

Geologische Analyse von Bohrlochdaten im Solfeld Grosszinggibrunn 2 sowie Vergleich mit Rütihard (S 156 & S 157) und Sulz 1 (S 84)



März 2022

Titelbild:

Deformation durch Kompressionstektonik in den kanadischen Rocky Mountains (Alberta) über der Uyuni Salzpfanne in Bolivien

Autor:

Dip. Geol. Lukasz Gregorczyk
Gregorczyk Geologie (G-Geologie)
Wegenstraße 2 / CH-9436 Balgach
+41 (0)76 644 09 89
lukasz@g-geologie.ch

QC und Berichtkorrektur: Johannes Pietsch (Schweizer Salinen AG)

Kontaktpersonen in der Schweizer Salinen AG waren Gabor Fuchs und Johannes Pietsch

Alle Teufen im Bericht sind in **Log Tiefe in Meter MD (mMD = Measured Depth)**

Datum vorläufiger Bericht: 07.02.2022

Datum finaler Bericht: 28.03.2022

Kurzfassung

Optische und akustische Bohrlochwandabbildungen von zehn Produktionsbohrungen (S 141 – S 150) aus dem Solfeld Grosszinggibrunn 2 (GZ2) wurden strukturell und lithofaziell untersucht. Diese deckten die Unteren Salzschieben ab und hatten eine Gesamtlänge von 477 m. Die Datenqualität war gut bis ausgezeichnet und bestens für eine detaillierte Analyse geeignet. Zusätzlich standen 360 m Bohrkern- und Bohrkernfotos aus dem Hangenden des Salzlagers zur Verfügung, welche kinematisch und lithofaziell ausgewertet wurden. Die gewonnenen Resultate wurden mit Rütihard Bohrungen (S 156 und S 157) sowie mit Sulz 1 Bohrung (S 84) verglichen und liefern einen detaillierten Einblick in den geologischen Aufbau und die Genese des Adlerhofgewölbes.

Aus struktureller Sicht bestätigen die GZ2 Bohrungen die Befunde aus Rütihard und sind analog zur S 84 (Sulz 1). Alle Bohrungen durchteuften eine komplexe und lokal stark verschuppte Antiklinalstruktur des Muschelkalks. Diese streicht WNW-OSO bis NW-SO und hat $1^\circ - 90^\circ$ SSW- bzw. NNO-einfallende Faltschenkel. Auf der Rütihard taucht sie mit 12° bis 13° OSO- bis SO ab, zeigt aber in GZ2 keine bevorzugte Abtauchrichtung und flachere Abtauchwinkel. Die interpretierten Dip Muster sind von der Position der jeweiligen Bohrung innerhalb der Faltenstruktur abhängig und spiegeln entweder die Geometrie der Faltschenkel oder des Faltscharniers wider. Jedoch die S 146 liegt außerhalb der Antiklinale in einem flacheren Bereich. Die interne Deformationsmuster wird von rheologischer Schichtung und von spezifischen, mechanischen Gesteinseigenschaften (spröd/viskos) kontrolliert. Die Falte 1. Ordnung besteht aus harten Lithologien (Schinzach Fm und Dolomitzone), welche einheitlich mit $\sim 10^\circ - 40^\circ$ NNO, ONO und SW verkippt und ausschließlich spröd-tektonisch durch $\sim 60^\circ - 90^\circ$ einfallende rheintalische Strukturen deformiert sind. Diese befinden sich im Hangenden einer ~ 7 bis 21 m mächtigen und S-einfallenden spröden Scherzone, welche die rezente Gebirgsspannung vom blattverschiebend/ abschiebend im Hangenden, auf ein kompressives tektonisches Regime im Liegenden entkoppelt. Das Letztere bildet den Faltenkern und besteht aus leicht verformbaren (duktilen) Sedimenten der Oberen Sulfatzone und dem Salzlager. Diese Abfolgen sind stark deformiert und repräsentieren parasitäre Falten (2. Ordnung) mit WNW-OSO bis NW-SO Streichen und zahlreichen (sub-)parallel orientierten, kompressiven tektonischen Brüchen auf. Dieser Trend dominiert im Salzlager und ist sub-parallel zum Adlerhofgewölbe und zum Jurabogen und ist auf Deckschicht-Tektonik (thin-skinned tectonics) der Jura Faltung im späten Miozän bis Pliozän zurückzuführen. Die Falten und Überschiebungen entwickelten sich im Hangenden eines flachen, basalen Abscherhorizontes im Salzlager durchs Voranschreiten des Überschiebungssystems (thrust-propagation folding) und einer \sim N-gerichteten Verkürzung. Dieser Abscherhorizont entkoppelt erneut die Gebirgsspannung im Profil und hat ein flaches ($1^\circ - 20^\circ$) Salzlager (plus die Untere Sulfatzone) im Liegenden zufolge. Diese basale Salzlagersektion hat eine Mächtigkeit zwischen ~ 5 m (S 146) und 25 m (S 157) und ist mit reinstem Steinsalz mit >80 Vol.% Halitgehalt ohne nennenswerte Verunreinigungenlagen assoziiert. Die tektonische Zweiteilung des Salzlagers durch Stress-Entkoppelung, bereichsweise Steillagerung der Schichten im deformierten Intervall, komplexe und stark vordefinierte Faltengeometrie und nicht zuletzt spröde tektonische Trennflächen und assoziierte Störzonen sind Kontrollfaktoren, welche den Salzabbau und eine möglich unkontrollierte Kavernengeometrie beeinflussen können: (1) Im deformierten Salzlager könnten diese Strukturen als Barrieren und/oder als Migrationspfade der gelösten Sole ein präferenzielles Wachstum und erratische Kavernenformen erzwingen, die mit der Zeit zur Querlaugung führen können. (2) Dagegen im basalen, flach gelagerten Salzlager können sich Kavernen natürlich und ungestört radial entwickeln und so besser kontrolliert werden. Die höchsten Salzmächtigkeiten sind in der axialen Antiklinalzone (~ 55 m - ~ 61 m) angetroffen und nehmen nach S und N ab. Dies kann auf Verdickung des Salzes durch Kompressionstektonik und Halokinesis zurückgeführt werden.

Alternativ können syn-sedimentäre Tektonik und differenzielle Subsidenz zum bereits initial mächtigen Salzlager beigetragen haben.

Spröde tektonische Strukturen (Störungen/Klüfte) und assoziierte Störzonen stellen neben duktiler Verfallung einen signifikanten Deformationsmechanismus in allen Bohrungen dar. Sie kontrollieren das Schichteinfallen und verursachen meist sprunghafte Änderung im Dip Muster. Tektonische Trennflächen zeigen eine unregelmäßige Verteilung und bilden lokale, komplexe und stark zerklüftete Bruchzonen. Diese stellen natürliche Schwächezonen im Gebirge repräsentieren und sind mit hoher P32-Strukturichte assoziiert. Insgesamt wurden im Salzlager der GZ2 Bohrungen 20 potenzielle Störzonen interpretiert, welche in Mächtigkeit stark variieren. Im Salzlager ist ihr Auftreten durch rheologische Schichtung kontrolliert, wodurch sie fast ausschließlich in Ton-, Mergel-, und Anhydritlagen vorkommen und an ihren Schichtgrenzen terminieren (bedding-confined fractures). Dort zeigen sie z.T. deutliche Aperturen (bis 3 cm), sind aber meist mit Halit mineralisiert. Dieser kann jedoch bei Solelaugung aus den Trennflächen gelöst werden und so potenzielle offene (hydraulische) Verbindungen für Fluide und Gase schaffen und zur möglichen Kommunikation zwischen den Salzkavernen beitragen. Die meisten Störungen und Klüfte zeigen eine konsistente WNW-OSO bis NW-SO Orientierung mit flach bis sub-vertikal ($5^\circ - 85^\circ$), überwiegend S- bis SSW-einfallenden Flächen. Diese sind Schichtparallel und (sub-)parallel zur Antiklinalachse orientiert und repräsentieren syn-kinematische Bruchflächen. Die älteren, (Eozän bis Oligozän) rheintalischen (SSW-NNO Streichen) Bruchstrukturen sind im Salzlager stark unterrepräsentiert. Dies kann auf starke Überprägung durch die jüngere Kompressionstektonik zurückgeführt werden. Jedoch gibt es Indizien für NNO-verlaufende, tektonische Brüche, die die Rütihard und GZ2 Solfeld durchtrennen. Im zentralen Bereich des GZ2 Solfeldes ist dieser durch strukturreiche Profile, Schichtlücken und vertikale Schichtversätze repräsentiert. Es gibt keine klaren Indizien für eine tektonische Durchtrennung zwischen Rütihard und GZ2. Die S 144 ist die strukturreichste und tektonisch am stärksten beanspruchte Bohrung im Untersuchungsgebiet und weist die höchste P32-Strukturichte von $2.6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ auf. Sie durchteufte möglicherweise eine $55^\circ - 90^\circ$ WNW-OSO orientierte, aufschiebende Bruchzone. Jedoch das großräumige, tektonische Bild sollte mit Seismik verifiziert werden.

Die Kinematische Bohrkernanalyse der Rütihard und GZ2 Bohrungen bestätigt ein dominantes, kompressives Stressregime im deformierten Salzlager wie auch in der Oberen Sulfatzone an beiden Bohrlokalationen.

Im Rahmen der lithofaziellen Analyse wurden 25 Lithofaziestypen (LFT) auf den optischen Bohrlochscans und Kernfotos ausgeschieden, welche ein breites Spektrum an sedimentologischen Details abdecken. Diese Analyse liefert neben dem genauen detaillierten Sedimentaufbau und Faziesverteilung in jedem Profil, insbesondere die genaue Position und Mächtigkeiten der reinen Salzhorizonte, welche besonders abbauwürdig sind. In Kombination mit Strukturresultaten können so mögliche Blanket-Horizonte sorgfältig ausgewählt werden bzw. mögliche instabile Horizonte (deformierte und stark zerklüftete Ton- und Mergellagen, tektonische Störungsgesteine oder Brekzien) identifiziert werden. Die sedimentologische Korrelation ist durch die strukturelle Komplexität stark erschwert. Jedoch gibt es Indizien, dass das Untersuchungsgebiet in der Mittleren Trias (Anisian) in ~S-N-verlaufende Mini-Becken (Bruchschollen) zergliedert war und durch syn-sedimentäre (extensive) Tektonik kontrolliert wurde.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	II
Inhaltsverzeichnis	V
Beilagen	VII
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	XIV
Appendix	XV
1 Einleitung und geologischer Rahmen	17
1.1 Einleitung und Zielsetzung.....	17
1.2 Geologischer Rahmen.....	17
2 Datengrundlage und Methodik	19
2.1 Datengrundlage.....	19
2.2 Daten Aufbereitung und Qualität.....	20
2.3 Workflow und Klassifikation der Strukturtypen	23
2.3.1 Methoden der Log Analyse	23
2.3.2 Klassifikation der Strukturtypen.....	25
3 Struktur- und Lithofaziesanalyse	28
3.1 Strukturauswertung.....	28
3.1.1 S 141	28
3.1.2 S 142	40
3.1.3 S 143	51
3.1.4 S 144	62
3.1.5 S 145	75
3.1.6 S 146	87
3.1.7 S 147	97
3.1.8 S 148	109
3.1.9 S 149	124
3.1.10 S 150	136
3.2 Kinematische Analyse der Bohrkerne	149
3.3 Lithofaziesanalyse und Lithofaziesschema	152
3.3.1 Kalkstein laminiert bis dünn geschichtet	155
3.3.2 Kalkstein mittel bis grob gebankt	156
3.3.3 Kalkstein porös, mittel bis grob gebankt	157
3.3.4 Dolomit laminiert bis dünn geschichtet	158

3.3.5	Dolomit mittel bis grob gebankt	159
3.3.6	Dolomit Gips führend	160
3.3.7	Anhydrit knollig, chicken-wire	161
3.3.8	Anhydrit massiv	163
3.3.9	Anhydrit deformiert	164
3.3.10	Anhydrit laminiert bis dünn geschichtet	165
3.3.11	Halit grobkristallin, deformiert, stark verunreinigt (60-0 Vol.% Halit)	166
3.3.12	Halit pur (100-80 Vol.% Halit)	167
3.3.13	Halit wenig verunreinigt (80-60 Vol.% Halit)	170
3.3.14	Halit stark verunreinigt (60-0 Vol.% Halit)	170
3.3.15	Tonstein zerklüftet bis brekziiert	172
3.3.16	Tonstein laminiert bis dünn geschichtet	173
3.3.17	Tonstein massiv	174
3.3.18	Tonstein deformiert	174
3.3.19	Mergel laminiert bis dünn geschichtet	175
3.3.20	Dolomitischer Mergel / Tonstein, dünn bis gut gebankt	176
3.3.21	Komponenten-gestützte Brekzie (Packbreccia)	176
3.3.22	Matrix-gestützte Brekzie, tonreiche Matrix (Floatbreccia)	179
3.3.23	Matrix-gestützte Brekzie, halitreiche Matrix (Floatbreccia)	180
3.3.24	Tektonisches Störungsgestein, stark zerklüftet	182
3.3.25	Bohrkern mechanisch zerbrochen	183
4	Zusammenfassung, Vergleich und Interpretation	184
4.1	Grosszinggibrunn 2 und Rütihard	184
4.1.1	Strukturgeologie	184
4.1.2	Sedimentaufbau und Korrelation	198
4.2	Strukturvergleich S 84 (Sulz 1) mit Rütihard und Grosszinggibrunn 2	200
4.3	Implikationen für den Salzabbau	202
5	Geologische Synthese	205
6.	RQD Index	209
7	Literaturverzeichnis	211
Appendix	213
Appendix 1:	Schichteinfallen Mittelwerte S 141 – S 150	213
Appendix 2:	Liste mit kinematischen Indikatoren	223

Beilagen

Beilagen 1a-10a: Komposite Darstellung mit Resultaten zur Strukturauswertung und Lithofaziesanalyse inkl. Bohrloch Orientierung, Kaliber, Teufe (mMD Log), Lithostratigraphie, GR in CPS wie auch in API Werten, Lithofazies-Typen Tops, optische und akustische Bohrlochwandabbildungen, Lithofazies Mnemonik und Lithologie, Verwitterungsprofil mit GR, planare Kernfotos, alle gepickten Dip Daten, Zonierungen für Störzonen, Azimut Rose für Schichteinfallen, Dip Daten im N-S und W-E Schnitt, Strukturdip Mittelwerte, Deformationsachsen, Klufddichte Kurven (P32) und Azimut Rosen für Störungen und Klüfte. Skala 1:100.

Beilagen 1b-10b: Optische und akustische Bohrlochwandabbildungen inkl. Bohrloch Orientierung, Kaliber, Teufe (mMD Log), Lithostratigraphie, GR in CPS wie auch in API Werten, planare Kernfotos, Lithofazies-Typen Tops, optische und akustische Bohrlochwandabbildungen, Lithofazies Mnemonik und Lithologie, Verwitterungsprofil mit GR, alle gepickten Dip Daten, Zonierungen für Störzonen. Skala 1:10.

Beilagen 11: Tektonische Übersichtskarte für Rütihard und Grosszinggibrunn 2 mit der Lage der Bohrungen und der interpretierten tektonischen Strukturen. Skala 1:13.000.

Beilage 12: W-O Strukturkorrelationsprofil zwischen Rütihard und Grosszinggibrunn 2. Vertikale Skala 1:300.

Beilage 13: S-N Strukturkorrelationsprofil für Grosszinggibrunn 2. Vertikale Skala 1:300.

Beilage 14: W-O Lithokorrelation für Grosszinggibrunn 2. Vertikale Skala 1:300.

Beilage 15: S-N Lithokorrelation für Grosszinggibrunn 2. Vertikale Skala 1:300.

Beilage 16: S-N Lithokorrelation für Grosszinggibrunn 2. Vertikale Skala 1:300.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Orthofotokarte mit der Lage der untersuchten Bohrungen	18
Abb. 2:	Qualitätsvergleich zwischen primärem (links) und prozessiertem (rechts) OPTV (S 143)	21
Abb. 3:	Effekt der Datenaufbereitung auf OPTV Qualität und Interpretationspotential (S 143)	22
Abb. 4:	Statisches (links) und dynamisches (rechts) OPTV mit ausgezeichneter Qualität (S 150)	23
Abb. 5:	Berechnung der volumetrischen Strukturdichte (P32-Kurve; Quelle NAB 19-12).	25
Abb. 6:	Symbole für Strukturtypen, Zonierung und kinematische Analyse in GZ2	26
Abb. 7:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 141	29
Abb. 8:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 141	30
Abb. 9:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 141	31

Abb. 10:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 141	32
Abb. 11:	Beispiel für Zungenfalten (sheath folds) in USS (S 141)	34
Abb. 12:	Berechnung der Faltenachse in USS zw. 312.00 – 314.10 m (S 141)	35
Abb. 13:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 141	36
Abb. 14:	Beispiel für eine flache Überschiebung in USS bei 325.80 m (S 141)	37
Abb. 15:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 141	38
Abb. 16:	Übersichtsprofil der S 141 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	39
Abb. 17:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 142	40
Abb. 18:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 142	41
Abb. 19:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 142	42
Abb. 20:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 142	43
Abb. 21:	Graduelle Änderung im Struktur dip zwischen 356.20 und 360.20 m in S 142	44
Abb. 22:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 142	45
Abb. 23:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen in S 142	47
Abb. 24:	Steile (70°) ONO-einfallende Abschiebung (braun) bei 324.43 m	48
Abb. 25:	Steile (60°) NNW-einfallende Überschiebung bei 336.75 m	48
Abb. 26:	Übersichtsprofil der S 142 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	50
Abb. 27:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 143	52
Abb. 28:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 143	53
Abb. 29:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 143	54
Abb. 30:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 143	55
Abb. 31:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 143	56
Abb. 32:	Flache NNO-einfallende Überschiebung bei 346.58 m (S 143)	57
Abb. 33:	Störzone (Störungsgestein) in S 143 bei 328.60 – 330.00 m	58
Abb. 34:	Scherzone (Störungsgestein) mit steilem Bedding in S 143 bei 341.60 – 343.30 m	59
Abb. 35:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 143	60
Abb. 36:	Übersichtsprofil der S 143 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	61
Abb. 37:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 144	62
Abb. 38:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 144	63

Abb. 39:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 144.....	64
Abb. 40:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 144.....	65
Abb. 41:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 144.....	66
Abb. 42:	Prominente und mineralisierte Aufschiebung im Salzlager bei 367.78 m (S 144).	68
Abb. 43:	Prominente Störzone im Salzlager zwischen 360.50 – 363.20 m (S 144).....	69
Abb. 44:	Spröde Scherzone (Störungsgestein) bei 331.90 – 332.80 m (S 144).....	70
Abb. 45:	Teilbereich der spröden Scherzone in Übergangsschichten zwischen 262.00 und 264.60 m. Diese insgesamt 21.41 m mächtige Bruchzone (250.84 – 272.25 m) ist durch teilweise vollständig inkohärente und kataklastische Bohrkernre repräsentiert. Die zahlreichen Schicht-parallelen Störungsflächen und Kernbruchstücke sind üblicherweise mit Spiegelharnischen assoziiert.	71
Abb. 46:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 144.....	72
Abb. 47:	Übersichtsprofil der S 144 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	74
Abb. 48:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 145	76
Abb. 49:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 145.....	77
Abb. 50:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 145.....	78
Abb. 51:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 145.....	79
Abb. 52:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 145.....	80
Abb. 53:	Stark verfaltetes Intervall mit flachen Überschiebungen bei 339.25 m und 339.32 m (S 145)	82
Abb. 54:	Komplexe tektonische Störzone in S 145 zwischen 350.10 – 351.35 m.....	83
Abb. 55:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 145.....	84
Abb. 56:	Übersichtsprofil der S 145 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	86
Abb. 57:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 146	87
Abb. 58:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 146.....	88
Abb. 59:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 146.....	89
Abb. 60:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 146.....	90
Abb. 61:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 146.....	91
Abb. 62:	Diskrete potenziell offene tektonische Brüche bei 356.26 m und 356.35 m in S 146	92
Abb. 63:	Spröde Deformation in einer Störzone bei 345.70 – 347.30 m (S 146).....	93
Abb. 64:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 146.....	94

Abb. 65:	Übersichtsprofil der S 146 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	96
Abb. 66:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 147	98
Abb. 67:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 147.....	99
Abb. 68:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 147	100
Abb. 69:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 147	101
Abb. 70:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 147.....	102
Abb. 71:	Beispiel für eine 35° SW-einfallende Überschiebung bei 403.15 m	104
Abb. 72:	Beispiel einer komplexen Scherzone in S 147.....	105
Abb. 73:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 147	106
Abb. 74:	Übersichtsprofil der S 147 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	108
Abb. 75:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 148 ..	110
Abb. 76:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 148.....	111
Abb. 77:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 148.....	112
Abb. 78:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 148	113
Abb. 79:	Berechnung einer tektonischen Deformationsachse (TEC) im Hangenden der Abschiebung bei 412.05 m	114
Abb. 80:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 148.....	115
Abb. 81:	Mineralisierte Störung in der Bänkerjoch Fm bei 202.25 m (S 148).....	116
Abb. 82:	Beispiel für eine N-S streichende Störung in Unteren Salzschieben bei 432.08 m (S 148)	117
Abb. 83:	Deformiertes Bedding durch Schleppung (fault drag) bei 412.05 m (S 148).....	118
Abb. 84:	Potentielle Störzonen (gelb) im gekernten Intervall der Ob. Anhydritschichten bei 342.20 – 344.50 m. Mögliche Rutschharnische auf Kernbruchstücken sind mit gelben Pfeilen markiert.....	119
Abb. 85:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 148	120
Abb. 86:	Übersichtsprofil der S 148 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	123
Abb. 87:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 149 ..	124
Abb. 88:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 149.....	125
Abb. 89:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 149	126
Abb. 90:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 149	127
Abb. 91:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 149.....	128

Abb. 92:	Stark deformierte Ton-Salz Abfolge bei 386.00 – 388.60 m (S 149).....	130
Abb. 93:	Potentielle Störzone bei 383.20 – 385.00 m in S 149.....	131
Abb. 94:	Aufschiebung bei 381.42 m und verheilte Kluft bei 381.84 m im OPTV (S 149)	132
Abb. 95:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 149.....	133
Abb. 96:	Übersichtsprofil der S 149 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt	135
Abb. 97:	Tonstein-Anhydrit Mixlithologie und Dip Picking bei 358.70 – 360.00 m (S 150)	137
Abb. 98:	Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 150..	138
Abb. 99:	Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 150.....	139
Abb. 100:	Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 150.....	140
Abb. 101:	Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 150.....	141
Abb. 102:	Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 150.....	142
Abb. 103:	Potenzielle Störzone bei 356.70 – 357.40 m (S 150.....)	144
Abb. 104:	Störzone im tonreichen Intervall bei 377.70 – 379.10 m (S 150).....	145
Abb. 105:	Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 150	146
Abb. 106:	Übersichtsprofil der S 150 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNO Strukturquerschnitt	148
Abb. 107:	(1) Orientierung des Bohrkerns im Kernständer relativ zur geographischen Nordrichtung für die kinematische Analyse. (2) Überschiebung mit Rutschharnisch und Tonfilm, (3) dextrale Blattverschiebung mit Gips Mineralisation sowie (4) Abschienung mit sichtbaren Schichtversatz und Gipsfüllung (gelbe Pfeile). Der Schersinn ist mit roten Pfeilen markiert.	150
Abb. 108:	(Oben) Stereogramm mit allen ermittelten Lineationen. (Unten) Abtauchrichtungen (links) und Abtauchwinkel (rechts) von Lineationen entlang tektonischer Störungsflächen.	151
Abb. 109:	Lithofaziesschema mit Symbolen und Farben aller Lithofaziestypen (LFT)	154
Abb. 110:	Kalkstein fein laminiert (S 144)	155
Abb. 111:	Kalkstein grob gebankt oberhalb 212.56 m und porös unterhalb 212.56 m (S 144)	156
Abb. 112:	Kalkstein porös, grob gebankt (S 144)	157
Abb. 113:	Dolomit laminiert (DolLT) unterhalb 269.65 m und dolomitischer Mergel/Ton (DolMCB) oberhalb (S 144).....	158
Abb. 114:	Dolomit grob gebankt in S 144.....	159
Abb. 115:	Dolomit mit Gips als Kluftfüllung in S 146	160
Abb. 116:	Anhydrit knollig mit chicken-wire Strukturen im OPTV (S 142)	161
Abb. 117:	Anhydrit mit Knollen und chicken-wire Strukturen im Bohrkern (S 149).....	162

Abb. 118:	Anhydrit massiv in S 145	163
Abb. 119:	Anhydrit deformiert (AnhdDef) und laminiert (AnhdLT) im Bohrkern der S 150	164
Abb. 120:	Halit grobkristallin und stark verunreinigt (60-0%). Bohrung S 144	166
Abb. 121:	Reines Steinsalz oberhalb 339.75 m und wenig verunreinigter Steinsalz unterhalb (S 142)	167
Abb. 122:	Reines Steinsalz oberhalb 359.83 m und stark verunreinigtes Salz drunter (S 145)	168
Abb. 123:	Reines Steinsalz im Salzdach der S 144	169
Abb. 124:	Steinsalz stark verunreinigt mit fein laminierten Anhydrit sheath folds in S 141	171
Abb. 125:	Steinsalz stark verunreinigt in S 144	171
Abb. 126:	Zerklüfteter Ton- bzw. Mergelstein (olivgrün) mit Salzstein Zwischenlagen (S 149)	172
Abb. 127:	Laminierter (ClstLT) und massiver (ClstM) Tonstein (beide olivgrün) in S 150.	173
Abb. 128:	Deformierter Tonstein in S 150	174
Abb. 129:	Mergelstein laminiert in Vechsellagerung mit Anhydritlagen im Bohrkern der S 150	175
Abb. 130:	Monomikte Komponenten-gestützte Brekzie in S 144 zw. 292-38 – 292.81 m...	177
Abb. 131:	Polymikte Komponenten-gestützte Brekzie im Bohrkern (S 149)	178
Abb. 132:	Polymikte Matrix-gestützte Brekzie in tonreicher Matrix (S 149)	179
Abb. 133:	Matrix-gestützte Brekzie (halitreiche Matrix) mit Anhydrit Klaster in S 149.....	180
Abb. 134:	Matrix-gestützte Brekzie (halitreiche Matrix) mit zerbrochenen Tonstein Brocken (S 142)	181
Abb. 135:	Stark zerklüftetes, sprödes Ton-Mergelstein (Störungszone) in S 144.....	182
Abb. 136:	Mechanisch zerbrochener, inkohäsiver Bohrkern in S 144	183
Abb. 137:	Stereogram mit Azimut Rose für Schichteinfallen in Rütihard und GZ2.....	186
Abb. 138:	Konzeptuelles geologisches Faltenmodell für Grosszinggibrunn 2 und Rütihard.	188
Abb. 139:	Stereogram mit der Orientierung aller Deformationsachsen in Rütihard und GZ2	189
Abb. 140:	Punktogramm mit berechneten P32-Strukturdichten im Salzlager	191
Abb. 141:	W-E (oben) und S-N (unten) Korrelation der Störzonen und P32-Strukturdichte im Salzlager	192
Abb. 142:	Stereogram mit Konturen und Streichrose für alle Störungen in Rütihard und GZ2	193
Abb. 143:	Stereogram mit Konturen und Streichrose für alle Klüfte in Rütihard und GZ2..	194
Abb. 144:	Tektonische Karte mit interpretierten Strukturelementen.....	196
Abb. 145:	Vergleich zwischen Arndt (2017) Strukturmodell und den in dieser Studie interpretierten Strukturelementen aus Log Daten.....	197
Abb. 146:	Korrelationsschema für das Salzlager in GZ2	198

Abb. 147:	Beispiel für Schlüsselstrukturen aus S 84 mit Rütihard und Grosszinggibrunn 2	201
Abb. 148:	Konzeptuelles Model für Salzkaverngeometrie und Entwicklung im Soldfeld GZ2	204
Abb. 149:	Überblick der geologischen Entwicklung der Nordschweiz (Schichtfolge und Tektonik) mit der kinematischen Entwicklung im Untersuchungsgebiet modifiziert nach NAGRA 2014.....	208
Abb. 150:	RQD-Werte basierend auf Bohrkeranalyse (S 156 Rütihard) und aus optischer Kernfotoanalyse der GZ2 Bohrungen.....	209
Abb. 151:	Vergleich der RQD-Werte aus Kern- und Logdaten (Strukturdichte) für S 156..	210

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lithostratigraphie mit Tiefen der Schichtgrenzen (Top) der untersuchten Bohrungen	18
Tabelle 2: Relevante (Bohr-)Parameter der interpretierten Bohrungen.....	19
Tabelle 3: Verfügbare Bohrlochdaten der GZ2 Bohrungen	19
Tabelle 4: Werte für Teufen Korrektur der GR Logs und Kernfotos zu OPTV Daten.....	20
Tabelle 5: Klassifikation der Strukturtypen.....	27
Tabelle 6: Orientierung von Deformationsachsen in S 141	33
Tabelle 7: Orientierung von Deformationsachsen in S 142.....	46
Tabelle 8: Orientierung von Deformationsachsen in S 143.....	56
Tabelle 9: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 143	60
Tabelle 10: Orientierung von Deformationsachsen in S 144.....	67
Tabelle 11: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 144	73
Tabelle 12: Orientierung von Deformationsachsen in S 145.....	81
Tabelle 13: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 145	84
Tabelle 14: Orientierung von Deformationsachsen in S 146.....	91
Tabelle 15: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 146	94
Tabelle 16: Orientierung von Deformationsachsen in S 147.....	103
Tabelle 17: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 147	106
Tabelle 18: Orientierung von Deformationsachsen in S 148.....	115
Tabelle 19: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 148	121
Tabelle 20: Orientierung von Deformationsachsen in S 149.....	128
Tabelle 21: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 149	133
Tabelle 22: Orientierung von Deformationsachsen in S 150.....	142
Tabelle 23: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 150	146
Tabelle 24: Liste ausgelegter Bohrkerne für kinematische Analyse.....	149
Tabelle 25: Zusammenfassung relevanter Strukturparameter für das Salzlager der GZ2 Bohrungen	187

Appendix

Appendix 1: Vektor Mittelwerte für Schichteneinfallen S 141 – S 150

Appendix 2: Liste mit kinematischen Indikatoren

Digitale Resultate

- Bericht und Beilagen als PDF
- Alle manuell gepickten Strukturen als Excel
- Strukturdip Mittelwerte als Excel
- Orientierung von Deformationsachsen als Excel
- Liste aller Stör-/Scherzonen als Excel

Abkürzungen und Legende der Bohrlochdaten (Logs)

- OPTV Optischer Bohrlochscanner
- BHTV Akustischer Bohrlochscanner
- HAZI / DEV Bohrlochverlauf [°]
- KALIBER Kaliber Daten [mm]
- GAMMA Natürliche Gamma Strahlung in Count Per Second [CPS]
- GR_API Natürliche Gamma Strahlung kalibriert auf API Standard [API]
- P32_All Vol. Strukturichte aller Klüfte und Störungen pro Meter [m²/m³]

1 Einleitung und geologischer Rahmen

1.1 Einleitung und Zielsetzung

In der zweiten Erschliessungsetappe des Bohrfeldes Grosszinggibrunn 2 (GZ2) von 2011 bis 2013 wurden insgesamt zehn Tiefbohrungen (S 141 – S 150) abgeteuft. Im Bereich des Salzlagers und in der Oberen Sulfatzone wurden zahlreiche geophysikalische Messungen und weitere Bohrlochdaten gewonnen (siehe Kap. 2).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist alle relevanten Informationen zur Strukturgeologie, Sedimentologie und Lithostratigraphie sowie zur Salzzreinheit der Unteren Salzschiechten zu extrahieren. Der Bericht enthält Beobachtungen zur Geometrie des Schichteinfallens, eine detaillierte Charakterisierung aller strukturellen Diskontinuitäten wie Störungen und Klüfte hinsichtlich ihrer Art, Mineralisierung, Verteilung, Dichte, Orientierung und Genese, wie auch eine detaillierte Lithofazies Analyse. Weiterhin wurden ausgewählte Bohrkerne strukturell und kinematisch ausgewertet. Ein weiterer Schwerpunkt liegt im Vergleich und Korrelation der GZ2 Bohrungen untereinander und in der Integration der Rütihard Bohrungen S 156 und S 157 (Gregorczyk & Zarudzki 2019, Gregorczyk 2020a) sowie der Strukturauswertung der Bohrung S 84 (Pfirter 1982). Des Weiteren wurden RQD-Werte auf den verfügbaren planaren Kernfotos (360 m) ermittelt.

Diese Studie sollte mögliche Erklärungen zu folgenden Fragestellungen liefern:

- Wie ist der interne tektonische und lithologische Aufbau im Grosszinggibrunn 2 im Speziellen und im Adlerhofgewölbe im Allgemeinen?
- Wie ist das Deformationsmuster und was sind die Deformationsmechanismen im Untersuchungsgebiet? Wie war die kinematische Entwicklung der Adlerhofstruktur?
- Gibt es Indikatoren für offene, tektonische Trennflächen bzw. Scherzonen, die wasserführend sein können? Wie sind spröden Strukturen verteilt und wodurch wird ihr Auftreten kontrolliert?
- Welche tektonischen Strukturen können die Kavernengeometrie beeinflussen und entlang welcher Strukturen können mögliche Kavernen-Querverbindungen auftreten?

1.2 Geologischer Rahmen

Die untersuchten Bohrungen befinden sich ca. 1.5 km südwestlich von Pratteln, NW Schweiz (siehe Abb. 1). Sie durchteuften die Sedimente des Mittleren und Oberen Muschelkalks (mittlere Trias): Diese beinhalten die Karbonate der Schinznach Fm im Hangenden und die flachmarinen, subtidalen bis supratidalen Abfolgen (Widmer 1991) der Zeglingen Fm im Liegenden. Die Unteren Salzschiechten (Zeglingen Fm) stellen den Hauptabbau Horizont und somit das Fokusintervall dar. Alle Bohrungen terminierten in der unteren Sulfatzone (siehe Tabelle 1). In dieser Arbeit wird auf Formationsebene ausschließlich die (neue) stratigraphische Nomenklatur nach Jordan (2016) verwendet.

Regional geologisch befindet sich das Solfeld GZ2 – ähnlich wie die Rütihard – auf dem WNW-OSO streichenden Adlerhof-Gewölbe. Das letztere stellt eine bis dato wenig untersuchte und verstandene Struktur dar und ist durch zahlreiche SW-NO bis SSW-NNO orientierte Verwerfungen durchzogen (Hauber et al. 2000 und Abb. 1). Etwa 6 km südlich des Untersuchungsgebietes befindet sich die (sub-)parallel zur Adlerhof-Struktur streichende Jura-Hauptüberschiebung (Abb. 1).

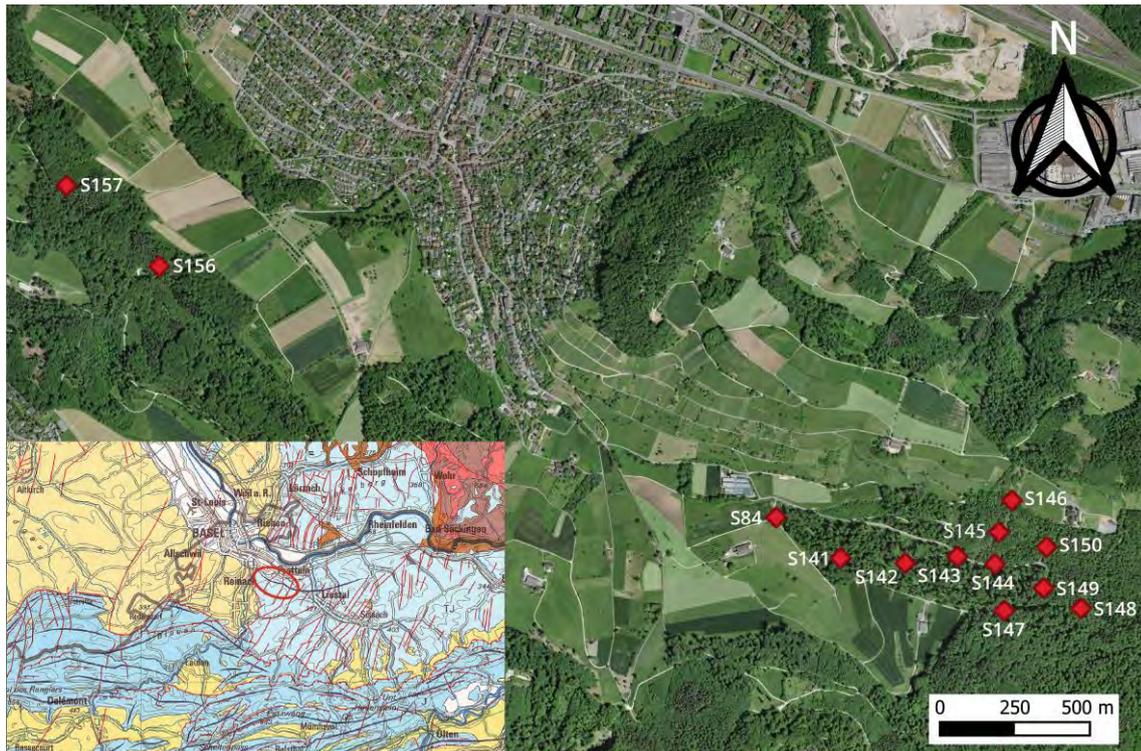


Abb. 1: Orthofotokarte mit der Lage der untersuchten Bohrungen

Dargestellt sind die aktuellen Bohrungen im Solfeld GZ2, wie auch die in 2019 und 2020 interpretierten Rütihard Bohrungen (S 156 und S 157), sowie die S 84 (Pfirter, 1982). Links unten: Ausschnitt aus der tektonischen Karte der Schweiz mit der Lage des Untersuchungsgebietes.

Tabelle 1: Lithostratigraphie mit Tiefen der Schichtgrenzen (Top) der untersuchten Bohrungen

Nach Absprache mit der Schweizer Salinen AG, aus Konsistenzgründen und aufgrund der unzuverlässigen Tiefenangaben der OPTV Bilder und der Kernfotos wurde die Mehrheit der stratigraphischen Grenzen aus Profilen des Geotechnischen Instituts AG übernommen (orange).

Fm	Mbr resp. gemäß Widmer (1991)	Abkürzung in Beilagen/Bericht	S 141	S 142	S 143	S 144	S 145	S 146	S 147	S 148	S 149	S 150	S 156	S 157	
Bänkerjoch Fm.		BenJo	N/A	194.50	N/A	N/A	N/A	N/A							
SCHINZ ACH	Asp Mb.	ASP	135.00	169.80	162.00	168.00	181.00	199.00	231.50	211.00	195.00	183.00	23.50	Fehlt	
	Stamberg Mb.	STM	143.00	172.40	165.50	174.00	187.00	205.00	234.00	222.00	201.00	188.00	35.60	Fehlt	
	Liedertswil Mb. bis Leutschenberg Mb.	LLMb	N/A	N/A	N/A	193.33	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	53.90	13.60	
DOLOMITZONE		DOLZ	N/A	N/A	N/A	240.37	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	110.25	76.10	
ZEGELINGEN	OBERE SULFATZONE	Dolomit-dominierte Schichten	DDS	N/A	N/A	N/A	250.66	N/A							
		Übergangsschichten	UGS	N/A	N/A	N/A	261.24	N/A	299.78	N/A	N/A	N/A	N/A	123.00	101.00
		Obere Anhydritschichten	OAnhd	N/A	N/A	N/A	272.80	N/A	304.48	370.00	339.00	N/A	N/A	141.00	126.10
	SALZLAGER	Obere Brekzien	OBrc	N/A	N/A	N/A	284.45	303.79	317.90	Fehlt	349.63	N/A	330.00	165.00	165.50
		Obere Salzschichten	OSS	Fehlt											
		Untere Anhydritschichten	UAnhd	N/A	N/A	N/A	297.12	313.87	325.56	Fehlt	355.52	N/A	332.74	188.20	180.99
		Untere Brekzien	UBrc	286.00	309.00	N/A	309.10	324.56	Fehlt	370.65	372.52	350.00	341.00	201.10	198.62
	UNTERE SULFATZONE		USZ	356.70	381.50	369.00	383.00	380.00	371.00	427.80	441.29	418.30	405.60	252.00	279.69
	Endtiefe (mMD)			361.00	385.00	372.00	385.00	384.00	374.00	430.00	445.00	424.00	409.00	256.40	284.00

Farbcodierung der Quellen für Schichtgrenzen	
Exakt bestimmte Schichtgrenze an OPTV / BHTV	
Schichtgrenze übernommen aus Profilen des Geotechnischen Instituts	
Top / Base of Log bzw. Kernfotos (entspricht nicht Top / Basis Mbr)	
Schichtgrenze abgelesen aus GR Log	

2 Datengrundlage und Methodik

Die verfügbaren Bohrlochdaten wurden im Zeitraum von 2011 bis 2013 gewonnen (siehe Tabelle 2). Gemäß der Bohrlochverlaufsmessungen sind die Bohrungen vertikal (S 144) oder zeigen eine leichte Ablenkung bis max. 7° (S 147). Die meisten OPTV geloggten Intervalle weisen ein Bohrlochdurchmesser von 8.5 Zoll auf, jedoch wurden 12.24 Zoll und 17.5 Zoll ebenfalls geloggt. Die relevanten Bohrparameter sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Relevante (Bohr-)Parameter der interpretierten Bohrungen

Bohrung	OPTV Intervall		Durchmesser OPTV Bohrlochintervall ["]	Datum Logging	Max. Bohrloch neigung	Höhe GOK [müM]	East CH1903+/ LV95	North CH1903+/ LV95		
	Top (mMD)	Basis (mMD)								
S141	298.00	337.00	8.5	23.09.2013	2.0°	399.00	2'616'894.7	1'262'154.9		
S142	323.00	371.00	8.5	24.09.2013	3.5°	419.00	2'617'110.8	1'262'138.1		
S143	319.00	365.00	8.5	16.05.2012	3.5°	416.00	2'617'284.3	1'262'160.3		
S144	327.00	373.00	8.5	06.06.2013	1.0°	429.00	2'617'409.4	1'262'135.1		
S145	326.00	376.00	8.5	07.05.2013	5.5°	426.00	2'617'423.3	1'262'243.0		
S146	336.00	371.00	8.5	16.05.2012	2.0°	424.00	2'617'466.1	1'262'348.5		
S147	392.00	428.00	8.5	07.06.2013	7.0°	467.00	2'617'440.6	1'261'978.4		
S148	194.00	442.00	194.00	212.00	17.5	06.10.2011	7.0°	477.00	2'617'696.6	1'261'985.9
			398.00	442.00	8.5					
S149	366.00	418.00	365.00	394.00	12.24	06.06.2013	6.0°	456.00	2'617'571.7	1'262'054.5
			394.00	420.00	8.5					
S150	348.00	402.00	8.5	07.06.2013	3.0°	445.00	2'617'581.7	1'262'192.3		

2.1 Datengrundlage

Für die detaillierte Struktur- und Lithofaziesanalyse standen optische (OPTV) und akustische (BHTV) Bohrlochwandabbildungen mit einer Gesamtlänge von 477 m zur Verfügung. Diese wurden ausschließlich in den Unteren Salzschiechten gewonnen. Zusätzlich für die Lithofaziesanalyse im Hangenden der Unteren Salzschiechten waren planare Bohrkernfotos und Bohrkernkerne mit einer Gesamtlänge von 360 m verfügbar. Diese haben in den jeweiligen Bohrungen unterschiedliche Längen und decken somit verschiedene Lithologien ab. Hinzu kommen Hilfsdaten wie Formationsgrenzen, GR Logs, Bohrlochverlaufsmessungen und Kaliber Messungen. Die verfügbaren Daten sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Verfügbare Bohrlochdaten der GZ2 Bohrungen

Vermerkt sind ebenfalls die Qualität der OPTV sowie die Beilagen Nummer der Komposite Profile im Bericht.

Bohrung	Verlauf		Kaliber	GR	BHTV (akustisch)	Top	Basis	Länge	Qualität OPTV (1-sehr gut, 2-mässig)	Top	Basis	Länge	Besonderheiten	Beilage im Bericht (Komposite Plot)
	Azimet	Neigung				OPTV + BHTV	Planare Kernfotos							
S141	YES	YES	YES	YES	YES	298.00	337.00	39.00	1	286.00	298.00	12.00	Hyro Logs vorhanden nur oberhalb der zu interpretierenden Sektion	1a&b
S142	YES	YES	YES	YES	YES	323.00	371.00	48.00	1	309.00	323.00	14.00		2a&b
S143	YES	YES	YES	YES	NO	319.00	365.00	46.00	2	N/A	N/A	N/A	Gemäss TerraTec keine Kernfotos vorhanden	3a&b
S144	YES	YES	YES	YES	NO	327.00	373.00	46.00	1	172.00	330.00	158.00	Kaliber fehlt im OPTV Intervall	4a&b
S145	YES	YES	NO	YES	NO	326.00	376.00	50.00	1	303.00	329.00	26.00		5a&b
S146	YES	YES	NO	YES	NO	336.00	371.00	35.00	1	299.00	343.00	44.00		6a&b
S147	YES	YES	YES	YES	NO	392.00	428.00	36.00	2	370.00	390.00	20.00	Teils schmutzige Bohrlochwand	7a&b
S148	YES	YES	NO	YES	NO	194.00	212.00	18.00	1	340.00	396.00	56.00	OPTV Lücke zw. 212-389 m	8a&b
						389.00	442.00	53.00						
S149	YES	YES	NO	YES	NO	366.00	418.00	52.00	1	350.00	362.00	12.00		9a&b
S150	YES	YES	NO	YES	NO	348.00	402.00	54.00	1	330.00	348.00	18.00		10a&b

2.2 Daten Aufbereitung und Qualität

Die BHTV Daten waren im Standard DLIS Format verfügbar, während die OPTV Bohrlochwandbilder im Windows Bitmap (BMP) Rastergrafikformat vorlagen. Gemäß TerraTec GmbH sind die gelieferten Bohrlochwandabbildungen nach geographisch Nord orientiert. D.h. die Korrektur für die magnetische Deklination (zur Zeit der Datengewinnung) wurde angewandt. Somit entspricht die Orientierung aller interpretieren geologischen Flächen **der wahren Orientierung relativ zur geographischen Nordrichtung**.

Um die Qualität der Eingangs-Bohrlochwandabbildungsdaten zu verbessern und somit das geologische Interpretationspotenzial zu erhöhen, wurden die OPTV in ein binäres Bild umgewandelt und anschließend dynamisch normalisiert. Eine dynamische Normalisierung wurde ebenfalls für das BHTV angewendet. Dieser Aufbereitungsschritt hat die Qualität der Eingangsdaten und somit das geologische Interpretationspotenzial erheblich gesteigert (Abb. 2 und Abb. 3).

Folglich ist die resultierende Gesamtqualität der OPTV und BHTV gut bis ausgezeichnet (Abb. 4). Jedoch es gibt auch Intervalle mit verminderter bis schlechter OPTV / BHTV Datenqualität. Dies betrifft insbesondere die Bohrungen S 143 und S 144, wo die Datenqualität vorwiegend durch Bohrlochwand Instabilitäten oder verschmutzte Bohrlochwand gemindert wird (siehe Beilage 3 und 7). Eine detailliertere Qualitätsbewertung für die geloggtten Strecken wurde in Form eines Qualitätsrankings für jede Bohrung erstellt und ist in Tabelle 3 präsentiert. Der Qualitätsindex hat zwei Stufen und ist mit Farbbalken (**grün** - sehr gut und **orange** – mäßig bis schlecht) dargestellt.

Tiefenkorrektur der GR Logs und Kernfotos zu OPTV Daten

Generell gelten die optischen Bohrlochwandabbildungen (OPTV) als das **Haupt-Tiefenreferenz** in dieser Studie, weil sie die wichtigste Interpretationsquelle liefern. Folglich wurden die GR Logs zu OPTV's in Tiefe korrigiert und anschließen von CPS Werten auf API Standard Werte kalibriert. Ebenfalls, wurden bei zwei Bohrungen (S 145 und S 146) die Kernfotos an eindeutig korrelierbaren Strukturen zu den OPTV geshiftet. Eine zweifelsfreie Tiefenkontrolle anhand der Bohrkerne war aufgrund verschiedener Kernverlustzonen nicht möglich. Die angewandten Teufen Korrekturen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Werte für Teufen Korrektur der GR Logs und Kernfotos zu OPTV Daten

Ein positiver Wert (+) bedeutet einen Tiefenshift nach unten, ein negativer Wert (-) nach oben.

Bohrung	Shift GR zu OPTV (m)	Shift Kernfotos zu OPTV (m)
S141	0.40	0.00
S142	0.15	0.00
S143	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
S144	0.40	0.00
S145	0.30	0.56
S146	-0.40	-0.52
S147	0.00	0.00
S148	-1.40	0.00
S149	0.50	0.00
S150	-0.55	0.00

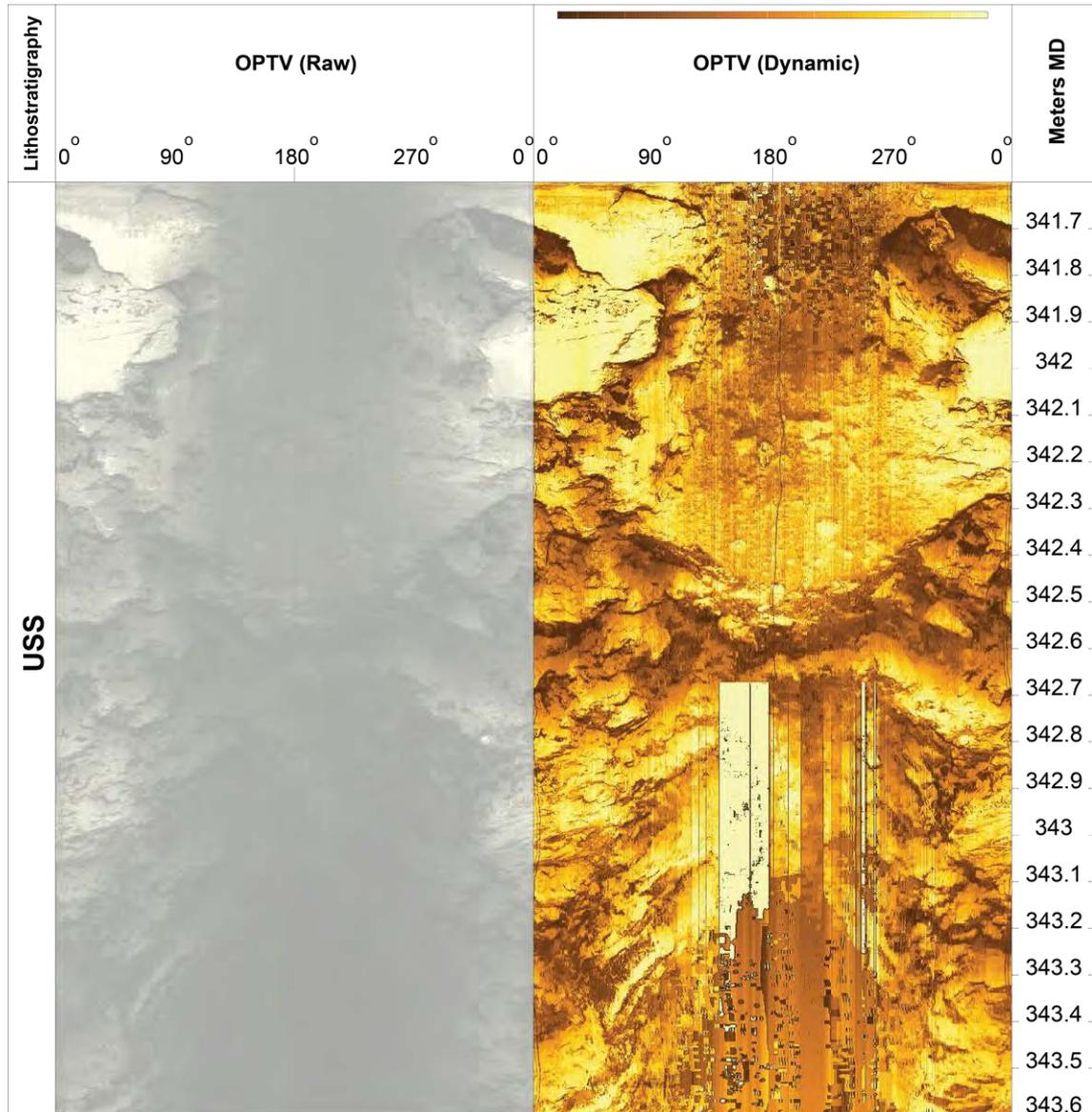


Abb. 2: Qualitätsvergleich zwischen primärem (links) und prozessiertem (rechts) OPTV (S 143)

Durch die Prozessierung der Rohdaten konnte die Qualität der zu interpretierenden OPTV Bohrlochwandabbildungen signifikant verbessert werden. Dieser Aufbereitungsschritt hat das geologische Interpretationspotenzial deutlich erhöht

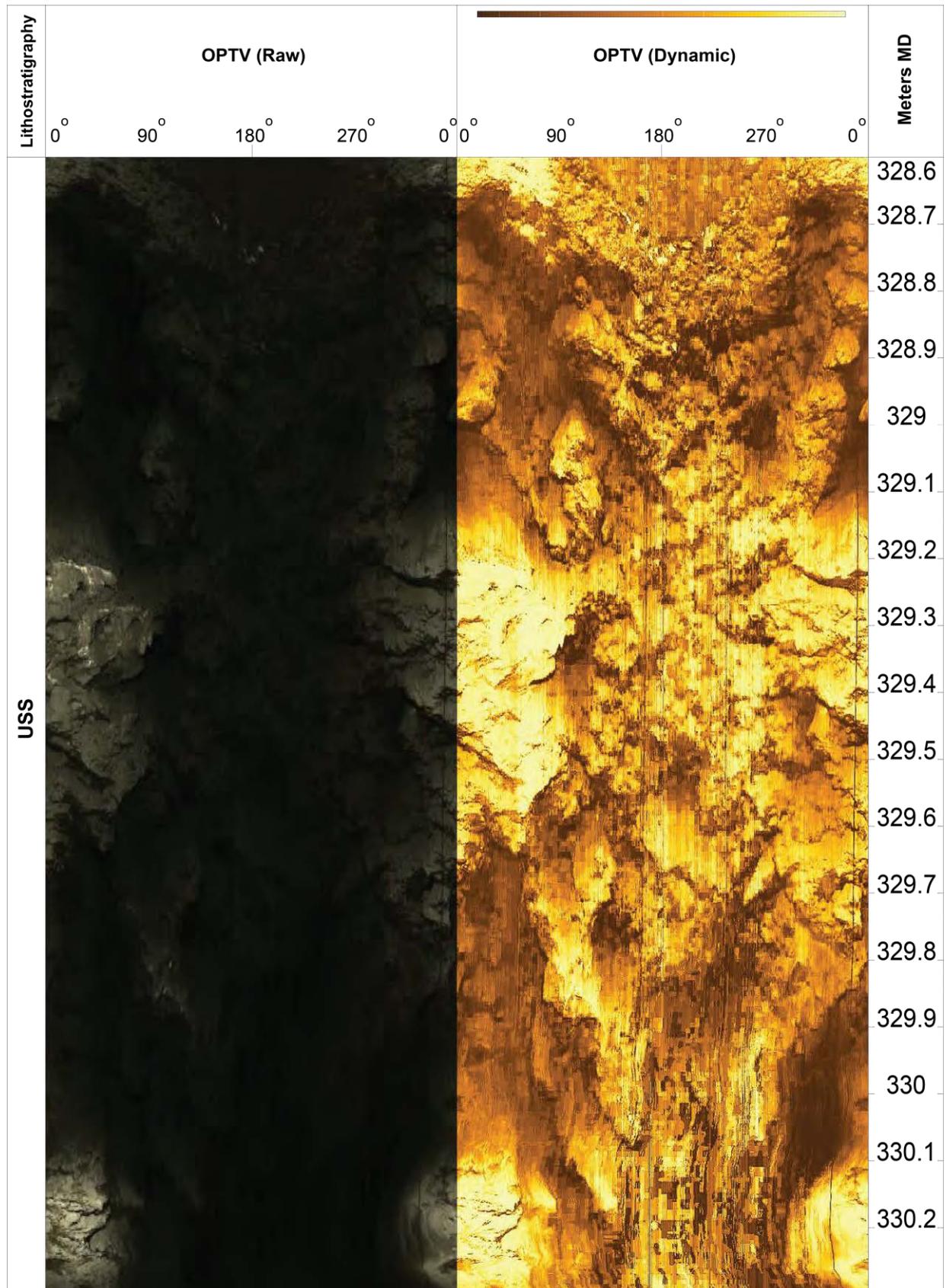


Abb. 3: Effekt der Datenaufbereitung auf OPTV Qualität und Interpretationspotential (S 143)
Links (Raw) primäre und rechts (Dynamic) prozessierte OPTV Bohrlochwandbilder.

