sich weitestgehend unauffällig. Zwischen 260 mT und 263 mT zeigt die Kurve Dichtewerte von ca. 2,1 g/cm^3. Bei 263 mT nimmt die Dichte rasch ab (auf etwa 1,5 g/cm^3) und steigt danach stetig wieder bis auf ca. 2,2 g/cm^3 an. Einzelne Anomalien (deutlich geringere Dichte) bei 287 mT, 315 mT und 339 mT können nicht eindeutig erklärt werden. Das ABF-Log stellt sich in diesen Teufen mit einer deutlich dunkleren Amplitude dar; die Anomalie in 287 mT kann eventuell mit einer dort auftretenden Kluft in Verbindung gebracht werden. Aus der fotografischen Dokumentation des Bohrkernes gehen keine eindeutigen Hinweise auf Klüftigkeit oder sehr stark zerbrochenes Gebirge hervor. Lediglich für die Anomalie in 315 mT stellt sich der Bohrkern im Foto aufgelockerter dar. Die Strukturauswertung zeigt hier keine Auffälligkeiten. Die genannten Anomalien der Gesteinsdichte (Minimum-Peaks) lassen sich lithologisch nicht erklären. Das Kaliber-Log stellt sich in den genannten Anomalie-Teufen (287 mT, 315 mT und 339 mT) mit deutlichen Kaliberausbrüchen dar. Gegebenenfalls sind Kluftflächen, Störungen oder auch Ausbrüche in der Bohrlochwand im Allgemeinen für diese Anomalien verantwortlich.

Entsprechend der Ergebnisse der chemischen Untersuchungen [19] aber auch der Untersuchungen zum Phasenbestand der Proben des Buntsandsteinabschnittes [17] wird der Probenahmebereich 157,85 mT bis 393,85 mT (vgl. dazu [19] und Anhang 7 zum vorliegenden Bericht) durch Siliziklastite des so4 (Röt4 Subformation) bis so1 (Röt1 Subformation) charakterisiert. Es handelt sich hierbei insgesamt um eine Wechsellagerung von Ton-, Schluff-, Feinsandsteinen mit anhydritischem Bindemittel und teilweise auch mit Sulfateinlagerungen. Die Siliziklastite des Oberen Buntsandsteins sowie auch die Proben aus dem Bereich von 436 mT bis 439 mT charakterisieren sich durch hohe Mg-, S- und Cl-Gehalte.

7.1.1.2.2 Stratigrafische Einordnung

In Niedersachsen richtet sich die Untergliederung des Oberen Buntsandsteines vor allem nach der Arbeit von Hinze [28]. Es werden die Subformationen Röt 1 bis Röt 4 ausgehalten, die eine weitere interne Auflösung beinhalten.

Mit Hilfe der mikroskopischen Dünnschliffanalysen, der Detaildokumentation der Kernstücke und der Kernbefahrung bei den Probenahmen konnte die IBeWa den Buntsandsteinabschnitt in die Rötsubformationen (Röt 1 bis Röt 4) unterteilen [17]. Die Rötsubformation 4 (Röt 4) wird zum Hangenden durch die stratigrafische Grenze zwischen Unterem Muschelkalk und Oberem Buntsandstein bei 130,ζ0 mT markiert. Diese stratigrafische Zuordnung ist mit der „höchsten“ entnommenen Probe bei etwa 136 mT belegt.

Basierend auf den mikropaläontologischen Auswertungen durch IBeWa [18] ergibt sich für den Buntsandstein der Remlingen 15 die in Abbildung 30 dargestellte Abfolge.

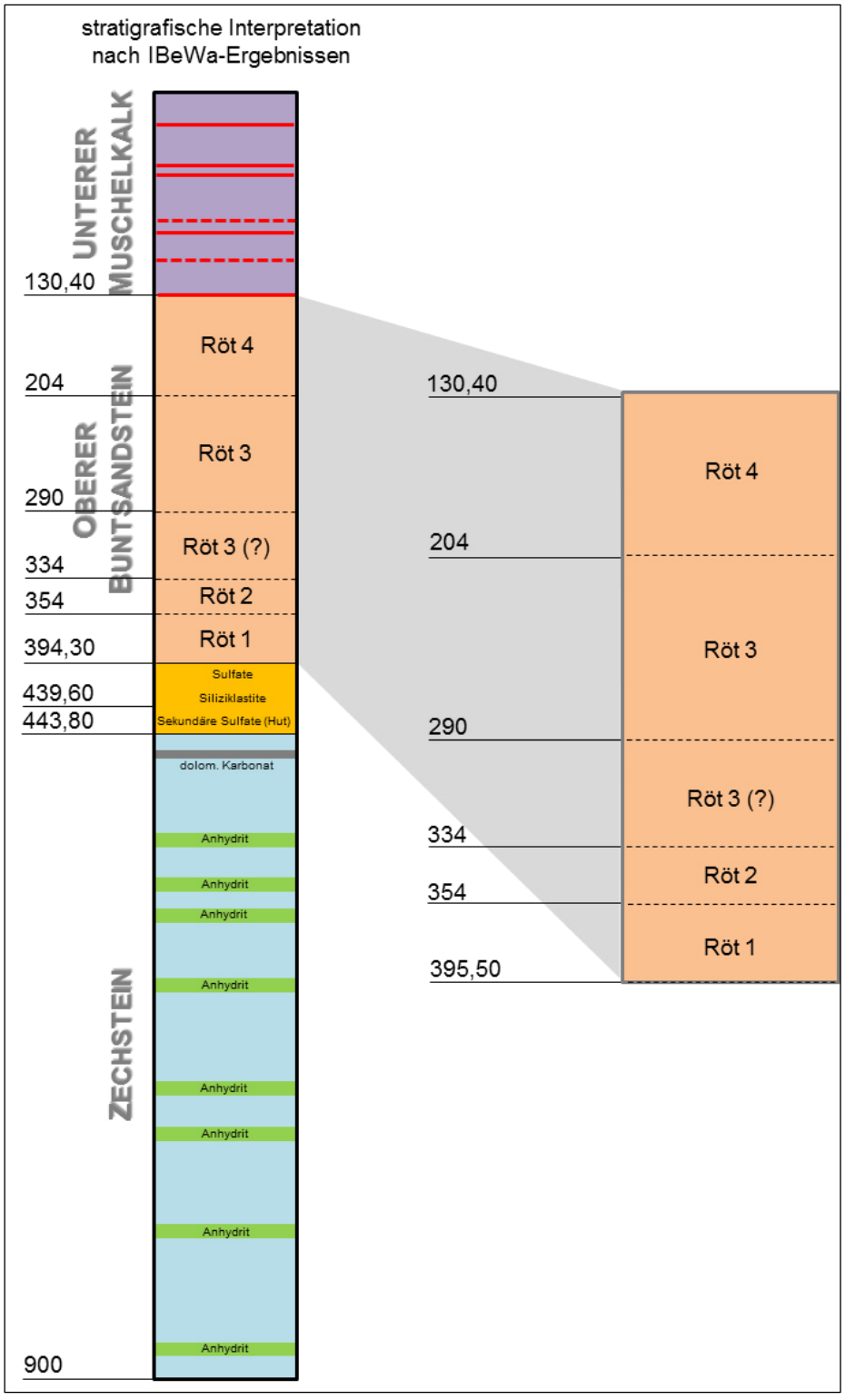


Abbildung 30: Veranschaulichung der stratigrafischen Interpretationen für die Bohrung Remlingen 15. Vergrößerter Auszug für den Bereich des Oberen Buntsandsteins.

Nach [17] und entsprechend der Bohrkernaufnahme lassen sich die verschiedenen Röt-Formationen wie folgt beschreiben:

- Das so4/Röt 4 zwischen 130,4-204 mT setzt sich vorwiegend aus aus karbonatischen Feinsandsteinen und Schluffsteinen sowie Kalksandsteinen zusammen. Im Hangenden Bereich der Röt 4-Subformation wurden durch die mikroskopischen Untersuchungen Dolomitgesteine und Dolomit-Sulfat-Mischgesteine ermittelt.
    - Die Liegendgrenze des Röt 4 zum Röt 3 wird auf Basis der mikropalöontologischen Ergebnisse bei 204 mT fest gemacht.
- Die Siliziklastite der Röt 3-Subformation zwischen 204-290 mT können auf Basis der mikroskopischen Untersuchungen durch IBeWa sowie durch die feldgeologische Ansprache als Kalksandsteine und karbonatische Feinsand- bis Schluffsteine (tonig-feinsandig) bezeichnet werden. Vereinzelt treten sulfatische Bestandteile (Anhydrit) auf.
    - Die exakte Grenzziehung der Subformation Röt 3 zum Röt 2 ist auf Grund des relativ groß gewählten Probenintervalls nicht möglich. Fazielle Kriterien deuten darauf hin, dass der beprobte Profilbereich (290 mT und 334 mT) innerhalb des Pelitröts einzustufen ist und aufgrund fehlender Gipslagen dieser stratigrafische Abschnitt noch weiter auf die Rote Werksfolge (höhere Karsdorf-Subformation), also der Subformation des Röt 3, einzugrenzen ist. Jedoch ist wegen fehlender eindeutiger, paläontologischer Indikatoren nicht vollständig ausschließbar, dass die sedimentäre Sequenz zwischen 334 mT und 354 mT eher in die Subformation des Röt 2 einzustufen ist. Die stratigrafische Grenze zwischen Röt 3 und Röt 2 ist also auf Grund fehlender eindeutiger, pläontologischer Indikatoren nur in einen groben Teufenbereich von 290 mT und 334 mT eingrenzbar.
- Der Teufenbereich 290 mT bis 334 mT charakterisiert sich vorwiegend durch karbonatische Feinsand- und Schluffsteine (tw. dolomitisch-anhydritisch), Mergel- bis Tonmergelsteine sowie Kalksandsteine. Lokal treten Karbonatgesteine in Form von Oolithen auf (z.B. in 320 mT).
- Die Grenze von Röt 2 zu Röt 1 wird bei etwa 354 mT vermutet.
- Das Röt 1 ab 354 mT setzt sich aus aus Ton- und Schluffsteinen sowie untergeordnet Feinsandsteinen zusammen.

In Tabelle 35 sind die stratigrafischen Grenzen zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 35: Stratigraphische Untergliederung der Rötsequenz. Nach [17].

Stratigraphischer Bezug	Teufenbezug der Bohrung R15
Grenze mu/Röt 4	bei 130,40 mT (erste Probe bei 136 mT)
Grenze Röt 4/Röt 3	etwa bei 204 mT
Grenze Röt (3)*/Röt 3	etwa bei 290 mT
Grenze Röt 3/Röt 2	etwa bei 334 mT
Grenze Röt 2/Röt 1	etwa bei 354 mT

* vermutlich Röt 3, möglicherweise mit Anteilen von Röt 2, nach [17]

Das Röt 4 erstreckt sich mit einer wahren Mächtigkeit von ca. 74 m von 130,40 mT bis etwa 204 mT der Bohrung. Da die Grenze zwischen Röt 3 und Röt 2, wie oben beschrieben, nicht genau einzugrenzen ist, schwankt hier die Mächtigkeit (wahre Mächtigkeit) des Röt 3 zwischen 85 m und 130 m. Ebenso schwankt die Mächtigkeit (wahre Mächtigkeit) des Röts 2 zwischen 20 m und 65 m, da hier nur die Liegendgrenze zum Röt 1 bei etwa 354 mT bekannt ist.

Den feldgeologischen Beschreibungen und der fotografischen Dokumentation des Bohrkernes entsprechend, deutet sich im Teufenbereich bei 394,3 mT ein deutlicher lithologische Wechsel zunächst mit einer Veränderung der Farbe (Wechsel von rotbraun zu grau) und dem Auftreten von Gipsanteilen im Tonstein an. Der Bohrkern von 393-394 mT ist nach den Untersuchungen des IBeWa [19] sowie nach der lithologischen Beschreibung in [8] noch zur Röt1-Subformation zuzuordnen. Ab 400,35 mT sind durch IBeWa [19] Sulfatgesteine (Anhydrit/Gips) nachgewiesen worden, welche jedoch nicht stratigrafisch eingeordnet werden können (vgl. Kapitel 7.1.1.3). Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen kann eine Zuordnung zum Röt 1 bzw. Hutgestein ab 394,3 mT bislang weder belegt noch ausgeschlossen werden.

Für eine Präzisierung der lithostratigraphischen Einordnung müsste zusätzlich eine differenzierte Detaildokumentation der Lithofazies durchgeführt werden. Mit dieser könnten vermutete Schichtverdopplungen und/oder Schichtausfälle erfasst werden.

Zur weiteren Verifizierung der lithostrtigrafischen Gliederung und biostratigrafischen Einstufung wurden weiterhin Proben für Pollenanalysen (Palynologie) aus dem Bereich des Buntsandsteins entnommen. Eine ausführliche tabellarische Übersicht aller entnommenen Proben für die palynologischen Untersuchungen ist im vorliegenden Bericht in Anhang 7 und Tabelle „23“ zusammengestellt. Die palynologischen Untersuchungen ergaben für die Proben aus dem Oberen Buntsandstein (2. und 3. Bohrabschnitt) keine verwertbaren Ergebnisse.

Das beprobte und untersuchte Material aus dem Bereich des Oberen Buntsandsteins der Remlingen 15 hatte nicht das erhoffte mikrobiostratigraphische Potenzial. Dennoch lieferten bio- und sedimentfazielle Analysen stratigraphische Indizien, die zu einer stratigraphischen Schlussfolgerung führten. Die auf der Basis der Ergebnisse getroffene stratigraphische Einstufung des untersuchten Beprobungsintervalls ist weitestgehend begründet. Die fazielle Charakterisierung des Ablagerungsraumes konnte auch mit dem limitierten Probenmaterial durchgeführt werden und lieferte ein konsistentes und dezidiertes Modell.

7.1.1.3 „Hutgestein“ (394,3 mT bis 443,8 mT)

7.1.1.3.1 Lithologische Beschreibung

Der Teufenbereich zwischen 394,3 mT und 435,2 mT beschreibt Sulfatgesteine, welche auf Basis der durchgeführten Untersuchungen jedoch nicht konkret stratigrafisch eingeordnet werden. Er wird nachfolgend als „Sulfate (o.E.)“ bezeichnet.

Grundsätzlich spiegeln sich die Ergebnisse der lithologischen Ansprache (vgl. [8]) in den Kurvenverläufen der Logs wieder. Hierbei wurden für den 4. Abschnitt vor allem das GR-Log, das DLL-Log (LL3-D und LL3-S), das ABF-Log sowie die Dichte-Kurve betrachtet.

- Der Kurvenverlauf des GR wird zwischen 395 mT und etwa 408 mT von einzelnen Spitzen (Cps-Werte bei 60-80 bzw. 120) unterbrochen, welche sich durch Kalksandsteinlagen bzw. durch Lagen mit höherem schluffig-sandigem bis tonigem Anteil beschreiben lassen.
- Die erhöhten Werte des GR-Logs im Teufenbereich von 405,5-406 mT werden im Folgenden nicht weiter betrachtet. Hier wird davon ausgegangen, dass es sich um einen durch die eingebaute Hilfsverrohrung beeinflussten Bereich handelt (vgl. Anhang 1.4). Das zugehörige ABF-Bild (Anhang 1.3 und 1.4) stellt sich in diesem Teufenabschnitt als unscharf dar und wird zur Interpretation des genannten Teufenbereiches nicht herangezogen. Das Widerstands-Log (DLL (LL3-S und LL3-D) in Anhang 1.3 korreliert im Teufenbereich 405 mT bis ca. 408 mT mit dem GR-Log (Zunahme GR-Kurve; Abnahme Widerstandskurve). Die durch erhöhten Tonanteil im Gestein verursachte Zunahme der GR-Werte korreliert mit der Abnahme des Widerstandes in diesem Bereich (Ton, Tonstein hat einen geringeren Widerstand als Gips/Anhydrit).
- Ab 406 mT ist eine leichte Veränderung der Gesteinsdichte erkennbar (Rückgang der Gesteinsdichte von 2,5 g/cm^3 (405,5 mT) auf 2,25 g/cm^3 (406 mT) und 2,0 g/cm^3 (407 mT).

Eine deutliche Abgrenzung des GR-Peaks ist in diesem Teufenbereich jedoch nicht erkennbar.

- Von 407 mT bis ca. 413 mT zeigt die GR-Kurve Werte von 10 Cps bis 30 Cps an; ab 413 mT steigen die Werte leicht auf 40-60 Cps in 420 mT an. Für diesen Teufenbereich sind mittels lithologischer Ansprache und durch die Untersuchungen der IBeWa [19] Sulfatgesteine (ohne stratigrafische Zuordnung), bestehend aus Anhydrit und Gips sowie untergeordnet Ton, definiert worden. Aus dem Dichte-Log lässt sich für diesen Bereich nichts auffälliges ableiten; die Dichte liegt hier nahezu konstant bei 2,25 g/cm^3, was vermutlich eine gemittelte Dichte für dieses „Mischgestein“ charakterisiert.
- Der Teufenabschnitt zwischen 422 mT und 427,8 mT stellt sich gleich dem oben beschriebenen Abschnitt (407-420 mT) dar. Von 420 mT bis 422 mT ist lithologisch ein Gestein beschrieben, welches zu deutlich höheren Anteilen aus Ton besteht. Dies ist in der GR-Kurve, im Widerstands-Log (DLL) sowie im Amplitudenbild des ABF (dunklere Amplitude) klar abzulesen; die Dichte-Kurve hingegen zeigt hier keinerlei Veränderungen an (das Spektrum für Tonstein beinhaltet das von Gips (bedingt auch von Anhydrit) und von Sandstein, weshalb es im Dichte-Log nicht trennbar ist). Zudem ist der erhöhte Tonanteil auch am Kaliber-Log ablesbar. Im genannten Teufenbereich stellt sich das Kaliber-Log durch Kaliberausbrüche dar, welche vermutlich durch den Tonanteil verursacht wurden.
- Im Teufenbereich von 427,8 mT bis 432,4 mT lässt sich mit Hilfe der GR-Kurve die fotografisch dokumentierte ([6]) und lithologisch beschriebene ([8]) Wechselfolge von tonreicheren und sulfatischen (Anhydrit/Gips) Gesteinen erkennen. Die erhöhten Gamma-Werte in diesem Teufenbereich stehen für die tonreichen Lagen. Ansatzweise spiegelt sich diese Wechselfolge in der Dichte-Kurve wieder; hier wechseln die Dichten zwischen 2,3 g/cm^3 und 2,4 g/cm^3. Eindeutig stellt sich dies jedoch nicht heraus. Das ABF-Log (Amplitude) sowie das Widerstands-Log (DLL) zeigen die Wechselfolge ebenfalls gut an (Wechsel zwischen hellen und dunklen Amplituden).
- Zwischen 432,4 mT und 435 mT tritt ein kompaktes Sulfatgestein (Anhydrit, Gips) ohne wesentliche Tonanteile auf. Dies ist sehr deutlich an der GR-Kurve abzulesen (deutlicher Rückgang der Cps-Werte). Die Amplitude stellt sich in diesem Bereich sehr hell dar; das Dichte-Log zeigt eine mittlere Dichte von 2,25 bis 2,35 g/cm^3 an.
- Der folgende Teufenabschnitt (435,20 mT bis 439,60 mT) fällt in der GR-Kurve durch deutlich erhöhte Cps-Werte auf (zwischen 80 und 160 Cps). Nach der lithologischen

Beschreibung [8] und der fotografischen Dokumentation [6] handelt es sich hier um schluffige, plastische Tone, welche mit Hilfe der Untersuchungen durch IBeWa in [19] als Siliziklastite (ohne stratigrafische Einstufung) bezeichnet werden. Die Amplitude des ABF stellt sich hier sehr dunkel dar. Die Grenzen zu den hangenden und liegenden Sulfatgesteinen sind sehr scharf. Die Siliziklastite mit ihren stark tonigen und schluffigen Anteilen sind in der Dichte-Kurve gut zu erkennen (1,7 bis 1,75 g/cm^3).

- Im Teufenbereich zwischen 436 mT und 437 mT stellt sich die Dichte-Kurve mit Werten zwischen 2,0 bis 2,25 g/cm^3 dar. Zwischen 437 mT und 438 mT nimmt die Gesteinsdichte bis etwa 1,6 und 1,75 g/cm^3 ab; ab 438 mT steigt die Dichte bis auf 2,7 g/cm^3 in etwa 439 mT an.
- Im Liegenden der Siliziklastite folgt erneut ein Sulfatgestein, welches sich im Bohrkern als stark brekziiert, besonders im Teufenabschnitt 442,45 mT bis 443,8 mT, darstellt und in der geologischen Feldaufnahme zunächst als sekundäre Sulfate bzw. Hutgestein angesprochen wurde (vgl. [8]). Die Dichte-Kurve stellt diesen Abschnitt gut durch die im Vergleich zu den Siliziklastiten, erhöhten Dichten (2,25 bis 2,5 g/cm^3) dar. Der abrupte Abfall der Dichte-Kurve auf etwa 1,8 g/cm^3 in 443,8 mT zeigt den Wechsel von Sulfatgesteinen zum Salinar (Zechstein) an. Dieser lithologische Wechsel markiert gleichzeitig die stratigrafische Grenze zwischen sekundären Sulfaten (Hut) und Zechstein. Der scharfe Übergang zum Salzgestein ist ebenfalls sehr gut im ABF (Amplitude) zu erkennen.

Aus den Ergebnissen der chemischen Untersuchungen [19] aber auch der Untersuchungen zum Phasenbestand der Proben des Buntsandsteinabschnittes [17] können Bereiche von vorwiegend siliziklastisch dominierten Proben im Feinkornbereich (Siliziklastite) und überwiegend sulfatisch dominierten Proben (Sulfate) unterschieden werden.

Im Probenahmebereich 400,35 mT bis 431,40 mT (vgl. dazu [19] und Anhang 7 zum vorliegenden Bericht) werden die Gips-Anhydrit-Gesteine, die untergeordnet Tonstein aufweisen, durch IBeWa als Sulfate ohne stratigrafiche Einordnung definiert.

Der Teufenbereich von 435,2 mT bis 439,6 mT (vgl. dazu [19] und Anhang 7 zum vorliegenden Bericht) wird nach den Ergebnissen der IBeWa [19] als Siliziklastite definiert. Diese können ebenfalls nicht konkret stratigrafisch zugeordnet werden. Sie werden als Siliziklastite im Liegenden der Sulfate (o.E.) bezeichnet. Von 439,6 mT bis 443,8 mT ist ein brekziiertes Gestein (Hutgesteinsbrekzie, sekundäre Sulfate (Hut)) aufgeschlossen (Quelle oder Verweis auf Kapitel 4).

Die Siliziklastite der Proben aus dem Bereich von 436 mT bis 439 mT, die als Siliziklastite ohne stratigrafische Einstufung (im Liegenden der Sulfate) bezeichnet werden, charakterisieren sich durch hohe Mg-, S- und Cl-Gehalte.

7.1.1.3.2 Stratigrafische Einordnung

Basierend auf den mikropaläontologischen Auswertungen durch IBeWa ([16]) ergibt sich für den Abschnitt ohne konkrete stratigrafische Einstufung der Remlingen 15 folgende lithologische Charakterisierung:

Die Sulfatgesteine im Abschnitt 394,3-435,2 mT sind vorwiegend als Gips und Anhydrit sowie untergeordnet auch als Tonsteine zu bezeichnen. Eine stratigraphische Einstufung ist auf Grundlage der bisherigen Untersuchungen derzeit nicht möglich, daher wird dieser Bereich zunächst als „Sufatgesteine ohne stratigrafische Einstufung (o.E.)“ angesprochen. Die als „Siliziklastite im Liegenden der Sulfate“ (ζ3η,2-439,6 mT) bezeichneten Gesteine können als schluffige, plastische Tonsteine (klastische Sedimente) bezeichnet werden. Auch für diesen Bereich ist eine stratigrafische Zuordnung bislang nicht gegeben.

Die Sekundären Sulfate (Hut) zwischen 439,6-443,8 charakterisieren sich als Sulfatgesteine (Gips-Anhydrit-Gestein) mit brekziösem Erscheinungsbild sowie als eine Brekzie aus Ton-, Anhydrit- und Gipsbestandteilen. Dieser Teufenabschnitt befindet sich unmittelbar im Hangenden des Salzspiegels (443,8 mT). Bestanden auslaugungsbedingte Hohlräume über dem Salzspiegel, kann es zum Nachbrechen der darüber liegenden Gesteine kommen, welche dann als Hutgesteinsbrekzie anzusprechen sind. Aus [6] und [8] wird deutlich, dass es sich im Teufenbereich von 439,60 mT bis 443,80 mT um ein solches Hutgestein (sekundäre Sulfate/Hut) mit brekziösem Charakter handelt.

Die Abfolge für den Abschnitt ohne konkrete stratigrafische Einstufung der Bohrung Remlingen 15 ist in der nachfolgenden Abbildung 31 zusätzlich grafisch dargestellt.

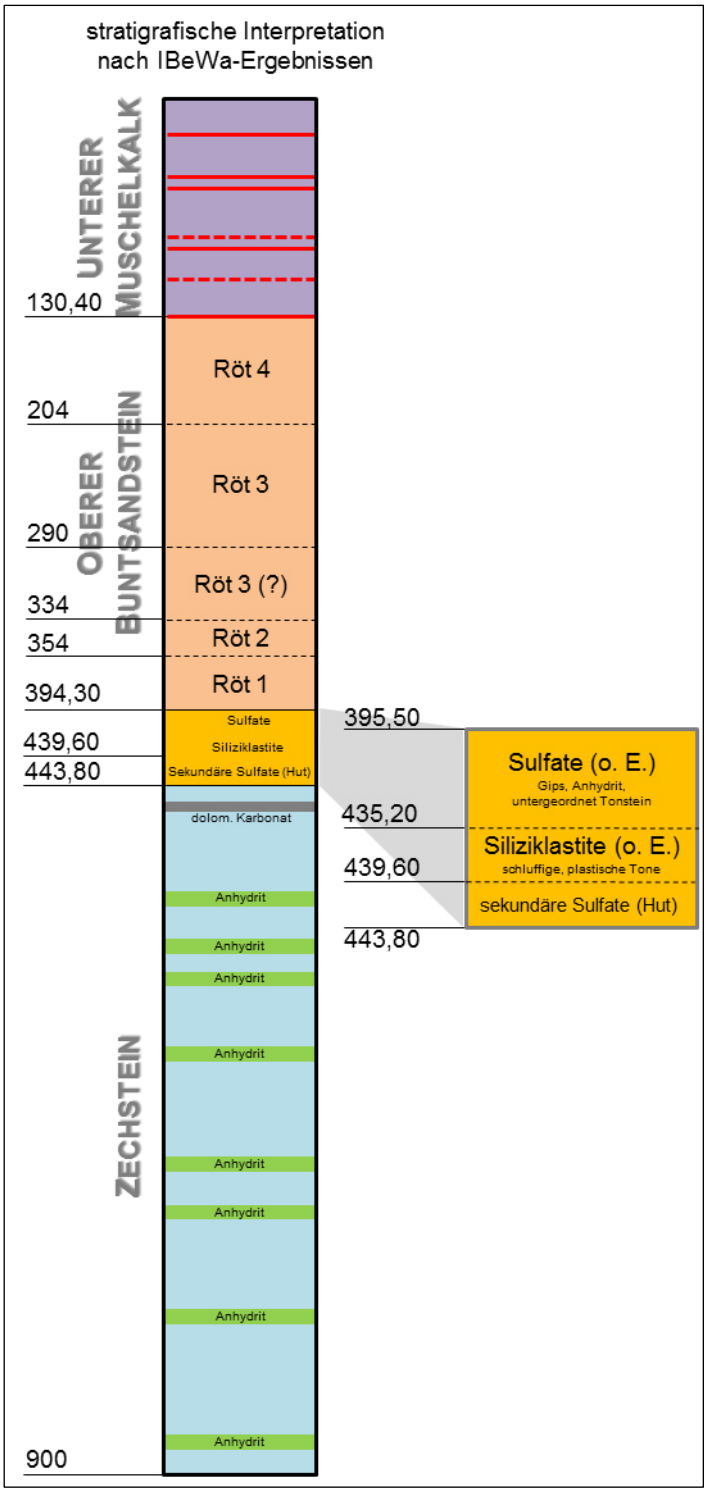


Abbildung 31: Veranschaulichung der stratigrafischen Interpretationen für die Bohrung Remlingen 15. Vergrößerter Auszug für den Bereich des Abschnittes ohne stratigrafische Einstufung.

Zur Verifizierung der stratigraphischen Einordnung wurden zur biostratigrafischen Einstufung mittels Pollenanalysen (Palynologie) neben Proben im Abschnitt des als gesichert angesprochenen Buntsandstein auch Proben aus dem Bereich entnommen, der bislang nicht gesichert stratigrafisch angesprochen werden kann bzw. für den eine Gliederung zwischen Röt und Hutgestein derzeit nur bedingt möglich ist. Die Untersuchungen dienten hierbei auch der sicheren Abgrenzung zwischen Hut/sekundären Sulfaten und Salinar.

Im Bohrkernbereich von 442,75 mT bis 449,20 mT liegen Untersuchungsergebnisse für 7 Proben vor. Diese sind in nachfolgender Tabelle 36 zusammengestellt. Eine ausführliche tabellarische Übersicht aller entnommenen Proben für die palynologischen Untersuchungen kann dem vorliegenden Bericht in Anhang 7 und Tabelle 23 entnommen werden.

Tabelle 36: Ergebnisse der palynologischen Untersuchungen.

Probe	**Teufe (Drill Depth) [m u. GOK]**		**Abschnitt / Stratigrafie**	**Ergebnis**
-	**von**	**bis**	-	-
PA-R154L-1	443,40	443,50	4 /sekundäre Sulfate/Hut	enthält keine identifizierbaren Polynomorphe, nicht datierbar
PA-R154L-2	443,90	444,00	5 /Salinar	keine konkrete Einstufung, enthaltene Palynomorphe zeigen Trias, Röt und Zechstein
PA-R154L-31	442,75	442,80	4 / sekundäre Sulfate/Hut	keine organischen Bestandteile, keine Einstufung möglich
PA-R154L-32	446,80	446,85	5 / Salinar	Zechstein
PA-R154L-33	447,10	447,15	5 / Salinar	Zechstein
PA-R154L-34	448,30	448,35	5 / Salinar	Zechstein
PA-R154L-35	449,00	449,20	5 / Salinar	Zechstein

Detaillierte Ergebnisse zu den Proben PA-R154L-1 und PA-R154L-2 können dem Anhang 6 zum vorliegenden Bericht entnommen werden. In Anhang 5 sind die Ergebnisse der Proben PA-R154L-31 bis PA-R154L-35 dargestellt.

Die Probe PA-R154L-2 (443,90 mT bis 444,00 mT) ergibt mit Hilfe der palynologischen Untersuchungen keine klaren Ergebnisse bezüglich der biostratigrafischen Einstufung. Der Prüfbericht (Anhang 6) stellt Palynomorphe heraus, welche die Probe sowohl der Trias, dem Röt als auch dem Zechstein zuordnen. Gemäß [6] und [8] stammt die Probe aus dem Bereich des Steinsalzes (Zechstein, Salinar), in unmittelbarer Nähe zum Übergang von sekundären Sulfaten (439,60 mT bis 442,45 mT, vgl. [8]) und eines brekziösen Anhydritgesteins (442,45 mT bis 443,80 mT) zum Steinsalz des Salinarabschnittes. Der palynologisch untersuchte Teufenbereich der Probe PA-R154L-2 (443,90 mT bis 444,00 mT) kann durch keine weiteren Untersuchungen zur stratigrafischen Einstufung gestützt werden.

7.1.2 Strukturgeologische Aufnahme

Vor dem Hintergrund der sehr komplexen tektonischen Situation, eines bereichsweise auf grober Interpolation beruhenden Risswerks und des lediglich punktuellen Aufschlusses durch die Bohrung R15 ist eine Einordnung in die geologisch-tektonische Situation nur eingeschränkt möglich. Aussagen zur geologisch-tektonischen Situation können sich lediglich auf nachfolgende Angaben beschränken:

- gem. Risswerk/Planunterlagen sowie hinsichtlich (struktur-)geologischer Entwicklung ist eine gestörte geologische Abfolge angetroffen worden,
- die Ergebnisse der Bohrung R15 zum Schichteinfallen im Deckgebirge zeigen zum Teil stark unterschiedliche Richtungen,
- die Bohrung R15 charakterisiert sich durch zahlreiche Störungsbereiche, aufgelockerte Zonen und Klüfte,

Die Auswertung und Interpretation der Strukturdaten umfasste im Wesentlichen die Zusammenfassung der erfassten Informationen zu Schichtflächen (Einfallsrichtung, Einfallswinkel, Öffnungsweiten), zu Klüften (Häufigkeit, Öffnungsweiten) sowie zu erkannten Störungsbereichen.

7.1.2.1 Muschelkalk (0 mT bis 130,4 mT)

7.1.2.1.1 Schichtlagerung

Für den Unteren Muschelkalk zeigen sich Vorzugsrichtungen zur Einfallsrichtung der Schichtflächen. Aus dem Stereogramm zum ABF-Log (vgl. [9] und Anhang 1.1) lässt sich

erkennen, dass die Schichten generell nach S bis SW einfallen und weitgehend in E-W-Richtung streichen. Die Einfallswinkel der Schichten liegen meist bei > 80° (52 mT bis 112 mT). Von 37 mT bis 52 mT schwanken die Einfallswinkel rechts stark zwischen minimal 30° und maximal 80°. Von 112 mT bis 122 mT fallen die Einfallswinkel von 80° auf ca. 50° ab. Danach (bis 126 mT) steigen die Einfallswinkel wieder bis auf ca. 70°-80° an. Zwischen 126 mT und 130 mT gehen die Einfallswinkel der Schichtflächen wieder zurück (bis auf 30° etwa); danach steigen sie langsam wieder bis auf 65° (135 mT) an. Tabelle 37 fasst die Schichtlagerungsdaten im Bereich des Muschelkalks zusammen.

Tabelle 37: Schichtlagerung im Bereich des Muschelkalks.

Teufenbereich	Ø Einfallswinkel	Ø Einfallsrichtung
37-52 mT	30° bis 80°	S bis SW
52-112 mT	>80°	S bis SW
112-122 mT	Abfall von 80° auf 50°	S bis SW
122-126 mT	Anstieg von 50° auf 70°-80°	S bis SW
126-130 mT	Abfall bis auf 30°	S bis SW

7.1.2.1.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche

Klüfte (rote Stecknadeln in Anhang 1.1) sind im gesamten ersten Bohrabschnitt vorhanden. Sie treten mit Einfallswinkeln von 10° bis 80° sowie in alle Einfallsrichtungen auf. Die Ergebnisse des bohrlochgeophysikalischen Messungen, besonders die ABF/Strukturauswertung (in [9]) spiegeln die feldgeologischen Aufnahmen am Bohrkern größtenteils wieder.

Die Strukturauswertung [9] und die Bohrkernaufnahme (vgl. Kapitel 4) für den Bereich des Muschelkalks (Unterer Muschelkalk) beschreiben ab ca. 38 mT einen durch zahlreiche Klüfte charakterisierten Gebirgsbereich (vgl. auch Anhang 1.1). Dies ist durch lithologische Ursachen sowie durch die zum Liegenden hin zunehmende Auflast zu begründen. Mit zunehmender Teufe nimmt die Klufthäufigkeit für den Muschelkalk leicht ab.

Im Muschelkalk treten die Klüfte bereichsweise stark gehäuft (in Kluftscharen) auf, die bevorzugt nach Norden, nach Osten und nach Südwesten einfallen. Teufenbereiche mit einer erhöhten Anzahl bzw. Häufigkeit an Klüften (Kluftschar) können wie folgt definiert werden (vgl. Anhang 1.1 und [9]):

- 43 mT bis 46 mT (17 interpretierte Klüfte),
- 54 mT bis 58 mT (16 interpretierte Klüfte),
- 66 mT bis 72 mT (18 interpretierte Klüfte),
- 87 mT bis 94 mT (17 interpretierte Klüfte),
- 100 mT bis 105 mT (10 interpretierte Klüfte).

Zwischen diesen Bereichen erhöhter Klufthäufigkeit (Kluftscharen) treten zudem weitere Klüfte auf, welche bereits in Kapitel 7.1.2.1.2 erwähnt sind. Der Teufenbereich zwischen 75 mT und 87 mT bspw. charakterisiert sich durch deutliche Spülverluste, was auf eine mögliche Störung als auch auf Klüfte zurückgeführt wird (vgl. Kapitel 7.1.2.1.2). Die Anzahl der in diesem Teufenabschnitt (75-87 mT) interpretierten Klüfte ist deutlich geringer als in den oben angegebenen Abschnitten erhöhter Klufthäufigkeit (Kluftscharen).

In den Teufen von 48,37 mT, 49,66 mT und 50,46 mT treten deutlich geöffnete Klüfte hervor [9]:

- 48,37 mT: Kluftöffnungsweite 4,67 cm,
- 49,66 mT: Kluftöffnungsweite 11,84 cm,
- 50,46 mT: Kluftöffnungsweite 3,08 cm

Diese Erscheinungen korrelieren sehr gut mit den festgestellten Spülverlustbereichen. Im Teufenbereich zwischen 46,7 mT und 49,8 mT wurden insgesamt 10 m^3 Spülungsverluste verzeichnet. Der Einfluss einer Störung (vgl. Kapitel 7.1.2.1.3) wird hierbei nicht ausgeschlossen.

Im Teufenabschnitt von 53 mT bis etwa 75 mT treten laut Strukturdatenauswertung insgesamt 44 Klüfte auf, welche als verheilt angesehen werden können (geschlossen). Der beschriebene Teufenabschnitt charakterisiert sich ebenfalls durch Spülverluste (130 m^3). Allerdings kann keinem dieser Elemente eine Öffnungsweite zugeordnet werden. Entsprechend der feldgeologischen Beschreibung sind die Klüfte kalzitisch verheilt. Die in diesem Teufenbereich erfassten Spülungsverluste können somit nicht bzw. nicht eindeutig mit den erfassten Klüften korreliert werden.

In einer Teufe von 79,28 mT und 80,2 mT stellt das ABF- und Strukturlog [9] jeweils eine geöffnete Kluft dar (2,8 cm in 79,28 mT; 1,9 cm in 80,2 mT). Aus den Untersuchungen der IBeWa geht für diese Teufe jedoch eine Störung (vgl. Kapitel 7.1.2.1.3) hervor. In der Fotodokumentation stellt sich der Bohrkern in diesem Bereich durch einen Material- und Farbwechsel heraus, was

vermutlich ebenfalls eher mit einer Störung (siehe auch Kapitel 7.1.2.1.3) erklärt werden kann. Spülverluste von 65 m^3 (für den Teufenbereich 75-87 mT) unterstützen sowohl die Theorie der Störung als auch die abgebildeten, geöffneten Klüfte.

Ab 105 mT treten die Klüfte vermehrt als Einzelklüfte und in deutlich geringerer Häufigkeit auf (Abnahme der Klufthäufigkeit mit zunehmender Teufe). Im Teufenbereich von 48 mT bis 51 mT sind deutlich geöffnete Klüfte hervorzuheben. Zusammen mit weiteren Trennflächenelementen (geöffnete Schichtflächen und Störungen) korrelieren diese Klüfte sehr gut mit den festgestellten Spülungsverlusten. Die erwähnten Klüfte charakterisieren sich durch Öffnungsweiten zwischen 3,08 cm und maximal 11,84 cm (vgl. Kapitel 7.1.1).

Der obere Bereich des ersten Abschnitts (2 mT bis ca. 60 mT) zeigt deutlich mehr Ausbrüche der Kaliberkurve an als im folgenden Teufenabschnitt (60 mT bis 88 mT). Bei 9 mT und zwischen 10-14 mT treten Kaliberausbrüche auf, welche sich im Gamma-Ray-Log nicht wiederspiegeln und somit nicht eindeutig interpretierbar sind. Die Bohrkernaufnahme (fotografisch) zeigt für diesen Bereich einen stark aufgelockerten und zerbrochenen Bohrkern. Die Kaliberausbrüche zwischen 29 mT und 35 mT lassen sich vermutlich mit den Bereichen höheren Tongehalts im Gamma-Ray-Log korrelieren. Weitere Vergleichsdaten liegen dazu jedoch nicht vor. Deutliche Kaliberausbrüche sind weiterhin in den Teufen 40-42 mT, 47 mT, 49 mT, 53 mT und etwa 58-59 mT zu beobachten.

Der Kaliberausbruch bei 40-42 mT lässt sich nicht mit der GR-Kurve korrelieren (unauffälliger Kurvenverlauf); das ABF (Amplitude) stellt sich jedoch mit einer deutlich dunkleren Signatur dar. Die Strukturauswertung weist in diesem Bereich nur Schichtflächen aus; Klüfte sind scheinbar nicht detektiert worden. Der Bohrkern stellte sich von 40-41,7 mT als fester, kompakter Kern dar, während sich die Beschaffenheit von 41,7 mT bis 42,3 mT deutlich zu einem stark zerfallenen, fein-bröseligem Kernmaterial veränderte. Zwischen 42,3 mT und 43 mT trat ein Kernverlustbereich auf. Ab etwa 43 mT beschreibt sich der Bohrkern als zerbrochener, stückiger und mehr bräunlicher Kern, während er im Hangenden deutlich kompakter und mit grau-beiger Farbe auftritt. Dies zeigt den lithologischen und stratigrafischen Wechsel zwischen Wellenkalk (bis 41,7 mT) zu Schaumkalk (ab ca. 43 mT) an.

7.1.2.1.3 Störungen

Im Bereich des Muschelkalkabschnittes wurden durch die Korrelation der feldgeologischen Bohrkernansprache, der geophysikalischen Strukturdatenauswertung sowie der Ergebnisse der

Untersuchungen durch IBeWa [16] einige Störungen identifiziert, welche in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst dargestellt sind.

Tabelle 38: Störungen im Muschelkalk und deren Einfallsrichtung und –winkel gemäß Strukturauswertung (vgl. [9] und Anhang 1.1).

Teufe	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
27-28 mT	k.A.	k.A.
47-49 mT	SSW	20°
52-53 mT	SSE	50°
80 mT (?)	SE	75°-80°
86 mT	ESE	65°
95 mT (?)	SSW	40°
130,40 mT	NW	37°-40°

Aus der feldgeologischen Aufnahme geht der Teufenbereich von 8,5 mT bis 27 mT als stark klüftig (tw. kalzitisch verheilt, tw. offen), vermutlich gestört hervor. Dies korreliert mit den Angaben zu den Spülungsverlusten in diesem Teufenbereich. Die Vermutung der Störung wird bei etwa 27 – 28 mT durch die mikropaläontologischen Untersuchungen der IBeWa [16] bestätigt. Die sich durch die Störung abgrenzenden Bereiche unterscheiden sich lithofaziell voneinander. Der Teufenbereich im Liegenden der Störung bietet keine Hinweise für eine konkrete stratigrafische Einstufung innerhalb des Muschelkalks, wird aber auf Grund von Ähnlichkeiten zum Oberen Wellenkalk gezählt. Der Abschnitt oberhalb der Störung zeigt eine lithofazielle Ausbildung, welche oberhalb des Wellenkalks und gleichzeitig unterhalb des Schaumkalks einzuordnen ist. Auf Grund der tiefer einsetzenden Messungen der Geophysik wurde diese Störung durch die geophysikalischen Messungen nicht erfasst.

Im Teufenbereich zwischen 46,7 mT und 49,8 mT wurden insgesamt 10 m^3 Spülungsverluste verzeichnet. Ein bei 48,8 mT erfasster totaler Spülungsverlust ist mit Wahrscheinlichkeit durch eine Störung verursacht. Die Strukturauswertung (ABF) verteuft diese auf 47 mT, IBeWa verteuft diese Störung in eine Teufe von 49 mT (vermutlich zwischen zwei Probenahmebereichen und daher nicht genauer eingrenzbar). Im Schichtenverzeichnis [8] ist diese Störung mit einer Teufe von 48,8 mT definiert.

Zusammen mit einer weiteren Störung (ca. 53 mT) fasst die Störung bei 47 mT (Log) bzw. 48,8 mT (Bohrkern) einen, in den Unteren Muschelkalk eingelagerten, Abschnitt von Mittlerem Muschelkalk (Orbicularis-Schichten) ein (vgl. Kapitel 7.1.1.1.2). Die den Mittleren Muschelkalk im Liegenden

begrenzende Störung ist in 53 mT durch geophysikalische Messungen [9] bestätigt, ebenfalls durch die Untersuchungen der IBeWa [16]. Ein totaler Spülungsverlust bei 52 mT kann zudem mit diesem Störungsbereich korreliert werden. Das Erscheinungsbild des Bohrkernes in der Fotodokumentation sowie die Beschreibungen des Schichtenverzeichnisses stützen diese Interpretation zusätzlich.

In einer Teufe von 79,28 mT und 80,2 mT stellt das ABF- und Strukturlog (Terratec) jeweils eine geöffnete Kluft dar (2,8 cm in 79,28 mT; 1,9 cm in 80,2 mT). Die Untersuchungen der IBeWa lassen für diese Teufe eine Störung annehmen. In der Fotodokumentation stellt sich der Bohrkern in diesem Bereich durch einen Material- und Farbwechsel heraus (von bräunlich, zerbrochen, bröselig zu grau-beige und deutlich kompakt; mit Kernverlustzone von 80-80,2 mT), was vermutlich ebenfalls eher mit einer Störung erklärt werden kann. Spülverluste von 65 m^3 (für den Teufenbereich 75-87 mT) unterstützen sowohl die Theorie der Störung als auch die abgebildeten, geöffneten Klüfte.

Die zwischen 75 mT und 87 mT erfassten Spülverluste können mit einer durch die Untersuchungen der IBeWa identifizierten Störung bei 86 mT in Verbindung gebracht werden. Die Strukturdatenauswertung von Terratec [9] interpretiert in diesem Bereich dagegen mehrere Klüfte. Allerdings ist eine eindeutige Interpretation aufgrund der dunklen Amplituden nicht gegeben, so dass auch hier eine Strörung nicht ausgeschlossen werden kann. Auf Grund der Ergebnisse von IBeWa (vgl. [16]) sowie auf Grund der Bohrkernbeschaffenheit (vgl. [6]) wird von einer Störung bzw. einem gestörten Bereich in dieser Teufenlage ausgegangen.

In etwa 95 mT (vgl. [9]) wird durch die geophysikalischen Messungen (vgl. Anhang 1.1 und [9]) eine Kluft interpretiert. Die Strukturauswertung zeigt deutlich einen Abriss der Sinuskurven von zwei erfassten Schichtflächen (offene Schichtgrenze bei 94,29 mT; geschlossene Schichtgrenze bei 94,48 mT) im Hangenden dieser Kluft. Diese Beobachtung lässt vermutlich ebenfalls eher auf eine Störung schließen. Die fotografische Bohrkernaufnahme zeigt keine deutlichen Anzeichen, welche diese Vermutung unterstützen würde. Im Rahmen der Untersuchungen der IBeWa [16] wurde jedoch eine Probe unmittelbar in diesem Teufenbereich entnommen (Probe P237-1/014; 94,87-94,89 mT), welche Drucklösungsstrukturen (suturiert) aufzeigt und damit Halotektonik anzeigt. Dieses Ergebnis der IBeWa unterstützt die Theorie, dass in 95 mT vermutlich eher eine Störung statt einer Kluft auftritt.

Bei 130,4 m ist der stratigrafische Wechsel von Unteren Muschelkalk zum Oberen Buntsandstein zu erkennen. Der abrupte Wechsel vom Muschelkalk zum Buntsandstein, welcher am Bohrkern

sehr gut sowohl am Materialwechsel als auch am Farbwechsel zu erkennen ist sowie die Kenntnis über die Unvollständigkeit der stratigrafischen Abfolge des Muschelkalks [16], lässt hier gesichert die Interpretation des stratigrafischen und lithologischen Wechsels in Form einer Störung zu.

7.1.2.2 Buntsandstein, gesicherte Ansprache (130,4 mT bis 394,3 mT)

7.1.2.2.1 Schichtlagerung

Der stratigrafische Wechsel vom Unteren Muschelkalk zum Oberen Buntsandstein liegt bei 130,4 mT. Mit dem Aufschluss des Oberen Buntsandsteins wurden die Schichtflächen im Teufenbereich von 130,4 mT bis ca. 133 mT (1. Abschnitt) sowie im Teufenbereich von 136 mT bis ca. 160 mT (2. Abschnitt) mit einem Einfallen in Richtung SW/SSW bis SSE/SE/S (schwankend) bestimmt. Im Teufenbereich von 160 mT bis ca. 168 mT fallen die Schichtflächen ebenfalls schwankend, jedoch in Richtung E/ESE-NNE/NE ein.

Der Strukturauswertung (in [9] sowie Anhang 1.2) ist zu entnehmen, dass sich die Einfallsrichtung der Schichtflächen bei etwa 168 mT sehr deutlich ändert. Zwischen 168 mT und 171 mT fallen die erfassten Schichtflächen nach E bis SE ein; ab ca. 171,8 mT bis 258 mT ist die bevorzugte Einfallsrichtung der Schichtflächen mit NE-ENE anzugeben. Zwischen 260 mT und 338 mT ist das bevorzugte Schichteinfallen in Richtung NE anzugeben.

Im Bereich von 343 mT bis 361 mT ändert sich die Einfallsrichtung der Schichtflächen deutlich nach S bis SW. Lithologisch lassen sich sowohl in der Feldaufnahme als auch in den geophysikalischen Messungen keine Auffälligkeiten in diesem Bereich feststellen. Die Einfallswinkel liegen hier zwischen 30° und 50°. Ab 367 mT sind die erfassten Schichtflächen mit einer erneut bevorzugten Einfallsrichtung nach NE dargestellt. Dies entspricht dem oberen Bereich des 3. Abschnittes (260-338 mT).

Mit zunehmender Teufe nehmen die Einfallswinkel leicht zu. Eine mögliche Erklärung für den deutlichen Wechsel des Schichteinfallens von SW nach NE kann eine Bruch- bzw. Störungszone sein. Während der Feldansprache des Bohrkernes war dieser Wechsel im Schichteinfallen durch das nicht orientierte Kernverfahren nicht zu erkennen. Erst durch die geophysikalischen Messungen im Bohrloch wurde die vorliegende Situation erfasst. Tabelle 39 fasst die Schichtlagerungsdaten im Bereich des Buntsandsteins zwischen 130,4 mT und 394,3 mT zusammen.

Tabelle 39: Schichtlagerung im Bereich des Buntsandsteins.

Teufenbereich	Ø Einfallswinkel	Ø Einfallsrichtung
130,4-133 mT	50°-65°	SW-SSW bis SE-SSE (schwankend)
136-160 mT	50°-70° (Minimum: 5°)	SW-SSW bis SE-SSE (schwankend)
160-168 mT	5°-40°	E-ESE bis NE-NNE (schwankend)
168-171 mT	10°-20°	E-ESE
171,8-258 mT	30°-65° (stetige Zunahme mit zunehmender Teufe)	NE-ENE
260-338 mT	30°-80° (Mittel 40° bis 60°)	NE
343-361 mT	30°-50°	S-SW, SE
ab 367 mT	30°-80°	NE

Offene Schichtflächen werden laut Strukturauswertung in [9] zwischen 158 mT und 160 mT angezeigt. Durch die feldgeologische Beschreibung [8] und die fotografische Dokumentation [6] des Bohrkernes wird das nicht bestätigt. Zu diesen Strukturelementen werden keine weiteren Aussagen getroffen. Unsicherheiten bestehen bei der Einordnung ebenfalls für weitere einzelne, als geöffnet interpretierte Schichtflächen (z.B. 366 mT), welche sehr gut auch als Klüfte interpretiert werden können.

7.1.2.2.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche

Im Bereich des Buntsandsteins wurde ebenfalls eine große Anzahl an Klüften erfasst ([9]). Die bevorzugte Einfallsrichtung ist Süden bis Westen. Eine Anzahl von Klüften deckt jedoch den gesamten Bereich Nord, Nordost und Ost ab.