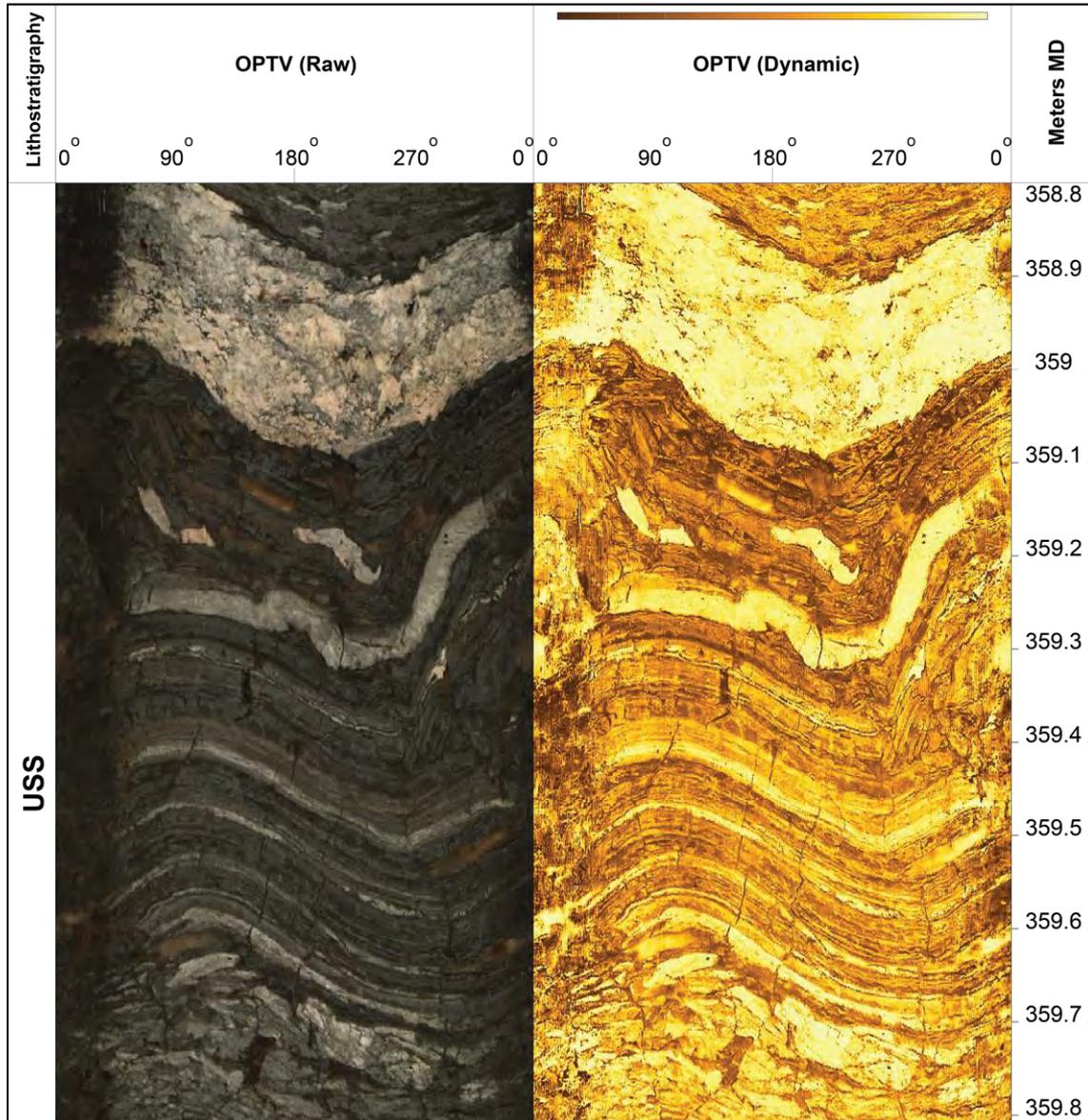


Abb. 4: Statisches (links) und dynamisches (rechts) OPTV mit ausgezeichneter Qualität (S 150)

Bereits das primäre OPTV Bild (links) ist extrem scharf und hoch aufgelöst, worauf man Strukturen in mm-Bereich erkennen kann. Jedoch durch die Aufbereitung konnten die Kontraste deutlich verbessert werden.

2.3 Workflow und Klassifikation der Strukturtypen

2.3.1 Methoden der Log Analyse

Um eine detaillierte Struktur- und Lithofazies Analyse an den vorhandenen Daten durchzuführen, einen orientierten Dip Datensatz zu generieren und diesen anschließend auszuwerten, wurde folgender Workflow für jede Bohrung angewandt:

1. Laden der verfügbaren Bohrlochdaten in DLIS, LAS, BMP und ASCII Formaten (siehe Tabelle 3) in die TerraStation Loganalyse Software und Erstellen einer Bohr Datenbank pro Bohrung
2. Qualitätskontrolle der OPTV/BHTV Bohrlochwandabbildungen, der Kernfotos und der Hilfslogs anhand von digitalen Komposit Profilen

3. Teufenkorrektur, Downsampling und Kalibrierung der GR Kurven von CPS auf API Werte
4. Umwandeln der statischen OPTV/BHTV Bohrlochwandabbildungen in binäre Bilder und anschließende dynamische Normalisierung
5. Strukturauswertung und Geo-statistische Evaluation
 - 5.1. Manuelles Picken aller sichtbaren tektonischen Diskontinuitäten (Störungen und Klüfte) und Schichtflächen (Bedding). Siehe Kap. 2.3.2 für eine detaillierte Definition der jeweiligen Strukturtypen
 - 5.2. Evaluation der Geometrie der Gesteine entlang des Bohrprofils (Schichteinfallen und Dip Muster) sowie der Orientierung tektonischer Diskontinuitäten mittels folgender Analysetools:
 - 5.2.1. Polpunkt Darstellung des Schichteinfallens im Schmidt'schen Netz (untere Hemisphäre) mit Tiefenprofile
 - 5.2.2. Interaktive Berechnung von **Vektor Mittelwerten für das Schichteinfallens** in längeren, repräsentativen Intervallen und Evaluation mit Schmidt'schen Netz inkl. Tiefenprofil. Hierfür wurden zwei Typen definiert (siehe Beilagen 1 – 10):
 - **BED** – Mittelwert des Schichteinfallens in nicht bis schwach deformierten, meist feinklaminierten bis gebankten Intervallen. Diese stellen robuste Bedding Indikator dar
 - **DEF** – Mittelwert des Schichteinfallens in deformierten, oft versteilten Intervallen mit teils schwach definierter Orientierung des Beddings. Repräsentieren schwache Struktur dip Indikatoren
 - 5.2.3. Berechnung von **Deformationsachsen** und Evaluation mit Schmidtschen Netz. Abhängig vom Deformationsmechanismus (Verfaltung vs. Schleppung durch Verwerfung) werden zwei Achsentypen unterschieden:
 - **FOLD** – repräsentieren potenzielle Faltenachsen. Falten sind 3D Strukturen bei denen die Verbindung der Scharnierpunkte auf einer bestimmten gefalteten Fläche die Faltenachse definiert. Die Faltenachse ist das wichtigste strukturelle Element einer Falte, da die Strukturen in dieser Richtung maximale Kontinuität zeigen. Somit dient die Berechnung von Faltenachsen der geometrischen Evaluation und Darstellung von gefalteten Strukturen
 - **STRUC** – repräsentieren Deformationsachsen in Intervallen, die durch Schleppung (Verwerfung) meist eine graduelle Änderung im Struktur dip aufweisen. Ähnlich wie für Faltenachsen, die Berechnung von STRUC Achsen dient einer geometrischen Evaluation und Darstellung von gestörten / deformierten Zonen
 - 5.2.4. Azimut Rosen und Dip Histogramme mit Tiefenprofil für das **Schichteinfallen und Vektor Mittelwerte**
 - 5.2.5. **Dip Azimut Vektor Plot** für das Schichteinfallen zwecks Evaluation der Änderungen im Struktur dip, des Dip Musters und der Deformationsmechanismen
 - 5.2.6. Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Profil mit allen **tektonischen Flächen**
 - 5.2.7. Berechnung der **volumetrischen Struktur dichte (P32 Kurve)** in m^2/m^3 für alle tektonischen Brüche. unter Berücksichtigung des Schnittwinkels zwischen der Fläche und der Bohrlochachse. Die Methodik wird in Abb. 5 veranschaulicht.
 - 5.2.8. Integratives Übersichtsprofil inkl. Stratigraphie, GR, Lithologie, Struktureregebnissen und einem vereinfachten **SSW-NNO geologischen Schnitt** mit Schichteinfallen und Hauptstörungen/Störzonen
6. Lithofaziesanalyse und Erstellung des Litho-Profiles mittels des definierten Muschelkalk Lithofazies Schemas (siehe Kap. 3)

7. Erstellung der finalen integrativen Komposit Profile (PDF) mit Struktur- und Lithofaziesresultaten in zwei Skalen: 1:10 und 1:100
8. Struktur- und Lithofazies Korrelation der GZ2 Bohrungen Untereinander, Integration der Rütihard Bohrungen und der S 86 (siehe Kap. 4)
 - 8.1. Erstellen von strukturellen und sedimentologischen Korrelationstransekten (PDF)
9. Berichterstattung und Diskussion der Ergebnisse

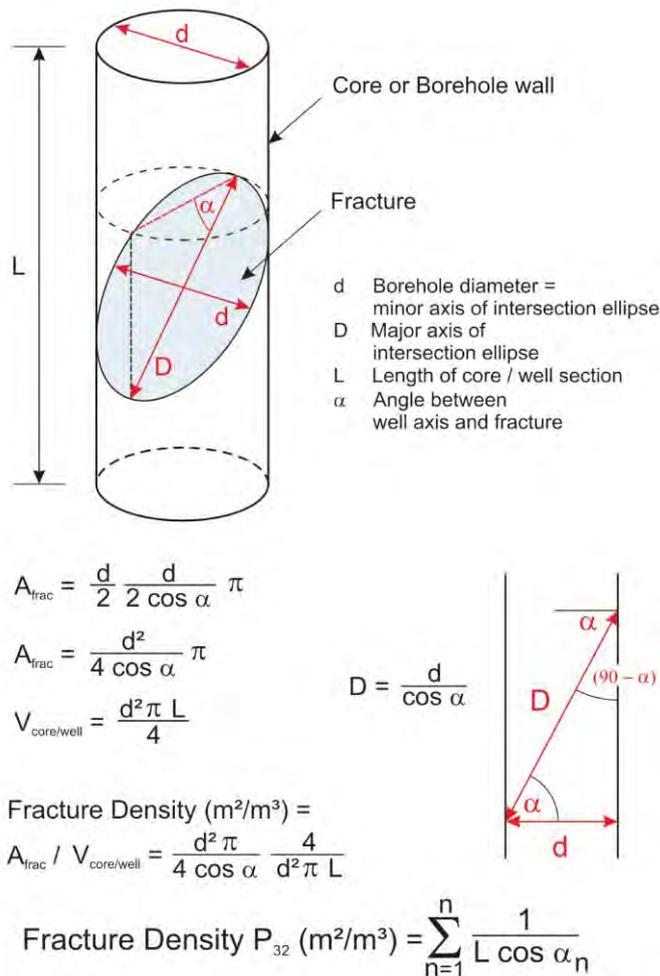


Abb. 5: Berechnung der volumetrischen Strukturichte (P32-Kurve; Quelle NAB 19-12).

2.3.2 Klassifikation der Strukturtypen

Total wurden 13 Strukturtypen definiert. Abhängig von der tektonischen Signifikanz einer Struktur, der Erscheinung in OPTV/BHTV Bohrlochwandabbildung und der geologischen Genese kann man diese in zwei Hauptgruppen untergliedern:

- Schichteinfällen (Bedding): Repräsentiert interne Schichtung/ Lamination in diversen Lithologien oder eine Schichtgrenze
- Tektonische Trennflächen:
 - **Störungen:** Tektonische Störungen in akustischen bzw. optischen Bohrlochwandabbildungen durch einen starken Kontrast, Änderung in Textur/Lithologie entlang der Trennfläche,

Deformation benachbarter Schichtung, sichtbaren/messbaren Versatz der Schichtung, scharfen Abschneiden der Schichtung oder durch die Orientierung der Fläche im regionalen Kontext detektiert. Diese können groß- und kleinräumige Änderungen im Schichteinfallen verursachen. Diese repräsentieren somit potentielle Scherflächen (**fracture mode II**)

- **Klüfte:** Dies sind scharfe Trennfläche in OPTV/BHTV, die jedoch keine sichtbaren Schichtversätze oder Deformation der benachbarten Schichten verursachen. Diese können *mineralisierte* (FRAC_CL) oder potenziell *offene* (FRAC_CL) Flächen darstellen. Die letzteren erscheinen meist dunkel in den Bohrlochwandabbildungen. Klüfte sind meist auf Extension/Zugkraft zurückzuführen (**fracture mode I**)

Die Symbole, die in den Beilagen 1 bis 10 und in Abbildungen verwendet werden, sind in Abb. 6 dargestellt. Die Definition jeder Struktur wird in Tabelle 5 erörtert.

Eine geologische Fläche, die mit 15° in Richtung NO (050°) einfällt, wird in diesem Bericht wie folgt geschrieben: **050/15**.

Dip types used in the report and enclosures

Tectonic planes



Bedding-related planes



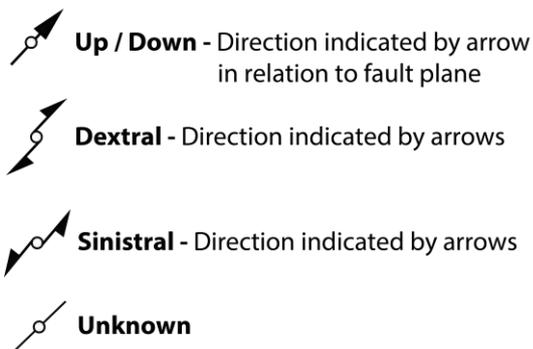
Zonations used in the report and enclosures

Fault zone



Symbols used for kinematic analysis

Shear Sense:



Shear Sense Quality:



Abb. 6: Symbole für Strukturtypen, Zonierung und kinematische Analyse in GZ2
Gleiche Strukturtypen und Farben wurden in Beilagen 1-10 und in Abbildungen im Bericht verwendet.

Tabelle 5: Klassifikation der Strukturtypen

Dip type	Abbreviation (Colour on plots)	Interpretation
Lithological boundary	BED-BOUNDARY (Red)	Relatively sharp boundary between two different lithological units/beds
Plane parallel bedding	MUD-LAMIN (Green)	Mudstone/Marl bedding, often showing minor to medium-scale undulatory or irregular patterns
Plane parallel bedding	CARB-LAMIN (Orange)	Limestone bedding, often showing minor to medium-scale undulatory or irregular patterns
Plane parallel bedding	ANHY-LAMIN (Violet)	Anhydrite bedding, often showing minor to medium-scale undulatory or irregular patterns
Plane parallel bedding	HALIT-LAMIN (Pink)	Halite bedding/lamination, often showing minor to medium-scale undulatory or irregular patterns
Bedding indicator	SELVAGE-LAMIN (Cyan)	Selvage (Säume) within halite composed of clay or anhydrite with low (<20°) dip magnitudes. Indicate bedding / lamination and represent deposits during low water coverage and/or dehydration
Bedding indicator	STYLOLITE (Brown)	Serrated surface occurring exclusively within carbonate-rich lithologies. Originate from pressure dissolution processes and appear dark due to insoluble material (clay, pyrite or oxides). Bedding sub-parallel stylolites may be used as structural dip indicators
Deformed bedding	DEFORMED (Olive)	Primary stratification, which has apparently been deformed/tilted by subsequent tectonic forces (folding or faulting) and/or depositional / diagenetic process. Mostly represented by steep to sub-vertical (50°-90°) dip magnitudes
Diagenetic indicator / deformed bedding	SELVAGE-DEF (Grey)	Primary stratification within halite, which has apparently been deformed by depositional / diagenetic process. Mostly represented by steep to sub-vertical (50°-90°) dip magnitudes
Fault plane	FAULT (Scarlet triangle)	Planar anomaly, discordant to bedding and associated with juxtaposition of different lithofacies types; may disturb adjacent bedding and cause drag deformation
Fault plane	FAULT_MINOR (Brown triangle)	Similar to FAULT, however not as prominent in the image; alternatively fracture plane with minor displacement (cm-scale)
Open fracture	FRAC_OP (Blue)	Planar anomaly (dark in acoustic/optical image), which is discordant to bedding; represents open natural fracture plane
Mineralised/closed fracture	FRAC_CL (Orange)	Planar anomaly (bright optical image), which is discordant to bedding; represents closed/sealed natural fracture plane

3 Struktur- und Lithofaziesanalyse

3.1 Strukturauswertung

Untenstehend werden die Resultate der detaillierten Strukturanalyse pro Bohrung präsentiert. Die Analyse basiert auf manuell gepickten Flächen auf den OPTV bzw. BHTV Bohrlochwandabbildungen, welche entweder das Schichteinfallen oder tektonische Diskontinuitäten (Störungen/Klüfte) repräsentieren. Eine detaillierte Definition der jeweiligen Strukturtypen sowie der angewandte Workflow und die Methodik werden in Kap. 2 erörtert. Die Auflistung aller interpretierten Strukturtypen in jeweiliger Bohrung ist in den digitalen Resultaten zum Bericht (Dip Datensatz als Excel) zu finden.

Für jede Bohrung wurde je ein 1:100 (Beilage 1a – 10a) und 1:10 (Beilage 1b – 10b) Komposite Profil erstellt, wo die gewonnenen Resultate und die relevanten Bohrlochdaten visualisiert sind. Des Weiteren dienen sie einer Übersicht und zeigen unter anderem alle gepickten, geologischen Flächen mit Schichteinfallen und der Orientierung der Klüfte/Störungen, die Struktur dip-Mittelwerte, die Deformationsachsen wie auch die Kluftdichte-Kurven (P32) entlang des Bohrprofils. Sie stellen deshalb die Grundlage für die unterstehende Interpretation dar und sollten beim Lesen des Berichts stets zur Hilfe gezogen werden und als Orientierung dienen.

3.1.1 S 141

Im untersuchten Intervall (298.00 – 337.00 m) wurden insgesamt 288 individuelle, geologische Flächen auf den Bohrlochwandabbildungen erkannt und definiert. Dieses Intervall deckt die Unteren Salzschieben ab.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 278 Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 22 Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 141 sind in Stereogrammen (Abb. 7, Abb. 8 und Abb. 9), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 10) und in der Beilage 1 visualisiert.

Die S 141 durchteufte eine komplexe, stark deformierte tektonische Struktur mit variablem Schichteinfallen und zahlreichen, abrupten Änderungen in Schichtorientierung. Die Einfallswinkel variieren zwischen sub-horizontal bis vertikal ($1^\circ - 90^\circ$). Die Einfallrichtungen überwiegen in Richtung NNE, N bis NNW sowie SSE, S und SSW. Von der Basis bis zum Top der geloggtten Strecke wechseln die Einfallswinkel wie auch die Einfallrichtungen andauernd (Beilage 1). Sie ändern sich sowohl graduell (duktile Verfaltung) als auch abrupt (spröde Tektonik). Die Letzteren korrelieren teils mit klar auf den OPTV identifizierten tektonischen Störungen bei z.B. 302.62 m, 309.10 m und 325.80 m.

Well: S 141
N = 278

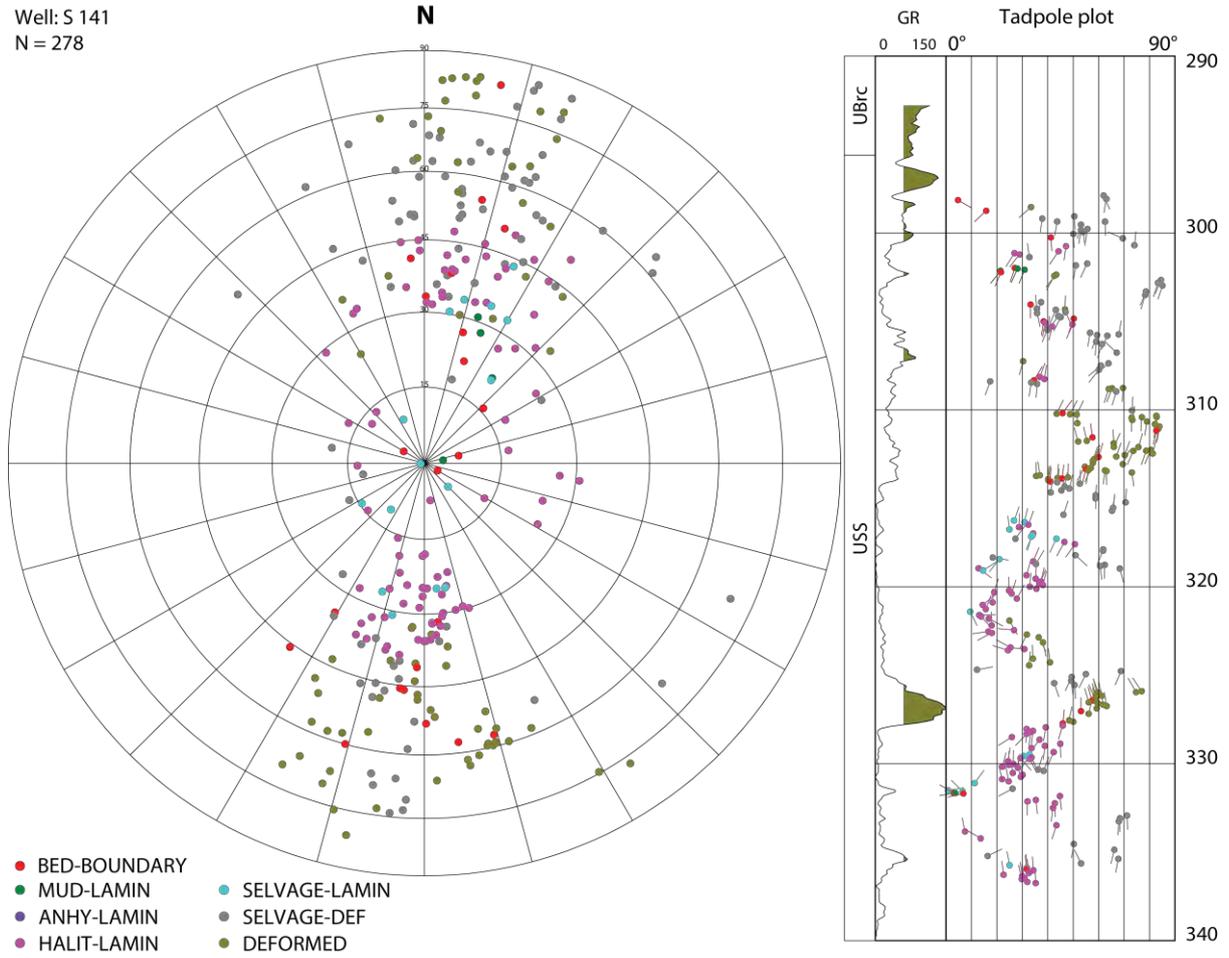


Abb. 7: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfällen in S 141

Well: S 141
N = 22

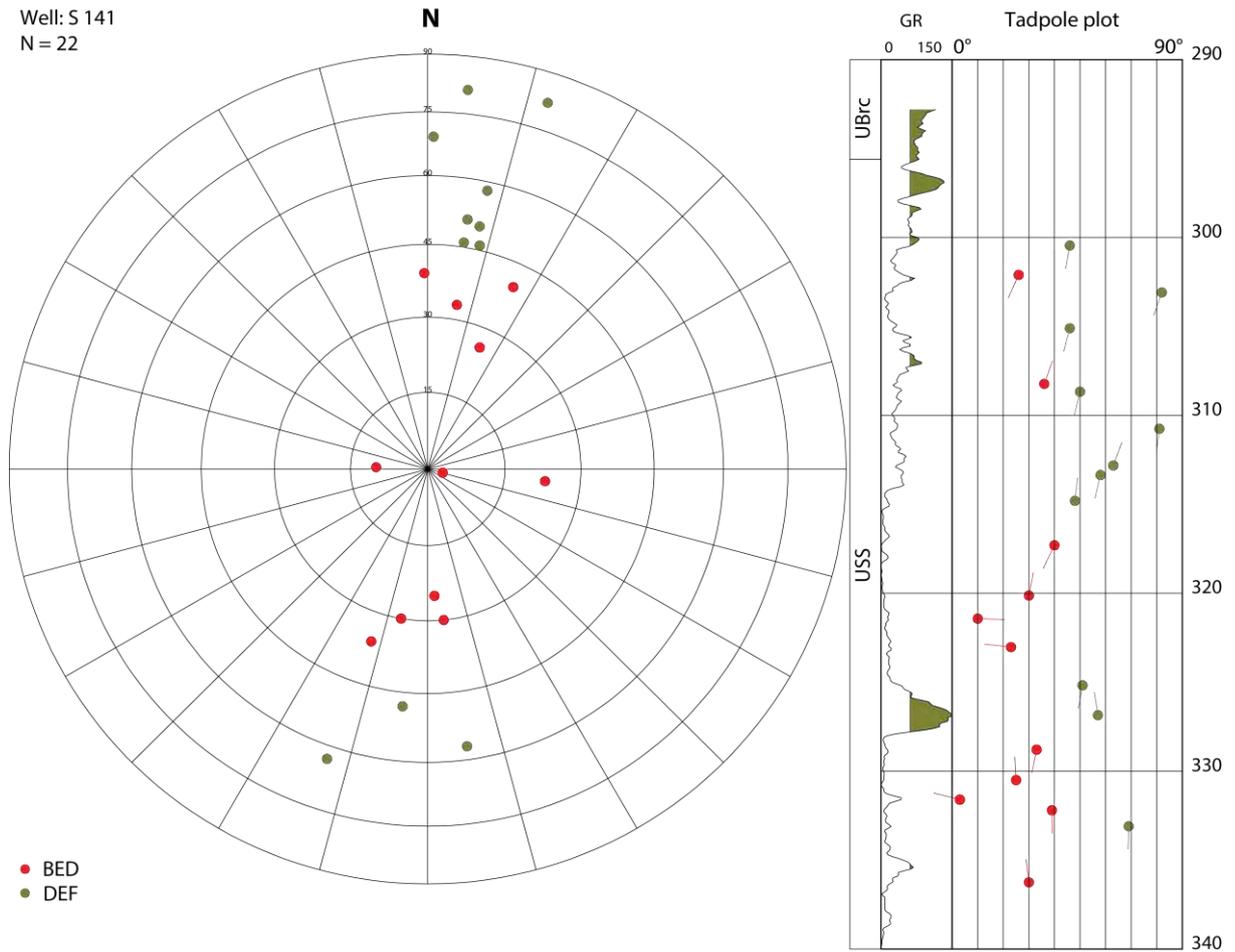


Abb. 8: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteneinfällen in S 141

Well: S 141
N = 278

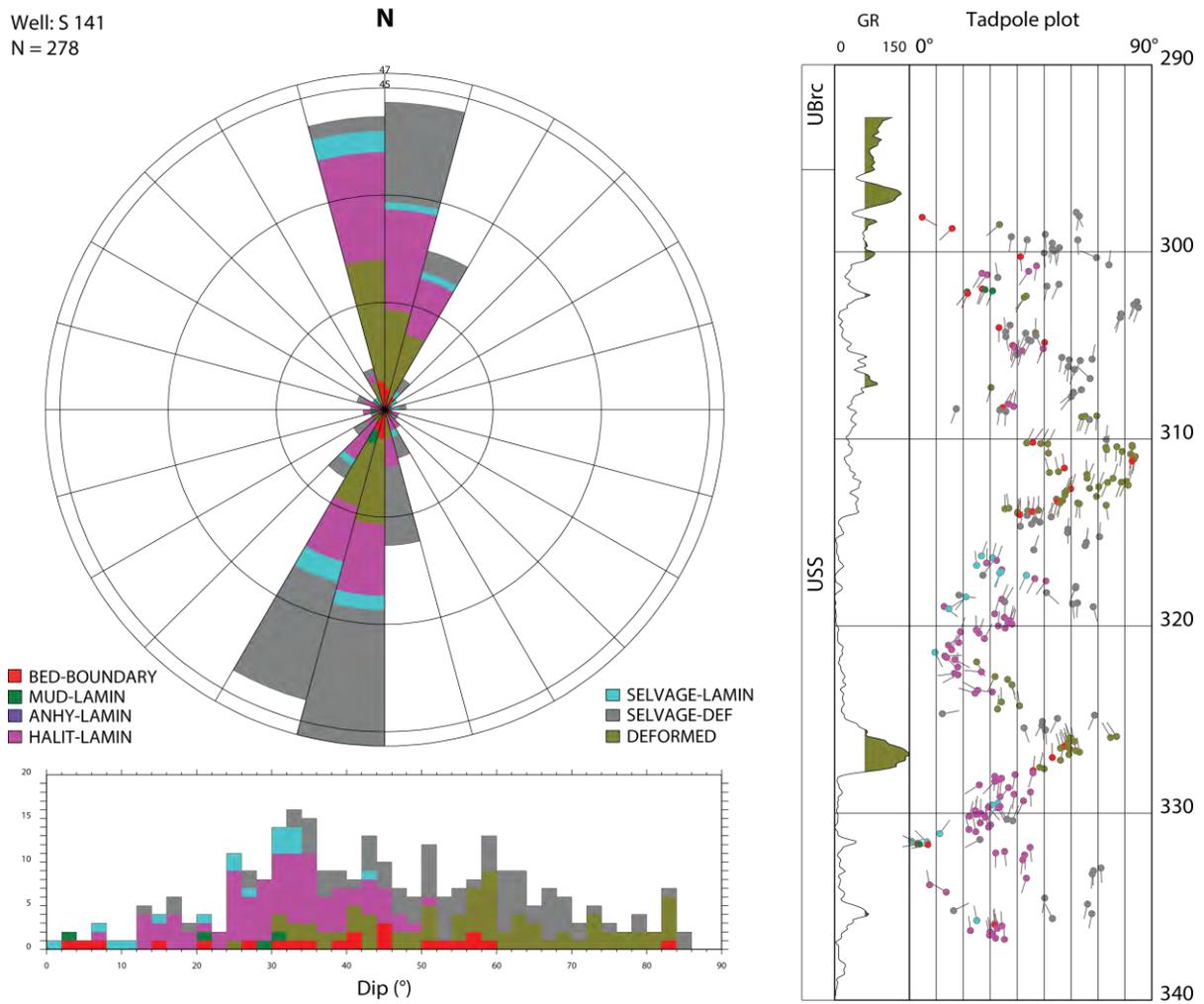


Abb. 9: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 141

Vector azimuth plot

Well: S 141 (Grosszinggibrunn 2)

Displayed dips (n = 278)

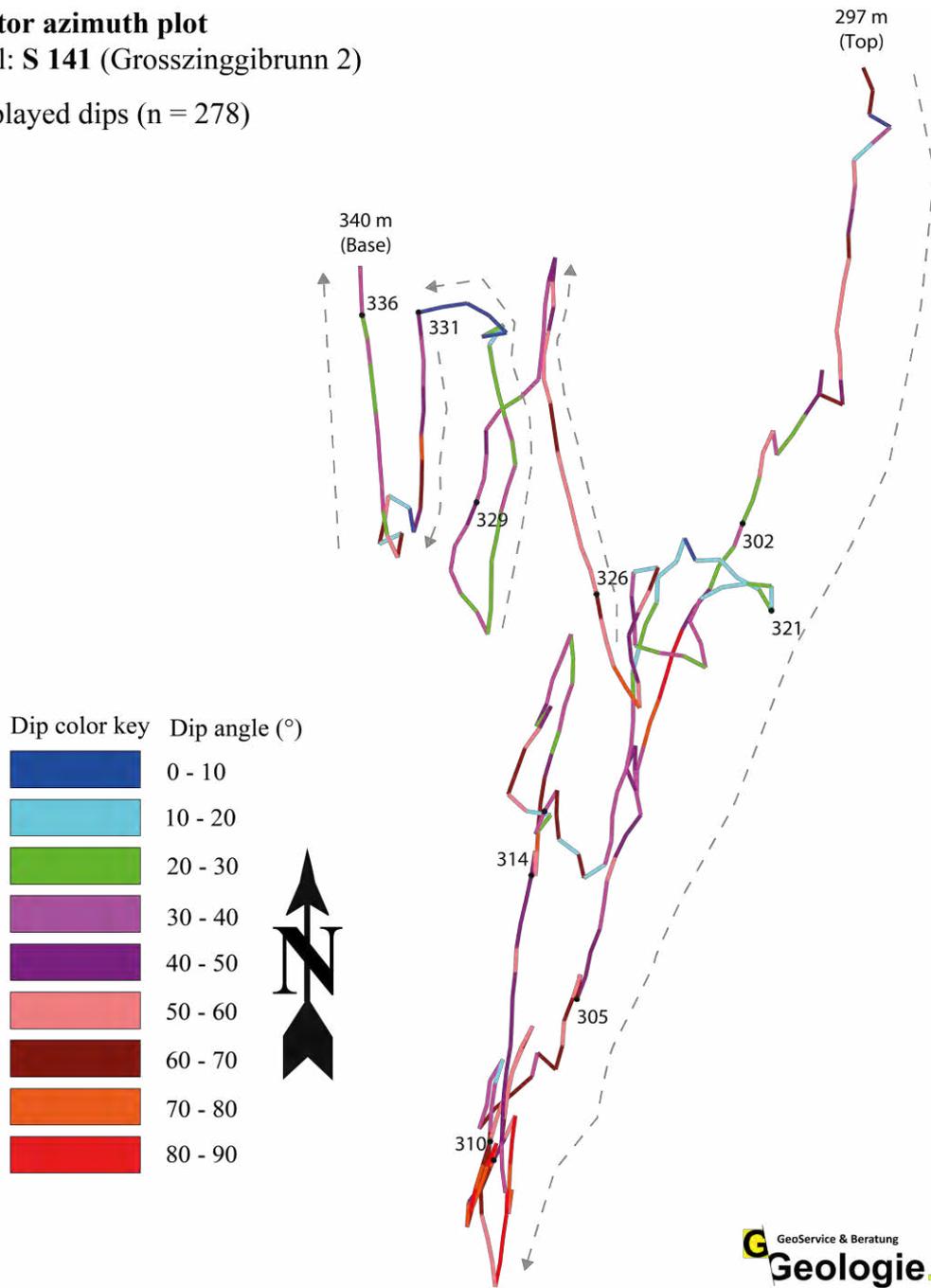


Abb. 10: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 141

Deformationsachsen

In S 141 konnten insgesamt 14 Deformationsachsen bestimmt werden (Tabelle 6). Diese wurden entlang des gesamten Profils angetroffen. Deformierte Intervalle, in denen Faltenachsen bestimmt wurden, variieren in Mächtigkeiten von dm- bis max. 5 m (Beilage 1b). Beispiele für eine ca. 2 m mächtige Faltenstruktur im OPTV zw. 312.00 – 314.10 m und die Berechnung der Faltenachse sind in Abb. 11 und Abb. 12 präsentiert.

Im Stereogramm der Abb. 13 weisen sie einen konsistenten WNW-OSO Trend mit vorwiegend flachen bis geneigten (7° - 30°) Abtauchwinkel auf.

Tabelle 6: Orientierung von Deformationsachsen in S 141

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
299.00	300.10	19	257	9	FOLD	
302.64	306.30	02	283	27	FOLD	Flache Scherfläche bei 302.6 m
308.10	309.00	03	104	10	FOLD	
310.00	311.20	15	097	16	FOLD	
312.05	314.05	03	284	28	FOLD	
314.06	315.96	07	092	12	FOLD	
316.20	318.00	03	291	14	FOLD	
318.40	319.00	08	093	7	FOLD	
319.30	321.35	07	089	14	FOLD	
321.40	322.75	05	188	7	FOLD	Messung basiert auf relativ flachen ($<30^\circ$) Schichtflächen. Achse beschreibt das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte.
324.04	325.58	00	097	10	FOLD	
324.73	327.77	08	268	24	TEC	Achse streicht sub-parallel zur flachen Störung bei 325.8 m. Abgeschertes Faltenscharnier?
327.80	331.15	02	277	30	FOLD	
331.75	336.80	03	271	26	FOLD	

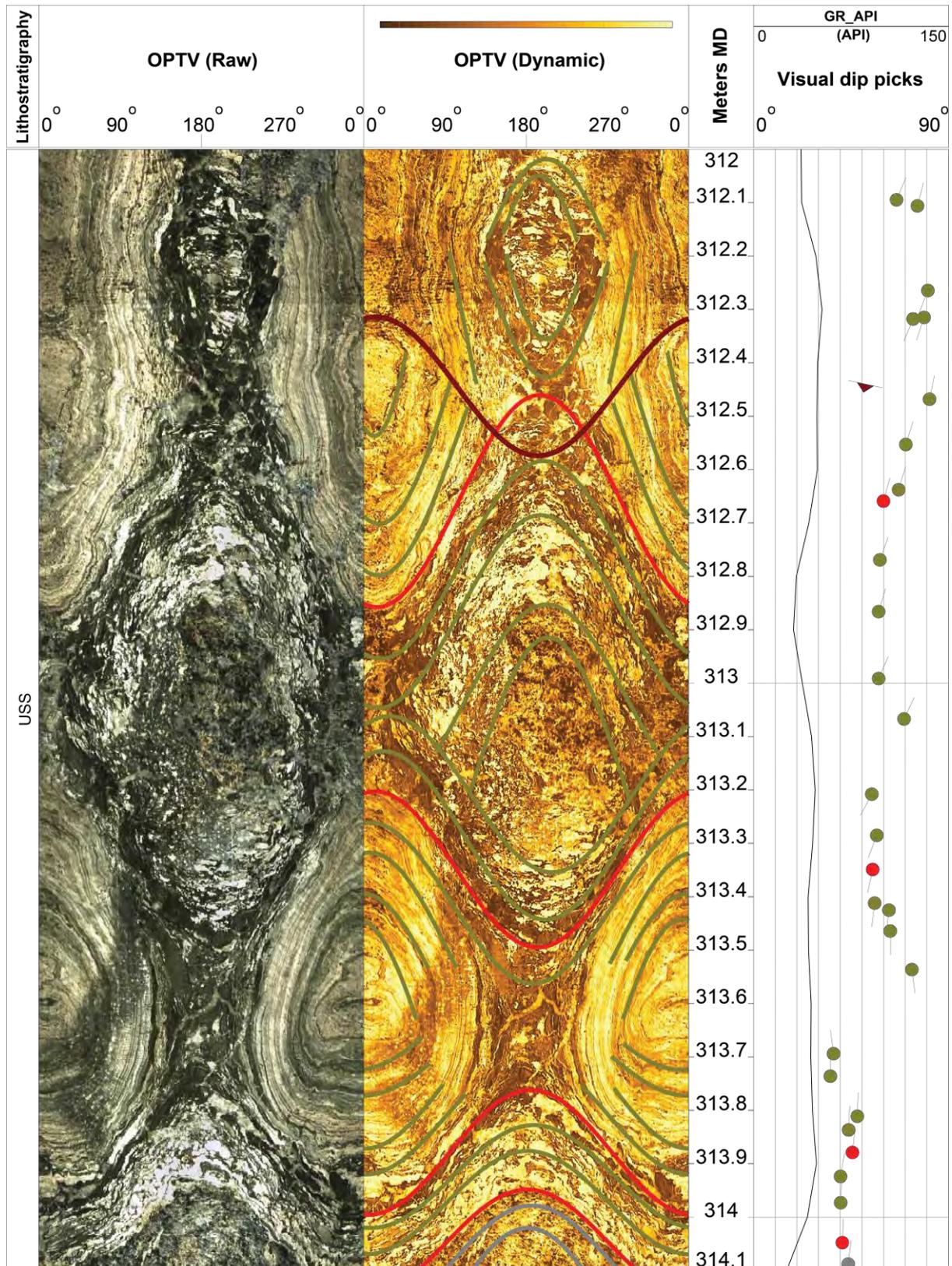


Abb. 11: Beispiel für Zungenfalten (sheath folds) in USS (S 141)

Diese besteht aus fein laminierten Anhydriten sowie Halit und ist durch steile bis sub-vertikale S bis SSW und N bis NNW einfallende Faltschenkel charakterisiert. Diese sind teils durch eine Störung bei 312.45 m abgeschert (braun). Die determinierte Faltenachse taucht mit 3° in Richtung WNW ab und ist im Stereogram der Abb. 12 dargestellt.

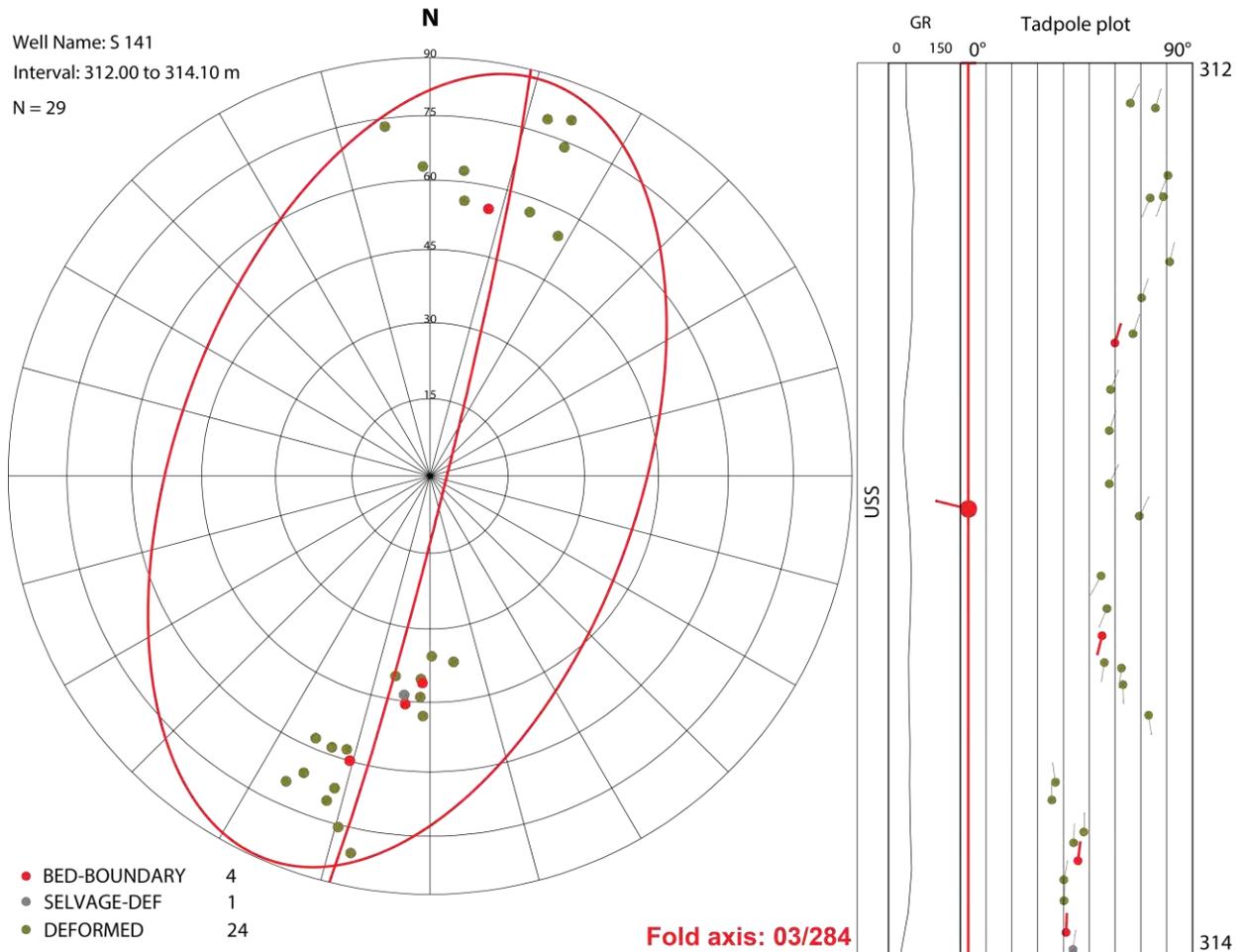


Abb. 12: Berechnung der Faltenachse in USS zw. 312.00 – 314.10 m (S 141)

Diese WNW-abtauchenden Faltenstruktur im OPTV Bohrlochscanner ist in Abb. 11 präsentiert. Der gemittelte PI-Kreis für die Definition der Faltenachse ist rot dargestellt.

Well: S 141
N = 14

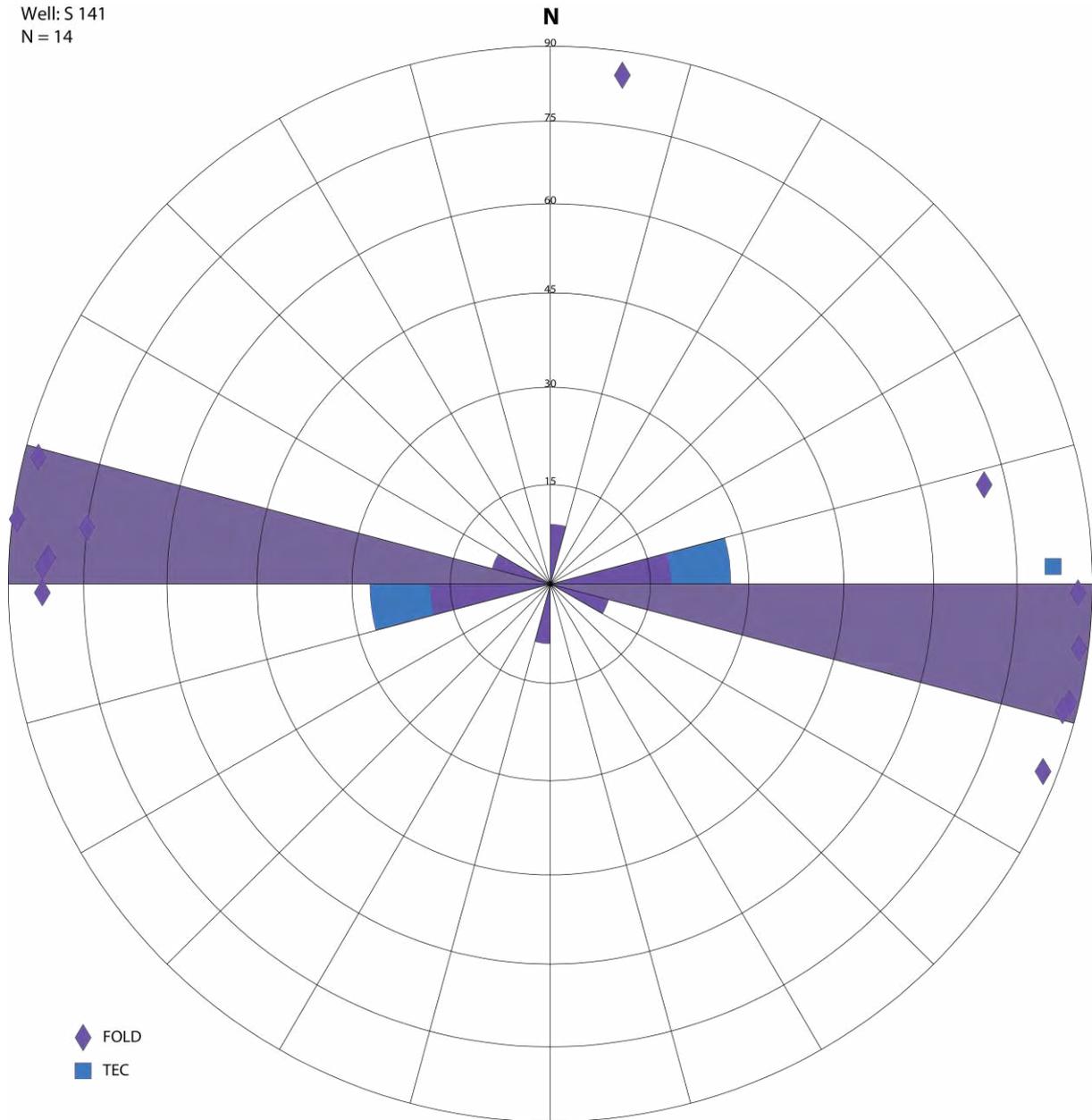


Abb. 13: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 141

Störungen und Klüfte

In S 141 wurden keine Klüfte identifiziert. Jedoch aus der Kategorie tektonischer Brüche sind insgesamt 3 relevante (FAULT) und 7 potenzielle (FAULT_MINOR) Störungen identifiziert worden. Eine Auflistung aller interpretierten Störungen ist in den digitalen Resultaten zum Bericht (Dip Datensatz als Excel) zu finden. Beispiel für eine flache Störung / Überschiebung im OPTV der S 141 ist in Abb. 14 präsentiert. Alle Störungen scheinen auf den Bohrlochscans mineralisiert zu sein.

Die Orientierung und die Verteilung der interpretierten Störungen zeigt die Abb. 15. Diese sind durch einen gut definierten WNW-OSE streichenden Cluster mit S bis SSW und ESW einfallenden Flächen repräsentiert. Die Einfallswinkel sind variabel von ca. 10° bis 70°. Sie konzentrieren sich insbesondere zwischen ca. 309.00 m und 313.00 m innerhalb eines stark verfalteten Bereiches dar und stellen potenzielle kompressive Über- und Aufschiebungen, die mit starker Verfaltung und Verschuppung in diesem Intervall zusammenhängen (siehe Abb. 11 und Abb. 16).

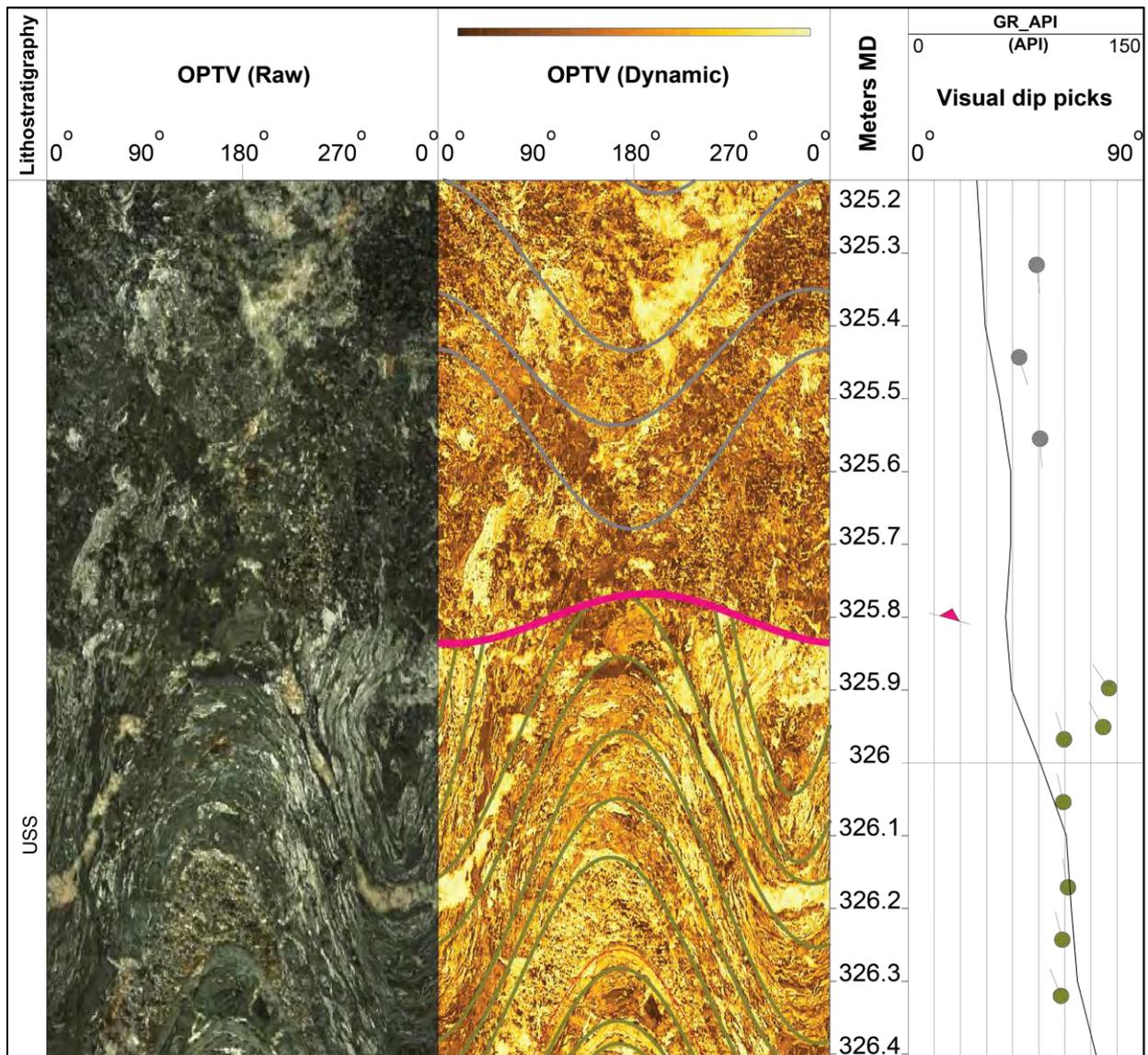


Abb. 14: Beispiel für eine flache Überschiebung in USS bei 325.80 m (S 141)

Die potenzielle 16° NNO-einfallende Überschiebung bei 325.80 m (pink) schneidet scharf das Top des ca. 60° NNW-verkippten und tonreichen (siehe GR) Schichtpakets ab und markiert eine abrupte Änderung in Dip Orientierung zu 40° - 50° S-einfallenden Schichten oberhalb 325.80 m.

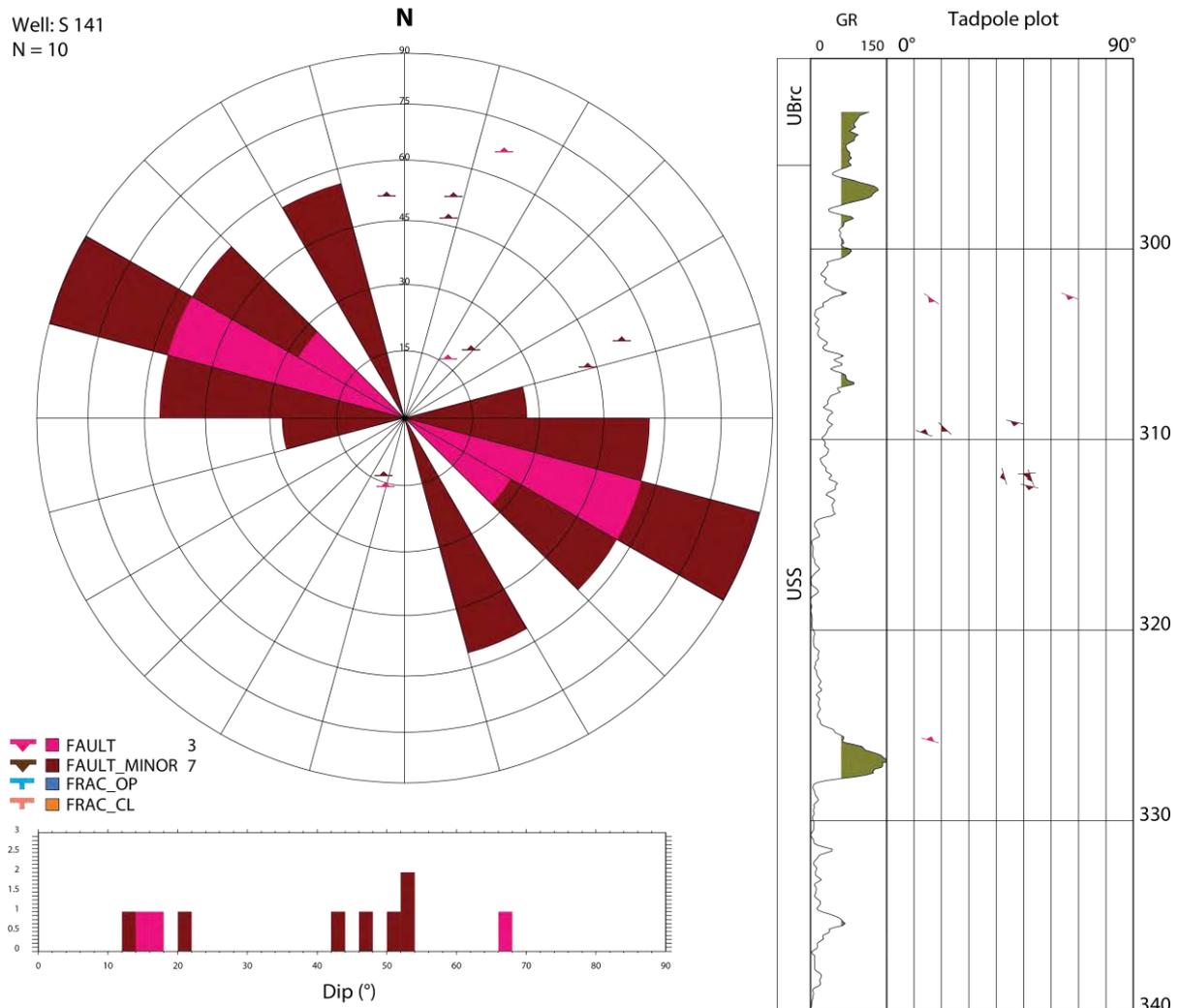
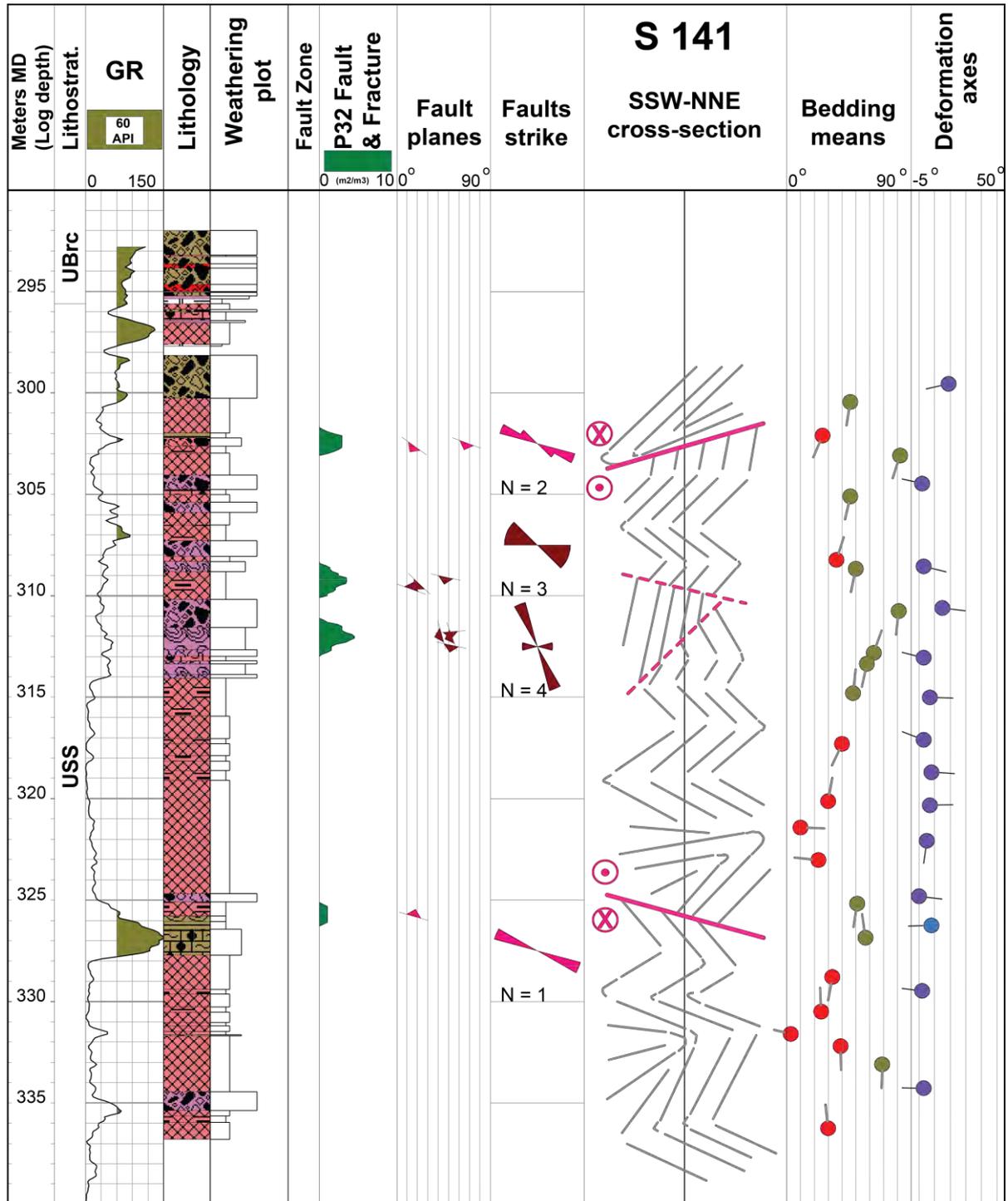


Abb. 15: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 141

Zusammenfassung S 141

Die Resultate der S 141 sind in Abb. 16 visualisiert. Diese Bohrung durchteufte diverse steile bis subvertikale (30° - 90°) nach \sim N- und \sim S-einfallende Faltenschenkel einer teils stark verschuppten WNW-OSO streichenden Faltenstruktur. Somit befinden sich die Unteren Salzschieben im überwiegenden Teil in Steillagerung. Jedoch, gibt es Intervalle, die relativ flaches (bis max. 30°) und somit weniger deformiertes Schichteinfallen aufzeigen: z.B. ~ 302.10 m, ~ 332.55 m, ~ 331.60 m und ~ 334.00 m. Diese fallen vorwiegend in Richtung W bis SW ein, vereinzelt jedoch Richtung E. Diese können potenzielle, flachere Faltenscharniere widerspiegeln. Die tektonischen Störungen konzentrieren sich zwischen 309.00 – 313.00 m, sind jedoch relativ rar (Klüfte und Störzonen wurden nicht detektiert). Die Störungen zeigen einen gut definierten WNW-OSO streichenden Cluster, (sub-)parallel zu den Faltenachsen. Ihre Einfallswinkel sind variabel zwischen 10° und 70° .

Die Basis des **Salzlagere**s wurde nicht geloggt. Jedoch zwischen 319.10 m bis 324.69 m befindet sich der sauberste Halit.



Scale 1:300

Projected relative drift from UTM in direction 120°

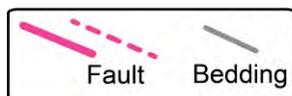


Abb. 16: Übersichtsprofil der S 141 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.2 S 142

Im analysierten Intervall (323.00 – 371.00 m) wurden insgesamt 301 individuelle, geologische Flächen auf den Bohrlochwandabbildungen erkannt und definiert. Dieses Intervall besteht ausschließlich aus Unteren Salzschiechten.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 297 Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 22 Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 142 sind in Stereogrammen (Abb. 17, Abb. 18 und Abb. 19), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 20) und in der Beilage 2 visualisiert.

Das Schichteinfallen in S 142 ist charakterisiert durch einen undeformierten sub-horizontalen bis flachen ($1^\circ - 15^\circ$) NO Struktur dip an der Basis unterhalb 359.00 m und ein variables Schichteinfallen mit flachen bis sub-verticalen ($8^\circ - 75^\circ$) S bis SSW und N bis NNO einfallenden Schichten oberhalb 359.00 m charakterisiert (siehe Beilage 2). Das deformierte Intervall (vom Top bis 359.00 m) ist durch zahlreiche graduelle wie auch abrupte Änderungen in Schichtorientierung charakterisiert und deutet auf komplexe Deformation durch Verfaltung und Verschuppung hin.

Der Übergang von den undeformierten Salzschiechten unterhalb 359.00 m zum deformierten Intervall oberhalb hat einen graduellen Charakter und ist in Abb. 21. Dies deutet auf eine Versteilung der Schichten im Zuge einer duktilen Deformation (Verfaltung) hin.

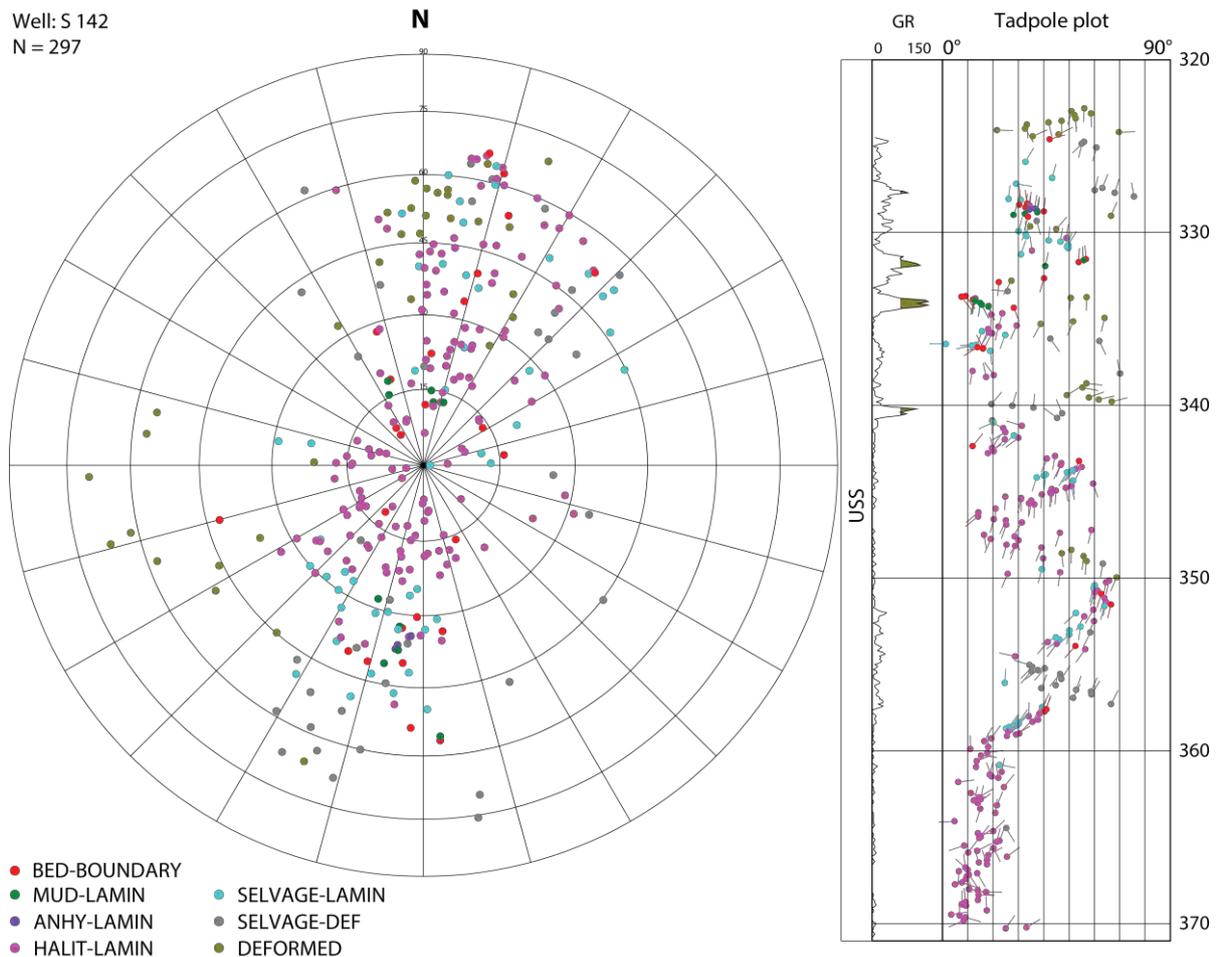


Abb. 17: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 142

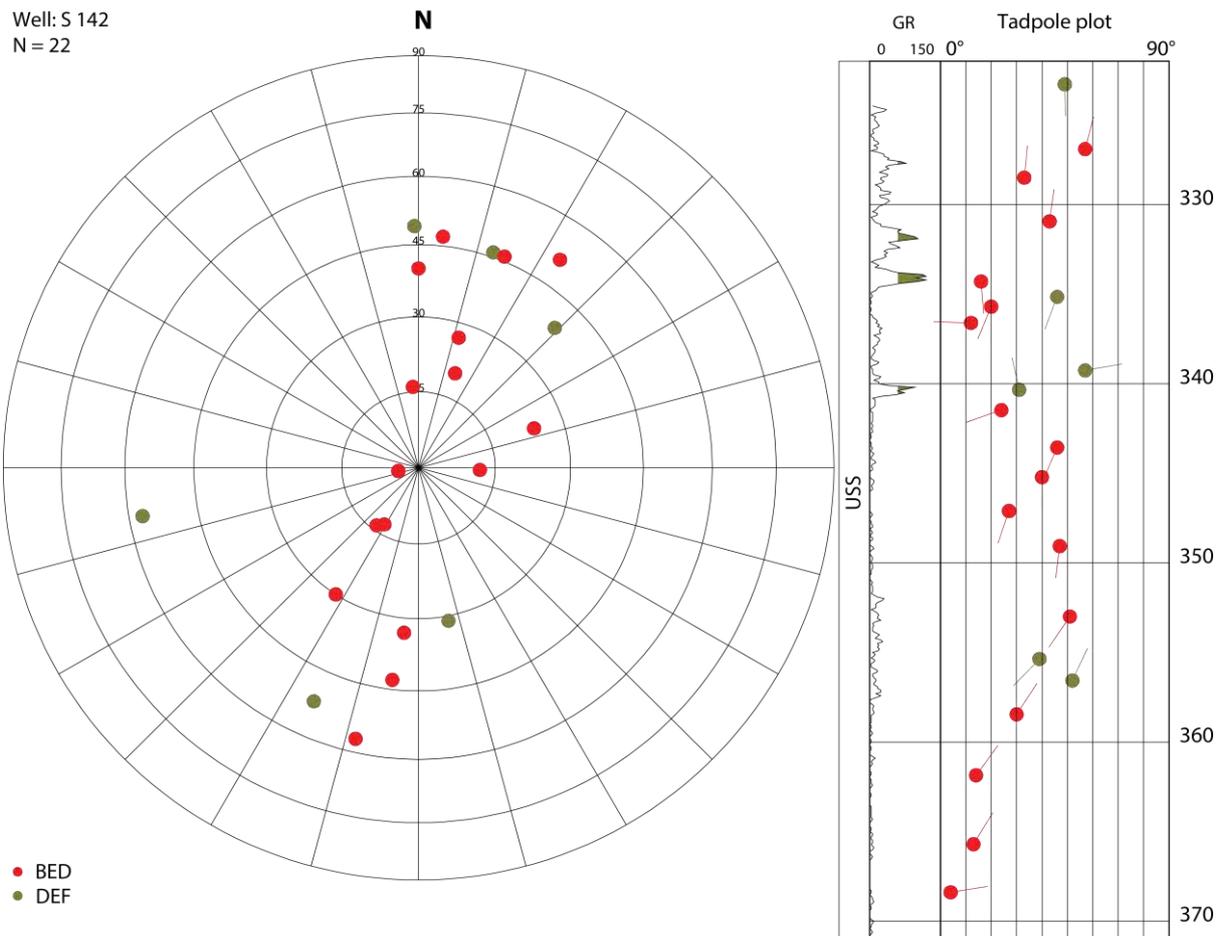


Abb. 18: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 142

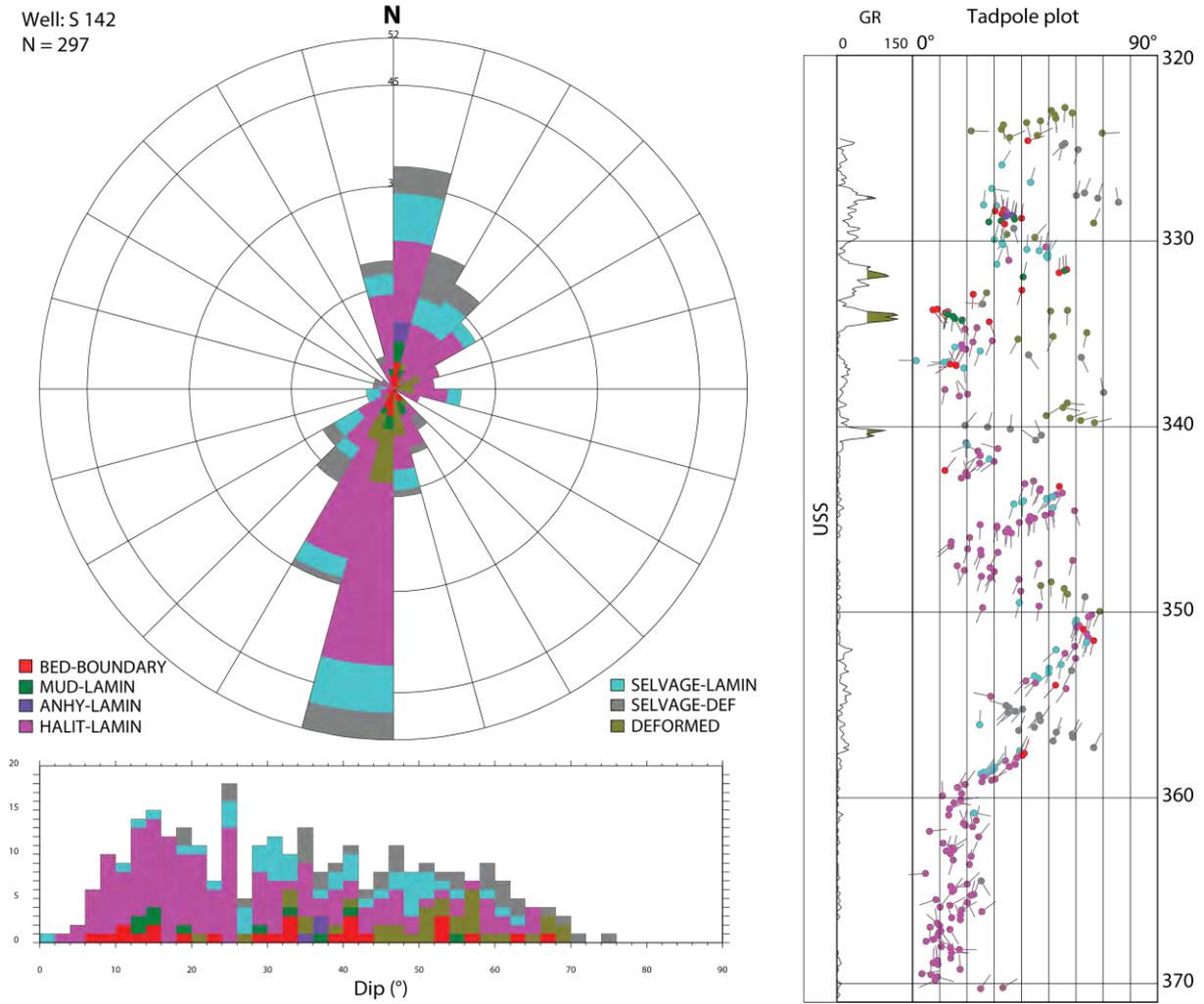


Abb. 19: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 142

Vector azimuth plot
 Well: S 142 (Grosszinggibrunn 2)
 Displayed dips (n = 297)

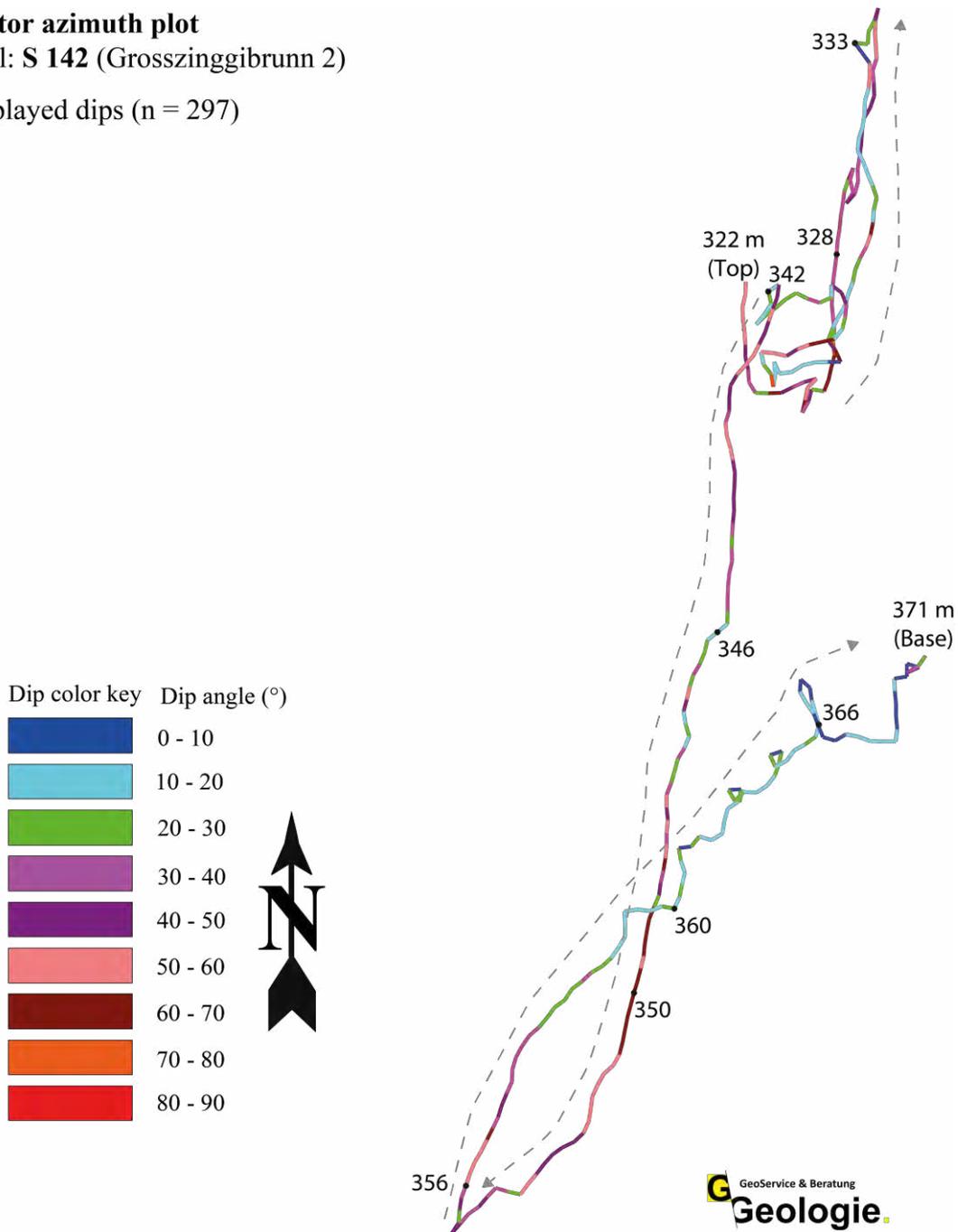


Abb. 20: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfällen der S 142

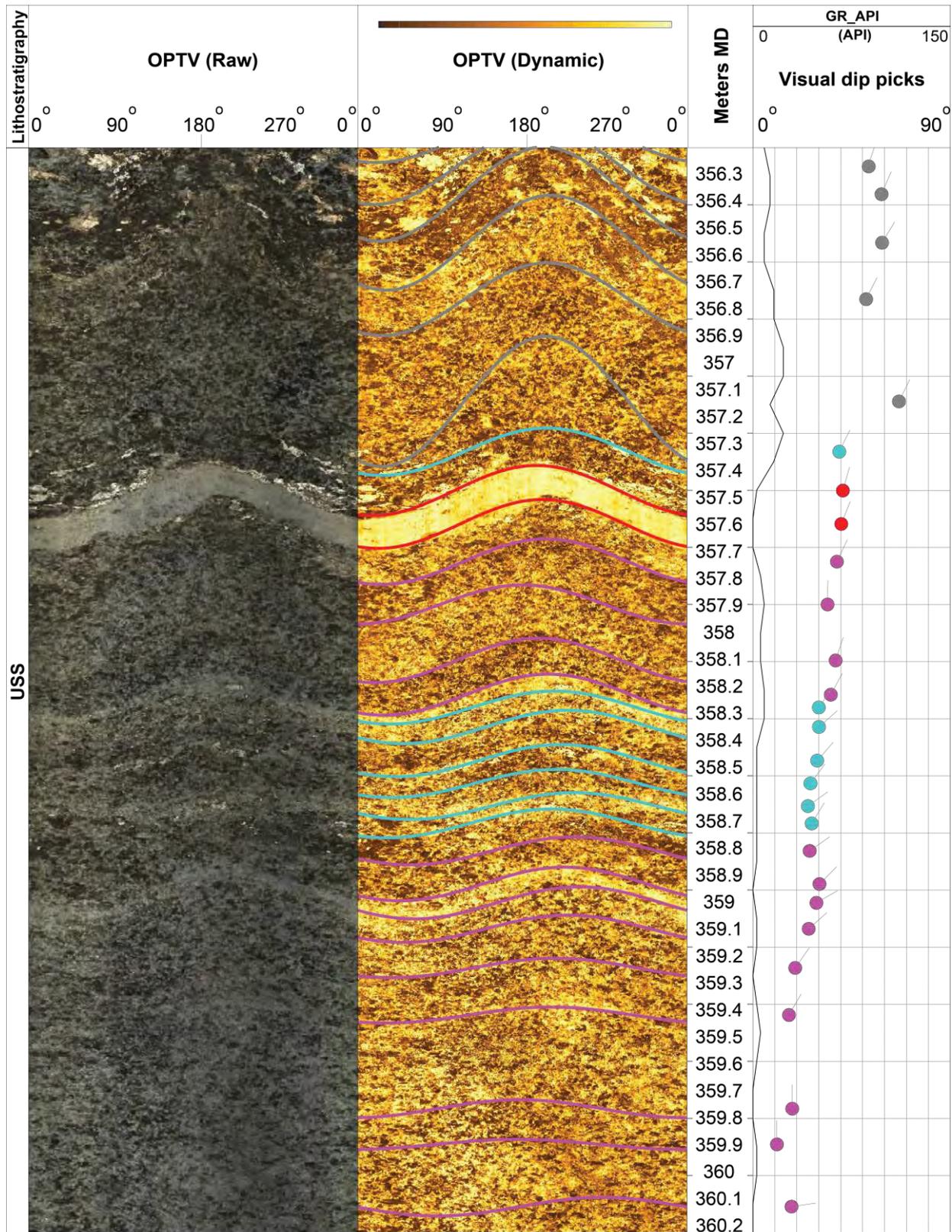


Abb. 21: Graduelle Änderung im Struktur dip zwischen 356.20 und 360.20 m in S 142

Der Struktur dip ist hier sehr gut an robusten Schichtindikatoren bestimmt. Der graduelle Anstieg der Dipmagnitudo von 10° an der Basis bis sehr 60° am Top ist auf duktile Deformation durch Verfaltung zurückzuführen.

Deformationsachsen

In S 142 konnten insgesamt 16 Deformationsachsen bestimmt werden (Tabelle 7). Diese wurden vorwiegend in dem deformierten Bereich oberhalb 359.00 m interpretiert (Beilage 2). Im Stereogramm der Abb. 22 weisen sie einen dominanten WNW-OSO wie auch einen untergeordneten WSW-ONO Trend mit vorwiegend flachen bis geneigten ($4^\circ - 26^\circ$) Abtauchwinkel auf.

Well: S 142
N = 16

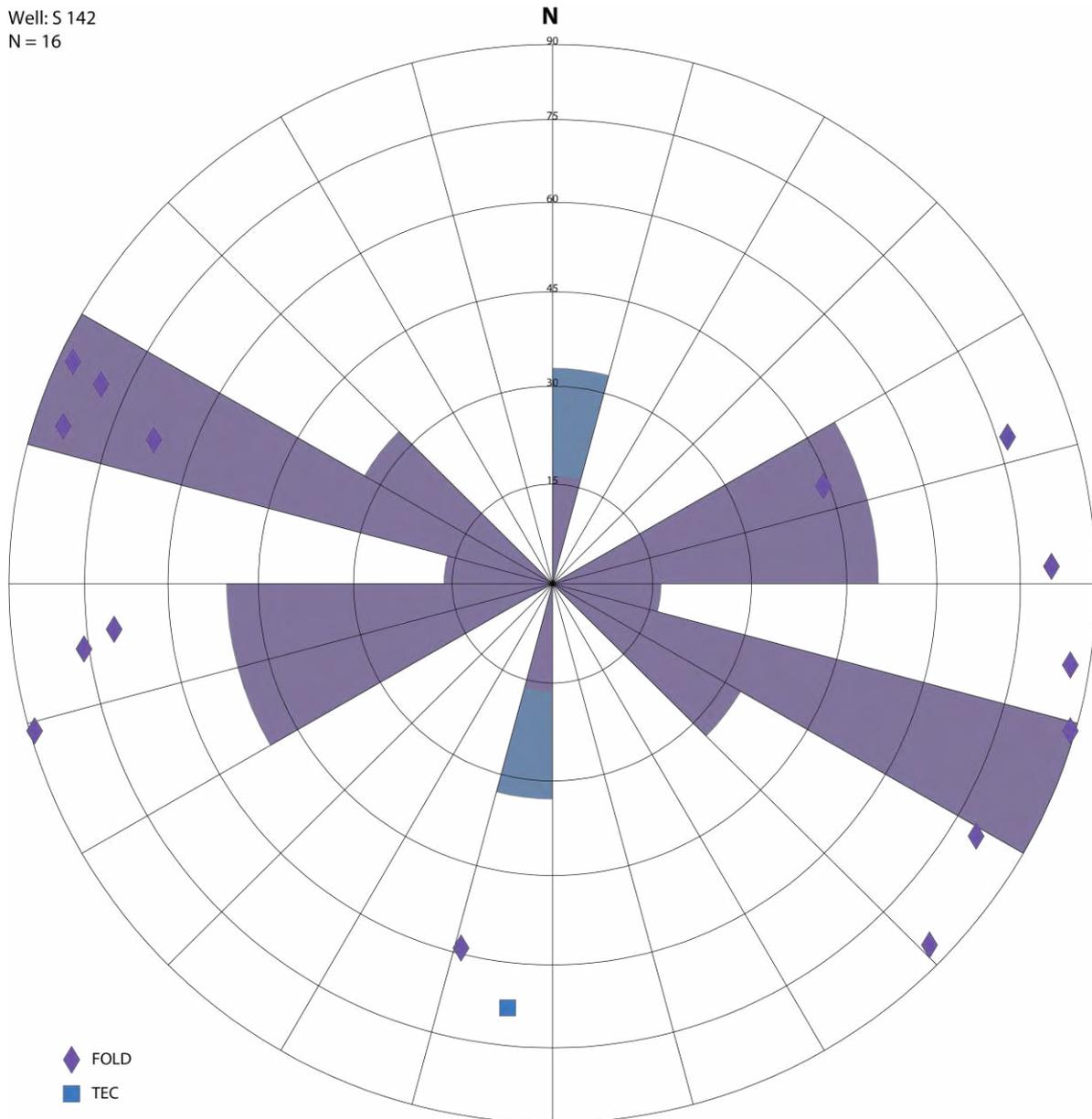


Abb. 22: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 142

Tabelle 7: Orientierung von Deformationsachsen in S 142

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
322.78	324.00	23	110	9	FOLD	Monoklinale
324.02	324.65	22	006	4	TEC	Störung bedingte Schleppung im Hangenden? Achse stricht subparallel zu MICRO-FAULT's; Dip-slip Versatz im dm-Bereich entlang einer 70° NO-einflallenden Abschiebung bei 324.41 m
324.72	327.80	06	108	9	FOLD	
329.00	329.85	10	114	5	FOLD	
329.90	332.00	14	082	15	FOLD	Monoklinale
334.62	335.98	01	286	12	FOLD	Monoklinale
338.70	340.80	31	014	11	FOLD	Ca. 90° Streuung in Azimut - pot. Achse einer nicht zylindrischen Falte in USS
341.50	342.80	04	314	8	FOLD	
342.30	344.20	03	115	16	FOLD	
344.30	346.00	13	252	16	FOLD	Monoklinale
346.15	347.85	04	279	12	FOLD	Monoklinale
348.00	349.85	09	268	12	FOLD	Monoklinale
349.90	354.20	46	250	26	FOLD	Monoklinale
355.10	357.33	10	301	14	FOLD	
357.40	359.50	20	084	18	FOLD	Monoklinale
366.30	367.50	01	074	10	FOLD	Messung basiert auf relativ flachen (<20°) Schichten

Störungen und Klüfte

In S 142 wurden lediglich vier potenzielle Störungen interpretiert, welche mit Halit mineralisiert sind. Diese streichen entweder WSW-ONO oder NNW-SSE und weisen steile (55° – 70°) Einfallswinkel auf (Abb. 23) und wurden oberhalb 337.00 m angetroffen (Beilage 2). Beispiele der Störungen im OPTV sind in Abb. 24 und Abb. 25 demonstriert.

Die WSW-ONO streichenden Störungen weisen klare Schichtversätze in 10 cm – 15 cm Bereich auf und repräsentieren kompressive Überschiebungen. Dagegen die NNW-SSE orientierte Störung bei 324.30 m einen normalen Schichtversatz (cm Bereich) verursacht und eine potenzielle Ab- oder Blattverschiebung darstellt.

Well: S 142
N = 2

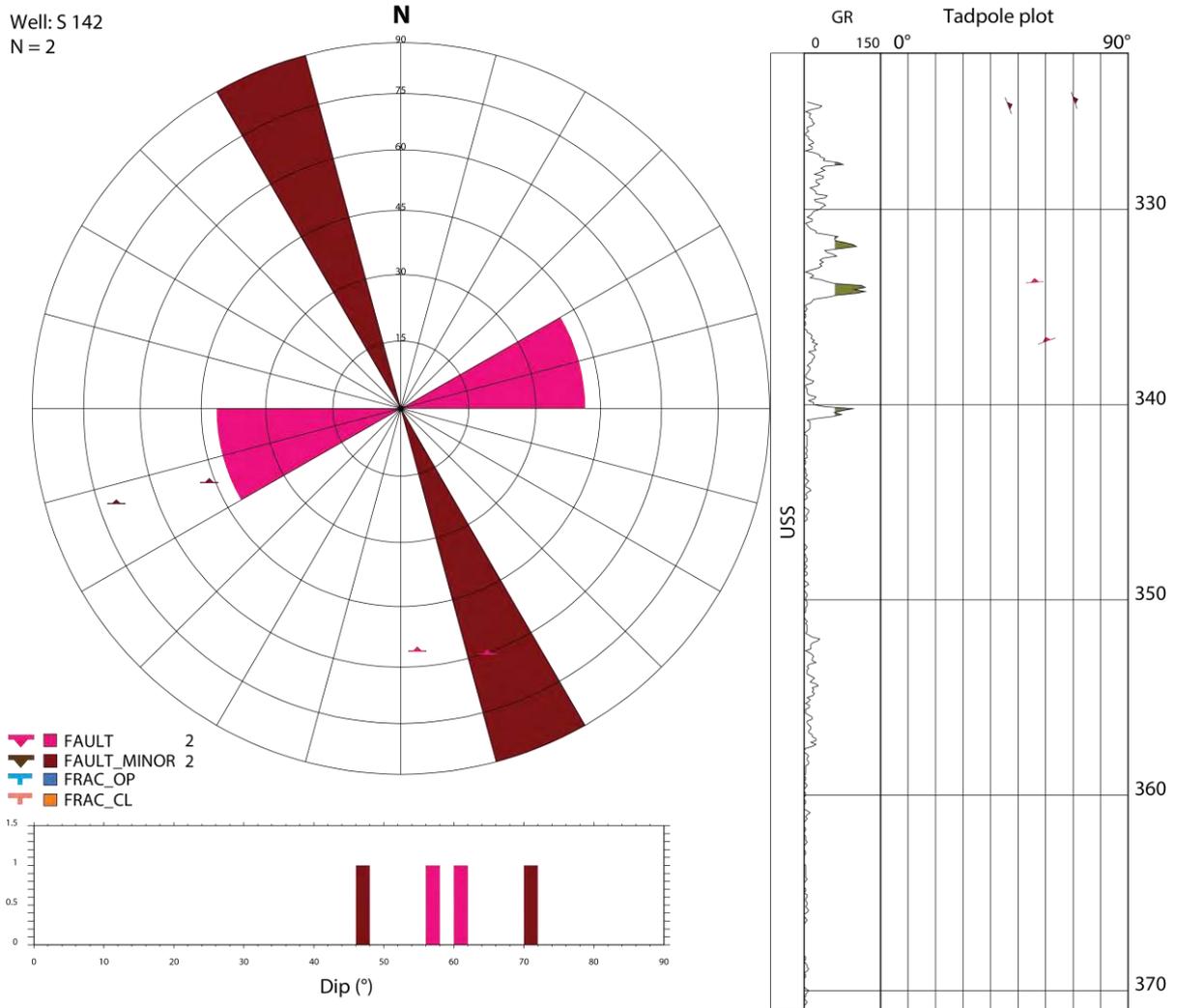


Abb. 23: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen in S 142

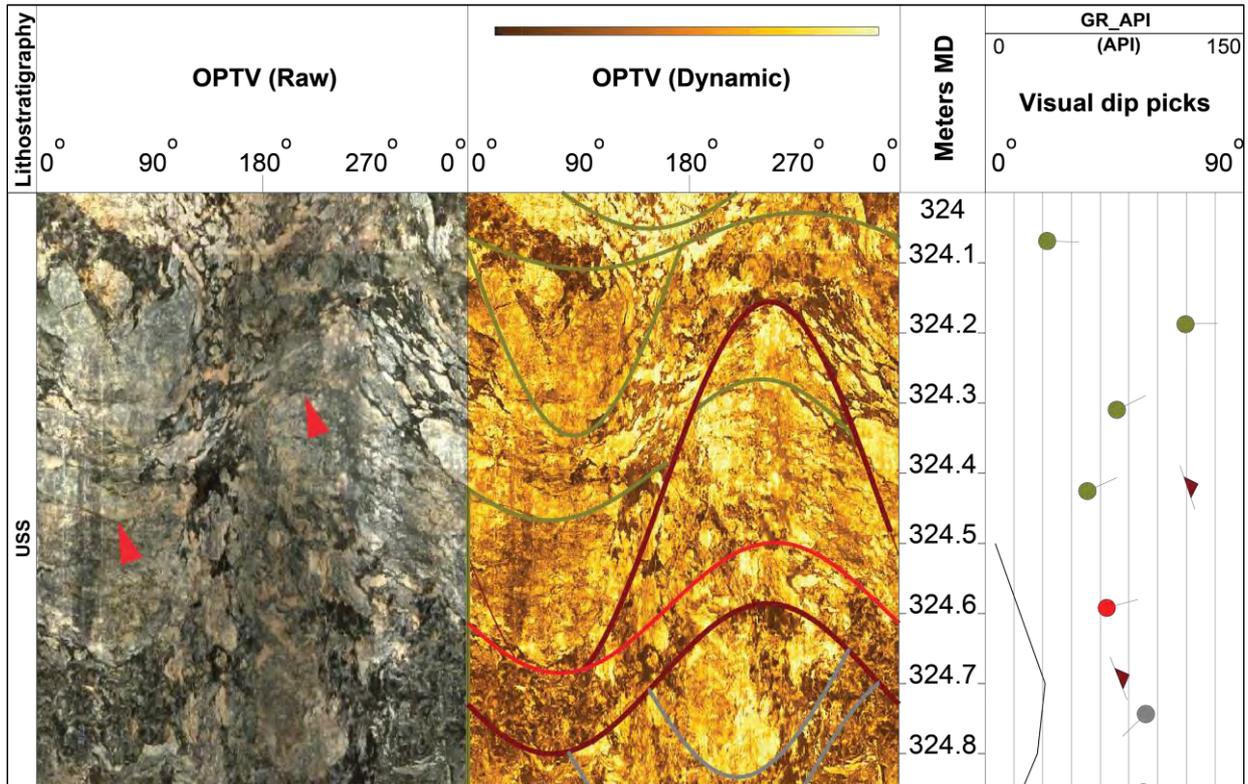


Abb. 24: Steile (70°) ONO-einfallende Abschiebung (braun) bei 324.43 m
 Der Schichtversatz ist mit roten Pfeilen markiert und beträgt etwa 15 cm.

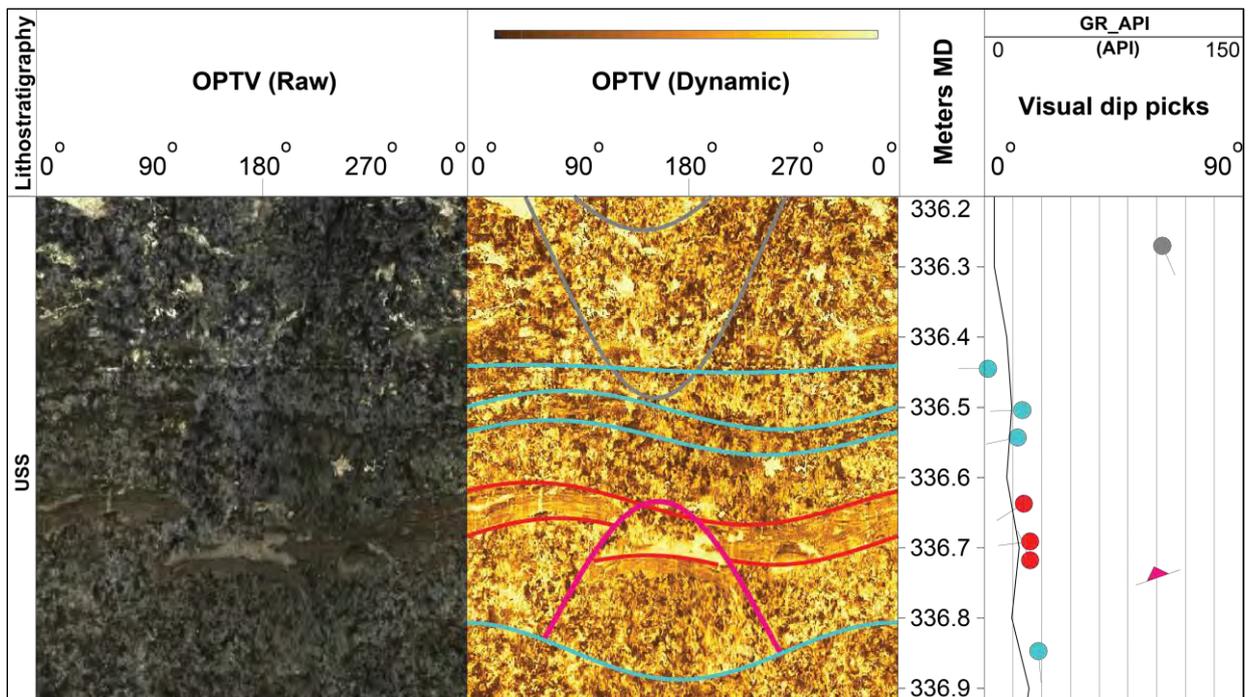


Abb. 25: Steile (60°) NNW-einfallende Überschiebung bei 336.75 m
 Der Schichtversatz ist deutlich an den BED-BOUNDARY (rot) Flächen zu sehen und beträgt circa 10 cm.

Zusammenfassung S 142

Die Hauptresultate der Log Auswertung der S 142 sind in Abb. 26 visualisiert. Diese Bohrung durchteufte unterhalb 359.00 m ein undeformiertes Salzlager mit flacher ($1^{\circ} - 15^{\circ}$) NO Lagerung. Dagegen, oberhalb 359.00 m sind zahlreiche steile ($30^{\circ} - 75^{\circ}$) ~NNE und ~SSW einfallende Faltschenkel einer WNW-OSO bis WSW-ONO streichenden Faltenstruktur interpretiert. In den Übergangsbereichen zwischen den Salzschieben in Steillagerung gibt es jedoch Zonen mit flachem (bis max. 30°) W, SW, S, SSE und NE Strukturdip, die potenzielle Falten-Scharniere widerspiegeln können.

Die spröde Deformation im deformierten Intervall (oberhalb 359.00 m) ist marginal. Lediglich vier Störungen wurden im gesamten Profil interpretiert. Diese sind durch steile ($55^{\circ} - 70^{\circ}$) Auf- und Abschiebungen repräsentiert, welche den regionalen WSW- und NNW-Trends entsprechen.

Insgesamt weist das **Salzlager** zwischen 334.35 m und 380.00 m (**45.65 m**) eine sehr **hohe Reinheit** mit fast durchgehend 100 Vol.% an Halit auf.

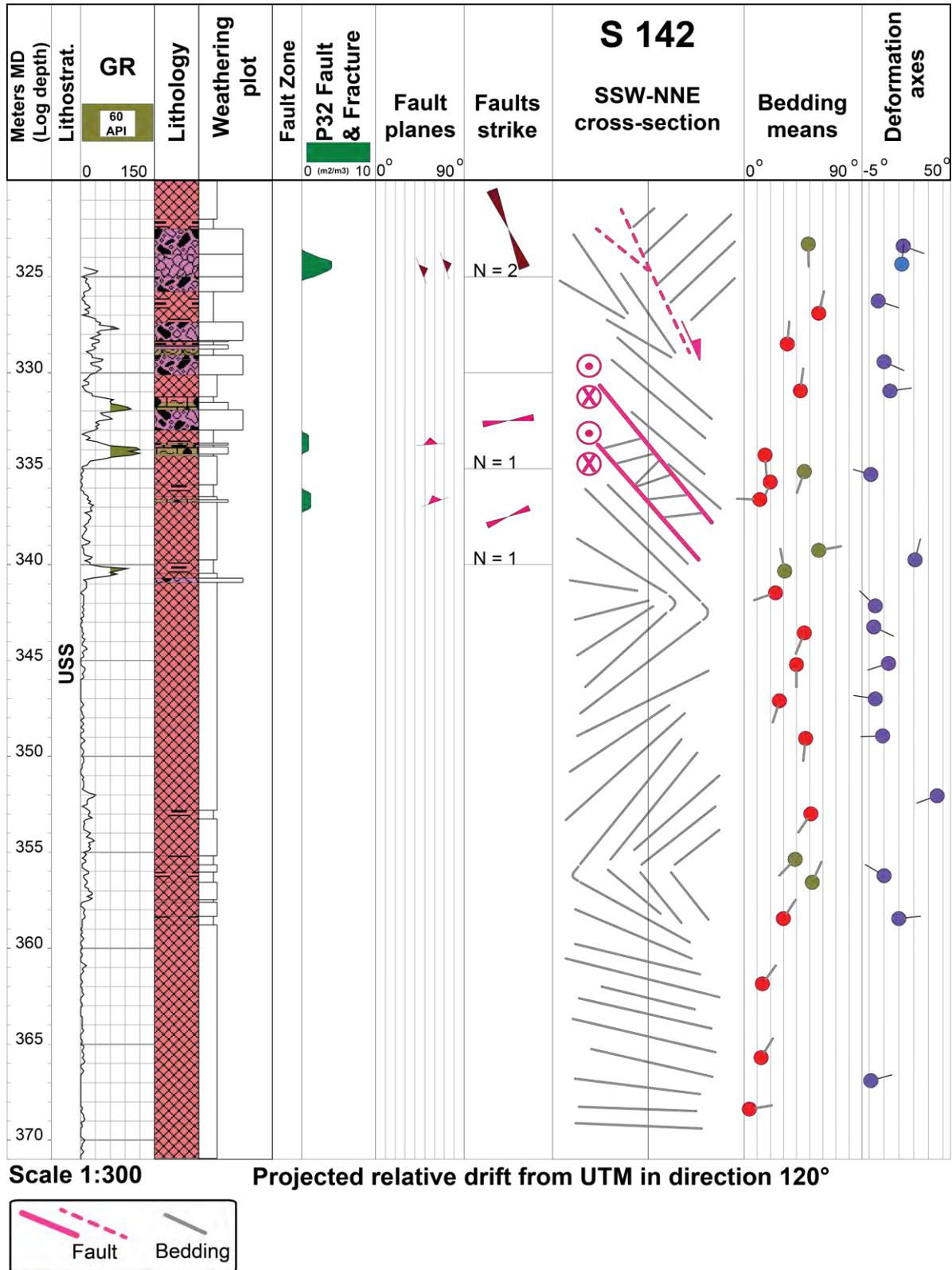


Abb. 26: Übersichtprofil der S 142 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.3 S 143

Im untersuchten Intervall (319.00 – 365.00 m) konnten insgesamt 186 individuelle, geologische Flächen auf den OPTV Bohrlochwandabbildungen interpretiert werden. Dieses Intervall deckt ausschließlich die Unteren Salzsichten ab.

ES WIRD NOCH GEKLÄRT; OB DIE INTERPRETIERTE SCHERZONE DAS ZEMENT ODER DOCH EIN STÖRUNGSGESTEIN DARSTELLT (Stand 28.03.2022).

Von 319.40 m bis 328.60 m ist im OPTV die Verrohrung abgebildet. Unterhalb 328.60 m bis 345.00 m ist die OPTV Qualität mäßig bis schlecht. Dies ist einerseits auf die Bohrlochwandinstabilität aufgrund der angetroffenen Scherzone in diesem Intervall und andererseits auf eine schlechte Auflösung der primären OPTV Daten zurückzuführen (Beilage 3). Folglich ist die geologische Interpretation in diesem Intervall mit hoher Unsicherheit behaftet.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 170 Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 13 repräsentative Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 143 sind in Stereogrammen (Abb. 27, Abb. 28 und Abb. 29), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 30) und in der Beilage 3 visualisiert.

Die S 143 beginnt an der Basis (355.00 – 365.00 m) mit undefor miertem, sub-horizontal bis flach (1° – 20°) N- bis NO-einfallendem Salzlager. Oberhalb 355.00 m ist das Schichteinfallen durch variable Dip Magnituden (10° – 70°) und vorwiegend N, NNO und NO aber auch SSO einfallende Schichtflächen charakterisiert. Die diversen Änderungen im Schichteinfallen oberhalb 355.00 m sind zum Teil graduell aber auch abrupt. Die Letzteren korrelieren mit eindeutigen, etwa WNW-OSO orientierten Störungen bei z.B. 329.50 m, 342.45 m und 346.58 m. Dies deutet auf viskose Verfaltung und eine lokal teils starke Verschuppung hin.

Der Übergang von undefor mierten Salzsichten unterhalb 355.00 m zum defor mierten Intervall ist graduell und ist Versteilung der Schichtung im Zuge einer duktilen Deformation (Verfaltung) zurückzuführen.

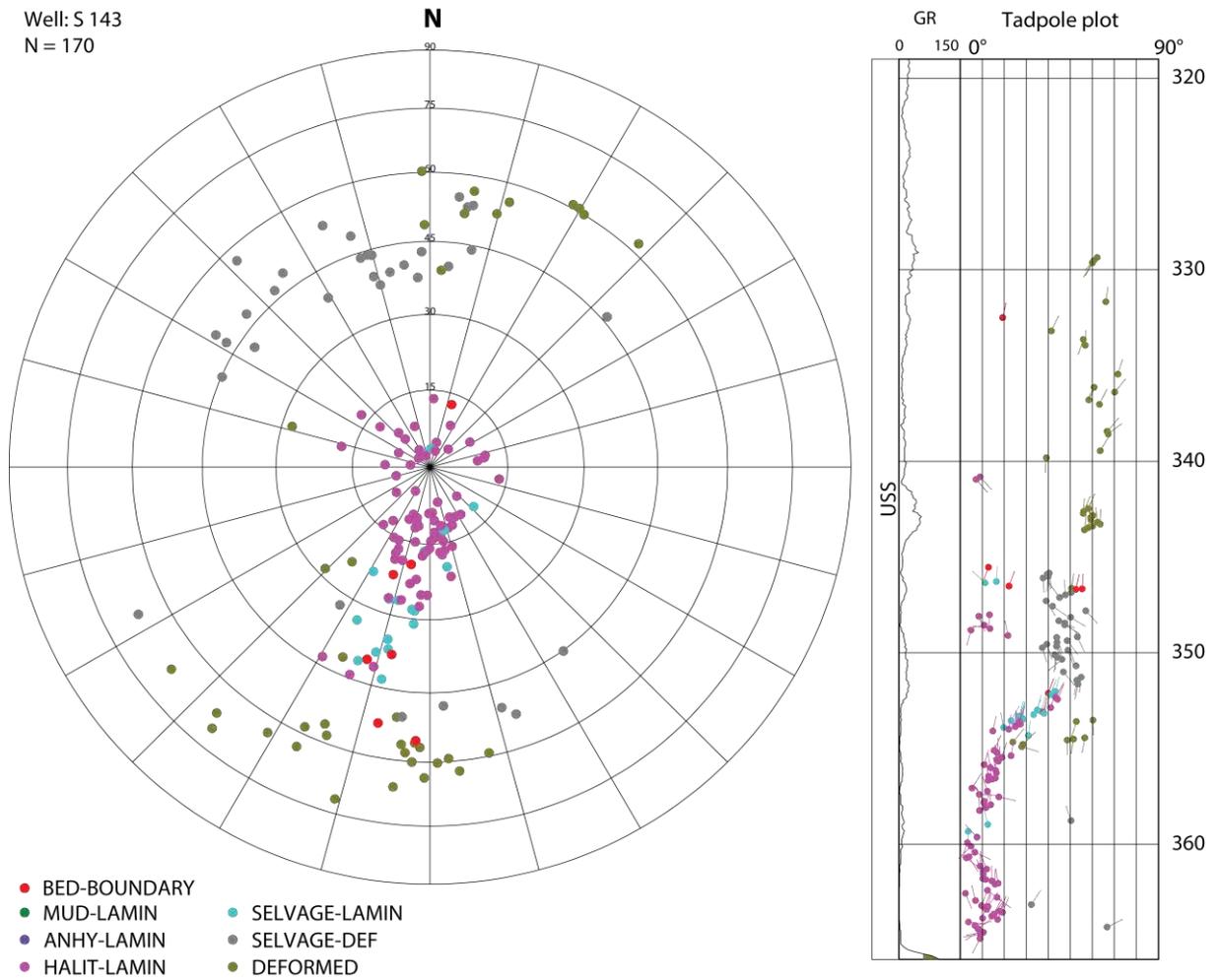


Abb. 27: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfällen in S 143

Well: S 143
N = 13

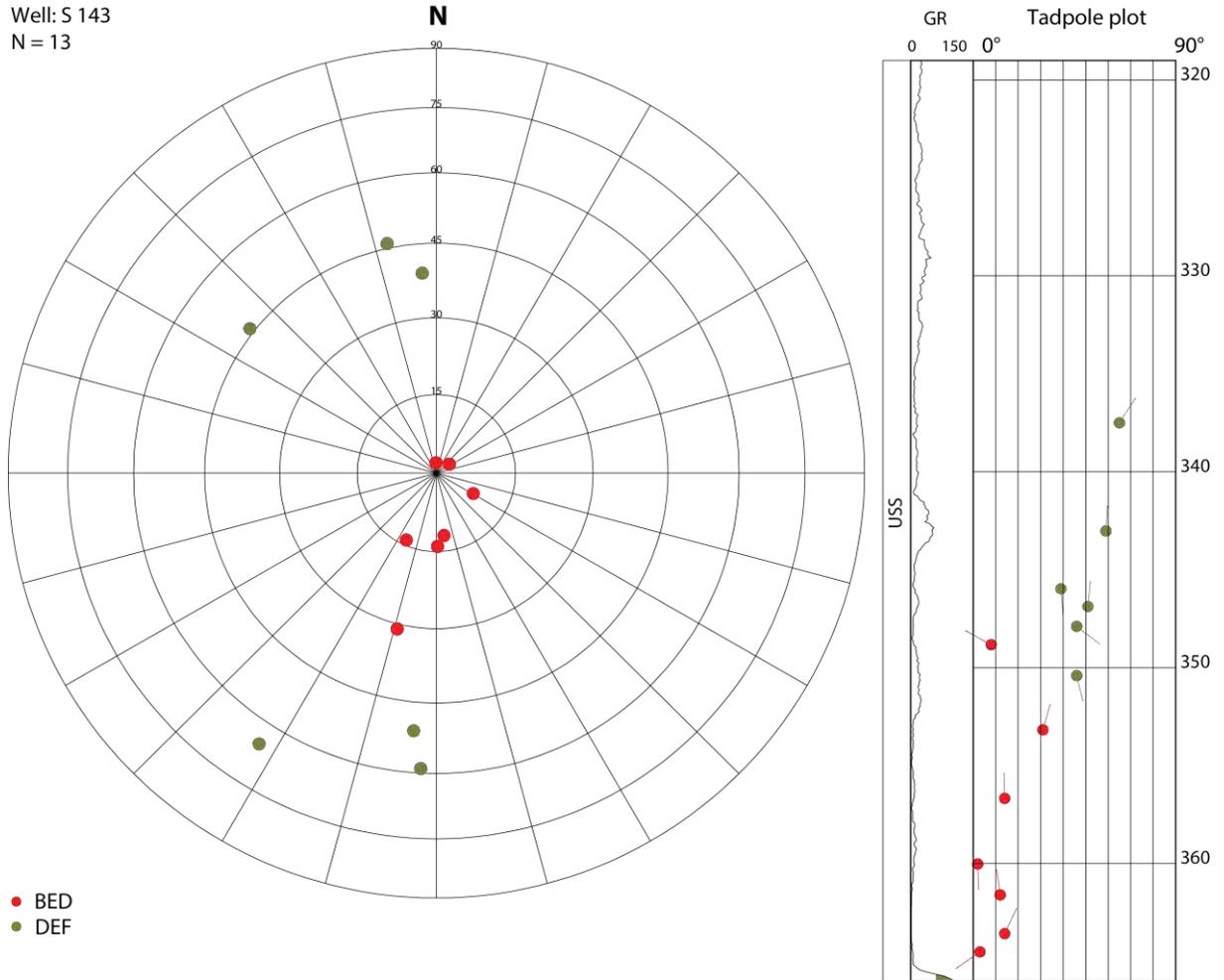


Abb. 28: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 143

Well: S 143
N = 170

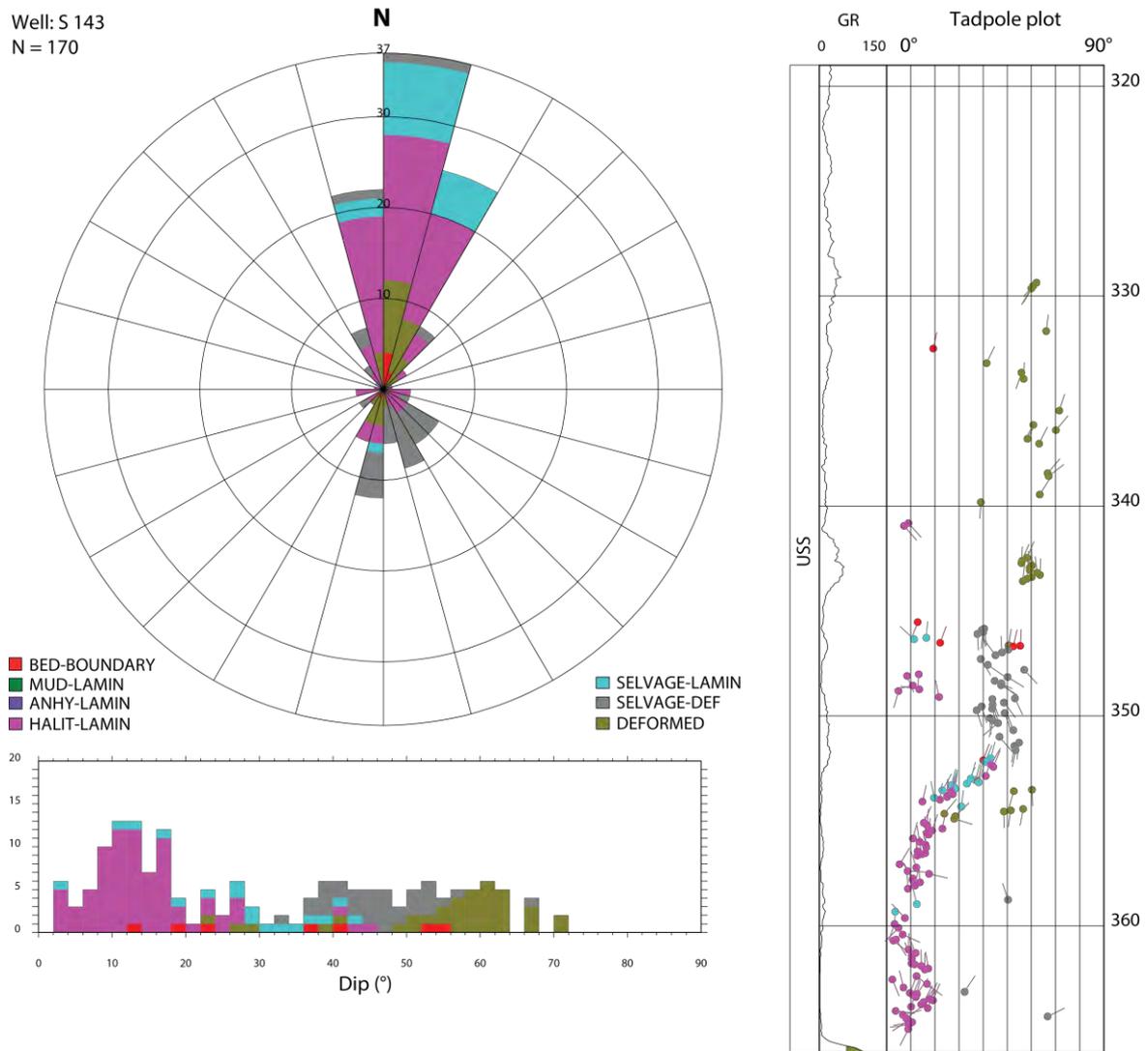


Abb. 29: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 143

Vector azimuth plot

Well: S 143 (Grosszinggibrunn 2)

Displayed dips (n = 170)

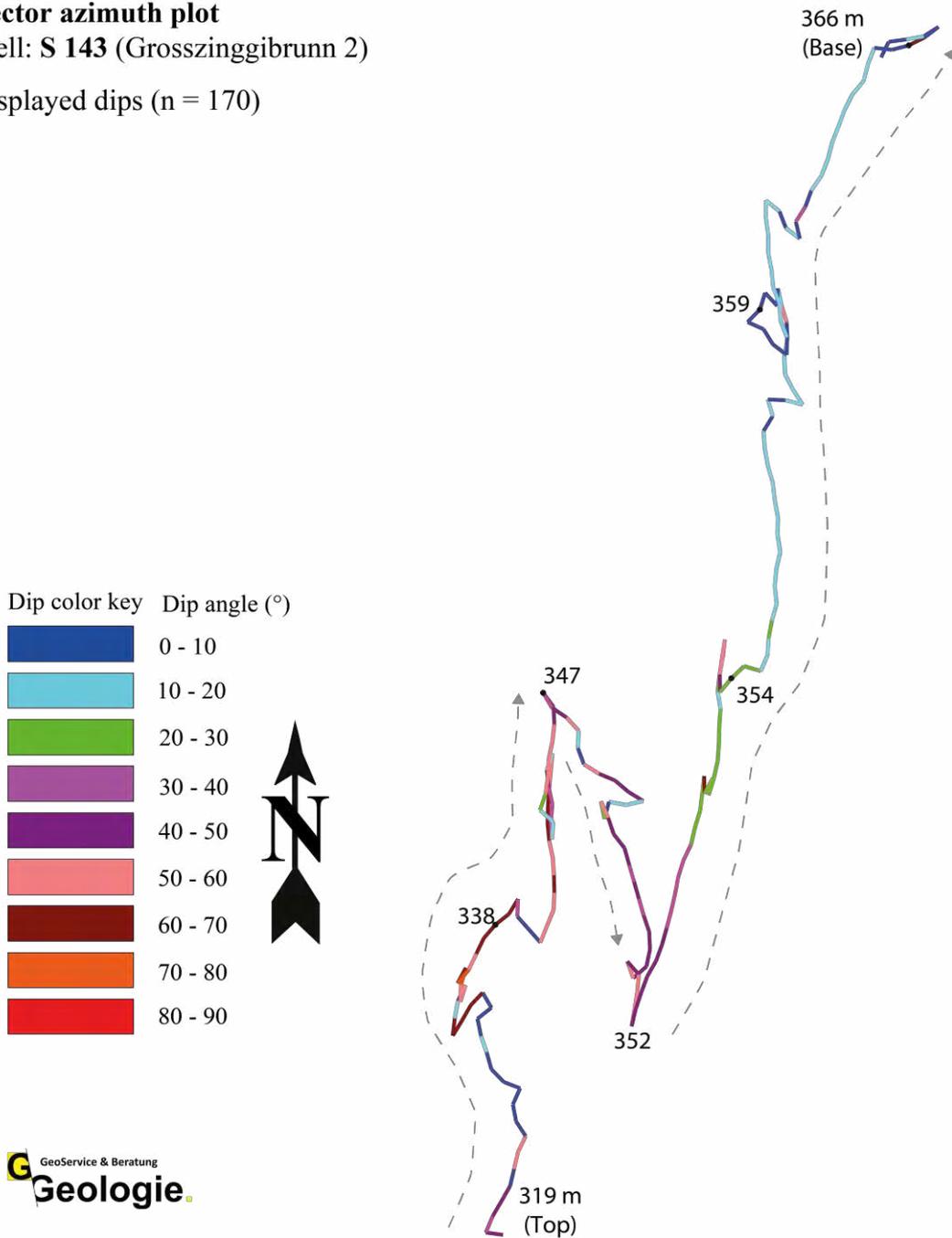


Abb. 30: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfällen der S 143

Deformationsachsen

Insgesamt wurden 7 Deformationsachsen identifiziert (Abb. 31 und Tabelle 8). Diese wurden in duktil deformierten Zonen bestimmt, die auf Verfaltung (FOLD) oder Schleppung entlang einer Verwerfung (TEC) zurückzuführen sind (Beilage 3). Im Stereogramm (Abb. 31) weisen sie eine konsistente WNW-OSO Orientierung mit vorwiegend flachen bis geneigten ($4^\circ - 30^\circ$) Abtauchwinkeln auf.