Klüfte wurden mit den geophysikalischen Bohrlochmessungen ab etwa 148 mT erfasst. Die Klufthäufigkeit nimmt mit zunehmender Teufe ab. Die größte Kluftdichte ist in den Teufenbereich von 150 mT bis 186 mT einzuordnen. Trotz der zahlreich erfassten Klüfte sind für den 2. Bohrabschnitt während des Kernbohrens keine Spülungsverluste festgestellt worden. Nach der feldgeologischen Ansprache des Bohrkernes in diesem Teufenbereich (150-186 mT) sind die beschriebenen Klüfte mit Gips verheilt. Dies wird durch die Untersuchungen zum Phasenbestand an Proben des Oberen Buntsandsteins (IBeWa [17], Bspw. Probe P237-2/106 (178,89-178,93 mT)) bestätigt. Die Streuung der Einfallswinkel der Klüfte im Teufenbereich 150-186 mT ist relativ groß (10° bis 80°). Zwischen 188 mT 198 mT treten weiterhin Klüfte auf, jedoch in deutlich geringerer Anzahl als in den hangenden Teufenbereichen. Die erfassten Klüfte fallen sowohl nach N-NE als auch nach S-SW-WSW ein. Die Einfallswinkel der meisten Klüfte in diesem

Teufenabschnitt schwanken zwischen 30° und 60°. Vereinzelt treten Klüfte mit geringeren Einfallswinkeln (20° in ca. 192 mT 197,6 mT) oder höheren Einfallswinkeln (ca. 80° in 188,3 mT) auf. Der fotografischen Bohrkernaufnahme [6] ist zu entnehmen, dass die Klüfte kalzitisch verkeilt sind; Spülverluste wurden während des Bohrvorgangs nicht festgestellt. Ab einer Teufe von 198 mT nimmt die Klufthäufigkeit deutlich ab. Zwischen 228 mT und 246 mT treten erneut mehr Klüfte auf, deren Einfallsrichtungen und Einfallswinkel deutlich schwanken. Die Einfallsrichtungen dieser Klüfte lassen sich mit W, NW, S, SE sowie NE beschreiben; die Einfallswinkel streuen zwischen 15° und maximal 60°. Alle Klüfte in diesem Bereich stellen sich als geschlossen (kalzitisch verheilt) dar.

Zwischen 247 mT und 280 mT konnten aus den Strukturdaten keine Klüfte interpretiert werden. Dies deckt sich mit den feldgeologischen Beschreibungen. Von 280 mT bis ca. 320 mT treten Klüfte und offene Schichtflächen auf, welche mit den für diesen Teufenabschnitt festgestellten Spülverlusten (Spülverluste zwischen 291 mT bis 345,5 mT (vgl. Kapitel 4.2.3) gut korreliert werden können. Bis 394,3 mT (Oberer Buntsandstein) treten vereinzelt noch Klüfte auf.

7.1.2.2.3 Störungen

Grundsätzlich wurden für den gesamten Bereich des Oberen Buntsandsteins keine konkreten Störungen ausgewiesen. Lithologisch stellt sich der Obere Buntsandstein hier relativ einheitlich als Siliziklastite, einer Wechselfolge von Ton-, Schluff- und Feinsandsteinen mit anhydritischen Bindemitteln und teilweise eingelagerten Sulfaten, dar.

Eine eindeutige Interpretation ist auf Grundlage der vorhandenen Daten nicht möglich. Mit Hilfe der geophysikalischen Bohrlochmessungen wurden keine konkreten Störungen definiert. Auch mit den Ergebnissen der IBeWa-Untersuchungen lassen sich keine Anhaltspunkte für Störungen im Buntsandstein feststellen. Auf Basis der ermittelten Strukturdaten zum Schichteinfallen und der oben bereits beschriebenen sehr deutlichen Änderung der Einfallsrichtung der Schichtflächen ließe sich ggf. ein gestörter Bereich annehmen. Dies ist jedoch durch keine weiteren Indizien und Untersuchungen belegbar.

7.1.2.3 „Hutgestein“ (394,3 mT bis 443,8 mT)

7.1.2.3.1 Schichtlagerung

Die Schichtflächen fallen zwischen 394,3 mT und 409 mT vorwiegend in Richtung NE bis NNE ein. Die Einfallswinkel liegen zwischen 35° und 68° (vgl. Anhang 1.3 und 1.4). Von 411 mT bis 416 mT fallen die Schichtflächen nahezu entgegensetzt in Richtung S, SSW und SW ein; die Einfallswinkel sind mit 20° bis 55° etwas niedriger.

Im folgenden Teufenabschnitt von 416 mT bis 439,6 mT sind deutlich weniger Schichtflächen erfasst und interpretiert. Die Einfallsrichtungen variieren zwischen NE, SE, S und SW. Die Einfallswinkel schwanken zwischen 5° und maximal 60°. Der Bohrkern stellt sich in diesem Abschnitt als nahezu ungeschichtetes, teilweise brekziöses Gestein dar (vgl. [8] und [6]). Die Interpretation der offenen Schichtflächen in [9] für diesen Teufenbereich kann nicht nachvollzogen werden. Mit der fotografischen Dokumentation lässt sich das nicht feststellen bzw. bestätigen. Spülverluste, die möglicherweise mit offenen Schichtflächen oder Klüfte in Zusammenhang stehen traten im gesamten 4. Abschnitt nicht auf.

Zwischen 435 mT und 437 mT sind keine Schichtflächen erfasst worden. Das sich hier deutlich dunkler darstellende Amplitudenbild des ABF sowie die erhöhte Gamma-Kurve bestätigen einen, ebenfalls in der Fotodokumentation [6] sehr deutlich zu erkennenden, ungeschichteten, tonigen Abschnitt. Dieser wird nach den Ergebnissen der IBeWa als Siliziklastit (schluffig-plastischer Ton) bezeichnet. Von 439,6 mT bis 443,8 mT sind Schichtflächen erfasst, deren Einfallsrichtungen stark zwischen N-NE-E bis SE-SSW schwanken. Die Einfallswinkel liegen zwischen 10° und 30° bzw. 70°-85°. Es ist keine Vorzugsrichtung des Schichteinfallen zu erkennen, was mit der Beschaffenheit des Bohrkernes (brekziös, Hutgesteinsbrekzie) erklärt werden kann.

Tabelle 40: Schichtlagerung im Bereich des “Hutgesteins“.

Teufenbereich	Ø Einfallswinkel	Ø Einfallsrichtung
394,3-409 mT	35° bis 68°	NE bis NNE
411-416 mT	20° bis 55°°	S bis SSW
416-439,6 mT	5° bis max. 60°	NE, SE, S bis SW
439,6-443,8 mT	10° bis 30° und 70° bis 85°	N-NE-E bis SE-SSW

7.1.2.3.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche

Im Teufenabschnitt von 394,3 mT bis 443,8 mT sind einige Klüfte detektiert worden. Die im Struktur-Log (true) abgebildeten Klüfte lassen sich am Bohrkern deutlich erkennen. Es handelt sich um vorwiegend mit Gips verheilte Klüfte.

Die Einfallsrichtungen und Winkel der Klüfte variieren recht stark. Sie fallen nach NE, S, SW sowie NW ein; die Einfallswinkel schwanken zwischen 15° und 80°. Der Bohrkern stellt sich in diesem Abschnitt als nahezu ungeschichtetes, teilweise brekziöses Gestein dar (vgl. [8] und [6]).

Zwischen 435 mT und 437 mT sind keine Klüfte interpretiert worden. Das sich hier deutlich dunkler darstellende Amplitudenbild des ABF sowie die erhöhte Gamma-Kurve bestätigen einen, ebenfalls in der Fotodokumentation [6] sehr deutlich zu erkennenden, ungeschichteten, tonigen Abschnitt. Dieser wird nach den Ergebnissen der IBeWa als Siliziklastit (schluffig-plastischer Ton) bezeichnet.

Die zwischen 440 mT und 443,8 mT gehäuft auftretenden Klüfte können mit dem Erscheinungsbild des Bohrkernes erklärt werden. Dieser stellt sich in diesem Teufenbereich als brekziiertes Gestein (Anhydritgestein) dar. Der abrupte Wechsel vom Sulfatgestein zum Salinar in 443,8 mT wird als Salzspiegel interpretiert.

7.1.2.3.3 Störungen

Im Bereich von 394,3 – 443,8 mT können auf Grundlage der vorliegenden Daten keine Störungen erfasst werden.

Grundsätzlich charakterisiert sich dieser Teufenbereich durch eine stark wechselnde Schichtung (vgl. Kapitel 7.1.2.3.1). Es ist keine Vorzugsrichtung des Schichteinfallen zu erkennen, was mit der Beschaffenheit des Bohrkernes (brekziös) und der Hutgesteinsbildung (Hutgesteinsbrekzie) erklärt werden kann. Im Hangenden eines Salzspiegels stehen meist Reste von schwerlöslichen Evaporitgesteinen wie Anhydrit oder Gips an, welche allgemein als Hutgestein bezeichnet werden. Bestanden auslaugungsbedingte Hohlräume über dem Salzspiegel, kann es zu Nachbrechen der darüber liegenden Gesteine kommen. Diese sind dann als Hutgesteinsbrekzie anzusprechen. In [6] und [8] wird deutlich, dass es sich besonders im Teufenbereich von 439,60 mT bis 443,80 mT um ein solches Hutgestein (sekundäre Sulfate/Hut) mit brekziösem Charakter (442,45 mT bis 443,80 mT) handelt.

7.1.3 Hydrogeologische Beschreibung/Eigenschaften

Die Auswertung und Ergebnisdarstellung der einzelnen hydraulischen Testintervalle der Remlingen 15 (i1 bis i18) ist in einem eigenständigen Abschlussbericht der Firma Solexperts AG [12] ***sowie in den entsprechenden Einzelberichten zu den Intervallen (siehe Anhang 1 bis Anhang 18 zu*** [12]***) zusammengestellt.***

Im Folgenden sollen die wichtigsten Ergebnisse des hydraulischen Testing in der Remlingen 15 vorgestellt werden. Dazu gehören die Formationseigenschaften (Transmissivität, Durchlässigkeit), der Speicherkoeffizient sowie die Ergebnisse der wasseranalytischen Untersuchungen.

7.1.3.1 Muschelkalk (0 mT bis 130,4 mT)

Auf Grundlage der Kurvenverläufe von Temperaturlog und Dichtelog kann anhand eines deutlichen Sprunges der Wasserspiegel in der Bohrung bei etwa 37 mT bestimmt werden

Im Unteren Muschelkalk wurden während des Bohrprozesses mehrere Bereiche mit teilweise starken Spülungsverlusten angetroffen, in denen das Bohrgut meist stark aufgelockert war bzw. Kernverlust auftrat. Diese Bereiche können potentielle Wegsamkeiten für möglicherweise zirkulierende Wässer darstellen. Aufgrund der starken Spülungsverluste erfolgte eine Zementation zunächst bei 48,2 mT bis 49,8 mT und später zwischen 49,5 mT und 53,4 mT (vgl. Kapitel 3.2.1), so dass hier keine Testarbeiten am offenen Bohrloch durchgeführt werden konnten.

Aus der Temperatur- und Leitfähigkeits-Messung wird von Terratec [9] ein geringer Wasserzutritt bei 82 mT interpretiert [9]. Zusätzlich beschreibt Terratec [9] eine Wasserzutrittszone in 99,5 mT. Während sich am Kurvenverlauf der LF-Kurve eine deutliche Erhöhung der Werte von 1750 µS/cm in 82 mT auf ca. 5000 µS/cm bis 5750 µS/cm in etwa 102 mT erkennen lässt und damit einen Wasserzutritt in etwa 82 mT bestätigen, wird der durch Terratec interpretierte Zutritt (aufwärts gerichtet Wasserströmung) bei 99,5 mT in [9] aus dem Verhalten der LF-Kurve zueinander abgeleitet. Anders als bei der Zutrittszone in 82 mT zeigt die LF-Kurve hier (99,5 mT) jedoch keinen erkennbaren Kurvenausschlag an. Die ABF- und Strukturdatenauswertung lässt für diesen Teufenbereich (99,5 mT) keine auffälligen Elemente erkennen. Offene Klüfte, geöffnete Schichtflächen oder Störungen treten hier (99,5 mT) nicht auf. Abweichend von den Beschreibungen in [9] bewertet K-UTEC die genannten Logs (Kaliber, ABF, Struktur, LL3) als nicht aussagekräftig genug, um eine deutlich erkennbare Wasserzutrittszone in 99,5 mT zu bestätigen. Die fotografische Dokumentation der Bohrkerne [6] unterstützt diese Einschätzung, indem keine

auffälligen Veränderungen oder Besonderheiten am Bohrkern in dieser Teufe (99,5 mT) im Vergleich zum restlichen Erscheinungsbild des Bohrkernabschnittes zu erkennen sind. Für die definierten Spülverlustbereiche (vgl. Kapitel 4.2.1) sind in den genannten Temperatur- und Leitfähigkeitslogs keine Auffälligkeiten erkennbar.

Die Unterschiede in den Temperaturkurven liegen vorwiegend daran, dass sich die Bohrspülung zunehmend der Gebirgstemperatur angleicht. Die Temperatur nimmt konstant mit der Tiefe zu und zeigt im 2. Bohrabschnitt keine Auffälligkeiten. Die Leitfähigkeitskurven unterscheiden sich kaum und sind bis 244 mT sehr konstant. Während der Bepumpung nimmt die Leitfähigkeit ab 244 mT ab, es wird vermutlich zunehmend geringer mineralisiertes Wasser angezogen.

Anhand der Strukturauswertung (ABF) durch Terratec [9] sind zwischen 53 mT und 75 mT deutlich offene Schichtflächen zu erkennen. Diese können Wegsamkeiten für eventuell zutretendes Formationswasser darstellen. Die in diesem Abschnitt (53 mT bis 75 mT) definierten Klüfte stellen sich, wie in Kapitel 7.1.2.1.2 beschrieben, als verheilte, geschlossene Klüfte dar. Die hydraulischen Tests zur Bestimmung der hydrogeologischen Eigenschaften erfolgten im Intervall i1 von 52,0 mT bis 67,07 mT (mu) als Doppelpackertest, im Intervall i2 als Doppelpackertest von 78,0 mT bis 93,06 mT (mu) und als Einfachpackertest zwischen 78,0 mT und 134,58 mT (mu/so) sowie im Intervall i3 als Doppelpackertest zwischen 100,0 mT und 115,06 mT (mu) (siehe [12]). Die gemessenen und abgeschätzten Eigenschaften des Formationswassers sind in Tabelle 41 zusammengestellt. Diese Werte wurden für die Auswertungen in den Sofortberichten und für weitere Berechnungen verwendet [12].

Tabelle 41: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]).

Intervall	Teufe (m u. GOK)	Druck [1] [kPa]	Temperatur Tw [2] [°C]	Kompressibilität cw [3] [Pa-1 1E-10]	Dichte ρw [3] [kg/m3]	Viskosität μw [3] [Pa s 1E-4]
RE-15-i1	52,00 – 67,07	308,1	13,7	5,49	1000,6	12,6
RE-15-i2	78,00 – 93,06	564,9	13,0	5,49	1001,2	12,8
	78,00 – 34,58	767,7	13,0	5,47	1001,3	12,8
RE-15-i3	100,00 – 115,06	779,3	12,9	5,48	1000,9	12,8

[1] Druck im Intervallmittelpunkt, auf Basis von Formationswasserdrückern und den dazugehörigen Formationswasserdichten ρ_{in}.

[2] Temperatur (T_w) aus Temperaturmessungen im Testintervall.

[3] c_w, ρ_w und μ_w Werte aus PVT-Korrelationen berechnet.

Das Intervall i1 war aufgrund von Umläufigkeiten generell nicht auswertbar. Die Tests im Intervall i2 ergaben Transmissivitäten von 4,15 · 10-5 m2/s und 1,38 · 10-5 m2/s. Im Intervall i3 wurde ein T-Wert von 1,36 · 10-6 m2/s bestimmt. Damit können die getesteten Bereiche als durchlässig bis schwach durchlässig (siehe [21]) eingestuft werden (siehe Tabelle 42). Der Formationswasserdruck wurde bei allen drei Tests einheitlich bei ca. 38 mT bestimmt, was auf ein kommunizierendes hydraulisches System im erbohrten Unteren Muschelkalk hindeutet [12].

Tabelle 42: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15.

Intervall	Abschnitt	Strat.	Teufe [m u. GOK]		Test	T[m²/s]			k_f [m/s]			Einstufung [21]
			von	bis		best fit	min	max	best fit	max	min	
i1	1	mu	52	67,06	DP	nicht auswertbar, Umläufigkeit						
i2	1	mu	78	93,06	DP	4,15E-05	2,34E-05	8,01E-05	2,75E-06	1,55E-06	5,32E-06	durchlässig bis schwach durchlässig
	1 / 2	mu / so	78	134,58	EP	1,38E-05	1,38E-05	7,41E-05	2,44E-07	2,43E-07	1,31E-06	durchlässig bis schwach durchlässig
i3	1	mu	100	115,06	DP	1,36E-06	1,35E-06	8,28E-06	9,03E-08	8,96E-08	5,50E-07	schwach durchlässig

In Tabelle 43 sind die aus der Porosität, des E-Moduls und der POISSON-Zahl berechneten Ss-Werte für die untersuchten Intervalle zusammengefasst. Die detaillierten Angaben zum Speicherkoeffizienten (S) und Spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) können den Einzelberichten zu den Intervallen in [12] entnommen werden. Zusätzlich sind diese Ergebnisse in Anhang 10 übersichtlich und zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 43: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]).

Strat.		Teufe [m u. GOK]	Intervall	Porosität [%]	E [GPa]	POISSON [-]	Cr [Pa-1]	Ss [m-1]
Muschelkalk (mu)	Min.Ss	49,0 - 130,4	i1, i2, i3	5	55	0,35	1,6E-11	4,3E-07
	Max.Ss			30	2	0,18	9,6E-10	1,1E-05

Cr…Kompressibilität
Ss…Spezifischer Speicherkoeffizient
E…YOUNG-Modul

Eine Einstufung der ermittelten Werte des spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) für die untersuchten Gesteinstypen ist durch die Korrelation mit den Ergebnissen der Porosität, der Transmissivität und der Durchlässigkeit (vgl. Tabelle 42) möglich. Grundsätzlich korrelieren die Werte für Ss gut mit den Porositäten der untersuchten Gebirgsbereiche. Für die untersuchten Gesteine des Muschelkalks liegen spezifische Speicherkoeffizienten im Wertebereich von 10^{-5} bis 10^{-7} vor. Die zugehörigen Porositäten haben eine relativ große Spannweite von 5% bis 30%, was vermutlich auf die Eigenschaft des Muschelkalks als Kluft- und Karstgrundwasserleiter zurückzuführen ist. Nach den ermittelten Transmissivitäten und Durchlässigkeiten sind die untersuchten Gesteine des Muschelkalks als schwach durchlässig bis durchlässig einzustufen. Zur Wasseranalytik wurden während der hydrogeologischen Bohrlochmessungen Proben entnommen (Tabelle 44). Die physikochemischen Parameter und detaillierten Aussagen sowie die vollständigen Analysenergebnisse können dem Anhang 1 in [12] entnommen werden.

Tabelle 44: Entnommene Wasserproben aus den Testintervallen der Bohrung Remlingen 15.

Intervall-bezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	Stratigrafische Einheit	Entnahmezeit	Bemerkungen
RE-15-i2	78,00 – 134,58	muW3, ab 130,4 m so, Röt (4)mu (muW3), ab 130,4 m so (Röt 4)	27.06.2013 08:15	Pumpprobe
RE-15-i3	100,00 – 115,06	mu (muW3)	26.06.2013 14:25	Pumpprobe

Die Analyse der physikalisch-chemischen Parameter umfasste vor allem die Bestimmung sensorischer Eigenschaften, wie Färbung und Geruch, sowie der physikalisch-chemischen Eigenschaften wie Leitfähigkeit, pH-Wert und Säurekapazität (Sk). Die ermittelten Kennwerte für die Wasserproben aus der Bohrung Remlingen 15 sind in nachfolgender Tabelle 45 zusammengefasst.

Tabelle 45: Physikochemische Parameter der Wasserproben aus der Remlingen 15.

Intervall	Bohrabschnitt Teufe Stratigrafie	Färbung	Trübung	Geruch	LF [µS/cm] (25°C)	pH (20°C)	Sk [mmol/l] (pH 4,3)
RE-15-i2	1. Abschnitt 78-135 mT mu	schwach gelblich	rotbrauner Bodensatz	neutral	1203	7,79	6,90
RE-15-i3	1.Abschnitt 100-115 mT mu	schwach gelblich	opaleszent, rotbrauner Bodensatz	leicht organisch	987	7,65	5,98

Die Analyse der ***chemischen Parameter (Anionen und Kationen)*** umfasste die Bestimmung der in Tabelle 46 dargestellten Elemente. Natrium und Kalium gehören zu den Alkali-Metallionen; Calcium und Magnesium zu den Erdalkali-Ionen. Beide gehören zu der Gruppe der Kationen. Hydrogencarbonat- und Karbonat-Ionen, Chlorid-, Sulfat- und Nitrat-Ionen gehören zu der Gruppe der Anionen.

Tabelle 46: Kationen- und Anionen-Gehalte der Wasserproben aus der Remlingen 15.

Intervall	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{2+} [mg/l]	Mg^{2+} [mg/l]	NH_4^+ [mg/l]	HCO_3^- [mg/l]	CO_3^{2-} [mg/l]	Cl^- [mg/l]	SO_4^{2-} [mg/l]	NO_3^- [mg/l]
RE-15-i2	142	2,7	86,4	25,3	<0,2	421	-	152	59,8	0,12
RE-15-i3	47,2	2,6	101	43,7	<0,2	365	-	47,6	162	1,3

Die Untersuchung mit ***isotopenhydrologischem und geochemischem Hintergrund*** umfasste, neben anderen, die Messung der Parameter Sauerstoff- 18 (^{18}O), Deuterium (^{2}H) und Tritium (^{3}H). Die zusammengefassten Analyseergebnisse für diese Isotopen sind in Tabelle 47 dargestellt.

Tabelle 47: Isotopengehalte (Tritium, Sauerstoff-18 und Deuterium).

Intervall	Teufe [m u. GOK]	$\delta^{18}O$ [‰]	$\delta^{2}H$ [‰]	^{2}H Exzess	^{3}H [TU]	±2 [TU]
RE-15-i2	78-134,58	-8,67	-59,0	10,36	5,20	0,91
RE-15-i3	100-115,06	-8,65	-57,8	11,40	1,80	0,75

Aus den Intervallen i2 (Einfachpackertest) und i3 (Doppelpackertest) wurde jeweils eine Wasserprobe entnommen und geochemisch analysiert (siehe [12] und Kapitel 5.2.2). Die Analysenergebnisse von Probe i2 ergeben ein von der chemischen Zusammensetzung der Wässer der Asse-Struktur abweichendes, aber für den mu/so-Bereich plausibles Mischwasser (vgl. Abbildung 32) mit einem überwiegend jüngeren und einem älteren Wasseranteil, welches durch Fremdwasser weitgehend unbeeinflusst ist. Laut [12] lässt sich eine mittlere Verweilzeit von 15 bis 20 Jahren angeben und die ältere Wasserkomponente auf ein Alter von weniger als 5.000 Jahre eingrenzen.

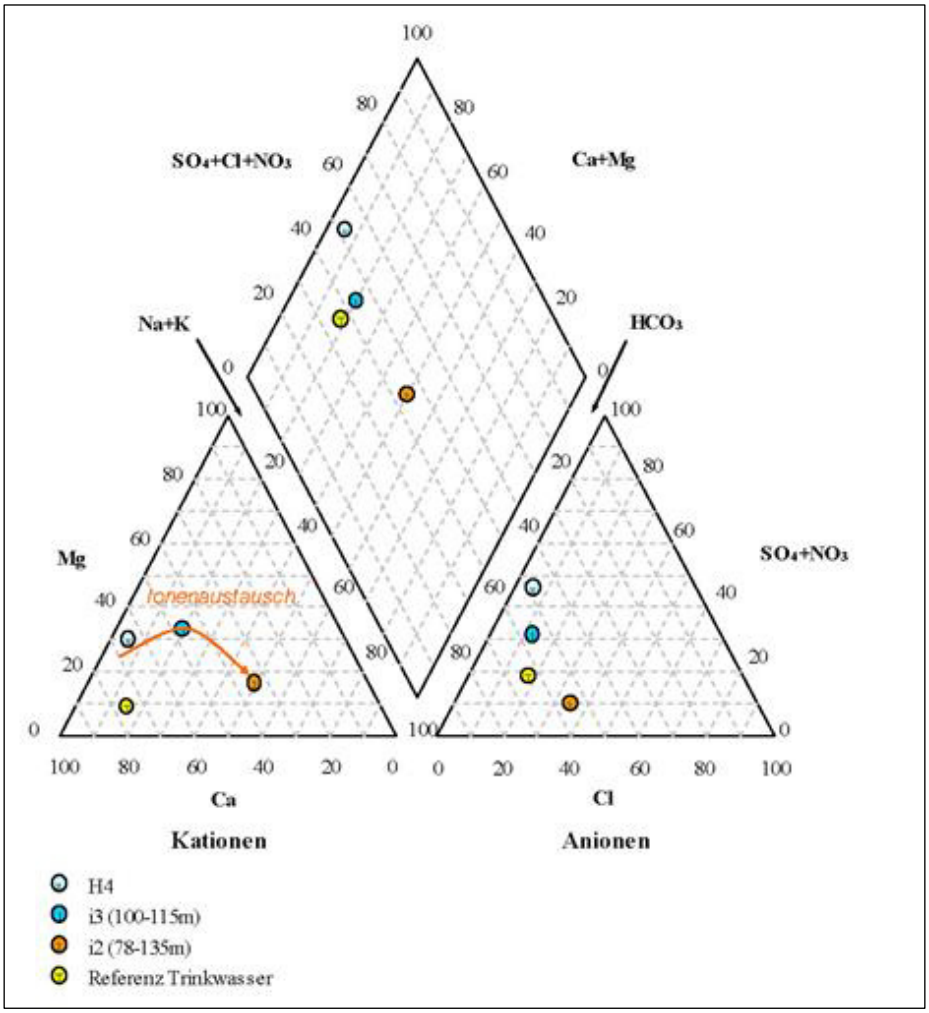


Abbildung 32: PIPER-Diagramm der Probe i2, i3 und Referenz Trinkwasser sowie Grundwasser aus dem mu/so-Bereich der Asse- -Struktur (stark tritiumhaltige Proben hellblau). Mit eingezeichnet ist der Entwicklungspfad eines Ionenaustauschwassers. (Abbildung 6 aus Anhang 1 in [12])

Die Probe i3 ist chemisch vergleichbar mit Formationswasser aus dem mu des Asse-Gebietes und stellt ein durch Fremdwasser fast unbeeinflusstes Mischwassersystem aus einem jungen und einem langsam zirkulierenden, alten Wasseranteil dar. Es wird in [12] eine mittlere Verweilzeit von 12 bis 25 Jahren sowie ein Alter der alten Komponente von weniger als 5.000 bis max. 10.000 Jahre angegeben.

7.1.3.2 Buntsandstein (130,4 mT bis 394,3 mT)

Im Oberen Buntsandstein wurden während des Bohrvorgangs zwischen 258,3 mT bis 265 mT geringe Spülungsverluste festgestellt (vgl. Kapitel 4.2.3). Hier ist im Bohrkern zwischen 258 mT und 259 mT ein aufgelockerter Bereich erkennbar, dem von 259 mT bis 261 mT ein relativ fester, kompakter Kern folgt. Zwischen 261 mT und 265 mT liegt Kernverlust vor. Ob es sich hier um einen möglichen gestörten oder geklüfteten handelt, kann auf Basis der durchgeführten Untersuchungen nicht eindeutig festgestellt werden. Mit Hilfe der geophysikalischen Bohrlochmessungen wurden keine konkreten Störungen oder Klüfte definiert. Auch mit den Ergebnissen der mikropaläontologischen und geologischen Untersuchungen lassen sich keine Anhaltspunkte für Störungen im Buntsandstein feststellen. Grundsätzlich wurden für den gesamten Bereich des Oberen Buntsandsteins keine konkreten Störungen ausgewiesen.

Die Flowmetermessung in Ruhe lässt von 260 mT bis 323 mT eine Abwärtsströmung erkennen [9]. Ebenso ist bei 260 mT eine deutliche Veränderung (Anstieg) der Leitfähigkeit messbar. Eine eindeutige Interpretation dieses Erscheinungsbildes ist nicht möglich. Jedoch lässt sich der Kurvenverlauf möglicherweise mit einem durch die Absetzteufe des Rohrschuhs verursachten Effektes erklären. Der Rohrschuh ist bis 258,5 mT eingebaut; laut fotografischer Dokumentation in einen scheinbar aufgelockerten Bereich. Hier kann keine sichere Aussage zur Ursache der Auflockerung (geologisch oder bohrtechnisch) getroffen werden. Die im Teufenbereich zwischen 258,3 mT und 265 mT festgestellten Spülverluste korrelieren mit diesem Erscheinungsbild. Aus dem ABF der geophysikalischen Messungen gehen jedoch keine Indizien für Klüfte oder offene Schichtflächen hervor.

Die Unterschiede in den Temperaturkurven (vgl. Anhang 1.2 und [9]) liegen vorwiegend daran, dass sich die Bohrspülung zunehmend der Gebirgstemperatur angleicht. Die Temperatur nimmt konstant mit der Tiefe zu und zeigt im 2. Bohrabschnitt keine Auffälligkeiten. Die Leitfähigkeitskurven unterscheiden sich kaum und sind bis 244 mT sehr konstant. Während der Bepumpung nimmt die Leitfähigkeit ab 244 mT ab, es wird vermutlich zunehmend geringer mineralisiertes Wasser angezogen.

Ab 258 mT nimmt die Temperatur (vgl. Temperaturkurvein Anhang 1.3) annähernd konstant zu. Die Kurven des Temperatur-Logs sind im Verlauf sehr ähnlich und unterhalb von 290 mT nahezu identisch.

Die hydraulischen Tests erfolgten in den Intervallen i4 bis i7 als Doppel- bzw. Einfachpackertests (siehe [12]). Das Intervall i2 erfasste neben dem Unteren Muschelkalk auch den oberen Bereich

des Oberen Buntsandsteins. Die gemessenen und abgeschätzten Eigenschaften des Formationswassers sind in Tabelle 48 zusammengestellt. Diese Werte wurden für die Auswertungen in den Sofortberichten und für weitere Berechnungen verwendet [12].

Tabelle 48: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]).

Intervall	Teufe (m u. GOK)	Druck [1] [kPa]	Temperatur Tw [2] [°C]	Kompressibilität cw [3] [Pa-1 1E-10]	Dichte ρw [3] [kg/m3]	Viskosität μw [3] [Pa s 1E-4]
RE-15-i4	151,00 – 259,00	1759,0	14,3	5,28	1001,6	12,4
RE-15-i5	156,00 –181,05	1479,0	14,2	5,32	1001,5	12,5
RE-15-i6	193,00 – 218,05	1832,4	16,0	5,19	1001,3	12,0
RE-15-i7	302,00 – 357,27	3082,5	20,0	4,92	1001,2	11,0

[1] Druck im Intervallmittelpunkt, auf Basis von Formationswasserdrückern und den dazugehörigen Formationswasserdichten ρ_{in}.
[2] Temperatur (T_w) aus Temperaturmessungen im Testintervall.
[3] c_w, ρ_w und μ_w Werte aus PVT-Korrelationen berechnet.

Es wurden variierende T-Werte ermittelt (siehe Tabelle 49), die auf unterschiedlich durchlässige Zonen zurückzuführen sind. Die langen Intervalle i4 (151,0 mT bis 259,0 mT) und i7 (302,0 mT bis 357,27 mT) sind mit T-Werten von $9{,}69 * 10^{-7}$ m²/s bzw. $4{,}54 * 10^{-7}$ m²/s schwach bis sehr schwach durchlässig. Die Intervalle i5 (156,0 mT bis 181,05 mT) mit einem T-Wert von $2{,}58 * 10^{-10}$ m²/s und i6 (193,0 mT bis 218,05 mT) mit $T = 2{,}66 * 10^{-9}$ m²/s sind als sehr schwach bis nahezu undurchlässig einzustufen (vgl. [12]).

Tabelle 49: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15.

Intervall	Abschnitt	Strat.	Teufe [m u. GOK]		Test	T[m²/s]			k_f [m/s]			Einstufung [21]
			von	bis		best fit	min	max	best fit	max	min	
i4	2	so	151	259,00	EP	9,69E-07	9,30E-07	1,25E-06	8,97E-09	8,61E-09	1,16E-08	schwach bis sehr schwach durchlässig
i5	2	so	156	181,05	DP	2,58E-10	8,69E-11	1,00E-09	1,03E-11	3,47E-12	4,00E-11	sehr gering bis nahezu undurchlässig
i6	2	so	193	218,05	DP	2,66E-09	2,55E-09	1,82E-08	1,06E-10	1,02E-10	7,25E-10	sehr gering bis nahezu undurchlässig

Erläuterung:
mu…Unterer Muschelkalk (Schaumkalk, Wellenkalk)
o. E.…Sulfate ohne strat. Einstufung
Z…Zechstein
EP…Einfachpacker
so…Oberer Buntsandstein (Rötζ bis Röt1)
o.E.*…Sulfate (o.E.), sekundäre Sulfate (Hut), Steinsalz
DP…Doppelpacker
E-n…10^{-n}

In Tabelle 50 sind die aus der Porosität, des E-Moduls und der POISSON-Zahl berechneten Ss-Werte für die untersuchten Intervalle zusammengefasst. Die detaillierten Angaben zum Speicherkoeffizienten (S) und Spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) können den Einzelberichten zu den Intervallen in [12] entnommen werden. Zusätzlich sind diese Ergebnisse in Anhang 10 übersichtlich und zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 50: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]).

Strat.		Teufe [m u. GOK]	Intervall	Porosität [%]	E [GPa]	POISSON [-]	Cr [Pa-1]	Ss [m-1]
Röt (so4 bis so1)	Min.Ss	130,4 - 360,0	i4, i5, i6, i7	2	50	0,35	1,8E-11	2,8E-07
	Max.Ss			18	5	0,15	4,2E-10	5,0E-06

Eine Einstufung der ermittelten Werte des spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) für die untersuchten Gesteinstypen ist durch die Korrelation mit den Ergebnissen der Porosität, der

Transmissivität und der Durchlässigkeit (vgl.Tabelle 50) möglich. Grundsätzlich korrelieren die Werte für Ss gut mit den Porositäten der untersuchten Gebirgsbereiche.

Die untersuchten Gesteine aus dem Bereich des Oberen Buntsandsteins (Röt) charakterisieren sich ebenfalls durch geringe spezifische Speicherkoeffizienten (Wertebereich 10^{-6} bis 10^{-7}). Die Gesteine des Buntsandsteins stellen primär einen Porengrundwasserleiter dar, dessen Porenraum mitunter „verkittet“ ist. Aus der lithologischen Ansprache der Gesteine des Buntsandsteins sowie aus der Strukturinterpretation der geophysikalischen Bohrlochmessungen (ABF, Strukturanalyse) geht zudem hervor, dass vorhandene Klüfte nicht als offene Klüfte definiert wurden, diese also vermutlich zumeist als verheilte Klüfte vorliegen.

Die zugehörigen Transmissivitäten und Durchlässigkeiten dieser Gesteine werden als schwach/sehr schwach durchlässig bzw. sehr gering durchlässig bis nahezu undurchlässig definiert. Die geringen Porositätswerte unterstützen diese Einstufung.

Zur Wasseranalytik wurden während der hydrogeologischen Bohrlochmessungen Proben entnommen (Tabelle 51). Die physikochemischen Parameter und detaillierten Aussagen sowie die vollständigen Analysenergebnisse können dem Anhang 1 in [12] entnommen werden.

Tabelle 51: Entnommene Wasserproben aus den Testintervallen der Bohrung Remlingen 15.

Intervall-bezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	Stratigrafische Einheit	Entnahmezeit	Bemerkungen
RE-15-i6	193,00 – 218,00	so, (Röt 4, bis Röt 3)	02.12.2013 08:50	Samplerprobe aus Tubing nach SW-Test
RE-15-i7	302,00 – 357,27	so, (Röt 2)	22.01.2014 16:30	Pumpprobe

Die Analyse der physikalisch-chemischen Parameter umfasste vor allem die Bestimmung sensorischer Eigenschaften, wie Färbung und Geruch, sowie der physikalisch-chemischen Eigenschaften wie Leitfähigkeit, pH-Wert und Säurekapazität (Sk). Die ermittelten Kennwerte für die Wasserproben aus der Bohrung Remlingen 15 sind in nachfolgender Tabelle 52 zusammengefasst.

Tabelle 52: Physikochemische Parameter der entnommenen Wasserproben aus der Remlingen 15.

Intervall	Bohrabschnitt Teufe Stratigrafie	Färbung	Trübung	Geruch	LF [µS/cm] (25°C)	pH (20°C)	Sk [mmol/l] (pH 4,3)
RE-15-i6	2.Abschnitt 193-218 mT so	schwach gelblich	trüb, rotbrauner Bodensatz	neutral	536	10,6	1,97
RE-15-i7	3.Abschnitt 302-357 mT so	rotbraun	stark getrübt	organisch	12500	7,34	3,1

Die Analyse der ***chemischen Parameter (Anionen und Kationen)*** umfasste die Bestimmung der in Tabelle 53 dargestellten Elemente. Natrium und Kalium gehören zu den Alkali-Metallionen; Calcium und Magnesium zu den Erdalkali-Ionen. Beide gehören zu der Gruppe der Kationen. Hydrogencarbonat- und Karbonat-Ionen, Chlorid-, Sulfat- und Nitrat-Ionen gehören zu der Gruppe der Anionen.

Tabelle 53: Kationen- und Anionen-Gehalte der Wasserproben aus der Remlingen 15.

Intervall	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{2+} [mg/l]	Mg^{2+} [mg/l]	NH_4^+ [mg/l]	HCO_3^- [mg/l]	CO_3^{2-} [mg/l]	Cl^- [mg/l]	SO_4^{2-} [mg/l]	NO_3^- [mg/l]
RE-15-i6	68,1	4,4	30,6	0,3	<0,2	<3,0	24	47,6	61,3	6,5
RE-15-i7	2010	28,4	740	153	<0,2	189	-	3400	1760	<0,5

Die Untersuchung mit ***isotopenhydrologischem und geochemischem Hintergrund*** umfasste, neben anderen, die Messung der Parameter Sauerstoff-18 (^{18}O), Deuterium (^{2}H) und Tritium (^{3}H). Die zusammengefassten Analyseergebnisse für diese Isotopen sind in Tabelle 54 dargestellt.

Tabelle 54: Isotopengehalte (Tritium, Sauerstoff-18 und Deuterium).

Intervall	Teufe [m u. GOK]	$\delta^{18}O$ [‰]	$\delta^{2}H$ [‰]	^{2}H Exzess	^{3}H [TU]	±2 [TU]
RE-15-i6	193-218,05	-8,65	-57,6	11,60	4,60	0,78
RE-15-i7	302-357,27	-9,06	-61,8	10,68	2,70	0,57

Nachstehend werden die Ergebnisse der Wasseranalysen der Testintervalle im Überblick dargestellt. Detaillierte Aussagen sowie die vollständigen Analysenergebnisse können dem Anhang 1 in [12] entnommen werden.

Wasserproben wurden aus dem Intervall i6 (Samplerprobe aus dem Tubing nach SW-Test) und i7 (Pumpprobe) entnommen und hydrochemisch untersucht (siehe [12] und Kapitel5.2.2). Die Probe i6 (vgl. Abbildung 33) weist eine starke Beeinflussung durch Fremdwasser auf und kann deshalb nicht eindeutig interpretiert werden. Es handelt sich um ein für Formationswässer aus dem Röt untypisch gering mineralisiertes Wasser mit einer hauptsächlich jungen Wasserkomponente. Ein älterer Anteil ist anhand von erhöhten Iodid-, Fluorid- und Strontiumgehalten sowie einem deutlichen Ungleichgewicht von Natrium zu Chlorid erkennbar, aber nicht eindeutig zu berechnen. Belastbare Altersangaben sind nicht möglich.

Probe i7 zeigt eine für Rötwässer typische hohe Mineralisation. Die erhöhten Fluorid-, Bromid und Iodid-Gehalte können gut mit längen Verweilzeiten im Untergrund korreliert werden. Anhand der Ergebnisse (vgl. Abbildung 33) der Isotopenuntersuchung lässt sich ein durch Fremdwasser beeinflusstes Mischwasser mit jungen Formationswasseranteilen und einer langsam zirkulierenden, alten Komponente oder auch ein Mischwasser mit zwei jungen und einer alten Komponente interpretieren. Belastbare Altersangaben können nicht gegeben werden.

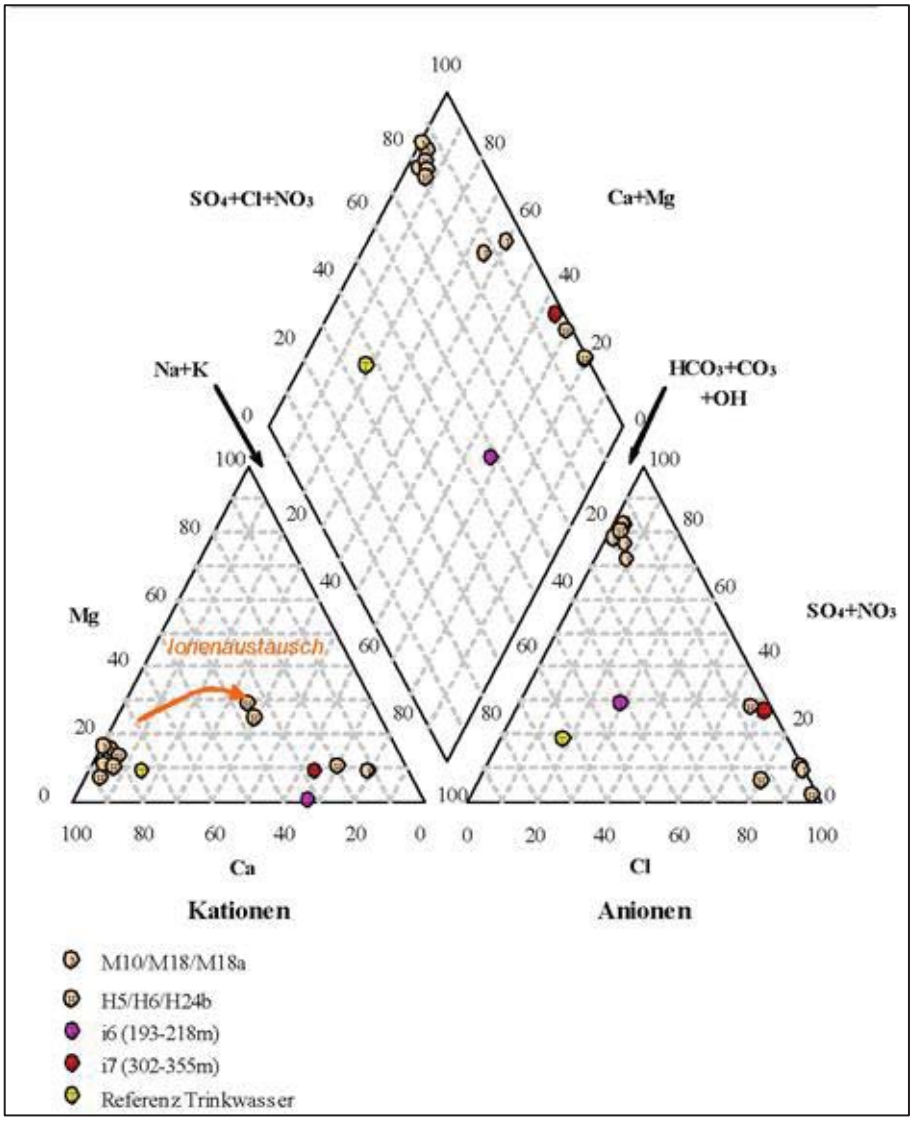


Abbildung 33: PIPER-Diagramm der Probe i6, i7 und Referenz Trinkwasser sowie Grundwässer aus dem so-Bereich der Asse-Sattel-Struktur (stark tritiumhaltige Proben hellfarbig). Mit eingezeichnet ist der Entwicklungspfad eines Ionenaustauschwassers. (Abbildung 8 aus Anhang 1 in [12])

7.1.3.3 „Hutgestein“ (394,3 mT bis 443,8 mT)

Im Abschnitt der Sulfate und der sekundären Sulfate (Hut) wurden keine Wasserzutritte während der Bohrarbeiten festgestellt. Der erbohrte Gesteinsverband ist als stark gestört (brekziöse Strukturen, Versturzgebirge) anzusprechen. In den geophysikalischen Tests war nur die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessung während des Pumpbetriebes auffällig (Verweis auf

Terratec-Bericht und Anhygsynpse dieses Berichtes). In der Kurve zeigt sich bei etwa 430 mT eine deutliche Abweichung von der Ruhekurve. In diesen Kurvenverlauf könnte ein möglicher geringfügiger Zulauf, angeregt durch die Bepumpung, interpretiert werden.

Mit den hydraulischen Tests in den Intervallen i9 (409,0 bis 421,023 mT) und i10 (421,3 mT bis 433,53 mT, Doppelpackertests) wurden zunächst die Sulfate ohne stratigrafische Einstufung getestet. Das Intervall i11 (421,3 mT bis 450,0 mT, Einfachpackertest) umfasste zusätzlich den Abschnitt der sekundären Sulfate (Hut) sowie den Übergang zum Salinar [12].

Die gemessenen und abgeschätzten Eigenschaften des Formationswassers sind in Tabelle 55 zusammengestellt. Diese Werte wurden für die Auswertungen in den Sofortberichten und für weitere Berechnungen verwendet [12].

Tabelle 55: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]).

Intervall	Teufe (m u. GOK)	Druck [1] [kPa]	Temperatur Tw [2] [°C]	Kompressibilität cw [3] [Pa-1 1E-10]	Dichte ρw [3] [kg/m3]	Viskosität μw [3] [Pa s 1E-4]
RE-15-i9	409,00 – 421,23	4096,0	24,3	2,93	1076,9	12,1
RE-15-i10	421,30 – 433,53	4231,3	25,4	2,92	1076,5	11,8
RE-15-i11	421,30 – 450,00	4086,5	26,0	2,92	1076,2	11,7

[1] Druck im Intervallmittelpunkt, auf Basis von Formationswasserdrückern und den dazugehörigen Formationswasserdichten ρ_{in}.
[2] Temperatur (T_w) aus Temperaturmessungen im Testintervall.
[3] c_w, ρ_w und μ_w Werte aus PVT-Korrelationen berechnet.

Für das Intervall i9 wurde eine Transmissivität von 2,01 * 10^{-12} m^2/s ermittelt. Das Gebirge ist hier als undurchlässig anzusehen. Bei Intervall i10 wurde der T-Wert mit 1,27 * 10^{-10} m^2/s bestimmt; damit wird der Bereich als sehr gering bis nahezu undurchlässig eingestuft. Das Intervall i11 wird nachstehend im Zusammenhang mit dem Salinar beschrieben. Die jeweiligen Ergebnisse sind in Tabelle 56 zusammengestellt.

Tabelle 56: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15.

Intervall	Abschnitt	Strat.	Teufe [m u. GOK]		Test	T[m²/s]			k_f [m/s]			Einstufung [21]
			von	bis		best fit	min	max	best fit	max	min	
i9	4	o.E.	409	421,23	DP	2,01E-12	1,24E-12	3,58E-12	1,64E-13	1,01E-13	2,93E-13	undurchlässig
i10	4	o.E	421,3	433,53	DP	1,27E-10	1,01E-10	1,38E-10	1,04E-11	8,27E-12	1,13E-11	sehr gering bis nahezu undurchlässig
i11	4	o.E.*	421,3	450	EP	7,54E-10	6,41E-10	9,61E-10	2,63E-11	2,23E-11	3,35E-11	sehr gering bis nahezu undurchlässig

Erläuterung:
mu…Unterer Muschelkalk (Schaumkalk, Wellenkalk)
o. E.…Sulfate ohne strat. Einstufung
Z…Zechstein
EP…Einfachpacker
so…Oberer Buntsandstein (Röt4 bis Röt1)
o.E.*…Sulfate (o.E.), sekundäre Sulfate (Hut), Steinsalz
DP…Doppelpacker
E-n…10^{-n}

In Tabelle 57 sind die aus der Porosität, des E-Moduls und der POISSON-Zahl berechneten Ss-Werte für die untersuchten Intervalle zusammengefasst. Die detaillierten Angaben zum Speicherkoeffizienten (S) und Spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) können den Einzelberichten zu den Intervallen in [12] entnommen werden. Zusätzlich sind diese Ergebnisse in Anhang 10 übersichtlich und zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 57: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]).

Strat.		Teufe [m u. GOK]	Intervall	Porosität [%]	E [GPa]	POISSON [-]	Cr [Pa-1]	Ss [m-1]
Sulfate, Siliziklastite, Sekundäre Sulfate (Hut?) ohne strat. Einstufg.	Min.Ss	409,0 - 450,0	i9, i10, i11	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
	Max.Ss			k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Cr…Kompressibilität
Ss…Spezifischer Speicherkoeffizient
E…YOUNG-Modul

Für die untersuchten Gesteine des „Hutgesteins“ liegen keine ermittelten spezifischen Speicherkoeffizienten vor. Nach den ermittelten Transmissivitäten und Durchlässigkeiten sind die untersuchten Gesteine des „Hutgesteins“ als sehr schwach durchlässig einzustufen.

Wasserproben konnten bei den Tests nicht gewonnen werden und bestätigten damit nicht das Indiz des bei der geophysikalischen Messung vermutlich bei ca. 430 mT angeregten Wasserzulaufs.

7.1.4 Gebirgsmechanische Beschreibung/Eigenschaften

7.1.4.1 Ergebnisse Spannungsmessungen

Im Bereich des Deckgebirges wurden insgesamt 7 hydraulische Spannungsmessungen einschließlich Abdruckpackertests durchgeführt (siehe Bericht [10]). Zwei Spannungsmessungen (einschließlich Abdruckpackertest) erfolgten bei 413,5 mT und 424,0 mT (nach stratigrafischer Einstufung in Anlehnung an [19]: Sulfate ohne stratigrafische Einstufung).

Tabelle 58: Ergebnisse der hydraulischen Spannungsmessungen der Remlingen 15 [10]

Phase	Test Nr.	Teufe [m]	P_c [mPa]	P_r [mPa]	P_{co} [mPa]	P_{si} [mPa]	Methode/ Rissspur	θ [deg]	α [deg]	Bemerkung
1/Abschnitt 1	3	60,00	-	1,2	-	1,4	IPT / A IPT / B	115 99	90 80	axiale Doppelspur steil einfallend
	2	117,30	-	2,7	-	2,3	IPT / A	92	79	keine Änderung
	1	128,50	-	2,55	-	2,3	IPT / A IPT / B	144 160	90 90	axiale Einzelspur axiale Einzelspur
2/Abschnitt 2	7	179,40	7,4	5,0	2,4	4,6	IPT / A IPT / B IPT / C	93 157 100	32 36 74	flach einfallend flach einfallend steil einfallend
	6	191,95	7,5	5,35 – 5,4	2,1 – 2,15	4,9	IPT / A IPT / B IPT / C	125 7 97	36 18 64	flach einfallend sub-horizontal steil einfallend
	5	209,05	7,7	5,6	2,1	4,4	IPT / A IPT / B	159 163	71 24	steil einfallend flach einfallend

Phase	Test Nr.	Teufe [m]	P_c [mPa]	P_r [mPa]	P_{co} [mPa]	P_{si} [mPa]	Methode/ Rissspur	θ [deg]	α [deg]	Bemerkung
	4	232,40	6,4	4,9	1,5	5,5	IPT / A IPT / B	128 29	74 48	steil einfallend einfallend
3/Ab-schnitt 4	9	413,50	19,6 - 21,7	10,9	8,7 – 10,8	9,3	IPT / A	141	90	axiale Doppelspur
	8	424,00	14,7	10,2	4,5	10,4	IPT / A IPT / B	122 131	90 90	axiale Einzelspur steil einfallend
4/Abschnitt	15	499,00	15,0	9,0 – 9,3	5,7 – 6,0	10,4	IPT BHTV	(42)	(87)	keine Rissdetektion, existierender Riss, keine Änderung

Erläuterung:

P_c…Rissinitiierungsdruck

$P_{co...}$hydraulische Zugfestigkeit

θ…Streichen des Risses (N über E)

IPT…Abdruckpackertest

P_r…Rissöffnungsdruck

P_{si}…Shut-in Druck

α…Einfallswinkel (bzgl. Horizontale)

BHTV…Televiewer-Log

Alle Versuche im Teufenbereich zwischen 179,4 mT und 424 mT (nach [8] und [19]: Versuche von 179,4 mT bis 232,4 mT im Röt 4 und Röt 3, Versuche bei 413,5 mT und 424 mT Sulfate ohne stratigrafische Einstufung) sind durch deutliche Rissinitiierungs-Ereignisse bei Pc-Druckwerten von 6,4 MPa bis 21,7 MPa gekennzeichnet; lediglich während der Versuche im Unterem Muschelkalk zwischen 60 mT (Schaumkalk) und 128,5 mT (Wellenkalk) wurden vorhandene Risse stimuliert (siehe [10]). Die Rissöffnungsdruckwerte variieren dabei zwischen 1,2 MPa und 10,9 MPa; die insbesondere im Oberen Buntsandstein deutlich ausgeprägten Shut-in Druckwerte variieren zwischen 1,4 MPa und 10,4 MPa.