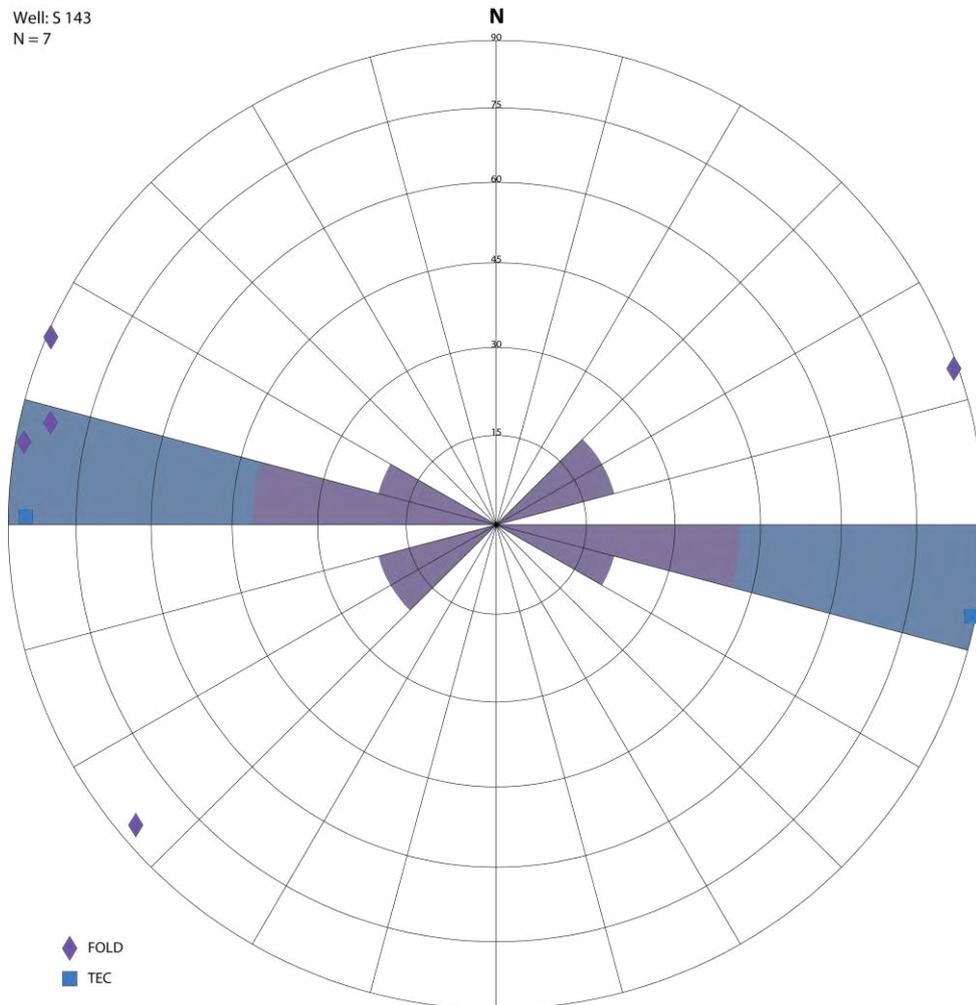


Abb. 31: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 143

Tabelle 8: Orientierung von Deformationsachsen in S 143

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen &		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]	Abtauchazimut [°]				
320.95	322.15	01	113	6	FOLD	
331.60	334.00	01	281	5	TEC	Spröde Störungszone - Achse beschreibt die Rotation dm- bis m-grossen Schuppen / Blöcke
345.80	347.00	04	091	11	TEC	Klare Abscherung einer Falte im Scharnierbereich durch eine 26° NNO-einfallende Überschiebung bei 346.57 m
347.05	347.85	04	050	4	FOLD	
349.00	351.02	01	251	13	FOLD	
351.25	352.45	07	103	8	FOLD	
352.00	354.60	02	100	30	FOLD	

Störungen und Klüfte

ES WIRD NOCH GEKLÄRT; OB DIE INTERPRETIERTE SCHERZONE DAS ZEMENT ODER DOCH EIN STÖRUNGSGESTEIN DARSTELLT (Stand 28.03.2022).

Insgesamt konnten im Salzlager 14 tektonische Störungen identifiziert werden (FAULT = 10 und FAULT_MINOR = 4) sowie zwei hauchdünne, potenziell offene Klüfte. Manche Störungen sind mit klaren Schichtversätzen entlang von Überschiebungen assoziiert und sind verheilt (Abb. 32). Andere bilden komplexe, extrem zerklüftete und spröde **Scherzonen** mit hoher Strukturdichte ($P32 = 9.70 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Diese bis 11.30 m mächtige Zonen sind durch unzählige tektonische Brüche im potenziellen Störungsgestein (Anhydrit) charakterisiert (Abb. 33 und Abb. 34). Die spröden Strukturen erscheinen dunkel auf den OPTV's, sind nicht eindeutig mineralisiert und können potentiell (**hydraulisch**) **offene Brüche/Scherzonen** darstellen (Beilage 3). Eine Auflistung mit Kurzbeschreibung ist in Tabelle 9 gegeben.

Die Orientierung und Verteilung der interpretierten Störungen und Klüfte ist im Stereogramm (Abb. 35) präsentiert. Diese haben eine konsistente WNW-OSO Orientierung mit vorwiegend S bis SSW-einfallenden Flächen und konzentrieren sich zwischen 328.50 – 346.50 m. Die Einfallswinkel sind vorwiegend steil bis sub-vertikal ($40^\circ - 78^\circ$).

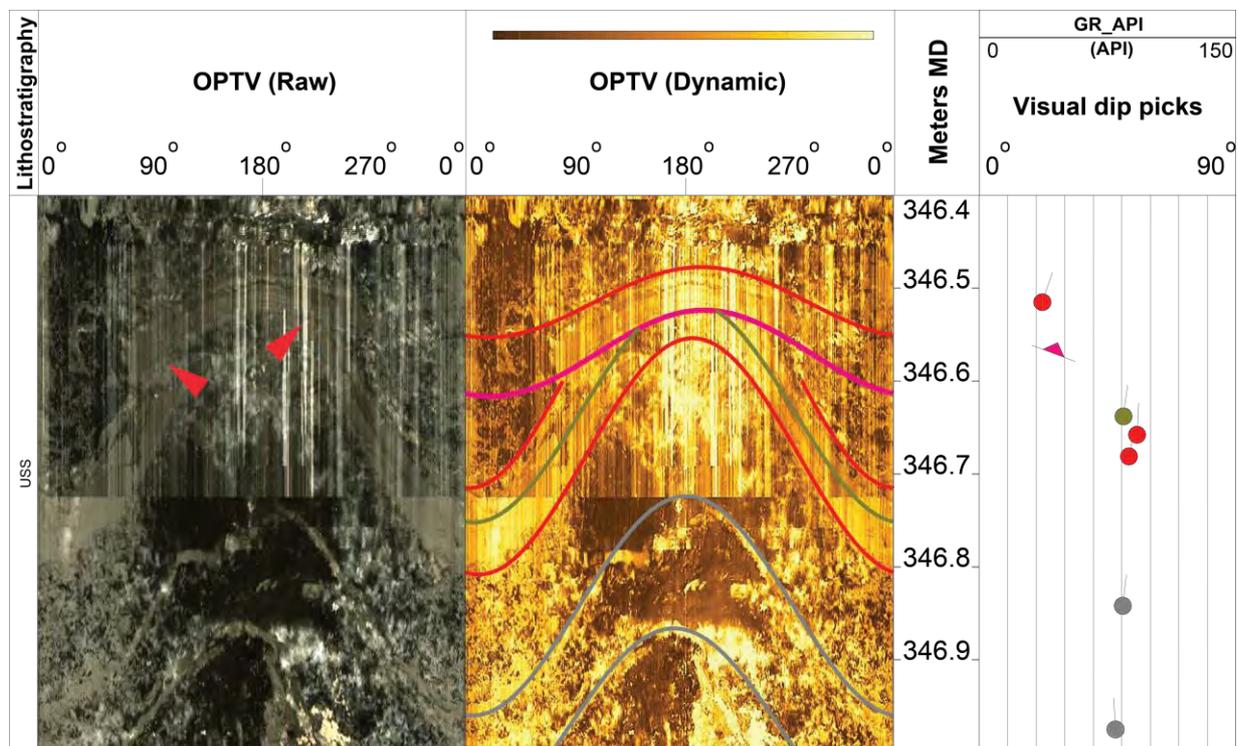


Abb. 32: Flache NNO-einfallende Überschiebung bei 346.58 m (S 143)

Der Abriss und Schichtversatz entlang der Störungsfläche sind mit roten Pfeilen markiert.

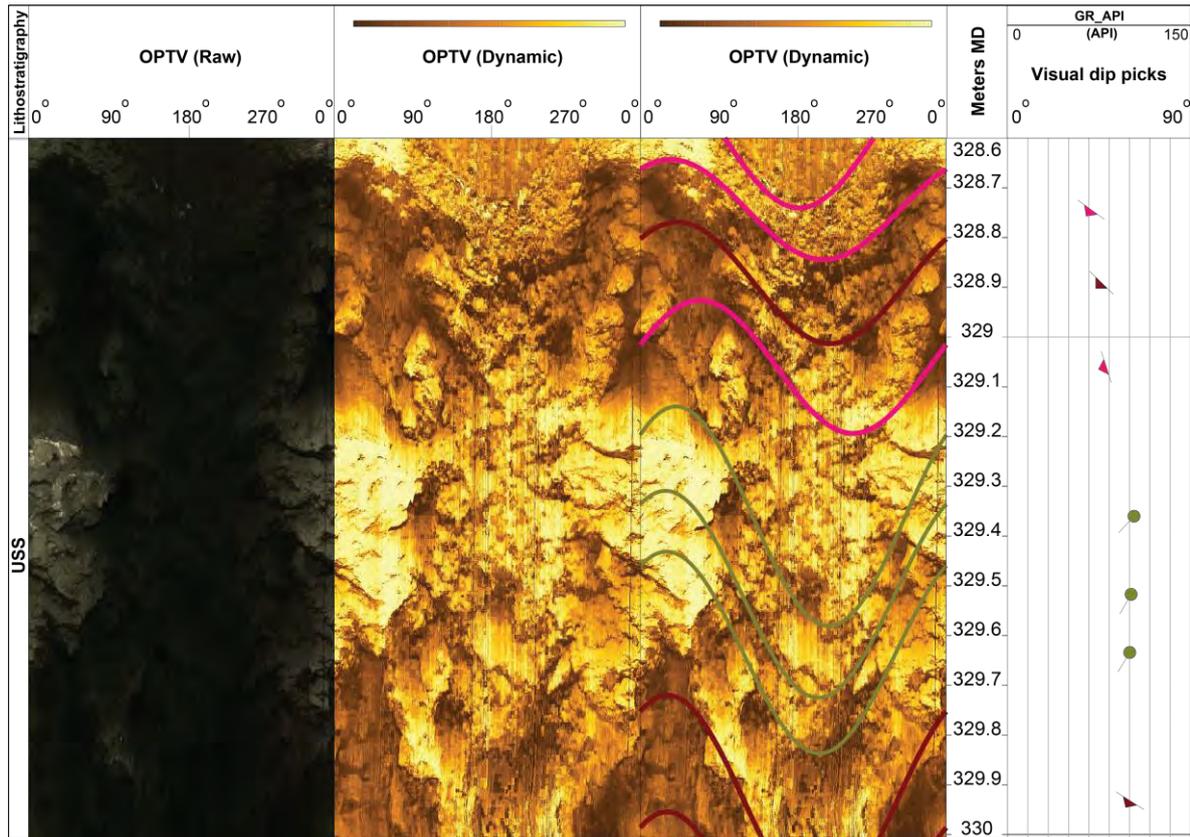


Abb. 33: Störzone (Störungsgestein) in S 143 bei 328.60 – 330.00 m.

Dieses Intervall ist durch extrem sprödes Wirtsgestein (Anhydrit?) und unzählige steile, tektonische Brüche charakterisiert. Diese erscheinen dunkel auf den OPTV's und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie potenziell offen sind. Beachte den Unterschied zwischen dem primären (Raw) und dem prozessierten (Dynamic) OPTV Bohrlochscan.

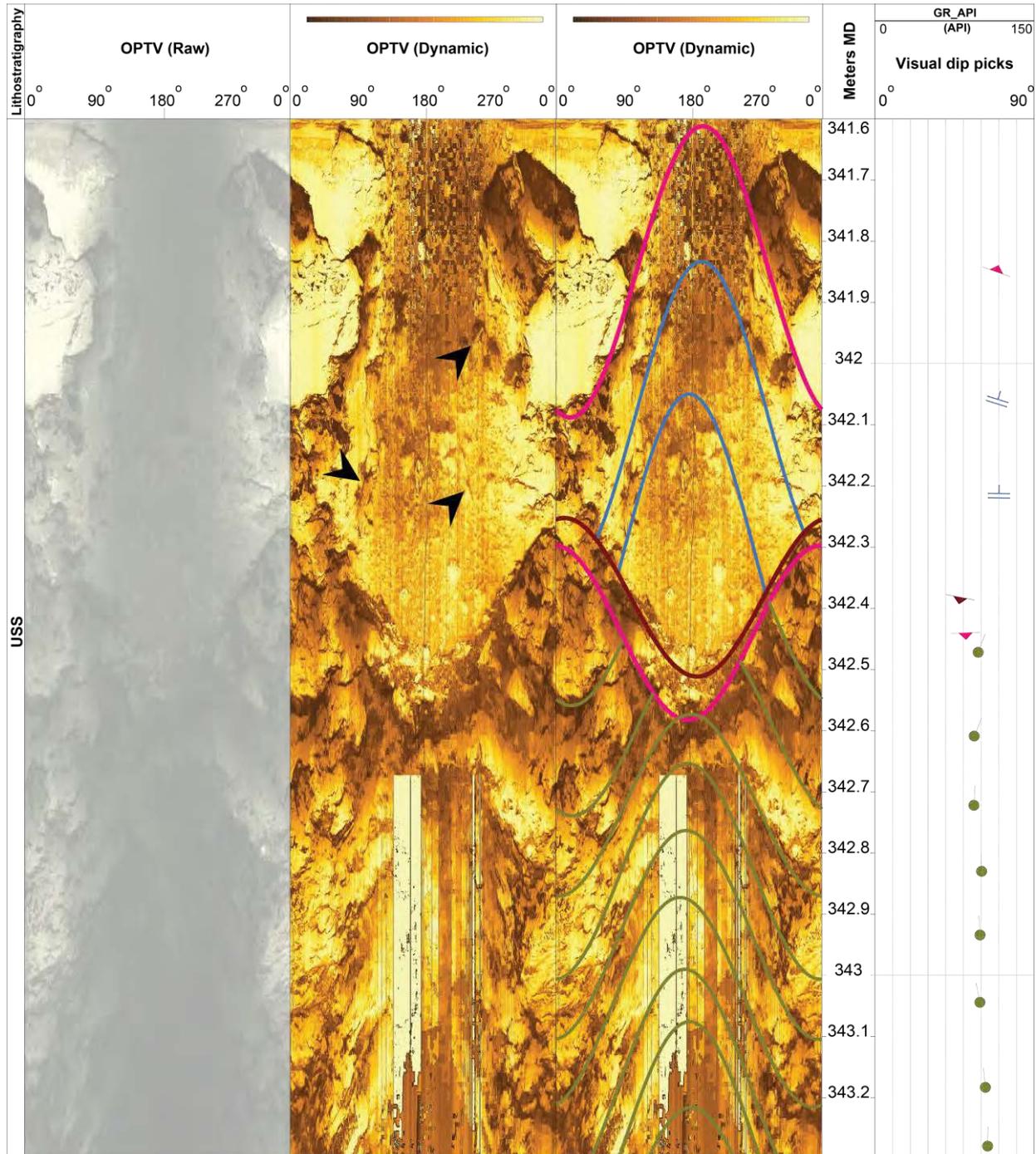


Abb. 34: Scherzone (Störungsgestein) mit steilem Bedding in S 143 bei 341.60 – 343.30 m

Beachte die prominenten Störungen (pink), welche die steilen nach N gekippten Schichtflächen scharf abscheiden. Die hauchdünnen und potenziell offenen (dunkel) Klüfte (blaue Sinuskurven) sind mit schwarzen Pfeilen markiert.

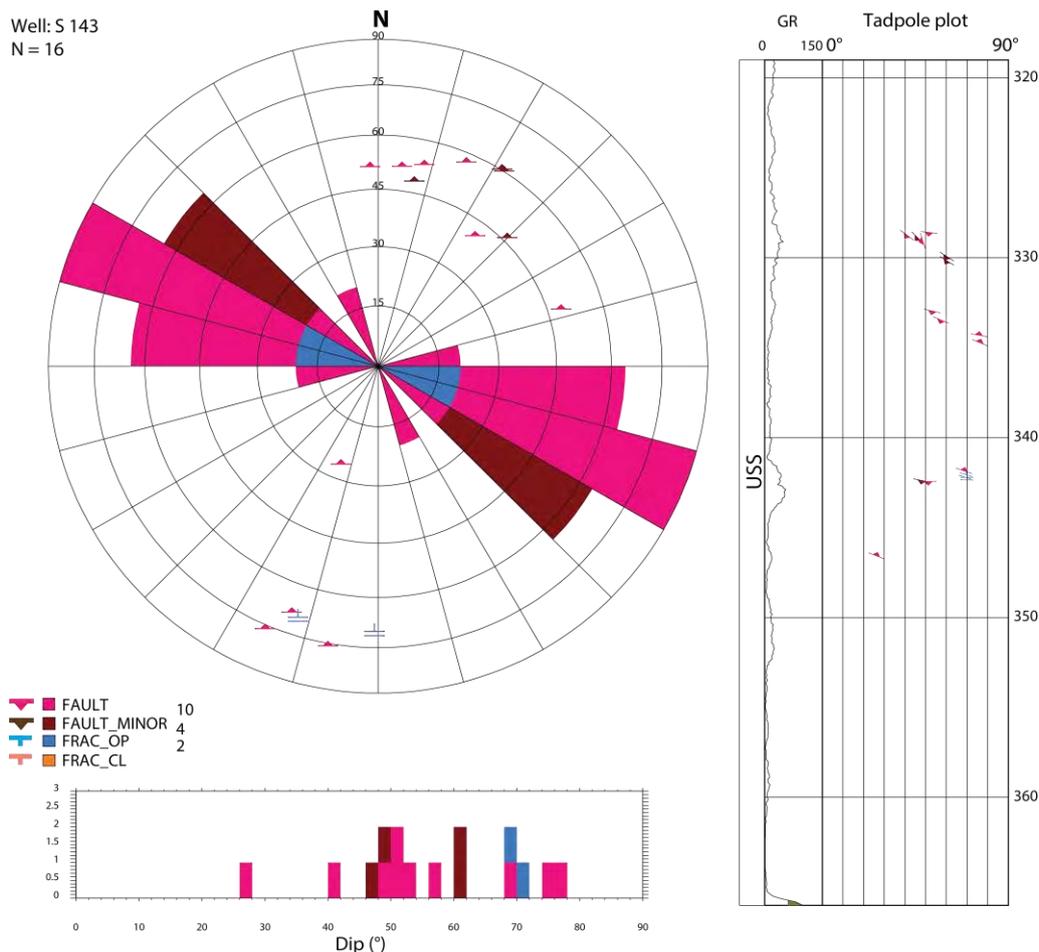


Abb. 35: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 143

Tabelle 9: Evaluation der interpretierten Stör-/Scherzonen in S 143

Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S 143	328.60	339.90	11.30	Spröde und teils poröse Bohrlochwand; steiles Schichteinfallen und zahlreiche, potenzielle Störungsflächen
	341.60	343.70	2.10	Extrem sprödes Wirtsgestein; steiles Schichteinfallen; potenzielle, schicht-parallele Störungsflächen

Zusammenfassung S 143

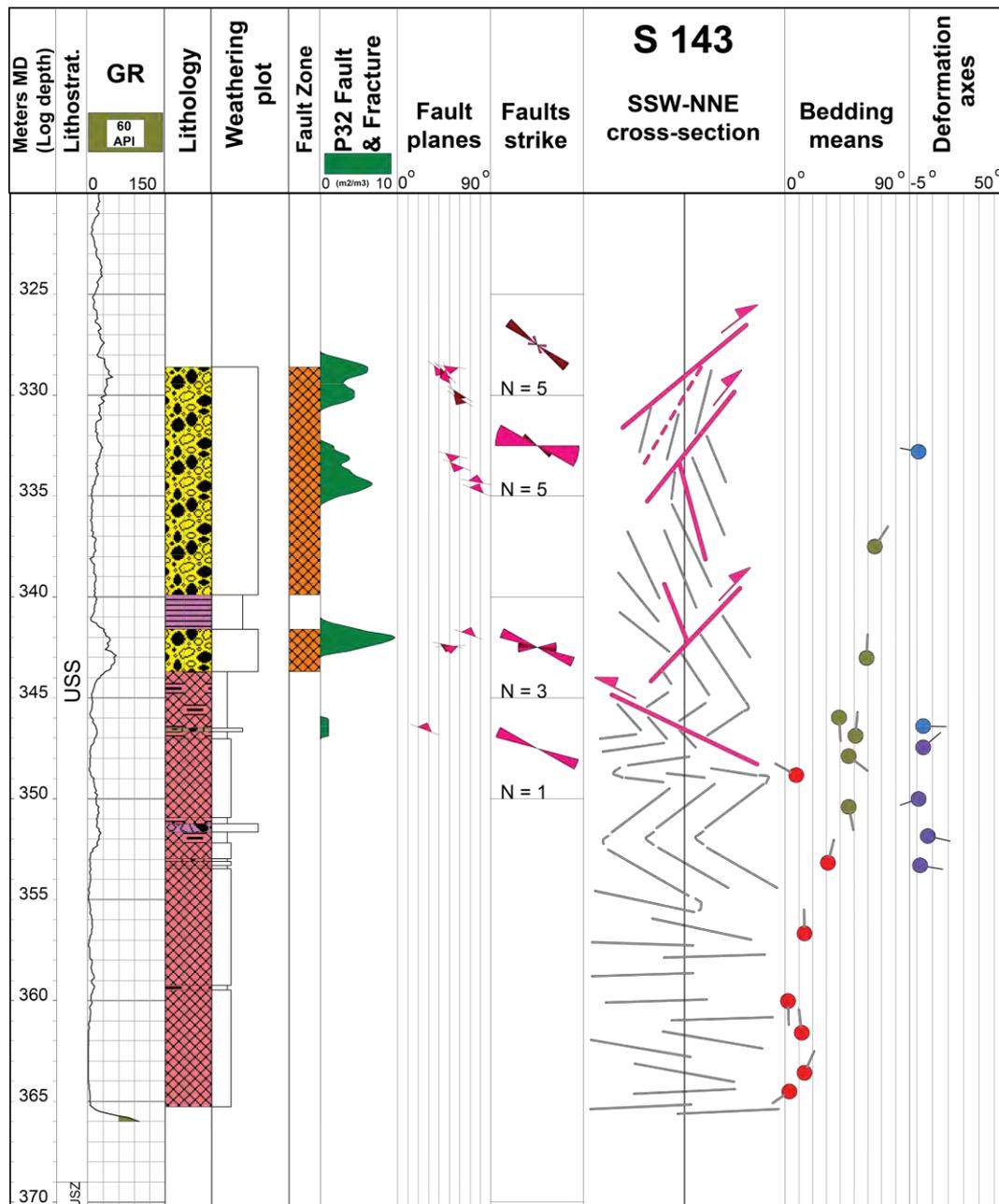
ES WIRD NOCH GEKLÄRT; OB DIE INTERPRETIERTE SCHERZONE DAS ZEMENT ODER DOCH EIN STÖRUNGSGESTEIN DARSTELLT (Stand 28.03.2022).

Die Hauptresultate der Log Analyse sind in Abb. 36 zusammengefasst. S 143 durchteufe zwischen 319.00 – 355.00 m variable, 10° bis 70° N, NNO und NO sowie SSO einfallende Faltschenkel einer WNW-OSO orientierten Faltenstruktur. Jedoch unterhalb 355.00 m ist das Salzlager undeformiert mit einem 1° – 20° N bis NO Struktur dip. Der Übergang zwischen den beiden Zonen ist graduell und auf viskose Verformung zurückzuführen.

Tektonische Störungen konzentrieren sich in der deformierten Zone oberhalb 355.00 m. Sie haben vorwiegend steile bis sub-vertikale (40° - 78°) Einfallswinkel und streichen (sub-)parallel zu den

Faltenschenkel. Folglich stellen sie syn-kinematische, kompressive Strukturen dar. Zwei prominente, bis 11.30 m mächtige und extrem zerklüftete Scherzonen wurden bei 328.60 – 339.90 m und bei 341.60 – 343.70 m interpretiert. Diese haben hohe Strukturdichten ($P32 = 9.70 \text{ m}^2/\text{m}^3$) und erscheinen dunkel auf den OPTV's, wodurch sie potenziell (**hydraulisch**) **offene Scherzonen** bilden können. Jedoch ohne Integration von Bohrkernen und Hydrotests lässt es sich nicht eindeutig feststellen, ob diese Strukturen wirklich offen oder doch verheilt sind. Bohrkern sind für diese Intervalle nicht vorhanden.

Generell ist das **Salzlager** zwischen 343.70 m und 365.30 m (**21.60 m**) von sehr **hoher Reinheit** mit überwiegend 80 – 100 Vol.% Halit.



Scale 1:300

Projected relative drift from UTM in direction 120°



Abb. 36: Übersichtprofil der S 143 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.4 S 144

In dem OPTV geloggten Intervall (327.00 – 373.00 m) konnten insgesamt 414 individuelle, geologische Flächen identifiziert werden. Dieses Intervall deckt ausschließlich die Unteren Salzschiechten ab.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfalles basiert auf 372 repräsentativen Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 29 Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie des Schichteinfalles wie auch die Änderungen entlang der S 144 sind in Stereogrammen (Abb. 37, Abb. 38 und Abb. 39), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 40) und in der Beilage 4 visualisiert.

Die S 144 durchteufte eine komplexe, stark deformierte tektonische Struktur mit variablem Schichteinfallen und zahlreichen Änderungen in Schichtorientierung. Die Einfallswinkel variieren zwischen sub-horizontal bis sub-vertical ($1^\circ - 85^\circ$). Die Einfallrichtungen überwiegen in NO, NNO, N bis NNW sowie SSE, S und SSW Richtungen. Das sich oft ändernde Schichteinfallen im gesamten Profil hat einen graduellen (duktile Verfallung) wie auch sprunghaften (spröde Tektonik) Charakter. Die Letzteren korrelieren mit zahlreichen, klaren tektonischen Brüchen oder Störzonen bei z.B. 329.95 m, 332.53 m, 333.97 m und 368.98 m (siehe unten und Beilage 4).

In Übergangsbereichen der steil stehenden Faltschenkel wurden flachere, max. 30° einfallende und weniger deformierte Zonen bei z.B. $\sim 331.00 - 332.20$ m, $353.80 - 355.10$ m und $367.00 - 369.00$ m interpretiert. Diese weisen variable Einfallrichtungen (W, NW und NO) auf (Abb. 40 und Beilage 4).

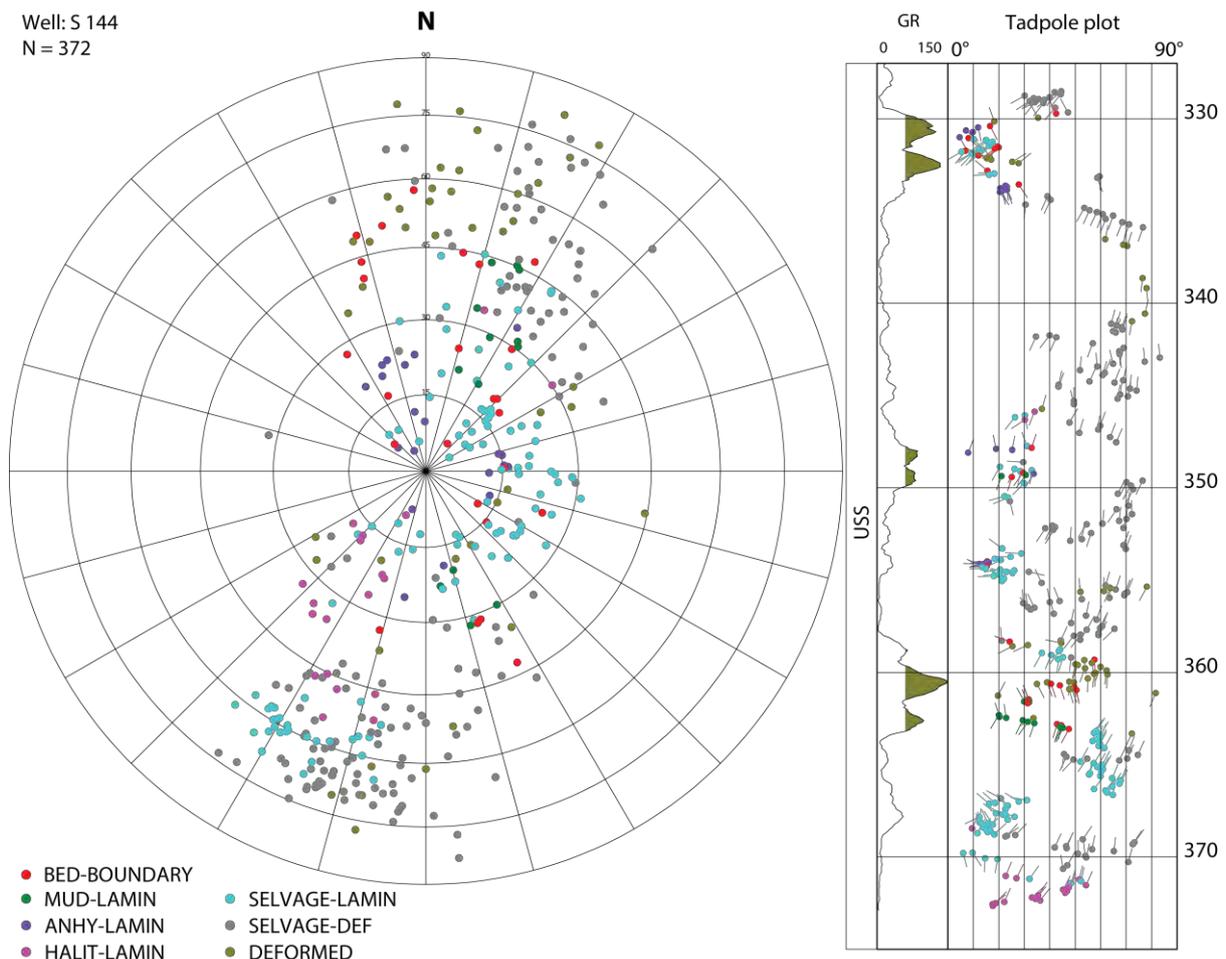


Abb. 37: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 144

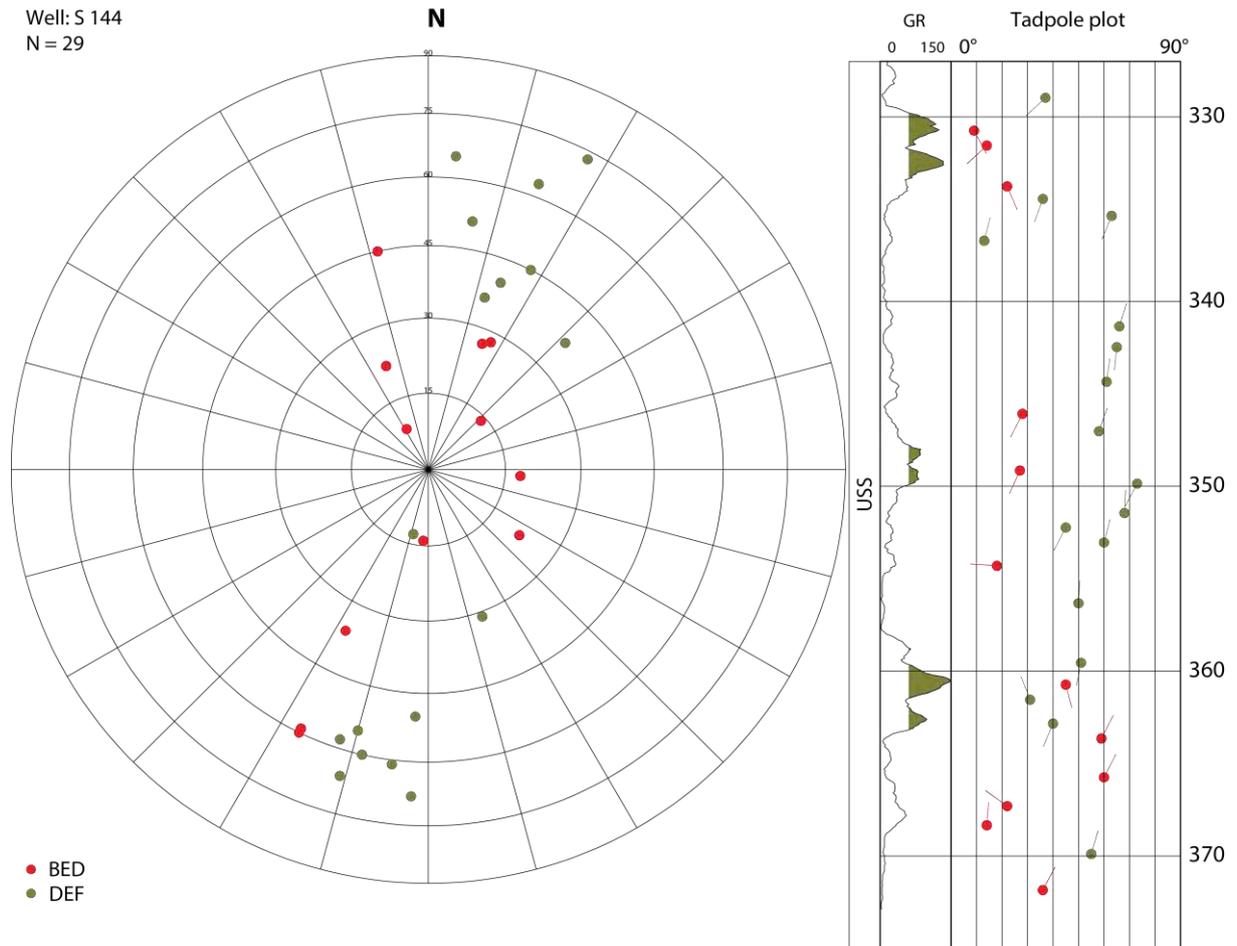


Abb. 38: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 144

Well: S 144
N = 372

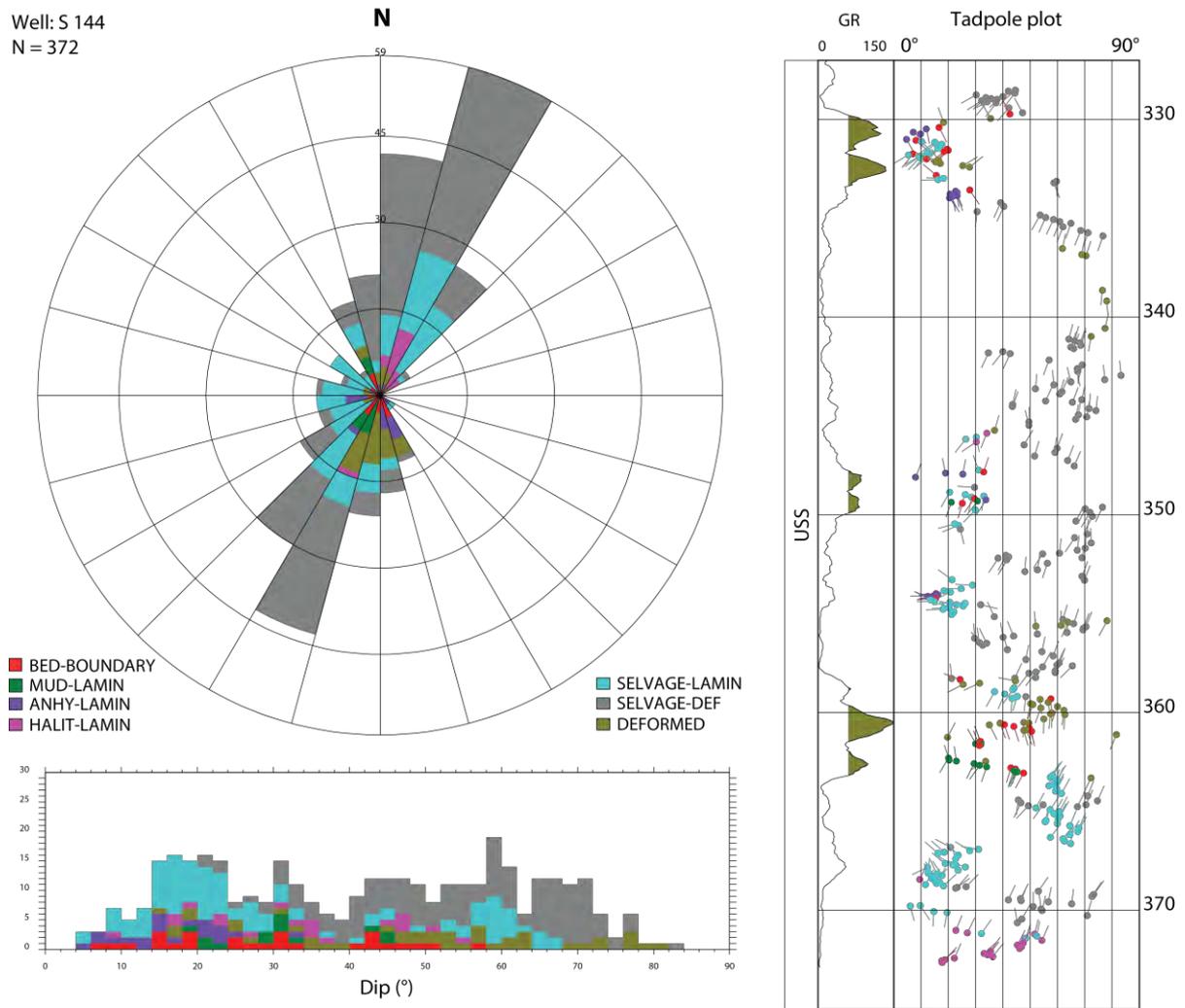


Abb. 39: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 144

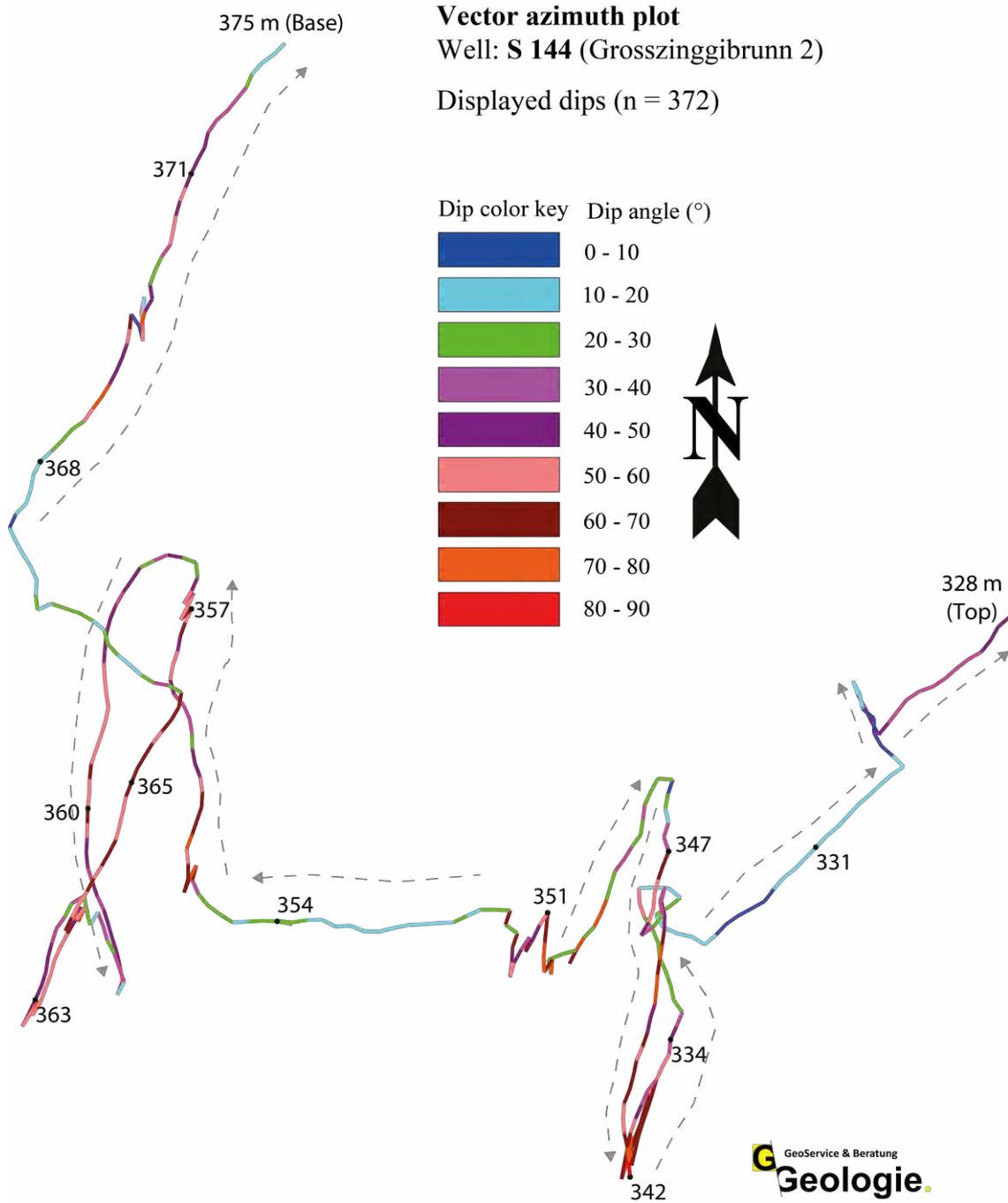


Abb. 40: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfällen der S 144

Deformationsachsen

In S 144 konnten insgesamt 16 Deformationsachsen identifiziert werden (Tabelle 10). Diese wurden in deformierten Zonen, die auf Verfaltung (FOLD) oder Schleppung entlang einer Verwerfung (TEC) zurückzuführen sind, bestimmt (Beilage 4). Im Stereogramm (Abb. 41) zeigen sie einen konsistenten WNW-OSO Trend mit vorwiegend flachen bis geneigten ($8^\circ - 26^\circ$) Abtauchwinkeln.

Well: S 144
N = 16

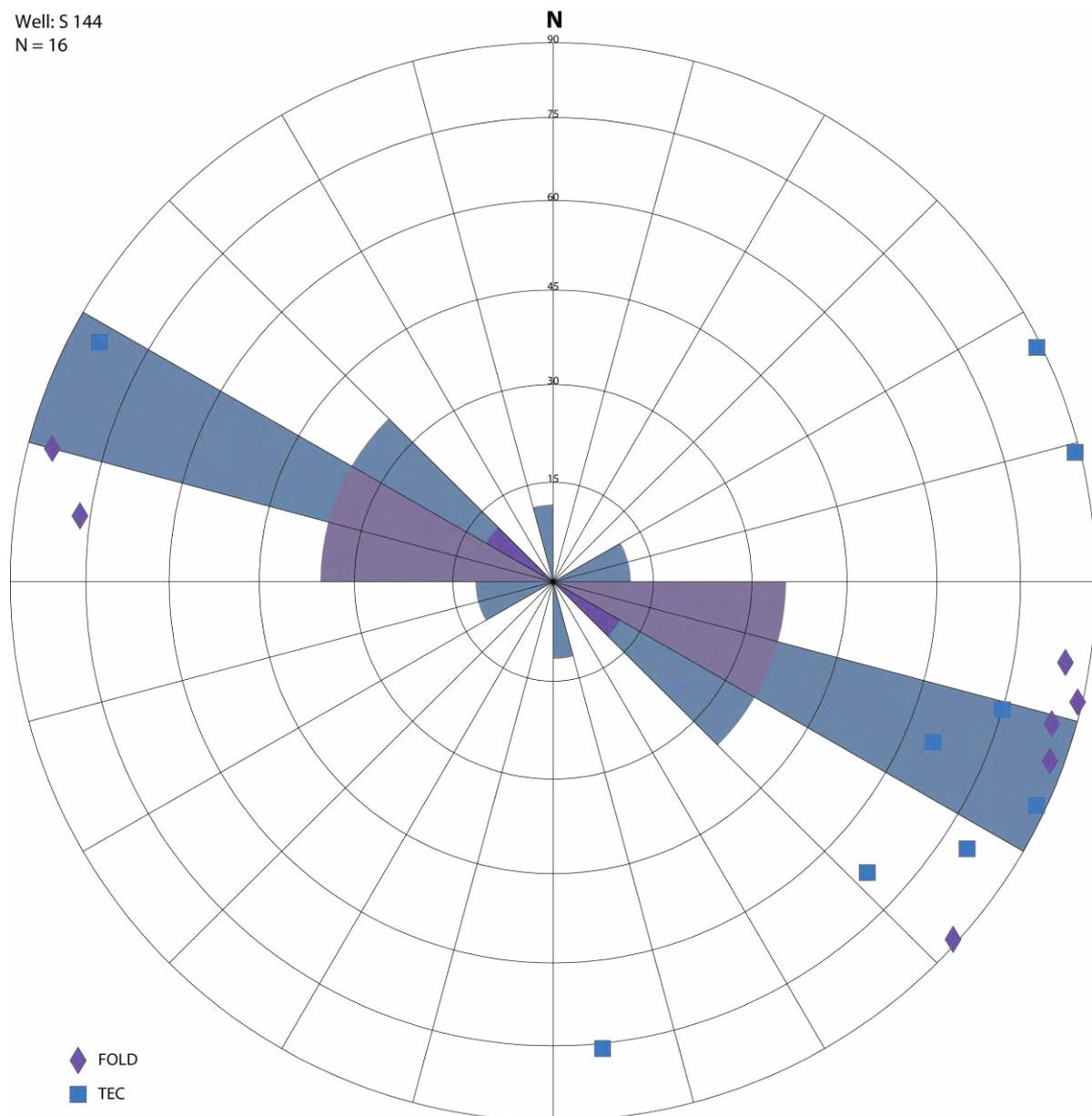


Abb. 41: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 144

Tabelle 10: Orientierung von Deformationsachsen in S 144

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
329.60	330.80	01	244	8	TEC	Achse spiegelt Deformation durch Schleppung entlang der Störung bei 329.90 m wieder und liegt senkrecht zum Streichen der Störung. " Scissor "- Rotation kann ein Teil des überwiegend normalen Versatzes gewesen sein
331.12	331.98	01	312	18	FOLD	Messung basiert auf relativ flachen (<20°) Schichtflächen
334.18	336.92	05	286	15	FOLD	NNO-Schenkel möglicherweise durchschert durch WNW-streichende Störungen zwischen 336.30 und 337.40 m
340.50	342.80	01	283	15	FOLD	
342.92	346.35	05	279	24	FOLD	
345.80	347.60	03	290	10	FOLD	
351.10	353.35	15	286	17	TEC	Achse beschreibt die Rotation beachbarter dm bis m grossen Blöcke entlang von Störungen/Scherflächen bei 352.15 m, 352.57 m und 353.33 m. Das WNW-OSO Streichen dieser Flächen ist sub-parallel zu Rotationsachse. Folglich möglicher dip-slip Versatz
355.10	357.00	25	293	20	TEC	Deformation durch Schleppung entlang der Störung bei 356.45 m; Aufschiebender dip-slip Versatz
357.45	358.29	10	303	11	TEC	Achse beschreibt die Geometrie des Drags entlang der Störungen bei 357.6 und 358.2 m. Dip-slip Versatz.
360.45	361.70	00	256	16	TEC	Achse senkrecht zum Streichen der Störungszone bei 359.80-363.00 m. Mögliche " Scissor " Störung bei 361.05 m.
362.55	363.45	06	118	13	TEC	Achse definiert die Blockrotation entlang der Störungen bei 362.90-363.00 m mit dip-slip Versatz
364.20	364.85	02	295	9	TEC	Achse spiegelt die Geometrie der Schleppung entlang der Störung bei 364.55 m wieder. Dip-slip Versatz der Achse parallel zum Streichen der Störung
366.00	367.50	22	313	13	TEC	Achse einer Blockrotation entlang der Störung/Scherfläche bei 366.80 m. Die WNW-OSO streichenden Störungen sind sub-parallel zu Rotationsachse, folglich dip-slip Versatz möglich
366.80	368.95	14	354	26	TEC	Blockrotation entlang einer prominenten >70° SW-einfallenden Aufschiebung bei 367.78 m in USS . Klarer dip-slip Versatz der Schichtflächen von ca. 60 cm . Rotationsachse ist sub-parallel zur Störung
368.80	370.70	05	105	21	FOLD	Mögliche Überprägung der verfalteten Schichten durch WNW-OSO bis NW-SO streichende Störungen
371.00	372.70	13	098	19	FOLD	Monoklinale

Störungen und Klüfte

S 144 ist im Vergleich zu Nachbarbohrungen **sehr strukturreich**. Insgesamt konnten 42 tektonische Brüche im Salzlager identifiziert werden (FAULT = 28 und FAULT_MINOR = 13). Manche zeigen deutliche Schichtversätze (bis 0.7 m) entlang prominenter Aufschiebungen und sind offensichtlich **verheilt** (Abb. 42). Andere sind mit komplexer, spröder Deformation und hoher Strukturichte (P32 = 11.00 m²/m³) assoziiert und schneiden scharf die Schichtflächen ab, sind jedoch ebenfalls eindeutig **mineralisiert** (Abb. 43). Des Weiteren gibt es Intervalle, die durch extrem zerklüftetes und sprödes Wirtsgestein mit hoher Strukturichte (P32 = 9.1 m²/m³) charakterisiert sind und potenzielle **Störzonen** darstellen (Abb. 44). Diese erscheinen dunkel auf den OPTV's und können potentiell (**hydraulisch**) **offene Brüche/Scherzonen** darstellen und wurden in folgenden Intervallen interpretiert (siehe Beilage 4):

- 329.80 – 330.70 m

- 332.00 – 332.80 m
- Bei 333.98 m

Jedoch die **meisten, interpretierten tektonischen Brüche** oder Scherzonen in S 144 sind **eindeutig verheilt**.

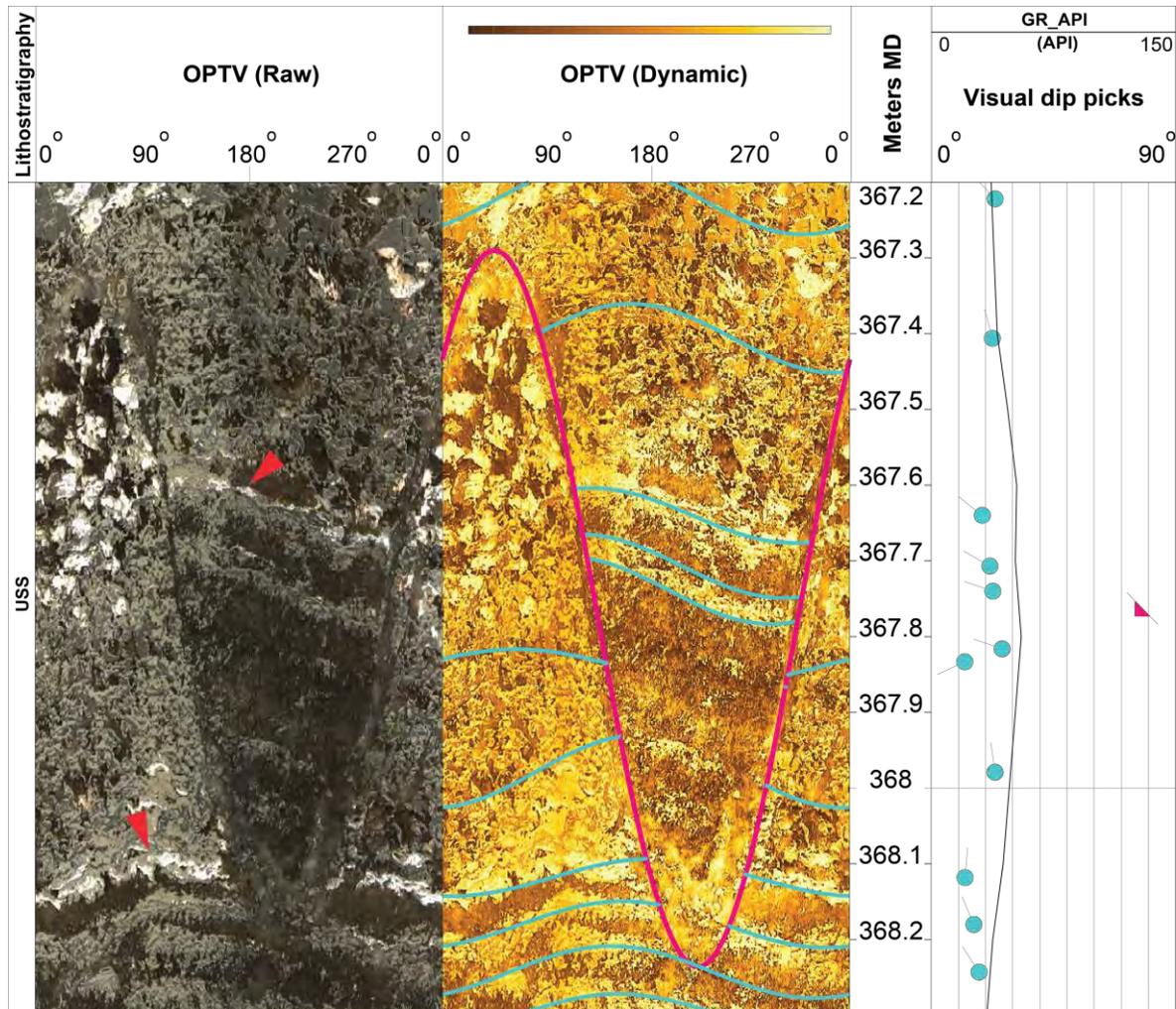


Abb. 42: Prominente und mineralisierte Aufschiebung im Salzlager bei 367.78 m (S 144)

Der vertikale Schichtversatz entlang dieser diskreten Fläche beträgt ca. 60 cm und ist mit roten Pfeilen markiert.

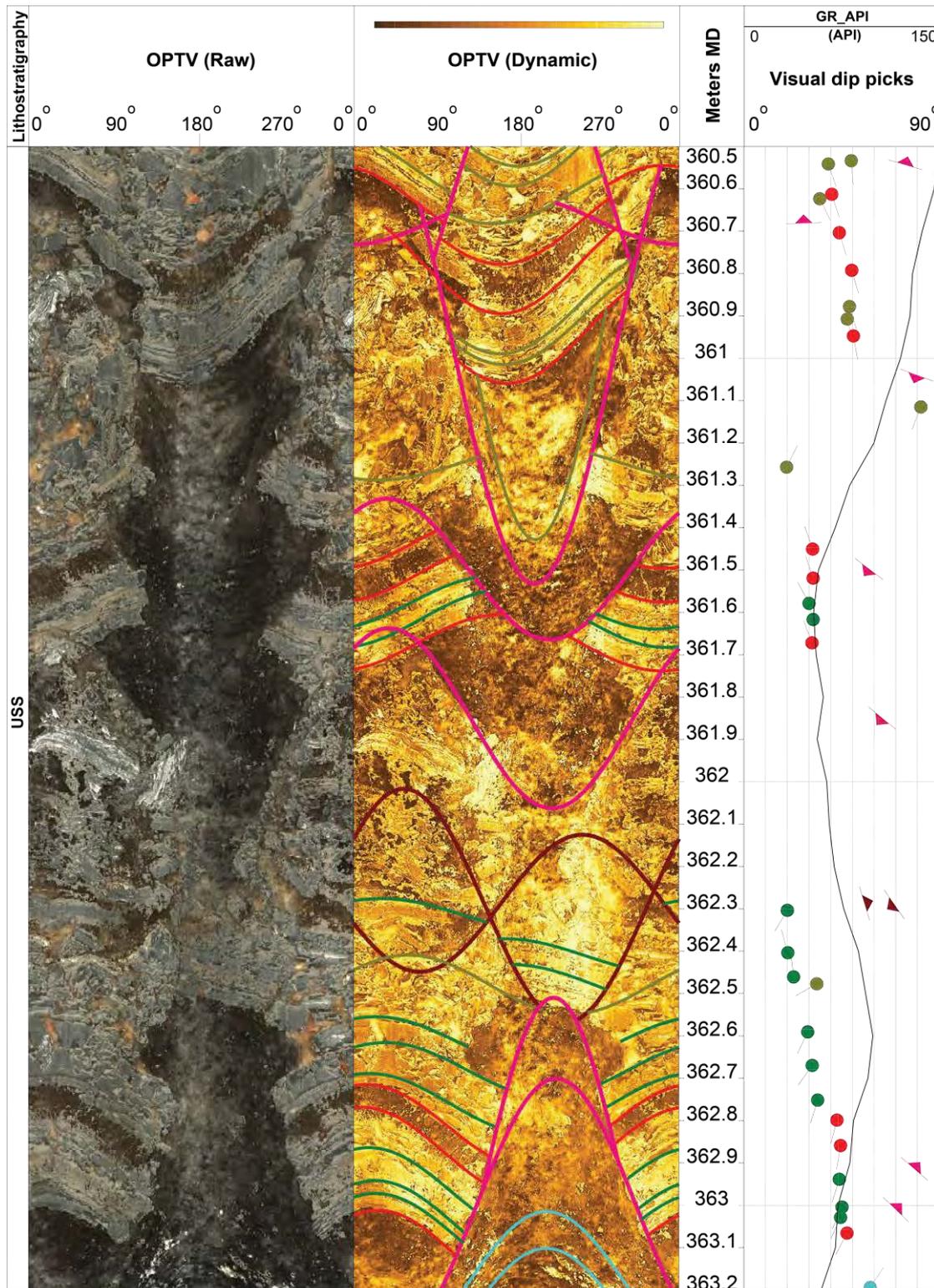


Abb. 43: Prominente Störzone im Salzlager zwischen 360.50 – 363.20 m (S 144)

Die W-E bis WNW-OSO streichenden Störungen verursachen abrupte Dip Änderungen und schneiden die spröde deformierten Tonstein Schichten ab.

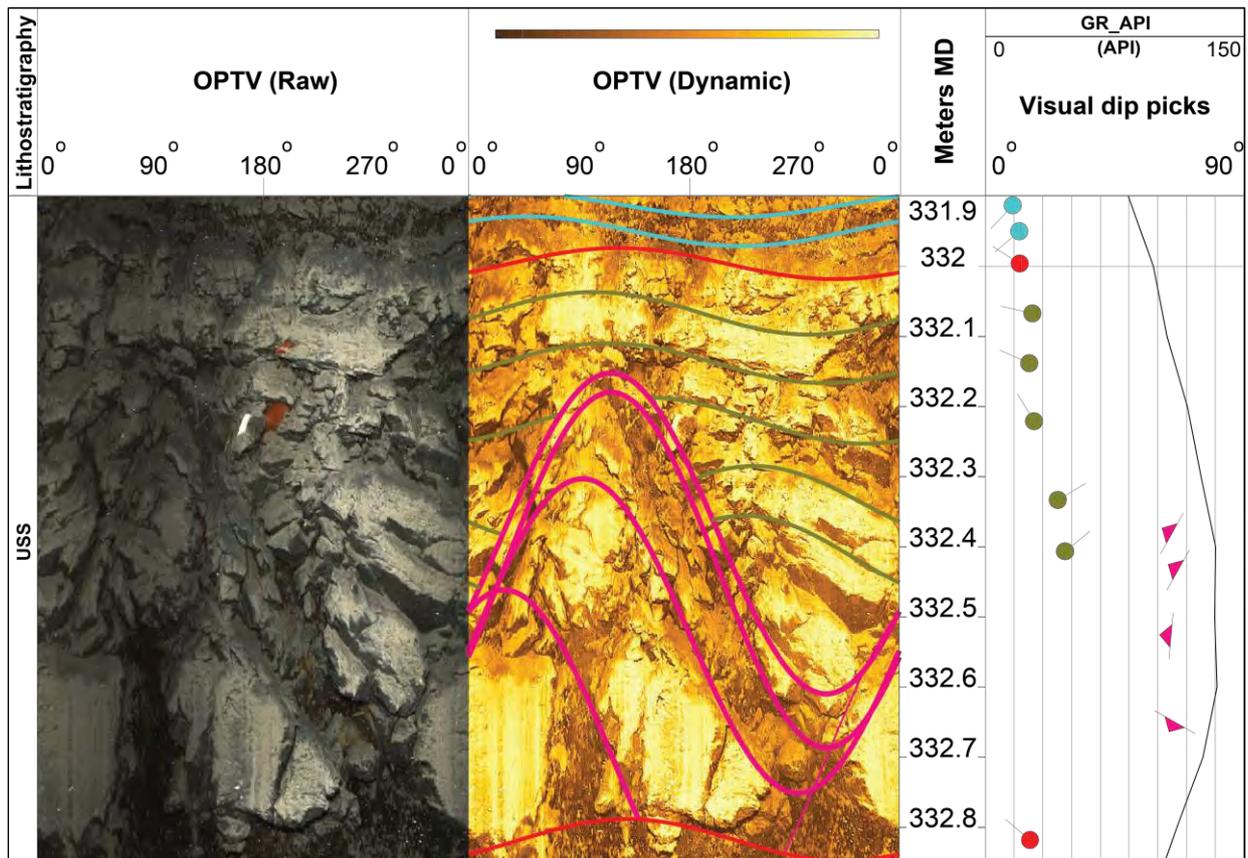


Abb. 44: Spröde Scherzone (Störungsgestein) bei 331.90 – 332.80 m (S 144)

Die zahlreichen Brüche erscheinen dunkel an den OPTV's und sind nicht eindeutig mineralisiert. Diese können potenziell (hydraulisch) offene Scherzonen darstellen.

Insgesamt wurden an dem OPTV's wie auch im gekernten Intervall (172.00 – 330.00 m) 6 potenzielle **Störzonen** interpretiert. Diese sind durch eine komplexe tektonische Deformation, eine hohe Strukturdichte ($P32 = 11.00 \text{ m}^2/\text{m}^3$) und sprödes Wirtsgestein charakterisiert und können mehr als 21 m mächtig sein. Diese sind in Tabelle 11 mit einem Kurzbeschrieb aufgelistet und in den Beilagen als Zonierung farblich dargestellt (Abb. 6).

Während der Bohrkernanalyse wurde eine prominente, **spröde und 21.41 m mächtige Scherzone bei 250.84 – 272.25 m** in den Dolomit-dominierten und den Übergangsschichten identifiziert. Das stark tektonisierte Intervall ist durch größtenteils inkohärente bis vollständig zerfallene, kataklastische und brekziöse Bohrkernsowie unzählige Störungsflächen charakterisiert (Abb. 45). Der überwiegende Anteil der Störungsflächen ist schichtparallel, fallen flach mit circa 15° bis 30° ein und sind mit klaren Spiegelharnischen mit dip-slip Bewegungssinn assoziiert. Die Letzteren deuten auf ein über- bzw. aufschiebendes Störungsregimes hin. Jedoch vereinzelt wurden steilere Störungsflächen mit blattverschiebenden bzw. abschiebenden Scherindikatoren beobachtet (siehe Abb. 107 im Kap. 3.2). Alle Störungen waren entweder mit Ton (flache Spiegelharnische) oder Gips/Anhydrit (steile Störungsflächen) mineralisiert.

Bohrkerne der Dolomitzone und der Schinznach Fm im Hangenden oberhalb 250.84 m zeigen keine eindeutige tektonische Überprägung, sind aber stark mechanisch zerbrochen.



Abb. 45: Teilbereich der spröden Scherzone in Übergangsschichten zwischen 262.00 und 264.60 m. Diese insgesamt 21.41 m mächtige Bruchzone (250.84 – 272.25 m) ist durch teilweise vollständig inkohärente und kataklastische Bohrkerne repräsentiert. Die zahlreichen Schichtparallelen Störungsflächen und Kernbruchstücke sind üblicherweise mit Spiegelharnischen assoziiert.

Die Orientierung und Verteilung der interpretierten Störungen und Klüfte im Stereogramm sind in Abb. 46 präsentiert. Diese sind durch einen gut definierten WNW-OSO streichenden Cluster mit SSW bis SW sowie NNE und NE einfallenden Flächen repräsentiert. Jedoch vereinzelt sind ebenfalls etwa N-S streichende Brüche interpretiert. Die Einfallswinkel sind vorwiegend steil bis sub-vertikal (55° - 90°). Sie konzentrieren sich insbesondere in zwei Intervallen bei ca. 330.00 – 338.00 m und 349.00 – 371.00 m (Beilage 4).

Well: S 144
N = 42

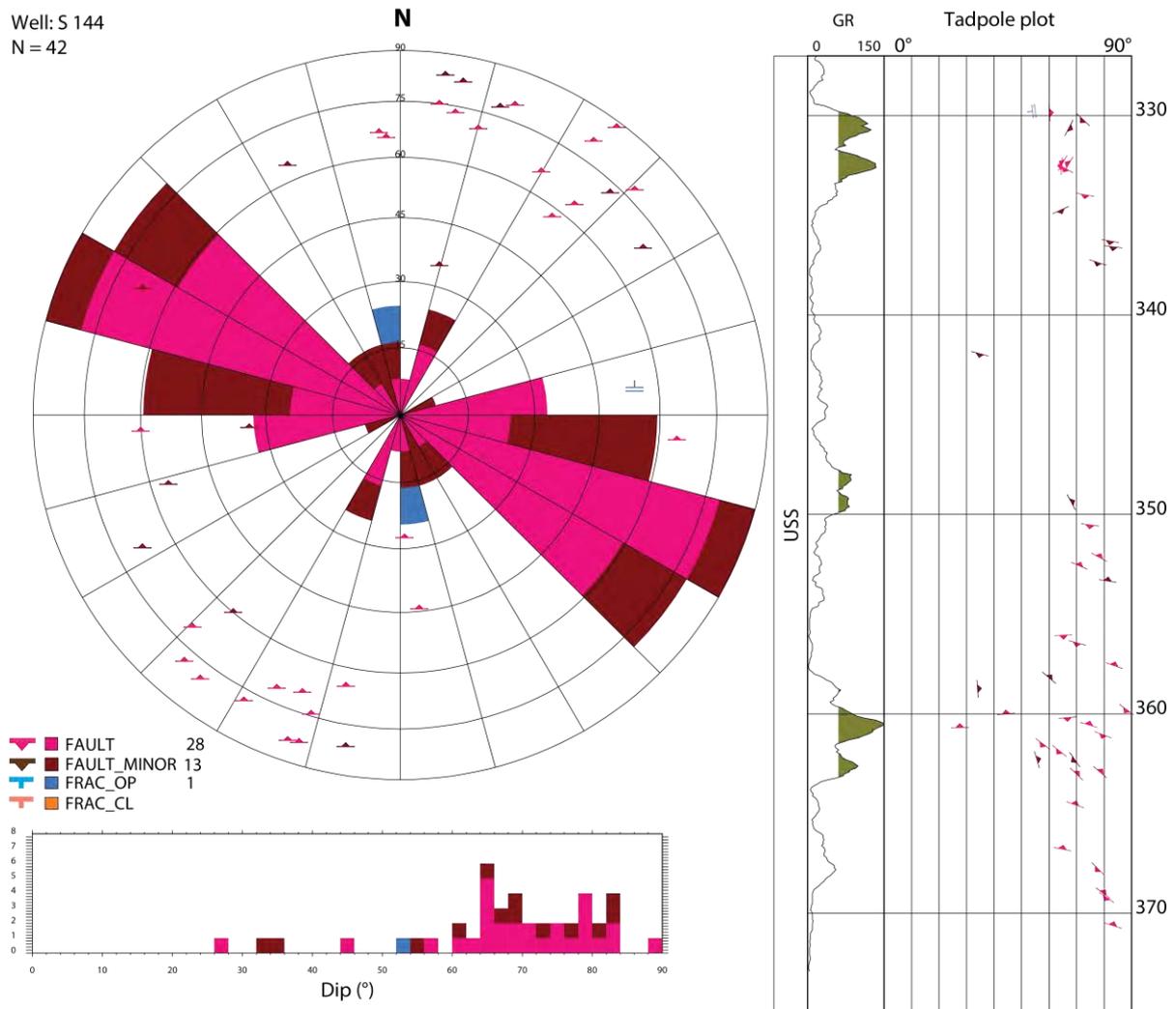


Abb. 46: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 144

Tabelle 11: Evaluation der interpretierten Stör-/Scherzonen in S 144

Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S 144	242.63	242.69	0.06	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	250.84	272.25	21.41	Prominente, spröde Scherzone im gekernten Intervall der Dolomit-dominierten und Übergangsschichten. Charakterisiert durch inkohärente bis vollständig zerfallene, kataklastische und brekziöse Bohrkerne sowie unzählige flache Störungsflächen mit Rutschharnischen
	329.70	330.70	1.00	Sprödes, gestörtes Wirtsgestein; deutliche Schicht-Versätze an steilen (>65°) Störungsflächen
	332.00	332.80	0.80	Extrem sprödes Wirtsgestein mit klaren und >65° steilen Störungsflächen
	359.70	364.80	5.10	Störzone im USS mit prominenten W-E bis WNW-ESE streichenden Störungen; klare und abrupte Änderungen im Schichteinfallen, deutliche vertikale Versätze an Störungsflächen und spröde deformierter Tonstein bei 360.60-363.10 m
	366.80	370.70	3.90	Störzone im USS mit prominenten, sub-vertikalen WNW-ESE streichenden Störungen; deutliche vertikale Schicht-Versätze bis 0.6 m

Zusammenfassung S 144

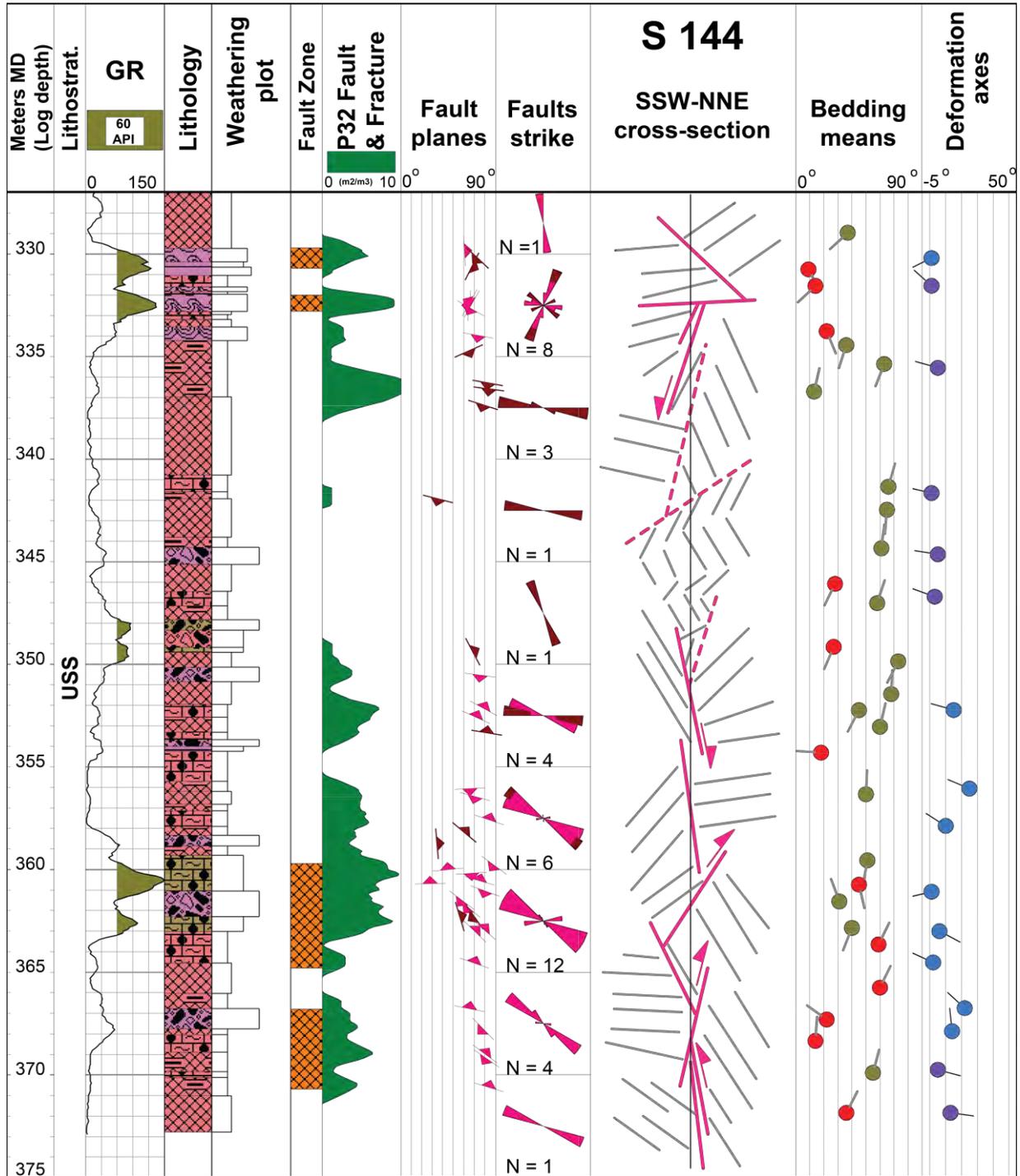
Die Hauptresultate der Log Auswertung der Bohrung S 144 sind in Abb. 47 zusammengefasst. S 144 durchteufte ein strukturreiches und tektonisch stark beanspruchtes Salzlager. Das Schichteinfallen spiegelt diverse steile bis sub-vertikale (30° - 90°) nach ~NNO- und ~SSW-einfallende Faltenschenkel einer stark verschuppten WNW-OSO streichenden Faltenstruktur wider. Folglich befindet sich das Salzlager vorwiegend in Steillagerung. Jedoch wurden in Übergangsbereichen der steil stehenden Faltenschenkel flachere, max. 30° einfallende und weniger deformierte Zonen interpretiert, welche flachere Faltenscharniere widerspiegeln können.

Tektonische Störungen haben vorwiegend steile bis sub-vertikale (55° - 90°) Einfallswinkel und streichen konsistent WNW-OSO, (sub-)parallel zu den Faltenschenkel. Somit können sie syn-kinematische, kompressive Brüche (Aufschiebungen) darstellen. Im OPTV Intervall wurden 4 komplex deformierte, strukturreiche (P32 = 11.00 m²/m³) und teils extrem spröde Scherzonen interpretiert. Diese sind meist mineralisiert, jedoch in drei Intervallen können sie **potenziell** (hydraulisch) **offene Zonen** bilden:

- 329.80 – 330.70 m
- 332.00 – 332.80 m
- Bei 333.98 m

Eine Bohrkernanalyse oder Hydrottest Daten in den o.g. Zonen könnten diese Hypothese bestätigen und/oder widerlegen. Jedoch Bohrkerne sind für diese Intervalle nicht vorhanden. Eine prominente spröde und 21.41 m mächtige Scherzone wurde in den Bohrkerne der Dolomit-dominierten und Übergangsschichten bei 250.84 – 272.25 m identifiziert. Diese korreliert mit Scherzonen der Rütihard Bohrungen in gleichen lithostratigraphischen Einheiten und stellt möglicherweise ein regionales Lineament dar.

Die Basis des **Salzlagers** wurde nicht geloggt. Insgesamt weist das Salzlager einen hohen Anteil an Verunreinigung in Form von Anhydrit und Ton und Brekzien auf.



Scale 1:300

Projected relative drift from UTM in direction 120°

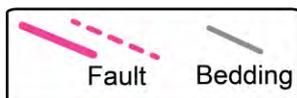


Abb. 47: Übersichtsprofil der S 144 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.5 S 145

Im analysierten OPTV Intervall (326.00 – 376.00 m) wurden insgesamt 434 individuelle, geologische Flächen auf den Bohrlochwandabbildungen determiniert. Dieses Intervall deckt ausschließlich die Unteren Salzschiechten ab.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 404 Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 30 repräsentative Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 145 sind in Stereogrammen (Abb. 48, Abb. 49 und Abb. 50), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 51) und in der Beilage 4 visualisiert.

Die Unteren Salzschiechten in S 145 sind durch ein variables Schichteinfallen gekennzeichnet. Jedoch das analysierte Profil lässt sich in zwei grobe Sub-Intervalle unterteilen (Beilage 5):

- Von 326.00 m bis 353.00 m haben die Schichten steilere (10° – 75°) Einfallswinkel mit NNO bis NNW sowie SSW Einfallrichtungen. In Bereichen mit flacheren Schichteinfällen sind die Azimute variabel. Änderungen in Dip Orientierung sind auch spröde Tektonik und duktile Verfaltung zurückzuführen. Dieses Intervall ist recht strukturreich.
- Von 353.00 m bis 375.00 m ist das Schichteinfallen sehr variabel. Die Einfallswinkel variieren stark von 1° bis 80° und die Einfallrichtungen schwanken zwischen SSW, W, NW und O. Jedoch im Gegensatz zur oberen Sektion sind die Schichten in dieser Zone weniger steil mit zahlreichen (bis 6 m lang) Intervallen, die durch ein 1° - 20° Schichteinfallen charakterisiert sind z.B. bei 353.00 – 355.00 m, bei 358.00 – 361.00 m und 364.00 – 370.00 m. Dieses Intervall ist strukturarm.

Die zahlreichen Änderungen im Schichteinfallen haben einen graduellen wie auch sprunghaften Charakter und sind auf eine komplexe Deformation durch Verfaltung und syn-kinematische Verschuppung zurückzuführen. Diese korrelieren oftmals mit eindeutigen tektonischen Brüchen oder Scherzonen z.B. bei 339.30 m, 348.50 m, 351.00 m (Abb. 53 und Abb. 54).

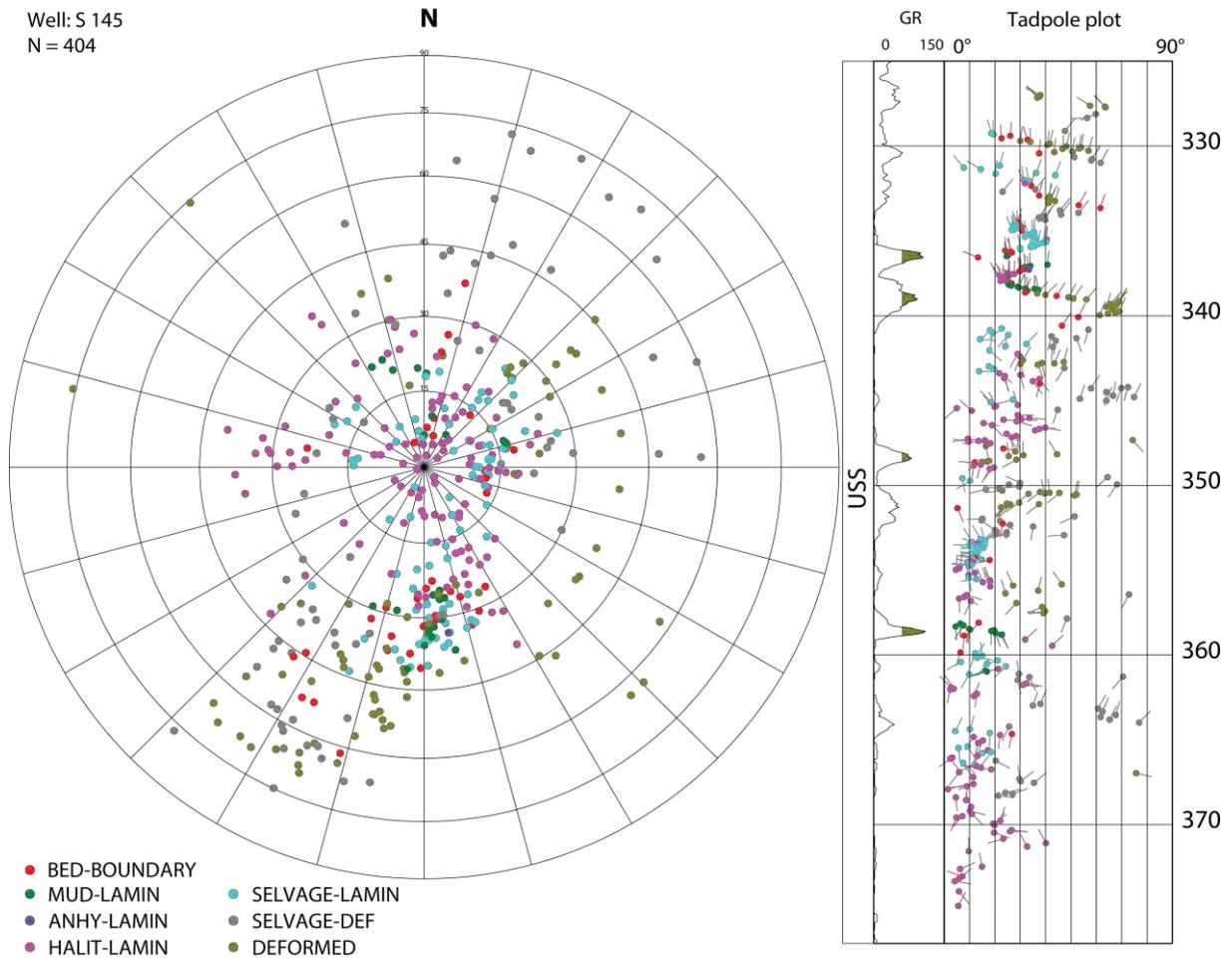


Abb. 48: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 145

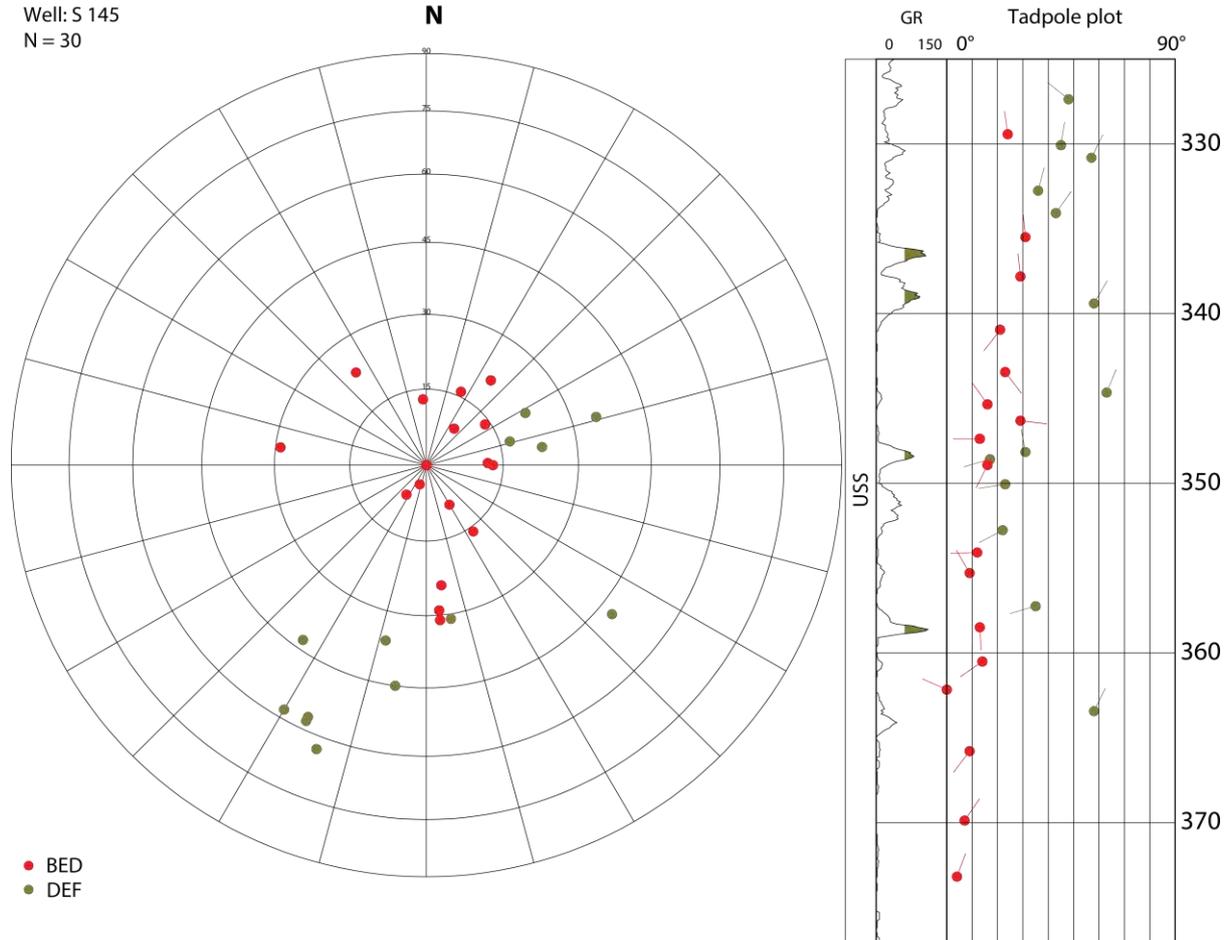


Abb. 49: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 145

Well: S 145
N = 404

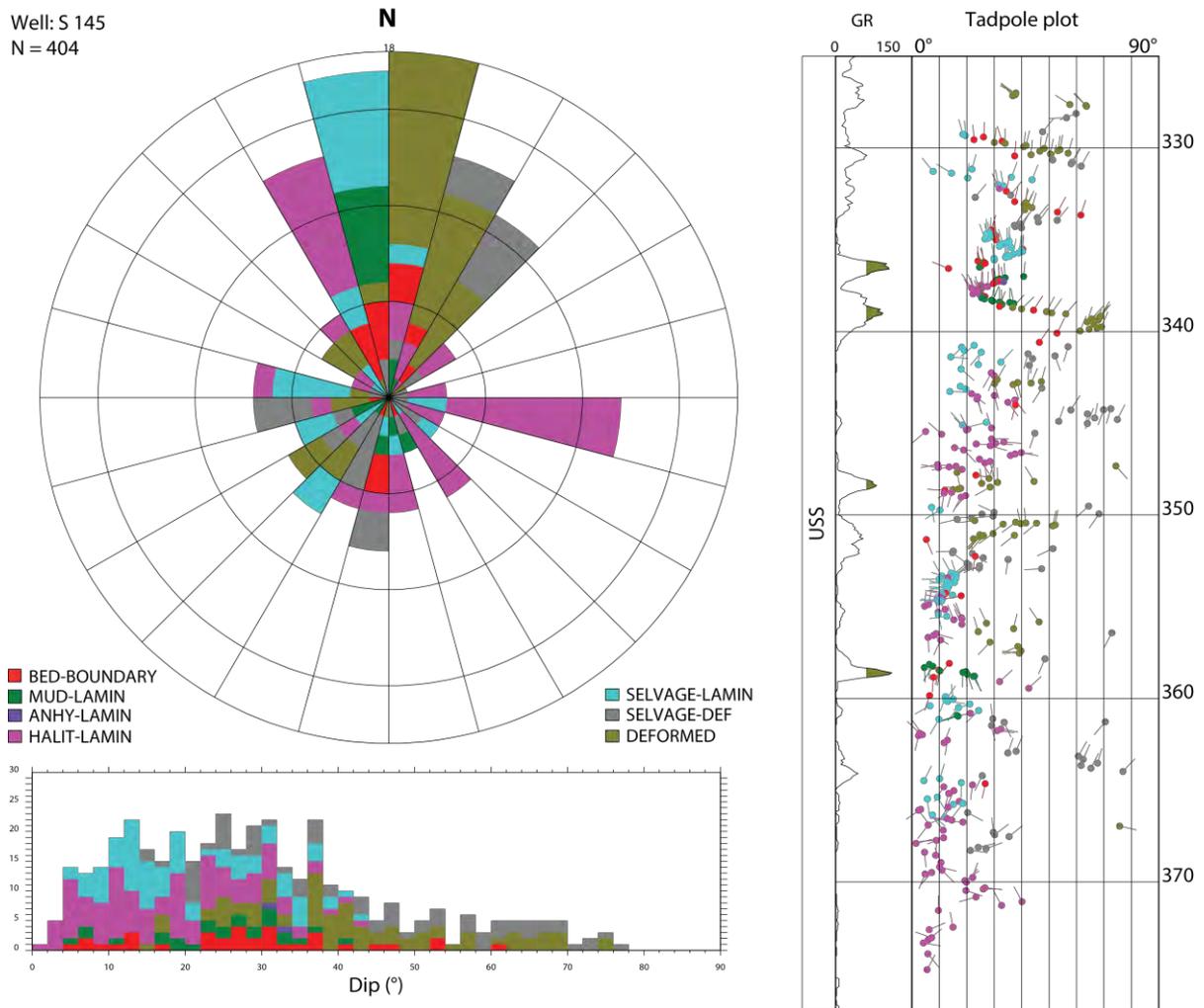


Abb. 50: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 145

Vector azimuth plot

Well: S 145 (Grosszinggibrunn 2)

Displayed dips (n = 404)

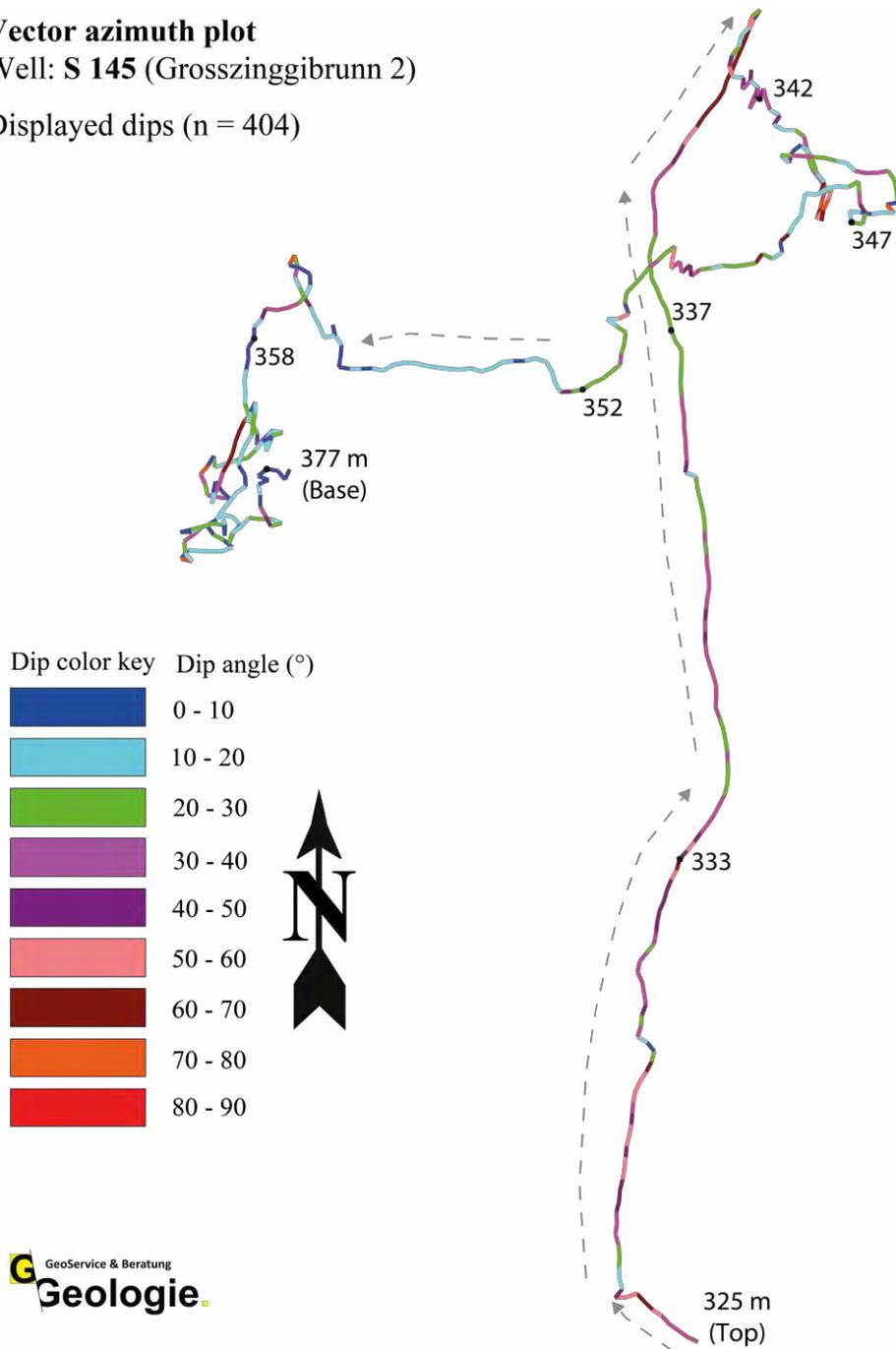


Abb. 51: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 145

Deformationsachsen

Insgesamt konnten 5 Deformationsachsen bestimmt werden (Abb. 52 und Tabelle 12). Diese wurden vorwiegend in dem deformierten Bereich oberhalb 350.00 m interpretiert (Beilage 4). Im Stereogramm der Abb. 52 zeigen sie einen gut definierten WNW-Trend mit vorwiegend flachen bis leicht geneigten (9° – 21°) Abtauchwinkel auf.

Well: S 145
N = 5

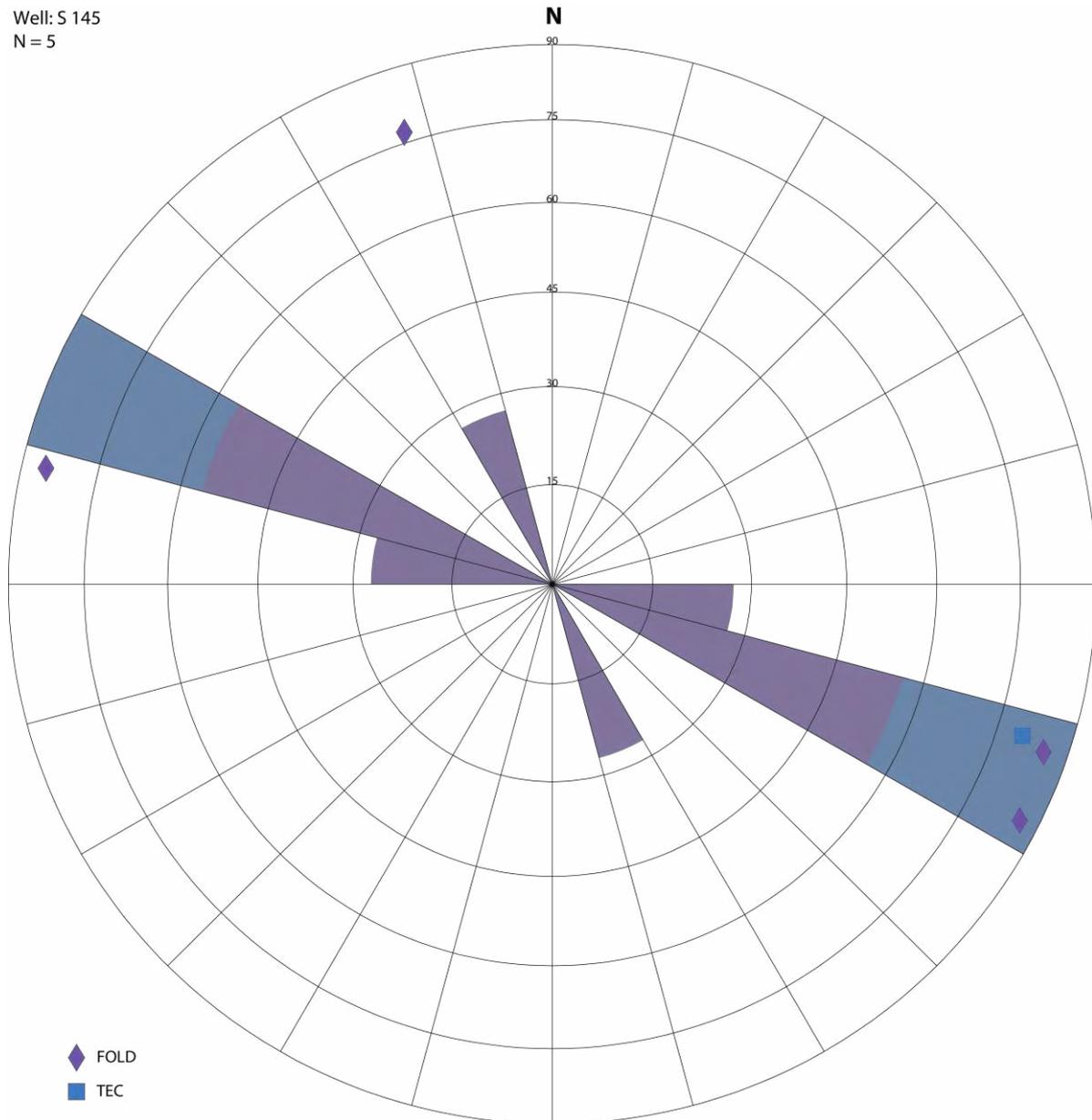


Abb. 52: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 145

Tabelle 12: Orientierung von Deformationsachsen in S 145

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
329.20	330.70	10	288	18	TEC	Schleppungsachse entlang von Störungen zwischen 329.80 und 330.60 m. Sie liegt parallel zum Streichen der Störungen. Dip-slip Versatz mit überwiegend normaler Komponente
340.70	342.98	05	103	21	FOLD	Pot. abgescherter Faltscharnier durch eine flache S-einfallende Überschiebung bei 342.0 m.
344.20	345.05	05	289	9	FOLD	
345.80	346.85	13	162	10	FOLD	Monoklinale
362.80	364.30	04	297	9	FOLD	Monoklinale

Störungen und Klüfte

Insgesamt wurden 30 tektonische Brüche interpretiert: 19 relevante (FAULT) und 9 potenzielle (FAULT_MINOR) Störungen sowie 2 verheilte Klüfte. Die Störungen scheinen auf den Bohrlochscans mineralisiert zu sein. Zusätzliche wurden vier komplexe und strukturreiche tektonische Deformationszone interpretiert, welche potenzielle Scherzonen darstellen. Diese kontrollieren die Geometrie des Schichteinfallens und korrelieren mit Änderungen im Strukturdip. Beispiele für prominente Störzonen sind in Abb. 53 und Abb. 54 präsentiert. Diese sind auch in Tabelle 13 aufgelistet und in Beilage 4 als Zonierung dargestellt. Die höchste Strukturdicke P32 von $12.37 \text{ m}^2/\text{m}^3$ wurde innerhalb der Störzone bei 350.30 – 351.30 m angetroffen (Abb. 54 und Tabelle 13).

Die Orientierung und Verteilung der interpretierten Störungen und Klüfte ist im Stereogramm (Abb. 55) präsentiert. Ihre Orientierung ist etwas variabel, jedoch mit einem WNW-OSO streichenden Cluster (\sim S und \sim N Azimute) und einem untergeordneten N-S orientierten Cluster (\sim W und \sim E Azimute). Die Einfallswinkel variieren stark von flach bis sub-vertikal ($10^\circ - 82^\circ$). Sie konzentrieren sich insbesondere in dem oberen, stärker deformierten Intervall oberhalb 353.00 m.

Eindeutige **Schersinn Indikatoren** wurden lediglich entlang der N- oder S-einfallenden Störungen bei z.B. 348.45 m, 350.45 m (Abb. 54) und 352.75 m beobachtet, welche Auf- oder Überschiebungen repräsentieren. Diese passen gut ins regionale tektonische Setting und repräsentieren kompressive, syn-kinematische Brüche.

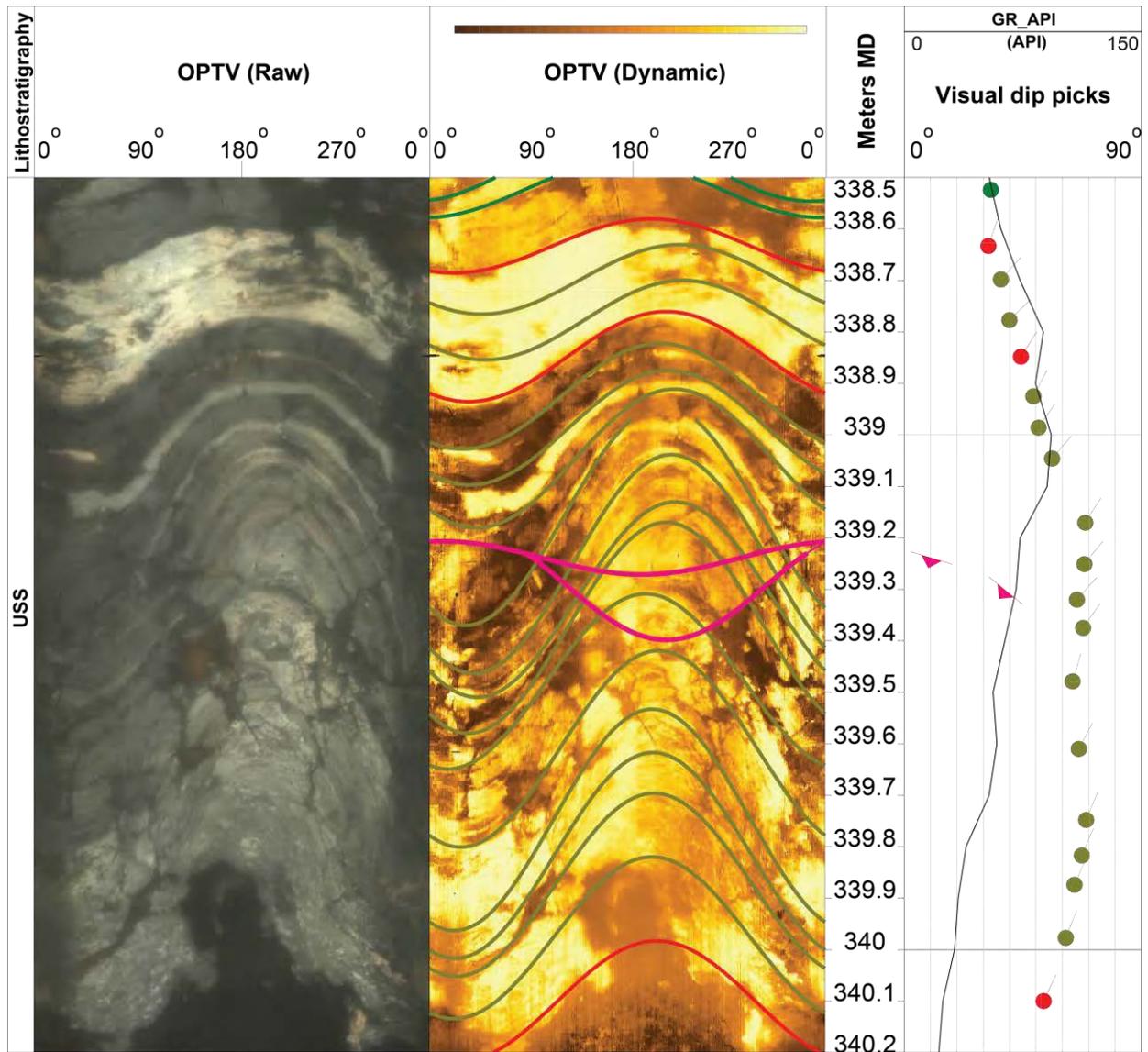


Abb. 53: Stark verfaltetes Intervall mit flachen Überschiebungen bei 339.25 m und 339.32 m (S 145)
 Diese Zone korreliert mit einer prominenten strukturellen Grenze und stellt eine mögliche (viskospröde) Scherzone dar. Die spröden Brüche erscheinen zwar dunkel auf dem OPTV, sie sind jedoch mineralisiert und teils mit rötlichem Halit z.B. bei 339.45 m verfüllt.

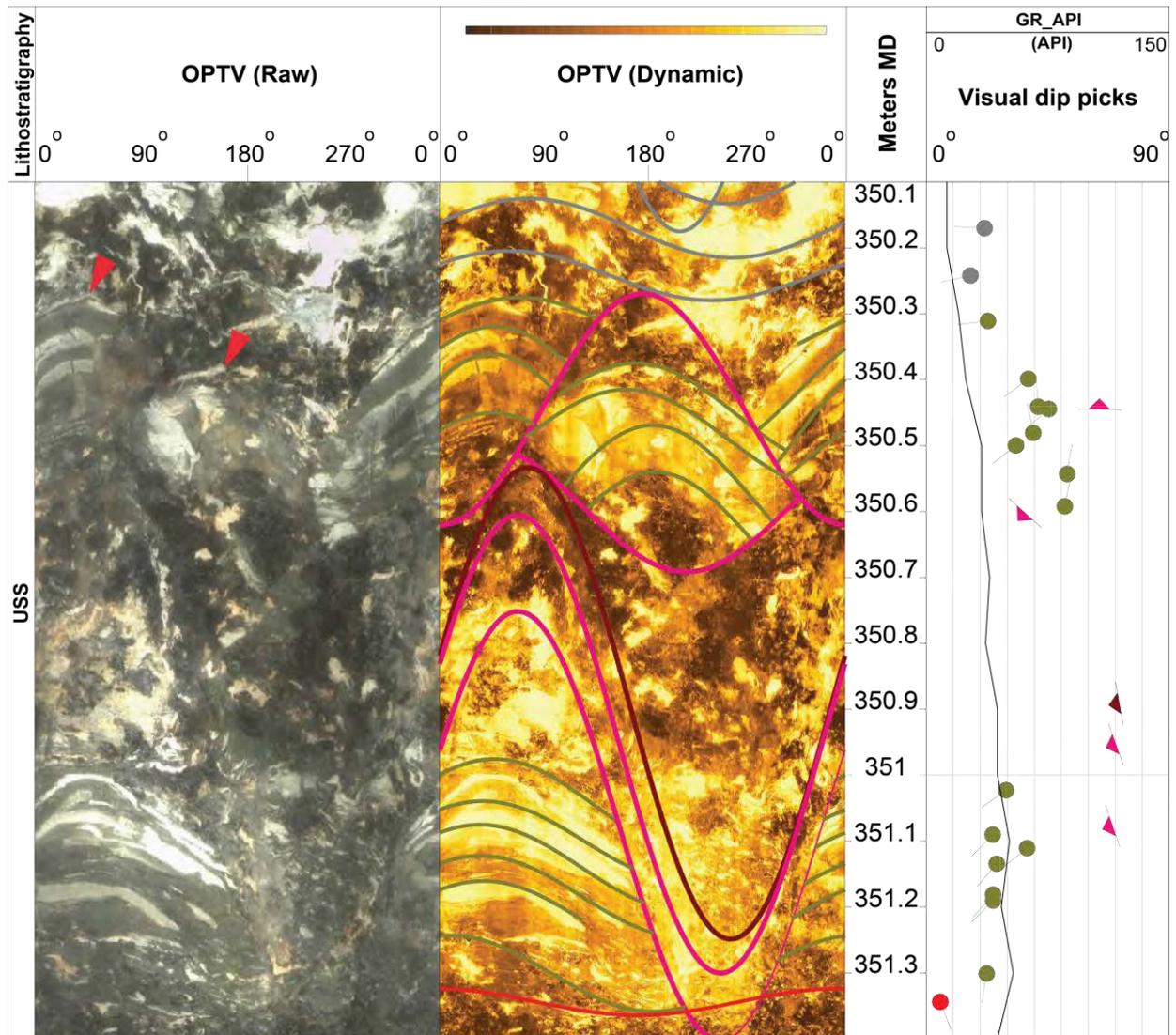


Abb. 54: Komplexe tektonische Störzone in S 145 zwischen 350.10 – 351.35 m

Prominente strukturelle Grenze. Diese Störzone ist durch deutliche aufschiebende Komponente (rote Pfeile) und höchste Strukturdichte in S 145 charakterisiert. Siehe Text für Diskussion.

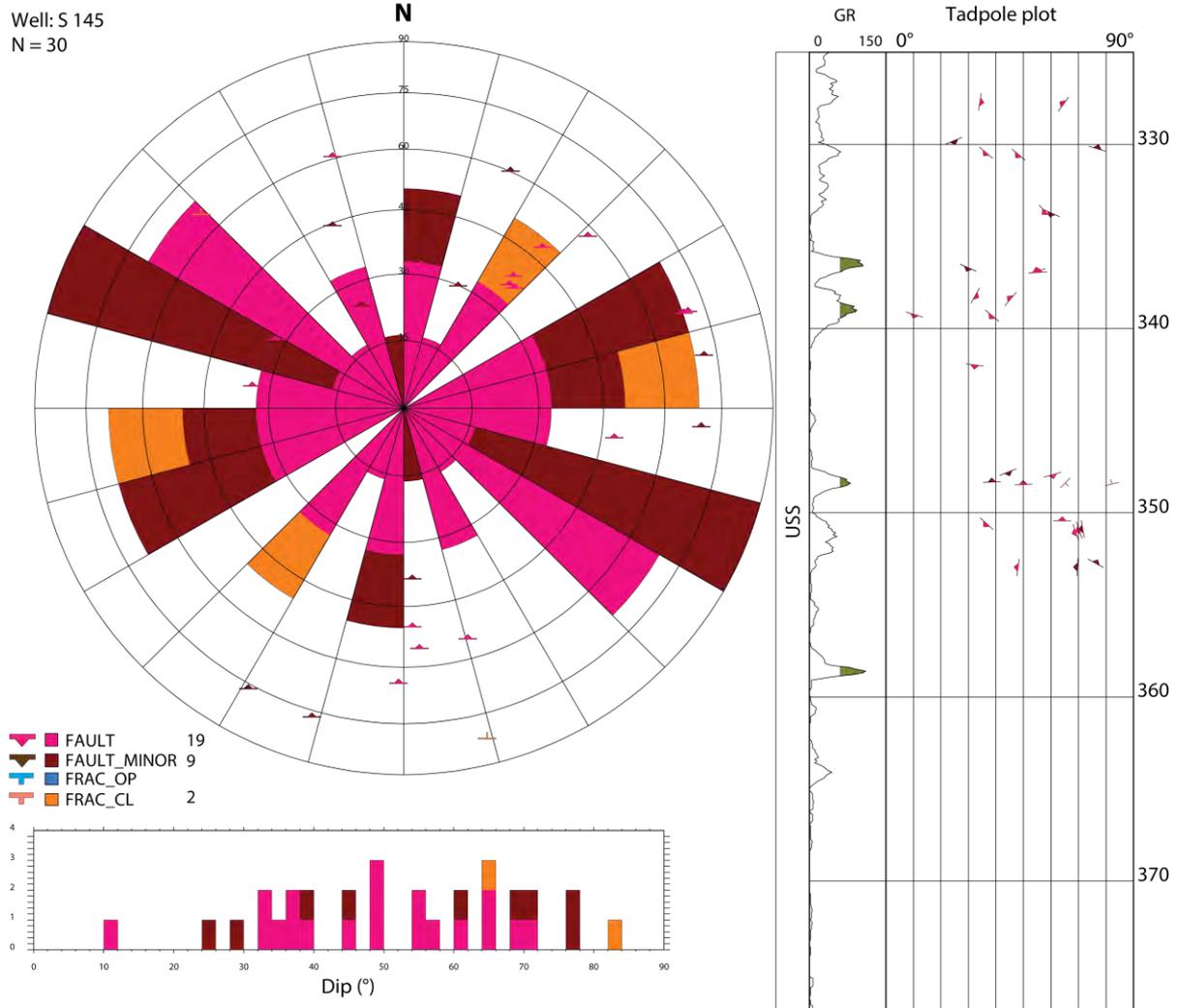


Abb. 55: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 145

Tabelle 13: Evaluation der interpretierten Stör-/Scherzonen in S 145

Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S 145	329.80	330.60	0.80	Spröd deformiertes, tonreiches Intervall mit Schicht-Versätzen in cm-Bereich
	339.20	339.80	0.60	Spröde Deformation an klaren, offenen und Schicht-parallel Scherflächen; Steil (>65°) NNE-einfallender Tonstein (Faltenschenkel?)
	347.85	348.66	0.81	Spröd deformierter Tonstein mit klaren Schicht-Versätzen im dm-Bereiche an Störungsflächen
	350.30	351.30	1.00	Stark defomiertes, tonreiches Intervall mit klaren Schicht-Versätzen durch Auf- und Abschiebungen

Zusammenfassung S 145

Die Hauptresultate der Log Auswertung der Bohrung S 145 sind in Abb. 56 zusammengefasst. Das Schichteinfallen im Salzlager ist variabel und spiegelt steile bis sub-vertikale (20° - 80°) nach \sim NNO und NNW sowie \sim SSW-einfallende Faltenschenkel einer teils stark verschuppten WNW-OSO streichenden Faltenstruktur wider. Jedoch unterhalb 353.00 m wurden diverse Zonen mit 1° - 20° SSW, NW, W und O Schichteinfallen beobachtet, welche potenzielle weniger deformierten Faltenscharniere darstellen können.