Die hydraulische in-situ Zugfestigkeit Pco = Pc - Pr variiert im Oberen Buntsandstein zwischen 1,5 MPa und 8,7-10,8 MPa mit einem Mittelwert von 3,7 ± 3,1 MPa. Trotz Streuung wird eine systematische Zunahme der charakteristischen Druckwerte mit der Tiefe festgestellt.

Die Ergebnisse der Abdruckpackertests zeigen, trotz multipler Rissdetektion in den meisten Testintervallen, die Erzeugung/Stimulation steil-einfallender (Einfallswinkel > 60°) bzw. axialer Risse mit einer Streichrichtung zwischen W-E und NW-SE (die im 2. Bohrabschnitt vor und nach den hydraulischen Spannungsmessungen durchgeführten BHTV-Messungen zeigten keine Veränderungen). Aufgrund der einheitlichen Rissorientierung wurde das in-situ Spannungsfeld gemäß dem Verfahren nach Hubbert und Willis (1957) bestimmt (vgl. [10]).

Die Berechnung der größeren horizontalen Hauptspannung S_H erfolgte unter Berücksichtigung des Porendrucks bei einem Ruhewasserspiegel von 38 m u. GOK für die Versuche im Unteren Muschelkalk bzw. für hydrostatische Bedingungen für die Versuche im Oberen Buntsandstein. Die Vertikalspannung S_v wurde für eine mittlere Deckgebirgsdichte von σ = 2,5 g/cm^3 bestimmt. Die Ergebnisse sind in [10] dargestellt und können durch nachstehende Spannungs-Teufen-Beziehung zusammengefasst werden:

$$S_h\ [MPa] = (1{,}2 \pm 0{,}3) + (0{,}024 \pm 0{,}001) \cdot (z\ [m] - 60)$$

$$S_H\ [MPa] = (1{,}9 \pm 0{,}8) + (0{,}036 \pm 0{,}004) \cdot (z\ [m] - 60)$$

$$S_v\ [MPa] = 0{,}0245 \cdot z\ [m]$$

Dabei beschreiben S_h und S_H die minimale und maximale horizontale Hauptspannung (in MPa), S_v die vertikale Hauptspannung (in MPa) und z die Tiefe (in m). Die Richtung der größeren horizontalen Hauptspannung θ_{SH} wurde im mesozoischen Deckgebirge der Bohrung Remlingen 15 zu N 122° ± 23° (NW-SE) bestimmt.

7.1.4.2 Ergebnisse Dilatometermessungen

Insgesamt wurden 3 Dilatometerversuche (3 Einsätze mit insgesamt 12 Testteufen, vgl. Tabelle 2 in [11]) im Bereich des Deckgebirges im Bohrloch durchgeführt.

Im Bereich des Muschelkalks (erster Bohrabschnitt) kann ein Trend von geringen zu höheren Verformungsmoduli mit zunehmender Tiefe angenommen werden. Bei den Versuchen in 56,3 m und 112,5 m Teufe ist ein ausgeprägtes anisotropes Verhalten zu erkennen. Der in N-S ausgerichtete Wegaufnehmer weist deutlich geringere Verformungsmoduli auf, als der obere und mittlere Wegaufnehmer. Die Gesteine des Muschelkalks sind als mäßig bis sehr stark verformbar (DM3 bis DM5) zu klassifizieren. Im oberen Abschnitt des Oberen Buntsandsteins (zweiter Bohrabschnitt) zeigen die Gesteine vergleichbare Verformungsmoduli, nur der Versuch bei 163,5 mT ist eine Ausnahme. Ein anisotropes Verhalten der Gesteine konnte nur bei 163,5 mT und 235,0 mT anhand der Ergebnisse interpretiert werden. Es konnte jedoch keine Richtung der Anisotropie festgestellt werden. Die Gesteine sind überwiegend als mäßig verformbar (DM3) zu klassifizieren.

Für den unteren Abschnitt des Oberen Buntsandsteins (dritter Bohrabschnitt) werden durch die Bohrlochmessungen geringe Verformungsmoduli aufgezeigt und es konnte kein anisotropes

Verhalten festgestellt werden. Es handelt sich bei den Gesteinen nach dem Schneider-Kriterium um mäßig kompakten bis kompakten Fels, ohne elastisches Verhalten. Die Gesteine sind überwiegend als stark bis sehr stark verformbar (DM 4 bis DM 5) zu klassifizieren.

Die Dilatometermessungen im vierten Bohrabschnitt (ohne stratigraphische Einstufung und sekundäre Sulfate) zeigen deutliche Unterschiede in den ermittelten Verformungsmoduli (Unterschiede zwischen den beiden Testteufen, vgl. Tabelle 59). Diese Unterschiede können auf die Eigenschaften der Gesteine zurückzuführen sein, jedoch war die Bohrlochwand sehr uneben (irreguläres Verhalten der Wegaufnehmer während der Tests). Die ermittelten Werte stellen nur wenig belastbare Resultate dar. Im Bohrabschnitt 4 konnte keine Auswertung der Daten im Hinblick auf anisotropes Verhalten stattfinden. Die Gesteine im Bereich der nicht stratigrafisch zugeordneten Sulfate, Siliziklastite und sekundären Sulfate (Hut?) (Teufenbereich des 4. Einsatzes) schwanken zwischen stark und schwach verformbar (DM2 bis DM4).

Tabelle 59: Zusammenstellung der Testintervalle und der Ergebnisse der Dilatometertests (aus [11]) im Deckgebirge und im Bereich des „Hutgesteins“

Testtiefe (drill depth)	**Empfohlene Werte**			**Stratigrafie/ Lithologie**
	Verformungsmodul Γ_i Wiederbelastung (MPa)	**Verformungsmodul Γ_i Erstbelastung (MPa)**	**Elastizitätsmodul E_i Entlastung (MPa)**	
1. Einsatz				
25,0	210	180	240	muW3/ Kalkstein, Kalkmergel
32,5	130	150	160	muW3/ Kalkstein, Tonmergel
56,3	320	260	350	mu - Schaumkalk/ Kalkmergel, Tonmergel
83,5	3410	1360	3390	muW3/ Kalkstein, Kalkmergel
103,5	6080	4270	6820	muW3/ Kalkstein, Kalkmergel
112,2	74	72	84	muW3/ Kalkstein, Kalkmergel
2. Einsatz				
163,5	17800	11700	17800	so – Röt4/ Ton-Feinsandstein
203,5	7060	4240	6430	so – Röt4/ Sandstein, Feinsandstein, Ton
224,0	6760	4360	6620	so – Röt3/

Testtiefe (drill depth)	Empfohlene Werte			Stratigrafie/ Lithologie
	Verformungsmodul Γ_i Wiederbelastung (MPa)	Verformungsmodul Γ_i Erstbelastung (MPa)	Elastizitätsmodul E_i Entlastung (MPa)	
				Tonstein, Schluffstein
235,0	11000	5410	10300	so – Röt3/ Ton-Schluff-Feinsandstein
3. Einsatz				
292,5	1930	830	2300	so – Röt3 (?)/ Ton-Schluff-Feinsandstein
311,5	1640	610	1870	so – Röt3 (?)/ Ton-Schluff-Feinsandstein
4. Einsatz				
413,5 mT	4450	1320	2940	Sulfate o. strat. E./ Anhydrit, Gips, Tonstein
426,8 mT	20900	11600	-	Sulfate o. strat. E./ Gips-Anhydritstein

7.1.4.3 Ergebnisse gebirgsmechanische Untersuchungen

Im Rahmen des vorliegenden Berichtes werden die Ergebnisse der gebirgsmechanischen Untersuchungen an den Kernproben zur Bohrung Remlingen 15 nur in einer kurzen Zusammenfassung dargelegt.

Eine ausführliche Erläuterung der Methoden, durchgeführten Untersuchungen sowie deren Ergebnissen wird in einem separaten Berichtsdokument [14] ***des IfG bereit gestellt und kann diesem entnommen werden.***

Für jede Gesteinsgruppe wurde ein angepasstes Untersuchungsprogramm durchgeführt, deren Ergebnisse nachfolgend kurz zusammengefasst werden. Insbesondere in den verschiedenen lithologischen Einheiten des Deckgebirges mit Kalk-, Sulfat- (Anhydrit/Gips) und Tonsteinen, als Sediment- bzw. Residualgebirge, sind die Materialeigenschaften als sehr heterogen zu bezeichnen.

Während kompakte Gesteine (z.B. Kalk- oder Anhydritgesteine) teilweise hohe Festigkeiten aufweisen, liegen die Festigkeiten von Tonsteinhorizonten oder stark zerscherten Gesteinen mit Toneinschaltungen generell auf einem deutlich niedrigerem Festigkeitsniveau [14]. In der nachfolgenden Tabelle 60 sind die Ergebnisse der gebirgsmechanischen Untersuchungen zusammengefasst. Diese Angaben wurden aus [14] übernommen. Detaillierte Angaben und

weitere Interpretationen zu den Ergebnissen der gebirgsmechanischen Tests sind dem separaten Bericht [14] zu entnehmen.

Tabelle 60: Übersicht der gebirgsmechanischen Ergebnisse (Durchschnittswerte) für das Deckgebirge.

Litho -typ	**Petrophysikalische Parameter**		**Festigkeitsverhalten**			
	Wasser-gehalt *w (Gew.-%)*	***Dichte*** *ρ (g/cm^3)*	***Triaxiale Festigkeit*** *(Mohr-Coulomb-Parameter) [MPa]*	***Einaxiale Festigkeit*** *[MPa]*	***Spaltzugfestigkeit*** *[MPa]*	***Scherfestig-keit/Schicht- bzw. Trennflächen*** *[MPa]*
3 (mu)	0,η≤w≤1,9	ca. 2,55	Peak-Festigkeiten: 2,9 ≤ C ≤ 7,ζ ζ7,ζ ≤ ϕ ≤ η2,0	ζ,7 ≤ $\sigma_{1,max}$ ≤ 49,6	$SZ_{\parallel\ Schichtung}$: 2,1 $SZ_{\perp\ Schichtung}$: 3,1	C=0 ϕ=14
4 (mu)	Üb. L3: 0,9≤w≤1,9 Unt. L3.: 0,9≤w≤2,ζ	2,η0≤ρ≤2,θθ	Peak-Festigkeiten: 1,4≤C≤7,7 41,6≤ϕ≤52,9	15,5≤$\sigma_{1,max}$≤44,0	$SZ_{\parallel\ Schichtung}$: 1,1±0,9 $SZ_{\perp\ Schichtung}$: 1,7±0,3	Intaktes Material: C=0 ϕ=14 Restfestigkeit: ϕ_{rest}=21
5 (so)	2,2≤w≤12,θ w_{MW} = 6,9	2,ζ3≤ρ≤2,71 ρ_{MW} = 2,47	Kompakter Tonstein: C=5,3, ϕ= 20; Plastischer Tonstein: C= 0,3, ϕ= ca. 3	2,8≤$\sigma_{1,max}$≤15,0	$SZ_{plastische\ Tonst.}$: 0,1 $SZ_{kompakte\ Tonst.}$: 1,3 bis 2,8	Intaktes Material: C=0,4, ϕ=29 Restfestigkeit: ϕ_{rest}=27
6a (so)	7,θ≤w≤12,θ	2,26–2,36	-	0,2 bzw. 1,3	SZ: 0,1	Intaktes Material: C=0,8, ϕ=14 Restfestigkeit: ϕ_{rest}=19
7/8 (*)	2,θ≤w≤1θ,ζ	2,25 ≤ρ≤2,38 ρ_{MW} = 2,32	Intaktes Material: C=4,0, ϕ= ca. 28; Restfestigkeit: C= 1,8, ϕ= ca. 26	6,5 bzw. 8,7	$SZ_{\parallel\ Schichtung}$: 1,1±1,0	Intaktes Material: C=0,4, ϕ=39 Restfestigkeit: ϕ_{rest}=28

(*) Sulfate, Siliziklastite, Sekundäre Sulfate (Hut?) ohne stratigrafische Zuordnung

7.2 Salinar

Der Salinarabschnitt der Bohrung Remlingen 15 stellt sich durch eine sehr einheitliche Lithologie dar (Steinsalz), in welche hin und wieder Anhydrite „eingeschaltet“ sind. Das erbohrte Salzgestein charakterisiert sich durch eine steil gestellte und vorwiegend in Richtung SE einfallende Schichtung. Eine ergänzend durchgeführte EMR-Messung [22] ergab, dass deutliche Verfaltungen (vmtl. Kulissenfaltung) und damit einhergehend Schichtwiederholungen vorliegen.

7.2.1 Geologische Schichtabfolge und stratigrafische Zuordnung

7.2.1.1 Lithologische Beschreibung

Die Gesteine des Zechsteins im Bereich der Bohrung Remlingen 15 beschreiben sich allgemein durch ein Steinsalz und zwischengeschalteten Anhydriten, welche vorwiegend als bankige Ausbildung vorliegen. Insgesamt wurden 8 deutliche Anhydritbänke mit Mächtigkeiten zwischen 1,0 m und 4,5 m identifiziert. Zudem treten im laufenden Salzbohrkern immer wieder Zonen auf, in denen das relativ homogen ausgebildete, mittel- beispielsweise grobkristalline Steinsalz (rötlich-orange bis durchscheinend) mit anhydritisch ausgebildeten Bestandteilen durchsetzt ist und sich als „flockig“ erscheinendes Mischgestein beschreiben lässt. Im Wesentlichen stellt sich das Salzgestein als fester, durchgehender Kern dar. Vereinzelt treten kleinräumig aufgelockerte Zonen (Salzgrus) auf. Der gesamte Salzbohrkern ist immer wieder von dünnen (mm-Bereich) Anhydritlagen sowie vereinzelt vermutlich durch Tonverunreinigungen durchzogen. Diese Elemente lassen sich in den meisten Fällen ausschließlich anhand der Durchlichtfotografien [6] erkennen. Die einheitliche Lithologie im salinaren Abschnitt, welche hin und wieder von dünnen Lagen anderen Materials unterbrochen wird, wird durch verschiedene geophysikalische Bohrlochlogs widergespiegelt.

Basierend auf den Log-Darstellungen von FWS (Vp, Vs), Dichte und Widerstand (LL3-D, LL3-S) ist hier von Steinsalz auszugehen, was durch die lithologische und fotografische Feldaufnahme der Bohrkerne bestätigt wird. Die „eingeschalteten“ Lagen mit abweichenden geophysikalischen Werten, die im FWS- und Dichte-Log deutlich markant und im GR- und Widerstands-Log ansatzweise erkennbar sind, entsprechen den dokumentierten Anhydriten im Salinarabschnitt.

Ausgenommen der dünnen anhydritischen Lage bei 879,80 mT bis 880,10 mT sind alle eingeschalteten Anhydrite bzw. Anhydrit-Salz-Mischgesteine sehr deutlich im ABF-Log an hellen

Amplituden sowie am FWS-Log, im Dichte- und NN-Log hingegen an markanten Kurvenausschlägen zu erkennen.

Die lithologischen Wechsel von Steinsalz zu Anhydrit charakterisieren sich durch deutliche Zunahme der Gesteinsdichte für Anhydrit: Anstieg der GG-Kurve von 2 g/cm^3 (RHO kurz) bzw. 2,25 -2,5 g/cm^3 (RHO lang) auf 2,75 – 3,0 g/cm^3 sowie durch den Abfall der NN-Kurve in diesen Bereichen. Gleichermaßen sind die Anhydrite in der Signatur des FWS-Logs (Vp und Vs) zu sehen, welche sich analog zum Dichte-Log mit einem Anstieg der Geschwindigkeiten (Vp=Kompressionswelle; Vs=Scherwelle) verhalten. Die seismische Geschwindigkeit ist anhängig von der Gesteinsdichte. Anhand des Dichte- und des FWS-Logs sowie anhand des Kaliber-Logs können nachstehende Anhydritlagen bestimmt werden (Teufenangabe in Drill Depths):

- 532,5 mT bis 534,4 mT,
- 566,65 mT bis 570 mT,
- 585,50 mT bis 587,50 mT,
- 628,70 mT bis 631,35 mT,
- 700,10 mT bis 704,00 mT,
- 734,10 mT bis 738,30 mT,
- 880,80 mT bis 881,10 mT,
- 888,50 mT bis 892,80 mT.

Auch in den mechanischen Kennwerten (Kompressionsmodul (Bulk), Querdehnungszahl (Poisson), Schermodul und Elastizitätsmodul (Young- oder E-Modul) treten die Anhydrite deutlich mit erhöhten Kennwerten hervor.

Aufgrund des unruhigen Kalibers wurde die Gesteinsdichte 2-mal mit unterschiedlichen Eindringtiefen (kurz für bohrlochnahen und lang für bohrlochferneren Bereich) gemessen, um Messeinflüsse durch das Kaliber auszuschließen. Die rote Dichtekurve in Anhang 1.5 beschreibt den bohrlochnahen Bereich und die grüne Kurve den bohrlochentfernten Bereich. Im tieferen Messbereich des 5. Abschnittes, zwischen 868 mT und 873,5 mT, fallen die Messkurven für GG (kurz/lang) und NN leicht ab und stellen sich als leicht schwankende Wertekurven dar. In diesem Bereich beschreibt die feldgeologische Bohrkernaufnahme ein wolkig durchsetztes Salzgestein, welches sich durch Farbe und Gesamterscheinungsbild deutlich vom reinen Steinsalz unterscheidet (vgl. [6], S. 115). Die variierenden Dichten können eventuell auf unterschiedliche Salzzusammensetzungen (Verunreinigungen im Salz o.ä.) zurückzuführen sein. FWS-Log, ABF und GR-Log zeigen für diesen Bereich keine Auffälligkeiten an.

Ergänzend und abschließend ist zu bemerken, dass das Kaliber-Log ebenfalls die auftretenden Anhydritlagen im Salinarabschnitt recht gut herausstellt. In diesen Bereichen geht die Kaliberkurve jeweils auf etwa 150 mm zurück, das heißt, der Bohrlochdurchmesser wird in diesen Bereichen kleiner. Für die Abschnitte des Steinsalzes liegt das Kaliber zwischen 150 mm und 200 mm, mit zunehmender Teufe steigt der Kaliberwert sogar bis auf 250 mm (ca. 887 mT) an. Der vergrößerte Bohrlochdurchmesser im Steinsalz ist sehr wahrscheinlich mit der im Bohrloch eingesetzten Spülung zu erklären (Lösungserscheinung). Die Anhydritlagen bleiben auf Grund ihrer sulfatischen Zusammensetzung von der Bohrspülung unbeeinflusst.

In Tabelle 18 (Kapitel 6.1.1.2) sind die Ergebnisse der chemischen Analytik für die Steinsalzproben dargestellt. Die ausführlichen Analyseprotokolle können den Anhängen 3 und 4 zum vorliegenden Bericht entnommen werden. Aus Tabelle 18 (vgl. Kapitel 6.1.1.2) geht hervor, dass die Salzkernproben, ausgenommen der 7 Proben aus dem anhydritischen Bereich des Salinars, im Durchschnitt aus 94,75 % NaCl bestehen. Die 7 anhydritischen Proben zeichnen sich durch hohe Gehalte an Calciumsulfat ($CaSO_4$) aus. Probe Nummer 30 stellt sich als ein sulfatisches Salzgestein mit 10,56 % $CaSO_4$ und 30,97 % NaCl dar. Diese Probe kann weder als reines Salzgestein noch als reiner Anhydrit bezeichnet werden (Mischgestein). Die Durchschnittswerte für Magnesiumchlorid ($MgCl_2$) und Kaliumchlorid (KCl) liegen bei 0,0914 % ($MgCl_2$) und 0,0938 % (KCl). Die in Tabelle 18 aufgeführten Werte für $MgCl_2$ und KCl zeigen keine signifikanten Gehalte an Kalimineralen an. Hauptbestandteil der Salzkernproben ist Halit (Steinsalz) bzw. $CaSO_4$ beim Anhydrit.

Die Zusammensetzung der sieben Anhydrit-Proben des Salinarabschnittes ist in der nachfolgenden Tabelle 61 dargestellt.

Tabelle 61: Ergebnisse der chemischen Vollanalytik für die Anhydrit-Proben des Salinarabschnittes der Bohrung Remlingen 15. Vgl. auch Tabelle 18.

Proben-Nr.	$CaSO_4$ [%]	$CaCl_2$ [%]	$MgCl_2$ [%]	KCl [%]	NaCl [%]	H_2O ges. [%]	H_2O unlösl. [%]	HCl unlösl. [%]
13	84,69	n. n.	0,24	0,04	2,56	0,69	86,34	11,50
16	53,84	n. n.	0,07	0,06	45,56	0,25	41,91	0,17
19	68,14	n. n.	0,10	0,02	28,69	0,25	60,27	2,63

22	71,34	n. n.	0,26	0,06	25,26	0,94	63,37	2,22
30	10,56	0,06	0,14	0,02	30,97	0,31	58,03	n. n.
33	69,03	0,03	0,29	0,04	12,04	0,68	75,68	17,50
48	75,82	0,17	0,07	0,03	23,50	0,16	66,07	0,88

n. n. nicht nachweisbar

7.2.1.2 Stratigrafische Einordnung

Mit der Bohrung Remlingen 15 wurde eine Zechsteinsequenz aufgeschlossen, welche stratigrafisch mit den durchgeführten Untersuchungen und Analysen nicht zu differenzieren ist, da nur eine begrenzte Abfolge erbohrt wurde. Die bisherigen Erkenntnisse erlauben jedoch eine (vorläufige) Einstufung in den Zechstein 3 (z3). Die Abfolge des z2 (Staßfurt-Folge) wurde mit der Remlingen 15 nicht aufgeschlossen.

Für den beprobten Bohrkernabschnitt (Salinar, Abschnitt 5 der Bohrung Remlingen 15) von 450 mT bis 900 mT wurde ein Bromid-Profil auf Basis durchgeführter chemisch-physikalischer Messungen (Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie) erstellt (vgl. Kapitel 6.1.2). Mit Hilfe dieses Bromid-Profils (Abbildung 34) sollte versucht werden, den aufgeschlossenen Salinarabschnitt stratigrafisch einzuordnen. Für die Schachtanlage Asse II liegen keine vergleichbaren Referenzergebnisse oder -profile vor, weshalb eine Korrelation der ermittelten Bromid-Kurve für die Remlingen 15 mit ortsspezifischen Vergleichsdaten nicht möglich ist.

Eine eindeutige stratigrafische Einstufung des erbohrten Salzgesteins der übertägigen Erkundungsbohrung Remlingen 15 ist mit Hilfe des erarbeiteten Bromid-Profils nicht möglich. Unter Verwendung/Vergleich der zu erwartenden Ergebnisse aus den untertägigen Erkundungsbohrungen können gegebenenfalls nähere Erkenntnisse zur stratigrafischen Zuordnung des Salinarabschnittes der Remlingen 15 erfolgen. Die vorliegenden geologischen und strukturgeologischen Verhältnisse im Bohrkern zeigen deutlich steil einfallende Schichten im Salinarabschnitt der Bohrung an. Dadurch wird wahrscheinlich nur ein kleiner Querschnitt der salinaren Abfolge aufgeschlossen und liefert damit schätzungsweise auch nur einen relativ kleinen Querschnitt an zu gewinnenden Informationen.

Die nachfolgende Tabelle 62 stellt die Ergebnisse der durchgeführten Bromidanalytik in Kurzform und auf das Verhältnis Br/NaCl umgerechnet dar.

Tabelle 62: Übersicht der im Salinarabschnitt gewonnenen Proben zur Bromiduntersuchung.

Probe Nr.	Teufe [m u. GOK] Drill Depth von	bis	Br [mg/kg]	NaCl [%]	Br/NaCl [mg/kg]	Br/NaCl [%]	Br/NaCl [‰]
1KU	449,00	449,20	149	95,96	155,27	0,0155	0,1552
2KU	446,95	447,00	128	101,43	126,19	0,0126	0,1262
3KU	443,87	443,90	107	99,29	107,76	0,0107	0,1077
4KU	448,65	448,68	162	100,31	161,50	0,0161	0,1615
1	451,93	451,98	118	96,12	122,76	0,0123	0,1228
2	456,57	456,62	135	97,70	138,18	0,0138	0,1382
3	463,67	463,72	137	98,53	139,04	0,0139	0,1390
4	466,85	466,90	138	97,52	141,51	0,0142	0,1415
5	474,45	474,50	135	97,32	138,72	0,0139	0,1387
6	482,65	482,70	143	96,85	147,65	0,0148	0,1477
7	487,65	487,70	135	96,09	140,49	0,0140	0,1405
8	492,45	492,50	129	94,55	136,44	0,0136	0,1364
9	496,21	496,26	131	95,59	137,04	0,0137	0,1370
10	502,39	502,44	133	96,70	137,54	0,0138	0,1375
11	506,15	506,20	142	94,93	149,58	0,0150	0,1496
12	515,50	515,55	147	97,08	151,42	0,0151	0,1514
13	533,50	533,55	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit
14	537,20	537,25	145	96,96	149,55	0,0150	0,1495
15	547,07	547,12	145	98,23	147,61	0,0148	0,1476
16	554,00	554,05	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit
17	557,00	557,05	155	90,48	171,31	0,0171	0,1713
18	566,83	566,88	189	96,98	194,89	0,0195	0,1949
19	567,75	567,80	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit
20	575,65	575,70	175	95,38	183,48	0,0183	0,1835
21	580,85	580,90	183	88,80	206,08	0,0206	0,2061
22	586,50	586,55	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit
23	594,60	594,65	152	88,17	172,39	0,0172	0,1724
24	620,70	620,75	138	82,09	168,11	0,0168	0,1681
25	633,25	633,30	185	97,01	190,70	0,0191	0,1907
26	642,65	642,70	154	84,04	183,25	0,0183	0,1832
27	662,17	662,22	164	98,73	166,11	0,0166	0,1661
28	678,80	678,85	150	78,38	191,38	0,0191	0,1914

29	685,50	685,55	166	96,71	171,65	0,0172	0,1716
30	702,00	702,05	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit
31	707,55	707,60	194	97,16	199,67	0,0200	0,1997
32	726,80	726,85	114	93,45	121,99	0,0122	0,1220
33	734,50	734,55	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit
34	743,50	743,55	127	99,29	127,91	0,0128	0,1279
35	757,70	757,75	117	97,03	120,58	0,0121	0,1206
36	777,00	777,05	126	84,05	149,91	0,0150	0,1499
37	795,45	795,50	115	90,08	127,66	0,0128	0,1277
38	815,00	815,05	120	98,43	121,91	0,0122	0,1219
39	826,50	826,55	111	98,10	113,15	0,0113	0,1131
40	841,15	841,20	121	97,29	124,37	0,0124	0,1244
41	844,65	844,70	129	98,84	130,51	0,0131	0,1305
42	853,38	853,43	127	94,78	133,99	0,0134	0,1340
43	861,65	861,70	115	96,38	119,32	0,0119	0,1193
44	867,35	867,40	140	98,43	142,23	0,0142	0,1422
45	872,40	872,45	147	96,05	153,05	0,0153	0,1530
46	876,80	876,85	141	97,88	144,05	0,0144	0,1441
47	882,80	882,85	148	98,73	149,90	0,0150	0,1499
48	891,00	891,05	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit	Anhydrit
49	895,22	895,27	128	92,08	139,01	0,0139	0,1390
50	899,95	900,00	108	95,44	113,16	0,0113	0,1132

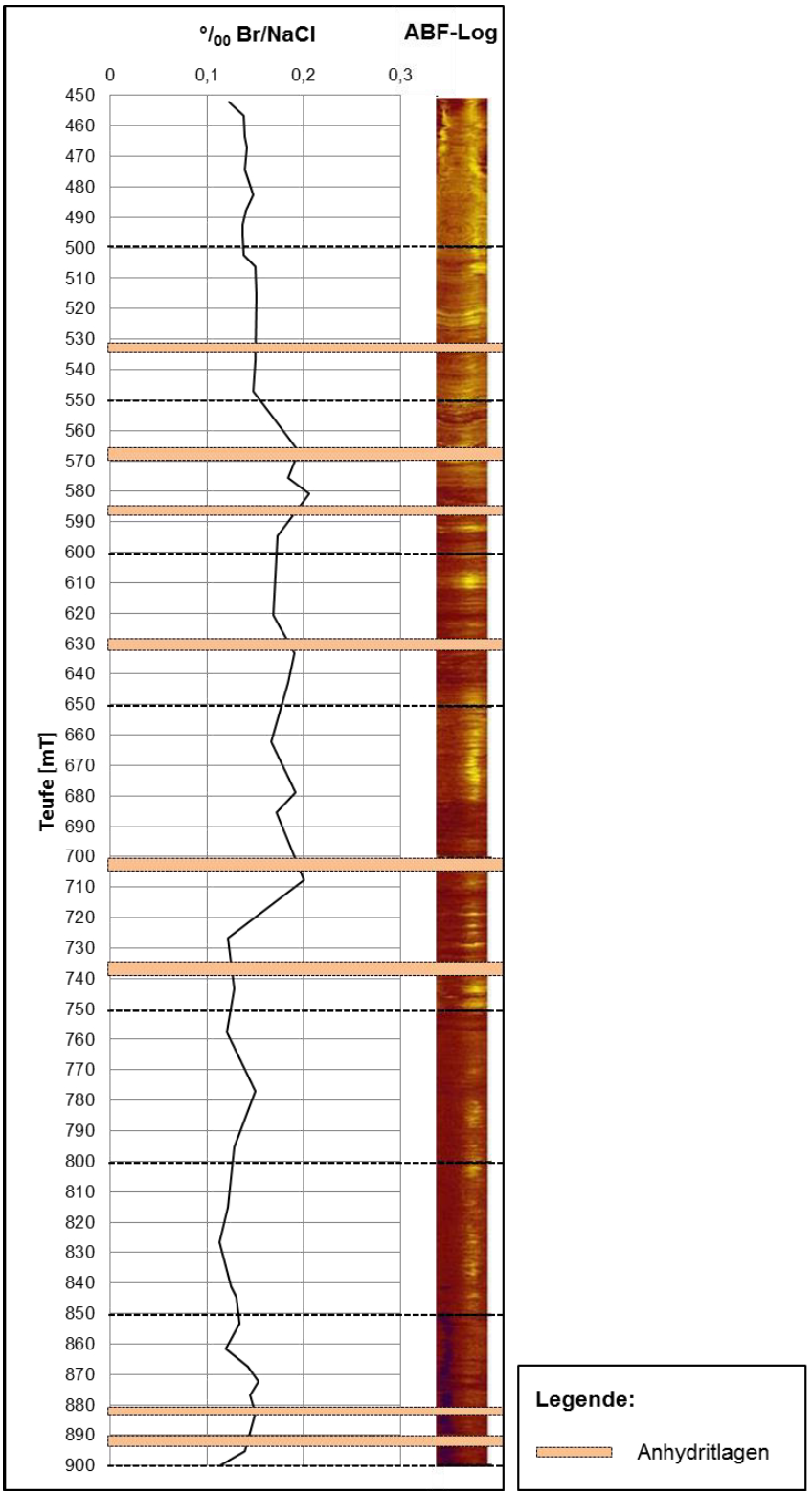


Abbildung 34: Bromidprofil der Remlingen 15; korreliert mit dem Akustik-Log im Salinar.

Im Teufenbereich von 450 mT bis 450,70 mT wurde mittels feldgeologischer Bohrkernaufnahme sowie durch die Untersuchungen der IBeWa [19] ein karbonatisches Sedimentgestein definiert. Die IBeWa-Probe umfasste den Teufenbereich 450 mT bis 450,35 mT und beschreibt diesen Siliziklastit als dolomitisch und bituminös, also mit hohem Anteil an organischer Substanz. Auf Grund der Probenanalyse (IBeWa) und unter Berücksichtigung der Beschreibungen in [23] und [24] wäre möglicherweise eine Zuordnung dieses karbonatischen Sedimentgesteins als Leine-Karbonat denkbar. Nach den Literaturangaben wird das Leine-Karbonat als dunkelgrauer bis dunkelgraubrauner, bituminöser und meist etwas poröser Kalkstein beschrieben. Die feldgeologische Ansprache beschrieb diesen Abschnitt zunächst als bituminösen, plastischen, dunkelgrauen bis schwarzen Tonstein mit roten Toneinsprenglingen. Aus den detaillierten Untersuchungen durch IBeWa ging dann die Beschreibung als Siliziklastit, einem karbonatisch-dolomitischen Sedimentgestein, hervor. Diese Beschreibung deckt sich sehr gut mit der Charakterisierung des Leine-Karbonates in [23] und [24]. Stratigrafisch wäre diese Situation jedoch nur schwer und durch komplexe tektonische Prozesse zu erklären. Im Normalprofil der Zechsteinabfolge bildet das Leine-Karbonat im Hangenden des Grauen Salztons die Basis der Leine Folge (z3).

Das ab 450,75 mT aufgeschlossene Steinsalz ist relativ homogen ausgebildet, mittel- bis teilweise grobkristallin mit rötlich-oranger bis durchscheinender Farbe. Eine eindeutige stratigrafische Einstufung des erbohrten Salzgesteins ist auf Grundlage der feldgeologischen Bohrkernaufnahme sowie mit Hilfe der durchgeführten Bromidanalytik (Bromid-Profil) nicht möglich. Unter Berücksichtigung der Beschreibungen in [24] wäre eine Einstufung des aufgeschlossenen Steinsalzes auf Grund seiner Eigenschaften (orange Farbe, zwischengeschaltete Anhydritlagen) in die Leine-Folge möglich. Ebenfalls durchgeführte Pollenanalysen an 5 Proben aus dem Salinar ergaben keine Hinweise auf eine konkrete stratigrafische Zuordnung des Salzgesteins in die Zechstein-Folgen.

7.2.2 Strukturgeologische Aufnahme

7.2.2.1 Schichtlagerung

Aus den Strukturdaten [9] lässt sich bis in eine Teufe von 585 m ein bevorzugtes Schichteinfallen (blaue Stecknadeln in [9] und Anhang 1.5) nach SE ableiten. Die Einfallswinkel der erfassten Strukturen (Schichtflächen) liegen zwischen 70° und 90°. Ab 585 mT bis etwa 605 mT wechselt das Einfallen der Schichten von SE nach S bis SSW mit Einfallswinkeln zwischen 60° und 80°. Bis

etwa 715 mT wurden vergleichsweise weniger Schichtflächen erfasst. Diese zeigen ein Einfallen nach SE, SSE, SW und W mit einer relativ großen Streubreite der gemessenen Einfallswinkel (20° bis 80°) an. Der Teufenbereich von 715 m bis 733 m zeichnet sich durch gleichmäßiges Einfallen der Schichtflächen nach WSW aus. Die Winkel schwanken hier zwischen 65° und maximal 78°.

Unterhalb von 733 mT wurden deutlich weniger Strukturdaten (Schichtflächen und Klüfte) erfasst. Zwischen 780 mT und 880 mT liegen fast gar keine Werte für Schichtflächen vor. Die Einfallsrichtungen der dort gemessenen Schichtflächen schwanken von W-NW zwischen 785 mT und 810 mT bis NE bzw. SE zwischen 855 mT und 880 mT. Die Einfallswinkel der gemessenen Schichtflächen reichen von minimal 35° bis maximal 85°.

Der häufige Wechsel der Einfallsrichtungen der Schichtflächen im Salinarabschnitt deutet undulierende Schichten an.

Aus der feldgeologischen Bohrkernansprache gingen für den Salinarabschnitt insgesamt 8 Anhydritlagen hervor, welche mit dem ABF der geophysikalischen Bohrlochmessungen bestätigt wurden (siehe Anhang 1.5 bis 1.7 und [9]). Die nachfolgende Tabelle 63 stellt die Charakteristik der ermittelten Schichtflächen der Anhydritbänke zusammen.

Tabelle 63: Charakteristik der Schichtflächen der Anhydritbänke.

Teufe [mT]	Bezeichnung	Ø Einfallen	Ø Richtung
532,50 - 534,40 mT	Anhydrit	42° - 75°	SE
566,65 - 570,00 mT	Anhydrit	74°	S-SSE
585,50 - 587,50 mT	Anhydrit	45°	SE
628,70 - 631,35 mT	Anhydrit	58° - 60°	S-SSW
700,10 - 704,00 mT	Anhydrit	55°	SE
734,10 - 738,30 mT	Anhydrit	35° - 55°	NE bis NW
880,80 - 881,10 mT	Anhydrit	50°	NE
888,50 - 892,80 mT	Anhydrit	38° - 55°	NE

7.2.2.2 Klüftung und aufgelockerte Bereiche

Die erfassten Klüfte im Bereich des Salinarabschnittes (450 mT bis 900 mT) der Bohrung R15 sind fast ausschließlich an die Anhydritlagen im Salinar gebunden. Zwischen 650 mT und 670 mT wurden durch Terratec [9] auch Klüfte im Steinsalz interpretiert. Aus der Bohrkernbeschaffenheit (Fotodokumentation [6]) und der feldgeologischen Ansprache (Schichtenverzeichnis [8]) lässt sich diese Interpretation nicht nachvollziehen oder bestätigen. Auf Grund der unregelmäßig einfallenden Schichtflächen in diesem Teufenabschnitt lässt sich zudem nicht sicher sagen, ob es sich bei den durch Terratec interpretierten Klüften zwischen 650 mT und 670 mT gegebenenfalls auch um Schichtflächen handeln könnte. Eine weitere Kluft im Steinsalz wurde bei etwa 729 mT interpretiert. Aus dem Erscheinungsbild des Bohrkernes sind keine Anhaltspunkte für eine Kluft an dieser Stelle abzuleiten. Die Einfallsrichtung und der Einfallswinkel dieser Kluft passen sehr gut zu der Schar der erfassten Schichtflächen in diesem Teufenbereich. Auch hier ist nicht sicher ableitbar, ob es sich gegebenenfalls eher um eine Schichtfläche statt einer Kluft handelt. Gleiches gilt für zwei durch Terratec interpretierte Klüfte bei etwa 755 mT.

Im Bohrkern des 5. Bohrabschnittes (Salinar) wurden insgesamt 8 Anhydritbänke ermittelt, welche mit Mächtigkeiten von minimal 1 m bis maximal 4,5 m (erbohrt) vorkommen. Die nachfolgende Tabelle 64 fasst die ermittelten Strukturdaten der Anhydritbänke übersichtlich zusammen.

Tabelle 64: Charakteristik der Klüfte in den Anhydritbänken des Salinarabschnittes.

Teufe [mT]	Bezeichnung	Ø Einfallen	Ø Richtung
532,50 - 534,40 mT	Anhydrit	8° - 15°	SE und NE
566,65 - 570,00 mT	Anhydrit	20° - 40°	NW-N-NE
585,50 - 587,50 mT	Anhydrit	20° - 50°	NE-E, SW
628,70 - 631,35 mT	Anhydrit	30° - 65°°	NE, ENE,E
700,10 - 704,00 mT	Anhydrit	40° und 70° - 80°	NE, W und SE
734,10 - 738,30 mT	Anhydrit	-	-
880,80 - 881,10 mT	Anhydrit	-	-
888,50 - 892,80 mT	Anhydrit	60°	SSW

Aufgelockerte Bereiche wurden im Abschnitt des Salinars nicht festgestellt.

7.2.2.3 Störungen

Für den Salinarabschnitt wurden keine konkreten Störungen oder Störungsbereiche ausgewiesen.

Der lithologische Wechsel von den sekundären Sulfaten (Hut), bestehend aus Ton-, Anhydrit- und Gipsbestandteilen mit brekziösem Charakter, zum Steinsalz des Salinarabschnittes bei 443,8 mT stellt zugleich den stratigrafischen Wechsel vom Deckgebirge bzw. Hutgestein zum Salinar dar. Der abrupte Wechsel vom Sulfatgestein zum Salinar wird hier als möglicher Salzspiegel interpretiert. Die im Hangenden des Salzspiegels aufgefundene Situation (Sulfate als Reste schwerlöslicher Evaporitgesteine, zwischengeschalteter Siliziklastit, Hutgesteinsbrekzie) stellt grundsätzlich einen gestörten Bereich im Sinne einer Auslaugungs- und Versturzbedingten Situation dar.

Im Liegenden des interpretierten Salzspiegels ist bis 450 mT ein Salzgestein aufgeschlossen, welches sich als oranges bis weiß-gräuliches Steinsalz darstellt. Etwa 10 cm unterhalb des Salzspiegels wurde eine palynologisch zu untersuchende Probe entnommen (PA-R154L-2 von 443,90 mT bis 444,00 mT) welche jedoch keine klaren Ergebnisse bezüglich der biostratigrafischen Einstufung lieferte. Die Ergebnisse stellten Palynomorphe heraus, welche die Probe sowohl der Trias, dem Röt als auch dem Zechstein zuordnen (vgl. Anhang 6). Durch die Umlagerungs- und Auslaugungsvorgänge der Gesteine unmittelbar über dem Salzspiegel sowie im Bereich des Steinsalzes von 443,8 mT bis 450 mT selbst können die verschiedenen Palynomorphe der Probe PA-R154L-2 möglicherweise erklärt werden. Eine konkrete stratigrafische Zuordnung des Steinsalzes bis 450 mT ist auf Basis der vorliegenden Untersuchungen bislang nicht möglich.

Im Teufenbereich von 450 mT bis 450,70 mT wurde mittels feldgeologischer Bohrkernaufnahme sowie durch die Untersuchungen der IBeWa [19] ein karbonatisches Sedimentgestein definiert. Dieser Siliziklastit ist im Hangenden Bereich des Salinarabschnittes in das aufgeschlossene Steinsalz „eingeschoben“ oder „eingeschuppt“. Die Abgrenzung zu Hangenden und Liegenden stellt sich als sehr deutlich dar (keine Übergangsbereiche o.ä.). Eine konkrete stratigrafische Zuordnung konnte auf Grund fehlender Erkenntnisse nicht vorgenommen werden. Es können nur Vermutungen geäußert werden (vgl. Kapitel 7.2.1.2). Das Auftreten dieses karbonatischen Sedimentgesteins im Steinsalz ist wahrscheinlich tektonisch bedingt (salztektonisch eingeschoben). Die Abgrenzung zum Hangenden und Liegenden kann ggf. durch Störungen definiert werden. Dies ist jedoch nicht eindeutig belegbar.

7.2.3 Hydrogeologische Beschreibung/Eigenschaften

Im Salinarabschnitt wurde während der Bohrarbeiten sowie bei den geophysikalischen Testarbeiten (siehe [9]) keine Wasserführung angetroffen. Offene Klüfte, die potentielle Wasserwegsamkeiten darstellen, wurden im Kernmaterial und durch die geophysikalischen Tests nicht festgestellt.

Leitfähigkeitsmessungen (in µS/cm) im Bohrloch wurden für den salinaren Abschnitt am 14. Mai 2014 im Zeitrahmen von etwa 1 Stunde (erste Messung 14:35 Uhr, letzte Messung 15:40 Uhr) durchgeführt [9]. Die erste Messung (14:35 Uhr, hellblaue Kurve in Anhang 1.5 LF) verhält sich relativ unauffällig und zeigt sehr geringe Leitfähigkeiten an. Die zweite Messung (15:00 Uhr) setzt erst in einer Teufe von 775 m ein. Eine weitere Messung (15:15 Uhr) zeichnete Leitfähigkeiten ab etwa 630 mT auf. Diese Kurve zeichnet sich durch leichte Schwankungen der Leitfähigkeit zwischen 10 µS/cm und maximal 30 µS/cm im Teufenbereich 630 m bis 837 m aus. Ab 837 mT steigt diese Messkurve deutlich an. Die Werte erhöhen sich auf bis zu 300 µS/cm in ca. 895 mT. Auch die zuletzt durchgeführte Messung (15:40 Uhr) charakterisiert sich durch einen schwankenden Kurvenverlauf. Grundsätzlich liegen die erfassten Leitfähigkeiten zwischen 200 µS/cm und 400 µS/cm. Ein deutlicher Ausschlag der Kurve ist ebenfalls im Teufenbereich 837 m bis 845 m zu erkennen. Dieses Verhalten der Leitfähigkeiten kann nicht mit geologischen Ursachen begründet werden. Es ist darauf hinzuweisen, dass die eingesetzte Sonde für die EMR-Messungen (siehe [22]) bei Teufen zwischen 837 m und 845 m keine verwertbaren Messwerte erzeugte. Die Sonde „schwamm“ hier auf. Es ist daher zu vermuten, dass das Leitfähigkeitsverhalten in diesem Bereich des Bohrloches mit einem Unterschied der Spülungszusammensetzung und einer nachgewiesenen Komponententrennung der Spülungsbestandteile verursacht wurden.

Die hydraulischen Testarbeiten (siehe [12]) im Intervall i11 fanden von 421,3 mT bis 450 mT im Bereich der Sulfate ohne stratigrafische Einstufung sowie im Übergangsbereich von den sekundären Sulfaten (Hut) zum Salinar statt.

Die gemessenen und abgeschätzten Eigenschaften des Formationswassers sind in Tabelle 65 zusammengestellt. Diese Werte wurden für die Auswertungen in den Sofortberichten und für weitere Berechnungen verwendet [12].

Tabelle 65: Gemessene und berechnete Formationswassereigenschaften der Testintervalle in der Remlingen 15 (aus [12]).

Intervall	Teufe (m u. GOK)	Druck [1] [kPa]	Temperatur Tw [2] [°C]	Kompressibilität cw [3] [Pa-1 1E-10]	Dichte ρw [3] [kg/m3]	Viskosität μw [3] [Pa s 1E-4]
RE-15-i12	496,00 – 536,04	5970,0	29,0	0,113	1198,9	11,3
RE-15-i13	535,00 –575,04	6472,0	29,9	0,138	1198,6	13,2
RE-15-i14	575,00 – 615,04	6700,0	30,8	0,152	1198,2	13,5
RE-15-i15	605,00 – 645,04	7200,0	31,4	0,163	1198,0	13,4
RE-15-i16	679,50 – 719,54	8400,0	33,0	0,193	1197,5	12,9
RE-15-i17	720,00 – 760,04	8570,0	33,8	0,209	1197,1	12,7
RE-15-i18	780,00 – 899,60	9662,4	35,0	0,229	1196,8	12,4

[1] Druck im Intervallmittelpunkt, auf Basis von Formationswasserdrückern und den dazugehörigen Formationswasserdichten ρ_{in}.
[2] Temperatur (T_w) aus Temperaturmessungen im Testintervall.
[3] c_w, ρ_w und μ_w Werte aus PVT-Korrelationen berechnet.

In Intervall i11 wurde eine Transmissivität von 7,54 * 10^{-10} m^2/s bestimmt, welche auf ein sehr gering bis nahezu undurchlässiges Gebirge hinweist [21]. In den Testintervallen i12 bis i18 (siehe [12]) wurde das Salinar mit den eingeschalteten Anhydritbänken getestet. Die ermittelten Transmissiviäten reichen von 1,14 * 10^{-12} m^2/s bis 4,77 * 10^{-12} m^2/s, wie den Werten der Tabelle 66 zu entnehmen ist. Damit können diese Testbereiche als undurchlässig bewertet werden [21]. Nachfolgend sind die ermittelten Transmissivitäten für den Salinarabschnitt zusammengefasst dargestellt (Tabelle 66).

Tabelle 66: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologisch-hydraulischen Bohrlochmessungen in der Remlingen 15.

Intervall	Abschnitt	Strat.	Teufe [m u. GOK]		Test	T[m²/s]			Einstufung [21]
			von	bis		best fit	min	max	
i11	4	o.E.	421,3	450	EP	7,54E-10	6,41E-10	9,61E-10	sehr gering bis nahezu undurchlässig
i12	5	Z	496,0	536,04	DP	1,61E-12	4,34E-13	7,39E-12	undurchlässig
i13	5	Z	535,0	575,04	DP	4,06E-12	3,98E-13	4,12E-12	undurchlässig
i14	5	Z	575,0	615,04	DP	1,14E-12	1,12E-12	2,54E-12	undurchlässig
i15	5	Z	605,0	645,04	DP	3,45E-12	3,31E-12	3,61E-11	undurchlässig
i16	5	Z	679,5	719,54	DP	4,05E-12	1,49E-13	4,13E-12	undurchlässig
i17	5	Z	720	760,04	DP	2,21E-12	1,35E-12	3,72E-12	undurchlässig

Erläuterung:
mu…Unterer Muschelkalk (Schaumkalk, Wellenkalk)
o. E….Sulfate ohne strat. Einstufung
Z…Zechstein
EP…Einfachpacker
so…Oberer Buntsandstein (Rötζ bis Röt1)
o.E.*…Sulfate (o.E.), sekundäre Sulfate (Hut), Steinsalz
DP…Doppelpacker
E-n…10^{-n}

In Tabelle 67 sind die aus der Porosität, des E-Moduls und der POISSON-Zahl berechneten Ss-Werte für die untersuchten Intervalle zusammengefasst. Die detaillierten Angaben zum Speicherkoeffizienten (S) und Spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) können den Einzelberichten zu den Intervallen in [12] entnommen werden. Zusätzlich sind diese Ergebnisse in Anhang 10 übersichtlich und zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 67: Ergebnisse für Kompressibilität und Spezifischen Speicherkoeffizienten(aus [12]).

Strat.		Teufe [m u. GOK]	Intervall	Porosität [%]	E [GPa]	POISSON [-]	Cr [Pa-1]	Ss [m-1]
Salinar	Min.Ss	496,0 - 899,6	i12, i13, i14, i15, i16, i17, i18	0,1	42	0,47	4,3E-12	5,1E-08
	Max.Ss			0,2	19	0,09	1,3E-10	1,5E-06

Cr…Kompressibilität
Ss…Spezifischer Speicherkoeffizient
E…YOUNG-Modul

Eine Einstufung der ermittelten Werte des spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) für die untersuchten Gesteinstypen ist durch die Korrelation mit den Ergebnissen der Porosität, der Transmissivität und der Durchlässigkeit (vgl. Tabelle 66) möglich. Grundsätzlich korrelieren die Werte für Ss gut mit den Porositäten der untersuchten Gebirgsbereiche.

Die Proben im Bereich des Salinars zeichnen sich durch sehr geringe Porositäten und dementsprechend einem sehr niedrigen spezifischen Speicherkoeffizienten (Wertebereich 10^{-6} bis 10^{-8}) aus. Die ermittelten Transmissivitäten und Durchlässigkeiten dieses Bereiches (Salinar) stufen das Gebirge schließlich als undurchlässig ein. Aus dem Abschnitt des Salinars wurden keine Wasserproben entnommen.

7.2.4 Gebirgsmechanische Beschreibung/Eigenschaften

7.2.4.1 Ergebnisse Spannungsmessungen

im Bereich des Zechstein-Salinars zwischen 499 mT und 888,8 mT erfolgten sechs Tests im Bohrloch sowohl im Bereich des Steinsalzes und als auch der Anhydrite (888,8 mT). Die Ergebnisse aller durchgeführten Tests sind in Tabelle 68 zusammengestellt.