Tektonische Störungen haben flache bis sub-vertikale (10° - 82°) Einfallswinkel und konzentrieren sich oberhalb 353.00 m. Diese sind variabel, jedoch zwei schwache Cluster sind vertreten: (1) Ein \sim WNW-OSO streichenden Cluster und ein (2) Cluster mit einem \sim N-S Trend. Insgesamt wurden vier komplex deformierte und teils extrem spröde Scherzonen definiert, welche mit hoher Strukturdichte bis zu $12.37 \text{ m}^2/\text{m}^3$ bei 350.30 – 351.30 m korrelieren. Diese kontrollieren (neben duktiler Verfaltung) die Geometrie des Schichteinfallens in S 145. Eindeutige Schersinn Indikatoren (Schichtversätze) entlang der \sim W-E orientierten Störungen deuten auf ihre Genese als syn-kinematische Auf- und Überschiebungen. Alle interpretierten tektonischen Brüche scheinen mineralisiert zu sein.

An der Basis unterhalb von 366.51 m bis Ende OPTV bei 375.80 m befindet sich das reinste Salzlager mit 100 Vol.% an Halit.

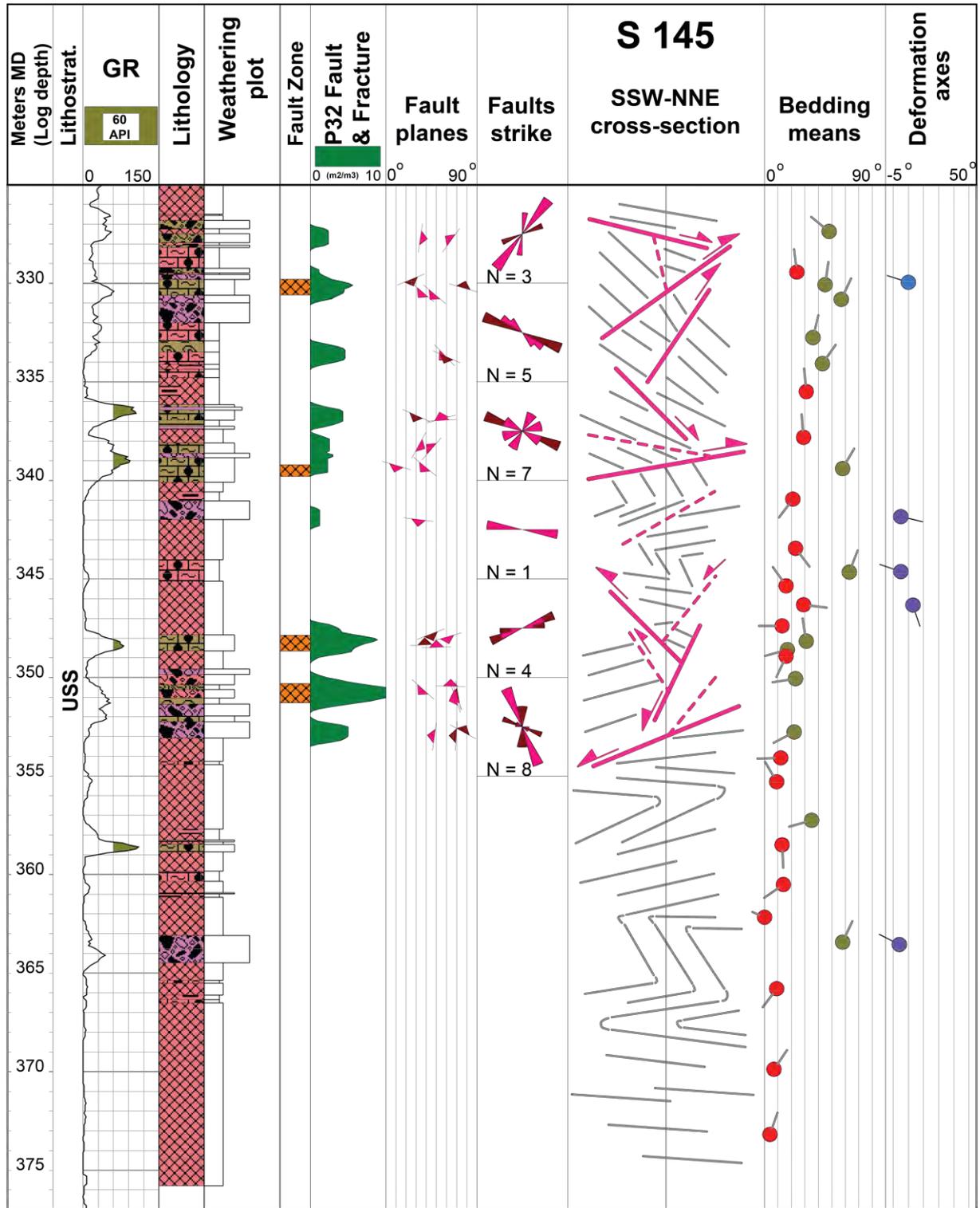


Abb. 56: Übersichtprofil der S 145 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.6 S 146

Im untersuchten Intervall (336.00 – 371.00 m) wurden manuell insgesamt 363 individuelle, geologische Flächen auf den optischen Bohrlochwandabbildungen erkannt und definiert. Dieses Intervall ausschließlich deckt die Unteren Salzschiechten ab.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 346 Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 30 Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 141 sind in Stereogrammen (Abb. 57, Abb. 58 und Abb. 59), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 60) und in der Beilage 6 visualisiert.

Das Schichteinfallen in S 146 ist durch vorwiegend flache (1° – 35°) Dip Magnituden charakterisiert. Lediglich zwischen 347.00 – 356.00 m sind steilere (bis 65°) Einfallswinkel interpretiert worden. Die untere und obere Grenze dieses Intervalls ist durch klare tektonische Brüche bzw. die **Störzone (346.62 – 347.42 m)** definiert (Beilage 6). Diese bewirken lokale (graduelle) Deformation der Schichtflächen durch Schleppung (fault drag deformation). Folglich kann diese Zone einen stark deformierten und in SW Richtung verkippten Störungsblock darstellen. Unterhalb der o.g. Störzone dominieren SW bis SSW Einfallrichtungen, jedoch oberhalb 346.62 m fällt die Schichtung in Richtung SO, NO, NNO sowie NW.

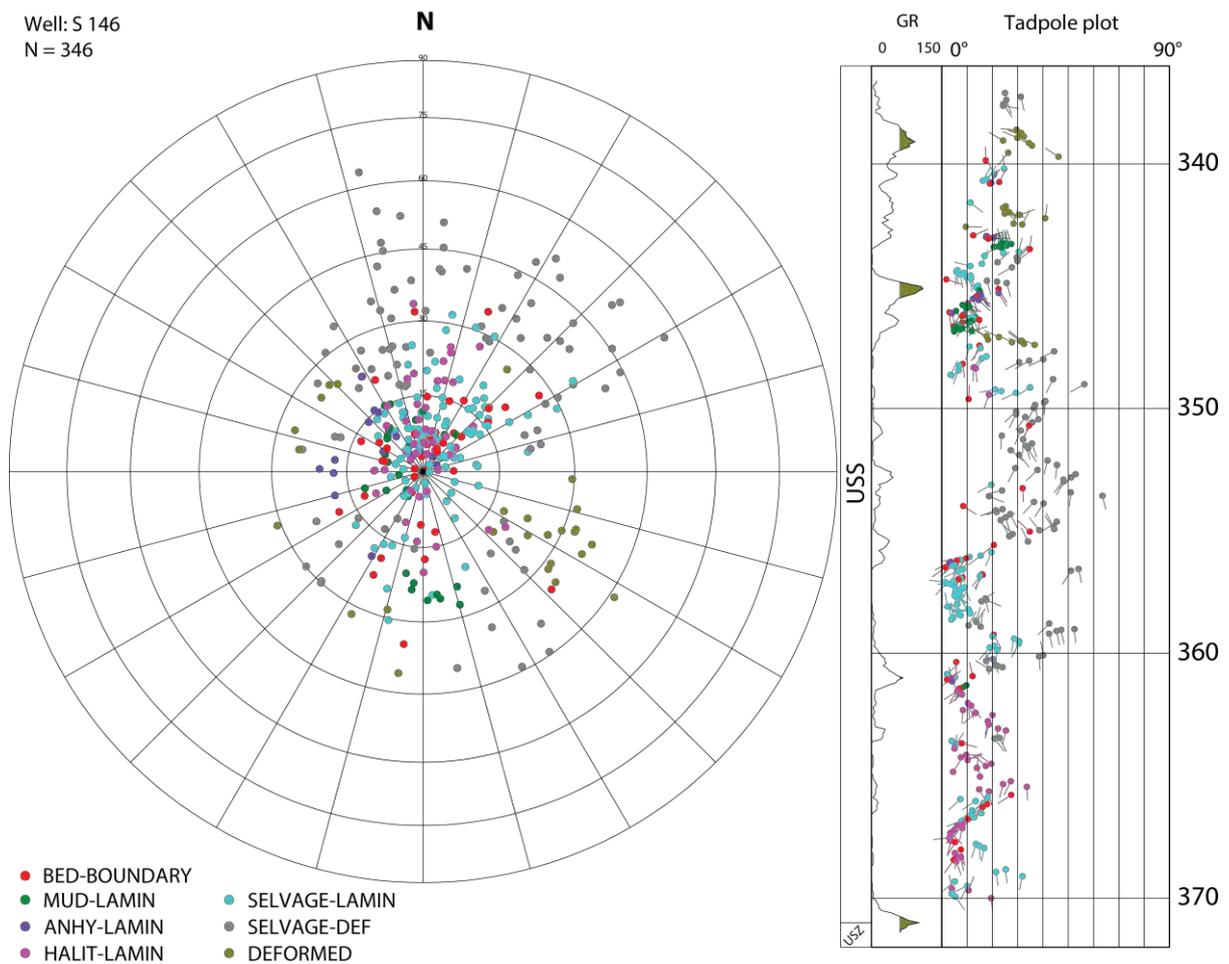


Abb. 57: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 146

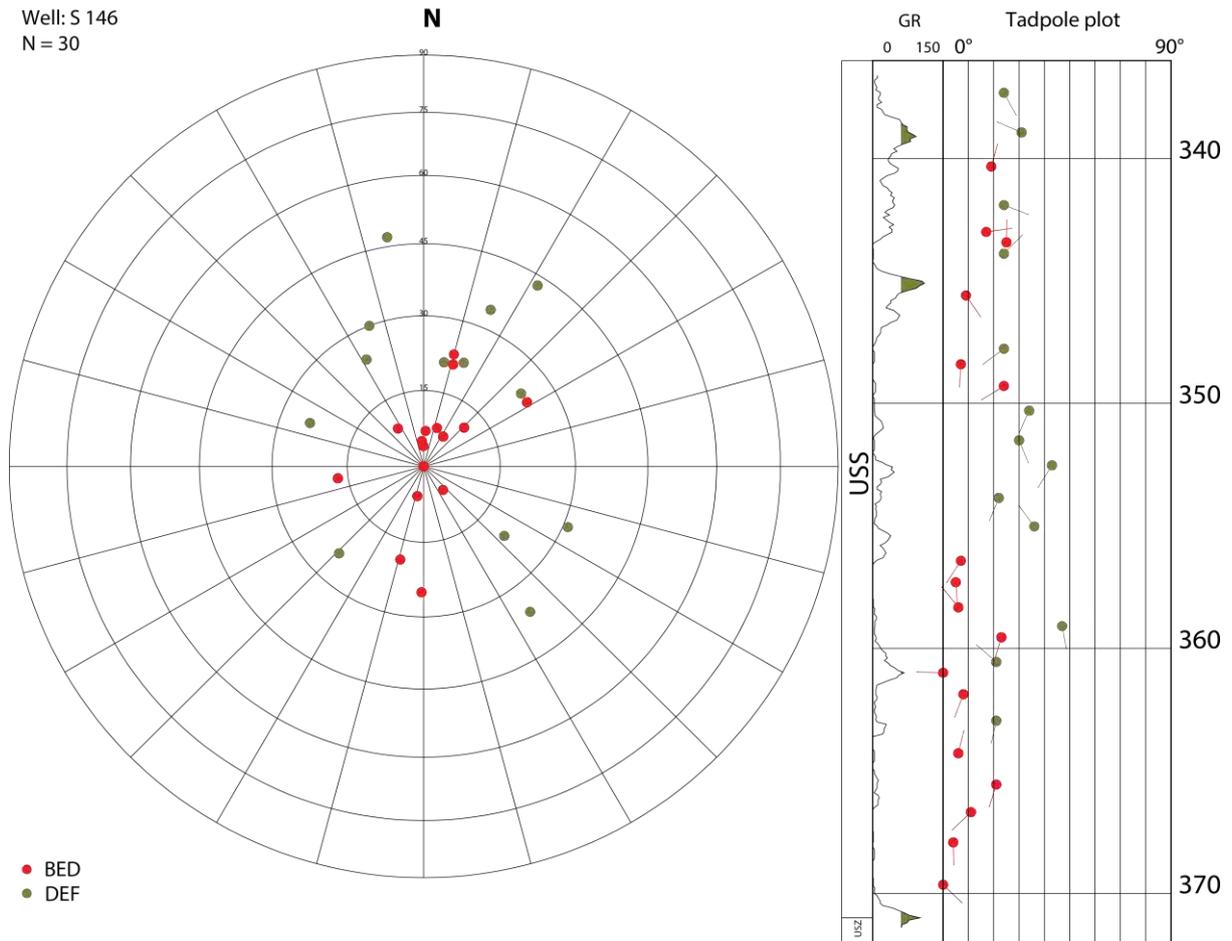


Abb. 58: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfallen in S 146

Well: S 146
N = 346

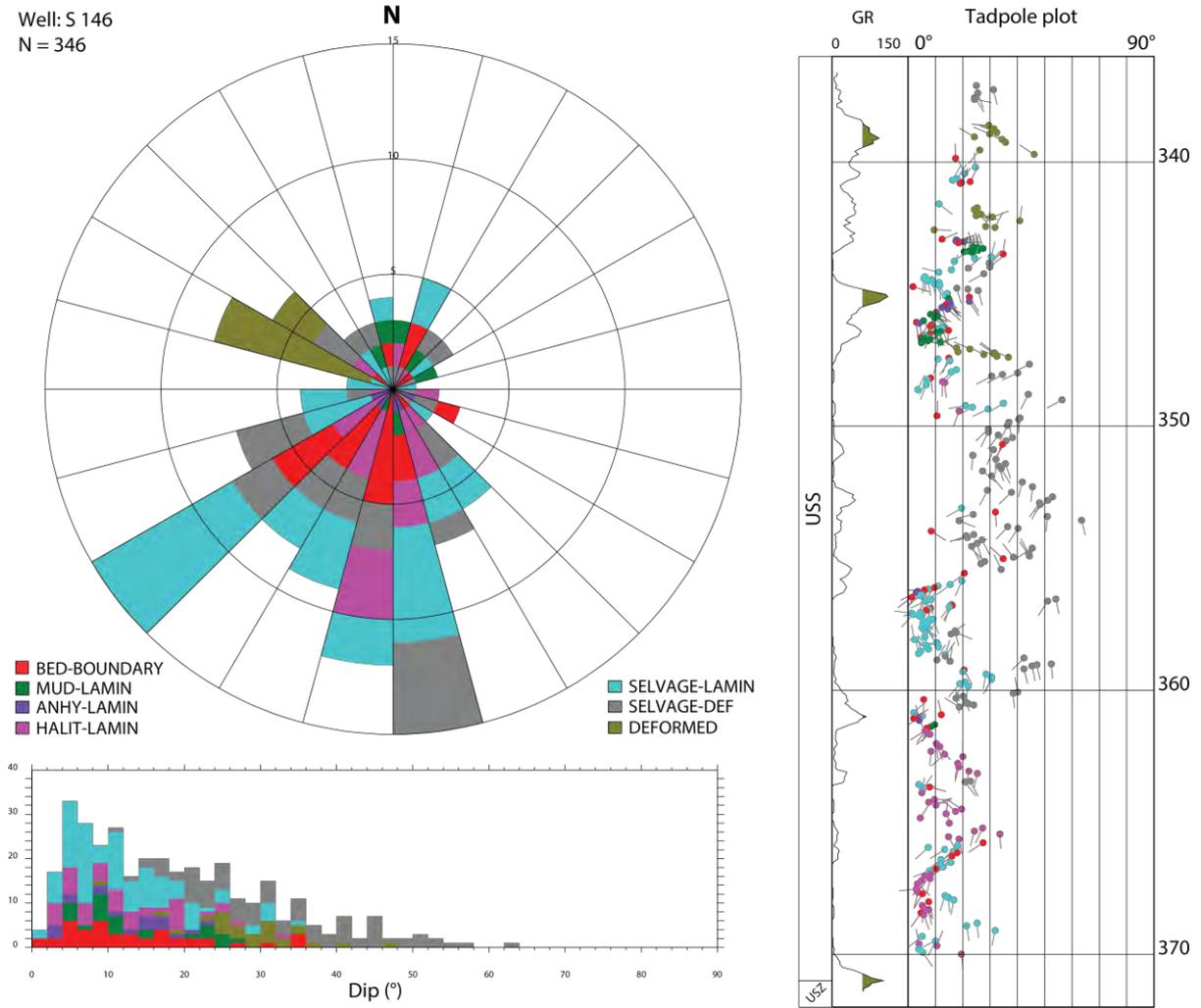


Abb. 59: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 146

Vector azimuth plot

Well: S 146 (Grosszinggibrunn 2)

Displayed dips (n = 235)

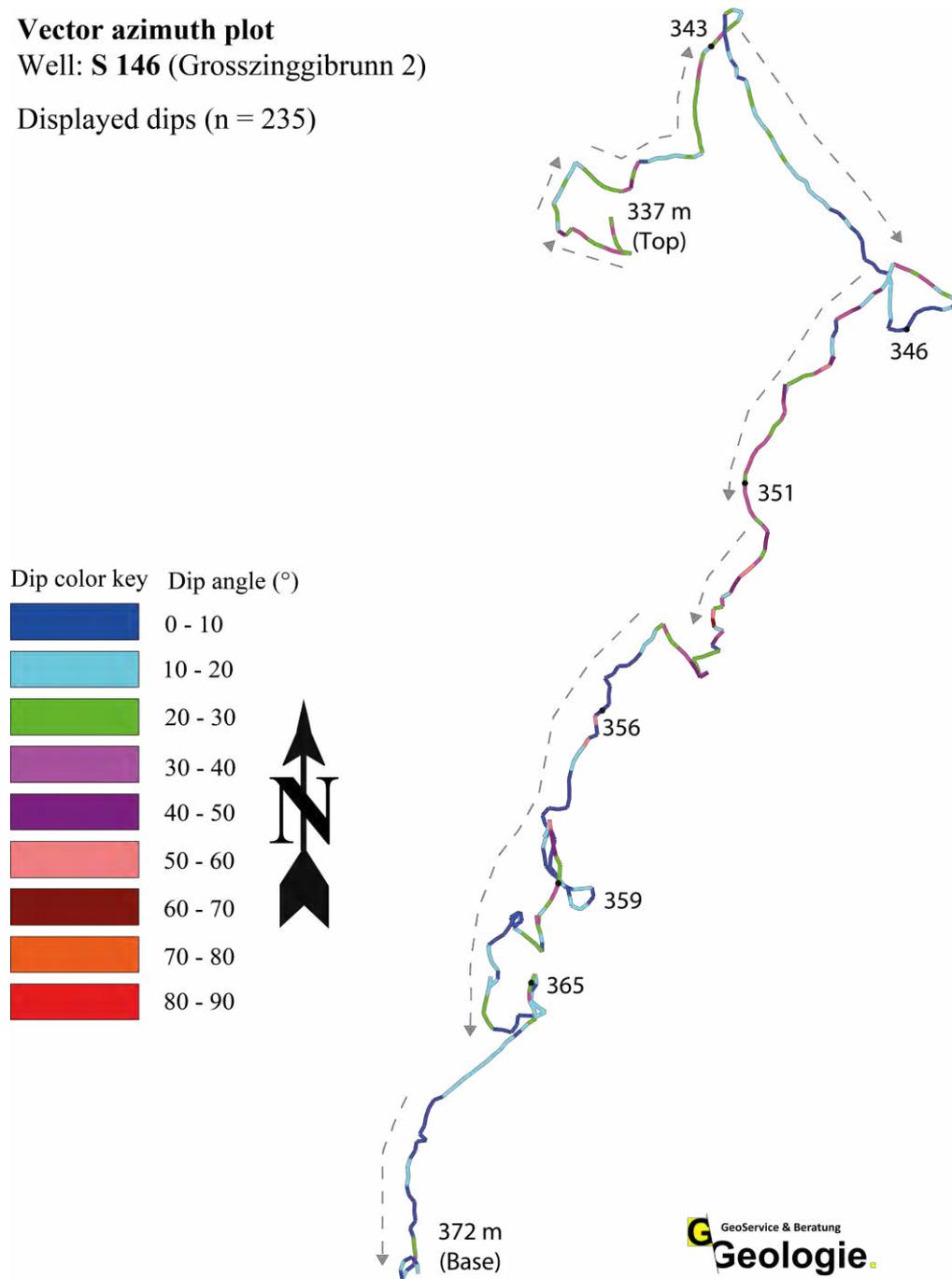


Abb. 60: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfallen der S 146

Deformationsachsen

Insgesamt wurden 5 Deformationsachsen bestimmt (Abb. 61 und Tabelle 14). Im Stereogramm zeigen sie eine variable Orientierung, jedoch mit einem dominanten WSW-Trend. Die Streuung ist in WNW, NW, NNW und NO Orientierungen und kann auf das generell flache Schichteinfallen zurückgeführt werden. Die Abtauchwinkel sind vorwiegend flach bis leicht geneigt (4° – 26°).

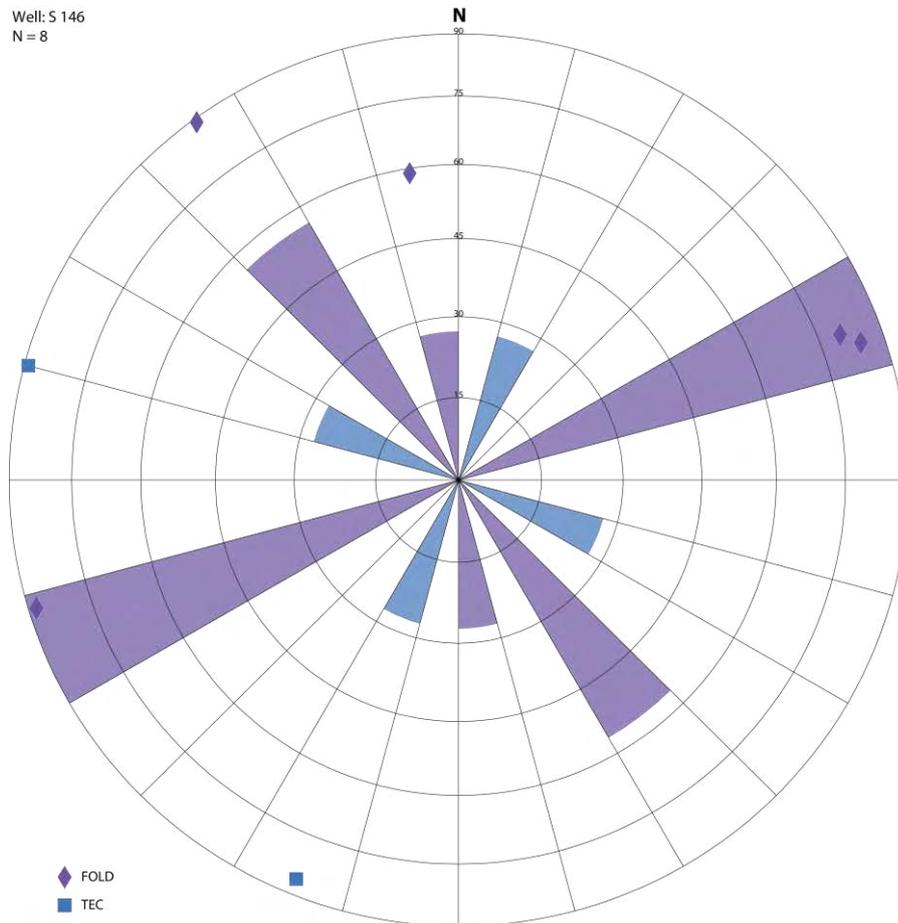


Abb. 61: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 146

Tabelle 14: Orientierung von Deformationsachsen in S 146

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
344.53	345.38	02	73	16	FOLD	Achse beschreibt das Scharnier einer Monoklinale mit relativ flachen ($<25^{\circ}$) Schichtflächen
347.00	347.41	04	022	8	TEC	Schleppungsachse entlang der Störung in USS bei 347.05 m mit dip-slip Versatz. Achse streicht subparallel zur Störung
348.75	349.50	01	144	7	FOLD	Monoklinale
349.63	353.00	31	171	26	FOLD	Ca. 90° Streuung in Azimut - Achse des Scharniers einer nicht zylindrischen Falte
354.80	355.25	10	249	6	FOLD	Monoklinale
360.03	360.67	06	251	9	FOLD	
362.70	363.20	01	105	4	TEC	Schleppungsachse im Hangenden der Störung bei 363.40 m mit "Scissor"-Versatz.
365.75	367.00	01	144	15	FOLD	Messung basiert auf relativ flachen ($<20^{\circ}$) Schichtflächen und spiegelt die Scharnierachse einer Monoklinale wieder. Mögliche Störung in USS bei 366.0 m, streicht parallel zur Achse und deutet auf eine kleinräumige Abscherung innerhalb der Falte hin

Störungen und Klüfte

Insgesamt wurden 17 tektonische Diskontinuitäten interpretiert: 2 relevante (FAULT) und 10 potenzielle (FAULT_MINOR) Störungen sowie 1 verheilte und 4 potentiell offene Klüfte. Alle Störungen und Klüfte weisen auf den OPTV Bohrlochscans sichtbare (bis ca. 3 cm) **Aperturen** auf und erscheinen dunkel (siehe Abb. 62 und Abb. 63). Jedoch basierend nur auf den OPTV Bildern lässt es sich bei manchen Strukturen nicht definitiv feststellen, ob diese offen oder doch mit dunklem Halit (partiell) verfüllt sind. Diese Problematik wird am Beispiel der Störzone bei 346.62 – 347.42 m in Abb. 63 präsentiert. Dort sind die spröden und teils breiten Störungen bei 346.45 m, 346.56 m und 347.08 m klar mit dunklem bis rötlichem Halit mineralisiert, während die ca. 2 – 3 cm breite Störung bei 345.94 m potentiell offen sein kann.

Tektonische Brüche bzw. die o.g. Scherzone kontrollieren die Geometrie des Schichteinfallens und korrelieren mit Änderungen im Strukturip. Die höchste Strukturdicke (P32 Kurve) von $5.60 \text{ m}^2/\text{m}^3$ wurde unmittelbar oberhalb der Störzone bei 356.00 m determiniert. Im Stereogramm (Abb. 64) zeigen die Störungen und Klüfte eine variable Orientierung und konzentrieren sich hauptsächlich im oberen Intervall zwischen 342.50 – 347.30 m. Die Einfallswinkel sind ebenfalls variabel zwischen 30° – 80° .

Zusätzlich wurden vier weitere, gering mächtige (bis max. 0.18 m) Störzonen im gekernten Intervall oberhalb 299.00 m interpretiert. Diese sind in Tabelle 15 aufgelistet und in Beilage 6 als Zonierungen dargestellt. Des Weiteren wurden in den Bohrkernen diverse spröde tektonische Brüche gesichtet z.B. bei 302.00 m, 303.80 m und 304.50 m (Beilage 6).

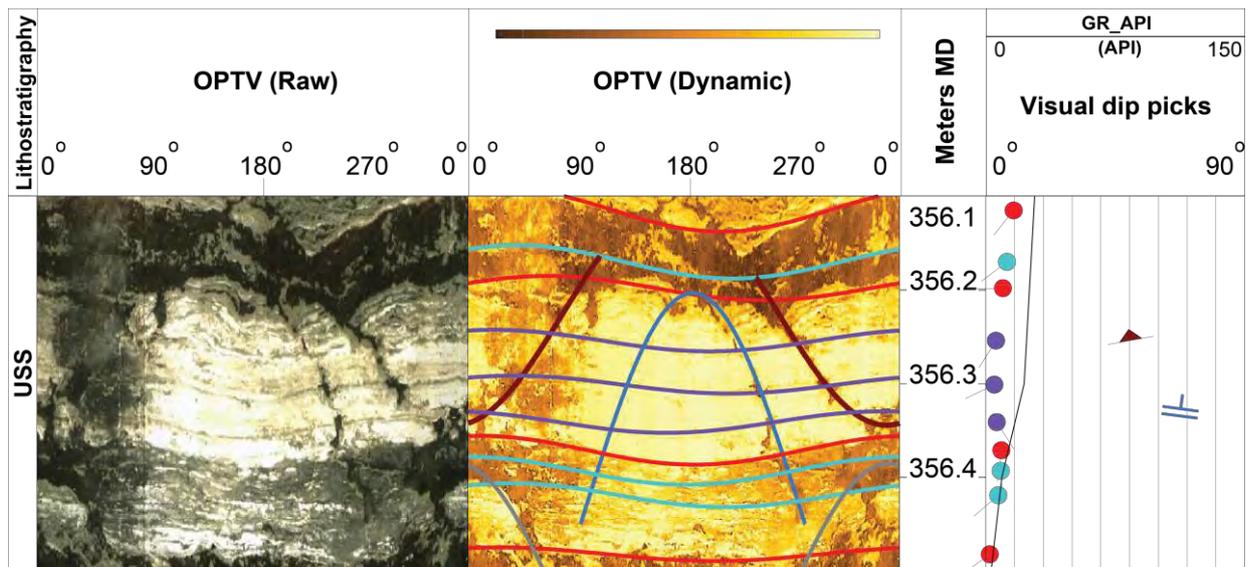


Abb. 62: Diskrete potenziell offene tektonische Brüche bei 356.26 m und 356.35 m in S 146
Beide Strukturen erscheinen dunkel auf dem OPTV und können partiell offene Flächen darstellen.

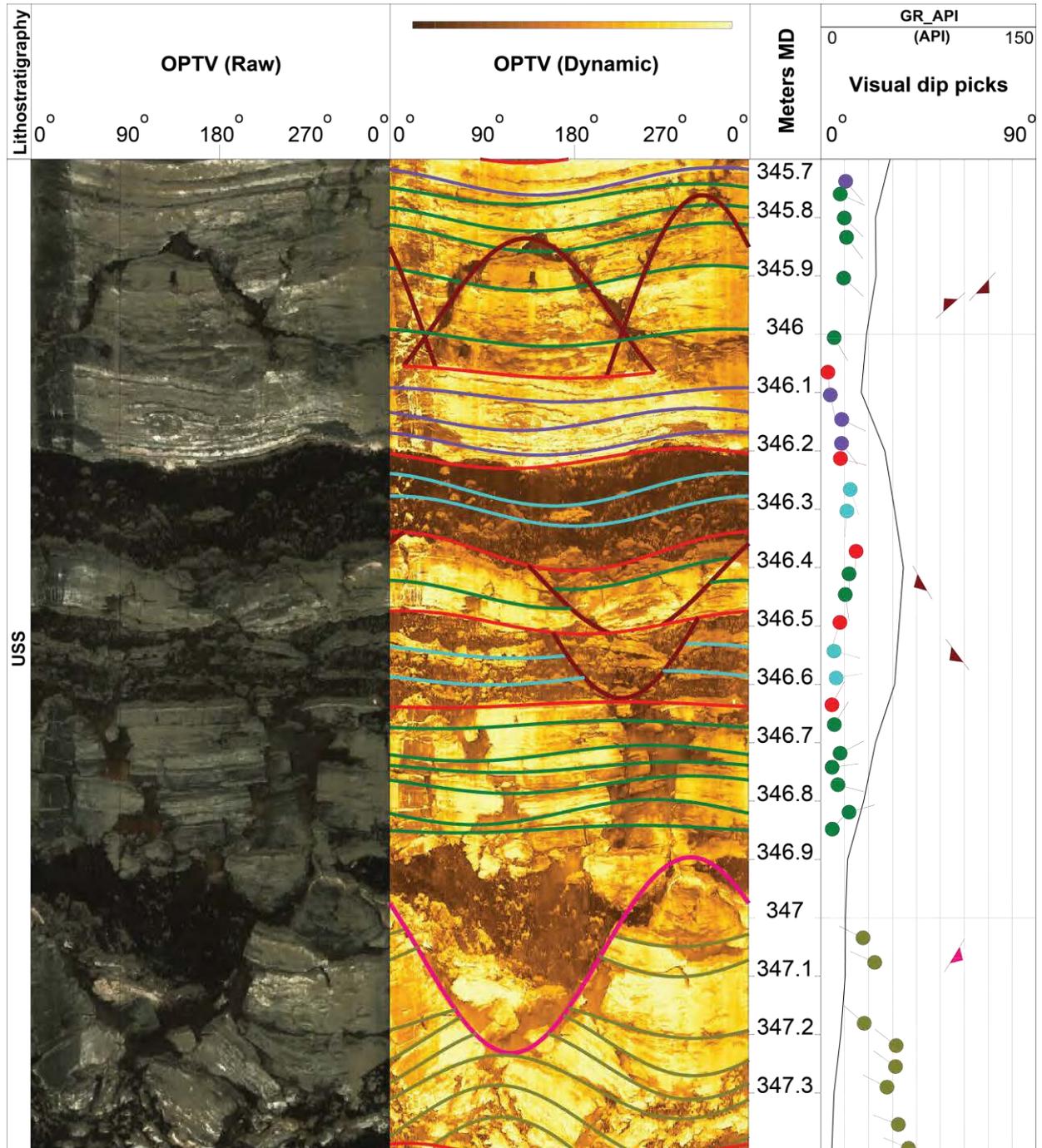


Abb. 63: Spröde Deformation in einer Störzone bei 345.70 – 347.30 m (S 146)
 Siehe Text oben für Diskussion und mehr Details.

Well: S 146
N = 17

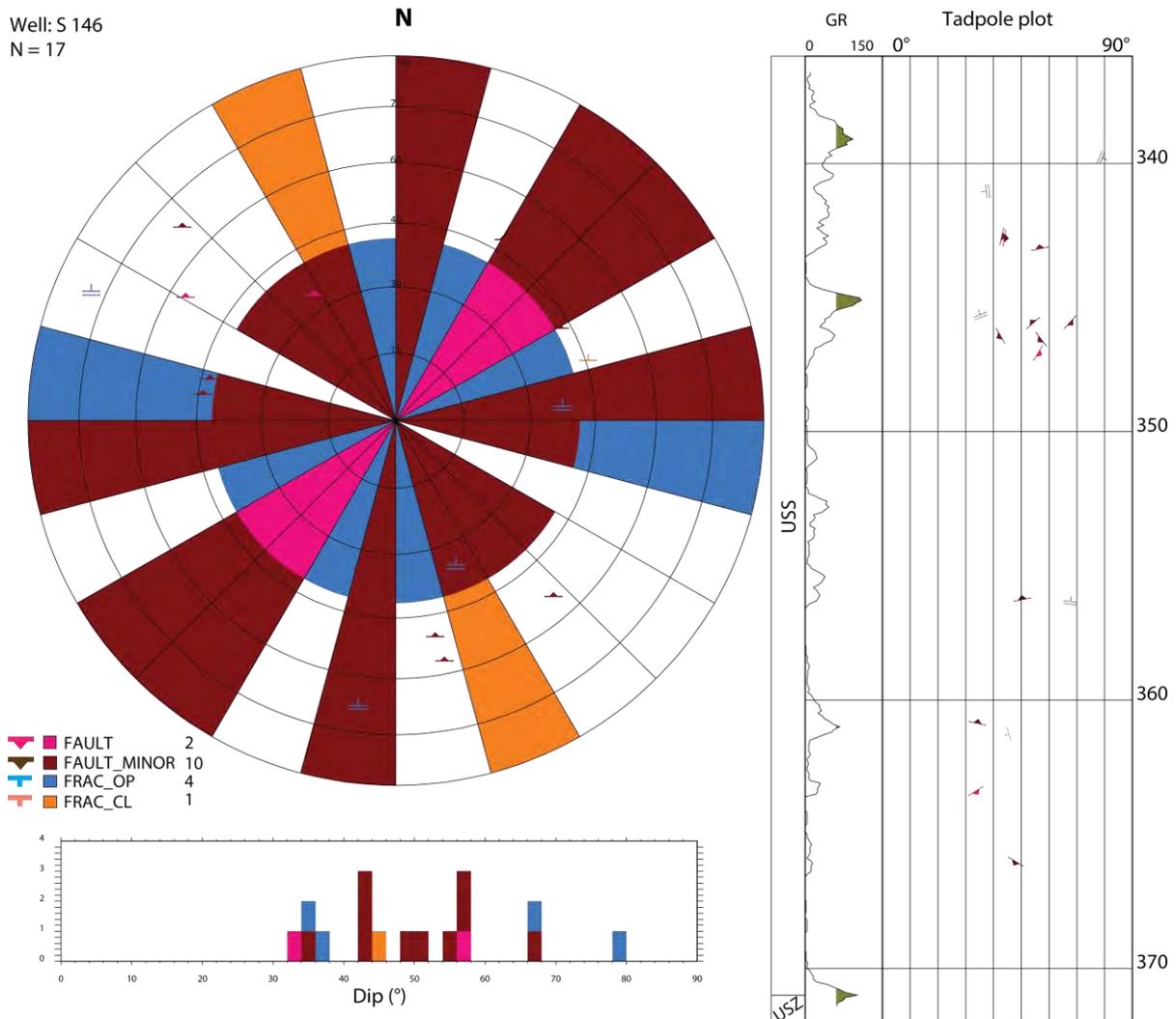


Abb. 64: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 146

Tabelle 15: Evaluation der interpretierten Stör-/Scherzonen in S 146

Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S 146	299.62	299.66	0.04	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	302.88	303.04	0.15	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	303.19	303.37	0.18	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	316.42	316.48	0.06	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	346.62	347.42	0.80	Spröd deformierter Tonstein in USS; Dieser stellt alternativ eine Kollapsbrekzie dar

Zusammenfassung S 146

Resultate der OPTV Analyse der S 146 sind in Abb. 65 zusammengefasst. Basierend auf den Beobachtungen aus den OPTV Bohrlochwandabbildungen ist es auffällig, dass in S 146 – im Gegensatz zu Nachbarbohrungen – die Symmetriebeziehung einer Faltenstruktur zwischen folgenden Strukturelementen fehlt:

- Orientierung des Schichteinfallens, welche die Faltenschenkel widerspiegeln
- Orientierung der Deformationsachsen, welche die Orientierung einer Falte darstellen
- Orientierung und Genese spröder Strukturen, welche (sub-)parallel zur Falte streichen

Dies deutet darauf hin, dass S 146 von der Faltenstruktur entkoppelt ist und außerhalb dieser, in einem **neuen, flach (1° – 35°) einfallenden tektonischen Kompartiment** liegt (siehe Kap. 4.1.1 für Diskussion). Lediglich zwischen 347.00 – 356.00 m ist ein bis 65° nach SW verkippter Störungsblock angetroffen. Dieser ist am Top durch Störungen und an der Basis durch eine prominente **Störzone bei 346.62 – 347.42 m** begrenzt, was auf **Verkippung und Blockrotation** hindeutet. Unterhalb der Störzone dominieren SW bis SSW Einfallsrichtungen, jedoch oberhalb variable SO, NO, NNO sowie NW Azimute. Folglich ist das Schichteinfallen durch evidente tektonische Brüche sowie lokale, duktile Verformung kontrolliert. Deformationsachsen haben im Gegensatz zu Nachbarbohrungen variabel Orientierung, jedoch mit einer schwachen Dominanz des WSW-Trends.

Das Fehlen der Unteren Brekzien an der S 146 trägt zur einer **lokalen Schichtlücke** bei. Die möglichen tektonischen und lithologischen Ursachen hierfür werden ausführlich im Kap. 4.1.1 diskutiert.

Störungen und Klüfte zeigen keine klare Vorzugsorientierung, sie konzentrieren sich jedoch bei 342.50 – 347.30 m. Dort ist die höchste Strukturdichte (P32 Kurve) von 5.60 m²/m³, unmittelbar oberhalb der o.g. Störzone bei 356.00 m determiniert worden. Alle spröden Strukturen erscheinen dunkel auf den OPTV's und haben klar sichtbare (bis ca. 3 cm) Aperturen. Manche sind eindeutig mit dunklem bis rötlichem Halit verfüllt, jedoch bei anderen ist das nicht eindeutig klar. Diese können potentiell (partiell) **offene Strukturen** darstellen.

Das **Salzlager** ist stark verunreinigt. Das basale, relativ reine Intervall fällt jedoch mit nur 6.77 m im Vergleich zu Nachbarbohrungen weiter im Süden sehr geringmächtig aus (363.79 m – 370.56 m). Das deutet darauf hin, dass die **Salzmächtigkeit nach Norden abnimmt**.

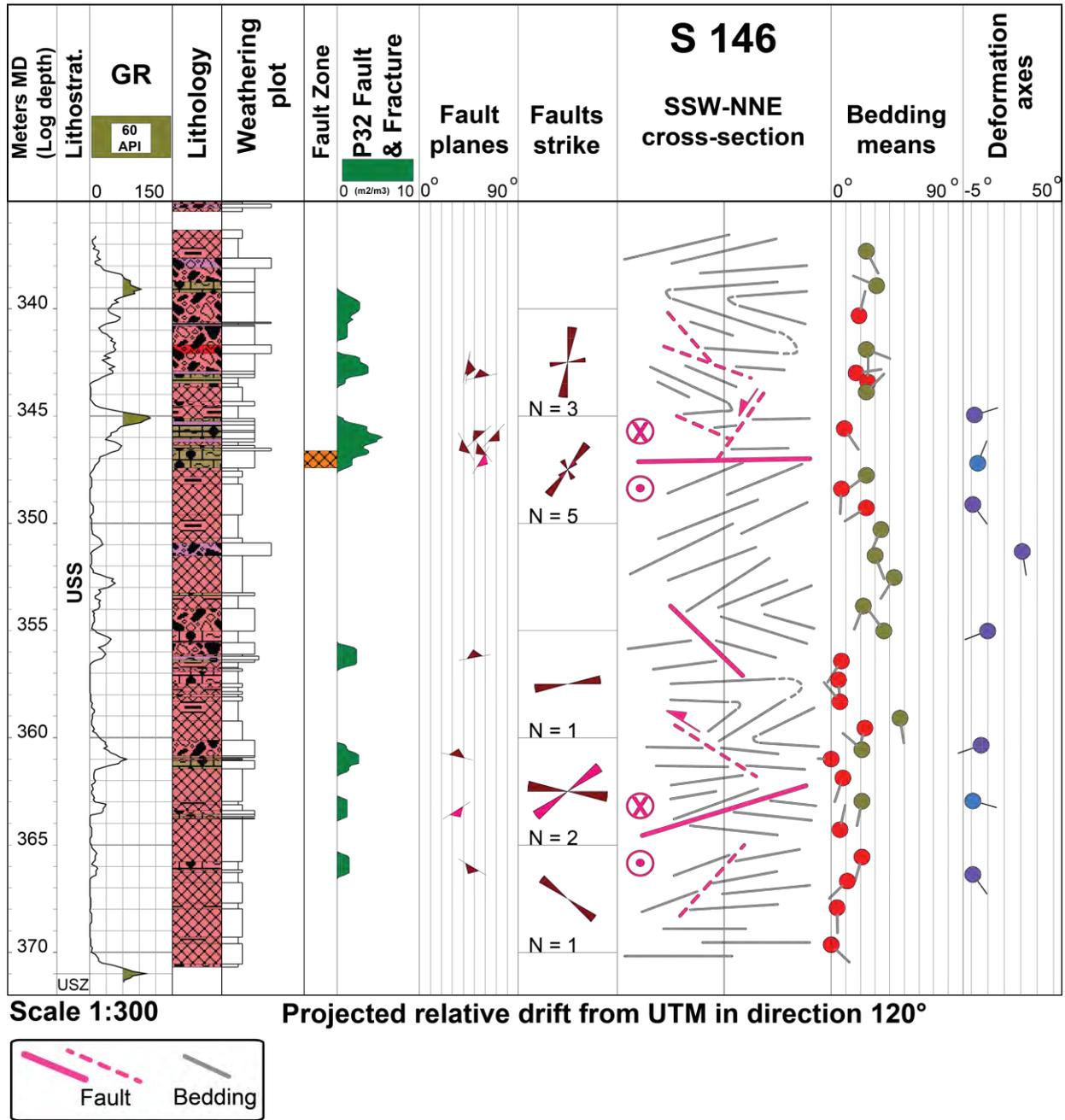


Abb. 65: Übersichtprofil der S 146 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.7 S 147

Im analysierten Intervall (392.00 – 428.00 m) wurden insgesamt 214 individuelle, geologische Flächen auf den OPTV Bohrlochwandabbildungen erkannt und definiert. Dieses Intervall besteht ausschließlich aus Unteren Salzschiechten.

Aufgrund der teils schmutzigen Bohrlochwand (brauner Tonfilm) ist die Qualität der OPTV etwas beeinträchtigt. Jedoch dank der Datenaufbereitung konnte die Qualität und somit das Interpretationspotenzial erheblich gesteigert werden (Beilage 7).

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 200 Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 20 Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 147 sind in Stereogrammen (Abb. 66, Abb. 67 und Abb. 68), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 69) und in der Beilage 7 visualisiert.

Das Salzlager weist eine **Dreiteilung** hinsichtlich des Schichteinfallens auf:

1. Das oberste Intervall bei 392.00 - 409.00 m weist eine komplexe Deformation und eine hohe Strukturdicke auf. Das Salzlager befindet sich hier überwiegend in Steillagerung und fällt mit 20° bis 85° in Richtung S bis SSW und N ein. Zahlreiche graduelle und abrupte Änderungen in Schichtorientierung sind in dieser Zone üblich. Die Letzteren korrelieren mit evidenten tektonischen Brüchen, welche eine 5.9 m mächtige Scherzone bei 395.00 – 400.90 m bilden. Generell kann diese Zone als eine stark **verschuppte Faltenstruktur** interpretiert werden. Der Übergang zwischen 409.00 – 410.00 m zu den weniger deformierten Salzschiechten im Hangenden ist graduell und deutet auf duktile Deformation (Verfaltung) in diesem Bereich hin
2. Im mittleren Intervall zwischen 409.00 – 421.00 m weisen die Salzschiechten flachere (10° – 45°) Dip Magnituden mit gegenläufigen ~N und ~S Einfallrichtungen auf und sind strukturlos. Diese können die Schenkel einer **verkippten Faltenstruktur** mit flachen Faltenachsen widerspiegeln.
3. Das basale Salzlager unterhalb 421.00 m ist durch undeformierten, sub-horizontalen bis flachen (1° – 10°) Struktur dip mit undefiniertem Azimut charakterisiert. Hier wurden keine tektonischen Brüche beobachtet.

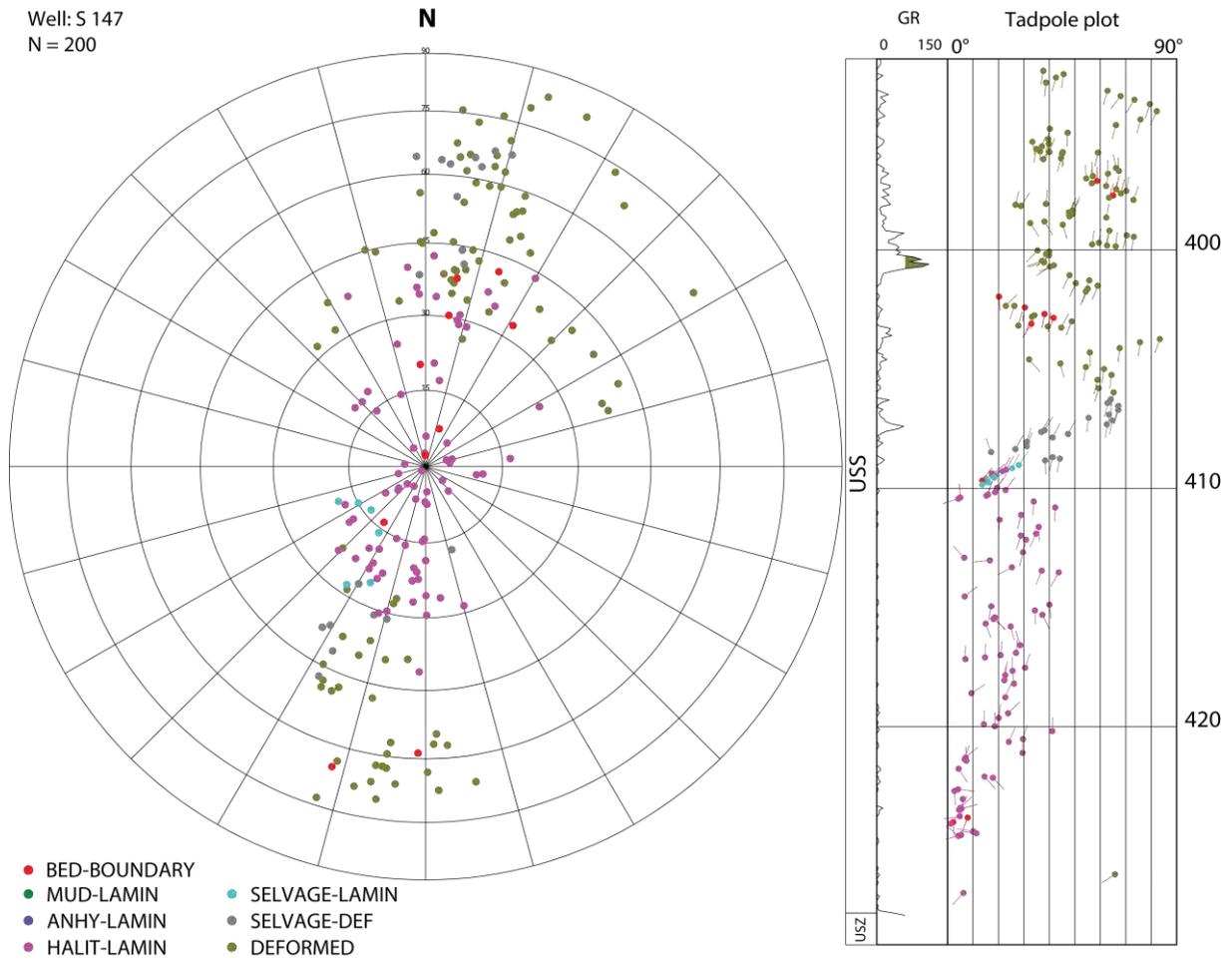


Abb. 66: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfällen in S 147

Well: S 147
N = 20

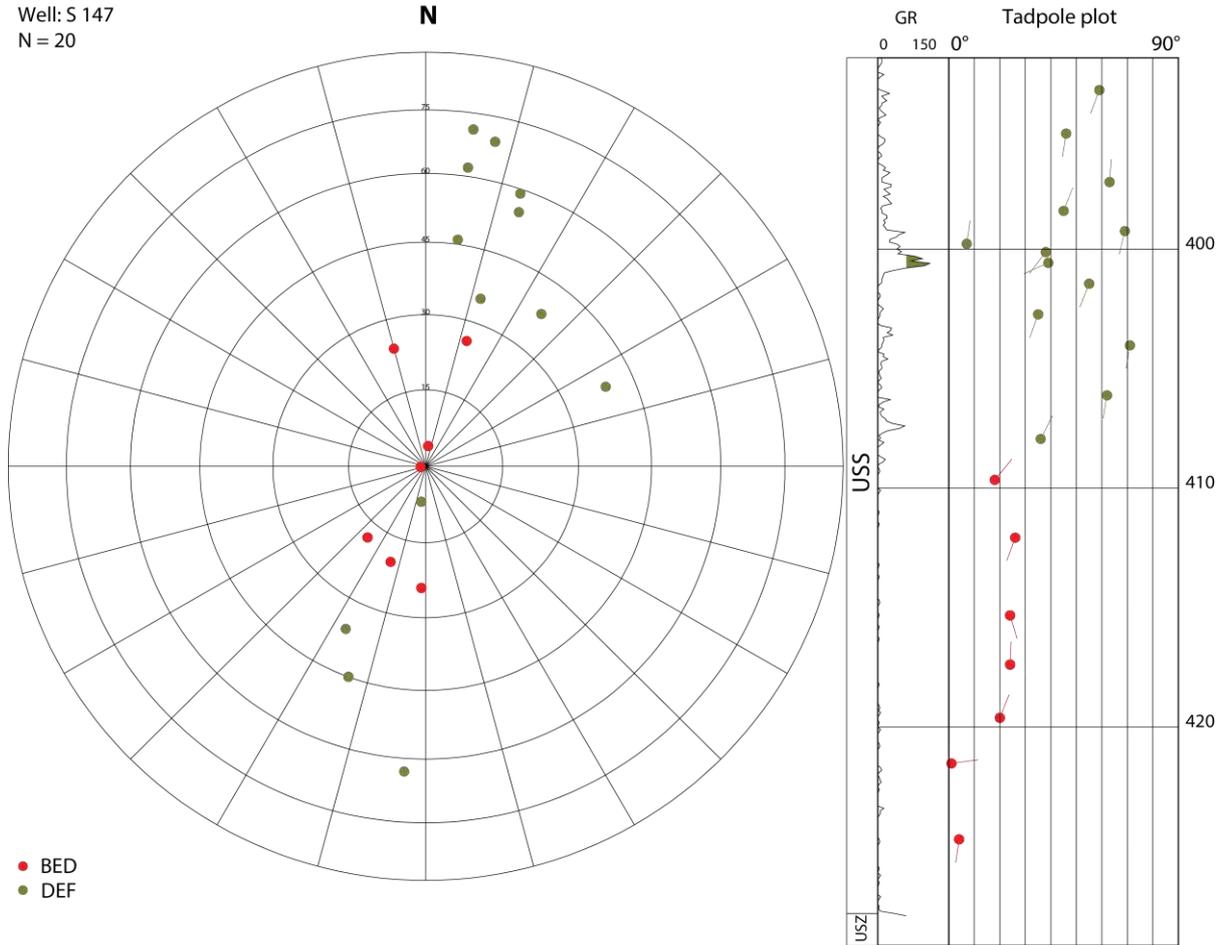


Abb. 67: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 147

Well: S 147
N = 200

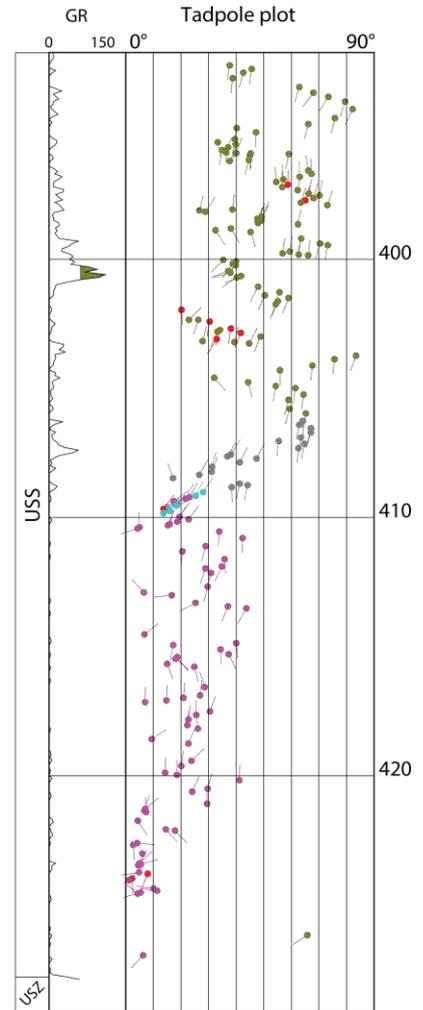
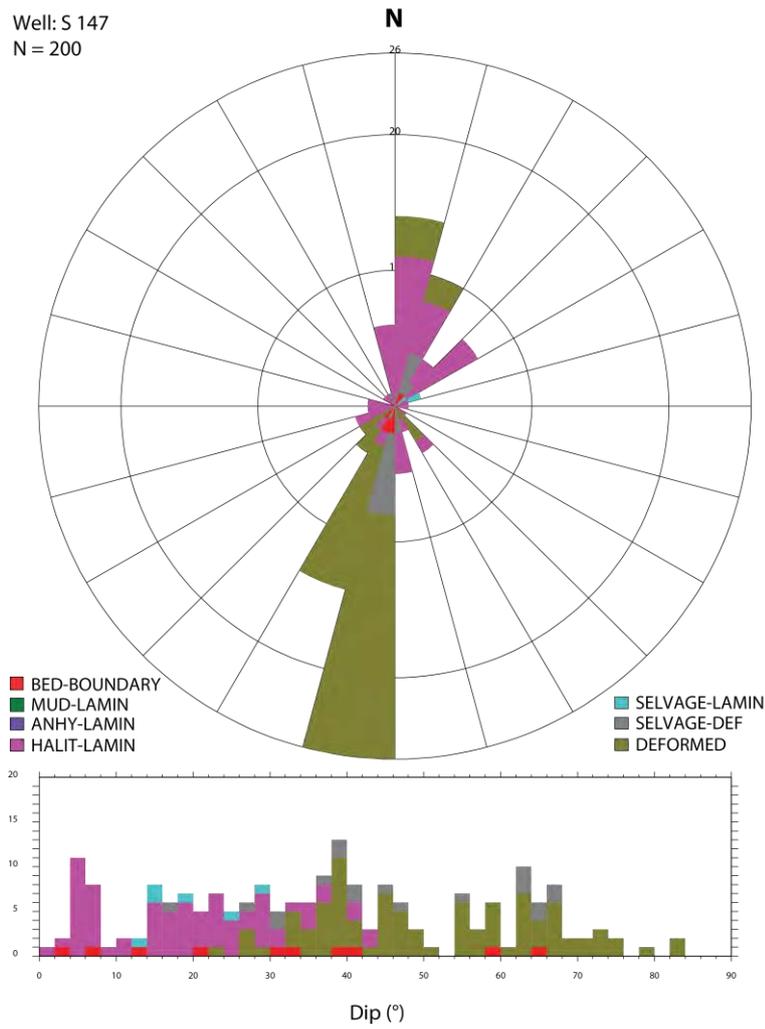


Abb. 68: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfallen in S 147

Vector azimuth plot

Well: S 147 (Grosszingibrunn 2)

Displayed dips (n = 200)

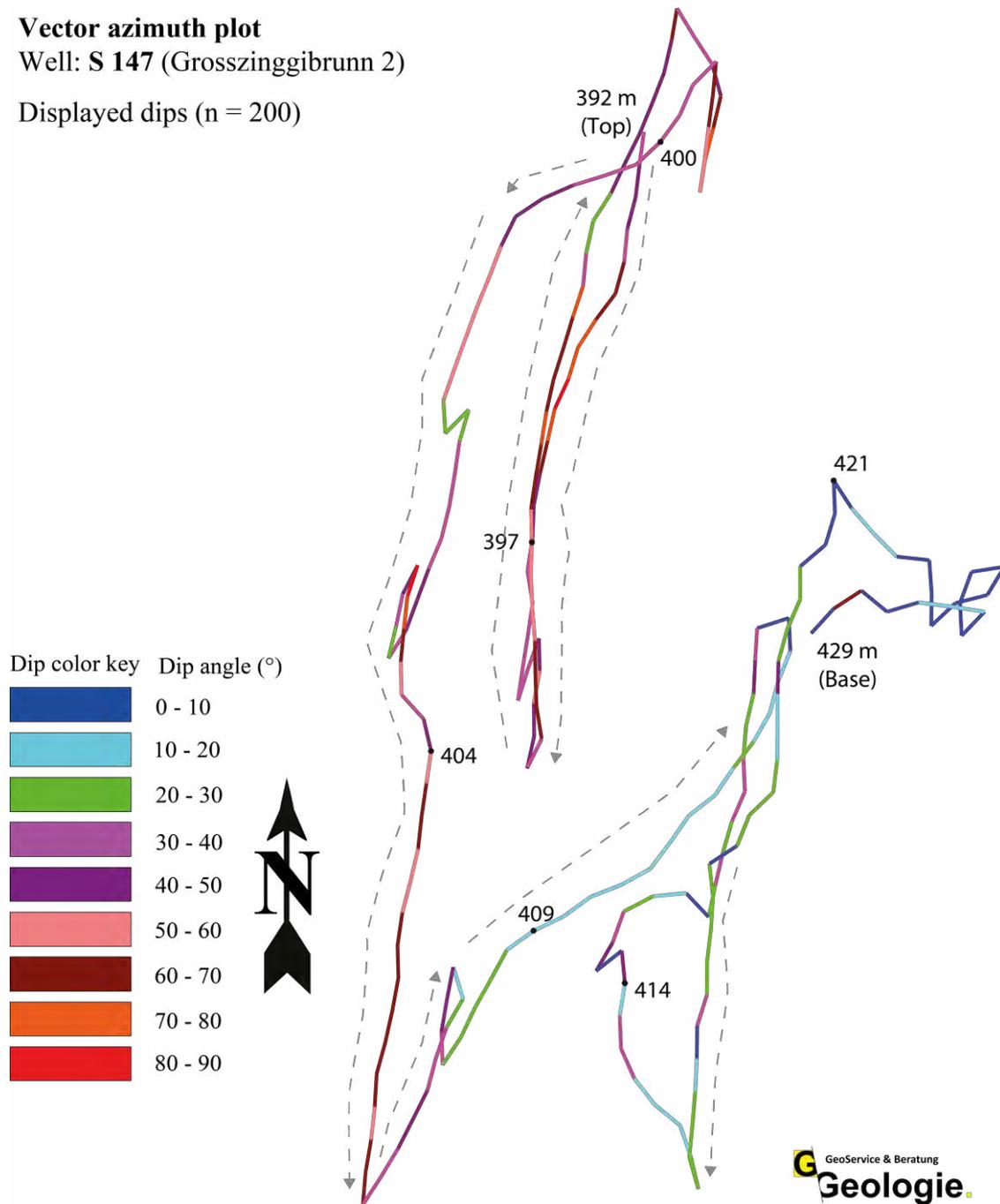


Abb. 69: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfällen der S 147

Deformationsachsen

Insgesamt konnten 13 Deformationsachsen bestimmt werden (Abb. 70 und Tabelle 16). Diese wurden vorwiegend zwischen 393.00 – 421.00 m interpretiert (Beilage 7). Im Stereogramm zeigen sie einen dominanten WNW-OSO wie auch einen untergeordneten WSW-ONO Trend mit vorwiegend flachen bis geneigten ($6^\circ - 27^\circ$) Abtauchwinkel.

Well: S 147
N = 13

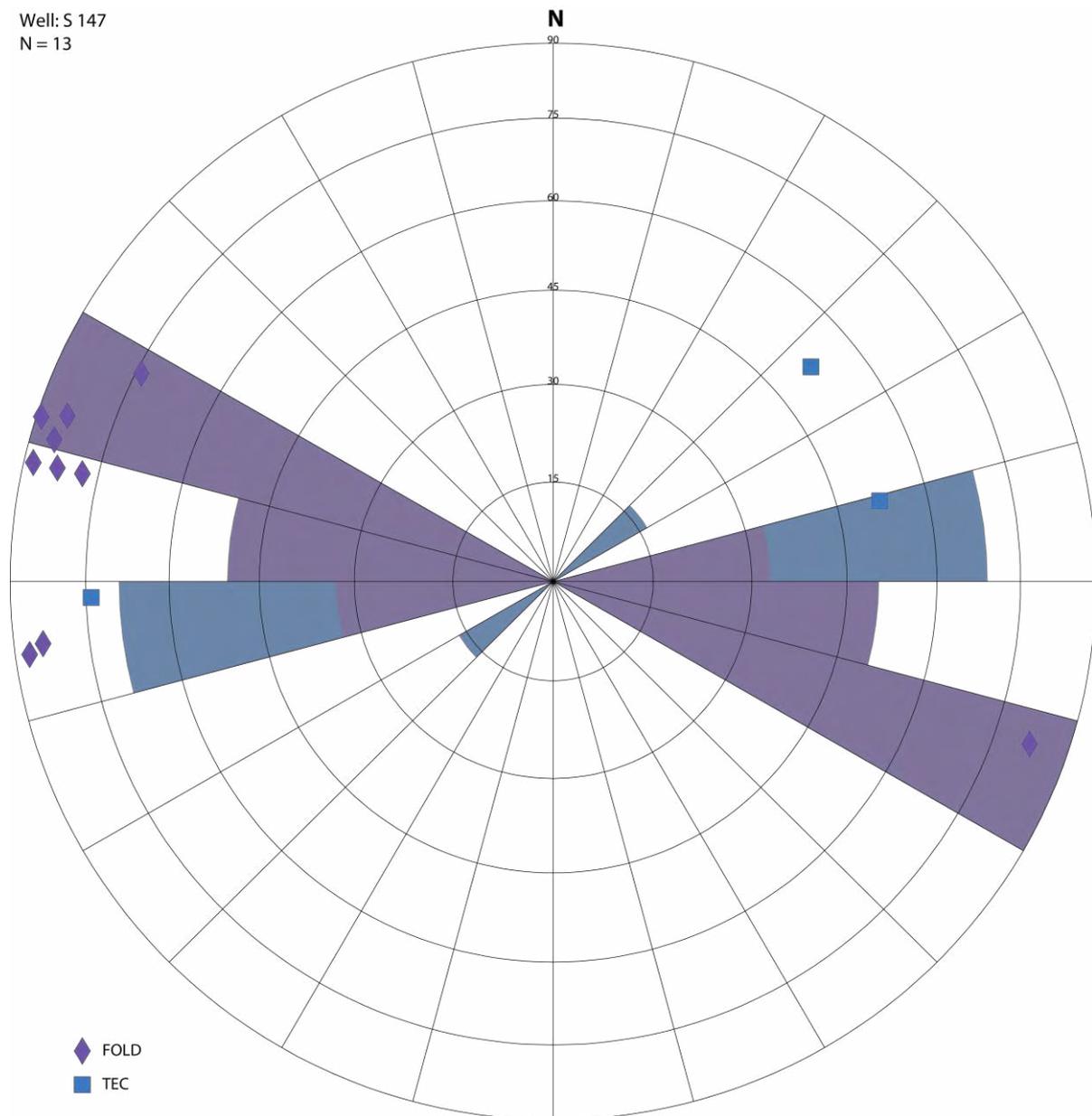


Abb. 70: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 147

Tabelle 16: Orientierung von Deformationsachsen in S 147

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
392.47	395.80	16	117	18	FOLD	Monoklinale
395.30	396.30	07	103	12	FOLD	
396.50	398.70	16	088	23	TEC	Dip-slip Rotationsachse (ca. 10-20°) von benachbarten Blöcken/Schuppen innerhalb eines nach NNO einfallenden Faltenschenkels. Assoziiert mit einer möglichen W-O streichenden Störungszone zw. 397-401 m.
398.00	400.30	02	103	23	FOLD	Komplexe zylindrische Falte. Faltenscharniere abgesichert durch kleine Störungen bei 398.10 m, 398.80 m, 399.60 m und 400.00 m. Die Störungen streichen sub-parallel zur Faltenachse.
400.00	400.75	38	230	8	TEC	Ca. 30° Rotation von benachbarten Schuppen entlang der Achse
400.40	401.80	38	256	10	TEC	Ca. 40° Rotation von benachbarten Schuppen entlang der Achse
402.35	403.30	00	108	11	FOLD	Scharnier ist bei 403.15 m durch eine Störung durchschert, die parallel zur Faltenachse streicht
403.70	408.40	12	103	27	FOLD	Scharnier ist bei 407.5 m durch eine Störung durchschert, die parallel zur Faltenachse streicht
407.55	408.90	05	106	11	FOLD	
408.98	412.20	06	109	27	FOLD	
412.90	413.65	08	289	6	FOLD	Ca. 90° Streuung in Azimut - Achse beschreibt das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte
414.80	417.20	03	082	14	FOLD	
416.50	420.70	06	083	19	FOLD	Achsenmessung basiert auf relativ flachen (<30°) Schichtflächen und spiegelt sub-parallele Scharniere einer Monoklinale wieder

Störungen und Klüfte

Insgesamt wurden 14 relevante tektonische Störungen (FAULT) im Salzlager identifiziert worden. Diese zeigen keine offensichtlichen Aperturen und scheinen verheilt zu sein. Die Störungen in S 147 schneiden üblicherweise scharf die Schichtflächen im Hangenden und Liegenden ab (Abb. 71 und Abb. 72) und verursachen abrupte Änderungen im Schichteinfallen.

Im Stereogramm (Abb. 73) zeigen sie einen dominanten WNW-OSO Trend mit fast ausschließlich SSW-einfallenden Flächen und 20° bis 82° Einfallswinkeln. Störungen treten nur in der deformierten Zone zwischen 396.00 – 408.00 m auf und bilden dort eine prominente, extrem deformierte **Scherzonen** mit hoher Strukturichte ($P32 = 8.76 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Diese 5.9 m mächtige Zonen ist durch unzählige tektonische Brüche im potenziellen Störungsgestein (Tonstein / Anhydrit) charakterisiert. Intern ist das Wirtsgestein sehr stark verfaltet und zerklüftet. Die Schichtflächen stehen steil bis sub-vertikal und werden durch die S-einfallenden Über- und Abschiebungen scharf abgeschnitten.

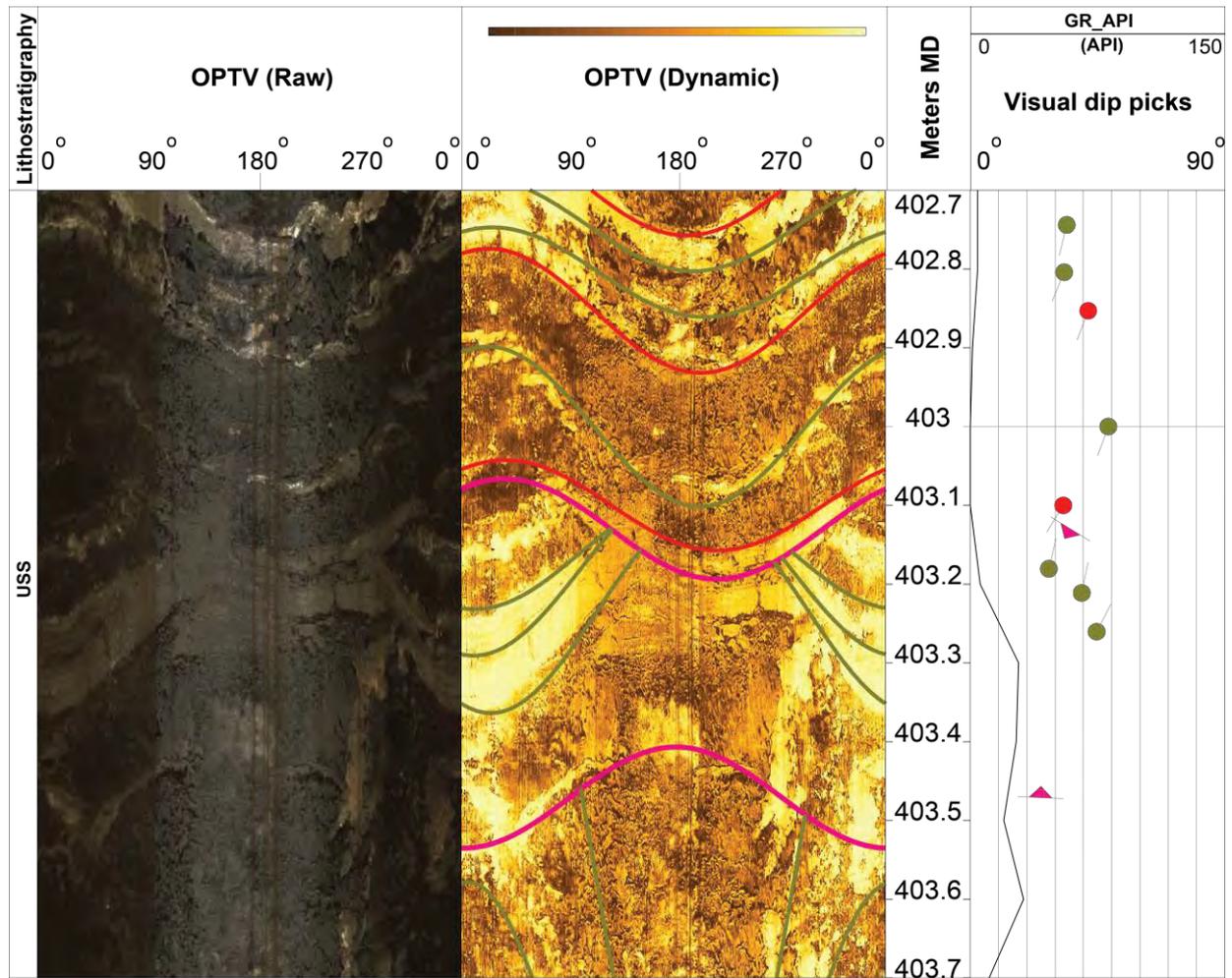


Abb. 71: Beispiel für eine 35° SW-einfallende Überschiebung bei 403.15 m

Diese und die weitere Störung bei 403.48 m (pinke Sinuskurven) schneiden scharf die steil stehenden Schichten im Hangenden (roter Pfeil) ab und verursachen lokale Deformation des Beddings. Diese Störungen stellen ein Analog der in S 143 detektierten, flachen Überschiebung aus Abb. 32.

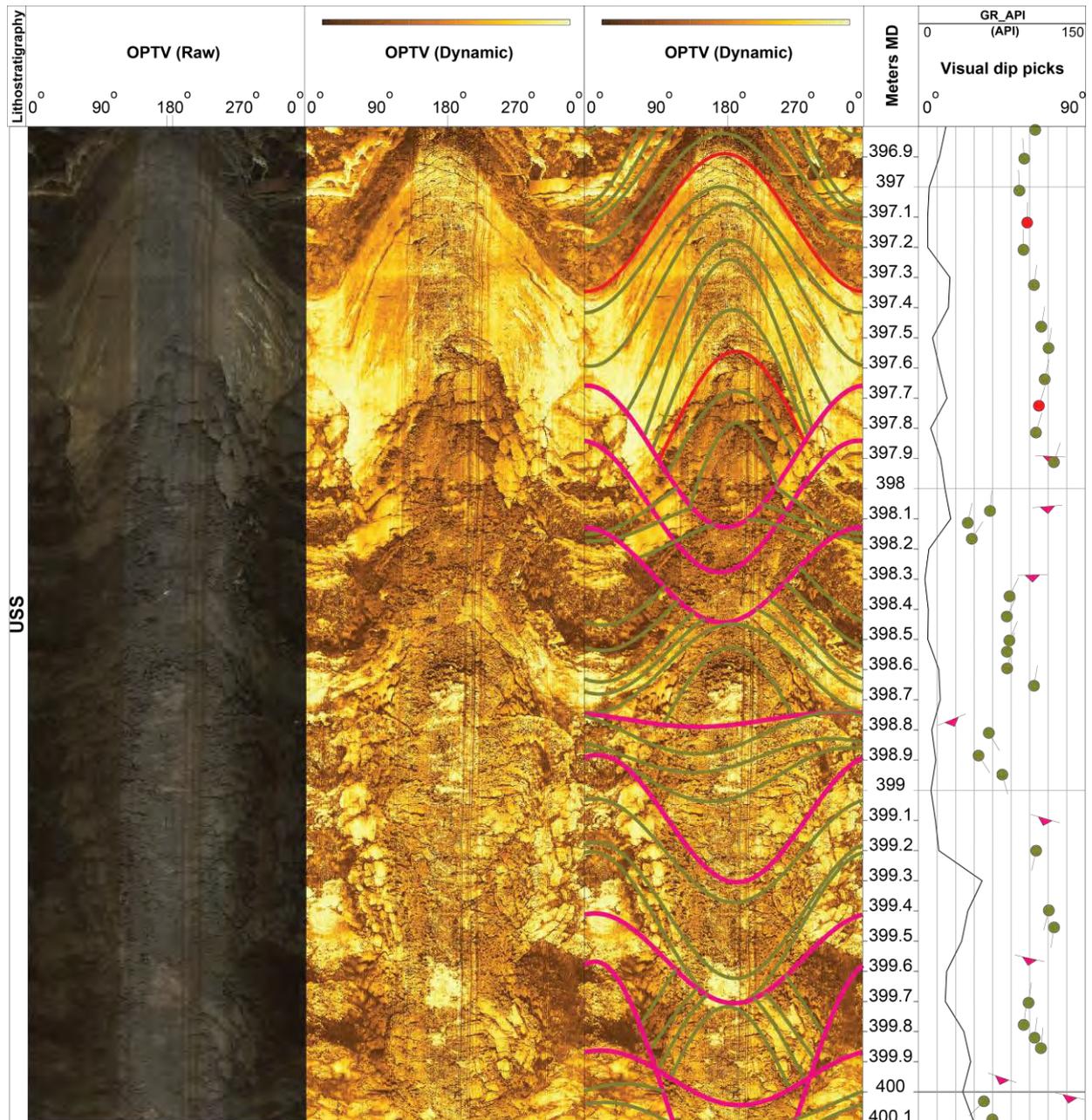


Abb. 72: Beispiel einer komplexen Scherzone in S 147
Siehe Text für Diskussion und Beschrieb.

Well: S 147
N = 14

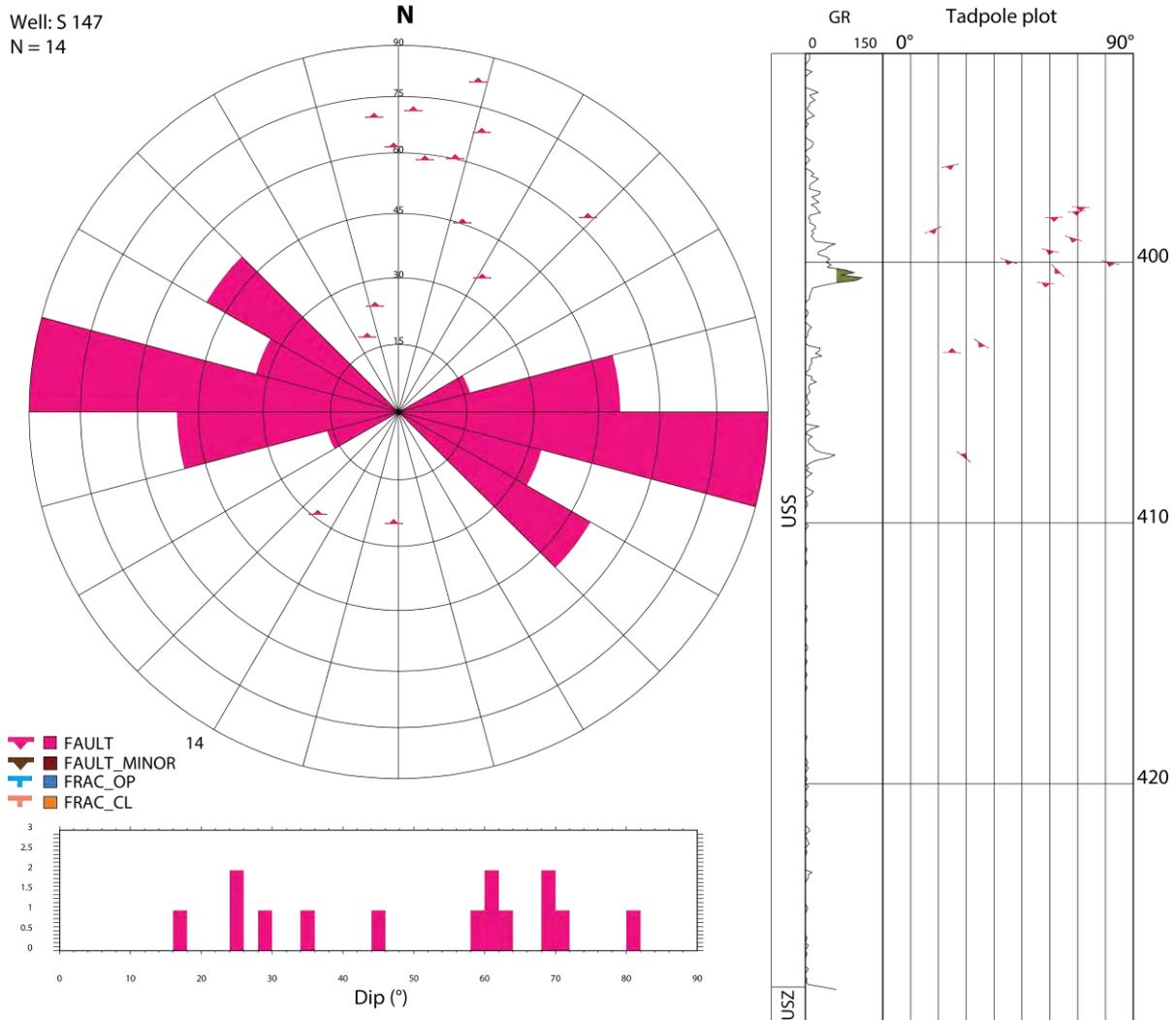


Abb. 73: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 147

Tabelle 17: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 147

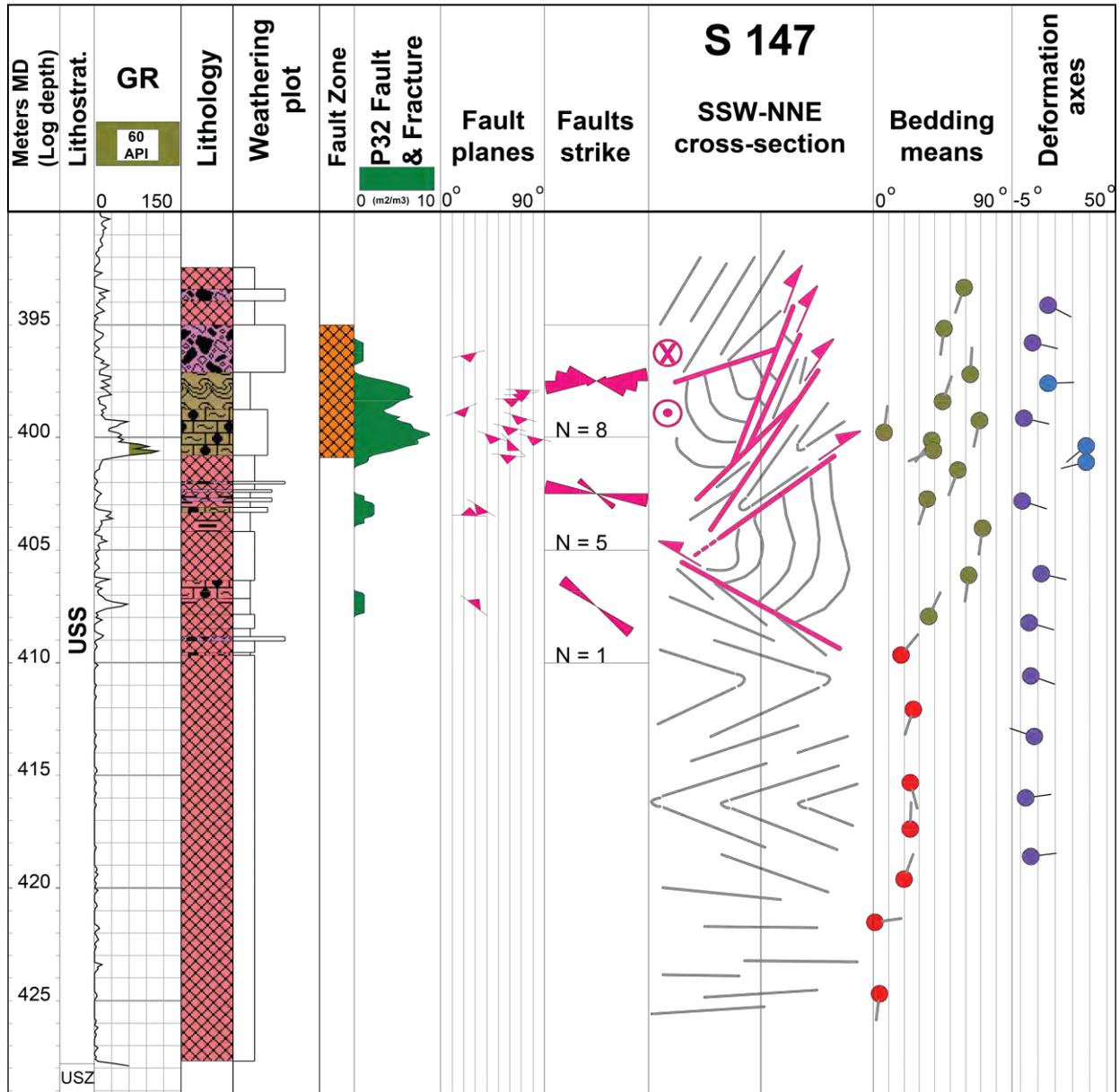
Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S 147	372.51	372.58	0.07	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	379.25	379.32	0.07	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	381.00	381.13	0.13	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	395.00	400.90	5.90	Prominente W-E orientierte Störungszone mit steilem bis sub-vertikalem Schichteinfallen (65-75°) in USS; zahlreiche, abrupte Änderungen im Schichteinfallen an klaren und scharfen Störungsflächen. Potenzielle tektonische Brekzie sowie extrem spröde / duktil deformierter Tonstein zw. 397.70-400.90 m

Zusammenfassung S 147

Alle Resultate der Log Analyse der Bohrung S 147 sind in Abb. 74 zusammengefasst. Das Salzlager ist im unteren Bereich (409.00 – 427.00 m) strukturlos mit undeformierten (sub-horizontal) Schichteinfallen unterhalb 421.00 m. Jedoch zwischen 409.00 – 421.00 m spiegeln die Salzsichten die Geometrie einer WNW-OSO orientierten, verkippten Faltenstruktur mit 10° bis 45° ~N und ~S einfallenden Schenkel wieder. Eine prominente, 5.90 m mächtige und W-O orientierte und S-einfallende Störungszone wurde zwischen 395.00 – 400.90 m durchteuft. Diese stellt eine komplex deformierte (verfaltet und verschuppt) und brekzierte Verwerfungszone mit hoher Strukturichte ($P32 = 8.76 \text{ m}^2/\text{m}^3$) dar.

Alle interpretierten Störungen sind verheilt und konzentrieren sich fast ausschließlich innerhalb der o.g. Scherzone und schneiden üblicherweise die Schichtflächen ab. Sie streichen (sub-)parallel (WNW-OSO) zu Deformationsachsen und stellen syn-kinematische, kompressive Auf- oder Überschiebungen dar.

Das **Salzlager** unterhalb 409.68 m bis Top USZ besteht aus reinem Halit, ist undeformiert und Strukturlos.



Scale 1:300

Projected relative drift from UTM in direction 120°



Abb. 74: Übersichtsprofil der S 147 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.8 S 148

In den analysierten Intervallen (194.50 – 212.00 m sowie 389.00 – 442.00 m) konnten insgesamt 311 geologische Flächen auf den OPTV Bohrlochwandabbildungen manuell determiniert werden. Das obere Intervall umfasst die Bänkerjoch Formation, während von 389.00 – 442.00 m ausschließlich die Unteren Salzschiechten geloggt wurden.

Aus Konsistenzgründen und aufgrund der Ungewissheit im Bezug auf Tiefen der gelieferten planaren Kernfotos wurde das Top der Unteren Salzschiechten gemäß der Kernfotographie der Schweizer Salinen AG (*S148_SalzKern.pdf*) auf **388.17 m** gesetzt. Folglich wurden die Kernfotos um **-1.48 m** in Tiefe korrigiert (siehe Tabelle 4).

Schichteinfallen

Die Analyse des Schichteinfallens basiert auf 300 manuell gepickten Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 26 repräsentative Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip im unteren Salzlager sind in Stereogrammen (Abb. 75, Abb. 76 und Abb. 77), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 78) und in der Beilage 8 dargestellt. Das kurze Intervall innerhalb der Bänkerjoch Formation wurde aus den o.g. Figuren ausgelassen, kann jedoch im Komposite Profil (Beilage 8) evaluiert werden.

Die Mergel der Bänkerjoch Formation bei 194.50 – 212.00 m fallen mit 1° – 30° in Richtung SW ein. Der Einfallszimut ist sehr stabil, jedoch der Einfallswinkel ändert sich teils abrupt an eindeutigen Störungen bei z.B. 202.25 m und 206.45 m (Beilage 8).

Die Unteren Salzschiechten beginnen an der Basis (428.00 – 441.70 m) mit flachem bis steilen (8° – 45°) Struktur dip. Der Dip Azimut ändert sich in dieser Zone graduell von NNE an der Basis, über NE bis ENE zwischen 434.00 – 440.00 m auf SE und S zwischen 428.00 – 434.00 m. Im Kontrast, oberhalb 428.00 m dominieren S bis SSW Einfallrichtungen mit jedoch äußerst variablen (10° – 85°) Dip Magnituden. Die zahlreichen Änderungen im Schichteinfallen in dieser Zone haben zum Teil einen graduellen aber auch einen sprunghaften Charakter. Die Letzteren korrelieren mit klaren (20° – 85°) ~S- bis N-einfallenden Störungen bei z.B. 402.56 m, 414.47 m und 417.00 m (Beilage 8).

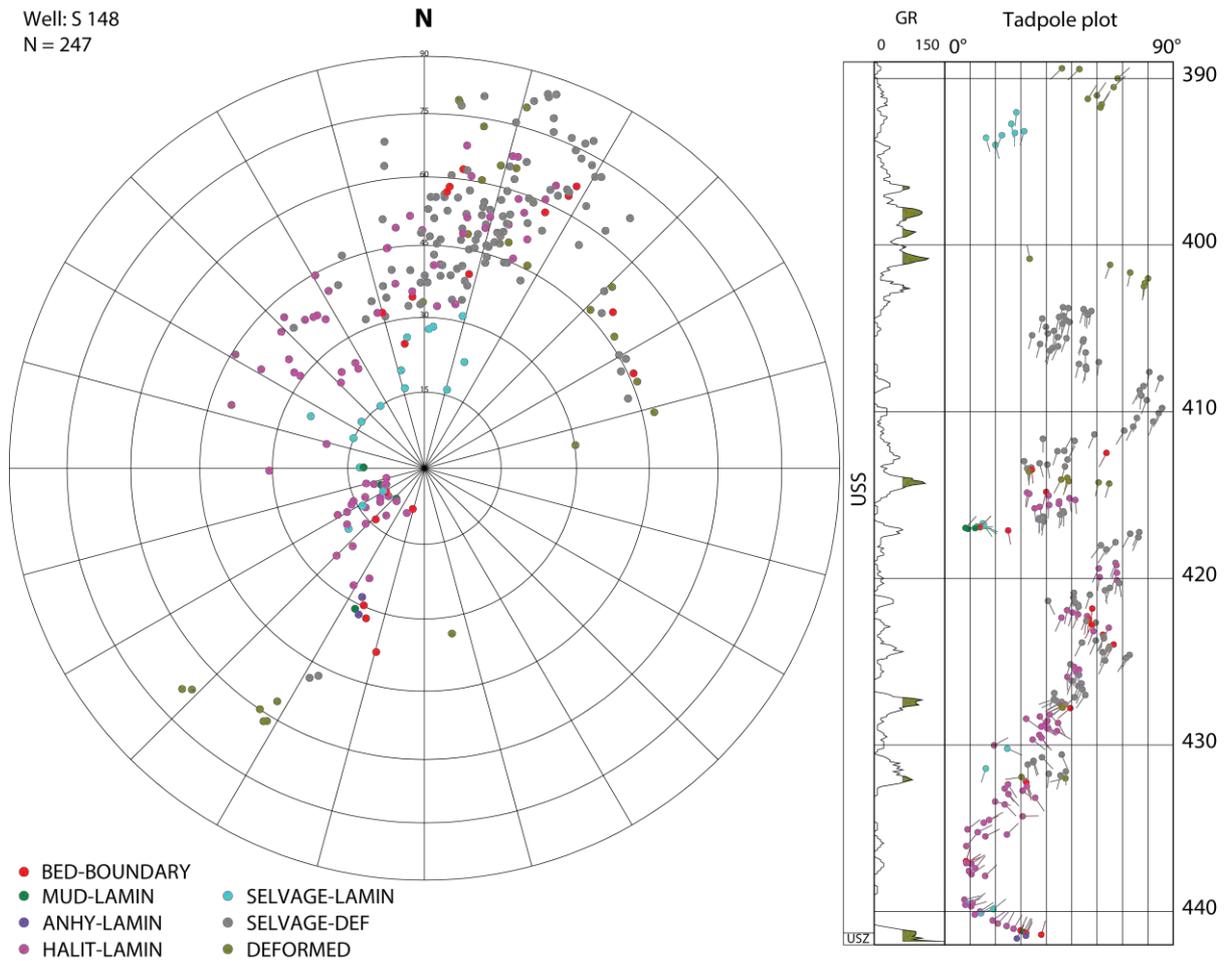


Abb. 75: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfällen in S 148

Well: S 148
N = 26

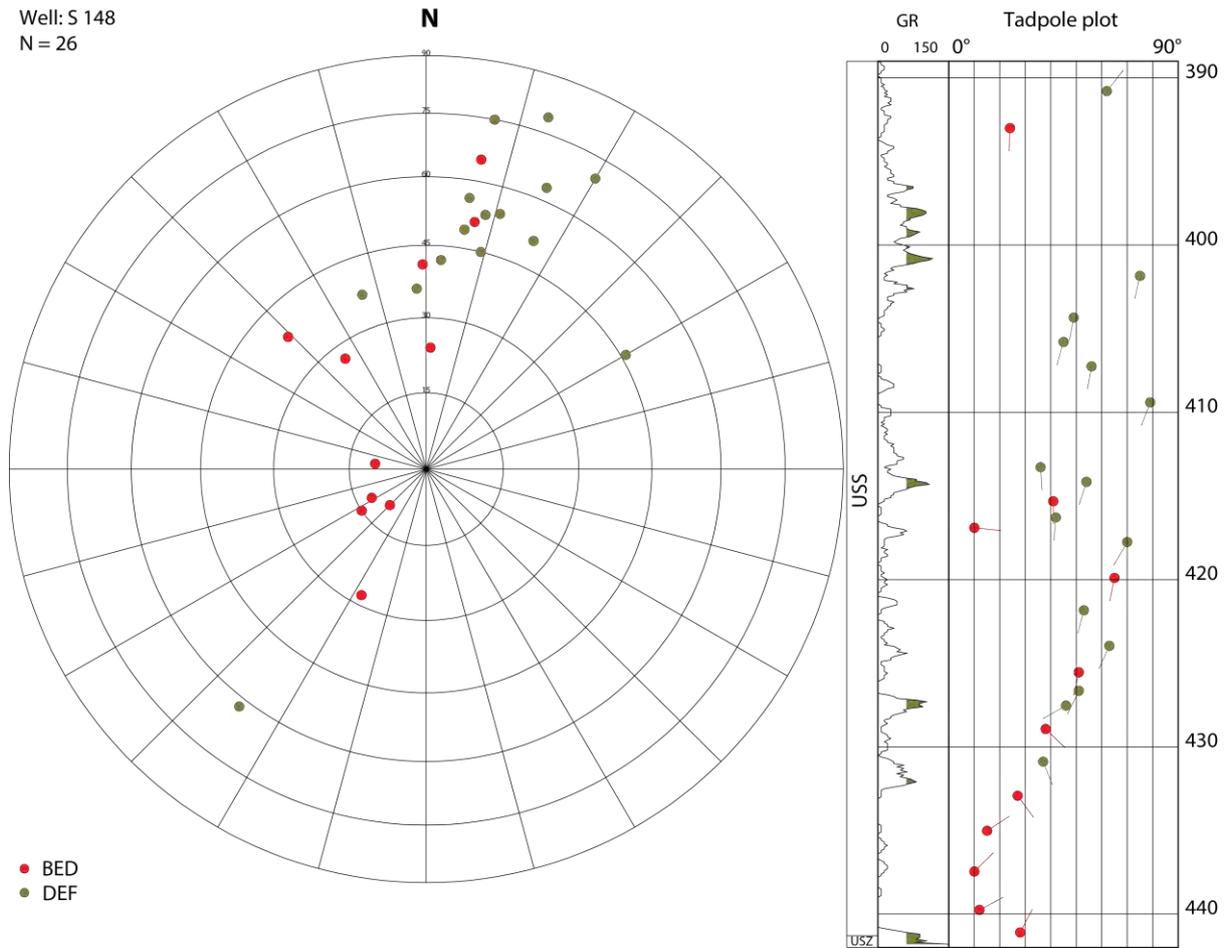


Abb. 76: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 148

Well: S 148
N = 247

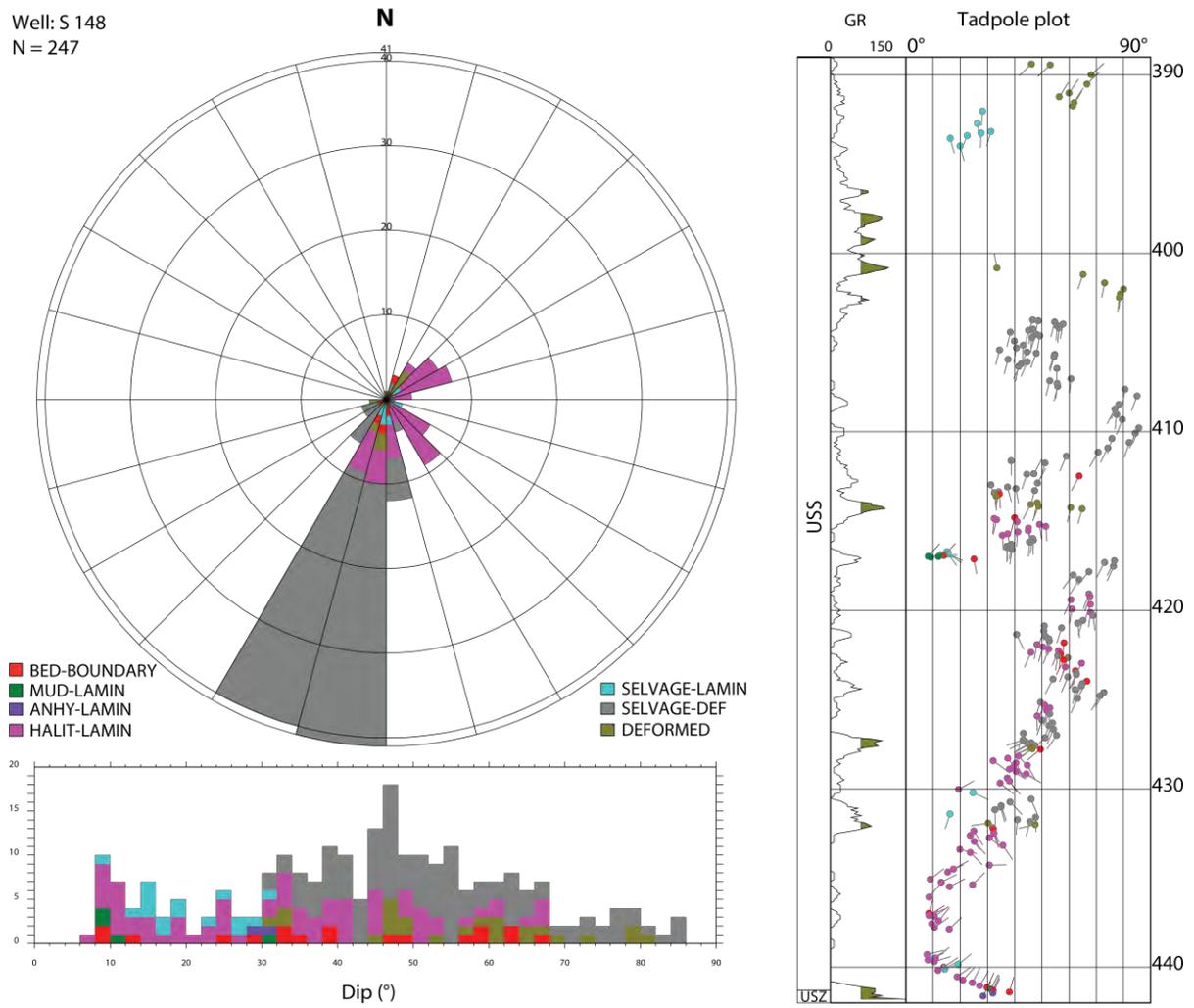


Abb. 77: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 148

Vector azimuth plot
 Well: S 148 (Grosszinggibrunn 2)
 Displayed dips (n = 247)

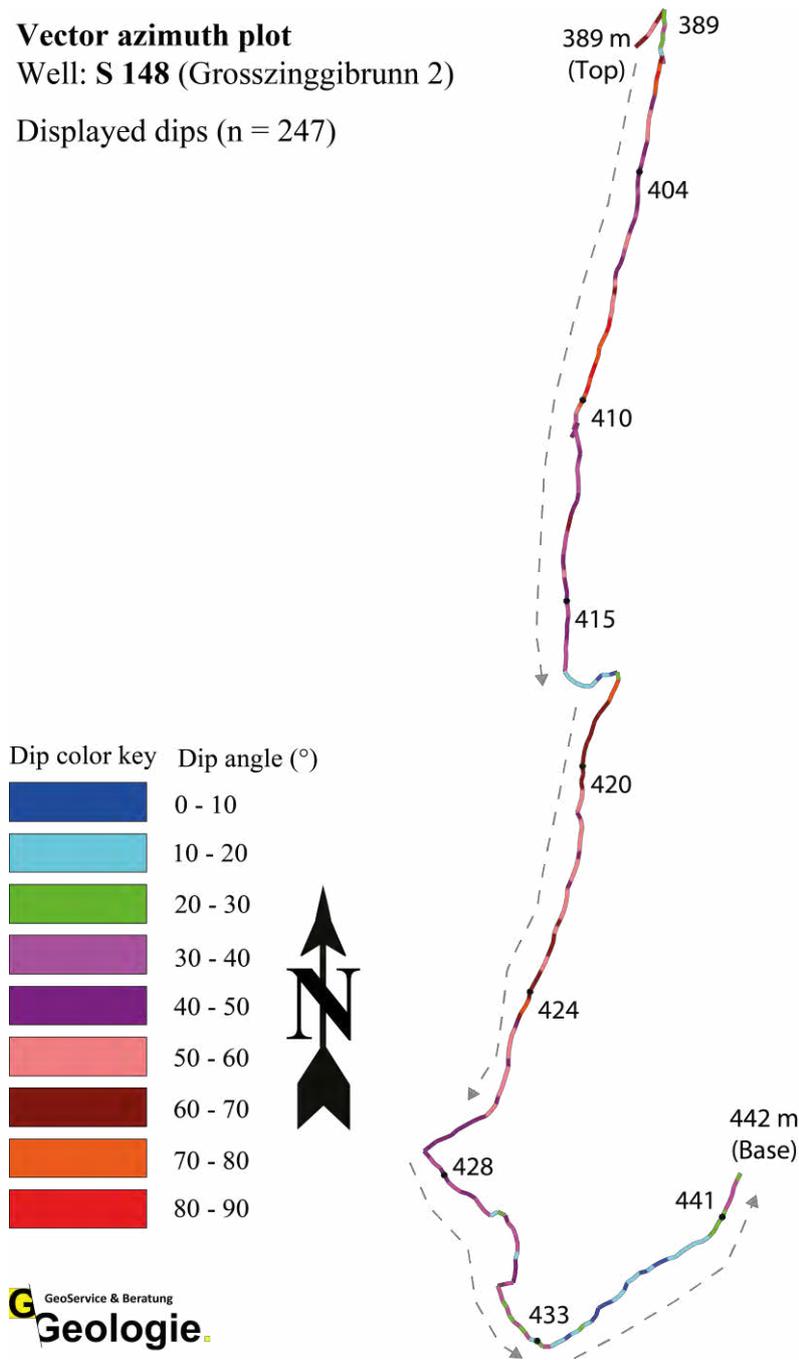


Abb. 78: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfällen der S 148

Deformationsachsen

In S 148 wurden insgesamt 12 Deformationsachsen bestimmt (Abb. 80 und Tabelle 1). Ein Beispiel für die Bestimmung einer tektonischen Deformationsachse (TEC) im Hangenden (Schleppung) einer potenziellen Abschiebung mit Dip-Slip Versatz bei 412.05 m wird in Abb. 79 präsentiert. Deformationsachsen wurden im gesamten Profil beobachtet (Beilage 8) und weisen eine konsistente WNW-OSO Orientierung mit vorwiegend flachen bis geneigten ($5^\circ - 30^\circ$) Abtauchwinkeln auf.

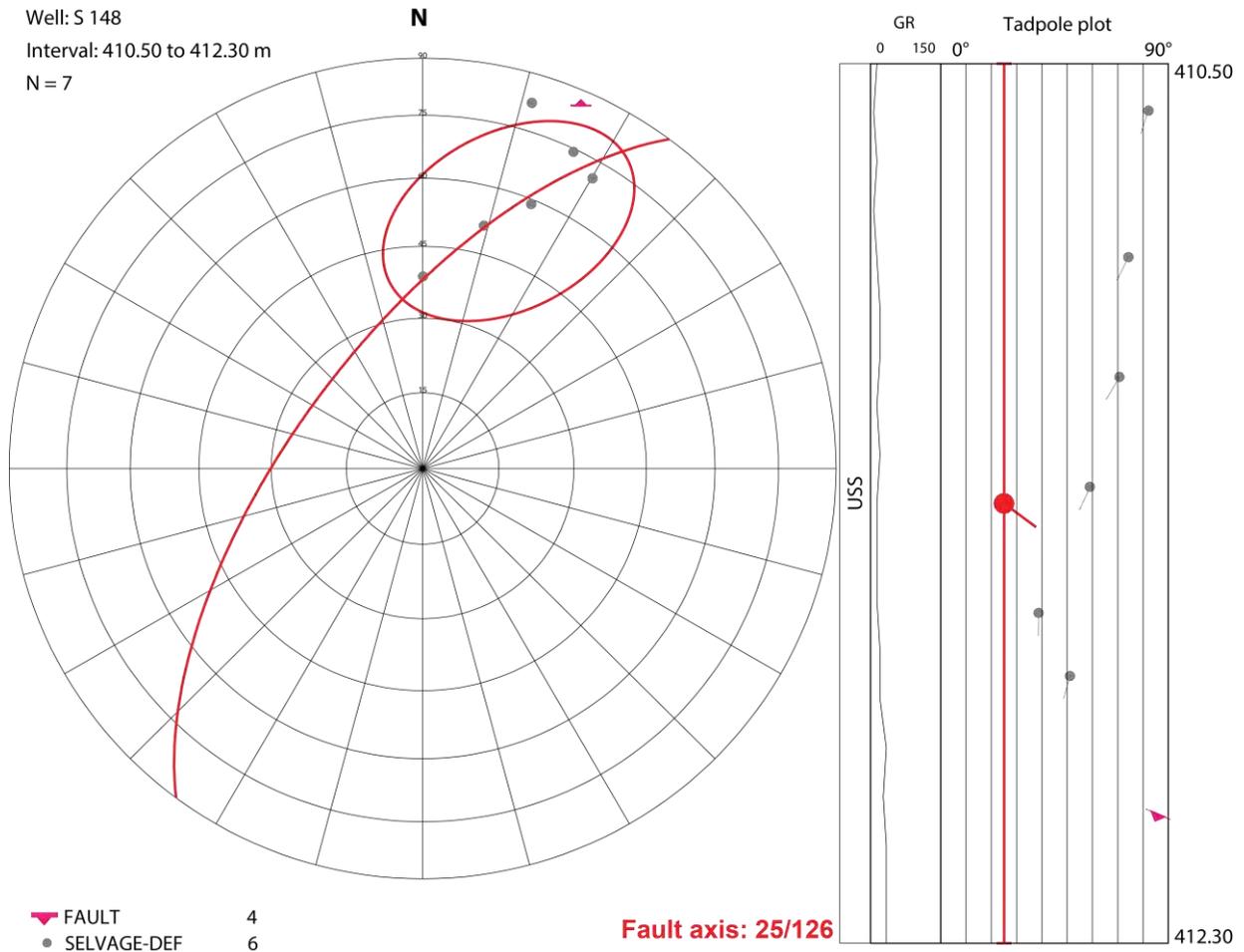


Abb. 79: Berechnung einer tektonischen Deformationsachse (TEC) im Hangenden der Abschiebung bei 412.05 m

Diese Störung im OPTV Bohrlöchllochbild wird in Abb. 83 visualisiert. Der gemittelte PI-Kreis für die Definition der Deformationsachse ist rot dargestellt.

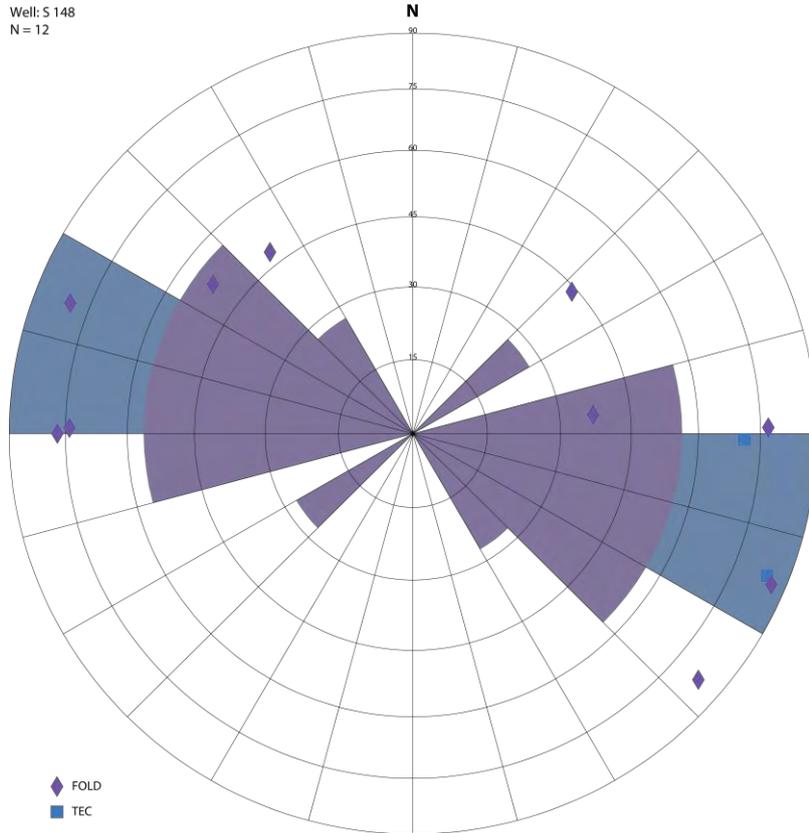


Abb. 80: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 148

Tabelle 18: Orientierung von Deformationsachsen in S 148

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
201.10	204.00	06	292	12	TEC	Achse spiegelt mögliche Schleppung der Schichtflächen entlang der Störung bei 202.25 m wieder. Dip-slip Versatz (Achse ist parallel zum Streichen der Störung).
204.30	207.50	04	293	10	FOLD	Monoklinale
389.35	391.80	07	311	8	FOLD	
403.70	407.50	13	269	29	FOLD	Monoklinale
407.00	412.60	10	111	22	FOLD	
413.95	414.40	19	271	5	TEC	Schleppungsachse im Hangenden der Störung bei 414.50 m. Dip-slip Versatz (Achse ist parallel zum Streichen der Störung).
417.20	419.45	53	264	9	FOLD	Monoklinale
421.52	425.00	42	142	26	FOLD	Monoklinale
425.10	427.90	46	228	22	FOLD	Ca. 75° Streuung in Azimut - Achse beschreibt das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte
428.10	429.80	38	127	12	FOLD	Ca. 30° Streuung in Azimut - Achse beschreibt das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte
432.15	435.60	16	091	17	FOLD	Ca. 90° Streuung in Azimut - Achse beschreibt das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte mit flachem Schichteinfallen (<30°)
439.80	441.70	13	090	14	FOLD	Ca. 90° Streuung in Azimut - Achse beschreibt das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte mit flachem Schichteinfallen (<30°)

Störungen und Klüfte

Insgesamt wurden im Salzlager 7 tektonische Brüche identifiziert worden (FAULT = 6 und FAULT_MINOR = 1). In der Bänkerjoch Formation vier. Neben der Verfaltung kontrollieren die tektonischen Brüche den Strukturdip deutlich und verursachen abrupte Änderung im Schichteinfallen bei z.B. 402.56 m, 414.47 m und 417.00 m (Beilage 8). Beispiele für diskrete Störungen sind in Abb. 81, Abb. 82 und Abb. 83 präsentiert. Alle identifizierten **tektonischen Brüche sind mineralisiert** (Abb. 81). Manche zeigen klare Schichtversätze (bis max. 15 cm) oder Dip Muster, welche auf kompressive Auf- und Überschiebungen hindeuten (Abb. 81 und Abb. 83). Wiederum andere sind mit kleinräumigen, lokalen Störungsbrekzien assoziiert (Abb. 82).

Im Salzlager wurden keine eindeutigen Scherzonen beobachtet. Im Kontrast im Hangenden wurden zahlreiche teils bis völlig zerfallene und inkohäsive Bohrkern mit potenziellen Strömungen und Rutschharnische an den Bruchflächen interpretiert. Diese deuten auf eine starke tektonische Überprägung hin und stellen potenzielle (bis max. 1 m mächtige) Störzonen dar. Diese sind in der Tabelle 19 aufgelistet, in Beilage 8 als Zonen und in Abb. 84 in Detail dargestellt.

Die Orientierung und Verteilung der interpretierten Störungen sind in Abb. 85 präsentiert. Diese sind durch einen gut definierten WNW-OSO Cluster mit vorwiegend S- bis SSW-einfallenden Flächen repräsentiert. Jedoch eine N-S streichende Störung wurden bei 432.08 m identifiziert (Abb. 82). Die Einfallswinkel variieren stark zwischen 20° - 85°. Die Störungen kommen vermehrt im deformierten Salzlagerintervall zwischen 402.00 – 417.00 m vor.