Tabelle 68: Ergebnisse der hydraulischen Spannungsmessungen der Remlingen 15, [10]

Phase	Test Nr.	Teufe [m]	P_c [mPa]	P_r [mPa]	P_{co} [mPa]	P_{si} [mPa]	Methode/ Rissspur	θ [deg]	α [deg]	Bemerkung
4/Abschnitt 5	15	499,00	15,0	9,0 – 9,3	5,7 – 6,0	10,4	IPT BHTV	(42)	(87)	keine Rissdetektion, existierender Riss, keine Änderung
	14	545,00	16,0	10,4 – 10,8	5,2 – 5,6	12,6	IPT BHTV	(66)	(85)	keine Rissdetektion, existierender Riss, keine Änderung
	13	608,20	-	(8,9 – 12,0)	-	(9,2 – 11,85)	-	-	-	Zirkulation um die Packer
	12	646,50	19,8	13,2 – 13,3	6,5 – 6,6	14,5	BHTV	-	-	keine Änderung
	11	735,00	20,4	13,5 – 15,8	4,6 – 6,9	13,85	BHTV	-	-	keine Änderung
	10	888,80	-	-	-	16,2	BHTV	27	86	Erweiterung eines existierenden Risses über den Packersitz hinaus

Erläuterung:

P_c…Rissinitiierungsdruck
$P_{co...}$hydraulische Zugfestigkeit
θ…Streichen des Risses (N über E)
IPT…Abdruckpackertest
P_r…Rissöffnungsdruck
P_{si}…Shut-in Druck
α…Einfallswinkel (bzgl. Horizontale)
BHTV…Televiewer-Log

Die Versuche im Steinsalz in 499 mT, 545 mT und 646,5 mT sowie der Versuch in der Anhydritbank bei 735 mT sind durch Rissinitiierungs-Ereignisse bei Druckwerten von 15,0 MPa bis 20,4 MPa gekennzeichnet (siehe [10]). Mit Ausnahme des Versuchs in 646,5 mT stieg dabei der Druck während der Injektion zunächst nur langsam mit etwa 0,1-0,2 MPa/Liter an. Nach der Injektion von 9-13 Liter Sohle stieg der Druck anschließend wesentlich schneller mit ca. 6-7 MPa/Liter bis zum Maximaldruck an. Der untypische Druckverlauf deutet auf eine Vorschädigung der Bohrlochwand hin. Die Versuche erlauben jedoch verlässliche Bestimmungen des Rissöffnungsdrucks P_r zwischen 9,0-9,3 MPa und 13,5-15,8 MPa und Shut-in Drucks P_{si} zwischen 10,4 MPa und 14,5 MPa. Die hydraulische in-situ Zugfestigkeit des Salinars beträgt im Mittel 5,9 ± 0,5 MPa. Während die beiden Abdruckpackertests in 499 mT und 545 mT aufgrund der rauen Bohrlochwand ohne Ergebnis bleiben, zeigt der Vergleich der vor und im Anschluss an die hydraulischen Spannungsmessungen durchgeführten BHTV-Logs keine Änderungen.

Der Versuch im Anhydrit bei 888,8 mT ist insgesamt durch eine geringe Systemsteifigkeit gekennzeichnet. Der Vergleich der vor und im Anschluss an die hydraulischen Spannungsmessungen durchgeführten BHTV-Messungen zeigt die Erweiterung eines NNE-SSW streichenden, steil einfallenden existierenden Risses über den Packersitz hinaus. Dies bestätigt die am Ende des 3. Injektionszyklus festgestellte Zirkulation um die Packer. Für den Versuch wurde daher nur der Shut-in Druck des 1. Injektionszyklus verwendet.

Der Versuch in 608,2 mT erlaubt keine verlässliche Bestimmung der charakteristischen Druckwerte und deutet auf eine unzureichende Abdichtung des Testintervalls hin.

Für die Versuche im Salinar wurde generell die minimale Gebirgsspannung S_{min} aus dem gemessenen Shut-in Druck abgeleitet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 35 dargestellt. Die Vertikalspannung S_v wurde für eine mittlere Deckgebirgsdichte von σ = 2,5 g/cm^3 bis 443,8 m und einer mittleren Steinsalzdichte von σ = 2,2 g/cm^3 bestimmt [10]:

S_v [MPa] = 10,9 + 0,0216 (z [m] – 443,8)

Die Ergebnisse im Steinsalz in 499,0 m, 545,0 m und 646,5 m Tiefe können nach [10] durch Minimalspannungs-Gradienten von S_{min}/z = 0,021-0,023 MPa/m zusammengefasst werden. Diese

Werte korrelieren gut mit der Extrapolation der Ergebnisse für die minimale horizontale Hauptspannung S_h im mesozoischen Deckgebirge. Die beiden Versuche im Anhydrit in 735,0 mT und 888,8 mT ergeben niedrigere Minimalspannungen mit Gradienten von S_{min}/z = 0,018-0,019 MPa/m. Dabei beschreibt S_{min} die minimale Gebirgsspannung (in MPa), S_v die vertikale Hauptspannung (in MPa) und z die Tiefe (in m). Die Richtung der größeren horizontalen Hauptspannung Θ_{SH} wurde für das mesozoische Deckgebirge zu N 122° ± 23° (NW-SE) bestimmt.

Eine Abschätzung der Hauptspannungsrichtung im Zechstein-Salinar ist aufgrund der fehlenden Daten zur Orientierung der hydraulisch induzierten Risse nicht möglich. Der in 888,8 m stimulierte Riss weicht mit einer NNE-SSW Orientierung jedoch von der im mesozoischen Deckgebirge beobachteten S_H-Richtung von NW-SE ab.

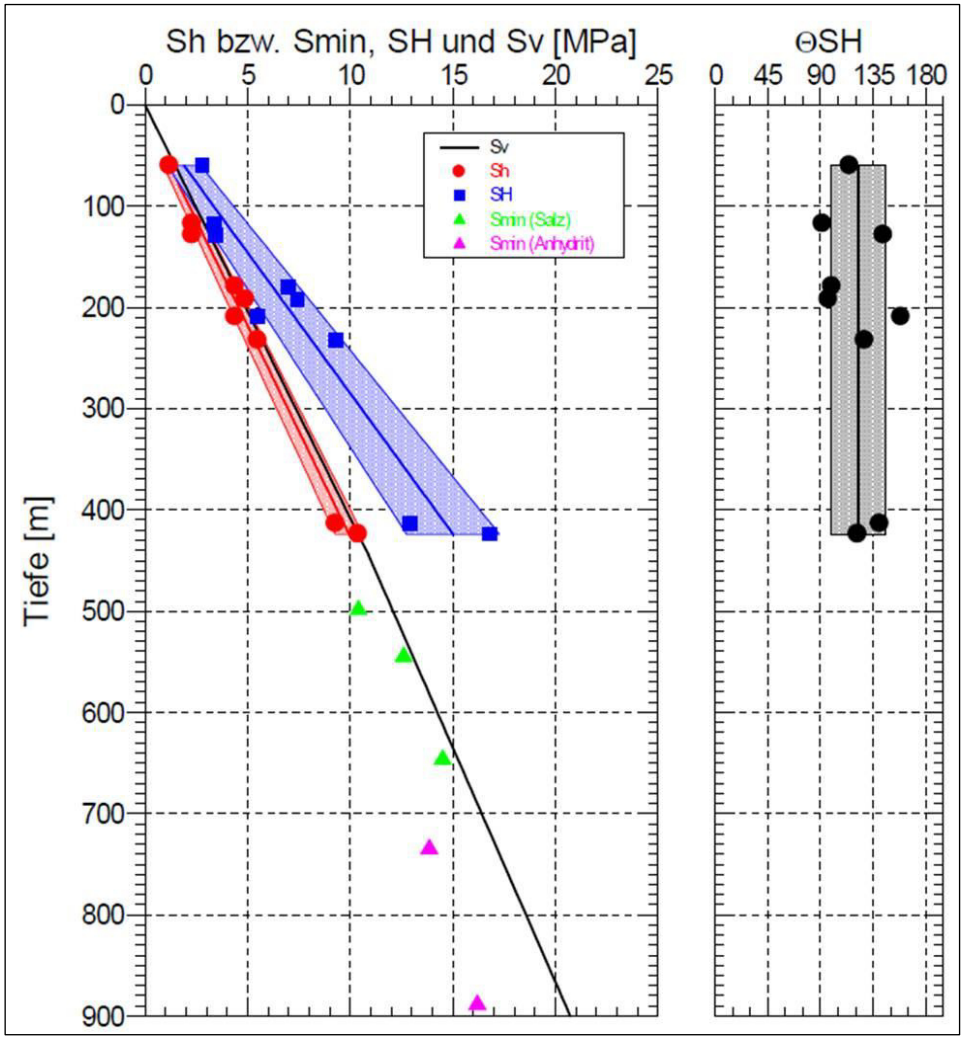


Abbildung 35: Darstellung des ermittelten Spannungsfeldes im Bereich der Bohrung Remlingen 15, aus [10].

7.2.4.2 Ergebnisse Dilatometermessungen

Die Dilatometermessungen im fünften Bohrabschnitt (5. Einsatz, Salinar) zeigen sehr variable Verformungsmoduli (Unterschied zwischen den Einzelmessungen im 5. Abschnitt, vgl. Tabelle 59). Diese Unterschiede können auf die Eigenschaften der Gesteine zurückzuführen sein, jedoch war die Bohrlochwand sehr uneben (irreguläres Verhalten der Wegaufnehmer während der Tests). Die ermittelten Werte stellen nur wenig belastbare Resultate dar.

Im Bohrabschnitt 5 konnte keine Auswertung der Daten im Hinblick auf anisotropes Verhalten stattfinden. Die Ergebnisse im Salinar führen zu einer Klassifizierung von mäßig bis stark verformbar (DM3 bis DM4).

Tabelle 69: Zusammenstellung der Testintervalle und der Ergebnisse der Dilatometertests (aus [11]) im Salinar

Testtiefe (drill depth)	**Empfohlene Werte**			**Stratigrafie/ Lithologie**
	Verformungsmodul Γ_i Wiederbelastung (MPa)	**Verformungsmodul Γ_i** Erstbelastung (MPa)	**Elastizitätsmodul E_i** Entlastung (MPa)	
5. Einsatz				
702,5 mT	7480	7970	-	Zechstein/ Anhydrit
737,0 mT	2730	1880	-	Zechstein/ Gips-Anhydrit, Steinsalz

7.2.4.3 Ergebnisse gebirgsmechanische Untersuchungen

Eine ausführliche Erläuterung der Methoden, durchgeführten Untersuchungen sowie deren Ergebnissen wird in einem separaten Berichtsdokument [14] des IfG bereit gestellt und kann diesem entnommen werden.

Auffällig im Salinar ist die geringe Kriechfreudigkeit und höhere Festigkeit des untersuchten Steinsalzes (Salinar-Abschnitt). Anhand der ermittelten Kennwerte (Kriechklassen) lässt sich ableiten, dass noch keine stationären Kriechraten vorliegen und das erbohrte und untersuchte Steinsalz näherungsweise mit dem Kriechverhalten sowohl des Aller-Steinsalzes (z4), des Leine-

Steinsalzes (z3) und maximal mit dem der hangenden Schichten des Staßfurt-Steinsalzes (z2HS, Kriechklassen 2 bis 3) vergleichbar ist.

Wie aus [14] hervorgeht, sind die Kriechklassen für z4 und z3 ähnlich niedrig wie die ermittelten Kriechklassen des Steinsalzes aus der Remlingen 15.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Kriechvermögen am Steinsalz der Remlingen 15 können in [14] nachgelesen werden. In der nachfolgenden Tabelle 70 sind die Ergebnisse der gebirgsmechanischen Untersuchungen zusammengefasst. Diese Angaben wurden aus [14] übernommen. Detaillierte Angaben und weitere Interpretationen zu den Ergebnissen der gebirgsmechanischen Tests sind dem separaten Bericht [14] zu entnehmen.

Tabelle 70: Übersicht der gebirgsmechanischen Ergebnisse (Durchschnittswerte) für das Salinar.

Litho-typ	**Petrophysikalische Parameter**		**Festigkeitsverhalten**			
	Wasser-gehalt *w (Gew.-%)*	***Dichte*** *ρ (g/cm^3)*	***Triaxiale Festigkeit*** *(Mohr-Coulomb-Parameter) [MPa]*	***Einaxiale Festigkeit*** *[MPa]*	***Spaltzugfestigkeit*** *[MPa]*	***Scherfestigkeit/Schicht- bzw. Trennflächen*** *[MPa]*
9/10 Salinar	*	2,17±0,02	Minkley-Parameter σ_D = 30,0 σ_φ = 1,9 σ_{MAX} = 72	σ_{Diff} = 29,9	-	-
9/10 Salinar	**Zeitabhängiges Verformungsverhalten**					
	Kriechen *(zweistufige Kriechversuche bei σ_3 = 20 MPa und T = 60°C bei $\Delta\sigma$ = 6 … 22 MPa)*			***Aktivierungsenergie Q*** *Temperaturwechselversuche zwischen T = 40 bis 95°C*		***Relaxationsverhalten und Langzeitfestigkeit*** *Relaxationstests bei σ_3 = 10 und 20 MPa*
	Exponentialansatz (60°C): η_0^M = 3.15E+6 m = -0,116°C)			59±14 kJ/mol		η = 0,ζ9 … 0,51

* Vp [km/s]: Axial 4,07±0,36, Radial 4,34±0,14

Die Dichtebestimmung (vgl. Tabelle 70) der Proben aus dem Salinar zeigen, dass es sich um ein sehr homogenes Steinsalz mit typischen Dichten im Mittel von 2,17±0,02 g/cm^3 handelt. Abweichende Dichten ergaben sich aus den Anhydritlagen, welche separat beprobt wurden. Die für das Salinar (reines Steinsalz) ermittelten Parameter zum Festigkeitsverhalten (hier: triaxiale

Festigkeit; Minkley-Parameter, vgl. Tabelle 70) charakterisieren das Steinsalz durch eine vergleichsweise hohe Festigkeit. Die Gesteinsfestigkeit hängt zudem von der Verformungsrate ab, d.h. die Gesteinsfestigkeit nimmt mit höherer Verformungsrate um 10% zu (Faktor 10). Die ermittelten Parameter zur einaxialen Festigkeit des Steinsalzes verhalten sich äquivalent zur Triaxialfestigkeit. Das zeitabhängige Verfomungsverhalten für reines Steinsalz zeichnet sich durch eine extrem niedrige Kriechfreudigkeit aus. Aus dieser geringen Kriechfreudigkeit resultiert gleichzeitig eine auffällig geringe Spannungsrelaxation (Relaxationsverhalten und Langzeitfestigkeit, vgl.Tabelle 70). Der ermittelte Wert der Aktivierungsenergie wird nach [14] als sehr belastbarer Wert eingeschätzt, welcher im Variationsspektrum für Steinsalz liegt.

Zusätzlich zum reinen Steinsalz wurden Proben untersucht, welche als anhydritisches Steinsalz (Steinsalz mit Anteilen an Anhydrit) bezeichnet werden. Die Streuweite der ermittelten Dichten (2,28-2,64 g/cm^3) resultieren aus den unterschiedlichen Anhydritgehalten im Gestein. Die Festigkeit des „anhydritischen Steinsalzes“ wird in [14] als vergleichbar bzw. geringfügig höher als für reines Steinsalt eingeschätz. Die Einaxiale Festigkeit stellt sich mit σ_D = ca. 45 MPa als signifikant höher als beim reinen Steinsalz heraus (vgl. [14]).

8 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht dient dazu, die durch die geowissenschaftliche Erkundungsbohrung Remlingen 15, deren Ansatzpunkt etwa 560 m südöstlich der Schachtanlage Asse II liegt, gewonnenen geologischen, geophysikalischen, geotechnischen und hydrogeologischen Informationen zusammenzufassen und zu interpretieren.

Die Erkundungsbohrung Remlingen 15 wurde bis in eine Teufe von 900,00 m abgeteuft. Dabei wurden neben geologischen Informationen auch geophysikalische und hydrogeologische Kennwerte erfasst und ausgewertet.

Die Aufnahme der geologischen Daten bestand im Wesentlichen aus der feldgeologischen Bohrkernaufnahme (Bohrkernaufnahme, Spülprobenaufnahme, Dokumentation und Lagerung der Kerne, vgl. Kapitel 2.1) sowie der fotografischen Dokumentation der gewonnenen Bohrkerne (Auflicht und Durchlicht, vgl. Kapitel 2.2). Zur Lösung feldgeologischer Fragestellungen, welche als Entscheidungshilfen für den weiteren Ablauf des Bohr- und Testprogramms relevant waren, wurde ein Feldlabor unterhalten (vgl. Kapitel 2.3). Die Datenerfassung, Verarbeitung und Speicherung erfolgte mit gängigen Anwendungsprogrammen wie GeoDin, Tec-Corim und Well-Cad (vgl. Kapitel 2.4). Die in fünf Abschnitte untergliederte Bohrung Remlingen 15 wurde im Zeitraum vom 05. Juni 2013 bis 30. Juni 2014 niedergebracht. Dabei kam der nachfolgend skizzierte, allgemeine technische Bohrungsverlauf zur Anwendung (vgl. auch Kapitel 3.1):

- Kernbohrung,
- Messprogramm (Geophysik, Hydraulik/Hydrogeologie, Spannungsmessungen),
- Erweiterungsbohren,
- Verrohrungseinbau,
- Zementation.

Die Bohrung wurde durchgehend als Kernbohrung mit einem Durchmesser von 146 mm (5 ¾ Zoll) erstellt und abschnittsweise erweitert und verrohrt. Die Bohrung ist in mehreren Abschnitten bis in eine Teufe von 448,5 m gemäß Tabelle 4 und Abbildung 16 (Kapitel 3.3) verroht. Von 448,5 m bis 900,0 m Teufe ist die Bohrung unverrohrt (Open Hole). Nach Abschluss der Erkundungstätigkeiten wurde die Bohrung verfüllt.

Während der Bohrarbeiten erfolgten Neigungsmessungen als Single-Shot-Messungen durch das ausführende Bohrunternehmen in regelmäßigen Abständen im Bohrloch. Die Neigung des

Bohrloches beträgt in 800 mT (Drill Depth) 4°. Aus regelmäßigen geophysikalischen Abweichungsmessungen (BA: Bohrlochabweichung) wurde bezogen auf die Endteufe der Bohrung eine Abweichung von 37,71 m nach E sowie von 1,93 m nach N festgestellt (in ENE-Richtung aus der Lotrechten abgewichen). Die Bestimmung der TVD (True Vertical Depth) für die Bohrlochabschnitte ergab nur minimal geringere Werte als die gemessenen Bohrlochteufen (Drill Depth, vgl. Tabelle 6, Kapitel 3.6).

Im Zuge der feldgeologischen Aufnahme wurden sämtliche Teufenangaben auf die Geländeoberkante (m unter GOK) bezogen. Sie entsprechen im Allgemeinen der sog. Drill Depth bzw. Measured Depth (vgl. Kap. 3.6), die vor Ort erfasst wird. Dieser Sachverhalt trifft ebenfalls auf die Teufenangaben der durchgeführten Bohrlochmessungen zu.

Die ***geologische Feldaufnahme*** der gewonnenen Bohrkerne beinhaltete in erster Linie die Beschreibung der Lithologie und die Erfassung dieser in Schichtenverzeichnissen (vgl. Kapitel 4.2). Im Zuge der feldgeologischen Bohrkernansprache wurden sowohl lithologische als auch stratigrafische Wechsel in der Abfolge der Bohrkerne identifiziert und dokumentiert (vgl. Kapitel 4.2 und 4.3 des vorliegenden Berichtes).

Mit Hilfe umfangreicher ***Bohrlochmessungen*** (Geophysik, Hydraulische Messungen, Wasseranalytik, Spannungsmessungen, Dilatometermessungen) sollten die feldgeologisch gewonnenen Erkenntnisse ergänzt und präzisiert werden. Das Hauptziel der geophysikalischen Bohrlochmessungen war die lithologische Ansprache, die Porositätsbestimmung der Gesteinsschichten und die Bestimmung der Porenwassersalinität im gesamten Bohrloch. Relevante Parameter (Neigung und Orientierung der Bohrung, Bohrlochgeometrie, Porosität und Dichte der Gesteine, Tongehalt, elektrische Leitfähigkeit und Widerstand, Radioaktivität des Gebirges, Wasserzutritte, gebirgsmechanische Parameter, Strukturen (Schichtflächen, Trennflächen)) wurden mit den entsprechend geeigneten Verfahren im Bohrloch erfasst (siehe dazu Kapitel 5.1).

Das Hauptziel der ***hydraulischen Messungen*** in der Bohrung Remlingen 15 bestand in der geohydraulischen Charakterisierung des Gebirges im Bereich des Bohrloches. Mit den gewonnenen Parametern lassen sich Aussagen über die Durchlässigkeit des Gebirges/der

Gesteine treffen und Rückschlüsse auf das Umfeld der Bohrung ziehen. Es wird das gesteinsspezifische Verhalten beim Durchströmen mit Fluiden sowie die Stimulierbarkeit des Gebirges im Bereich der Bohrung ermittelt. Die wichtigsten Ergebnisse des hydraulischen Testing betreffen die Formationseigenschaften (Transmissivität, Durchlässigkeit), den Speicherkoeffizienten sowie die Ergebnisse der wasseranalytischen Untersuchungen. Aus den ermittelten Transmissivitäten (T) und hydraulischen Durchlässigkeiten (k_f) kann das Gebirge im Bereich der Bohrung wie folgt eingestuft werden:

- bis 259 mT: durchlässig bis schwach durchlässig,
- bis 318 mT: sehr gering bis nahezu undurchlässig,
- bis 357 mT: sehr schwach durchlässig,
- bis 421 mT: undurchlässig,
- bis 450 mT: sehr gering bis nahezu undurchlässig,
- bis 899 mT: undurchlässig.

Die detaillierten Ergebnisse sind den Tabellen in Kapitel 5.2.4 zu entnehmen. Die berechneten Werte des spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) für die untersuchten Intervalle der Bohrung stellen sich wie folgt dar:

- Muschelkalk (mu): $4{,}3*10^{-07}$ (Min. Ss), $1{,}1*10^{-05}$ (Max. Ss),
- Buntsandstein (so): $2{,}8*10^{-07}$ (Min. Ss), $5{,}0*10^{-06}$ (Max. Ss),
- Salinar: $5{,}8*10^{-08}$ (Min. Ss), $1{,}5*10^{-06}$ (Max. Ss).

Für den Teufenbereich 395,5 mT bis 443,8 mT (Sulfate ohne stratigrafische Einstufung, Siliziklastite im Liegenden der Sulfate und sekundäre Sulfate (Hut)) wurden keine Werte bestimmt. Die detaillierten Angaben zum Speicherkoeffizienten (S) und Spezifischen Speicherkoeffizienten (Ss) können den Solexperts-Einzelberichten zu den Intervallen in [12] entnommen werden.

Im Rahmen der ***Wasseranalytik*** wurden die Vor-Ort-Parameter Temperatur, pH-Wert, Sauerstoff und Leitfähigkeit während der Pumptests kontinuierlich in einer Durchflusszelle gemessen. Die Wasserproben wurden am Ende der Entnahmephase unmittelbar aus der Durchflusszelle gewonnen und anschließend analytisch (Sensorische Werte, Spezifisch elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Säurekapazität (Sk-Wert), Abdampfrückstand, Gesamthärte, Dichte, Kationen und Anionen, Ionenbilanz, Spurenstoffe, Radionuklide, Isotopen) untersucht. Die einzelnen Ergebnisse

können den Tabellen in Kapitel 5.2.4.3.1 entnommen werden. Insgesamt wurden 4 Wasserproben analytisch untersucht (Tabelle 71).

Tabelle 71: Zusammengefasste Ergebnisse der Wasseranalytik

Probe	Ergebnis
Probe 1 (i2)	Typ Ca-Na-HCO3-Cl, hohe Konz. an Spurenelementen, intensive Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen, unbeeinflusst von Fremdwasser, plausibles Mischwasser für mu/so, 15 bis 20 Jahre Verweilzeit, Alter < 5000 a
Probe 2 (i3)	Typ Ca-Mg-HCO3-SO4, hohe Konz. an Spurenelementen, intensive Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen, karbonat. Grundwasser (Formationswasser), unbeeinflusst von Fremdwasser, plausibles Mischwasser für mu, 12 bis 25 Jahre Verweilzeit, Alter 5000 a bis max. 10000 a
Probe 3 (i6)	Typ Na-Ca-CO3-Cl-SO4, stark erhöhte Konz. an Spurenelementen, geringer Anteil an Erdalkalien, deutlich durch Fremdwasser beeinflusst, keine Alterseinstufung
Probe 4 (i7)	Typ Na-Ca-Cl-SO4, intensive Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen, Evaporitlösungsprozesse erkennbar, fremdwasserbeeinflusstes Mischwasser, hohe Verweilzeit im Untergrund, keine Alterseinstufung

Alle Versuche zu ***Spannungsmessungen*** (in-Situ-Spannung im Gebirge) im Bereich des Deckgebirges (insgesamt 7 Tests, besonders im Oberen Buntsandstein) zwischen 179,4 mT und 424 mT (nach [8] und [19]: Versuche von 179,4 mT bis 232,4 mT im Röt 4 und Röt 3, Versuche bei 413,5 mT und 424 mT Sulfate ohne stratigrafische Einstufung) sind durch deutliche Rissinitiierungs-Ereignisse bei P_c-Druckwerten von 6,4 MPa bis 21,7 MPa gekennzeichnet. Die Versuche im Unteren Muschelkalk zwischen 60 mT und 128,5 mT führten zur Stimulation bereits vorhandener Risse. Die Ergebnisse der Abdruckpackertests zeigen die Erzeugung/Stimulation steil-einfallender (Einfallswinkel > 60°) bzw. axialer Risse mit einer Streichrichtung zwischen W-E und NW-SE. Die Versuche im Steinsalz (6 Tests) in 499 mT, 545 mT und 646,5 mT sowie der Versuch in der Anhydritbank bei 735 mT sind durch Rissinitiierungs- Ereignisse bei Druckwerten von 15,0 MPa bis 20,4 MPa gekennzeichnet. Der Versuch im Anhydrit bei 888,8 mT ist insgesamt durch eine geringe Systemsteifigkeit gekennzeichnet. Der Versuch in 608,2 mT erlaubt keine verlässliche Bestimmung der charakteristischen Druckwerte und deutet auf eine unzureichende

Abdichtung des Testintervalls hin. Eine Abschätzung der Hauptspannungsrichtung im Zechstein-Salinar ist aufgrund der fehlenden Daten zur Orientierung der hydraulisch induzierten Risse nicht möglich.

Dilatometerversuche dienen zur Bestimmung der Verformungs- und Elastizitätsmodule von Fels und Lockergestein im Bohrloch unter in-situ Bedingungen. Insgesamt wurden 5 Dilatometerversuche im Bohrloch durchgeführt. Im ersten Bohrabschnitt kann ein Trend von geringen zu höheren Verformungsmoduli mit zunehmender Tiefe angenommen werden. Bei den Versuchen in 56,3 m und 112,5 m Teufe ist ein ausgeprägtes anisotropes Verhalten zu erkennen. Der in N-S ausgerichtete Wegaufnehmer weist deutlich geringere Verformungsmoduli auf, als der obere und mittlere Wegaufnehmer. Die Gesteine des Muschelkalks sind als mäßig bis sehr stark verformbar (DM3 bis DM5) zu klassifizieren. Im zweiten Bohrabschnitt zeigen die Gesteine vergleichbare Verformungsmoduli, nur der Versuch bei 163,5 mT ist eine Ausnahme. Ein anisotropes Verhalten der Gesteine konnte nur bei 163,5 mT und 235,0 mT anhand der Ergebnisse interpretiert werden. Es konnte jedoch keine Richtung der Anisotropie festgestellt werden. Die Gesteine sind überwiegend als mäßig verformbar (DM3) zu klassifizieren. Im dritten Bohrabschnitt zeigen die Gesteine des Buntsandsteines geringe Verformungsmoduli und es konnte kein anisotropes Verhalten festgestellt werden. Es handelt sich bei den Gesteinen nach dem Schneider-Kriterium um mäßig kompakten bis kompakten Fels, ohne elastisches Verhalten. Die Gesteine sind überwiegend als stark bis sehr stark verformbar (DM 4 bis DM 5) zu klassifizieren.
Die Dilatometermessungen im vierten und fünften Bohrabschnitt zeigen sehr variable Verformungsmoduli. Diese Unterschiede können auf die Eigenschaften der Gesteine zurückzuführen sein, jedoch war die Bohrlochwand sehr rau und im 5. Bohrabschnitt war das Bohrloch auch nicht maßhaltig. In den beiden Bohrabschnitten konnte keine Auswertung der Daten im Hinblick auf anisotropes Verhalten stattfinden. Die Gesteine im Bereich der sekundären Sulfate (Hutgestein?) schwanken zwischen stark und schwach verformbar (DM2 bis DM4). Die Ergebnisse im Salinar führten zu einer Klassifizierung von mäßig bis stark verformbar (DM3 bis DM4).

Neben den im Bohrloch der Remlingen 15 durchgeführten Bohrlochmessungen wurde am Bohrkernmaterial der Remlingen 15 ein sehr umfangreiches ***Untersuchungs- und Analyseprogramm*** geplant und durchgeführt. Neben geochemischen Untersuchungen (Salzvollanalytik, Bromidanalyse) erfolgten unter anderem auch Sorptionsversuche,

gebirgsmechanische Untersuchungen sowie geologisch-paläontologische und geotechnische Untersuchungen.

Die ***geochemischen Untersuchungen*** umfassten vorrangig die chemische Salzvollanalytik sowie die Bromidanalytik. Diese Untersuchungen beschränkten sich dabei ausschließlich auf den Salinarabschnitt der Bohrung (450 mT bis 900 mT). Die durchgeführten salzvollanalytischen Untersuchungen bedeuteten im Wesentlichen die präzise Hauptkomponentenanalytik mit angepassten, nasschemischen Verfahren und dienten der Bestimmung der Zusammensetzung des Salzgesteins und sollten in Kombination mit der Bromid-Analytik zur stratigrafischen Zuordnung des Gesteins in die Abfolge des Zechsteins beitragen. Insgesamt wurden 50 Proben einer salzvollanalytischen Untersuchung unterzogen; 7 Proben davon stammen aus anhydritischen Zonen im Salinarabschnitt. Die Salzkernproben bestehen im Durchschnitt aus 94,75 % NaCl. Die 7 anhydritischen Proben zeichnen sich durch hohe Gehalte an Calciumsulfat ($CaSO_4$) aus. Die detaillierten Ergebnisse der analytischen Untersuchungen sind in Tabelle 18 (Kapitel 6.1.1) sowie in den Tabellen 37 und 38 (Kapitel 7.5.1.1) zusammengefasst dargestellt.

Durch mineralogische und geochemische Untersuchungen an Salzgesteinen konnte nachgewiesen werden, dass anhand des Bromidgehaltes eine stratigrafische Einordnung des Salzgesteines möglich ist. Für die Bohrung Remlingen 15 wurde angestrebt, mit Hilfe der Bromidanalytik unter Verwendung möglicher vorhandener Vergleichsdaten die genauere stratigrafische Einstufung der erbohrten Salinargesteine vorzunehmen. Die Gesamtzahl von 50 Proben für die Bromidanalytik wurde auf Grund der vorliegenden geologischen und strukturgeologischen Verhältnisse im Bohrkern als ausreichend eingestuft. Die steil einfallenden Schichten im Salinarabschnitt der Bohrung Remlingen 15 schließen vermutlich einen nur kleinen Querschnitt der salinaren Abfolge auf und liefern damit auch nur einen relativ kleinen Querschnitt der zu gewinnenden Informationen. Für die Schachtanlage Asse II liegen keine vergleichbaren Referenzergebnisse oder -profile vor, weshalb eine Korrelation der ermittelten Bromid-Kurve für die Remlingen 15 mit ortsspezifischen Vergleichsdaten nicht möglich ist. Eine eindeutige stratigrafische Einstufung des erbohrten Salzgesteins der übertägigen Erkundungsbohrung Remlingen 15 ist mit Hilfe des erarbeiteten Bromid-Profils also nicht möglich. Unter Verwendung/Vergleich der zu erwartenden Ergebnisse aus den untertägigen Erkundungsbohrungen können gegebenenfalls nähere Erkenntnisse zur stratigrafischen Zuordnung des Salinarabschnittes der Remlingen 15 erfolgen. Die detaillierten Ergebnisse der

Bromidanalytik kann den Tabellen 19 in Kapitel 6.1.2 sowie den Tabellen 39 und 40 in Kapitel 7.5.1.2 entnommen werden.

Die Durchführung und Auswertung von ***Sorptionsexperimenten*** erfolgte durch das KIT-INE (Institut für nukleare Entsorgung (INE) des KIT (Karlsruher Institut für Technologie)). Für die Durchführung der Sorptionstests wurden aus dem laufenden Bohrkern des Muschelkalks und Oberen Buntsandsteins insgesamt 26 Proben entnommen. Ergebnisse zu diesen Versuchen sind in einem separaten Bericht des KIT-INE dokumentiert.

Neben der geologischen Bearbeitung liegt eine wichtige Zielsetzung in der vollständigen ***gebirgs- und gesteinsmechanischen Charakterisierung*** der in der Bohrungen Remlingen 15 angetroffenen Schichtenfolge für die weiteren Planungen des neu zu errichtenden Schachtes [14]. Dafür war die Durchführung von Laboruntersuchungen mit Bestimmung gebirgsmechanischer Parameter an Probenmaterial aus dem Deckgebirge und dem Salinar vorgesehen. Im Zuge des gebirgsmechanischen Untersuchungsprogramms wurden insgesamt 52 Versuche (z.B. TC (Triaxiale Druckversuche/Druckfestigkeit), TCMS, TCR (Triaxiale Druckversuche/Druckfestigkeit im Mehrstufenversuch), TCC (Kriechversuche), UC (Einaxiale/Uniaxiale Druckversuche/ Druckfestigkeit), SV (Scherversuche), SZ (Spaltzug, BRAZIL-Tests), Tr (Wassergehaltsbestimmung)) an den Lithotypen (vgl. Tabelle 32 und 33) durchgeführt.

Insbesondere in den verschiedenen lithologischen Einheiten des Deckgebirges mit Kalk-, Sulfat- (Anhydrit/Gips) und Tonsteinen, als Sediment- bzw. Residualgebirge, sind die Materialeigenschaften als sehr heterogen zu bezeichnen. Während kompakte Gesteine (z.B. Kalk- oder Anhydritgesteine) teilweise hohe Festigkeiten aufweisen, liegen die Festigkeiten von Tonsteinhorizonten oder stark zerscherten Gesteinen mit Toneinschaltungen generell auf einem deutlich niedrigerem Festigkeitsniveau [14].

Auffällig ist zudem die geringe Kriechfreudigkeit und höhere Festigkeit des untersuchten Steinsalzes (Salinar-Abschnitt). Anhand der ermittelten Kennwerte (Kriechklassen) lässt sich ableiten, dass noch keine stationären Kriechraten vorliegen. Die ermittelten gebirgsmechanischen Kennwerte (Durchschnittswerte) sind der Tabelle 33 in Kapitel 7.5.2 zu entnehmen.

Im Zuge der ***geologisch-paläontologischen Untersuchungen*** an den Probenmaterialien des Bohrkernes der Remlingen 15 wurden zahlreiche Labortests durchgeführt. Zu diesen Tests zählten unter anderem mikropaläontologische Untersuchungen, Mikrofossilanalysen, Strömungstechnische Laborversuche sowie Untersuchungen zur Wasserempfindlichkeit. Die Ergebnisse dieser Methoden und Untersuchungen wurden unterstützend zur Verifizierung der stratigrafischen Einstufung der Gesteine herangezogen. Des Weiteren wurden geomechanische und hydrogeologische Aussagen abgeleitet. In Ergänzung zu den oben genannten Untersuchungen erfolgten zusätzlich Pollenanalysen an Kernmaterial des Salinarabschnittes, um die ersten stratigrafischen Einordnungen (Feldansprache) zu unterstützen. Eine konkrete stratigrafische Einstufung des Salzgesteines in die Zechsteinabfolge ist mit den vorliegenden Ergebnissen der palynologischen Untersuchungen jedoch nicht möglich.

Im Rahmen der geologisch-paläontologischen Untersuchungen wurde die IBeWa Ingenieurpartnerschaft Freiberg mit der Durchführung umfangreicher Untersuchungen beauftragt. Die durchgeführten Untersuchungen lassen sich in geologisch-mikropaläologische (Mikropaläontologische Untersuchungen, Mikrofossilanalyse, Mikroskopische Untersuchungen), geochemisch-mineralogische (Röntgenfluoreszensanalytik, Röntgendiffraktometrie) und geotechnische Untersuchungen (Bestimmungen der Wasserempfindlichkeit einschließlich des Quellverhaltens) sowie Untersuchungen zu den strömungstechnischen Eigenschaften der Gesteine unterteilen. Im Fokus standen *mikropaläontologischen Untersuchungen* an Proben des Muschelkalks, *Untersuchungen zum Phasenbestand* an siliziklastischen Proben des Oberen Buntsandsteins sowie die *mikropaläontologisch-stratigrafischen Untersuchungen* an karbonatischen Proben des Oberen Buntsandsteins. Mit Hilfe der Ergebnisse der geologisch-paläontologischen Untersuchungen konnten die feldgeologischen Erkenntnisse der Profilabschnitte der Bohrung bezüglich Lithologie und stratigrafischer Einordnung erheblich ergänzt und vor allem konkretisiert werden.

Das untersuchte Kernprofil des Muschelkalks kann stratigraphisch der Oberen Wellenkalk-Zone und der unteren Schaumkalk-Zone der Mittleren Germanischen Trias zugeordnet werden (vgl. [16]). Die verschiedenen Profilabschnitte liegen nicht im ursprünglichen Verband vor, was vermutlich durch halokinetisch bzw. -tektonische Deformation des Deckgebirges begründet werden kann. Ein kleiner Bereich von basalem Mittlerem Muschelkalk konnte außerdem nachgewiesen werden [16]. Dieser Bereich umfasst den Teufenabschnitt 49,80 mT bis 52,00 mT (vgl. dazu auch [6] und [8]) und ist in Abbildung 28 mit den Orbicularis-Schichten gekennzeichnet. Der Mittlere

Muschelkalk ist hier vermutlich durch eine Karsthohlraumfüllung zu erklären oder tektonisch bedingt in die vorhandene Abfolge „eingeschuppt“.

Für den Bereich des oberen Buntsandsteins der Bohrung konnte mit Hilfe der Ergebnisse der Untersuchungen zum Phasenbestand sowie mit denen der mikropaläontologisch-stratigrafischen Untersuchungen eine Untergliederung in die Röt-Folgen (Subformationen Röt 1 bis Röt 4) vorgenommen werden. Mit Hilfe der mikroskopischen Dünnschliffanalyse, der Detaildokumentation der Kernstücke und der Kernbefahrungen konnte der zweite und dritte Bohrkernabschnitt in die Rötsubformationen (Röt 1 bis Röt 4) unterteilt werden. Die Rötsubformation 4 (Röt 4) wird zum Hangenden durch die stratigrafische Grenze zwischen Unterem Muschelkalk und Oberem Buntsandstein bei 130,40 mT markiert. Diese stratigrafische Zuordnung ist mit der „höchsten“ entnommenen Probe bei etwa 136 mT belegt. Die Liegendgrenze des Röt 4 zum Röt 3 wird bei ca. 204 mT fest gemacht.

Eine exakte Grenzziehung zwischen den Subformationen Röt 3 und Röt 2 ist aufgrund des relativ groß gewählten Probenintervalls nicht möglich. Fazielle Kriterien deuten darauf hin, dass der beprobte Profilbereich (zwischen 290 mT und 334 mT) innerhalb des Pelitröts einzustufen ist und aufgrund fehlender Gipslagen dieser stratigrafische Abschnitt noch weiter auf die Rote Werksfolge (höhere Karsdorf-Subformation), also der Subformation des Röt 3, einzugrenzen ist.

Jedoch ist wegen fehlender eindeutiger, paläontologischer Indikatoren nicht vollständig ausschließbar, dass die sedimentäre Sequenz zwischen 334 mT und 354 mT eher in die Subformation des Röt 2 einzustufen ist. Die stratigrafische Grenze zwischen Röt 3 und Röt 2 ist auf Grund fehlender eindeutiger, pläontologischer Indikatoren nur in einen groben Teufenbereich von 290 mT und 334 mT eingrenzbar. Durch die Einstufung des Teufenbereiches zwischen 290 mT und 334 mT als Röt (3) in [18] kommt die Unsicherheit der stratigrafischen Einordnung zum Ausdruck.

Die Grenze vom Röt 2 zum Röt 1 wird bei etwa 354 mT vermutet. Basierend auf den mikroskopischen und mikropaläontologischen sowie unterstützend durch die RFA- und RDA-Untersuchungen der Proben wird dieser Teufenabschnitt von 354 mT und 394,3 mT dem Röt 1 zugesprochen.

Geochemisch-mineralogische Untersuchungen erfolgten mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA), der Röntgendiffraktometeranalytik (RDA) und der Wasserempfindlichkeitsbestimmung (W_S) an Tonsteinen des Oberen Buntsandsteines.

Die Wasserempfindlichkeitsuntersuchungen ergaben, dass alle Proben Wasserempfindlichkeiten kleiner als 1 Ma.-% aufweisen. Ein ausgeprägtes Quellverhalten wird auf Grund der geringen Wasserempfindlichkeiten und maximal berechneter Montmorillonitgehalte bezogen auf das Gesamtgestein von ca. 10 Ma.-% als unwahrscheinlich eingestuft wird.

Strömungstechnische Versuche wurden durch die IBeWa Ingenieurpartnerschaft Freiberg an Kernproben aus dem Bereich des Oberen Buntsandsteins durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in einem eigenständigen Bericht der IBeWa Ingenieurpartnerschaft Freiberg zusammengestellt [15]. Im Rahmen des vorliegenden Berichtes werden die Ergebnisse der strömungstechnischen Untersuchungen nicht betrachtet, da diese für die geologische Auswertung und Interpretation keine Relevanz haben. Grundsätzlich bestätigen die Ergebnisse der im Rahmen der ströhmungstechnischen Untersuchungen durchgeführten Tests (vgl. [15]), dass das mit der Bohrung Remlingen 15 erkundete Gebirge am konkreten Standort als dicht einzustufen ist.

Weitere geotechnische Untersuchungen erfolgten im Sinne von experimentellen Tests zur Volumen- und Gewichtszunahme von Anhydritkernen aus dem Salinarabschnitt (5. Abschnitt) der Bohrung Remlingen 15. Nach 56 Tagen des Versuchszeitraumes sind keine signifikanten Veränderungen an den Probenkörpern zu beobachten gewesen. Leichte Gewichts- und Volumenzunahmen wurden ermittelt, welche sich jedoch ausschließlich im Bereich von wenigen Gramm bzw. Kubikzentimetern bewegen. An der Ausgangsform der Probenkörper haben sich keine Veränderungen ergeben.

Die Bohrung Remlingen 15 liefert mit allen durchgeführten Arbeiten, Untersuchungen und experimentellen Tests eine hohe Zahl an gewonnenen Informationen und Erkenntnissen zur lokalen Situation im Bereich des Bohransatzpunktes. Mit Hilfe des umfangreichen Programms der Bohrlochmessungen konnten wertvolle und zuverlässige Informationen über den Charakter des Gebirgsnahbereiches um den Bohransatzpunkt gewonnen werden.

Das durchgeführte Untersuchungs- und Analyseprogramm wird ebenfalls als sehr detailliert und umfangreich eingestuft. Die gewonnenen Daten liefern zahlreiche Informationen, welche die

lithologische Beschreibung des Standortes ergänzen. Sie liefern zudem wesentliche Beiträge zur stratigrafischen Unterteilung der erbohrten Gesteine. Dennoch sind einige Ergebnisse der mikropaläontologischen sowie der geochemisch-mineralogischen Untersuchungen zur stratigrafischen Einstufung im Bereich des Deckgebirges mit Unsicherheiten behaftet. Auch die konkrete stratigrafische Einstufung des Zechstein-Salinars bleibt auf Grund der vorliegenden Untersuchungs- und Analyseergebnisse offen. Diese Einstufung wird im Rahmen der nachlaufenden Detailauswertung für das Salinar durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erfolgen.

9 Literaturverzeichnis

[1] DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC AG (2011):, „Schachtanlage Asse II - Konzept- und Genehmigungsplanung für einen weiteren Schacht - Ist-Analyse - Schachtansatzpunkt. Bundesamt für Strahlenschutz, 134 S., 25 Abb., 28 Tab.; Essen [unveröff. Bericht, 9A/23440000/GA/RA/0003/00]“.

[2] ASSE-GmbH (2011):, *Risswerk Schachtanlage Asse II, Stand März 2011.*

[3] DEERE, D. U.; DEERE, D. W. (1988):, „The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice“.

[4] (2011):, „Planungsstudie zur übertägigen geowissenschaftlichen Erkundung eines Schachtansatzpunktes der Schachtanlage Asse II. Bundesamt für Strahlenschutz, 127 S., 3 Abb., 1 Tab.; Salzgitter [unveröff. Bericht, 9A/23440000/GA/RA/0002/01]“.

[5] et. al. (2010):, „Symbolschlüssel Geologie – Symbole für die Dokumentation und Verarbeitung geologischer Feld- und Aufschlussdaten. Digitale Fassung überarbeitet und zusammengestellt von H. Preuss aus der Master-Datenbank des LBEG mit Ergänz.der staatl. geol. Dienste Dtl.,“ Hrsg. LBEG.

[6] K-UTEC AG (201η):, „Fotodokumentation zur Erkundungsbohrung Remlingen 1η, 1θ9 S.; Sondershausen [unveröff. Bericht, 9A/23ζζ 0000/HA/RB/0001/01]“.

[7] D.E.I. (2011):, „Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14689-1:2003), Deutsche Fassung EN ISO 14689-1:2003,“ Beuth Verlag GmbH.

[8] K-UTEC AG (201η):, „Schichtenverzeichnis (GeODin) zur Erkundungsbohrung Remlingen 1η. 10η S.;Sondershausen [unveröff. Bericht, 9A/23ζζ0 000/HA/RB/0002/01]“.

[9] TERRATEC (201θ):, „Geophysikalische Messungen in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Terratec Büro für Geologie und Geophysik, 133 S.; Heitersheim [unveröff. Bericht, 9A/23ζζ 0000/HF/RB/0011/00]“.

[10] MeSy-Solexperts (201η):, „Abschlussbericht Hydraulische Spannungsmessungen in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 129 S.;,“ Bochum, [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HGG/RB/0003/00].

[11] Solexperts AG (201η):, „Abschlussbericht zu den Dilatometermessungen in der Erkundungsbohrung Remlingen 1η. Bundesamt für Strahlenschutz, 1η2 S.;,“ Mönchaltorf,

[unveröff. Bericht 9A/23440000/GCB/RB/0002/00].

[12] Solexperts AG (201η):, „Abschlussbericht Hydraulisches Testing in der Erkundungsbohrung Remlingen 1η. Bundesamt für Strahlenschutz, 1η9 S.;," Mönchaltorf, [unveröff. Bericht 9A/23440000/HGG/RB/0002/00].

[13] DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC AG (2012):, „Schachtanlage Asse II - Konzept- und Genehmigungsplanung für einen weiteren Schacht - Planung der Bohr- und Testarbeiten. Bundesamt für Strahlenschutz, 74 S., 4 Abb., 8 Tab.; Essen [unveröff. Bericht, 9A/23ζζ 0000/GA/RA/0003/00]".

[14] IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH (201ζ):, „Ermittlung gebirgsmechanischer Parameter an Kernproben der Remlingen 1η. Bundesamt für Strahlenschutz, 319 S.;" Leipzig, [unveröff. Bericht, 9A/23440000/GCA/RB/0002/00].

[15] IBeWa Ingenieurpartnerschaft (201η):, „Abschlussbericht zu den strömungstechnischen Untersuchungen an verschiedenen Proben aus dem Oberen Buntsandstein der Erkundungsbohrung Remlingen 1η. Bundesamt für Strahlenschutz, ζ82 S.;" Freiberg, [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HGG/RB/0004/00].

[16] IBeWa Ingenieurpartnerschaft (201ζ):, „Abschlussbericht zu den mikropaläontologischen Untersuchungen (Muschelkalk) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 163 S.; Freiberg [unveröff. Bericht, 9A/23ζζ 0000/HS/RB/0001/00]".

[17] IBeWa Ingenieurpartnerschaft (201ζ):, „Abschlussbericht zu den Untersuchungen zum Phasenbestand an siliziklastischen Proben (Oberer Buntsandstein) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 205 S.; Freiberg [unveröff. Bericht, 9A/23ζζ 0000/HD/RB/0001/00]".

[18] IBeWa Ingenieurpartnerschaft (201ζ):, „Abschlussbericht zu den mikropaläontologisch-stratigrafischen Untersuchungen (Oberer Buntsandstein) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 63 S.; Freiberg, [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HS/RB/0002/00]".

[19] IBeWa Ingenieurpartnerschaft (201η):, „Abschlussbericht zu den Untersuchungen zur Zusammensetzung und zum Quellvermögen toniger Proben (Oberer Buntandstein) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 249 S.;, Freiberg, [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HG/RB/0002/00]".

[20] IBeWa Ingenieurpartnerschaft, „Abschlussbericht zu den Untersuchungen zum Phasenbestand an siliziklastischen Proben (Oberer Buntsandstein) in der Erkundungsbohrung

Remlingen 15, Freiberg, 2014, [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HD/RB/0001/00] ".

[21] DIN 18130-1:1998-05 (1998): Baugrund -Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitswerts - Teil 1: Laborversuche, Beuth.

[22] ASSE-GmbH (201η):, „Ergebnisbericht Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung Remlingen 15, 4. Loch, gerichtetes Bohrlochradar. Bundesamt für Strahlenschutz [unveröff. Bericht, 9A/55211000/HF/RA/0004/0]“.

[23] (1997):, „Zusammenfassender Bericht über die strukturgeologischen Untersuchungen im Asse-Sattel. Rainer Hartmann Gesellschaft für angewandte Biologie und Geologie mbH; GSF-Auftrag Nr. 31/170702/97/T; Göttingen“.

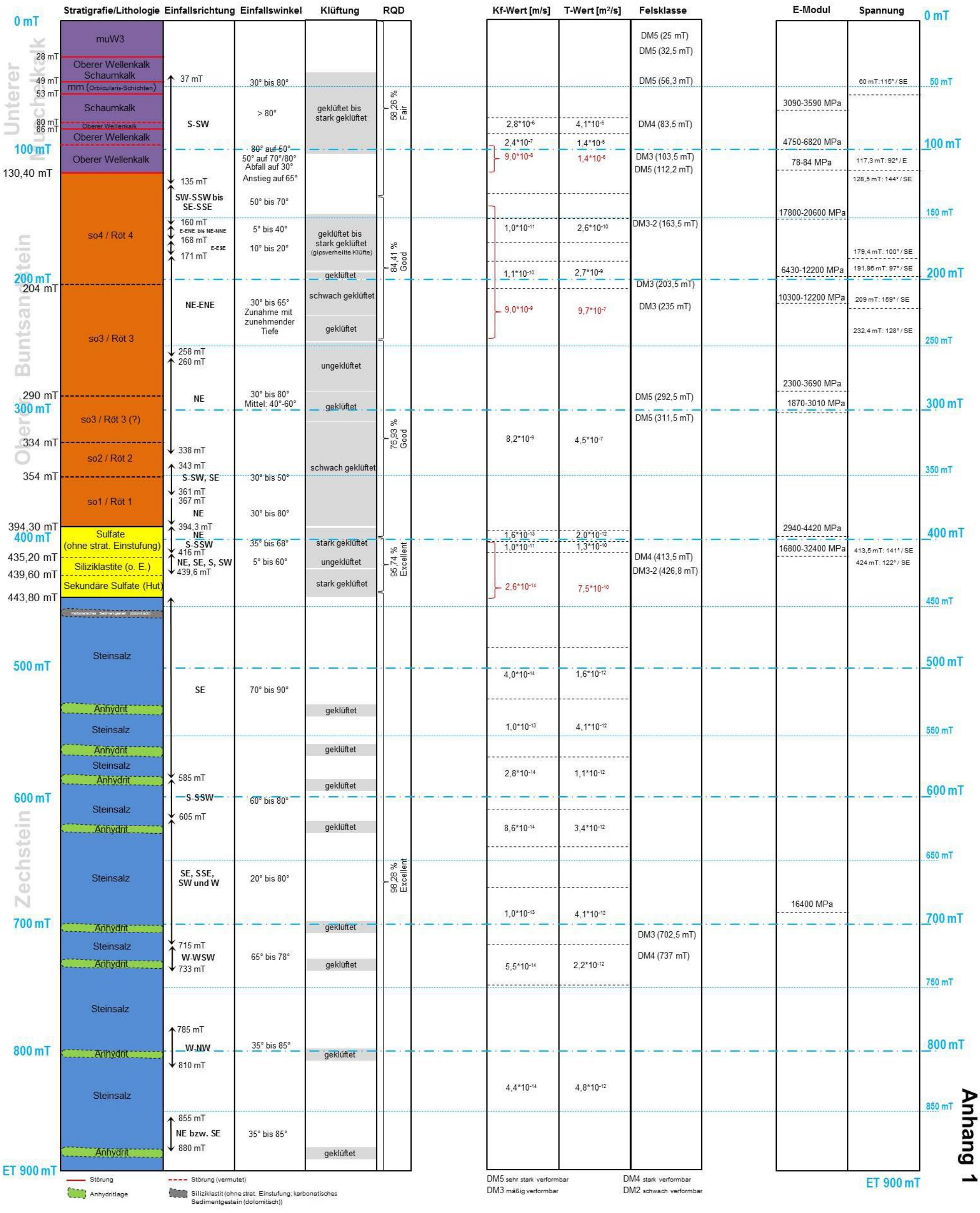
[24] ERCOSPLAN & FRANZKE, H.-J. (200ζ):, „Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachtanlage Asse II. EGB 03-003 (im Auftrag des GSF Gesellschaft für Umwelt- und Gesundheit GmbH Forschungsbergwerk Asse); Erfurt.“.

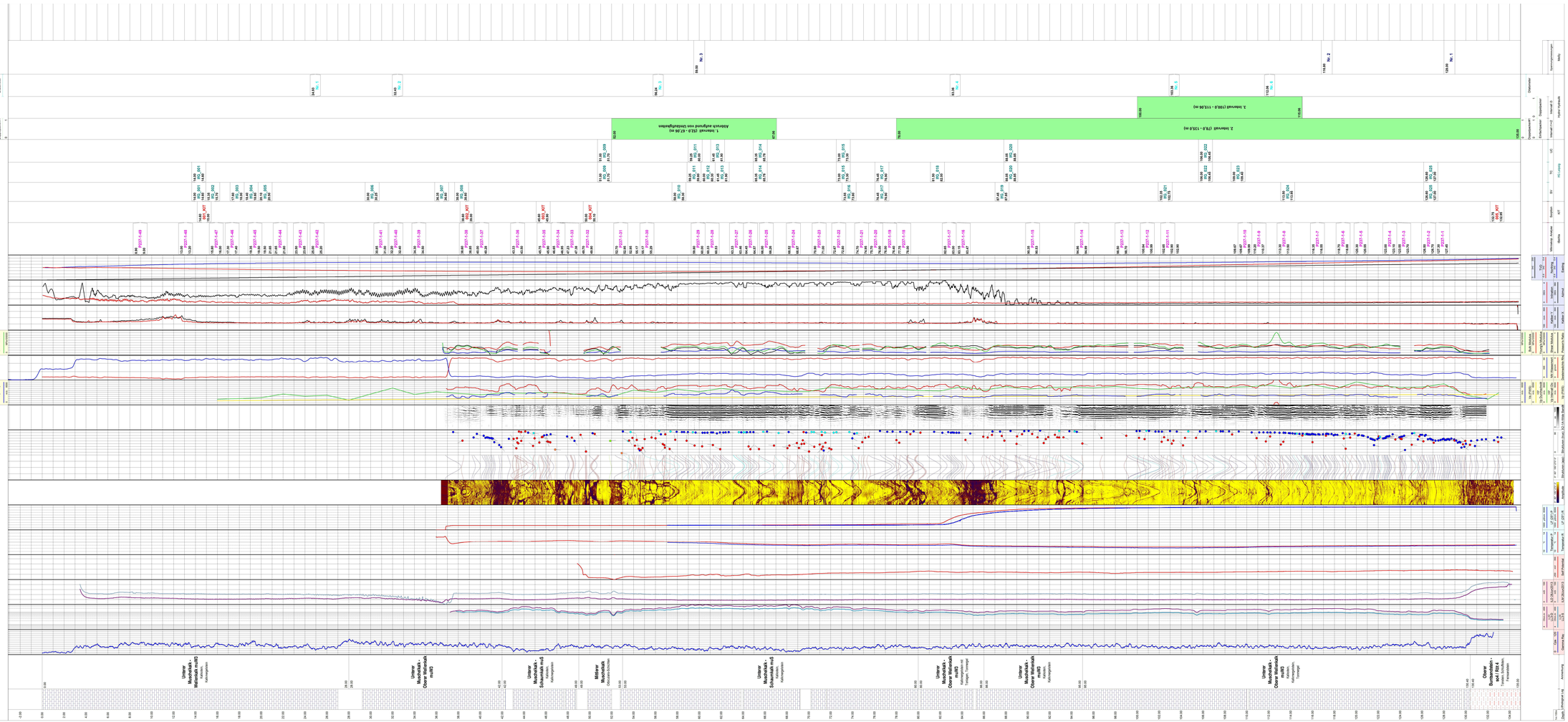
[25] BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2010):, „ERA Morsleben Ergänzende Arbeiten der BGR zu Gutachten im Planfeststellungsverfahren: Homogenbereichskartierung zum Kriechen von Steinsalz -Verfahren und Ergebnisse-,“ Hannover.

[26] G.d.t.N.G. (1993):, Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (A.F.T.S.E.), Texte des recommandationspour une description des massifs rocheux utile à l’étude de la stabilité des ouvrages souterrains.Tunnels et ouvrages souterrains, supplément au No117, 1993.

[27] „http://www.advanced-mining.com,“ [Online]. [Zugriff am 2ζ Januar 2017].

[28] (19θ7): „Der obere Buntsandstein (Röt) im niedersächsischen Bergland. Geol. JB., 84, S. 637-71θ“.


Stratigrafie/Lithologie
Einfallsrichtung
Einfallswinkel
Klüftung
RQD
Kf-Wert [m/s]
T-Wert [m²/s]
Felsklasse
E-Modul
Spannung
Unterer Muschelkalk
Buntsandstein
Zechstein
muW3
Oberer Wellenkalk Schaumkalk
mm (Orbicularis-Schichten)
Schaumkalk
Oberer Wellenkalk
Oberer Wellenkalk
Oberer Wellenkalk
so4 / Röt 4
so3 / Röt 3
so3 / Röt 3 (?)
so2 / Röt 2
so1 / Röt 1
Sulfate (ohne strat. Einstufung)
Siliziklastite (o. E.)
Sekundäre Sulfate (Hut)
Steinsalz
Anhydrit
Störung
Störung (vermutet)
Anhydritlage
Siliziklastit (ohne strat. Einstufung; karbonatisches Sedimentgestein (dolomitisch))
DM5 sehr stark verformbar
DM3 mäßig verformbar
DM4 stark verformbar
DM2 schwach verformbar
Anhang 1



DMT | THYSSEN SCHACHTBAU | K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

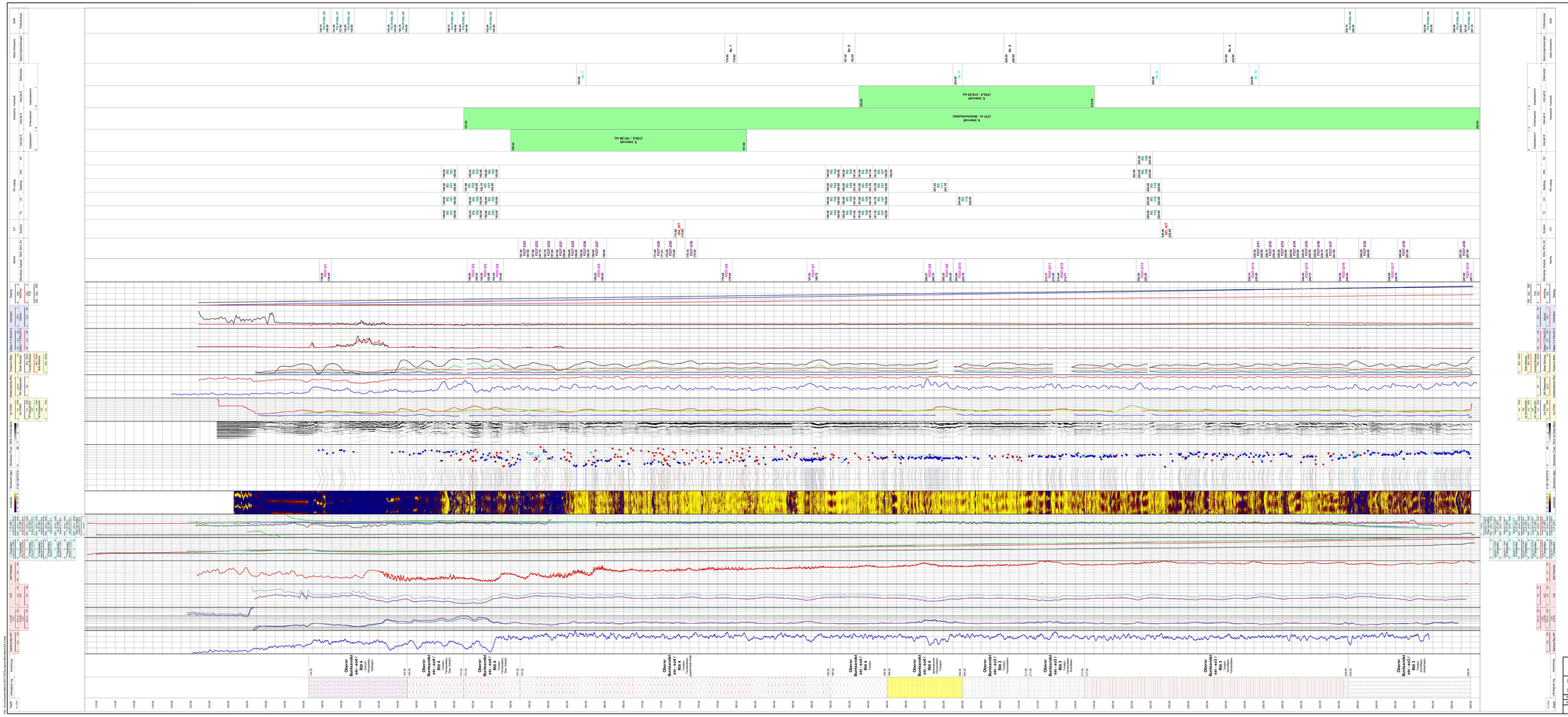
Synopsendarstellung Bohrabschnitt 1

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	23440000	GA	RA	0009	00

Anhang 1,1

Seite 211

Stand 12.04.2017

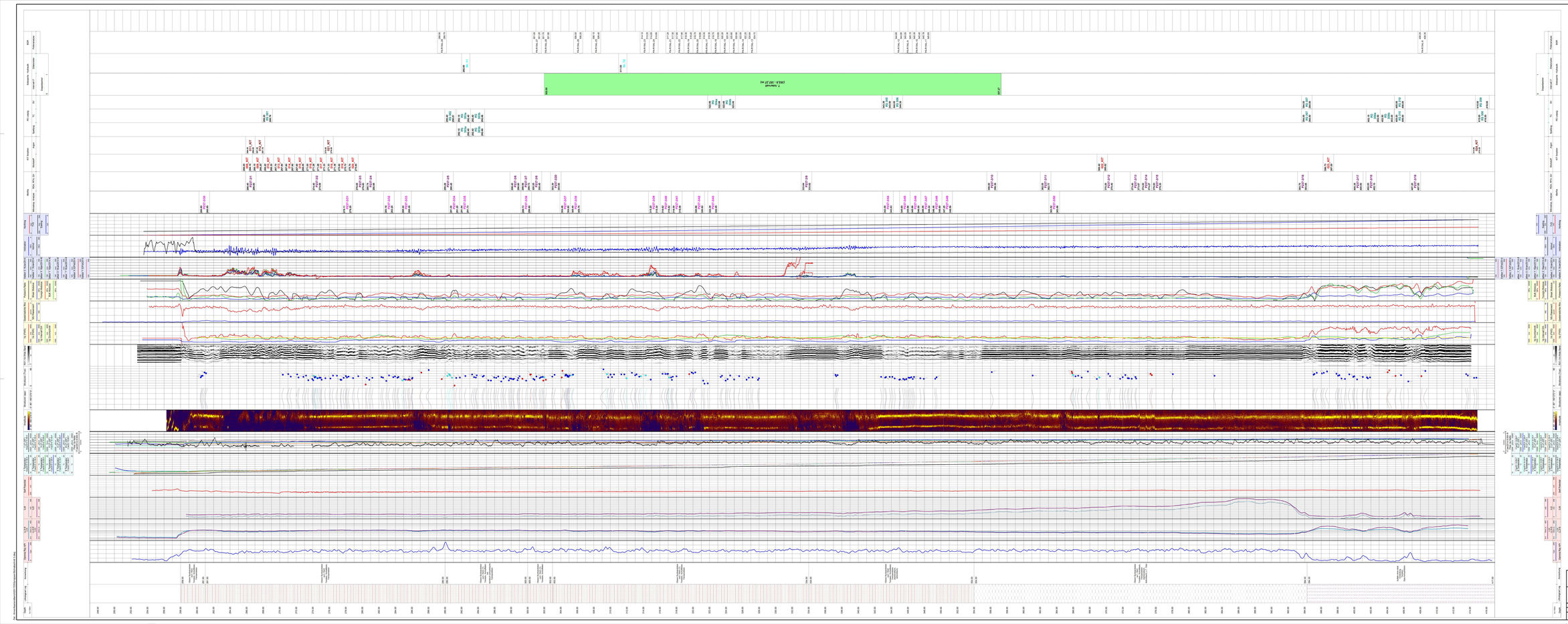


DMT THYSSEN SCHACHTBAU K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

Synopsendarstellung Bohrabschnitt 2

Project	PSP-Element	Activity	LA	Ltd. Nr	Rev.	Anhang 1.2	Seite 212
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand 12.04.2017
9A	23440000	GA	RA	0009	00		



DMT THYSSEN SCHACHTBAU K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

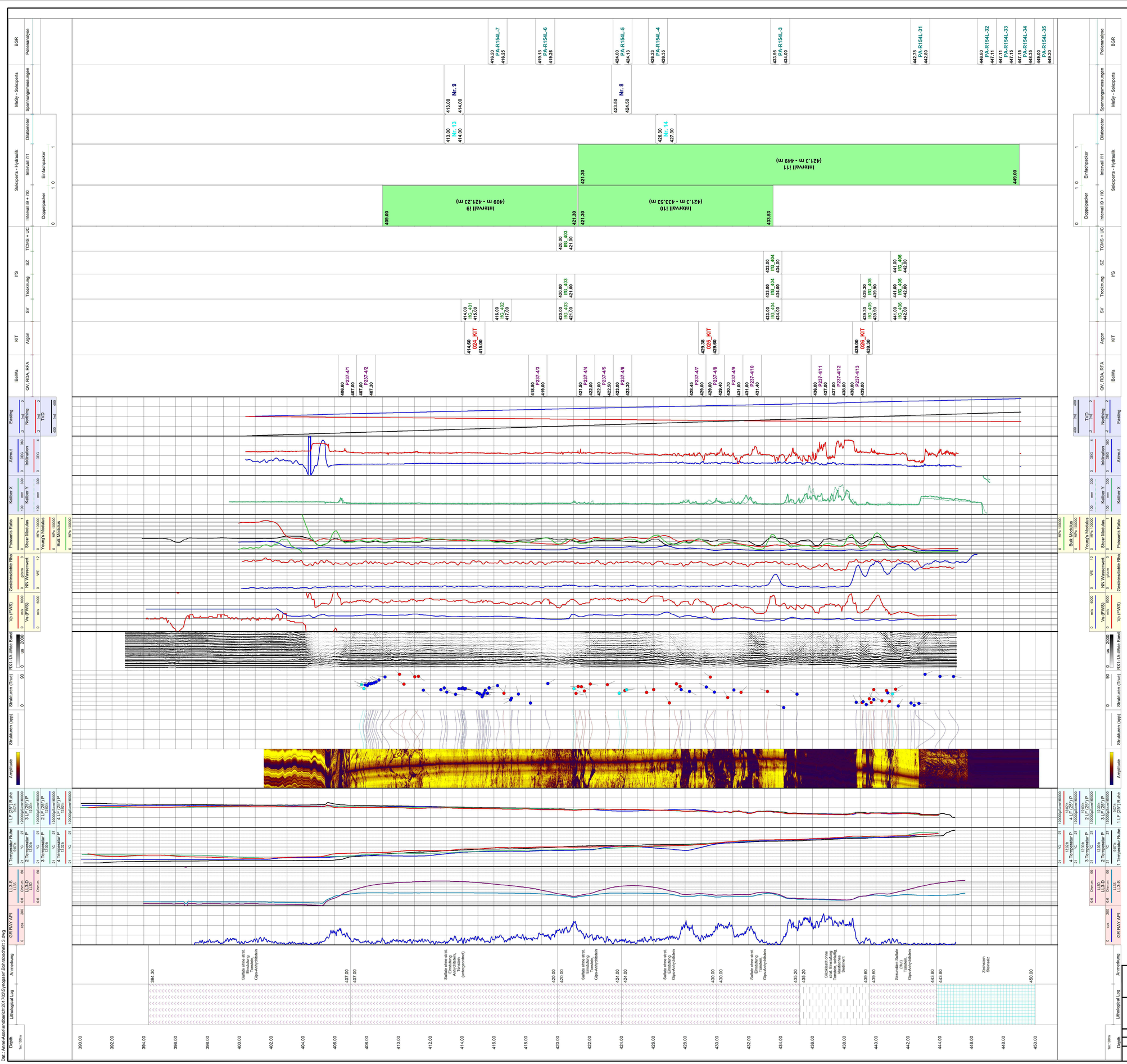
Synopsendarstellung Bohrabschnitt 3

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	Lfd. Nr.	Ver.	Rev.
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN
SA	23440000	GA	RA	0009	00

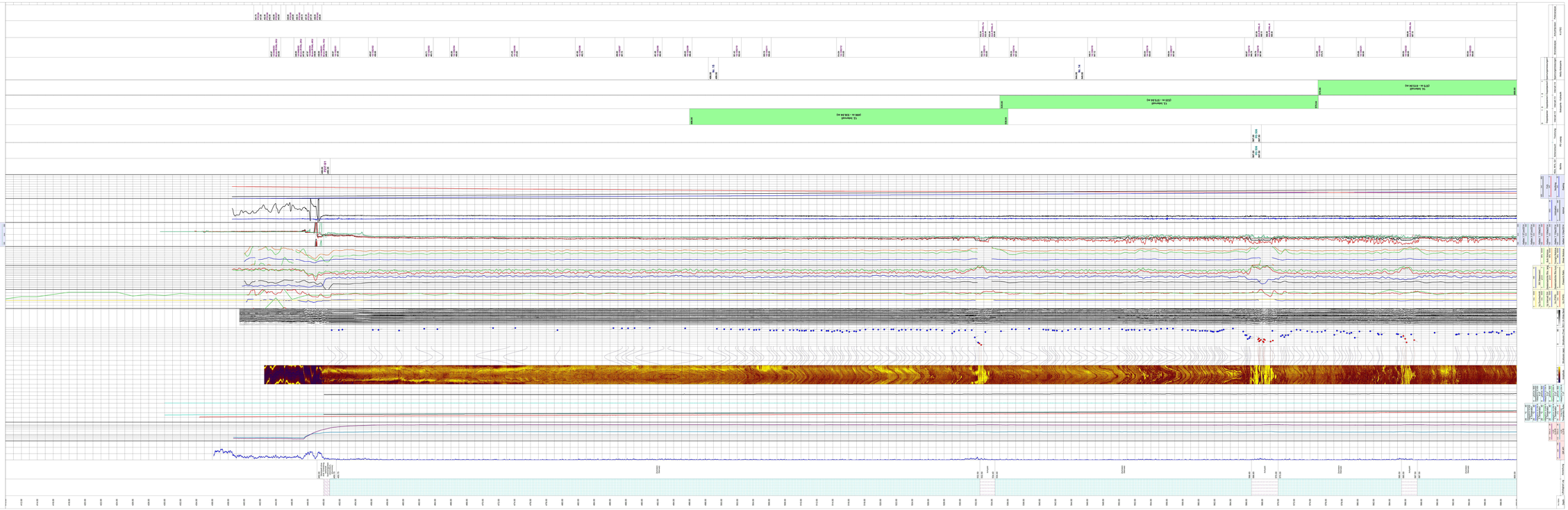
Anhang 1.3

Stand 12.04.2017

Dat.: Anne/Asse/endbericht/201703/Synopsen/Bohrabschnitt 3.dwg



DMT	THYSSEN SCHACHTBAU	K-UTEC SALT TECHNOLOGIES	Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht				
			Synopsendarstellung Bohrabschnitt 4				
Projekt	PSR-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Anhang 1.4	Seite 214
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RA	0009	00		Stand 12.04.2017

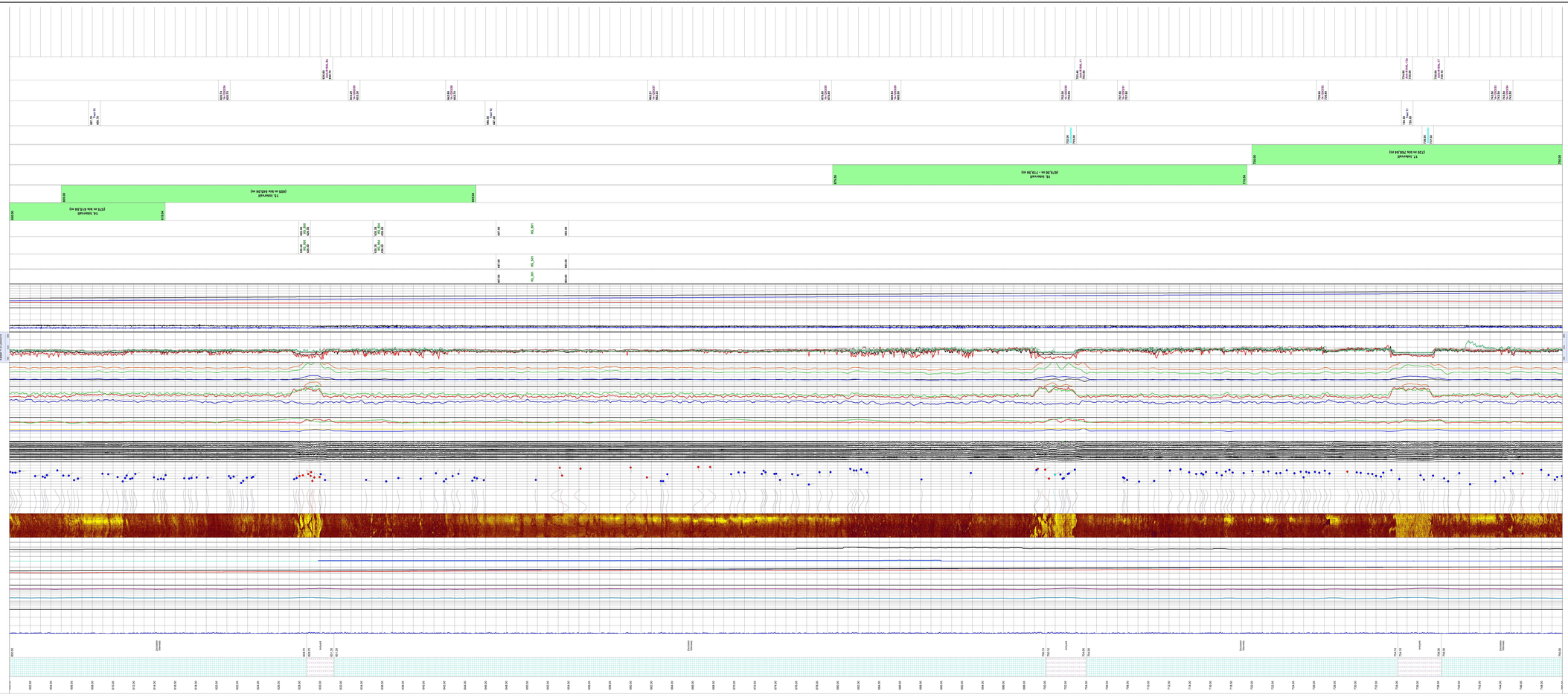


DMT THYSSEN SCHACHTBAU K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

Synopsendarstellung Bohrabschnitt 5.1

Projekt	Anlage	Aufgabe	Art	Lfd. Nr.	Rev.		
KAVAS	VERWAHRUNG	KAVAS	RA	VERWA	Nr.	Anhang 1.5	Seite 215
9A	23440000	GA	RA	0009	00		Stand 12.04.2017

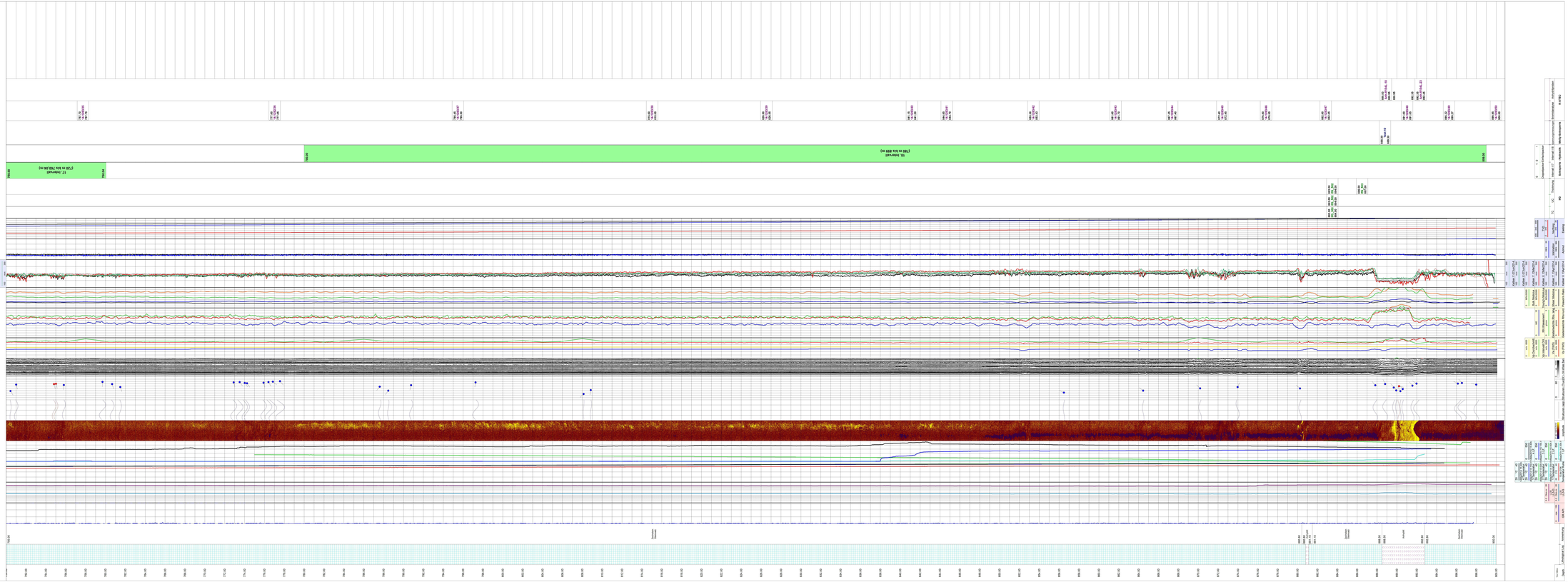


DMT THYSSEN SCHACHTBAU K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

Synopsendarstellung Bohrabschnitt 5.2

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	Lfd.	Lfd. Nr.	Rev.	Anhang 1.6	Seite 216
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand 12.04.2017
9A	23440000	GA	RA	0009	00		



DMT | THYSSEN SCHACHTBAU | K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

Synopsendarstellung Bohrabschnitt 5.3

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	Lfd. Nr.	Rev.
SAAS	NNNNNNNN	AAAA	NNNN	NN
SA	23440000	GA	RA	0009	00

Anhang 1.7 | Seite 217

Stand 12.04.2017

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Chemisch-physikalische Analytik

K-UTEC AG Salt Technologies
Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen

Tel.: +49 3632 610-150
Fax.: +49 3632 610-105
E-Mail: cpa@k-utec.de

Prüfbericht: 14-0488-1

Auftrag: Salzuntersuchung
Auftraggeber: K-UTEC AG
Abt. GMB

Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen

Probeneingang: 17.03.2014
Probennahme: Auftraggeber
Entnahmeort:
Entnahmedatum: 12.03.2014
Probenanzahl: 4
Prüfzeitraum: 31.03.2014 bis 14.04.2014

Proben-Nr.	Probentext
14-0488/01	Brom-R154L-1KU; 449,0 - 449,2 mT; 12.03.2014
14-0488/02	Brom-R154L-2KU; 446,95 - 447 mT; 12.03.2014
14-0488/03	Brom-R154L-3KU; 443,87 - 443,9 mT; 12.03.2014
14-0488/04	Brom-R154L-4KU; 448,65 - 448,68 mT; 12.03.2014

Dieser Prüfbericht darf oSeitenumbruch jetzthne Genehmigung der K-UTEC AG nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände. (DIN EN ISO/IEC 17025)

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-0488-1 Seite 2 von 3
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **1KU**
Proben-Nr.: **14-0488/01**
Messzeitraum: 31.03.2014 bis 14.04.2014
Brom-R154L-1KU; 449,0 - 449,2 mT; 12.03.2014

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
NaCl	Verfahren*	95,96	%	0,01
Bromid	intern. Verfahren*	0,014	%	0,010
XRF/Bromid	XRF*	149,0000	mg/kg	1,0000

Gesamt-Brom-Gehalt = 0,016%Br/NaCl

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **2KU**
Proben-Nr.: **14-0488/02**
Messzeitraum: 01.04.2014 bis 14.04.2014
Brom-R154L-2KU; 446,95 - 447 mT; 12.03.2014

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
NaCl	Verfahren*	101,43	%	0,01
Bromid	intern. Verfahren*	0,011	%	0,010
XRF/Bromid	XRF*	128,0000	mg/kg	1,0000

Gesamt-Brom-Gehalt = 0,013%Br/NaCl

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **3KU**
Proben-Nr.: **14-0488/03**
Messzeitraum: 01.04.2014 bis 14.04.2014
Brom-R154L-3KU; 443,87 - 443,9 mT; 12.03.2014

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
NaCl	Verfahren*	99,29	%	0,01
Bromid	intern. Verfahren*	0,011	%	0,010
XRF/Bromid	XRF*	107,0000	mg/kg	1,0000

Gesamt-Brom-Gehalt = 0,011%Br/NaCl

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **4KU**
Proben-Nr.: **14-0488/04**
Messzeitraum: 01.04.2014 bis 14.04.2014
Brom-R154L-4KU; 448,65 - 448,68 mT; 12.03.2014

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
NaCl	Verfahren*	100,31	%	0,01
Bromid	intern. Verfahren*	0,018	%	0,010
XRF/Bromid	XRF*	162,0000	mg/kg	1,0000

Gesamt-Brom-Gehalt = 0,016%Br/NaCl

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Sondershausen, den 14.04.2014

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Chemisch-physikalische Analytik

K-UTEC AG Salt Technologies
Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen

Tel.: +49 3632 610-150
Fax.: +49 3632 610-105
E-Mail: cpa@k-utec.de

Prüfbericht: 14-1282-1

Auftrag: Salzuntersuchung
Auftraggeber: K-UTEC AG
Abt. GMB

Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen

Probeneingang: 14.08.2014
Probennahme: Auftraggeber
Entnahmeort:
Entnahmedatum:
Probenanzahl: 25
Prüfzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014

Proben-Nr.	Probentext
14-1282/01	1
14-1282/02	2
14-1282/03	3
14-1282/04	4
14-1282/05	5
14-1282/06	6
14-1282/07	7
14-1282/08	8
14-1282/09	9
14-1282/10	10
14-1282/11	11
14-1282/12	12
14-1282/13	13 (Anhydrit)
14-1282/14	14

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

14-1282/15	15
14-1282/16	16 (Anhydrit)
14-1282/17	17
14-1282/18	18
14-1282/19	19 (Anhydrit)
14-1282/20	20
14-1282/21	21
14-1282/22	22 (Anhydrit)
14-1282/23	23
14-1282/24	24
14-1282/25	25

Dieser Prüfbericht darf ohne Genehmigung der K-UTEC AG nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände. (DIN EN ISO/IEC 17025)

*	nicht akkreditierter Parameter
**	DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n.	Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim	Dimension
#	bezogen auf Trockensubstanz

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 1
Proben-Nr.: **14-1282/01**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
1

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	118	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,56	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	1,16	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,02	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,57	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,12	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,37	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,07	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 2
Proben-Nr.: **14-1282/02**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
2

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	135	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,75	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	0,56	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,02	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,27	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,70	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,34	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,08	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **3**
Proben-Nr.: **14-1282/03**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
3

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	137	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,55	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,05	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,53	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,15	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,05	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **4**
Proben-Nr.: **14-1282/04**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
4

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	138	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,40	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,52	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,27	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,10	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **5**
Proben-Nr.: **14-1282/05**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
5

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	135	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,84	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,32	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,20	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,07	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **6**
Proben-Nr.: **14-1282/06**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
6

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	143	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,49	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	0,70	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,85	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,36	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,06	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 7
Proben-Nr.: **14-1282/07**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
7

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	135	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,31	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	0,84	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,05	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,13	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,09	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,25	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,05	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 8
Proben-Nr.: **14-1282/08**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
8

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	129	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	3,53	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	0,70	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,32	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	94,55	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,31	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,11	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 9
Proben-Nr.: **14-1282/09**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
9

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	131	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,58	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	0,56	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,23	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	95,59	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,26	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,08	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 10
Proben-Nr.: **14-1282/10**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
10

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	133	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,17	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	0,68	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,13	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,70	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,31	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,08	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: Salz **Probenbez.:** 11
Proben-Nr.: 14-1282/11
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
11

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	142	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,58	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	1,26	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,17	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	94,93	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,37	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,12	%	0,01

Probenart: Salz **Probenbez.:** 12
Proben-Nr.: 14-1282/12
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 21.08.2014
12

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	147	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,18	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,05	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,08	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,22	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,04	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 13
Proben-Nr.: **14-1282/13**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
13 (Anhydrit)

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
$CaSO_4$	Verfahren**	84,69	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,24	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,04	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	2,56	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,69	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	86,34	%	0,01
HCl-Unlösliches	intern. Verfahren*	11,50	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 14
Proben-Nr.: **14-1282/14**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
14

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	145	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,48	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,05	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,96	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,11	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,06	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **15**
Proben-Nr.: **14-1282/15**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
15

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	145	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,91	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,02	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,23	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,14	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,04	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **16**
Proben-Nr.: **14-1282/16**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
16 (Anhydrit)

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
$CaSO_4$	Verfahren**	53,84	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	45,56	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,25	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	41,91	%	0,01
HCl-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,17	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **17**
Proben-Nr.: **14-1282/17**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
17

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	155	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	7,35	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,02	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	90,48	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,18	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	1,44	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **18**
Proben-Nr.: **14-1282/18**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
18

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	189	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,01	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,98	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,39	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,08	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **19**
Proben-Nr.: **14-1282/19**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
19 (Anhydrit)

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
$CaSO_4$	Verfahren**	68,14	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,02	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	28,69	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,25	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	60,27	%	0,01
HCl-Unlösliches	intern. Verfahren*	2,63	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **20**
Proben-Nr.: **14-1282/20**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
20

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	175	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	3,51	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,05	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	95,38	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,17	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,09	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **21**
Proben-Nr.: **14-1282/21**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
21

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	183	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	7,22	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,12	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	88,80	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,22	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	3,18	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **22**
Proben-Nr.: **14-1282/22**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
22 (Anhydrit)

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
$CaSO_4$	Verfahren**	71,34	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,26	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	25,26	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,94	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	63,37	%	0,01
HCl-Unlösliches	intern. Verfahren*	2,22	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **23**
Proben-Nr.: **14-1282/23**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
23

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	152	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	8,41	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	88,17	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,24	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	2,71	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **24**
Proben-Nr.: **14-1282/24**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
24

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	138	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	9,27	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	82,09	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,21	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	7,88	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1282-1 Seite 15 von 15
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **25**
Proben-Nr.: **14-1282/25**
Messzeitraum: 20.08.2014 bis 22.08.2014
25

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	185	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,36	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,01	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,23	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,84	%	0,01

Sondershausen, den 22.08.2014

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Chemisch-physikalische Analytik

K-UTEC AG Salt Technologies
Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen

Tel.: +49 3632 610-150
Fax.: +49 3632 610-105
E-Mail: cpa@k-utec.de

Prüfbericht: 14-1283-1

Auftrag: Salzuntersuchung
Auftraggeber: K-UTEC AG
Abt. GMB

Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen

Probeneingang: 14.08.2014
Probennahme: Auftraggeber
Entnahmeort:
Entnahmedatum:
Probenanzahl: 25
Prüfzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014

Proben-Nr.	Probentext
14-1283/01	26
14-1283/02	27
14-1283/03	28
14-1283/04	29
14-1283/05	30
14-1283/06	31
14-1283/07	32
14-1283/08	33 (Anhydrit)
14-1283/09	34
14-1283/10	35
14-1283/11	36
14-1283/12	37
14-1283/13	38
14-1283/14	39

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

14-1283/15	40
14-1283/16	41
14-1283/17	42
14-1283/18	43
14-1283/19	44
14-1283/20	45
14-1283/21	46
14-1283/22	47
14-1283/23	48 (Anhydrit)
14-1283/24	49
14-1283/25	50

Dieser Prüfbericht darf ohne Genehmigung der K-UTEC AG nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände. (DIN EN ISO/IEC 17025)

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: Salz **Probenbez.:** 26
Proben-Nr.: 14-1283/01
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
26

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	154	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	8,54	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,19	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	84,04	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,34	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	6,54	%	0,01

Probenart: Salz **Probenbez.:** 27
Proben-Nr.: 14-1283/02
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
27

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	164	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,42	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,05	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,73	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,09	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,05	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **28**
Proben-Nr.: **14-1283/03**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
28

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	150	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	10,25	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	78,38	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,06	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	10,83	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **29**
Proben-Nr.: **14-1283/04**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
29

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	166	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,41	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,10	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,71	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,06	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,04	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **30**
Proben-Nr.: **14-1283/05**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
30

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	117	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	10,56	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	0,06	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,14	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,02	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	30,97	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,31	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	58,03	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **31**
Proben-Nr.: **14-1283/06**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
31

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	194	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,08	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,02	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,16	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,02	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,03	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **32**
Proben-Nr.: **14-1283/07**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
32

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	114	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	5,07	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	93,45	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,15	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,86	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **33**
Proben-Nr.: **14-1283/08**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 27.08.2014
33 (Anhydrit)

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
$CaSO_4$	Verfahren**	69,03	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	0,03	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,29	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,04	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	12,04	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,68	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	75,68	%	0,01
HCl-Unlösliches	intern. Verfahren*	17,50	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **34**
Proben-Nr.: **14-1283/09**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
34

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	127	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,08	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,05	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	99,29	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,08	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,04	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **35**
Proben-Nr.: **14-1283/10**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
35

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	117	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,87	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,03	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,14	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,51	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **36**
Proben-Nr.: **14-1283/11**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
36

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	126	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	9,66	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	0,06	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,12	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,04	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	84,05	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,22	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	5,89	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **37**
Proben-Nr.: **14-1283/12**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
37

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	115	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	6,83	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,04	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	90,08	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,21	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	2,03	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: Salz **Probenbez.:** 38
Proben-Nr.: 14-1283/13
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
38

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	120	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,93	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,02	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,04	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,43	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,10	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,03	%	0,01

Probenart: Salz **Probenbez.:** 39
Proben-Nr.: 14-1283/14
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
39

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	111	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,05	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,05	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,10	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,13	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,12	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 40
Proben-Nr.: **14-1283/15**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
40

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	121	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,64	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,04	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,29	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,13	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,04	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** 41
Proben-Nr.: **14-1283/16**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
41

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	129	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,13	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,12	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,04	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,84	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,29	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,02	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: Salz **Probenbez.:** 42
Proben-Nr.: 14-1283/17
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
42

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	127	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	4,39	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,12	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	94,78	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,21	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,14	%	0,01

Probenart: Salz **Probenbez.:** 43
Proben-Nr.: 14-1283/18
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
43

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	115	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,35	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,14	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,38	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,29	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	1,27	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Probenart: Salz **Probenbez.:** 44
Proben-Nr.: 14-1283/19
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
44

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	140	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,57	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,43	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,07	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,03	%	0,01

Probenart: Salz **Probenbez.:** 45
Proben-Nr.: 14-1283/20
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
45

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	147	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	2,55	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,12	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	96,05	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,22	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,25	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **46**
Proben-Nr.: **14-1283/21**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
46

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	141	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	1,22	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	97,88	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,13	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,01	%	0,01

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **47**
Proben-Nr.: **14-1283/22**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
47

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	148	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	0,14	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,07	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	98,73	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,10	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,03	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: Salz **Probenbez.:** 48
Proben-Nr.: 14-1283/23
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 27.08.2014
48 (Anhydrit)

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
$CaSO_4$	Verfahren**	75,82	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	0,17	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,03	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	23,50	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,16	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	66,07	%	0,01
HCl-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,88	%	0,01

Probenart: Salz **Probenbez.:** 49
Proben-Nr.: 14-1283/24
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
49

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	128	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	6,73	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,07	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,06	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	92,08	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,07	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,40	%	0,01

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5; DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

ilac-MRA DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14237-01-00

Prüfbericht-Nr.: 14-1283-1 Seite 15 von 15
Betreff: Salzuntersuchung

Probenart: **Salz** **Probenbez.:** **50**
Proben-Nr.: **14-1283/25**
Messzeitraum: 26.08.2014 bis 29.08.2014
50

Parameter	Verfahren	Meßwert	Dim.	Bestim.-grenze
XRF/Bromid	XRF*	108	mg/kg	40
$CaSO_4$	Verfahren**	3,14	%	0,01
$CaCl_2$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgSO_4$	Verfahren**	n.n.	%	0,01
$MgCl_2$	Verfahren**	0,10	%	0,01
KCl	Verfahren*	0,08	%	0,01
K_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
NaCl	Verfahren*	95,44	%	0,01
Na_2SO_4	Verfahren**	n.n.	%	0,01
H_20 ges.	intern. Verfahren*	0,12	%	0,01
H_2O-Unlösliches	intern. Verfahren*	0,35	%	0,01

Sondershausen, den 01.09.2014

* nicht akkreditierter Parameter
** DIN EN ISO 11885 (E22); DIN 38405-D1-2; DIN 38405-D5-2; DIN 38406-E5: DIN EN 1484 (H3)
n.n. Messergebnis ist unterhalb Bestimmungsgrenze
Dim Dimension
bezogen auf Trockensubstanz

BUNDESANSTALT FÜR
GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
Fachbereich 4.2 Geodaten,
Geologische Informationen, Stratigraphie
Postfach 510153, 30631 Hannover
Tel.: 0511/643-

LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE
Referat L 3.9 Stratigraphie, Sammlungen

Hannover, den 02.04.2014

Mikropaläontologischer Untersuchungsbericht

Auftraggeberin: **Auftragsdatum:** 18.03.2014

Blatt: TK25 3830, Schöppenstedt **PaStraLa-Nr.:** 6828 _ 8353

Staat: Bundesrepublik Deutschland

Projekt: Kartierung Asse, Extern

Autorin:

Labor-Proben-Nr.: P78138 - P78142 **Anzahl:** 5

Fünf Proben der **Bohrung R15 (R 4409529, H 5777865)** wurden nach dem in BGR/LBEG üblichen Verfahren palynologisch aufbereitet und mit dem Ziel einer biostratigraphischen Einstufung untersucht. Wobei die Anhydritprobe P78138 (Teufe 442,75 – 442,8 m) mit HCl, HF, Schweretrennung, Ultraschallsiebung 10 µm; Streupräparate in Glyzeringelatine aufbereitet wurde, die vier Salzproben (P78139 – P78142) in Wasser gelöst wurden, dann erfolgte eine Schweretrennung, Ultraschallsiebung 10 µm, Herstellung von Streupräparaten mit Glyzeringelatine.

Die Probe **P78138 (Teufe 442,75 – 442,8 m, RL154L-31)** enthielt keine organischen Bestandteile; **eine Einstufung ist daher nicht möglich.**

In der Probe **P78139 (446,8 – 446,85 m, RL154L-32)** wurden insgesamt zehn bisaccate Pollen identifiziert. Zu den stratigraphisch interessanten gehören *Vittatina* sp. und cf. *Lueckisporites* sp., beide Leitformen des Zechsteins. Aufgrund des geringen Fossilinhalts wurde die Probe als **vermutlich Zechstein** eingestuft.

Die Probe **P78140 (447,1 – 447,15 m, RL154L-33)** enthält ebenfalls nur wenige Palynomorphe. Dazu gehören bisaccate Pollen, cf. *Lueckisporites virkkiae* und cf. *Klausipollenites* sp. und *Limitisporites* sp.. Aufgrund der geringen Fossilführung wurde die Probe als **vermutlich Zechstein** eingestuft.

In **P78141 (448,3 – 448,35 m, RL154L-34)** gehören zu den wenigen stratigraphisch interessanten Taxa *Lueckisporites virkkiae*, *Limitisporites* sp., *Klausipollenites schaubergeri* und *Perisaccus granulatus*. Die Zusammensetzung des Palynospektrums erlaubt eine Einstufung in den **Zechstein**.

P78142 (449 – 449,2 m, RL154L-35). führt im Vergleich zu den vorherigen Proben eine relativ große Anzahl an Palynomorphen. Auffällig ist unterschiedlicher Erhaltungszustand und Exinenfärbung der Pollen; es sind auch

diverse vermutliche Rezentpollen vertreten, die als Verunreinigung zu deuten sind (z.B. Lagerung der Proben). Zu den charakteristischen Formen gehören *Lueckisporites virkkiae, Limitisporites* spp. sowie ein Zentralkörper von cf. *Rhizomaspora radiata*, die eine Zuordnung in den **Zechstein** erlauben.

In den Proben P78139, 78141 und 78142 treten Pilzsporen und Pilzhyphen auf (s. Tafel, Fig. 11 – 13). Ob es sich dabei um rezente Verunreinigungen handelt, kann nicht festgestellt werden.

Tafelerläuterung

1 *Vittatina* sp.; P78139

2 cf. *Lueckisporites* sp. ; P78139

3 *Limitisporites* sp. ; P78140

4 *Lueckisporites virkkiae*; P78141

5 *Klausipollenites schaubergeri*; P78141

6 *Perisaccus granulatus*; P78141

7 bisaccater Pollen; P78142

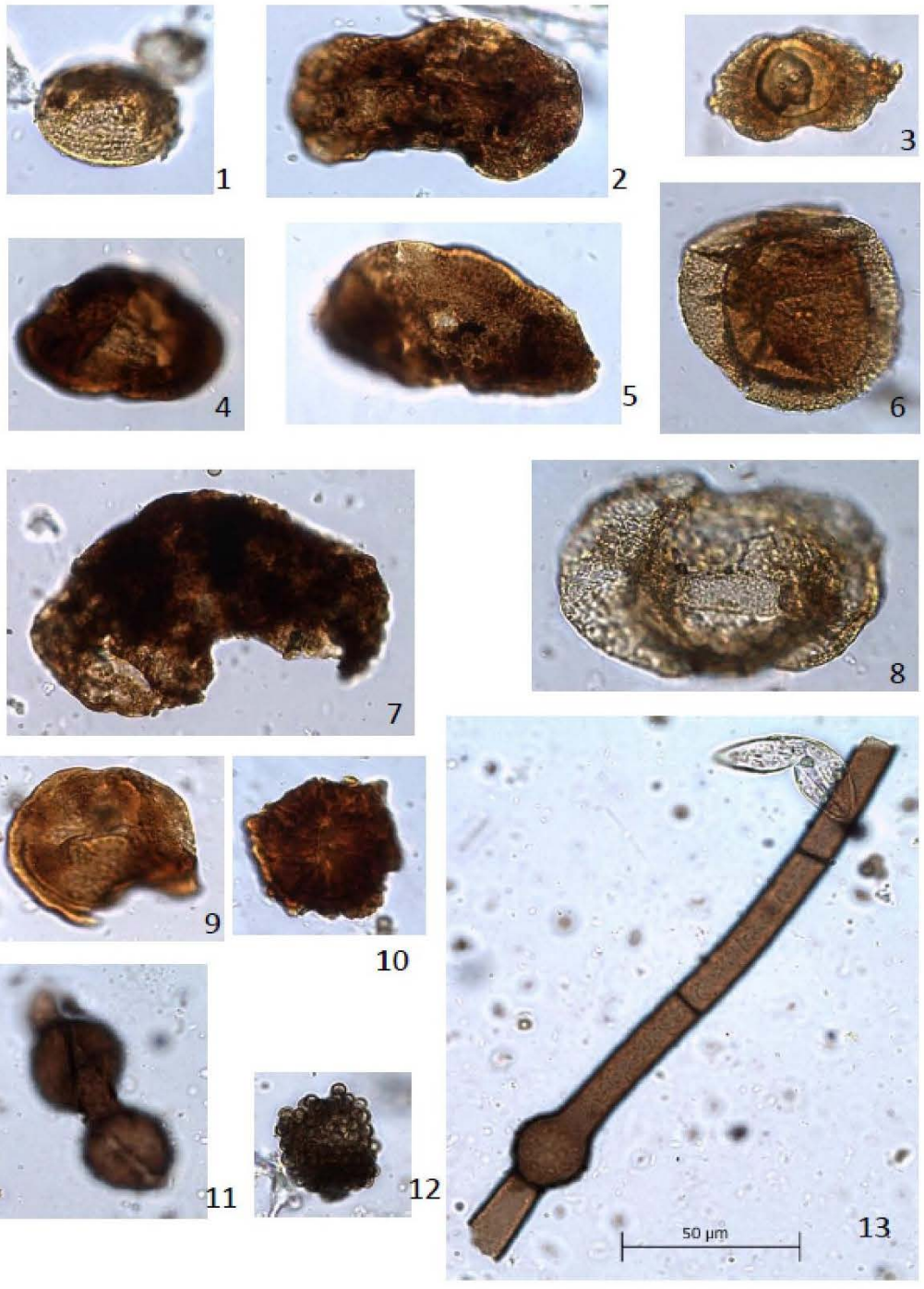
8 *Lunatisporites* sp.; P78142

9 *Lueckisporites virkkiae*; P78142

10 Zentralkörper von cf. *Rhizomaspora radiata*; P78142

11 – 13 Pilzsporen und -hyphen; P78142

13 im Bild oben jüngeres Pollenkorn (indet).


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
50 µm
13

BUNDESANSTALT FÜR
GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
Fachbereich 4.2 Geodaten,
Geologische Informationen, Stratigraphie
Postfach 510153, 30631 Hannover
Tel.: 0511/643-2529

LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE
Referat L 3.9 Stratigraphie, Sammlungen

Hannover, den 11.03.2014

Mikropaläontologischer Untersuchungsbericht

Auftraggeberin: **Auftragsdatum:** 27.01.2014

Blatt: TK25 3830, Schöppenstedt **PaStraLa-Nr.:** 6828 _ 8353

Staat: Bundesrepublik Deutschland

Projekt: Kartierung Asse, Extern

Autorin:

Labor-Proben-Nr.: P78136 - P78137 **Anzahl:** 2

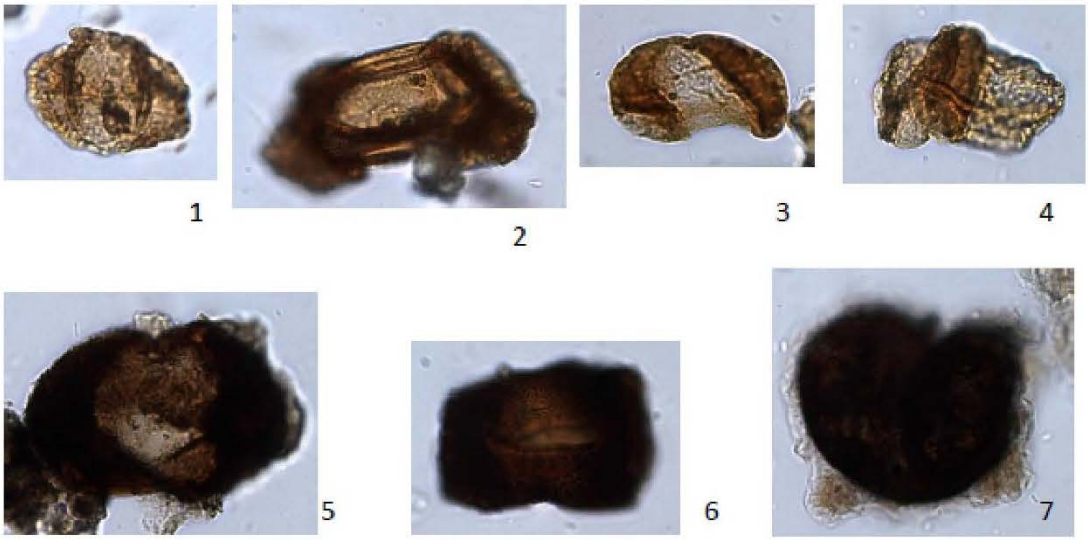
Zwei Proben der **Bohrung R15 (R 4409529, H 5777865)** wurden nach dem in BGR/LBEG üblichen Verfahren (HCl, HF, Schweretrennung, Ultraschallsiebung 10 µm; Streupräparate in Glyzeringelatine) palynologisch aufbereitet und mit dem Ziel einer biostratigraphischen Einstufung untersucht.

Die Probe P78136 (**Teufe 443,4 – 443,5 m**; Sulfat) enthält keine identifizierbaren Palynomorphe und ist demnach nicht datierbar.

Die Probe P78137 (**Teufe 443,9 – 444,0 m**; Salz) führt vereinzelt Palynomorphe, vorwiegend bisaccate Pollen. Auffallend sind die Inkohlungsunterschiede der Exinen (s. Tafel). Aufgrund der sehr mäßigen Erhaltung bzw. Verfaltung der Exinen ist eine Bestimmung schwierig. Bei einem Exemplar handelt es sich relativ sicher um *Triadispora* sp.; *Triadispora* setzt im Mittleren Buntsandstein, Solling-Formation ein. Die bisaccaten Pollen (Fig. 2 – 4) dürften aufgrund der gleichen Inkohlung gleichalt wie *Triadispora* sein und könnten demnach Röt-zeitlich sein.

Daneben sind mehrere relativ große, deutlich stärker inkohlte bisaccate Pollen vorhanden (Fig. 5 – 7). Bei Nr. 6 handelt es um *Lueckisporites virkkiae*, was eine Zuordnung der drei Exemplare in den Zechstein erlaubt.

Die palynostratigraphische Einstufung der Probe wäre demnach Trias, ?Röt und Zechstein.



Remlingen 15; Teufe 443,9 – 444,0 m (Salzkern)

1: cf. *Triadispora* sp.
2 – 4: bisaccate Pollen

} Trias; ? Röt

5: bisaccater Pollen
6: *Lueckisporites virkkiae*
7: bisaccater Pollen

} Zechstein

Allgemeine Übersicht

Messfirma	Untersuchung (en)	Erkenntnisgewinn
IfG	TC (Triaxiale Druckfestigkeit), TCMS (Triaxiale Druckfestigkeit Mehrstufenversuch), TCC ((Triaxiale Druckfestigkeit), UC Einaxiale Druckfestigkeit), SV (Scherversuche), SZ (Spaltzug), Tr (Wassergehalt)	Geomechanische Aussagen, Gebirgsmechanische Modellierung
IBeWa	Mikropaläontologische Untersuchungen, Mikrofossilanalyse, Mikroskopische Untersuchungen; Röntgenfluoreszensanalytik, Röntgendiffraktometrie; Strömungstechnische Laborversuche (kGas, kLösung, neff, Hg-Porosimetrie), Wasserempfindlichkeit	Stratigrafische Einstufung, geomechanische Aussagen, Hydrogeologische Aussagen
KIT Karlsruher Institut für Technologie	Sorptionsversuche (Argon, Stickstoff)	Migrationsverhalten von Gasen
K-UTEC SALT TECHNOLOGIES	Probenahmekonzepte, Volumentests an Anhydrit, Bromidanalytik, chemische Salzvollanalytik	Quellverhalten der Anhydrite, Stratigrafische Einstufung
BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe GEOZENTRUM HANNOVER	Pollenanalysen (Palynologie)	Stratigrafische Einstufung

Probenahmen für das KIT Karlsruhe:

Lfd. Nr.	KK	KM [m u. GOK]		Kern-gewinn	Art der Probe	Absolute Teufe [m u. GOK]		Unter-suchung	Probe-nehmer	Datum	Empfänger	Stratigrafie
		von	bis	[m]		von	bis					
001_KIT	007	12,8	15,35	2,55	Kernprobe	14,6	15,0	Sorption	K-UTEC	13.06.13	KIT INE	muW, KM012, Kerngewinn am 09.06.13
002_KIT	018	38,6	39,75	1,15	Kernprobe	38,6	39,0	Sorption	K-UTEC	13.06.13	KIT INE	muS mit WK, KM 0032, Kerngewinn am 11.06.13
003_KIT	022	45,0	46,0	0,8	Kernprobe	45,6	45,9	Sorption	K-UTEC	13:06.13	KIT INE	muS mit WK, KM 037, Kerngewinn am 12.06.13
004_KIT	026	50,0	51,0	1,0	Kernprobe	50,0	50,1	Sorption	K-UTEC	14.06.13	KIT INE	muS mit WK
005_KIT	066	132,0	133,0	1,0	Kernprobe	132,75	132,95	Sorption	K-UTEC	23.06.13	KIT INE	so
006_KIT	087	173,8	174,0	1,0	Kernprobe	173,80	174,00	Sorption	K-UTEC	14.11.13	KIT INE	so
007_KIT	113	223,0	226,00	3,00	Kernprobe	225,49	225,85	Sorption	K-UTEC	19.11.13	KIT INE	so
008_KIT	132	265,0	266,3	1,30	Kernprobe	266,00	266,10	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
009_KIT	132	265,0	266,3	1,30	Kernprobe	266,10	266,20	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
010_KIT	132	265,0	266,3	1,30	Kernprobe	266,20	266,30	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
011_KIT	132	266,3	266,6	0,30	Kernprobe	266,30	266,60	Sorption Argon	KIT	08.01.14	KIT	so
012_KIT	133	266,6	268,0	1,40	Kernprobe	267,38	267,70	Sorption Argon	KIT	08.01.14	KIT	so

013_KIT	133	266,6	268,0	1,40	Kernprobe	267,70	267,80	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
014_KIT	133	266,6	268,0	1,40	Kernprobe	267,80	267,90	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
015_KIT	133	266,6	268,0	1,40	Kernprobe	267,90	268,00	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
016_KIT	135	271,0	271,8	0,80	Kernprobe	271,00	271,28	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
017_KIT	135	271,0	271,8	0,80	Kernprobe	271,28	271,33	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
018_KIT	135	271,0	271,8	0,80	Kernprobe	271,33	271,38	Sorption Stickstoff	KIT	08.01.14	KIT	so
019_KIT	137	275,6	276,90	1,30	Kernprobe	275,60	275,70	Sorption Stickstoff	KIT	09.01.14	KIT	so
020_KIT	137	275,6	276,90	1,30	Kernprobe	275,70	275,80	Sorption Stickstoff	KIT	09.01.14	KIT	so
021_KIT	137	275,6	276,90	1,30	Kernprobe	275,80	276,00	Sorption Argon	KIT	09.01.14	KIT	so
022_KIT	184	367,0	370,0	3,00	Kernprobe	369,4	369,62	Sorption Stickstoff	KIT	14.01.14	KIT	so
023_KIT	197	394,0	397,0	3,00	Kernprobe	396,73	397,00	Sorption Stickstoff	KIT	15.01.14	KIT	so
024_KIT	206	412,0	415,0	3,00	Kernprobe	414,6	415,0	Sorption Argon	KIT	15.01.14	KIT	so
025_KIT	220	427,0	430,0	3,00	Kernprobe	429,38	429,6	Sorption Argon	K-UTEC	05.03.14	KIT	so
026_KIT	225	439,0	440,0	3,00	Kernprobe	439,0	439,3	Sorption Argon	K-UTEC	05.03.14	KIT	so

Probenahme für das IfG Leipzig:

Lfd. Nr.	KK	KM [m u. GOK]		Kern-gewinn	Entfernung der Probe vom Kopf		Absolute Teufe [m u. GOK]		Untersuchung	Probe-nehmer	Datum	Empfänger
		von	bis	[m]	[m]	[m]	von	bis				
IfG_001	007	14,00	15,35	200	0,00	0,60	14,00	14,60	TCMS, SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_002	008	15,35	17,00	165	0,00	0,25	15,35	15,70	SV, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_003	009	17,00	19,00	200	0,60	1,00	17,60	18,00	SV, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_004	009	17,00	19,00	200	0,40	0,60	18,40	18,60	-	IfG	03.07.13	IfG
IfG_005	010	19,00	21,00	200	0,10	0,50	20,10	20,50	Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_006	014	27,00	31,00	200	0,00	0,25	30,00	30,25	SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_007	017	35,00	37,00	200	0,35	0,60	36,35	36,60	Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_008	018	37,00	39,00	200	0,00	0,60	38,00	38,60	-	IfG	03.07.13	IfG
IfG_009	026	51,00	53,00	200	0,00	0,70	51,00	51,70	TCMS, UC, SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_010	029	57,00	59,00	200	0,00	0,30	58,00	58,30	SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_011	030	59,00	61,00	200	0,25	0,80	59,25	59,80	TCMS, UC, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_012	030	59,00	61,00	200	0,00	0,30	60,00	60,30	UC, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_013	031	61,00	63,00	200	0,45	0,90	61,45	61,90	TCMS, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_014	033	65,00	67,00	200	0,35	0,78	65,35	65,78	UC, SV, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_015	037	73,00	75,00	200	0,00	0,30	73,00	73,30	UC, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_016	037	73,00	75,00	200	0,55	0,80	73,55	73,80	Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_017	038	75,00	77,00	200	0,45	0,90	76,45	76,90	UC, SV, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_018	041	81,00	83,00	200	0,50	1,00	81,50	82,00	TCMS, UC, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_019	044	87,00	89,00	200	0,45	0,85	87,45	87,85	SV, SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_020	044	87,00	89,00	200	0,05	0,85	88,05	88,85	TCMS, UC, SV, SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_021	051	101,0	103,0	200	0,35	0,75	102,35	102,75	UC, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_022	053	105,0	107,0	200	0,00	0,45	106,0	106,45	SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG

IfG_023	055	109,0	111,0	200	0,00	0,40	109,0	109,40	TCMS, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_024	057	113,0	115,0	200	0,50	0,95	113,5	113,95	SV, SZ, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG_025	063	125,0	127,0	200	0,60	1,00	126,6	127,0	UC, Tr	IfG	03.07.13	IfG
IfG 101	75	148	151	300	0,00	1,00	149	150	TCMS, UC, SZ, Tr	IfG	13.12.13	IfG
IfG 102	77	151	154	300	0,03	0,50	152,03	152,5	UC, SV, Tr	IfG	13.12.13	IfG
IfG 103	77	151	154	300	0,60	1,00	152,6	153	-	IfG	13.12.13	IfG
IfG 104	96	190	193	300	0,00	0,55	190	190,55	-	IfG	13.12.13	IfG
IfG 105	96	190	193	300	0,55	1,00	190,55	191,0	-	IfG	13.12.13	IfG
IfG 106	96	190	193	300	0,00	0,78	191	191,78	TCMS, UC, SZ, Tr	IfG	13.12.13	IfG
IfG 107	96	190	193	300	0,78	1,00	191,78	192	TCMS, Tr	IfG	13.12.13	IfG
IfG 108	101	200	203	300	0,70	1,00	200,7	202	-	IfG	13.12.13	IfG
IfG 109	112	223	226	300	0,20	0,50	223,2	223,5	SV, Tr	IfG	13.12.13	IfG
IfG 110	113	223	226	300	0,00	0,60	224	224,6	-	IfG	13.12.13	IfG
IfG 111	101	200	203	300	0,53	0,75	201,53	201,75	UC, Tr	IfG	13.12.13	IfG
IfG 112	103	203	206	300	0,00	0,50	204,0	204,5	UC, SZ	IfG	13.12.13	IfG
IfG 301	133	268	271	300	0,20	0,78	268,2	268,78	TCMS, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 302	144	288,8	291,8	300	0,40	0,81	290,4	290,81	TCMS, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 303a	145	291,8	294,8	300	0,10	0,40	292,1	292,40	TCMS, SZ, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 303b	145	291,8	294,8	300	0,40	0,68	292,4	292,68	TCMS, SZ, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 304a	160	322	325	300	0,56	0,66	322,56	322,66	SV, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 304b	160	322	325	300	0,66	1,00	322,66	323,0	SV, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 305	171	342,5	345,5	300	0,38	0,55	343,38	343,55	SV, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 306	171	342,5	345,5	300	0,00	0,30	344,0	344,30	SV, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 307	196	394	397	300	0,00	0,50	394,0	394,5	TCMS, SV, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 308a	200	400	403	300	0,10	0,50	402,1	402,50	TCMS, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 308b	200	400	403	300	0,50	1,00	402,5	403,0	TCMS, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG 309	207	415	417	300	0,00	1,00	415,0	416,0	TCMS, SV, Tr	IfG	05.02.14	IfG

IfG 310	202	403	406	300	0,00	1,00	405,0	406,0	TCMS, SV, Tr	IfG	05.02.14	IfG
IfG_401	213	412	415	300	0,00	1,00	414	415	-	IfG	10.04.14	IfG
IfG_402	214	415	418	300	0,00	1,00	416	417	-	IfG	10.04.14	IfG
IfG_403	216	418	421	300	0,00	1,00	420	421	TCMS, UC, SV, Tr	IfG	10.04.14	IfG
IfG_404	222	433	436	300	0,00	1,00	433	434	SV, SZ, Tr	IfG	10.04.14	IfG
IfG_405	225	439	440	100	0,30	0,90	439,3	439,9	SV, Tr	IfG	10.04.14	IfG
IfG_406	226	440	442	200	0,00	1,00	441	442	SV, SZ, Tr	IfG	10.04.14	IfG
IfG_501	329-332	646	652	600	0,00	7,00	647,00	654,00	TC, UC, Tr	IfG	27.05.14	IfG
IfG_502	447	883	889	600	0,00	1,00	883,00	884,00	TC, UC, Tr	IfG	27.05.14	IfG
IfG_503	449	883	889	600	0,00	1,00	886,00	887,00	Tr	IfG	27.05.14	IfG
IfG_504	323	634	640	600	0,35	1,00	635,35	636,00	SV, Tr	IfG	27.05.14	IfG
IfG_505	320	625	629	400	0,0	1,00	628,00	629,00	SV, Tr	IfG	27.05.14	IfG
IfG_506	289	565	571	600	0,0	0,50	567,00	567,50	SV, Tr	IfG	27.05.14	IfG

Erläuterungen:

TC	Triaxiale Druckfestigkeit
TCMS	Triaxiale Druckfestigkeit Mehrstufenversuch
SV	Scherversuch
SZ	Spaltzug
UC	Einaxialversuch (Uniaxial)
Tr	Trocknung

Rot hinterlegte Felder	Proben ungeeignet für die Versuche (zerfallen, zu kurz, gerissen)
Grün hinterlegte Felder	Proben als Reserve

Probenahmen mit und für IBeWa Freiberg:

Lfd. Nr.	KK	KM	Kernmarschteufe [m u. GOK]		Kern-gewinn	Absolute Teufe [m u. GOK]		Untersuchung	Stratigrafische Einordnung (nach IBeWa)
			von	bis	[m]	von	bis		
P237-1/1	064		127	129	2	127,30	127,45	Dünn-/Dickschliffe, mikropaläo. Unters.	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/2	063		125	127	2	126,50	126,70	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/3	062		123	125	2	123,55	123,70	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/4	062		123	125	2	123,00	123,10	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/5	060		119	121	2	120,30	120,55	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/6	059		117	119	2	118,70	118,88	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/7	058		117	119	2	116,35	116,55	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/8	057		113	115	2	113,30	113,50	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/9	055		109	111	2	110,20	110,37	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/10	055		109	111	2	109,67	109,99	"	muW3, tieferer Teil?, Jena Fm.
P237-1/11	051		101	103	2	102,65	102,90	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/12	050		99	101	2	100,84	100,99	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/13	049		97	99	2	98,50	98,70	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/14	047		93	95	2	94,86	94,99	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/15	045		89	91	2	90,35	90,53	"	muW3(tieferer Teil?), Jena Fm.
P237-1/16	042		83	85	2	83,15	83,47	"	muW3, Jena Fm.
P237-1/17	041		81	83	2	82,65	83,00	"	muW3, Jena Fm.
P237-1/18	039		77	79	2	77,75	78,00	"	muW3 (höchster Teil), Jena Fm
P237-1/19	038		75	77	2	76,00	76,40	"	muW3 (höchster Teil), Jena Fm.
P237-1/20	038		75	77	2	75,70	76,00	"	muW3, nahe Schaumkalkzone/muS
P237-1/21	037		73	75	2	74,70	74,95	"	muW3, höchster Teil, Jena Fm.
P237-1/22	036		71	73	2	72,67	72,80	"	muW3

P237-1/23	035		69	71	2	70,90	71,00	"	muS, Schaumkalkzone (unterer Schaumkalkbank) muW3, höchster Teil, Grenze zur muS
P237-1/24	034		67	69	2	68,52	68,67	"	muS, Schaumkalkzone (unterer Schaumkalkbank)
P237-1/25	033		65	67	2	66,00	66,26	"	muS, Schaumkalkzone (oberhalb unterer Schaumkalkbank)
P237-1/26	032		63	65	2	64,45	64,57	"	muS, Schaumkalkzone (oberhalb unterer Schaumkalkbank)
P237-1/27	032		63	65	2	63,33	63,46	"	muS, Schaumkalkzone (oberhalb unterer Schaumkalkbank)
P237-1/28	030		59	61	2	60,33	60,53	"	muS, Schaumkalkzone (oberhalb Untere Schaumkalkbank)
P237-1/29	030		59	61	2	59,80	60,00	"	muS, Schaumkalkzone (oberhalb Untere Schaumkalkbank)
P237-1/30	028		55	57	2	55,17	55,29	"	muS, Schaumkalk-Zone, obere untere Schaumkalkbank
P237-1/31	026		51	53	1,2	52,70	52,95	"	muOR, Mittlerer Muschelkalk, Grenzbereich Unterer/Mittlerer Muschelkalk, Resp. Jena Fm./Karlstadt Fm.
P237-1/32	025		49,8	51	1,2	49,70	49,90	"	muOR, Mittlerer Muschelkalk
P237-1/33	023		47	49	1,9	47,23	47,38	"	muW3, nahe muS, Jena Fm. nahe Karlstadt Fm.
P237-1/34	022		45	47	1,8	46,65	46,95	"	muS, Grenzbereich Jena Fm./Karlstadt Fm.
P237-1/35	022		45	47	1,8	45,75	45,90	"	muS, Jena Fm.
P237-1/36	021		43	45	2	43,33	43,50	"	muW3, Jena Fm.
P237-1/37	019		39	41	2	40,00	40,28	"	muW3, Jena Fm.
P237-1/38	018		37	39	2	38,60	38,85	"	muW3, Jena Fm.
P237-1/39	017		35	37	2	34,30	34,50	"	muW3, Jena Fm.

P237-1/40	015		31	33	2	32,20	32,40	"	muW3, Jena Fm.
P237-1/41	014		27	31	4	30,85	31,00	"	muW3, Jena Fm.
P237-1/42	013		25	27	2	25,00	25,20	"	muW3, höherer Teil, Jena Fm.
P237-1/43	012		23	25	2	23,50	23,65	"	muW3, höherer Teil, Jena Fm.
P237-1/44	011		21	23	2	21,65	21,80	"	muW3, höherer Teil, Jena Fm.
P237-1/45	010		19	21	2	19,35	19,50	"	muW3, höherer Teil, Jena Fm.
P237-1/46	009		17	19	2	17,30	17,40	"	muW3(höherer Teil), Jena Fm.
P237-1/47	008		15,35	17	1,65	15,80	16,00	"	muW3, höherer Teil, Jena Fm.
P237-1/48	006		12	14	2	13,00	13,20	"	muW3(höherer Teil), Jena Fm.
P237-1/49	004		8	10	2	8,90	9,00	"	muW3(höherer Teil), Jena Fm.
P237-2/1	68	140	135,7	138	230	136,20	136,44	Dünnschliffe, Mikroskop. Analysen	Röt (Röt 4), Dornburg-SubFm.
P237-2/2	77	146	151	154	300	152,00	152,03	´´	Röt (Röt 4), Dornburg-SubFm.
P237-2/3	77	146	151	154	300	152,50	152,65	´´	so
P237-2/4	77	146	151	154	300	153,00	153,60	´´	Röt (Röt 4), Dornburg-SubFm., Basisnah
P237-2/5	83	150	163	166	300	165,24	165,52	´´	Röt (Röt 4), Gleina-SubFm.
P237-2/6	90	156	178	181	300	178,85	179,00	´´	Röt (Röt 4), Gleina-SubFm.
P237-2/7	95	159	187	190	300	188,53	188,72	´´	Röt (Röt 4), Gleina-SubFm.
P237-2/8	101	165	200	203	300	200,37	200,70	´´	Röt (Röt 4), Gleina-SubFm.
P237-2/9	102	165	200	203	300	202,30	202,42	´´	Röt (Röt 4), Gleina-SubFm., Basisnah
P237-2/10	102	166	203	205	200	203,69	203,76	´´	Röt (Röt 4), Basis Gleina-SubFm.
P237-2/11	107	169	211	214	300	213,17	213,40	´´	Röt (Röt 3), Karsdorf-SubFm.
P237-2/12	108	170	214	217	300	214,40	214,71	´´	Röt (Röt 3), Karsdorf-SubFm.
P237-2/13	112	173	223	226	300	223,00	223,20	´´	Röt (Röt 3), Karsdorf-SubFm.
P237-2/14	118	177	234	237	300	234,74	235,00	´´	Röt (Röt 3), Karsdorf-SubFm.
P237-2/15	121	179	240	241	100	240,40	240,74	´´	Röt (Röt 3), Karsdorf-SubFm.
P237-2/16	123	181	243	246	300	244,36	244,64	´´	Röt (Röt 3), Karsdorf-SubFm.
P237-2/17	125	183	248,1	250	190	249,69	249,75	´´	so

P237-2/18	129	188	257,2	259	180	257,65	257,71	´´	Röt (Röt 3), Karsdorf-SubFm., Doppel-Quarzit-Horizont
P237-2/21	79	148	157	160	300	157,85	158,00	RDA, RFA, QV	Röt (Röt 4)
P237-2/22	79	148	157	160	300	157,70	157,85	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/23	79	148	157	160	300	157,55	157,70	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/24	79	148	157	160	300	157,40	157,55	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/25	80	148	157	160	300	158,00	158,20	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/26	80	148	157	160	300	158,50	158,70	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/27	80	148	157	160	300	159,60	159,80	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/28	86	152/153	169/ 171,7	171,7/ 174	270/230	171,60	171,81	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/29	87	153	171,7	174	230	172,25	172,55	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/30	88	154	174	177	300	175,10	175,30	´´	Röt (Röt 4)
P237-2/31	118	177	234	237	300	235,30	235,55	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/32	119	177	234	237	300	236,10	236,30	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/33	119	177	234	237	300	236,30	236,50	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/34	119	177	234	237	300	236,50	236,80	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/35	120	178	237	240	300	238,35	238,55	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/36	120	178	237	240	300	238,55	238,75	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/37	121	179	240	241	100	240,75	241,00	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/38	124	182	246	248,1	210	246,65	246,85	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/39	126	184	250	252,5	250	250,80	251,00	´´	Röt (Röt 3)
P237-2/40	129	188	257,2	259	180	257,20	257,4	´´	Röt (Röt 3)
P237-3/1	132	194				266,40	266,60	QV, RFA, RDA	Röt (Röt 3)
P237-3/2	136	200				274,40	274,58	´´	Röt (Röt 3)
P237-3/3	139	205				279,65	279,80	´´	Röt (Röt 3)
P237-3/4	139	205				280,74	280,88	´´	Röt (Röt 3)
P237-3/5	144	210				290,28	290,45	´´	Röt (Röt 3)

P237-3/6	148	213				298,40	298,60	´´	Röt (Röt 2 ?)
P237-3/7	149	213				299,56	299,73	´´	Röt (Röt 2 ?)
P237-3/8	149	213				300,25	300,45	´´	Röt (Röt 2 ?)
P237-3/9	166	229				333,64	333,82	´´	Röt (Röt 2)
P237-3/10	177	239				356,00	356,36	´´	Röt (Röt 1)
P237-3/11	180	241				362,55	362,77	´´	Röt (Röt 1)
P237-3/12	184	243				370,20	370,40	´´	Röt (Röt 1)
P237-3/13	186	245				373,40	373,67	´´	Röt (Röt 1)
P237-3/14	186	245				374,00	374,27	´´	Röt (Röt 1)
P237-3/15	187	246				376,00	376,30	´´	Röt (Röt 1)
P237-3/16	196	251				393,70	393,85	´´	Röt (Röt 1)
P237-3/17	199	254				400,35	400,50	´´	Röt 1 (?)/Hut (?)
P237-3/18	200	254				402,00	402,10	´´	Röt 1 (?)/Hut (?)
P237-3/19	203	256				407,20	407,55	´´	Röt 1 (?)/Hut (?)
P237-3/20	151	215				303,30	303,50	´´	Röt (Röt 2 ?)
P237-3/30	131	190				260,80	260,95	Dünnschliffe	Röt (Röt 3), Doppel-Quarzit-Horizont
P237-3/31	138	204				278,11	278,25	´´	Röt (Röt 3)
P237-3/32	141	207				283,16	283,25	´´	Röt (Röt 3)
P237-3/33	142	207				285,24	285,35	´´	Röt (Röt 3)
P237-3/34	145	210				291,00	291,20	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2) ?
P237-3/35	145	210				291,64	291,73	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/36	149	213				299,73	299,90	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/37	151	215				304,48	304,60	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/38	152	216				305,40	305,75	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/39	157	220				315,20	315,30	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/40	157	220				316,62	316,82	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/41	158	222				318,00	318,08	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?

P237-3/42	159	223				320,66	320,82	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/43	160	225				322,39	322,45	´´	Röt (Grenze Röt 3 zu Röt 2)?
P237-3/44	171	233				343,55	343,63	´´	Röt (Röt 2)
P237-3/45	172	234				345,60	345,66	´´	Röt (Röt 2)
P237-3/46	172	234				345,88	346,00	´´	Röt (Röt 2)
P237-3/47	172	234				346,06	346,24	´´	Röt (Röt 2)
P237-3/48	172	234				346,48	346,60	´´	Röt (Röt 2)
P237-3/49	173	235				348,25	348,56	´´	Röt (Röt 2)
P237-3/50	181	241				363,52	363,88	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/1	209	261			280	406,60	407,00	QV, RFA, RDA	Röt (Röt 1)
P237-4/2	209	261			280	407,00	407,30	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/3	215	265			300	418,50	419,00	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/4	216	266			300	421,50	422,00	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/5	217	266			300	422,00	422,50	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/6	217	266			300	423,00	423,30	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/7	220	268			300	428,45	429,00	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/8	220	268			300	429,00	429,40	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/9	221	269			300	430,70	431,00	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/10	221	269			300	431,00	431,40	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/11	224	271			300	436,00	437,00	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/12	224	271			300	437,00	438,00	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/13	225	271			300	438,00	439,00	´´	Röt (Röt 1)
P237-4/30	150	214			250	302,20	302,30	Dünnschliffe, Mikropaläontologie	Röt (mittl.-höherer Peliröt), ob.so2-so3)
P237-4/31	150	214			250	302,70	302,85	´´	Röt (mittl.-höherer Peliröt), ob.so2-so3)
P237-4/32	160	225			300	322,30	322,40	´´	Röt (mittl.-höherer Peliröt), ob.so2-so3)

P237-4/33	144	210			300	289,20	289,30	´´	Röt (mittl.-höherer Pelitröt), ob.so2-so3)
P237-4/34	144	210			300	290,65	290,80	´´	Röt (mittl.-höherer Pelitröt), ob.so2-so3)
P237-4/35	172	234			150	346,65	346,75	´´	Röt (mittl.-höherer Pelitröt), ob.so2-so3)
P237-4/36	173	235			200	347,75	348,00	´´	Röt (mittl.-höherer Pelitröt), ob.so2-so3)
P237-4/37	082	150			300	163,00	163,50	´´	Röt 4 ?
P237-4/38	091	157			300	181,00	182,00	´´	Röt 4 ?
P237-4/39	100	164			100	199,65	200,00	´´	Röt 4 ?
P237-4/40	110	171			300	218,20	218,40	´´	Röt 3 ?
P237-4/41	129	188			180	256,80	257,00	´´	Röt 3 ?
P237-4/42	110	171			300	219,60	219,70	´´	Röt 3 ?
P237-4/43	129	188			180	257,70	257,90	´´	Röt 3 ?
P237-5/1	231	280	450	454	400	450,00	450,35	Tonsteinprobe/dolomit. Karbonat	Zechstein

Probenahmen durch KUTEC AG:

Lfd. Nr.	KK	KM	Kernmarschteufe [m u. GOK]		Kern-gewinn	Absolute Teufe [m u. GOK]		Untersuchung	Probe-nehmer	Datum	Empfänger
			von	bis	[m]	von	bis				
PA-R154L-3	222	261	430,0	433,0	300	433,95	434,00	Pollenanalyse	K-UTEC	06.03.2014	
PA-R154L-4	219	267	424,0	427,0	300	426,23	426,35	“	K-UTEC	06.03.2014	
PA-R154L-5	218	267	424,0	427,0	300	424,00	424,13	“	K-UTEC	06.03.2014	
PA-R154L-6	215	265	418,0	421,0	300	419,18	419,26	“	K-UTEC	06.03.2014	
PA-R154L-7	214	264	415,0	418,0	300	416,20	416,25	“	K-UTEC	06.03.2014	
PA-R154L-8	210	261	406,2	409,0	280	408,20	408,30	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-9	172	233	342,5	345,5	300	345,00	345,15	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-10	172	233	342,5	345,5	300	345,35	345,40	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-11	172	234	345,5	347,0	250	345,78	345,83	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-12	171	233	342,5	345,5	300	344,85	344,90	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-13	161	225	322,0	325,0	300	324,64	324,72	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-14	160	225	322,0	325,0	300	322,00	322,20	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-15	159	223	319,3	320,8	150	320,20	320,30	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-16	159	224	320,8	322,0	120	320,80	320,90	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-17	159	222	317,9	319,3	140	319,20	319,30	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-18	159	223	319,3	320,8	150	319,70	319,80	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-19	158	222	317,9	319,3	140	318,30	318,40	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-20	158	222	317,9	319,3	140	318,70	318,80	Pollenanalyse	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-21	158	221	316,3	317,9	160	317,20	317,30	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-22	158	221	316,3	317,9	160	317,80	317,90	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-23	156	220	314,0	316,3	230	314,10	314,20	“	K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-24	156	220	314,0	316,3	230	314,65	314,80	“	K-UTEC	09.03.2014	

PA-R154L-25	153	217	307,9	310,5	260	308,15	308,40		K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-26	152	216	305,2	307,9	270	306,00	306,20		K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-27	150	214	300,5	303,0	250	301,00	301,20		K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-28	150	214	300,5	303,0	250	301,70	301,90		K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-29	144	210	288,8	291,8	300	289,50	289,75		K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-30	129	187	255,6	257,2	180	257,00	257,15		K-UTEC	09.03.2014	
PA-R154L-31	227	274	442,0	450,0	300	442,75	442,80		K-UTEC	12.03.2014	
PA-R154L-32	229	277	446,8	448,3	150	446,80	446,85		K-UTEC	12.03.2014	
PA-R154L-33	229	278	447,1	447,15	150	447,10	447,15		K-UTEC	12.03.2014	
PA-R154L-34	230	279	448,3	450,0	170	448,30	448,35		K-UTEC	12.03.2014	
PA-R154L-35	230	279	448,3	450,0	170	449,00	449,20		K-UTEC	12.03.2014	
PA-R154L-36	68	140	135,7	138,0	230	136,15	136,20		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-37	69	140	135,7	138,0	230	137,55	137,60		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-38	69	141	138,0	141,0	300	138,55	138,60		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-39	72	143	143,0	145,0	200	143,35	143,40		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-40	72	143	143,0	145,0	200	144,15	144,20		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-41	75	145	148,0	151,0	300	149,75	149,80		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-42	76	145	148,0	151,0	300	150,40	150,45		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-43	77	146	151,0	154,0	300	153,85	153,90		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-44	123	181	243,0	246,0	300	245,15	245,20		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-45	129	188	257,2	259,0	180	256,58	256,63		K-UTEC	26.03.2014	
PA-R154L-46	127	185	252,5	254,2	170	253,45	253,50		K-UTEC	26.03.2014	
Brom-R154L-1Ku	230	279	448,3	450,0	170	449,00	449,20		K-UTEC	12.03.2014	K-UTEC
Brom-R154L-2Ku	229	278	446,8	448,3	150	446,95	447,00		K-UTEC	12.03.2014	K-UTEC
Brom-R154L-3Ku	227	274	442,0	445,0	300	443,87	443,90		K-UTEC	12.03.2014	K-UTEC
Brom-R154L-4Ku	230	279	448,3	450,0	170	448,65	448,68		K-UTEC	12.03.2014	K-UTEC
T-R154L-1	231	280	450	454	400	450,35	450,55		K-UTEC	10.06.14	K-UTEC

Rückstellproben aus den Anhydritbereichen und Anhydritproben für Volumen- und Quelltests (K-UTEC)

Lfd. Nr.	KK	KM	Kernmarschteufe [m u. GOK]		Kern-gewinn	Absolute Teufe [m u. GOK]		Untersuchung	Probe-nehmer	Datum	Empfänger
			von	bis	[m]	von	bis				
Nachbeprobung 4. Abschnitt											
Anh-R154L-24	201	255				403,5	403,6	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-25	270	223				434,6	435,0	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-26	274	227				442,0	442,35	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-27	201	255				404,0	404,5	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-28	218	267				425,0	425,2	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Beprobung 5. Abschnitt											
Anh-R154L-1	272	296				533,1	533,25	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-1a	272	296				533,25	533,35	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-2	273	297				534,0	534,35	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-3	273	297				534,35	534,45	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-4	290	303				568,1	568,5	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-5	290	303				568,0	568,1	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-6	290	303				569,3	569,4	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-7	290	303				569,7	569,85	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-8	299	306				587,15	587,5	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-8a	299	306				587,0	587,1	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-9	321	314				631,0	631,25	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-9a	321	314				630,6	630,75	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-10	357	326				703,0	703,1	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-11	357	326				703,4	703,5	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-12	357	326				703,8	703,9	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-

Anh-R154L-13	373	331				734,5	734,9	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-13a	373	331				734,9	735,0	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-14	374	332				736,0	736,2	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-15	374	332				737,0	737,2	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-16	374	332				737,8	738,0	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-17	375	332				738,0	738,1	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-18	450	357				888,83	888,95	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-19	450	358				889,0	889,1	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-20	450	358				889,9	890,0	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-21	451	358				890,8	891,0	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-22	451	358				891,8	892,0	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-23	452	358				892,35	892,45	Volumentest	K-UTEC	10.06.14	K-UTEC
Anh-R154L-29	378	333				745,0	745,15	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-30	389	337				766,0	766,3	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-31	403	342				795,85	796,0	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-32	437	353				863,0	863,25	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-33	442	355				872,0	872,4	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-
Anh-R154L-34	283	301				555,0	555,13	Rückstellprobe	K-UTEC	10.06.14	-

Experimentelle Voruntersuchung von Anhydrit-Bohrkernproben aus der Erkundungsbohrung Remlingen 15

1 Ziel des Versuches

Anhand der experimentellen Voruntersuchung an Anhydrit-Bohrkernproben aus der Erkundungsbohrung R15 4L sollte festgestellt werden, ob die Prüfkörper bei Lagerung in konzentrierter Salzlösung innerhalb von 8 Wochen Veränderungen ihres Volumens bzw. Gewichtes (Quellungs- oder Lösungserscheinungen) zeigen.

2 Durchführung

2.1 Herstellung der Prüfkörper

Die zur Verfügung gestellten 13 Bohrkernproben wurden mit Hilfe einer Steinsäge (trocken) in Würfel mit einer Kantenlänge von rund 6 cm gesägt. Aufgrund der Bauart der Säge sowie Brüchen oder Trennflächen in den Bohrkernen ist ein exaktes Zuschneiden auf Würfel im Format 6x6x6 cm nicht gelungen. Ein Prüfkörper (Probe Anh-R154L-23) ist beim Schneiden entlang eines Risses in zwei Teile zerbrochen und wurde für die Versuche nicht verwendet. Die erhaltenen 12 Prüfkörper wurden trocken gesäubert, gemäß den Vorgaben vermessen (Länge, Breite, Höhe und zwei Diagonalen), gewogen, fotografiert und entsprechend der Bohrkernorientierung markiert. Die abgetrennten Teile der Bohrkerne wurden wieder in die Tüten verpackt und stehen ggf. für weitere Versuche zur Verfügung.

2.2 Start des Versuches

Die Prüfkörper wurden einzeln orientiert in 1l-Plastikeimer gestellt und mit gesättigter NaCl-Lösung übergossen. Da das geplante Volumen[1]-Verhältnis Feststoff / Lösung von 1:1 nicht ausreichte, um die Prüfkörper komplett zu bedecken, wurde die doppelte Menge Lösung verwendet. Anschließend wurden die Eimer mit Deckeln verschlossen und bei ca. 25°C im Labor gelagert.

2.3 Messungen

Nach jeweils 7, 14, 28 und 56 Tagen wurden die Eimer geöffnet, die Prüfkörper entnommen, entsprechend der Vorgaben gewogen und vermessen. Die zusätzliche Messung

nach 14 Tagen wurde durchgeführt, da die gemessenen Werte nach 7 Tagen teilweise auffällig waren. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die 7-Tage-Messung von einem anderen Laboranten durchgeführt wurde als alle anderen Messungen.

Die Prüfkörper wurden jeweils nach 30 sec. Abtropfen auf die Waage gelegt und das Gewicht auf ± 0,01 g bestimmt. Länge, Breite, Höhe sowie zwei Diagonalen wurden mit einer Schieblehre auf ± 0,1 mm genau gemessen. Das Anlegen der Schieblehre wurde allerdings durch ungerade Kanten und einzelne Ausbrüche an den Ecken der Prüfkörper erschwert. Dadurch ergeben sich Ungenauigkeiten, die - v. a. bei den Diagonalen - bis zu 1 Millimeter betragen können.

3 Dokumentation und Besonderheiten

Sämtliche Messwerte wurden notiert und in Tabellen zusammengetragen. Außerdem wurden die Prüfkörper in allen Stadien des Versuches (außer nach 7 Tagen) fotografisch dokumentiert.

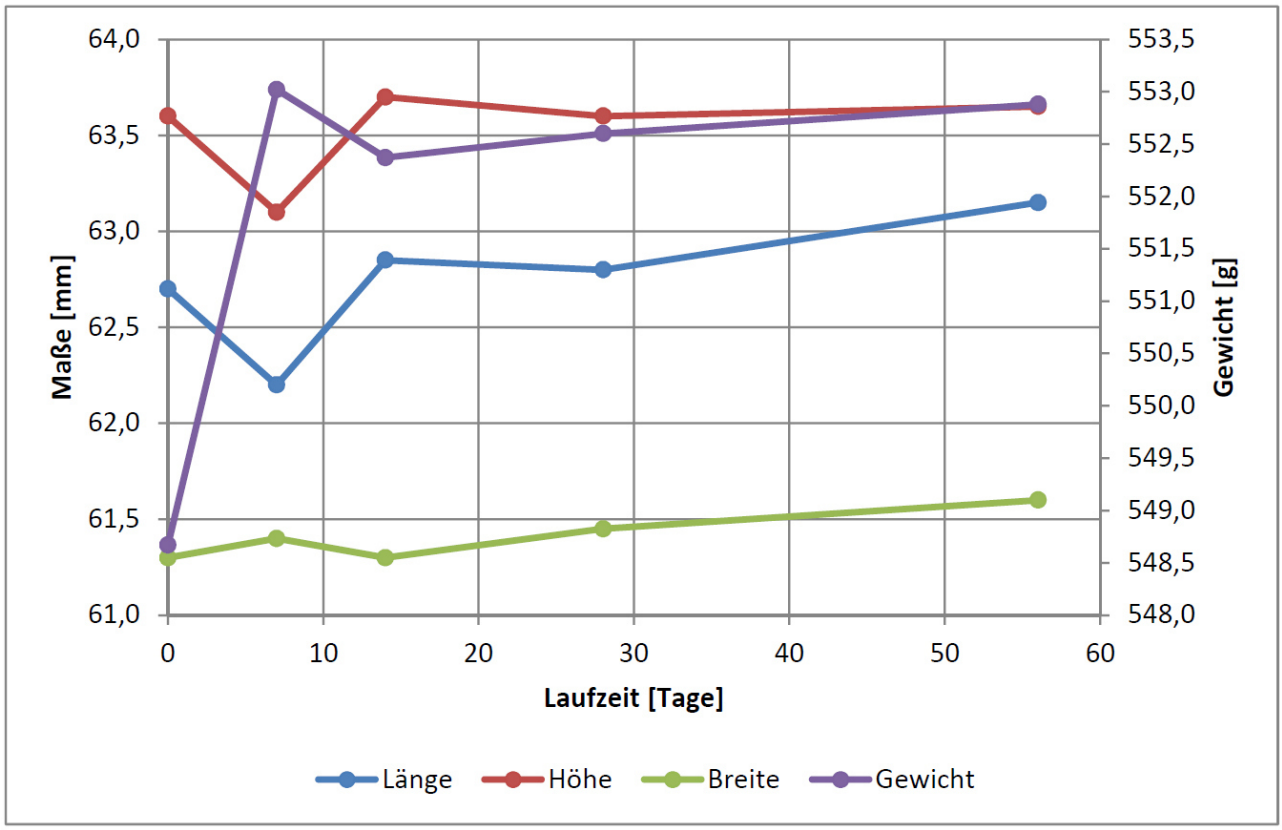
Außer den Abweichungen in den Messwerten nach 7-tägiger Lagerung sind während des Versuches keine Auffälligkeiten registriert worden. Optische Veränderungen sind lediglich bei den Prüfkörpern 332V-06 und 333V-06 zu bemerken, deren Tonanteile sich teilweise gelöst und am Eimerboden abgesetzt haben. Alle anderen Prüfkörper weisen das gleiche Aussehen auf wie vor dem Versuch.

Sondershausen, 17.10.2014

Dipl. Geol.
Bearbeiterin

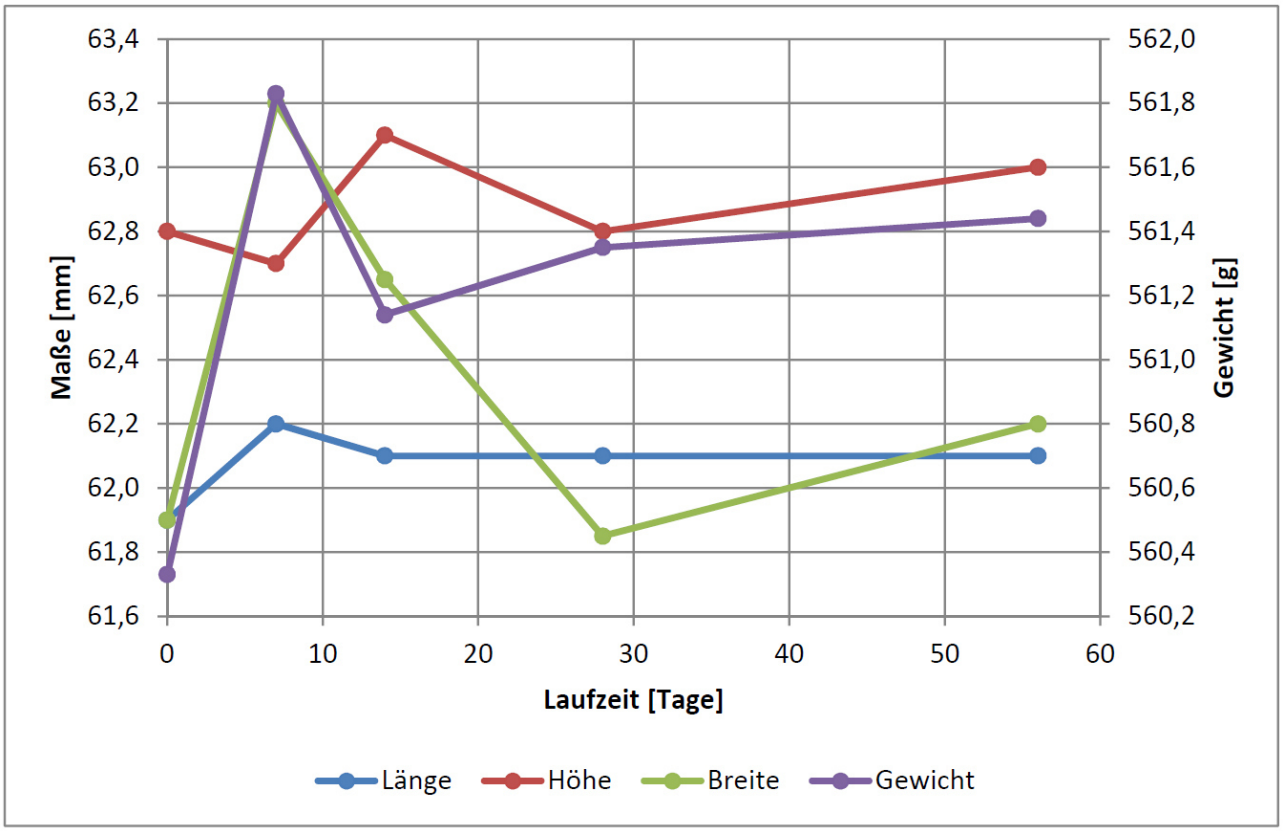
Anhydrit-Quellversuche
332V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	62,70	62,2	62,85	62,8	63,15
Höhe [mm]	63,60	63,1	63,70	63,6	63,65
Breite [mm]	61,30	61,4	61,30	61,45	61,60
Diagonale 1 [mm]	87,15	87,4	87,20	87,35	87,25
Diagonale 2 [mm]	87,60	86,7	87,50	87,55	87,50
Gewicht [g]	548,67	553,02	552,37	552,6	552,88
Volumen [cm³]	244,45	240,98	245,42	245,44	247,60



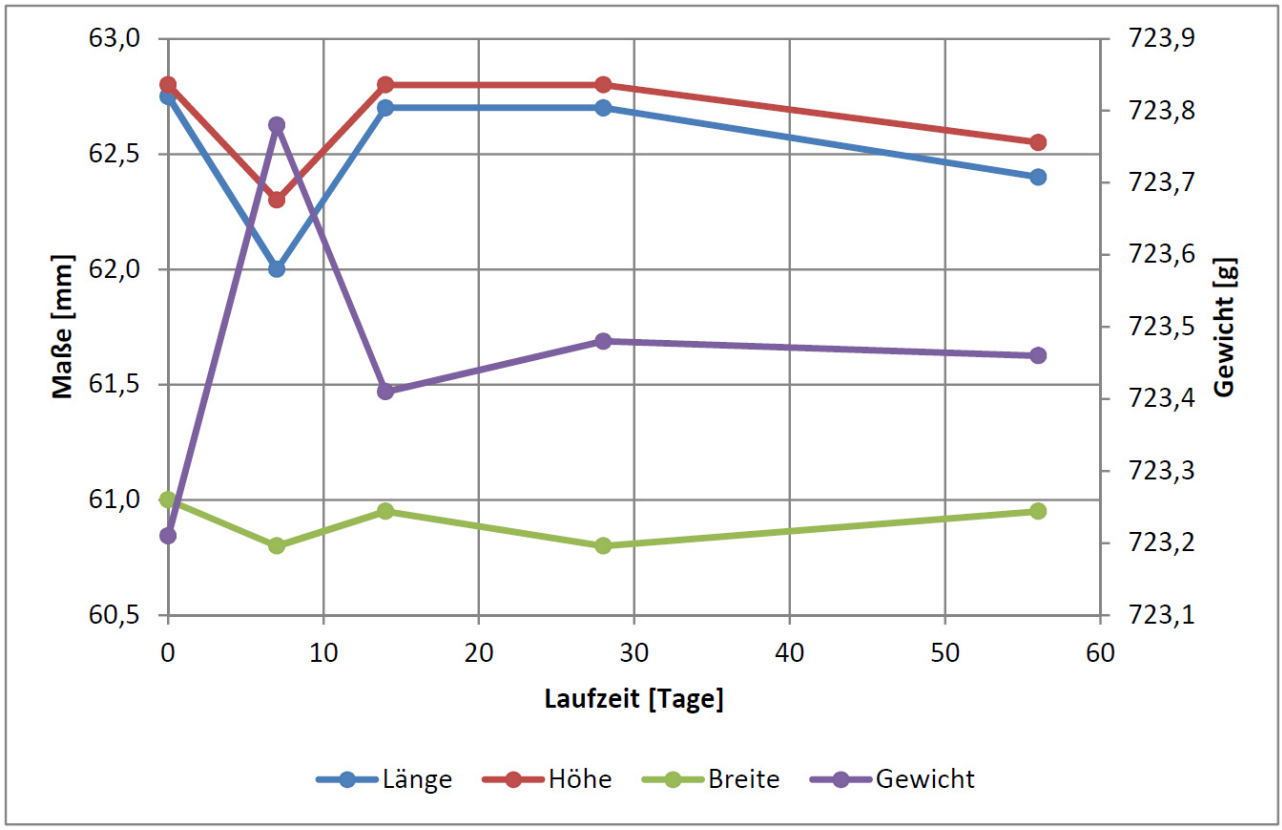
Anhydrit-Quellversuche
333V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	61,90	62,2	62,10	62,10	62,10
Höhe [mm]	62,80	62,7	63,10	62,80	63,00
Breite [mm]	61,90	63,2	62,65	61,85	62,20
Diagonale 1 [mm]	87,80	87,5	87,20	87,35	87,35
Diagonale 2 [mm]	88,20	87,9	88,50	87,80	87,75
Gewicht [g]	560,33	561,83	561,14	561,35	561,44
Volumen [cm³]	240,63	246,48	245,49	241,21	243,35



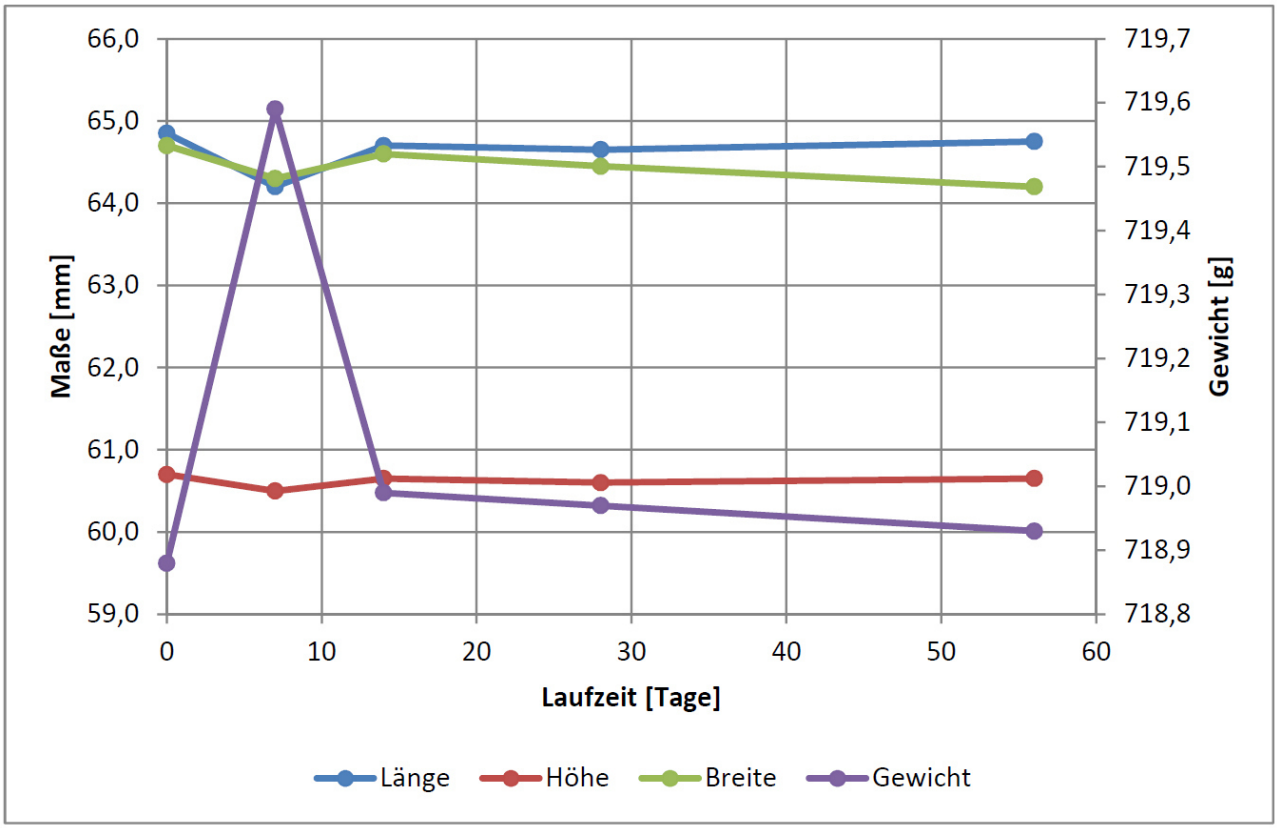
Anhydrit-Quellversuche
334V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	62,75	62	62,70	62,7	62,40
Höhe [mm]	62,80	62,3	62,80	62,8	62,55
Breite [mm]	61,00	60,8	60,95	60,8	60,95
Diagonale 1 [mm]	86,90	86,7	86,80	86,65	86,60
Diagonale 2 [mm]	88,45	88,1	87,20	87,9	87,80
Gewicht [g]	723,21	723,78	723,41	723,48	723,46
Volumen [cm³]	240,38	234,85	239,99	239,40	237,90



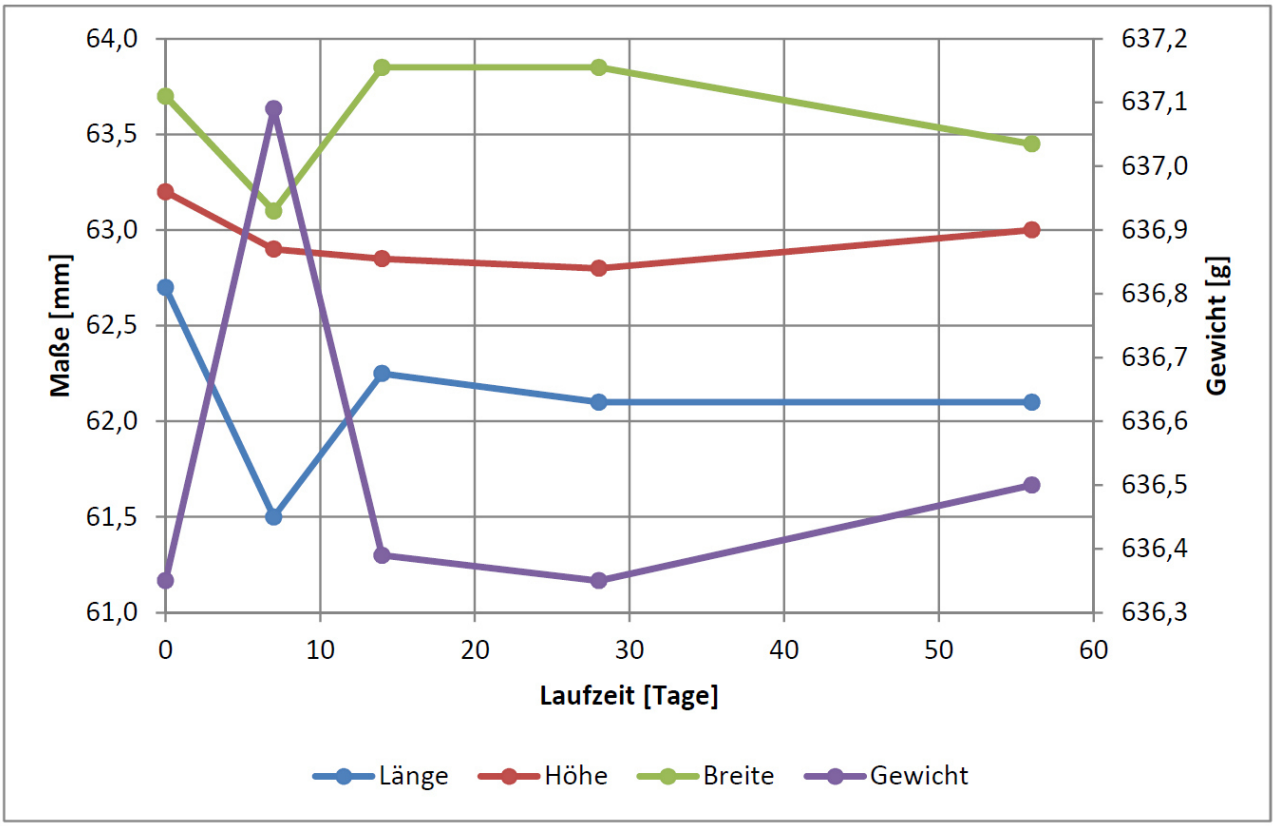
Anhydrit-Quellversuche
335V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	64,85	64,2	64,70	64,65	64,75
Höhe [mm]	60,70	60,5	60,65	60,6	60,65
Breite [mm]	64,70	64,3	64,60	64,45	64,20
Diagonale 1 [mm]	90,75	90,5	90,85	90,55	90,45
Diagonale 2 [mm]	88,20	88	88,45	88,15	88,10
Gewicht [g]	718,88	719,59	718,99	718,97	718,93
Volumen [cm³]	254,68	249,75	253,49	252,50	252,12



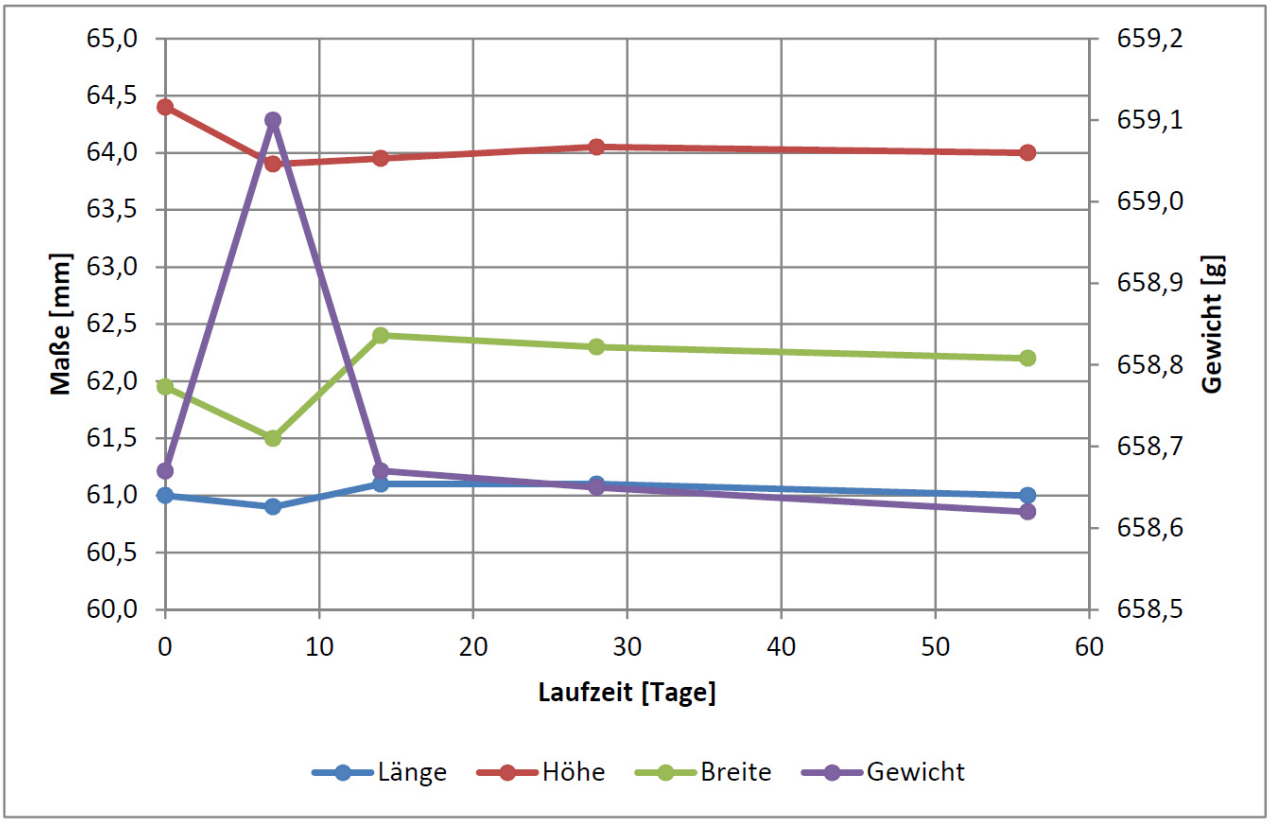
Anhydrit-Quellversuche
336V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	62,70	61,5	62,25	62,1	62,10
Höhe [mm]	63,20	62,9	62,85	62,8	63,00
Breite [mm]	63,70	63,1	63,85	63,85	63,45
Diagonale 1 [mm]	85,20	85,6	84,45	84,5	84,70
Diagonale 2 [mm]	87,50	87	87,40	87,55	87,25
Gewicht [g]	636,35	637,09	636,39	636,35	636,50
Volumen [cm³]	252,42	244,09	249,81	249,01	248,24



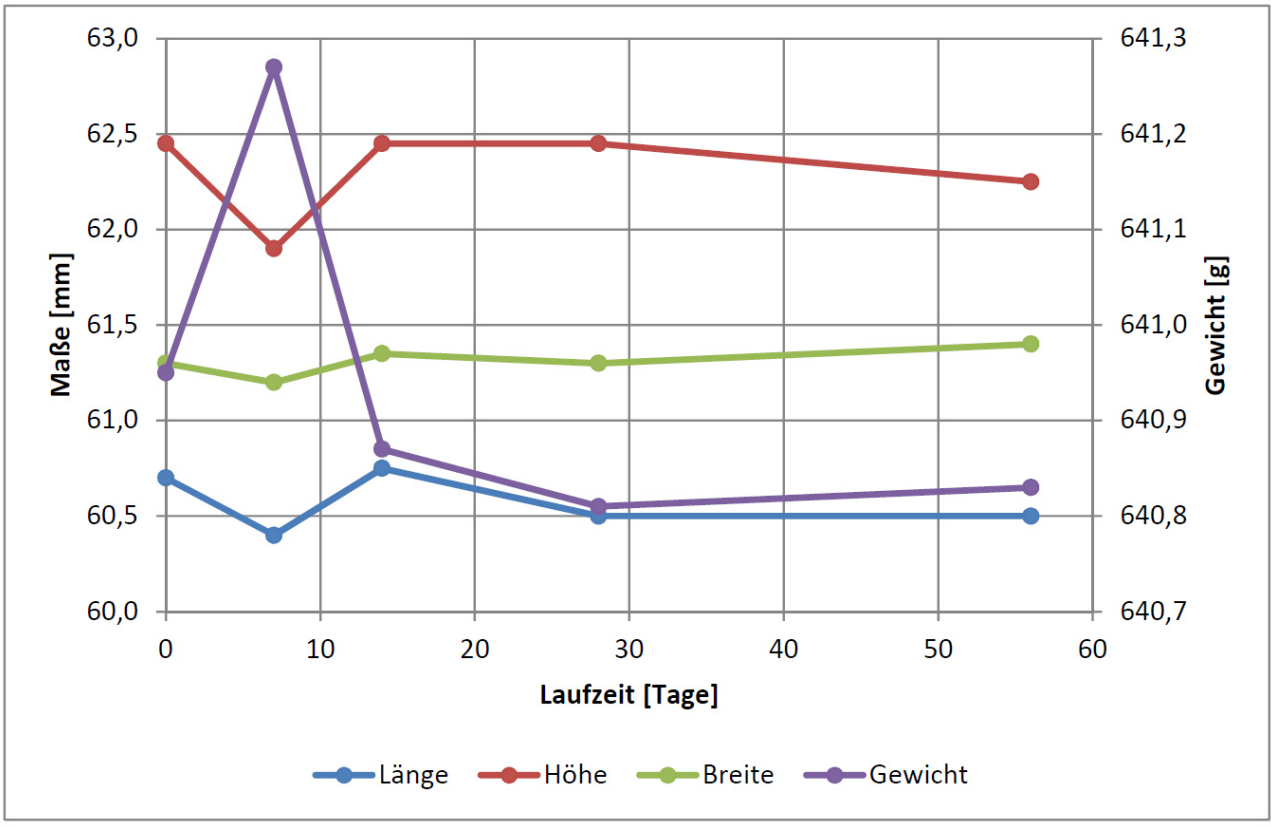
Anhydrit-Quellversuche
337V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	61,00	60,9	61,10	61,1	61,00
Höhe [mm]	64,40	63,9	63,95	64,05	64,00
Breite [mm]	61,95	61,5	62,40	62,3	62,20
Diagonale 1 [mm]	84,15	84,1	84,10	84,05	84,00
Diagonale 2 [mm]	87,55	87,2	87,55	87,35	87,25
Gewicht [g]	658,67	659,1	658,67	658,65	658,62
Volumen [cm³]	243,36	239,33	243,82	243,81	242,83



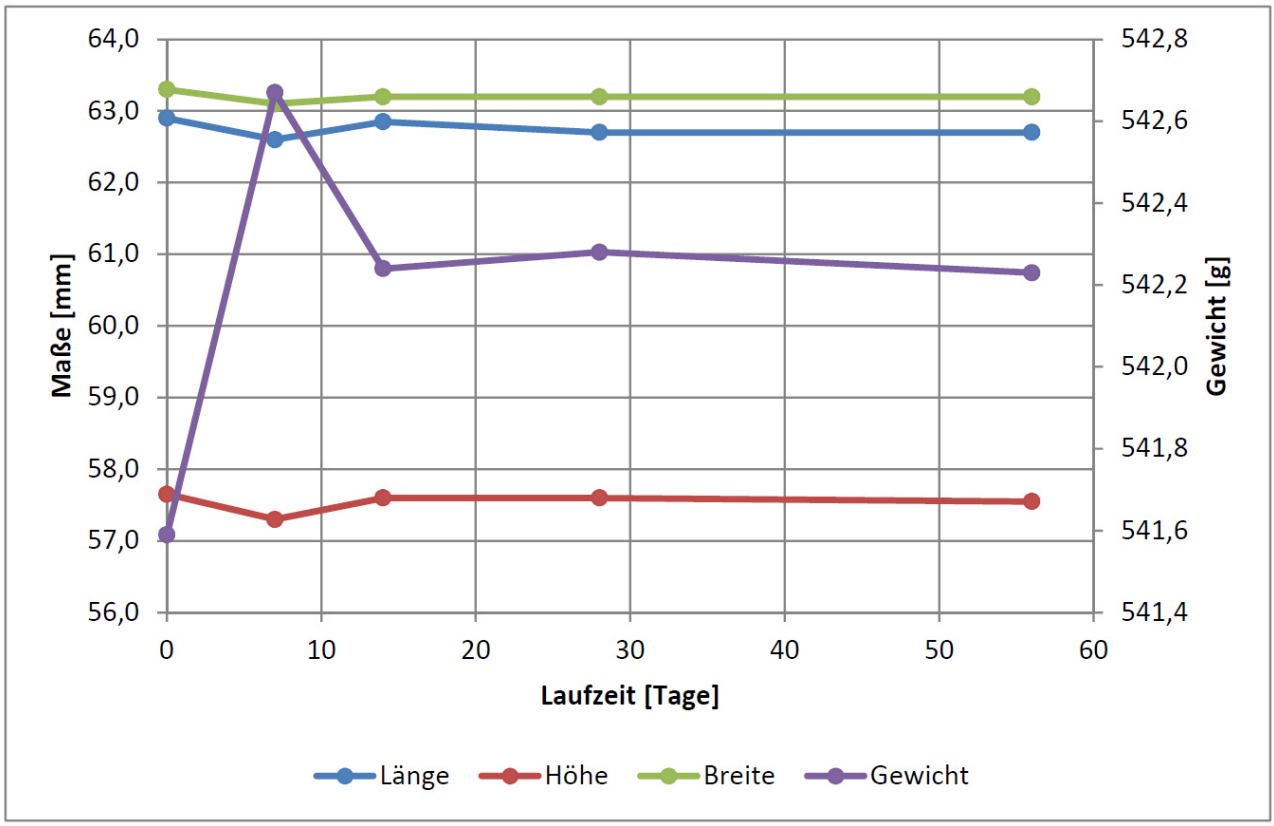
Anhydrit-Quellversuche
338V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	60,70	60,4	60,75	60,5	60,50
Höhe [mm]	62,45	61,9	62,45	62,45	62,25
Breite [mm]	61,30	61,2	61,35	61,3	61,40
Diagonale 1 [mm]	85,45	85,2	85,60	82,6	83,90
Diagonale 2 [mm]	85,40	85,1	85,35	85,2	84,55
Gewicht [g]	640,95	641,27	640,87	640,81	640,83
Volumen [cm³]	232,37	228,81	232,75	231,61	231,24



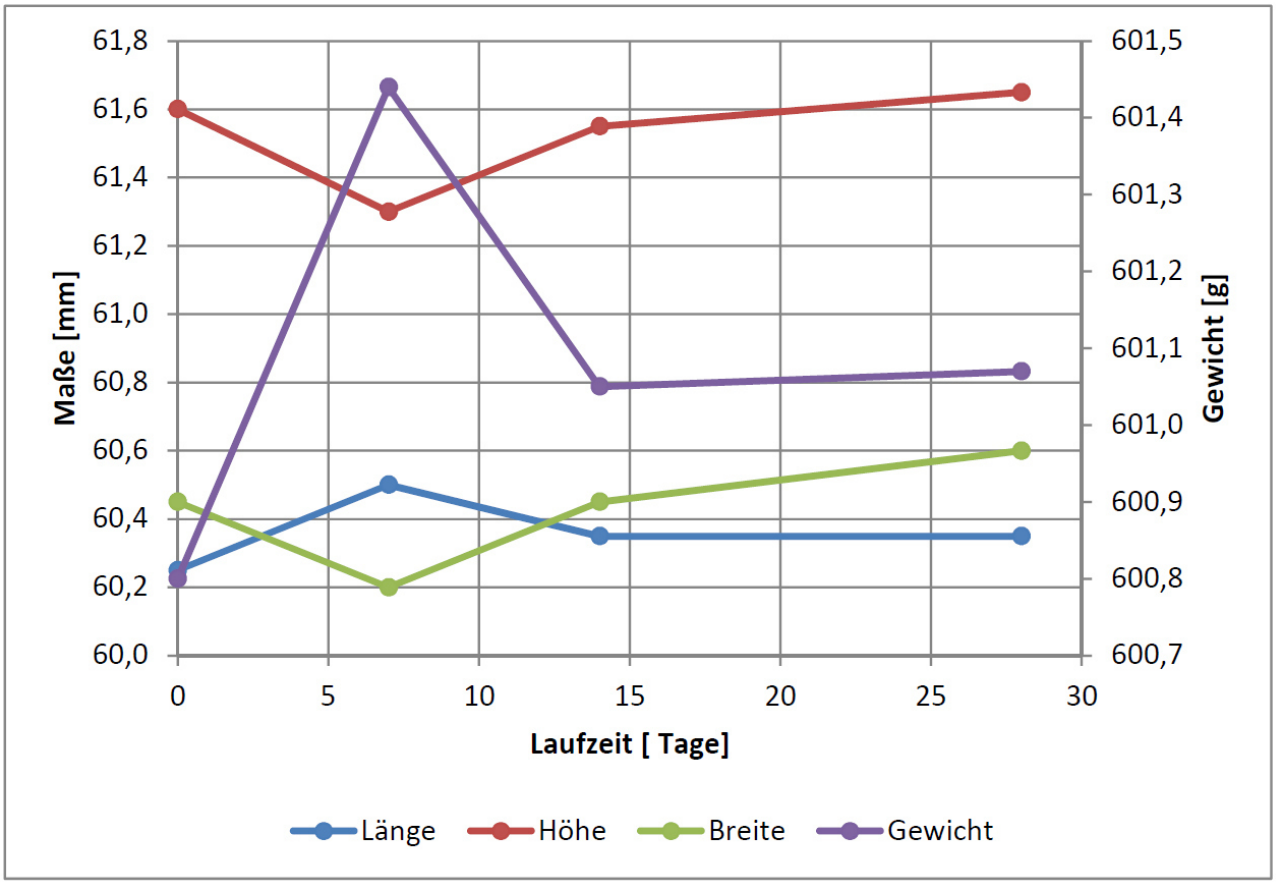
Anhydrit-Quellversuche
339V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge [mm]	62,90	62,6	62,85	62,7	62,70
Höhe [mm]	57,65	57,3	57,60	57,6	57,55
Breite [mm]	63,30	63,1	63,20	63,2	63,20
Diagonale 1 [mm]	87,50	87,2	87,25	87,2	87,30
Diagonale 2 [mm]	84,15	83,8	83,85	83,8	83,85
Gewicht [g]	541,59	542,67	542,24	542,28	542,23
Volumen [cm³]	229,54	226,34	228,79	228,25	228,05



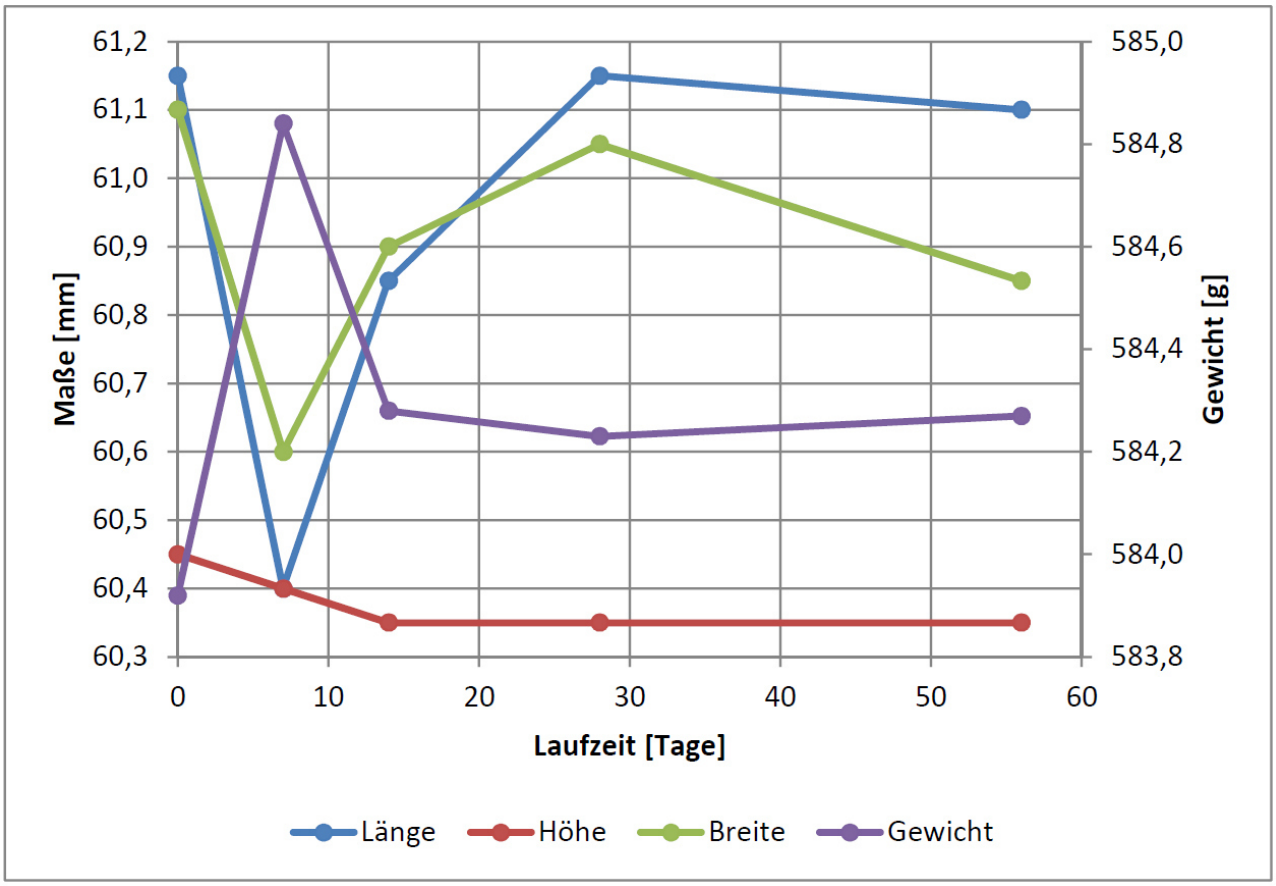
Anhydrit-Quellversuche
340V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge	60,25	60,5	60,35	60,35	60,40
Höhe	61,60	61,3	61,55	61,65	61,45
Breite	60,45	60,2	60,45	60,6	60,50
Diagonale 1	83,85	83,7	84,40	85	83,75
Diagonale 2	85,25	85,4	85,15	85,3	85,00
Gewicht	600,80	601,44	601,05	601,07	601,08
Volumen	224,35	223,26	224,54	225,47	224,55



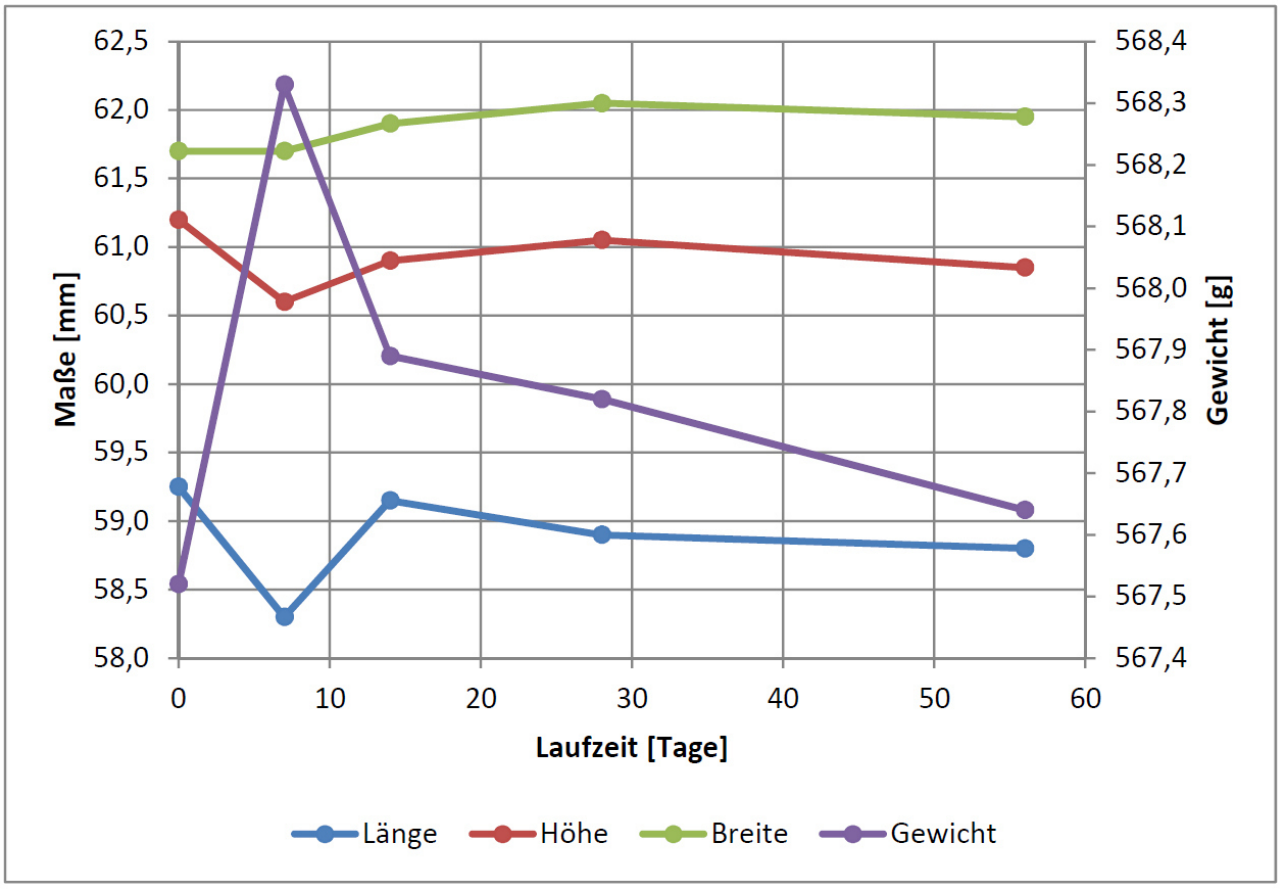
Anhydrit-Quellversuche
341V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge	61,15	60,4	60,85	61,15	61,10
Höhe	60,45	60,4	60,35	60,35	60,35
Breite	61,10	60,6	60,90	61,05	60,85
Diagonale 1	85,95	85,1	85,25	85,35	85,10
Diagonale 2	85,15	84,9	85,00	85,05	84,65
Gewicht	583,92	584,84	584,28	584,23	584,27
Volumen	225,86	221,08	223,64	225,30	224,38



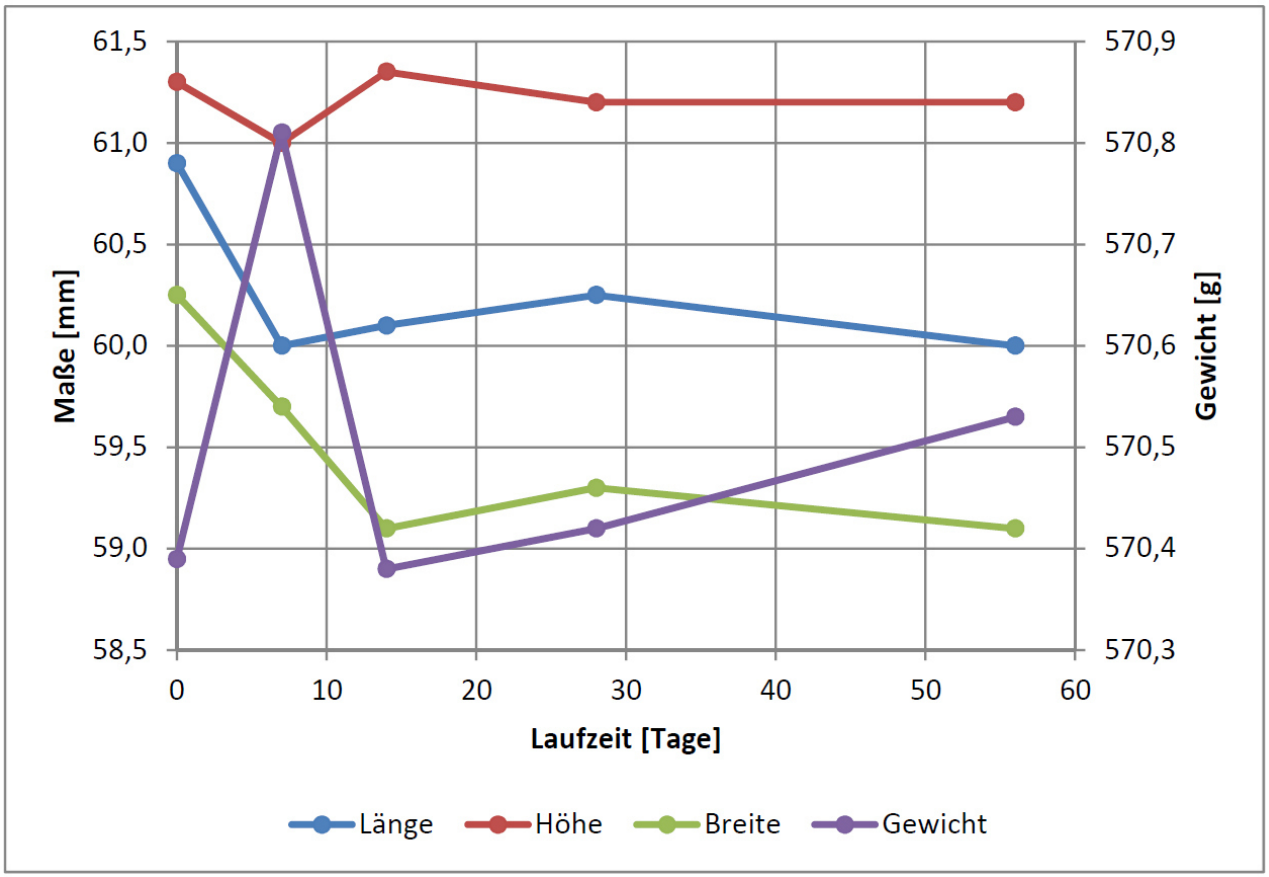
Anhydrit-Quellversuche
342V-06

Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge	59,25	58,3	59,15	58,9	58,80
Höhe	61,20	60,6	60,90	61,05	60,85
Breite	61,70	61,7	61,90	62,05	61,95
Diagonale 1	83,20	83,7	83,60	84,1	83,55
Diagonale 2	84,40	84,2	84,45	84,7	84,10
Gewicht	567,52	568,33	567,89	567,82	567,64
Volumen	223,73	217,98	222,98	223,12	221,66



Anhydrit-Quellversuche
343V-06

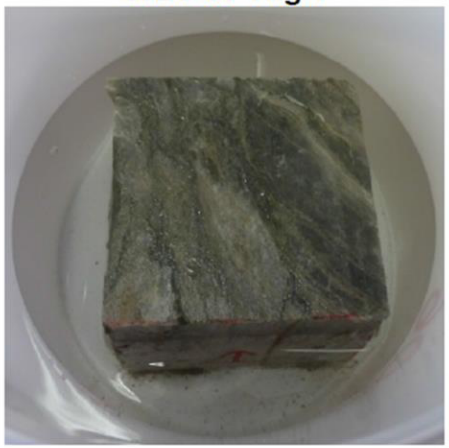
Parameter	Laufzeit [Tage]				
	0	7	14	28	56
Länge	60,90	60	60,10	60,25	60,00
Höhe	61,30	61	61,35	61,2	61,20
Breite	60,25	59,7	59,10	59,3	59,10
Diagonale 1	84,55	84,7	84,40	84,55	84,40
Diagonale 2	85,85	85,5	85,55	85,4	85,35
Gewicht	570,39	570,81	570,38	570,42	570,53
Volumen	224,92	218,50	217,91	218,66	217,02



Anhang 9

Fotodokumentation der Quellversuche am Anhydrit

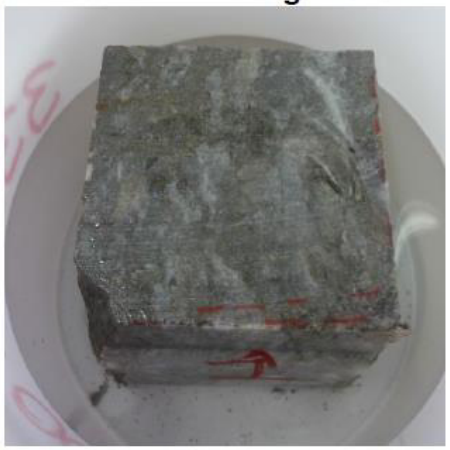
332V-06 Tag 1



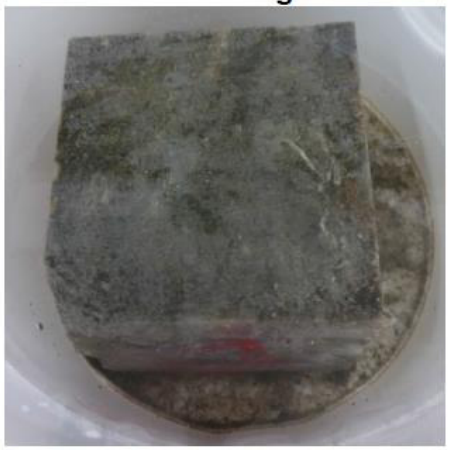
332V-06 Tag 14



333V-06 Tag 1



333-06V Tag 14



332V-06 Tag 28



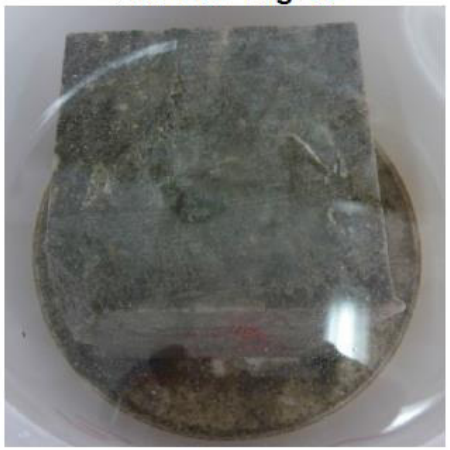
332V-06 Tag 56



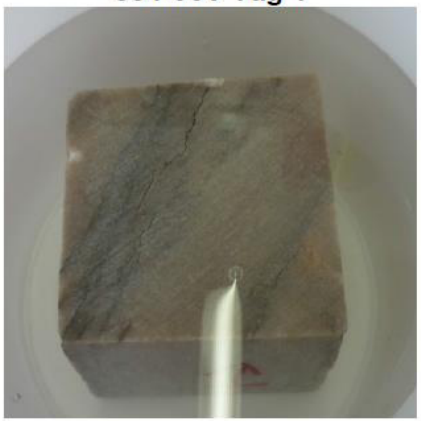
333-06V Tag 28



333-06V Tag 56



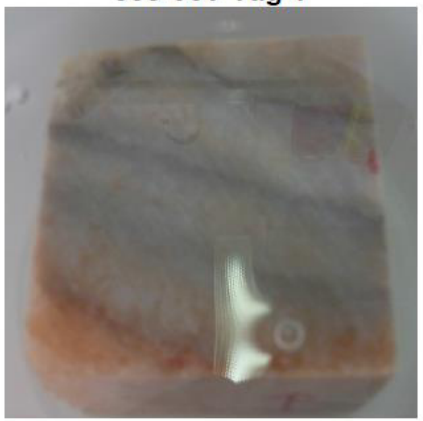
334-06V Tag 1



334-06 V Tag 14



335-06V Tag 1



335-06V Tag 14



334-06 V Tag 28



334-06 V Tag 56



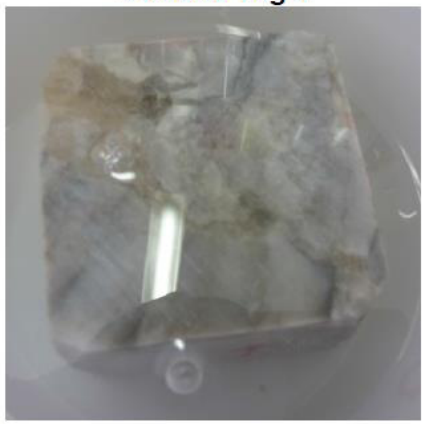
335-06V Tag 28



335-06V Tag 56



336-06V Tag 1



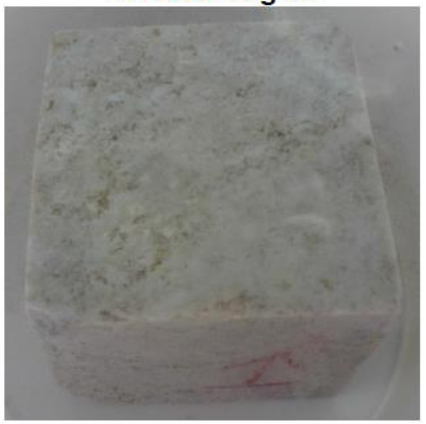
336-06V Tag 14



337-06V Tag 1



337-06V Tag 14



336-06V Tag 28



336-06V Tag 56



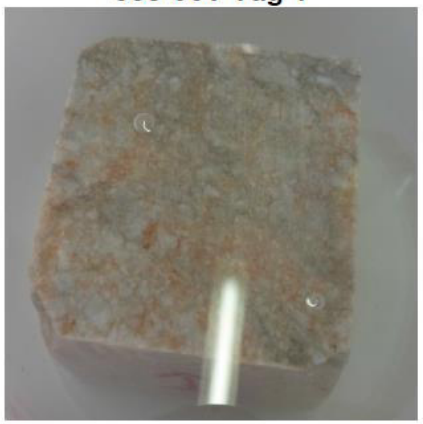
337-06V Tag 28



337-06V Tag 56



338-06V Tag 1



338-06V Tag 14



339-06V Tag 1



339-06V Tag 14



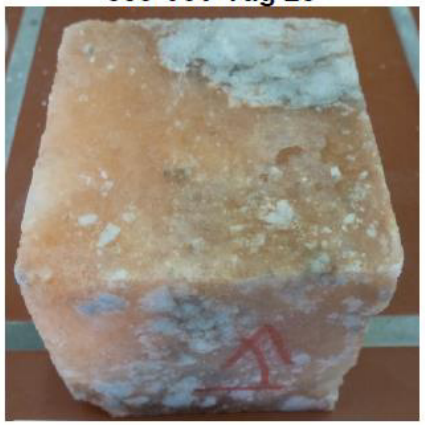
338-06V Tag 28



338-06V Tag 56



339-06V Tag 28



339-06V Tag 56



340-06V Tag 1



340-06V Tag 14



341-06V Tag 1



341-06V Tag 14



340-06V Tag 28



340-06V Tag 56



341-06V Tag 28



341-06V Tag 56



342-06V Tag 1



342-06 Tag 14



343-06V Tag 1



343-06V Tag 14



342-06V Tag 28



342-06 Tag 56



343-06V Tag 28



343-06V Tag 56



Anhang 10

Zusammengefasste Ergebnisse der hydraulischen Messungen

Interval l	Geologie	Stratigrafie	GOK	Teufe [m u. GOK]		Mächtigkeit	Testart	Tests	Förderrate / Absenkung	Transmissivität [m²/s]			hydr. Durchlässigkeit [m/s]			statischer Wasserdruck [kPa]				Frischwasser Druckhöhe [mNN]			OK Intervall	GWL
			[mNN]	von	bis	[m]			[l/min] / [m]	best fit	min	max	best fit	min	max	Tiefe	best fit	min	max	best fit	min	max	[mNN]	
i1	Muschelkalk	mu	216,00	52,00	67,06	15,06	DP	SI	-	nicht auswertbar, Umläufigkeit			nicht auswertbar, Umläufigkeit			49,1	-	-	-	-	-	-	-	-
i2	Muschelkalk / Buntsandstein	mu, ab 130,4 so (Röt)	216,00	78,00	93,06	15,06	DP	SW1, SW2	-	4,15E-05	2,34E-05	8,01E-05	2,75E-06	1,55E-06	5,32E-06	75,1	462,5	-	-	-	178,4	-	138,00	gespannt
				78,00	134,58	56,58	EP	RW (gegen Sohle)	81,8 / 15,4	1,38E-05	1,38E-05	7,41E-05	2,44E-07	2,43E-07	1,31E-06	75,1	459,7	459,5	461,4	178,1	178,1	178,3	138,00	gespannt
i3	Muschelkalk	mu	216,00	100,00	115,06	15,06	DP	PW, SW1, SW2, RW1, RW2	14,7, geringe s, schneller WA	1,36E-06	1,35E-06	8,28E-06	9,03E-08	8,96E-08	5,50E-07	97,1	677,2	676,9	677,9	177,7	177,7	177,8	116,00	gespannt
i4	Buntsandstein	so (Röt)	216,00	151,00	259,00	108,00	EP	PW1, PW2, SW1, SW2	-	9,69E-07	9,30E-07	1,25E-06	8,97E-09	8,61E-09	1,16E-08	148,1	1.110,7	1.107,3	1.200,4	171,0	170,6	180,1	65,00	gespannt
i5	Buntsandstein	so (Röt)	216,00	156,00	181,05	25,05	DP	PW, SW	-	2,58E-10	8,69E-11	1,00E-09	1,03E-11	3,47E-12	4,00E-11	153,1	1.369,2	1.361,1	1.372,1	192,2	191,4	192,5	60,00	gespannt
i6	Buntsandstein	so (Röt)	216,00	193,00	218,05	25,05	DP	PW1, PW2, SW	-	2,66E-09	2,55E-09	1,82E-08	1,06E-10	1,02E-10	7,25E-10	190,1	1.676,6	1.676,2	1.691,3	186,7	186,6	188,1	23,00	gespannt
i7	Buntsandstein	so (Röt)	216,00	302,00	357,27	55,27	DP	PW, SW, RW	0,68 / ?	4,54E-07	1,75E-07	4,62E-07	8,21E-09	3,17E-09	8,35E-09	299,1	1.110,7	1.110,7	1.110,7	183,2	179,8	183,4	-86,00	gespannt
i8	entfallen: Bohrung zwischen 302,00 m und 357,27 m verstürzt, Packersystem in Bohrung blockiert																							
i9	Buntsandstein	Hut	216,00	409,00	421,23	12,23	DP	PW1, PW2	-	2,01E-12	1,24E-12	3,58E-12	1,64E-13	1,01E-13	2,93E-13	406,0	3.781,7	3.516,9	4.007,5	185,8	158,8	208,8	-193,00	gespannt
i10	Buntsandstein	Hut	216,00	421,30	433,53	12,23	DP	PW, SW	-	1,27E-10	1,01E-10	1,38E-10	1,04E-11	8,27E-12	1,13E-11	418,3	3.846,5	3.819,3	3.848,0	180,1	177,3	180,3	-205,30	gespannt
i11	Buntsandstein	Hut / Salinar	216,00	421,30	450,00	28,70	EP	PW, SW	-	7,54E-10	6,41E-10	9,61E-10	2,63E-11	2,23E-11	3,35E-11	418,3	3.686,4	3.686,1	3.903,3	164,4	164,4	186,5	-205,30	gespannt
i12	Zechstein Salz mit Anhydrit	Salinar	216,00	496,00	536,04	40,04	DP	PW, PI	-	1,61E-12	4,34E-13	7,39E-12	4,03E-14	1,08E-14	1,85E-13	493,2	4.310,0	3.580,5	5.147,9	156,8	82,4	242,2	-280,00	gespannt
i13	Zechstein Salz mit Anhydrit	Salinar	216,00	535,00	575,04	40,04	DP	PW, PI	-	4,06E-12	3,98E-13	4,12E-12	1,02E-13	9,94E-15	1,03E-13	532,2	5.232,7	5.216,9	7.680,2	211,9	210,3	461,4	-319,00	gespannt
i14	Zechstein Salz mit Anhydrit	Salinar	216,00	575,00	615,04	40,04	DP	PW, PI	-	1,14E-12	1,12E-12	2,54E-12	2,85E-14	2,79E-14	6,35E-14	572,2	5.481,6	4.400,0	5.496,3	197,3	87,0	198,8	-359,00	gespannt
i15	Zechstein Salz mit Anhydrit	Salinar	216,00	605,00	645,04	40,04	DP	PW, dann Packer defekt	-	3,45E-12	3,31E-12	3,61E-11	8,61E-14	8,26E-14	9,01E-13	602,2	6.401,6	5.830,0	6.423,0	261,1	202,9	263,3	-389,00	gespannt
i16	Zechstein Salz mit Anhydrit	Salinar	216,00	679,50	719,54	40,04	DP	PW, PI	-	4,05E-12	1,49E-13	4,13E-12	1,01E-13	3,72E-15	1,03E-13	676,7	7.186,3	7.168,5	11.600,0	266,9	265,1	716,9	-463,50	gespannt
i17	Zechstein Salz mit Anhydrit	Salinar	216,00	720,00	760,04	40,04	DP	PW, PI	-	2,21E-12	1,35E-12	3,72E-12	5,51E-14	3,36E-14	9,30E-14	717,2	7.738,0	7.669,3	12.055,1	282,4	200,9	722,5	-504,00	gespannt
i18	Zechstein Salz mit Anhydrit	Salinar	216,00	780,00	899,60	119,60	EP	PW, SW, PI	-	4,77E-12	1,26E-12	1,17E-10	3,98E-14	1,06E-14	9,78E-13	777,2	8.193,2	8.187,8	10.284,8	276,9	276,3	490,1	-564,00	gespannt

Intervall	spez. Speicherkoeffizient [1/m]			Speicherkoeffizient			Probenenahme	Analytik	Reichweite	Geologie / Tektonik aus Diagnostik im Modell oder Geophysik	Wasserzuflüsse
	best fit	min	max	best fit	min	max			[m]		
i1	nicht auswertbar, Umläufigkeit						-	-	-	ausgeprägte Gebirgsumläufigkeit entlang der steilstehenden Schichten	keine Hinweise
i2	4,98E-07	-	6,00E-06	7,50E-06	-	2,78E-03	-	-	ca. 4 m	sehr inhomogen mit Klüften und steilstehenden Schichten	keine Hinweise
	1,00E-05	1,51E-06	1,00E-05	5,66E-04	8,54E-05	5,66E-04	Pumpprobe	ja	>10 m	Gebirgsumläufigkeit, daher Einfachpackertest, nicht radialer Fluss (limited entry)	keine Hinweise
i3	1,82E-05	2,94E-06	2,20E-05	2,74E-04	4,43E-05	3,34E-04	Pumpprobe	ja	bis 491 m	sehr inhomogen, stark geklüftet, vermutlich hohe Zuflüse aus Karsthohlräumen, sehr wahrscheinlich werden die ermittelten Durchlässigkeiten unterschätzt	ja
i4	1,00E-07	1,00E-07	1,41E-07	1,08E-05	1,80E-05	1,52E-05	-	-	innere Zone: 4 - 7 m	undurchlässige, sich schneidene oder parallele Klüfte, ggf. höhere Durchlässigkeit außerhalb Skin-Bereich, also in der Formation, innere und äußere Zone	keine Hinweise
i5	2,06E-05	6,58E-06	2,10E-05	5,16E-04	1,65E-04	5,26E-04	-	-	bohrlochnah	homogen	keine Hinweise
i6	1,16E-07	3,84E-08	2,38E-06	2,90E-06	9,62E-07	5,96E-05	Samplerprobe	ja	bohrlochnah	homogen, zwei Schichten mit unterschiedlicher Durchlässigkeit, kein radialer Fluss, deutliche vertiakle Komponente	keine Hinweise
i7	2,62E-05	2,76E-06	3,08E-05	1,79E-03	2,38E-05	1,95E-03	Pumpprobe	ja	innere Zone: 0,7 m	Versturz des Intervalls während RW, innere und äußere Zone	keine Hinweise
i8	entfallen: Bohrung zwischen 302,00 m und 357,27 m verstürzt, Packersystem in Bohrung blockiert										
i9	7,69E-07	2,50E-07	1,07E-06	9,40E-06	3,06E-06	1,31E-05	-	-	bohrlochnah	"Aufgrund der geringen Reichweite von Puls- und Slugtests kann nich ausgeschlossen werden, dass die ermittelten Formationseigenschaften im Wesentlichen eine bohrlochnahe Zone beschreiben." Bohrlochnahe Auflockerungszone vorhanden.	keine Hinweise
i10	7,68E-07	2,50E-07	1,00E-06	9,39E-06	3,06E-06	1,22E-05	-	-	bohrlochnah	"Aufgrund der geringen Reichweite von Puls- und Slugtests kann nich ausgeschlossen werden, dass die ermittelten Formationseigenschaften im Wesentlichen eine bohrlochnahe Zone beschreiben." Bohrlochnahe Auflockerungszone vorhanden oder Anlösung der Formation.	keine Hinweise
i11	1,29E-07	1,15E-07	2,00E-07	3,70E-06	3,30E-06	5,74E-06	-	-	bohrlochnah, max. 2,3 m	"	keine Hinweise
i12	5,12E-07	1,63E-08	1,54E-07	2,05E-05	6,51E-07	6,16E-06	-	-	0,1 - 0,4	"	keine Hinweise
i13	5,12E-07	1,00E-07	6,00E-07	2,05E-05	4,00E-06	2,40E-05	-	-	0,1 - 0,6	"	keine Hinweise
i14	5,12E-07	4,00E-07	7,00E-07	2,05E-05	1,60E-05	2,80E-05	-	-	0,1 - 0,2	"Aufgrund der geringen Reichweite von Puls- und Slugtests kann nich ausgeschlossen werden, dass die ermittelten Formationseigenschaften im Wesentlichen eine bohrlochnahe Zone beschreiben." Bohrlochnahe Auflockerungszone vorhanden.	keine Hinweise
i15	5,12E-07	2,00E-07	6,26E-07	2,05E-05	8,01E-06	2,51E-05	-	-	0,1 - 0,3	"Aufgrund der geringen Reichweite von Puls- und Slugtests kann nich ausgeschlossen werden, dass die ermittelten Formationseigenschaften im Wesentlichen eine bohrlochnahe Zone beschreiben." Bohrlochnahe Auflockerungszone vorhanden oder Anlösung der Formation.	keine Hinweise
i16	5,12E-07	8,07E-08	1,00E-06	2,05E-05	3,23E-06	4,00E-05	-	-	0,1 - 0,7	"	keine Hinweise
i17	5,11E-07	2,17E-08	1,37E-06	2,05E-05	8,69E-07	5,47E-05	-	-	0,1 - 0,7	"	keine Hinweise
i18	3,56E-06	5,11E-07	8,83E-06	4,25E-04	6,11E-05	1,06E-03	-	-	0,1 - 0,5	"	keine Hinweise

Anhang 11

RQD – Feldaufnahme

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
1	2.2	2.9	70					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
2	2.9	3.4	50					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
3	3.4	3.7	30					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
4	3.7	4	30					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
5	4	4.6	60					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
6	4.6	5.8	120					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
7	5.8	6.5	70					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
8	6.5	7.6	110					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
9	7.6	8.5	90					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
10	8.5	9.8	130					kein fester Bohrkern, nur Kernbruchstücke
11	9.8	12.8	300	300	3	61	20.33	Abschnittsweise fester Kern
12	12.8	15.35	255	255	4	135	52.9	
13	15.35	16	65	65	2	50	76.9	Kern bricht entlang der Schichtung
14	16	17	100	100	1	100	100	Kern bricht sehr leicht entlang der Schichtung
15	17	18	100	100	2	90	90	
16	18	19	100	100	2	87	87	
17	19	20	100	100	4	88	88	
18	20	21	100	80	1	80	80	
19	21	21.53	53	53				

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
20	21.53	22	100	95	2	33	33	
21	22	23	100	90	3	53	53	
22	23	24	100	100	3	56	56	
23	24	25	100	100	4	41	41	
24	25	26	100	100	3	52	52	
25	26	27						
26	27	28		KV				Kernverlust
27	28	31	300	175	3	160	53.3	Zerfällt sehr leicht an tonigen Schichtflächen
28	31	33	200	200	5	139	69.5	Zerfällt sehr leicht an tonigen Schichtflächen
29	33	34.4	140	120				Zerbrochen/Aufgelockert
30	34.4	35.6	120	120		42	35	Aufgelockert
31	35.6	38.6	300	300	6	276	92	Kompakter Kern, zerfällt/zerbricht entlang der Schichtflächen
32	38.6	39.75	115	115	2	96	83	
33	39.75	42.05	230	230	6	157	62	
34	42.05	43	95	10				KV
35	43	44	100	90	1	10	10	
36	44	45	100	100				Sehr stark zerbrochen
37	45	46	100	80				Stark zerbrochen, KV, hohe SPV
38	46	46.7	70	70				

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
39	46.7	47	30	30	1	23	76.7	
40	47	47.6	60	60				Stark zerbrochen
41	47.6	48	40	25				Stark zerbrochen
42	48	48.8	80	70				
43	48.8	49.8	100	80				Totaler Spülungsverlust
44	Zement	Zement						Zement aufgebohrt + 20 cm Gebirge
45	48.7	50						
46	50	51	100	100	2	72	72	Totaler Spülungsverlust
47	51	52	100	100	2	91	91	Totaler Spülungsverlust, aufgelockert
48	52	53	100	30				
49								Fehlen in den Aufzeichnungen
50								Fehlen in den Aufzeichnungen
51								Fehlen in den Aufzeichnungen
52								Fehlen in den Aufzeichnungen
53	53 53,4	54,5 54,5	175 110	175 110	3	85	77	Zement-Überstand, RQD ohne Zement ermittelt
54	54.5	55.2	70		1	11	16	
55	55.2	56	80	80	2	30	38	
56	56	57	100	90	3	52	52	

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
57	57	58	100	90	1	12	12	
58	58	59	100	85	4	82	82	
59	59	60	100	100	3	88	88	
60	60	61	100	100	4	86	86	
61	61	62	100	100	3	95	95	
62	62	63	100	100	4	92	92	
63	63	64	100	80	4	78	78	KV von 20 cm
64	64	65	100	100	4	59	59	
65	65	66	100	100	3	95	95	
66	66	67	100	100	3	76	76	
67	67	68	100	100				RQD für KM 67 und KM 68 zusammen ermittelt
68	68	69	100	100	5	99	50	RQD für KM 67 und KM 68 zusammen ermittelt
69	69	70	100	20				KV 80 cm
70	70	71	100	80	1	45	45	KV 20 cm angenommen
71	71	71.8	80	70	2	34	43	
72	71.8	73	120	120	6	76	63	
73	73	74	100	100	3	75	75	
74	74	75	100	100	3	57	57	
75	75	76	100	100	3	81	81	

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
76	76	77	100	100	3	91	91	
77	77	78	100	100	2	90	90	
78	78	79	100	100	3	71	71	
79	79	80	100	100	1	17	17	Kern ab 79,2 kleinstückig zerfallen, dennoch vollständiger Kerngewinn
80	80	81	100	80	2	25	25	KV 20 m
81	81	82	100	100	3	90	90	
82	82	83	100	100	1	85	85	
83	83	84	100	100	2	85	85	
84	84	85	100	80	1	14	14	KV 20 cm
85	85	85.6	60	30	1	20	33	KV 30 cm
86	85.6	86	40	40				
87	86	87	100	100				zerbrochen
88	87	88	100	100	3	72	72	
89	88	89	100	100	2	94	94	
90	89	90	100	100	1	67	67	
91	90	91	100	100	4	76	76	
92	91	92	100	85	3	75	75	
93	92	92.2	20	15				Klemmer

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
94	92.2	93	80	80	2	59	74	
95	93	94	100	100	1	31	31	
96	94	95	100	100	3	80	80	
97	95	96	100	100	2	65	65	
98	96	97	100	100	1	74	74	
99	97	98	100	100	2	91	91	
100	98	99	100	100	2	81	81	
101	99	100	100	100	3	91	91	
102	100	101	100	100	2	73	73	
103	101	102	100	100	2	74	74	
104	102	103	100	100	3	92	92	
105	103	104	100	100	4	70	70	
106	104	105	100	100	1	10	10	
107	105	106	100	100	1	43	43	
108	106	107	100	100	1	100	100	Kern ist beim Entnehmen aus dem Liner zerbrochen
109	107	108	100	100	2	92	92	
110	108	109	100	100	2	90	90	
111	109	110	100	100	3	98	98	
112	110	111	100	0				KV 100% in KM 112, nachträglich Kerngewinn in KM 113

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
113	111	112	100	180	3	52	29	KV 20 cm
114	112	113	100	100	2	84	84	
115	113	114	100	100	3	98	98	
116	114	115	100	100	1	88	88	
117	115	116	100	100	3	82	82	
118	116	117	100	100	4	79	79	
119	117	118	100	100	2	58	58	
120	118	119	100	100	3	82	82	
121	119	120	100	100	3	63	63	
122	120	121	100	100	3	90	90	
123	121	122	100	100	2	80	80	
124	122	123	100	100	3	92	92	
125	123	124	100	100	2	84	84	
126	124	125	100	100	3	74	74	
127	125	126	100	100	3	85	85	
128	126	127	100	100	3	91	91	
129	127	128	100	100	3	63	63	
130	128	129	100	100	3	64	64	
131	129	129.8	80	60	1	17	21	Klemmer

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
132	129.8	130.4	60	60				Klemmer
133	130.4	131	60	60	3	39	65	Stratigrafischer Wechsel mu/so
134	131	132	100	100	5	67	67	
135	132	133	100	100	2	74	74	
136	133	133.5	50	50	2	36	72	Klemmer
137	133.5	134.5	100	100	5	94	94	
138	134.5	135	50	50	3	41	82	
139	135.0	135.7	70	70	2	54	90 ?	KK 68
140	135.7	138.0	230	230	6	202	88	KK 68 + 69
141	138.0	141.0	300	300	7	286	95	KK 69 + 70
142	141.0	143.0	200	200	6	200	100	KK 71 + 72
143	143.0	145.0	200	200	3	183	92	KK 72 + 73
144	145.0	148.0	300	300	4	284	95	KK 73 + 74
145	148.0	151.0	300	300	2	300	100	KK 75 + 76
146	151.0	154.0	300	300	3	298	99	KK 76 + 77
147	154.0	157.0	300	300	6	280	93	KK 78 + 79
148	157.0	160.0	300	300	4	296	99	KK 79 + 80
149	160.0	163.0	300	300	6	300	100	KK 81 + 82
150	163.0	166.0	300	300	9	245	82	KK 82 + 83; 4 Stücke längs gespalten

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
151	166.0	169.0	300	300	6	281	94	KK 84 + 85
152	169.0	171.7	270	270	5	270	100	KK 85 + 86
153	171.7	174.0	230	230	7	225	98	KK 86 + 87
154	174.0	177.0	300	300	4	291	97	KK 88 + 89
155	177.0	178.0	100	100	1	100	100	KK 89
156	178.0	181.0	300	300	4	270	90	KK 90 + 91
157	181.0	184.0	300	300	3	259	86	KK 91 + 92
158	184.0	187.0	300	300	7	274	91	KK 93 + 94
159	187.0	190.0	300	300	8	251	84	KK 94 + 95
160	190.0	193.0	300	300	4	??	98	KK 96 + 97
161	193.0	194.0	100	100	2	97	97	KK 97
162	194.0	196.0	200	200	3	175	87.5	KK 98
163	196.0	199.0	300	110	4	76	69	KK 99
164	199.0	200.0	100	290	6	140	48	KK 100
165	200.0	203.0	300	300	10	253	84	KK 101 + 102
166	203.0	205.0	200	200	5	182	91	KK 102 + 103
167	205.0	208.0	300	300	3	280	93	KK 103 + 104
168	208.0	211.0	300	300	5	290	97	KK 105 + 106
169	211.0	214.0	300	300	8	280	91	KK 106 + 107

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
170	214.0	217.0	300	300	10	265	88	
171	217.0	220.0	300	300	9	272	91	
172	220.0	223.0	300	300	5	290	97	KK 111 + 112
173	223.0	226.0	300	300	5	275	92	KK 112 + 113
174	226.0	229.0	300	300	3	292	97	KK 114 + 115
175	229.0	232.0	300	220	6	210	95	KK 115 + 116
176	232.0	234.0	200	310	9	260	84	KK 117
177	234.0	237.0	300	230	3	225	98	KK 118 + 119
178	237.0	240.0	300	300	9	245	82	KK 119 + 120
179	240.0	241.0	100	20	1	20		KK 120
180	241.0	243.0	200	280	5	272	97	KK 121 + 122; RQD aus KM 179 + 180
181	243.0	246.0	300	300	6	263	88	KK 122 + 123
182	246.0	248.1	210	210	5	109	52	KK 124 + 125
183	248.1	250.0	190	190	3	110	58	KK 125
184	250.0	252.5	250	280	7	175	63	KK 126 + 127
185	252.5	254.2	170	170	4	105	62	KK 127 + 128
186	254.2	255.6	140	140	3	47	34	KK 128
187	255.6	257.2	160	160	4	110	69	KK 128 + 129
188	257.2	259.0	180	190	3	41	22	KK 129 + 130

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
189	259.0	260.0		100	1	90	90	KK 130
190	260.0	263.0	300	70		70	23	KK 131 (KV 230)
191	263.0	263.5	50					
192	263.5	265.0	150	30				KV 120
193	265	266.3	130	130				KK 132
194	266.3	266.6	30	30	1	30	100	KK 132
195	266.6	268	140	140	2	140	100	KK 132+133
196	268	271	300	300	3	280	93	KK 133+134
197	271	271.8	80	80	1	80	100	KK 135
198	271.8	272.8	100	100	2	100	100	KK 135
199	272.8	274.3	150	150	1	150	100	KK 135+136
200	274.3	274.75	45	45	1	45	100	KK 136
201	274.75	275.6	85	85	3	80	94	KK 136+137
202	275.6	276.9	130	130	1	80	62	KK 137
203	276.9	277.3	40	40	1	22	55	KK 137+138
204	277.3	278.3	100	100	3	72	72	KK 138
205	278.3	281.3	300	300	5	243	81	KK 138-140
206	281.3	282.6	130	130	4	48	37	KK 140
207	282.6	285.5	290	290	9	246	85	KK 140-142

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
208	285.5	285.8	30	30	2	28	93	KK 142
209	285.8	288.8	300	300	8	276	92	KK 142+143
210	288.8	291.8	300	300	7	239	80	KK 143-145
211	291.8	294.8	300	300	5	261	87	KK 145+146
212	294.8	297.8	300	300	8	227	76	KK 146-148
213	297.8	300.5	270	270	7	192	71	KK 148+149
214	300.5	303	250	250	6	202	81	KK 149+150
215	303	305.2	220	220	10	176	80	KK 151+152
216	305.2	307.9	270	270	7	171	63	KK 152+153
217	307.9	310.5	260	260	6	257	99	KK 153+154
218	310.5	312.7	220	220	6	132	60	KK 154+155
219	312.7	314	130	130	4	85	65	KK 155+156
220	314	316.3	230	230	3	43	19	KK 156+157
221	316.3	317.9	160	160	4	59	37	KK 157+158
222	317.9	319.3	140	140	3	55	39	KK 158+159
223	319.3	320.8	150	150	6	105	70	KK 159
224	320.8	322	120	120	3	68	57	KK 159+160
225	322	325	300	300	7	230	77	KK 160+161
226	325	327.3	230	230	7	136	59	KK 162+163

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
227	327.3	330	270	270	6	128	46	KK 163+164
228	330	332	200	200	3	69	34.5	KK 164+165
229	332	335	300	300	2	255	85	KK 165+166
230	335	338	300	300	4	268	89	KK 167+168
231	338	339.8	180	180	7	123	68	KK 168+169
232	339.8	342.5	270	270	4	243	90	KK 169+170
233	342.5	345.5	300	300	11	265	88	KK 170-172
234	345.5	347	150	150	1	46	31	KK 172
235	347	349	200	200	4	65	32.5	KK 173
236	349	351	200	200	4	50	25	KK 174
237	351	353	200	200	3	37	18.5	KK 175
238	353	355	200	200	5	54	27	KK 176
239	355	358	300	300	5	295	98	KK 177+178
240	358	361	300	300	3	300	100	KK 178+179
241	361	364	300	300	4	297	99	KK 180+181
242	364	367	300	300	7	268	89	KK 181+182
243	367	370	300	300	5	276	92	KK 183+184
244	370	373	300	300	6	199	66	KK 184+185
245	373	376	300	300	7	246	82	KK 186+187

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
246	376	378.8	280	280	4	171	61	KK 187+188
247	378.8	381.8	300	300	5	239	80	KK 188-190
248	381.8	384.9	310	310	2	307	99	KK 190+191
249	384.9	388	310	310	3	279		KK 191-193
250	388	391	300	300	8	288		KK 193+194
251	391	394	300	300	1	300	100	KK 195+196
252	394	397	300	300	1	300	100	KK 196+197
253	397	400	300	300	1	300	100	KK 198+199
254	400	403	300	300	1	300	100	KK 199+200
255	403	406	300	300	1	300	100	KK 201+202
256	406	409	300	300	4	296	99	KK 202+203
257	409	412	300	300	1	300	100	KK 204+205
258	412	415	300	300	2	300	100	KK 205+206
259	415	417	200	200	3	200	100	KK 207
260	417	417.5	50	40	1	36	72	KK 208
261	406.2	409	280	280	7	280	100	KK 209+210
262	409	412	300	300	4	300	100	KK 210+211
263	412	415	300	300	3	300	100	KK 212+213
264	415	418	300	300	4	300	100	KK 213+214

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
265	418	421	300	300	2	300	100	KK 215+216
266	421	424	300	300	3	300	100	KK 216+217
267	424	427	300	300	4	300	100	KK 218+219
268	427	430	300	300	5	300	100	KK 219+220
269	430	433	300	300	3	300	100	KK 221+222
270	433	436	300	300	4	300	100	KK 222+223
271	436	439	300	300	2	300	100	KK 224+225
272	439	440	100	100	1	100	100	KK 225
273	440	442	200	200	4	175	88	KK 226
274	442	445	300	180	5	120	69	KK 227+228
275	445	446	100	100	1	100	100	KK 228
276	446	445.5	50	50	1	50	100	KK 229
277	446.5	446.8	30	150	1	150	100	KK 229
278	446.8	448.3	150	150	6	140	93	KK 229+230
279	448.3	450	170	170	6	117	69	KK 230
280	450	454	400	400	5	400	100	KK 231-232
281	454	460	600	525	17	513	87.5	KK 233+234+235
282	460	463	300	65	6	30	10	KK 236+237
283	463	464	100	100	2	100	100	KK 237

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
284	464	466	200	200	1	200	100	KK 238
285	466	472	600	600	10	600	100	KK 239+240+241
286	472	478	600	600	8	600	100	KK 242+243+244
287	478	484	600	600	8	600	100	KK 245+246+247
288	484	490	600	600	7	600	100	KK 248+249+250
289	490	496	600	600	14	600	100	KK 251+252+253
290	496	502	600	600	8	600	100	KK 254+255+256
291	502	507.5	550	550	3	550	100	KK 257+258+259
292	507.5	513	550	550	3	550	100	KK 259+260+261+262
293	513	518.2	520	520	4	520	100	KK 262+263+264
294	518.2	524.2	600	600	4	600	100	KK 265+266+267+268
295	524.2	530.2	600	600	5	600	100	KK 268+269+270+271
296	530.2	533.05	285	285	1	285	100	KK 271+272
297	533.05	539	595	595	9	570	96	KK 272+273+274+275
298	539	544	500	500	6	500	100	KK 275+276+277
299	544	549	500	500	3	500	100	KK 278+279+280
300	549	554	500	500	4	500	100	KK 280+281+282
301	554	559	500	500	5	500	100	KK 283+284+285
302	559	565	600	600	5	600	100	KK 285+286+287+288

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
303	565	571	600	600	9	513	85.5	KK 288+289+290+291
304	571	577	600	600	7	600	100	KK 291+292+293+294
305	577	583	600	600	7	591	98.5	KK 294+295+296+297
306	583	589	600	600	9	600	100	KK 297+298+299+300
307	589	595	600	600	8	600	100	KK 300+301+302+303
308	595	601	600	600	8	600	100	KK 303+304+305+306
309	601	607	600	600	6	575	95.8	KK 306+307+308+309
310	607	613	600	600	6	600	100	KK 309+310+311+312
311	613	619	600	600	7	600	100	KK 312+313+314+315
312	619	625	600	600	6	600	100	KK 315+316+317+318
313	625	629	400	400	3	400	100	KK 318+319+320
314	629	634	500	500	10	500	100	KK 320+321+322
315	634	640	600	600	7	600	100	KK 323+324+325
316	640	646	600	600	8	600	100	KK 326+327+328
317	646	652	600	600	9	600	100	KK 329+330+331
318	652	658	600	600	6	600	100	KK 332+333+334
319	658	664	600	600	6	600	100	KK 335+336+337
320	664	670	600	600	7	600	100	KK 338+339+340
321	670	676	600	600	8	600	100	KK 341+342+343

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
322	676	682	600	600	6	600	100	KK 344+345+346
323	682	688	600	600	9	600	100	KK 347+348+349
324	688	694	600	600	8	600	100	KK 350+351+352
325	694	700	600	600	7	595	99.16	KK 353+354+355
326	700	706	600	600	7	600	100	KK 356+357+358
327	706	712	600	600	8	600	100	KK 359+360+361
328	712	718	600	600	6	600	100	KK 362+363+364
329	718	724	600	600	5	600	100	KK 365+366+367
330	724	730	600	600	5	600	100	KK 368+369+370
331	730	736	600	600	7	600	100	KK 371+372+373
332	736	742	600	600	5	600	100	KK 374+375+376
333	742	745	300	300	1	300	100	KK 377+378
334	745	751	600	600	7	586	98	KK 378+379+380+381
335	751	757	600	600	3	600	100	KK 381+382+383+384
336	757	763	600	600	3	600	100	KK 384+385+386+387
337	763	769	600	600	4	600	100	KK 387+388+389+390
338	769	775	600	600	4	600	100	KK 390+391+392+393
339	775	781	600	600	4	600	100	KK 393+394+395+396
340	781	787	600	600	1	600	100	KK 396+397+398+399

Kernmarschteufe [m u. GOK]			Länge	Kern-gewinn	Kernstücke >10cm		RQD	Anmerkung
Nr.:	von:	bis:	[cm]	[cm]	Anzahl	Gesamtlänge	[%]	
341	787	793	600	600	4	600	100	KK 399+400+401+402
342	793	799	600	600	6	600	100	KK 402+403+404+405
343	799	805	600	600	1	600	100	KK 405+406+407+408
344	805	811	600	600	1	600	100	KK 408+409+410+411
345	811	817	600	600	2	600	100	KK 411+412+413+414
346	817	823	600	600	1	600	100	KK 414+415+416+417
347	823	829	600	600	2	600	100	KK 417+418+419+420
348	829	835	600	600	1	600	100	KK 420+421+422+423
349	835	841	600	600	3	600	100	KK 423+424+425+426
350	841	847	600	580	5	580	96.6	KK 426+427+428+429
351	847	853	600	600	3	591	98.5	KK 429+430+431+432
352	853	859	600	592	4	592	98.6	KK 432+433+434+435
353	859	865	600	600	8	600	100	KK 435+436+437+438
354	865	871	600	600	5	600	100	KK 438+439+440+441
355	871	877	600	600	2	600	100	KK 441+442+443+444
356	877	883	600	600	6	584	97.3	KK 444+445+446+447
357	883	889	600	600	8	600	100	KK 447+448+449+450
358	889	895	600	600	12	596	99.3	KK 450+451+452+453
359	895	900	500	500	6	500	100	KK 453+454+455

Anhang 12

Betriebsanweisungen

Bearbeitungsstand: 03/2014

Betriebsanweisung
Tätigkeiten

Betrieb: K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Arbeitsplatz/Tätigkeitsbereich: Bohrkernaufnahme Erkundungsbohrung Remlingen 15

1. ANWENDUNGSBEREICH

Diese Betriebsanweisung gilt allgemein für alle Tätigkeiten bei der Bohrkernaufnahme in potentiell gasführenden Schichten.

2. GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahren für Umwelt

Schwefelwasserstoff ist ein Umweltgift.

Gefahren für den Menschen

- Klemmen und Quetschen von Gliedmaßen etc.
- Stürzen, Stolpern, Umknicken, Fehltreten etc.
- Schneiden und Abtrennen von Gliedmaßen etc.
- Gesundheitsschädliche Gase

3. SCHUTZMASSNAHMEN UND VERHALTENSREGELN

Schutzmaßnahmen

Augenschutz: Schutzbrille permanent tragen.

Arbeitskleidung: Helm, Sicherheitsschuhe und Kleidung mit Reflektorstreifen

Handschutz: Sicherheitshandschuhe.

Sonstiges: Selbstretter immer griffbereit haben.

Verhaltensregeln

Die eingerichtete Explosionsschutzzone (siehe Lageplan) ist zu meiden.

Während des Kernziehens und der Bohrkernentnahme aus dem Kernrohr ist immer ein Gasschutzbeauftragter vor Ort und misst die Gaskonzentration.

Die Bohrkerne dürfen erst von dem Geologen entgegen genommen werden, wenn der Gasschutzbeauftrage der Bohranlage R 15 diese freigemessen hat.

Übertritt der H_2S Messwert 5 ml/m³ während des Kernziehens, findet keine Kernentnahme statt. Bei einer Konzentration unter 5 ml/m³ darf maximal 15 min am Kern gearbeitet werden. Danach ist eine Bearbeitungspause von 1 Stunde einzuhalten.

Der Geologe hat immer seinen persönlichen Selbstretter am Mann zu tragen, während der Bohrkernaufnahme trägt er ein mobiles Gasmessgerät.

Beim Sägen der Bohrkerne ist besonders auf Gasaustritte zu achten. Wenn das mobile Gasmessgerät anschlägt, unverzüglich Säge ausschalten und den Gasschutzbeauftragen und den Betriebsleiter der Bohranlage verständigen.

Im Umgang mit den Kernen ist darauf zu achten, dass keine Finger geklemmt bzw. gequetscht werden bzw keine Verletzungen durch Gesteinsstücke und Holzsplitter entstehen.

4. VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Gas Alarm

Bei Gas Alarm wird unverzüglich der Selbstretter aufgesetzt und der Bohrplatz wird entgegen der Windrichtung verlassen (siehe Windfahne). Wenn elektrische Geräte zu diesem Zeitpunkt im Einsatz sind, müssen diese vor dem Verlassen des Bohrplatzes vom Stromkreislauf genommen werden.

Bearbeitungsstand: 03/2014

Betriebsanweisung
Tätigkeiten

Betrieb: K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Arbeitsplatz/Tätigkeitsbereich: Probenahme im Kernlager der Erkundungsbohrung R15

1. ANWENDUNGSBEREICH

Diese Betriebsanweisung gilt allgemein für alle Tätigkeiten bei der Probenahme in potentiell gasführenden Schichten.

2. GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT

Gefahren für Umwelt

Schwefelwasserstoff ist ein Umweltgift.

Gefahren für den Menschen

- Klemmen, Quetschen von Gliedmaßen etc.
- Stürzen, Stolpern, Umknicken, Fehltreten etc.
- Schneiden und Abtrennen von Gliedmaßen etc.
- Gesundheitsschädliche Gase

3. SCHUTZMASSNAHMEN UND VERHALTENSREGELN

Schutzmaßnahmen

Augenschutz: Schutzbrille permanent tragen.

Arbeitskleidung: Sicherheitsschuhe

Handschutz: Sicherheitshandschuhe.

Sonstiges: Selbstretter immer griffbereit haben.

Verhaltensregeln

Die Kerne werden eingeschweißt in das Kernlager der Asse GmbH transportiert und dort gelagert.

Der Geologe hat beim Betreten des Kernlagers seinen persönlichen Selbstretter und ein mobiles Gasmessgerät mitzuführen.

Im Kernlager ist für eine ausreichende Belüftung zu sorgen. Beide Türen müssen geöffnet sein.

Muss die Schlauchfolie um die Kerne geöffnet werden, wird in die Folie ein kleiner Schlitz geschnitten und die Gaskonzentration in der Folie gemessen. Überschreitet die Konzentration den Wert von 5 mg/m³, wird der Kern zum Entgasen an die frische Luft gebracht. Nach erneutem Freimessen darf die Folie geöffnet werden.

Das Zusägen von Probematerial findet an der frischen Luft statt. Die Person die die Säge bedient, trägt ein mobiles Gasmessgerät.

Im Umgang mit den Kernen ist darauf zu achten, dass keine Finger geklemmt bzw. gequetscht werden bzw keine Verletzungen durch Gesteinsstücke und Holzsplitter entstehen.

4. VERHALTEN IM GEFAHRFALL

Gas Alarm

Wird beim Betreten des Kernlagers oder beim Öffnen eines Kerns eine erhöhte Gaskonzentration festgestellt, wird sofort der Selbstretter aufgesetzt und überprüft, ob alle elektrischen Geräte ausgeschaltet sind. Alle Türen sind zu öffnen und das Kernlager ist zu verlassen. Der Gasschutzbeauftragte der Bohrung R15 ist zu verständigen. Dieser muss das Kernlager freimessen.

Bearbeitungsstand: 03/2014

Betriebsanweisung
Gemäß § 14 GefStoffV

Betrieb: K-UTEC SALT TECHNOLOGIES

Arbeitsplatz/Tätigkeitsbereich: Bohrkernaufnahme Erkundungsbohrung Remlingen 15

1. GEFAHRSTOFFBEZEICHNUNG



Schwefelwasserstoff

Form: gasförmig
Geruch: bei geringen Konzentration nach faulen Eiern, in höheren Konzentrationen geruchslos



2. GEFAHREN FÜR MENSCH UND UMWELT



- Kann das zentrale Nervensystem, den Stoffwechsel und das Verdauungssystem schädigen.
- Längere Einwirkung niedriger Konzentrationen kann Lungenödem verursachen.
- Im Falle einer längeren Exposition können Haut- und Augenreizungen eintreten.



3. SCHUTZMASSNAHMEN UND VERHALTENSREGELN



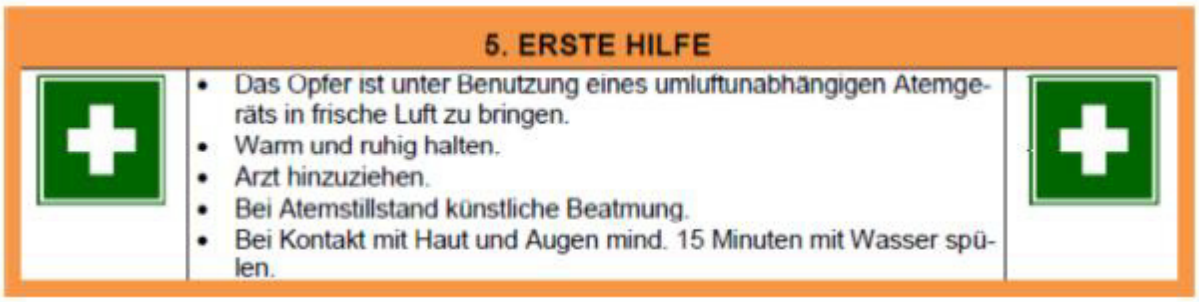
Beim Betreten des Bohrplatzes sowie bei Arbeiten auf dem Bohrplatz ist jederzeit der persönliche Selbstretter mitzuführen.
Tragen von Handschuhen bei der Arbeit mit den Bohrkernen ist Pflicht.
Das Betreten der Explosionsschutzzone ist zu vermeiden.

Es besteht Rauchverbot.



4. VERHALTEN IM GEFAHRFALL (NOTRUFNUMMER 05336 89-0)

Bei Gas Alarm wird unverzüglich der Selbstretter aufgesetzt und der Bohrplatz wird entgegen der Windrichtung verlassen (siehe Windfahne). Wenn elektrische Geräte zu diesem Zeitpunkt im Einsatz sind, müssen diese vor dem Verlassen des Bohrplatzes vom Stromkreislauf genommen werden.


5. ERSTE HILFE
• Das Opfer ist unter Benutzung eines umluftunabhängigen Atemgeräts in frische Luft zu bringen.
• Warm und ruhig halten.
• Arzt hinzuziehen.
• Bei Atemstillstand künstliche Beatmung.
• Bei Kontakt mit Haut und Augen mind. 15 Minuten mit Wasser spülen.

Betriebsanweisung

Stand: 10.04.2014

Geophysikalische Messungen mit ausschließlich seilhängenden Messeinrichtungen in der Erkundungsbohrung Remlingen 15

1. GELTUNGSBEREICH

- Geophysikalische Messungen und Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten in der Erkundungsbohrung REMLINGEN 15 an der Schachtanlage Asse II mit ausschließlich am Einzelseil geführten Messeinrichtungen
- Ausschließlich seilhängende Messeinrichtungen dürfen keine weiteren Kabel, Leitungen, Schläuche, Rohre, Gestänge, etc. zusätzlich zum Einzelseil aufweisen

2. GEFAHR FÜR MENSCH UND UMWELT



- Quetschgefahr beim Einbauen von Messeinrichtungen in das Bohrloch
- Handverletzungen beim Ab- und Aufwickeln des Seils
- Quetschgefahr, Einzug und Abreißen von Körperteilen durch rotierende Seiltrommel
- Schnittverletzungen infolge Seilriss oder hervorstehenden Drähten/Litzen
- Elektrischer Schlag
- Unkontrolliertes Austreten von Spülung (eventuell unter hohem Druck)
- Austreten von giftigen und/oder zündfähigen Gasen (eventuell unter hohem Druck)
- Brandgefahr
- Explosionsgefahr
- Gegenseitige Beeinflussung durch parallel stattfindende Arbeiten
- Umknicken und Ausrutschen durch Bohrspülung auf der Arbeitsebene

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN









- Checkliste für Messungen und Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten ist vollständig auszufüllen und von den dort genannten Personen sowie der als bvP bestellten Person vor Ort gegenzeichnen zu lassen
- Betriebsanleitungen, Bedienungs- und Wartungsanleitung des Herstellers sind zu beachten
- Zutreffende Betriebsanweisungen des Bohrplatzes sind zu beachten
- Alle anfallenden Arbeiten werden nur mit persönlicher Schutzausrüstung durchgeführt
- Fluchtretter (Parat) ist am Mann zu tragen und bei Gefahr anzulegen
- Bei Wartungsarbeiten an rotierenden Teilen sind diese festzusetzen
- Arbeitsmedizinische Untersuchungen (mind. G26.1) und Unterweisungen müssen vorliegen und gültig sein, insbesondere Sicherheitsunterweisungen für Schutzeinrichtungen wie Fluchtretter (Parat) und Sauerstoff-Selbstretter (SSR)
- Nur unterwiesenes Personal einsetzen
- Aufenthalt in unmittelbaren Gefahrenbereichen wie Seiltrommeln, Umlenkrollen, usw. ist während des laufenden Betriebes verboten
- Aufstellen und Betreiben von nicht ex-geschützten, elektrischen Betriebsmitteln, wie Messwerterfassungssystemen nur außerhalb der Explosionsschutzzone
- Vor Aufnahme der Arbeiten mit den Messeinrichtungen muss das Bohrloch hierfür freigegeben werden (schriftliche Bestätigung)
- Überprüfen der Messeinrichtungen auf sichtbare Beschädigungen an Kabeln, Seilen, Isolierungen und sonstige Beschädigungen außerhalb der Explosionsschutzzone

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN

- Funktionsprüfung von Betriebsmitteln unmittelbar vor dem Einsatz außerhalb des Bohrloches und außerhalb der Explosionsschutzzone
- Einfädeln der Messeinrichtung ins Bohrloch nur im spannungsfreien Zustand
- Eindeutige Absprachen der Durchführenden durch direkte Kommunikation während des gesamten Arbeitsablaufs
- Arbeiten am Bohrloch innerhalb der Explosionsschutzzone nur bei direkter Anwesenheit und in direkter Absprache eines Beauftragten des Bohrunternehmers, der bei Gefahr entsprechende Notfallmaßnahmen (z.B. Schließen des Preventers) einleiten kann
- Unnötige Lärmquellen nach Möglichkeit abschalten, um die Kommunikation zwischen den Bedienern von Winde, Bohrgestänge, etc. nicht zu erschweren

4. VERHALTEN BEI STÖRUNGEN / UNFÄLLEN

- Betriebsstörungen sofort an die im Umfeld Beteiligten melden
- Bei unkontrolliertem Gas- oder Spülungsaustritt Fluchtretter (Parat) oder Selbstretter (SSR) anlegen, laufende Winde sofort anhalten (Not-Aus)
- Messausrüstung (Sonde, Datenlogger, etc.) spannungsfrei setzen (Not-Aus)
- Gefahrenbereich verlassen, Schutzbereich aufsuchen
- Preventer bei Stillstand des Windenseils sofort schließen lassen (vom Bohrunternehmer oder befugter Person)
- Bei Brand: Brandbekämpfungsmaßnahmen unter Beachtung des Selbstschutzes einleiten
- Elektrische Geräte im Gefahrenbereich abschalten

5. VERHALTEN BEI UNFÄLLEN; ERSTE HILFE

- 1. Unfall an die verantwortliche Person vor Ort melden
- 2. Den Geräteträgern sind Verletzte zu melden
- 3. Erste Hilfe nur außerhalb des Gefahrenbereiches leisten

6. FOLGEN BEI NICHTBEACHTUNG

- Gesundheitliche Folgen: Schädigung der Haut und der Atemwege, Verletzungen, Tod
- Betriebliche Folgen: Ausfall oder Beschädigung von Maschinen, Anlagenteilen oder Anlagen, Störung des planmäßigen Betriebsablaufs
- Umweltbelastung: Freisetzen von Gasen in die Atmosphäre, Brandfolgen, Explosionswirkungen
- Nichtbeachtung kann zivil- und strafrechtliche Folgen haben

Betriebsanweisung Stand: 14.04.2014

Geophysikalische Messungen mit ausschließlich seilhängenden Messeinrichtungen mit radioaktiven Strahlenquellen in der Erkundungsbohrung Remlingen 15

1. GELTUNGSBEREICH

- Geophysikalische Messungen und Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten in der Erkundungsbohrung REMLINGEN 15 an der Schachtanlage Asse II mit ausschließlich am Einzelseil geführten Messeinrichtungen mit radioaktiven Strahlenquellen.
- Ausschließlich seilhängende Messeinrichtungen dürfen keine weiteren Kabel, Leitungen, Schläuche, Rohre, Gestänge, etc. zusätzlich zum Einzelseil aufweisen

2. GEFAHR FÜR MENSCH UND UMWELT



- Quetschgefahr beim Einbauen von Messeinrichtungen in das Bohrloch
- Handverletzungen beim Ab- und Aufwickeln des Seils
- Quetschgefahr, Einzug und Abreißen von Körperteilen durch rotierende Seiltrommel
- Schnittverletzungen infolge Seilriss oder hervorstehenden Drähten/Litzen
- Elektrischer Schlag
- Unkontrolliertes Austreten von Spülung (eventuell unter hohem Druck)
- Austreten von giftigen und/oder zündfähigen Gasen (eventuell unter hohem Druck)
- Brandgefahr
- Explosionsgefahr
- Gegenseitige Beeinflussung durch parallel stattfindende Arbeiten
- Umknicken und Ausrutschen durch Bohrspülung auf der Arbeitsebene
- Freisetzen von Strahlung bei Montage bzw. Demontage der Strahlenquelle an der Sonde
- Freisetzen von Strahlung beim Einführen bzw. Ausbau der Messonde

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN



- Checkliste für Messungen und Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten ist vollständig auszufüllen und von den dort genannten Personen sowie der als bvP bestellten Person vor Ort gegenzeichnen zu lassen
- Betriebsanleitungen, Bedienungs- und Wartungsanleitung des Herstellers sind zu beachten
- Zutreffende Betriebsanweisungen des Bohrplatzes sind zu beachten
- Alle anfallenden Arbeiten werden nur mit persönlicher Schutzausrüstung durchgeführt
- Fluchtretter (Parat) ist am Mann zu tragen und bei Gefahr anzulegen
- Dosimeter ist am Mann zu tragen
- Bei Wartungsarbeiten an rotierenden Teilen sind diese festzusetzen
- Arbeitsmedizinische Untersuchungen (mind. G26.1) und Unterweisungen müssen vorliegen und gültig sein, insbesondere Sicherheitsunterweisungen für Schutzeinrichtungen wie Fluchtretter (Parat) und Sauerstoff-Selbstretter (SSR)
- Gültiger Strahlenschutzpass muss vorliegen
- Nur unterwiesenes Personal einsetzen
- Aufenthalt in unmittelbaren Gefahrenbereichen wie Seiltrommeln, Umlenkrollen, usw. ist während des laufenden Betriebes verboten
- Aufstellen und Betreiben von nicht ex-geschützten, elektrischen Betriebsmitteln, wie Messwerterfassungssystemen nur außerhalb der Explosionsschutzzone
- Vor Aufnahme der Arbeiten mit den Messeinrichtungen muss das Bohrloch hierfür freigegeben werden (schriftliche Bestätigung)

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN



- Überprüfen der Messeinrichtungen auf sichtbare Beschädigungen an Kabeln, Seilen, Isolierungen und sonstige Beschädigungen außerhalb der Explosionsschutzzone
- Funktionsprüfung von Betriebsmitteln unmittelbar vor dem Einsatz außerhalb des Bohrloches und außerhalb der Explosionsschutzzone
- Einfädeln der Messeinrichtung ins Bohrloch nur im spannungsfreien Zustand
- Eindeutige Absprachen der Durchführenden durch direkte Kommunikation während des gesamten Arbeitsablaufs
- Arbeiten am Bohrloch innerhalb der Explosionsschutzzone nur bei direkter Anwesenheit und in direkter Absprache eines Beauftragten des Bohrunternehmers, der bei Gefahr entsprechende Notfallmaßnahmen (z.B. Schließen des Preventers) einleiten kann
- Unnötige Lärmquellen nach Möglichkeit abschalten, um die Kommunikation zwischen den Bedienern von Winde, Bohrgestänge, etc. nicht zu erschweren
- Absperren des Arbeitsbereiches mit Flatterband während der Messungen
- Aufenthaltszeit durch rechtzeitiges Bereitlegen aller Werkzeuge minimieren
- Arbeitsschritte mit am Sonden Ein- und Ausbau beteiligten Personen im Voraus absprechen
- Innerhalb des Gefahrenbereiches dürfen sich nur unterwiesene Personen mit amtlichen Dosimetern aufhalten

4. VERHALTEN BEI STÖRUNGEN / UNFÄLLEN

- Betriebsstörungen sofort an die im Umfeld Beteiligten melden
- Bei unkontrolliertem Gas- oder Spülungsaustritt Fluchtretter (Parat) oder Selbstretter (SSR) anlegen, laufende Winde sofort anhalten (Not-Aus)
- Messausrüstung (Sonde, Datenlogger, etc.) spannungsfrei setzen (Not-Aus)
- Gefahrenbereich verlassen, Schutzbereich aufsuchen
- Preventer bei Stillstand des Windenseils sofort schließen lassen (vom Bohrunternehmer oder befugter Person)
- Bei Brand: Brandbekämpfungsmaßnahmen unter Beachtung des Selbstschutzes einleiten
- Elektrische Geräte im Gefahrenbereich abschalten
- Der für die Messung mit radioaktiver Quelle zuständige Messingenieur meldet die aktuelle Position der Strahlenquelle an Gasschutz und Bohrfirma.
- Der für die Messung mit radioaktiver Quelle zuständige Messingenieur hält sich auf jeden Fall zur Fachberatung zur Verfügung
- Wenn die Strahlenquelle nicht risikolos aus dem Gefahrenbereich entfernt werden kann, ist der Bereich um die Strahlenquelle abzusperren und kenntlich zu machen.

5. VERHALTEN BEI UNFÄLLEN; ERSTE HILFE

- 1. Unfall an die verantwortliche Person vor Ort melden
- 2. Den Geräteträgern sind Verletzte zu melden
- 3. Erste Hilfe nur außerhalb des Gefahrenbereiches leisten

6. FOLGEN BEI NICHTBEACHTUNG

- Gesundheitliche Folgen: Schädigung der Haut und der Atemwege, Strahlenschäden, Verletzungen, Tod
- Betriebliche Folgen: Ausfall oder Beschädigung von Maschinen, Anlagenteilen oder Anlagen, Störung des planmäßigen Betriebsablaufs
- Umweltbelastung: Freisetzen von Gasen in die Atmosphäre, Brandfolgen, Explosionswirkungen, Freisetzung von Strahlung
- Nichtbeachtung kann zivil- und strafrechtliche Folgen haben

Betriebsanweisung

Stand: 10.04.2014

Messungen und Testarbeiten mit Messeinrichtungen am Gestänge und in Kombination mit Seil, Kabel, Schlauch und Flatpack in der Erkundungsbohrung Remlingen 15

1. GELTUNGSBEREICH

- Geophysikalische Messungen und hydraulische Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten in der Erkundungsbohrung REMLINGEN 15 an der Schachtanlage Asse II mit Gestänge und in Kombination mit Seilen, Kabeln, Schläuchen, Flatpack etc. an Messeinrichtungen
- Kombinierte Messeinrichtungen sind neben dem Gestänge mit weiteren Kabeln, Leitungen, Schläuchen, Rohren, Flatpack etc. ausgestattet

2. GEFAHR FÜR MENSCH UND UMWELT



- Quetschgefahr beim Einführen von Messeinrichtungen in das Bohrloch
- Handverletzungen beim Ab- und Aufwickeln von Seilen, Kabeln, Schläuchen, Flatpack, im Umgang mit Handwerkzeug zur Montage usw.
- Quetschgefahr, Einziehen und Abriss von Körperteilen durch rotierende trommelartige Antriebe
- Generelle Quetschgefahr beim Umgang mit Testgestänge
- Gefahr von Prellung und Schlag auf den Körper infolge Entschrauben und Heben des Testgestänges
- Schnittverletzungen infolge Seilriss oder hervorstehenden Drähten/Litzen
- Herab- oder umfallende Bauteile (z.B. Testgestänge)
- Elektrischer Schlag
- Unkontrolliertes Austreten von Spülung (eventuell unter hohem Druck)
- Austreten von giftigen und/oder zündfähigen Gasen (eventuell unter hohem Druck)
- Brandgefahr
- Explosionsgefahr
- Gegenseitige Beeinflussung durch parallel stattfindende Arbeiten
- Umknicken und Ausrutschen durch Verschmutzung und Bohrspülung auf der Arbeitsebene

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN



- Checkliste für Messungen und Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten ist vollständig auszufüllen und von den dort genannten Personen sowie der als bvP bestellten Person vor Ort gegenzeichnen zu lassen
- Betriebsanleitungen, Bedienungs- und Wartungsanleitung des Herstellers sind zu beachten
- Zutreffende Betriebsanweisungen des Bohrplatzes sind zu beachten
- Alle anfallenden Arbeiten werden nur mit persönlicher Schutzausrüstung durchgeführt
- Arbeitsmedizinische Untersuchungen (mind. G26.1) und Unterweisungen müssen vorliegen und gültig sein, insbesondere Sicherheitsunterweisungen für Schutzeinrichtungen wie Fluchtretter (Parat) und Sauerstoff-Selbstretter (SSR)
- Nur unterwiesenes Personal einsetzen
- Aufenthalt in unmittelbaren Gefahrenbereichen wie Seiltrommel, Umlenkrollen, bewegtem Gestänge, usw. ist während des laufenden Betriebes verboten
- Aufstellen und Betreiben von nicht ex-geschützten, elektrischen Betriebsmitteln, wie Messwerterfassungssystemen nur außerhalb der Explosionsschutzzone

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN



- Vor Aufnahme der Arbeiten mit den Messeinrichtungen muss das Bohrloch freigegeben werden (schriftliche Bestätigung)
- Überprüfen der Messeinrichtungen auf sichtbare Beschädigungen an Kabeln, Seilen, Isolierungen und sonstige Beschädigungen außerhalb der Explosionsschutzzone
- Funktionsprüfung von Betriebsmitteln unmittelbar vor dem Einsatz außerhalb des Bohrloches und außerhalb der Explosionsschutzzone
- Einfädeln der Messeinrichtung ins Bohrloch nur im spannungsfreien Zustand
- Eindeutige Absprachen der Durchführenden durch direkte Kommunikation während des gesamten Arbeitsablaufs
- Arbeiten am Bohrloch innerhalb der Explosionsschutzzone nur bei direkter Anwesenheit und in direkter Absprache eines Beauftragten des Bohrunternehmers, der bei Gefahr entsprechende Notfallmaßnahmen (z.B. Schließen des Preventers) einleiten kann
- Fluchtretter (Parat) ist am Mann zu tragen und bei Gefahr anzulegen
- Unnötige Lärmquellen nach Möglichkeit abschalten, um die Kommunikation zwischen den Bedienern von Winde, Bohrgestänge, etc. nicht zu erschweren

4. VERHALTEN BEI STÖRUNGEN / UNFÄLLEN

- Betriebsstörungen sofort an die im Umfeld Beteiligten melden
- Bei unkontrolliertem Gas- oder Spülungsaustritt Fluchtretter (Parat) oder Selbstretter (SSR) anlegen, laufende Winde sofort anhalten (Not-Aus)
- Messausrüstung (Sonde, Datenlogger, etc.) spannungsfrei setzen (Not-Aus)
- Gefahrenbereich verlassen, Schutzbereich aufsuchen
- Preventer bei Stillstand des Gestänges sofort schließen lassen (vom Bohrunternehmer oder befugter Person)
- Bei Brand: Brandbekämpfungsmaßnahmen unter Beachtung des Selbstschutzes einleiten
- Elektrische Geräte im Gefahrenbereich abschalten

5. VERHALTEN BEI UNFÄLLEN; ERSTE HILFE

- 1. Unfall an die verantwortliche Person vor Ort melden
- 2. Den Geräteträgern sind Verletzte zu melden
- 3. Erste Hilfe nur außerhalb des Gefahrenbereiches leisten

6. FOLGEN BEI NICHTBEACHTUNG

- Gesundheitliche Folgen: Schädigung der Haut und der Atemwege, Verletzungen, Tod
- Betriebliche Folgen: Ausfall oder Beschädigung von Maschinen, Anlagenteilen oder Anlagen, Störung des planmäßigen Betriebsablaufs
- Umweltbelastung: Freisetzen von Gasen in die Atmosphäre, Brandfolgen, Explosionswirkungen
- Nichtbeachtung kann zivil- und strafrechtliche Folgen haben

K-UTEC THYSSEN SCHACHTBAU DMT

Betriebsanweisung **Stand: 10.04.2014**

Verfahrensschritte als Freigabevoraussetzung
für Mess- und Testarbeiten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15

1. GELTUNGSBEREICH

- Geophysikalische Messungen und hydraulische Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten in der Erkundungsbohrung REMLINGEN 15 an der Schachtanlage Asse II seilhängend und mit Gestänge und in Kombination mit Seilen, Kabeln, Schläuchen, Flatpack etc. an Messeinrichtungen
- Gasmessungen und technische Kontrollen sind gemäß „Checkliste für bohrlochgeophysikalische Messungen in potentiell gasführenden Schichten" anzuwenden

2. GEFAHR FÜR MENSCH UND UMWELT






- Unkontrolliertes Austreten von Spülung (eventuell unter hohem Druck)
- Austreten von giftigen und/oder zündfähigen Gasen (eventuell unter hohem Druck)
- Brandgefahr
- Explosionsgefahr
- Gegenseitige Beeinflussung durch parallel stattfindende Arbeiten
- Umknicken und Ausrutschen durch Bohrspülung auf der Arbeitsebene
- Handverletzungen beim Ab- und Aufwickeln des Seils
- Quetschgefahr, Einzug und Abreißen von Körperteilen durch rotierende Seiltrommel
- Schnittverletzungen infolge Seilriss oder hervorstehenden Drähten/Litzen
- Elektrischer Schlag

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN






- Checkliste für Messungen und Testarbeiten in potentiell gasführenden Schichten ist bei jedem Messeinsatz (Geophysik, Dilatometertests, Hydraulisches Testing, Hydraulische Spannungsmessungen) vollständig auszufüllen und von den dort genannten Personen sowie der als bvP bestellten Person vor Ort gegenzeichnen zu lassen
- Informationen zum Auftreten von explosiven und toxischen Gasen in der Spülungsumgebung müssen vom Gasschutzbeauftragten eingeholt und von diesem schriftlich bestätigt werden
- Informationen zur Funktionsfähigkeit der Preventer müssen vom Bohrunternehmer eingeholt und von diesem schriftlich bestätigt werden
- Bei Nichterfüllung von Anforderungen der Checkliste sind die Verantwortlichen darauf hinzuweisen, dass die Mängel behoben werden müssen. Nach deren Behebung ist die Checkliste erneut auszufüllen.
- Betriebsanleitungen, Bedienungs- und Wartungsanleitung des Herstellers sind zu beachten
- Zutreffende Betriebsanweisungen des Bohrplatzes sind zu beachten
- Alle anfallenden Arbeiten werden nur mit persönlicher Schutzausrüstung durchgeführt
- Fluchtretter (Parat) ist am Mann zu tragen und bei Gefahr sofort anzulegen
- Bei Wartungsarbeiten an rotierenden Teilen sind diese festzusetzen
- Arbeitsmedizinische Untersuchungen (mind. G26.1) und Unterweisungen müssen vorliegen und gültig sein, insbesondere Sicherheitsunterweisungen für Schutzeinrichtungen wie Fluchtretter (Parat) und Sauerstoff-Selbstretter (SSR)
- Nur unterwiesenes Personal einsetzen

3. SCHUTZMAßNAHMEN UND VERHALTENSREGELN

- Aufenthalt in unmittelbaren Gefahrenbereichen wie Seiltrommeln, Umlenkrollen, usw. ist während des laufenden Betriebes verboten
- Unnötige Lärmquellen nach Möglichkeit abschalten, um die Kommunikation zwischen den Bedienern von Winde, Bohrgestänge, etc. nicht zu erschweren

4. VERHALTEN BEI STÖRUNGEN / UNFÄLLEN

- Betriebsstörungen sofort an die im Umfeld Beteiligten melden
- Bei unkontrolliertem Gas- oder Spülungsaustritt Fluchtretter (Parat) oder Selbstretter (SSR) anlegen, laufende Winde sofort anhalten (Not-Aus)
- Gefahrenbereich verlassen, Schutzbereich aufsuchen
- Bei Brand: Brandbekämpfungsmaßnahmen unter Beachtung des Selbstschutzes einleiten
- Elektrische Geräte im Gefahrenbereich abschalten

5. VERHALTEN BEI UNFÄLLEN; ERSTE HILFE

- 1. Unfall an die verantwortliche Person vor Ort melden
- 2. Den Geräteträgern sind Verletzte zu melden.
- 3. Erste Hilfe nur außerhalb des Gefahrenbereiches leisten

6. FOLGEN BEI NICHTBEACHTUNG

- Gesundheitliche Folgen: Schädigung der Haut und der Atemwege, Verletzungen, Tod
- Betriebliche Folgen: Ausfall oder Beschädigung von Maschinen, Anlagenteilen oder Anlagen, Störung des planmäßigen Betriebsablaufs
- Umweltbelastung: Freisetzen von Gasen in die Atmosphäre, Brandfolgen, Explosionswirkungen
- Nichtbeachtung kann zivil- und strafrechtliche Folgen haben