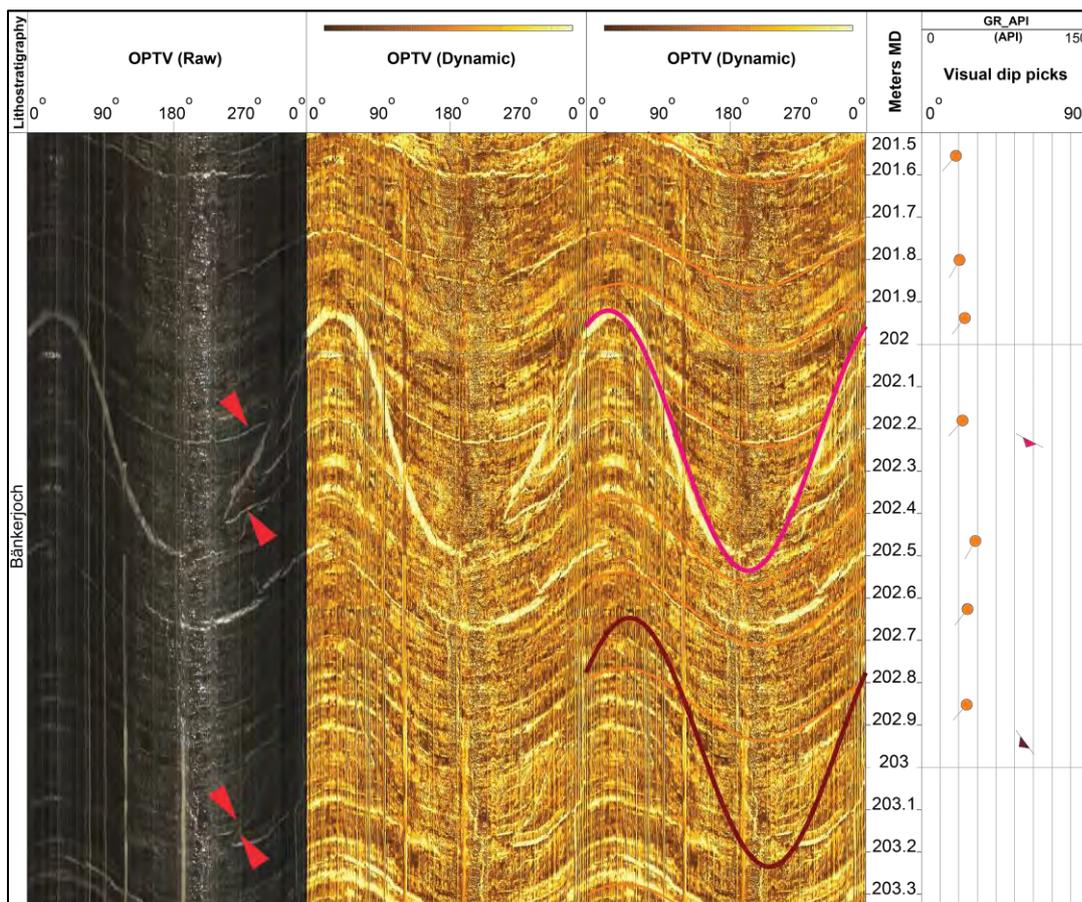


Abb. 81: Mineralisierte Störung in der Bänkerjoch Fm bei 202.25 m (S 148)

Die weisse Füllung der Störung bei 202.25 m ist wahrscheinlich ein Anhydrit. Die Schichtversätze entlang der beiden SW-einfallenden Aufschiebungen betragen max. 15 cm und sind mit roten Pfeilen angedeutet

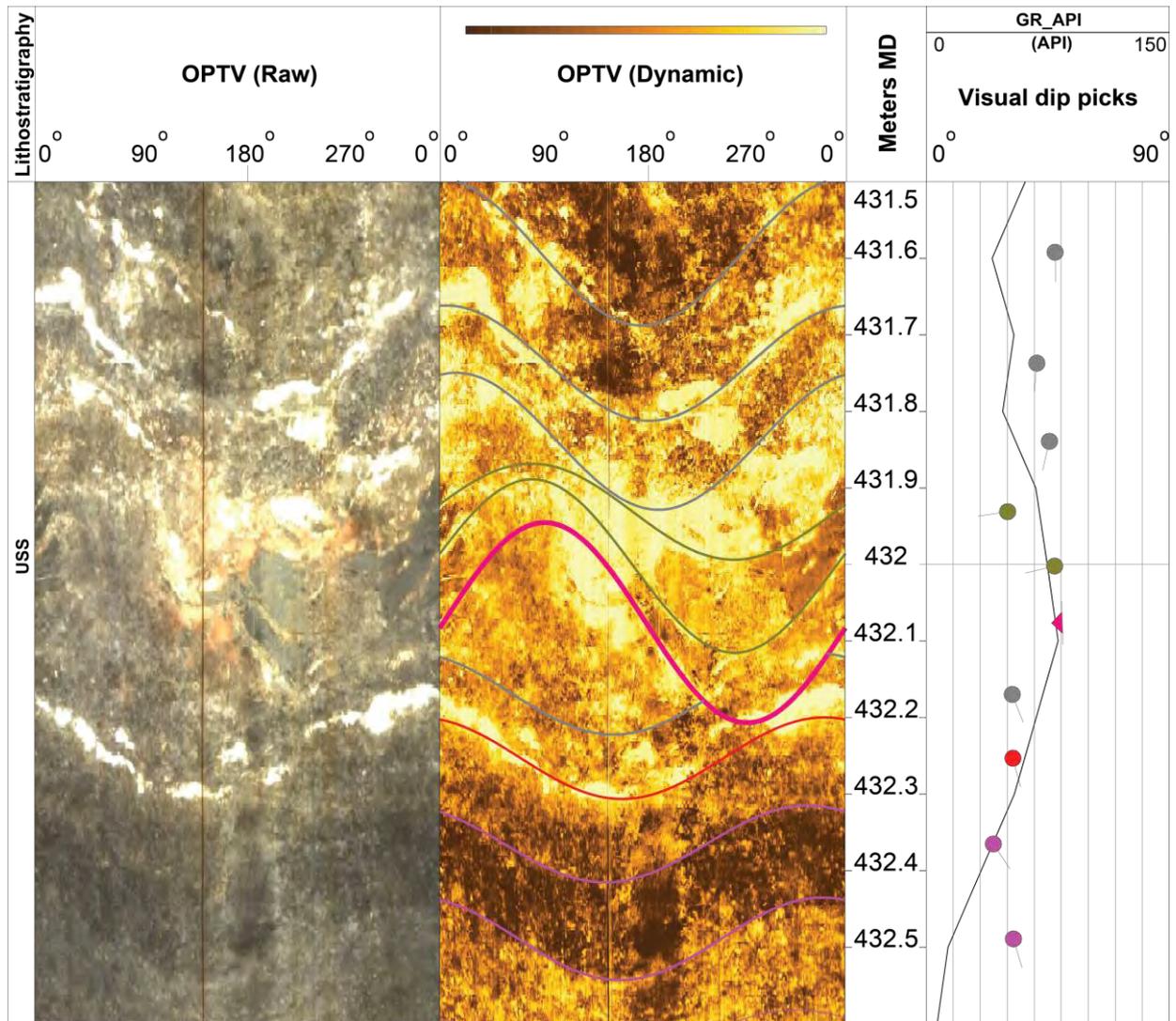


Abb. 82: Beispiel für eine N-S streichende Störung in Unteren Salzschichten bei 432.08 m (S 148)
 Diese verursacht eine Änderung im Einfallswinkel und ist mit potenzieller Störungsbrekzie zwischen 432.00 – 432.20 m assoziiert.

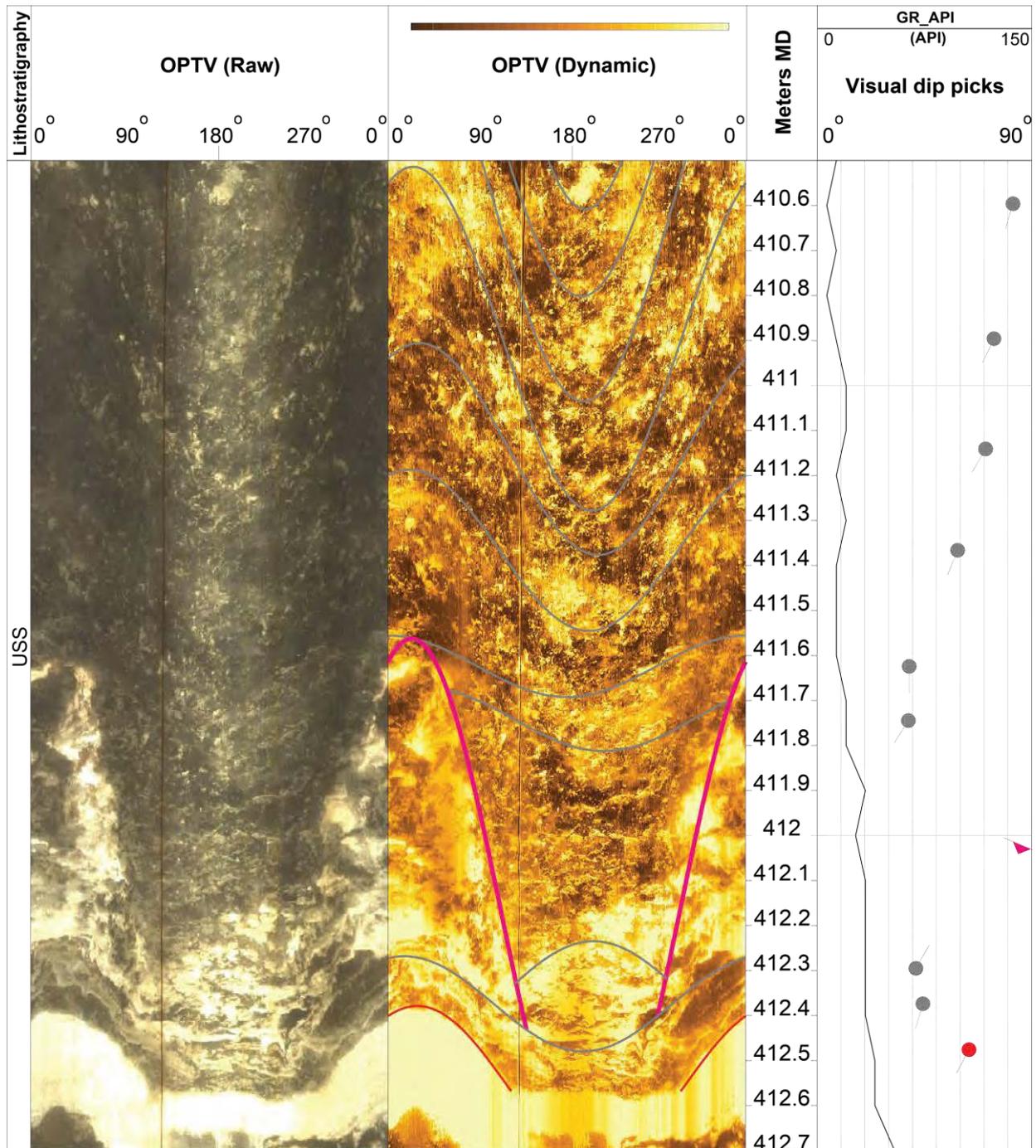


Abb. 83: Deformiertes Bedding durch Schleppung (fault drag) bei 412.05 m (S 148)

Die Schleppung ist durch eine graduelle Abnahme des Einfallswinkels im Hangenden der Störung (Abschiebung?) von 83° bei 410.60 m auf 38° bei 411.75 m charakterisiert. Die dazugehörige Deformationsachse ist in Abb. 79 präsentiert.

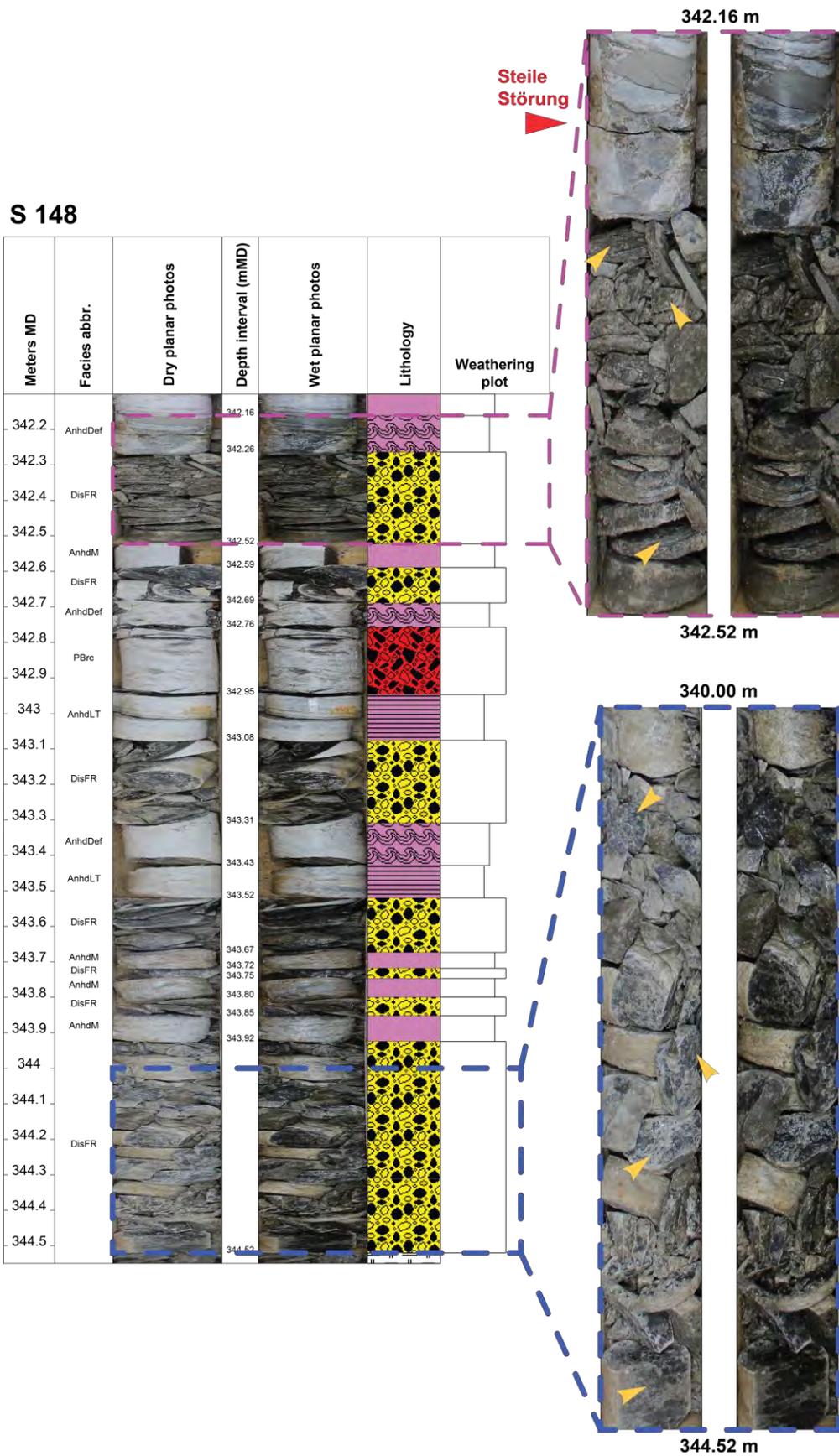


Abb. 84: Potentielle Störzonen (gelb) im gekernten Intervall der Ob. Anhydritschichten bei 342.20 – 344.50 m. Mögliche Rutschharnische auf Kernbruchstücken sind mit gelben Pfeilen markiert

Well: S 148
N = 7

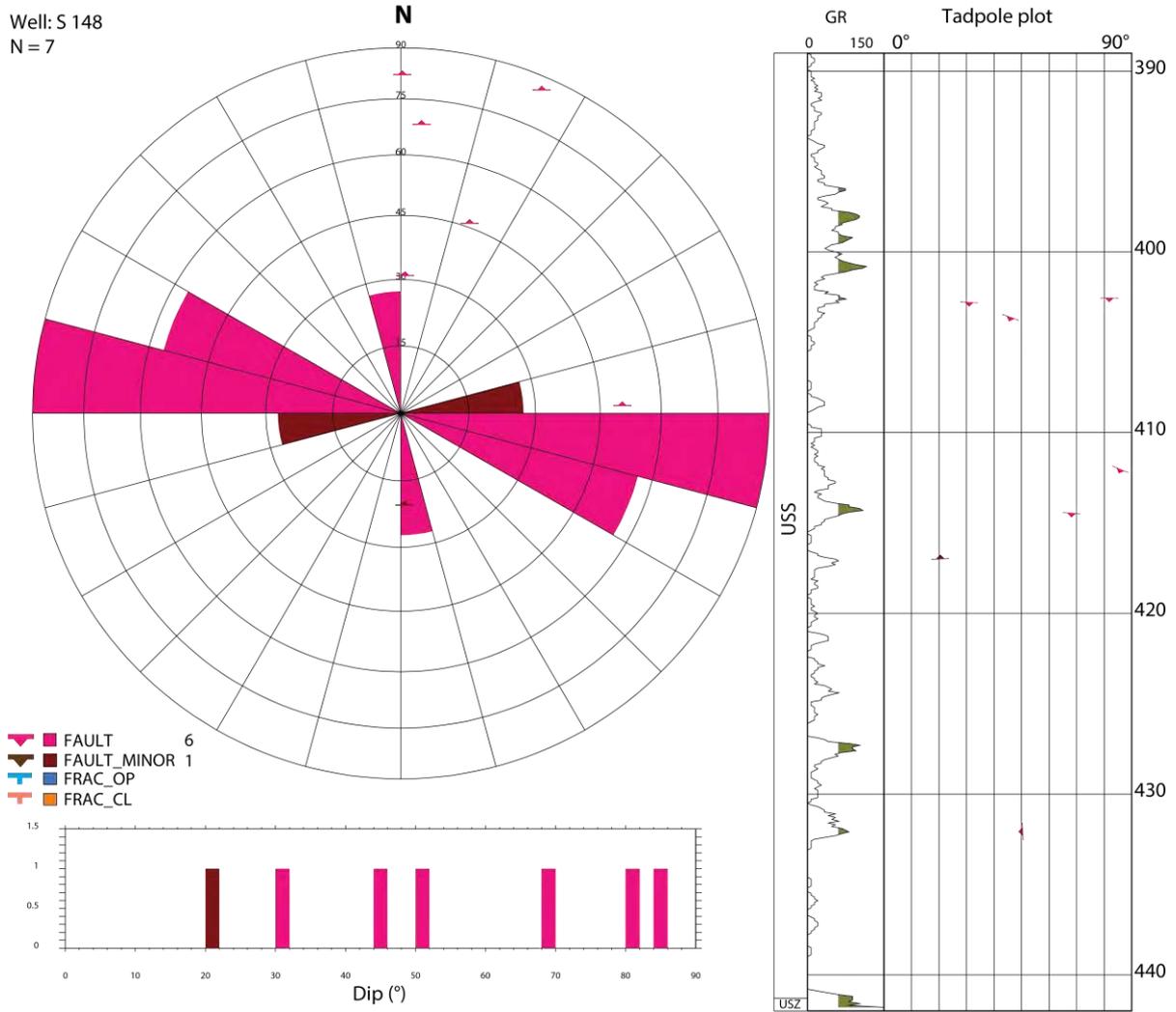


Abb. 85: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 148

Tabelle 19: Evaluation der interpretierten Stör-/Scherzonen in S 148

Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S 148	340.33	340.37	0.04	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	340.71	341.44	0.73	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	341.62	341.84	0.22	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	342.59	342.69	0.10	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	343.08	343.31	0.23	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	343.52	343.67	0.15	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	343.72	343.75	0.03	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	343.80	343.85	0.05	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	343.92	344.52	0.60	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	344.88	345.35	0.47	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	345.98	346.23	0.25	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	347.28	347.45	0.17	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	347.55	347.69	0.14	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	347.83	347.98	0.15	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	348.91	348.99	0.08	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	349.13	349.30	0.17	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	349.37	349.44	0.07	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	351.52	351.87	0.35	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	354.80	354.91	0.11	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	355.61	355.83	0.22	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	357.18	357.22	0.04	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	360.54	360.60	0.06	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	360.93	361.23	0.30	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	363.04	363.11	0.07	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	363.52	363.71	0.19	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	363.75	364.26	0.51	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	364.31	364.41	0.10	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	364.52	365.52	1.00	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	366.21	366.53	0.32	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	366.64	366.78	0.14	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	366.89	366.92	0.03	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	367.00	367.03	0.03	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
	367.75	367.94	0.19	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall
368.22	368.52	0.30	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall	
369.51	369.78	0.27	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall	
370.07	370.11	0.04	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall	
371.38	371.52	0.14	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall	
371.85	372.27	0.42	Potenzielle Störzone im gekernten Intervall	

Zusammenfassung S 148

Alle relevanten Resultate der OPTV Analyse der Bohrung S 148 inklusive einem SSW-NNE geologischen Schnitt sind in Abb. 86 zusammengefasst.

Im Gegensatz zu Nachbarbohrungen wurde in S 148 die Bänkerjoch Formation von 194.50m bis 212.00 m geloggt. Diese zeigt einen sehr stabilen SW Einfallswinkel, jedoch variable Einfallswinkel ($1^\circ - 30^\circ$). Diese ändern sich teils abrupt an eindeutigen Störungen. Die Unteren Salzschieben unterhalb 428.00 m fallen mit $8^\circ - 45^\circ$ ein und zeigen eine graduelle Änderung im Azimut: NNE an der Basis, NE bis ENE zwischen 434.00 – 440.00 m und SE und S zwischen 428.00 – 434.00 m. Im Kontrast, oberhalb 428.00 m dominieren S bis SSW Einfallswinkel mit jedoch variablen ($10^\circ - 85^\circ$) Dip Magnituden. Änderungen im Schichteneinfallen sind hier üblich und haben zum Teil einen graduellen aber auch einen abrupten Charakter. Die letzteren korrelieren mit klaren ($20^\circ - 85^\circ$) ~S- bis N-einfallenden Störungen.

Mit insgesamt 7 tektonischen Brüchen ist die Struktur im Salzlager relativ tief ($P32 = 0.26 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Diese kommen vorwiegend im deformierten Intervall oberhalb 428.00 m vor. Alle identifizierten **tektonischen Brüchen sind mineralisiert**. Manche zeigen klare (im cm-Bereich) kompressive Schichtversätze an Aufschiebungen. Im Deckgebirge des Salzlagers wurden zahlreiche Indikatoren für potentielle (max. 1 m mächtige) Störzonen gefunden, welche auf eine starke tektonische Überprägung hindeuten.

Generell, der interpretierte Dip Muster, die WNW-OSO orientierten Deformationsachsen und die (sub-)parallel streichenden tektonischen Brüchen deuten auf eine Verkippung und Rotation der Schichten in Richtung SW im Zuge einer kompressiven Deformationsphase. Die Kompressionstektonik führte höchstwahrscheinlich zur Ausbildung von Schicht-parallel (dip-slip), syn-kinematischen tektonischen Brüchen.

Das **Salzlager** unterhalb 432.25 m bis Top USZ besteht aus fast reinem Halit, ist undeformiert und Strukturlos.

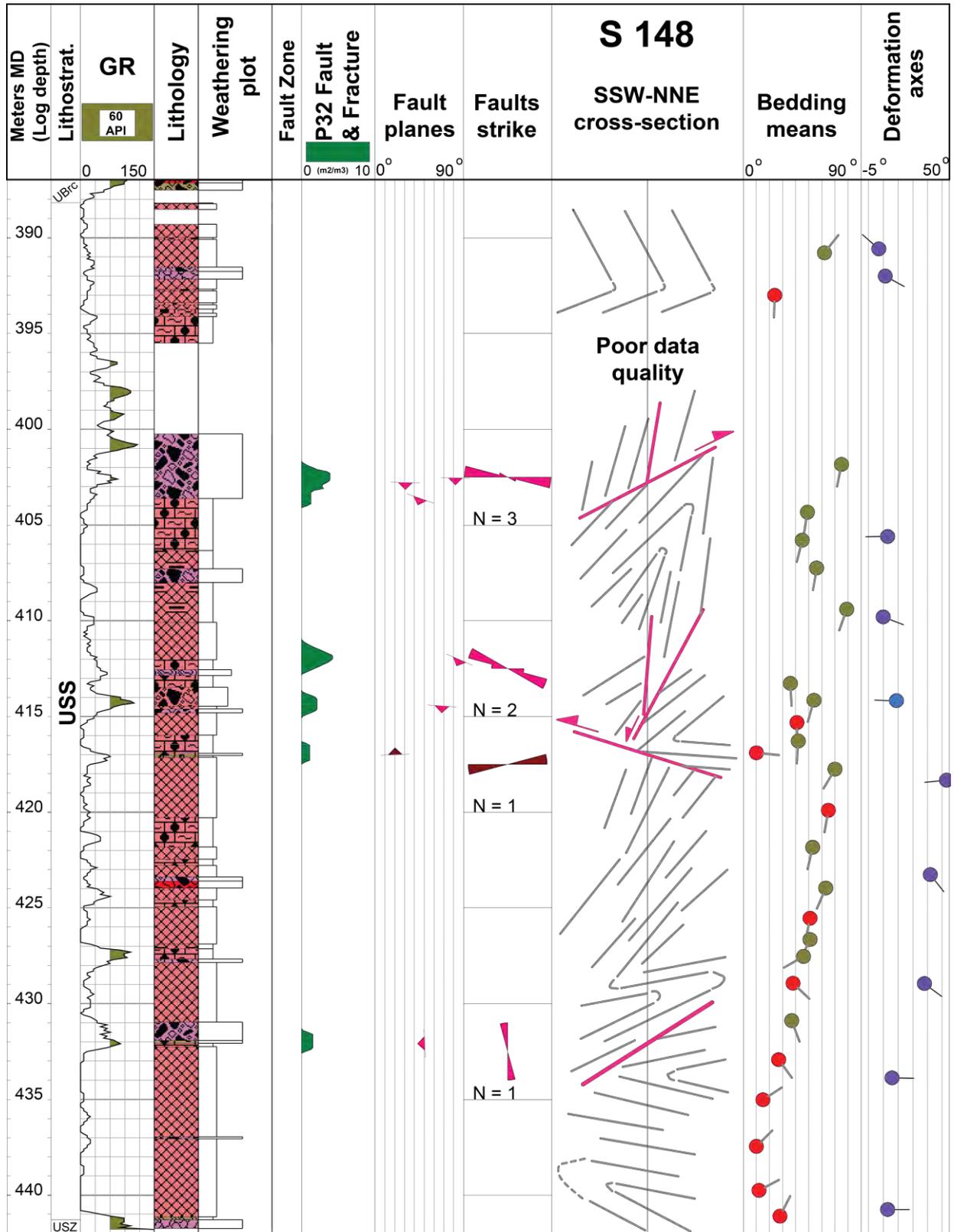


Abb. 86: Übersichtprofil der S 148 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.9 S 149

Im untersuchten OPTV Intervall (366.00 – 418.00 m) wurden insgesamt 333 individuelle, geologische Flächen auf den Bohrlochwandabbildungen erkannt und definiert. Dieses Intervall deckt ausschließlich die Unteren Salzschichten ab.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 326 manuell gepickten Schichtflächen. Darauf basierend konnten insgesamt 30 Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 149 sind in Stereogrammen (Abb. 87, Abb. 88 und Abb. 89), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 90) und in der Beilage 9 visualisiert.

Analog zur Nachbarbohrung S 148 (Kap. 3.1.8) ist der Struktur dip in S 149 durch einen konsistenten SSW bis S Azimut charakterisiert. Jedoch die Dip Magnituden sind variabel und streuen von sub-horizontal bis sub-vertical ($1^\circ - 80^\circ$). Diese Änderungen im Schichteinfallen haben einerseits einen graduellen oder andererseits einen abrupten Charakter. Diese korrelieren respektive mit duktiler Verfallung oder spröder Tektonik. Prominente Störung-gebunde Änderung in Schichteinfallen kommen innerhalb der beiden Scherzonen bei 384.20 m, 384.85 m und 387.52 m vor. Im Kontrast graduelles Versteilen oder Abflachen der Schichten, welche auf duktile Deformation zurückzuführen sind, wurden eindeutig bei 370.60 – 373.60 m, 379.40 – 380.80 m und 395.60 – 397.60 m identifiziert.

Lediglich unterhalb 412.00 m kann eine Anomalie im Struktur dip mit $1^\circ - 40^\circ$ O- und SO-einfallenden Salzschichten festgestellt werden.

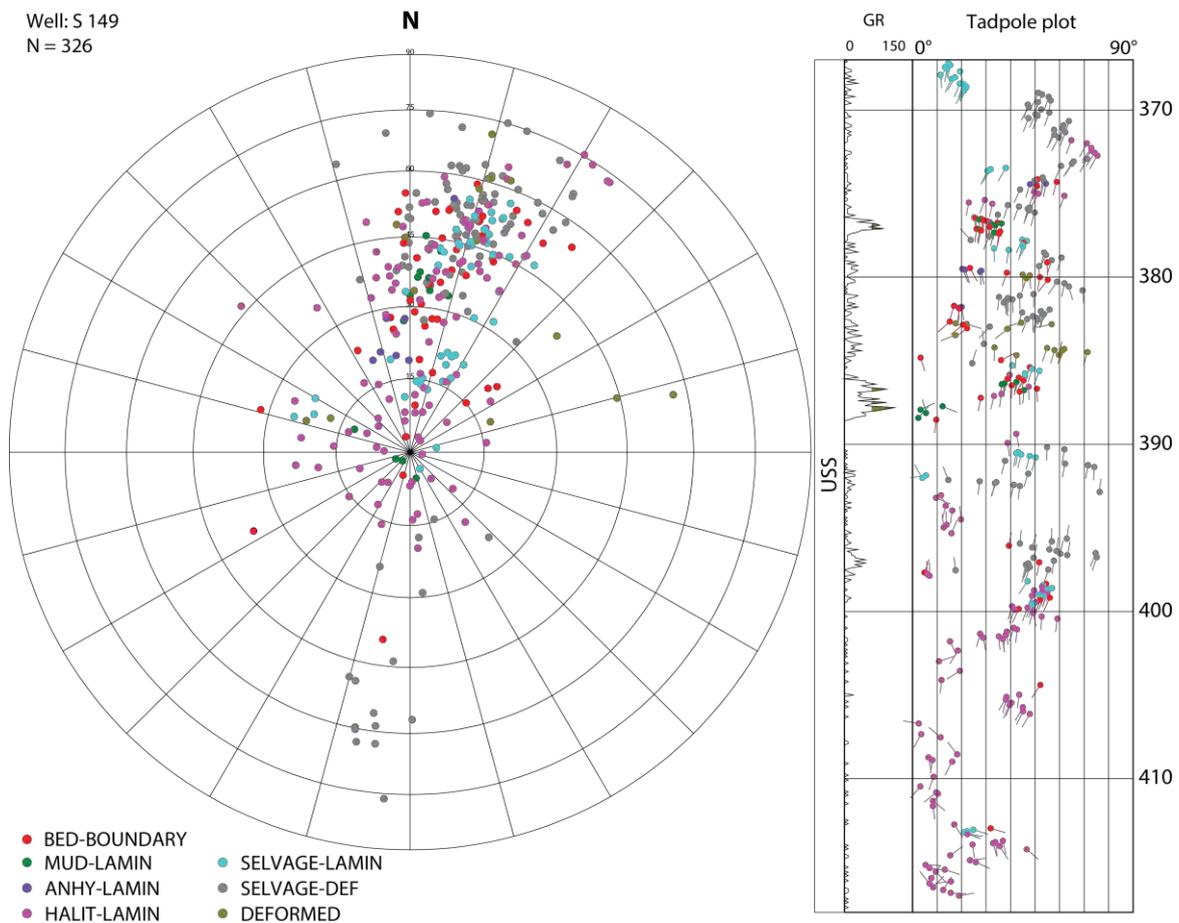


Abb. 87: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfallen in S 149

Well: S 149
N = 30

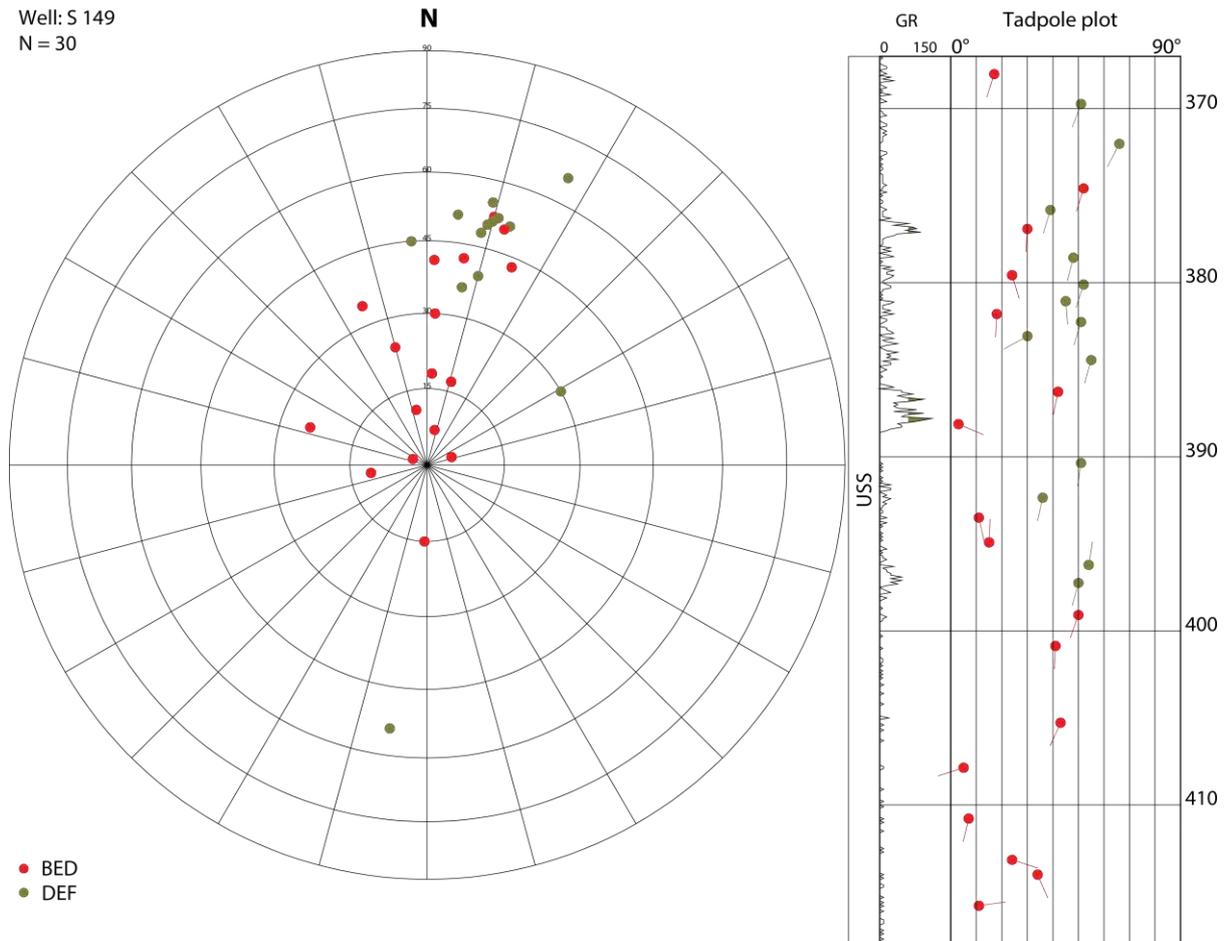


Abb. 88: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 149

Well: S 149
N = 326

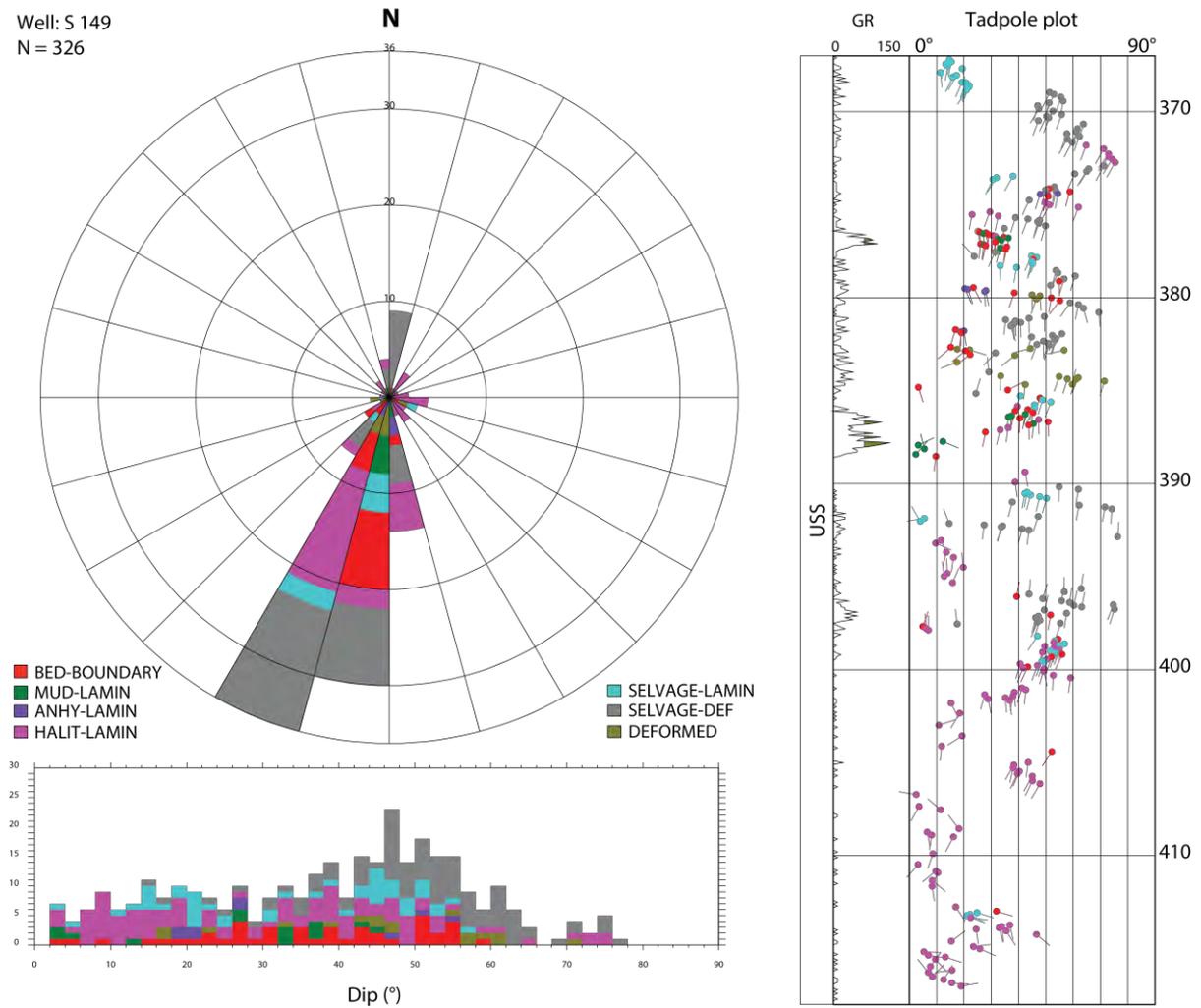


Abb. 89: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 149

Vector azimuth plot
 Well: S 149 (Grosszinggibrunn 2)
 Displayed dips (n =329)

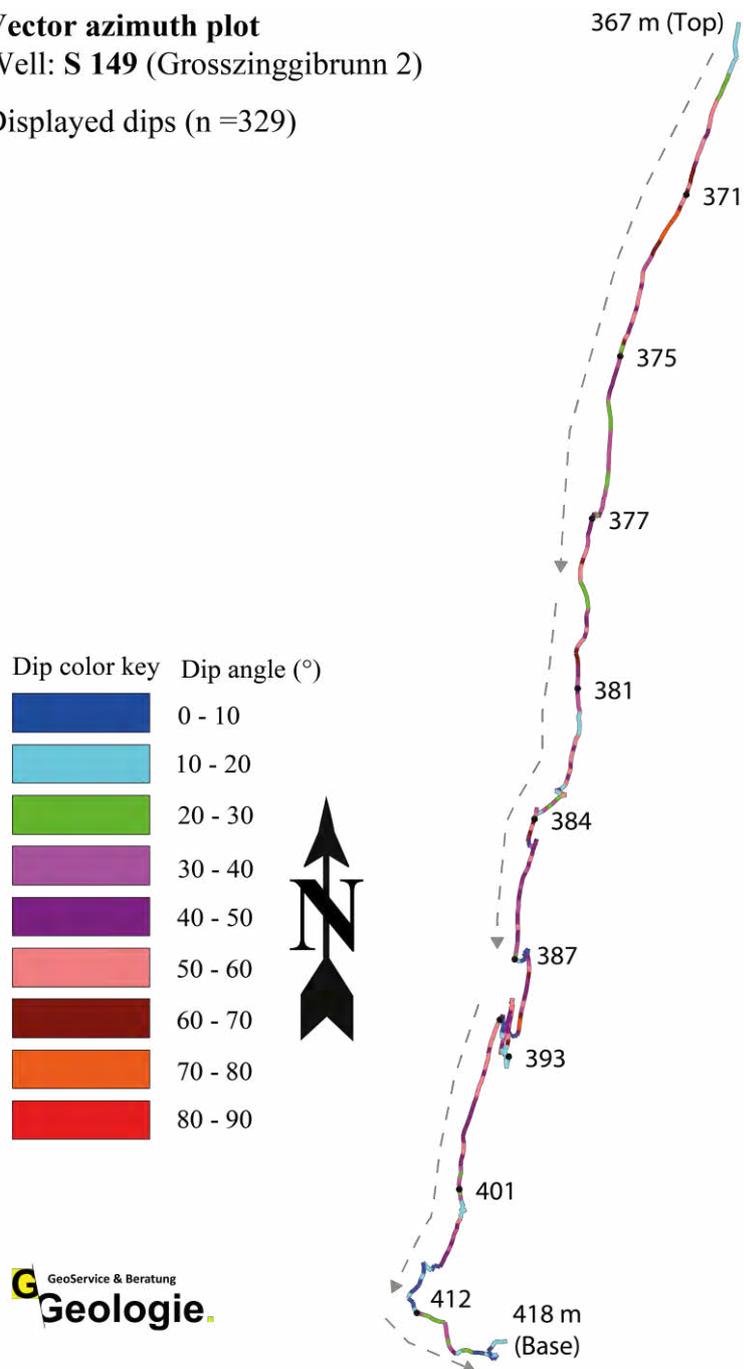


Abb. 90: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfällen der S 149

Deformationsachsen

Insgesamt konnten 15 Faltenachsen bestimmt werden (Abb. 91 und Tabelle 20). Diese zeigen stabile WNW-OSO Orientierung mit flachen bis geneigten ($8^{\circ} - 30^{\circ}$) Abtauchwinkel.

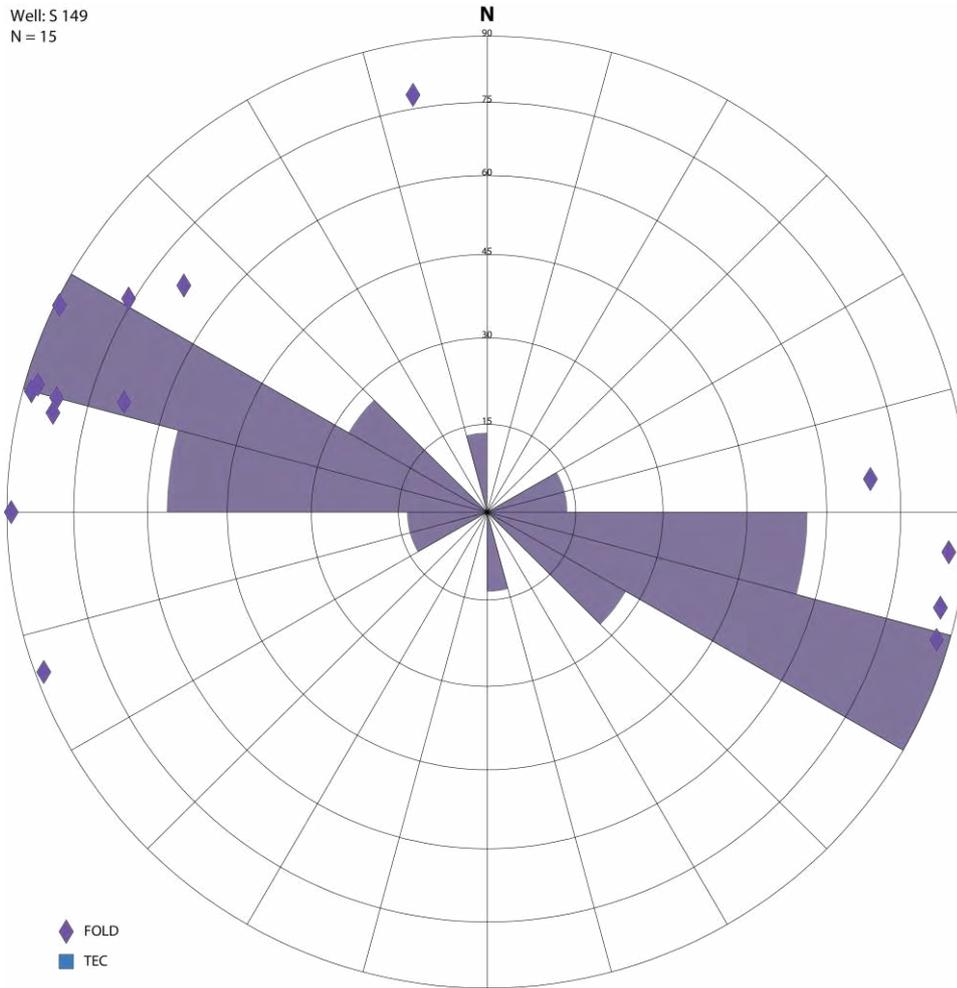


Abb. 91: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 149

Tabelle 20: Orientierung von Deformationsachsen in S 149

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen & Abtauchazimut [°]		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]					
368.00	371.70	03	286	27	FOLD	
373.43	374.80	21	265	13	FOLD	
375.30	377.60	14	121	29	FOLD	
377.52	379.38	03	106	14	FOLD	
379.43	380.40	22	127	13	FOLD	
381.00	382.60	08	105	20	FOLD	
382.65	383.15	12	170	9	FOLD	
384.20	384.70	02	105	8	FOLD	
389.35	392.90	04	275	23	FOLD	
393.00	395.40	01	090	8	FOLD	Messung basiert auf relativ flachen (<20°) Schichten.
395.60	397.53	04	282	19	FOLD	
400.25	401.85	08	103	11	FOLD	Monoklinale
402.30	407.40	01	116	15	FOLD	Monoklinale
412.70	415.10	22	107	15	FOLD	Monoklinale
414.80	417.10	02	070	13	FOLD	Messung basiert auf relativ flachen (<25°) Schichten.

Störungen und Klüfte

Insgesamt konnten im Salzlager 6 tektonische Störungen (FAULT) sowie eine mineralisierte Kluft (FRAC_CL) identifiziert werden. Somit ist die Strukturdichte (P32) mit $0.13 \text{ m}^2/\text{m}^3$ relativ tief.

Beispiele für spröde tektonische Brüche sind in Abb. 92, Abb. 93 und Abb. 94 visualisiert. Manche Störungen, die Kluft bei 381.84 m sowie die Zerrklüfte (tension gashes) bei 383.70 m und 384.00 m zeigen deutliche Aperturen (2 – 4 cm), sind aber eindeutig mit dunklem bis rötlichem Salzstein verfüllt. Basierend auf klaren Schichtversätzen (cm-Bereich) repräsentieren die meisten Störungen kompressive Auf- oder Überschiebungen.

Die Störungen und somit eine erhöhte Strukturdichte kommen im überwiegenden Teil in den beiden Scherzonen bei 383.20 – 385.00 m und 387.20 – 388.53 m vor. Diese sind durch ein Zusammenspiel von komplexer spröder und duktiler Deformation charakterisiert und sind kurz in Tabelle 21 beschrieben. Aus kinematischer Sicht besonders interessant ist die Störzone bei 387.20 – 388.53 m (Abb. 92). Diese besteht aus 5 cm bis 10 cm dünnen Tonlagen in Halitmatrix. Die Tonsteinschichten sind einerseits extrem zerklüftet und weisen zahlreiche, senkrecht zu Schichtung stehende Klüfte, welche mit rötlich-gelblichen Salzstein verfüllt sind. Andererseits sind die Tonsteine zusammengestaucht und verfaltet. Folglich lassen sich mindestens zwei Deformationsphasen in folgender Reihenfolge ableiten (siehe Kap. 5):

- **Extension** und Ausbildung normal zur Schichtung stehender Klüfte mit gewissen Aperturen
- **Kompression** und duktile Verformung

Die Orientierung und Verteilung der interpretierten Störungen und Klüfte ist im Stereogramm (Abb. 35) präsentiert. Diese haben eine konsistente WNW-OSO Orientierung, (sub-)parallel zu den Faltenachsen, und repräsentieren wahrscheinlich syn-kinematische Strukturen.

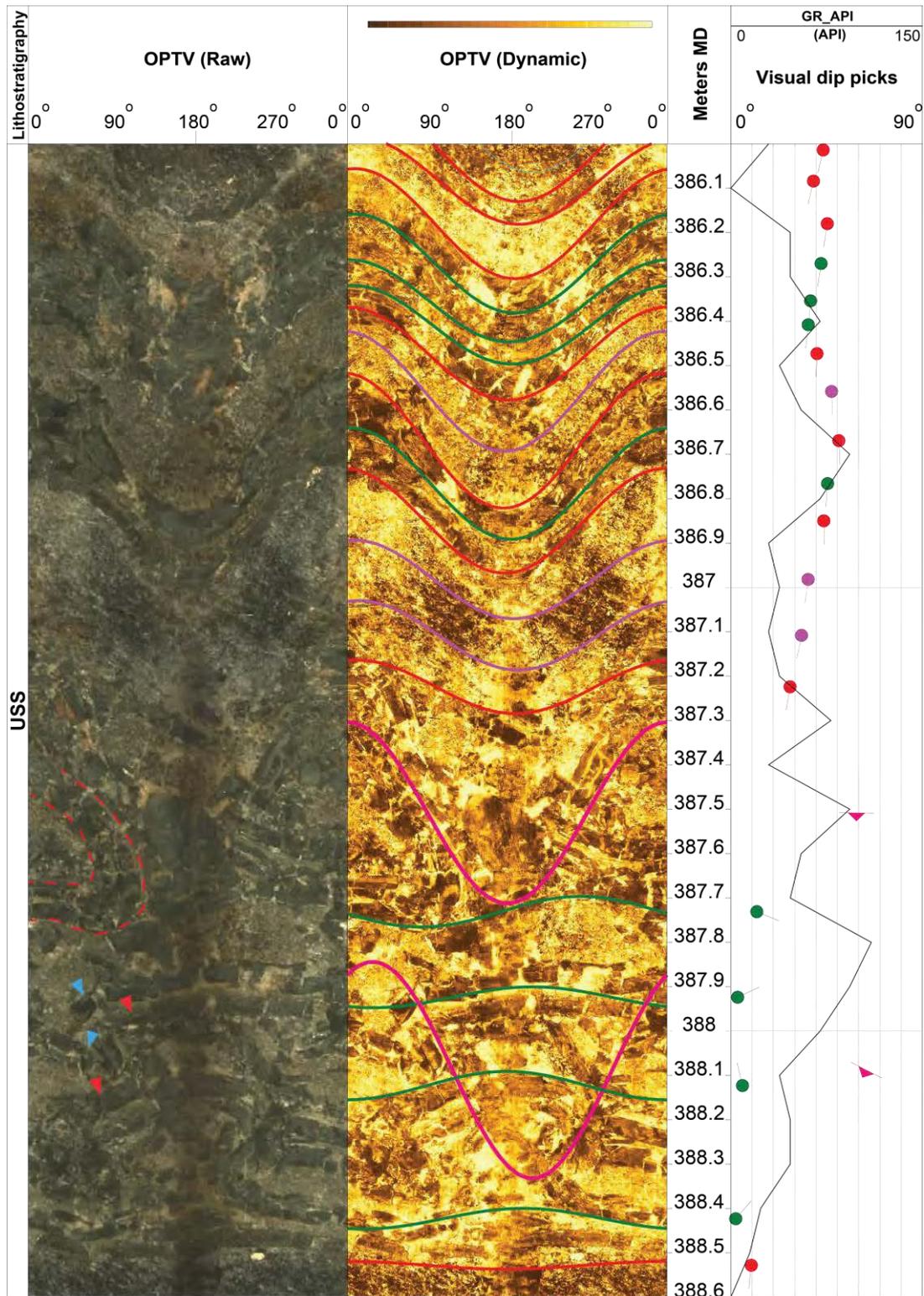


Abb. 92: Stark deformierte Ton-Salz Abfolge bei 386.00 – 388.60 m (S 149)

Die Schichtflächen oberhalb der 60° S-einfallenden Störung bei 387.52 m sind steil gestellt (40° – 50° SSW Dip). Die senkrecht zur Schichtung stehenden Klüfte (extensiv) sind mit rötlichen Steinsalz gefüllt. Das Schichtpaket unterhalb 387.50 m (Störzone) zeigt zusätzlich eine deutliche kompressive Deformationskomponente. Die Abrissflächen der Tonschichten entlang der Aufschiebung bei 388.10 m sind mit Pfeilen markiert (rot und blau) und weisen einen Versatz von max. 20 cm auf. Verfallung bei 387.65 m ist mit rot durchgestrichenen Lienen gekennzeichnet.

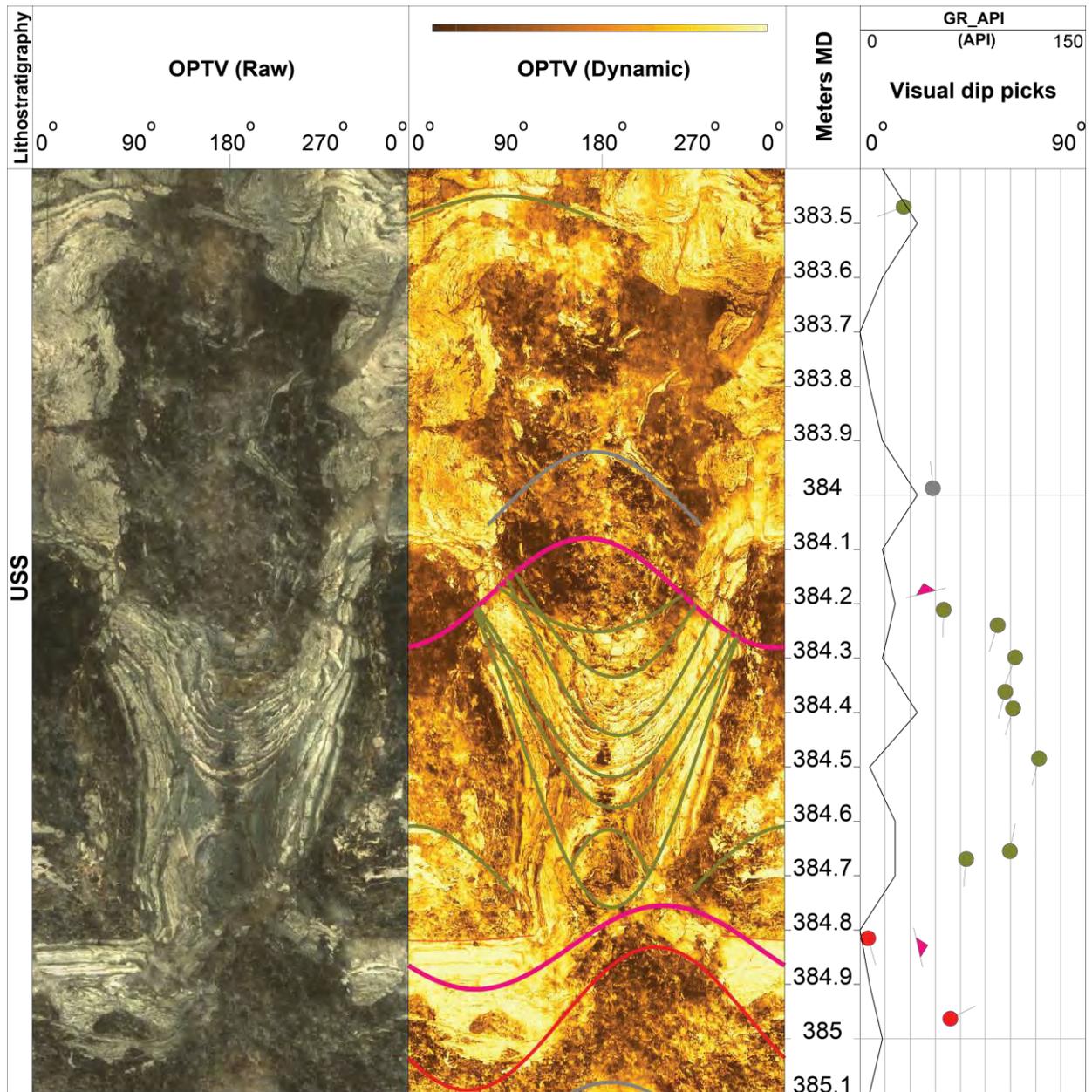


Abb. 93: Potentielle Störzone bei 383.20 – 385.00 m in S 149

Diese ist durch eine duktil und spröd deformierte Anhydrit-Ton Mischlithologie charakterisiert. Die spröden Störungen bei 384.19 m und 384.85 m und potenzielle Zerrklüfte (tension gashes) bei 383.70 m und 384.00 m zeigen deutliche Aperturen (2-4 cm) sind aber eindeutig mit Steinsalz verfüllt.

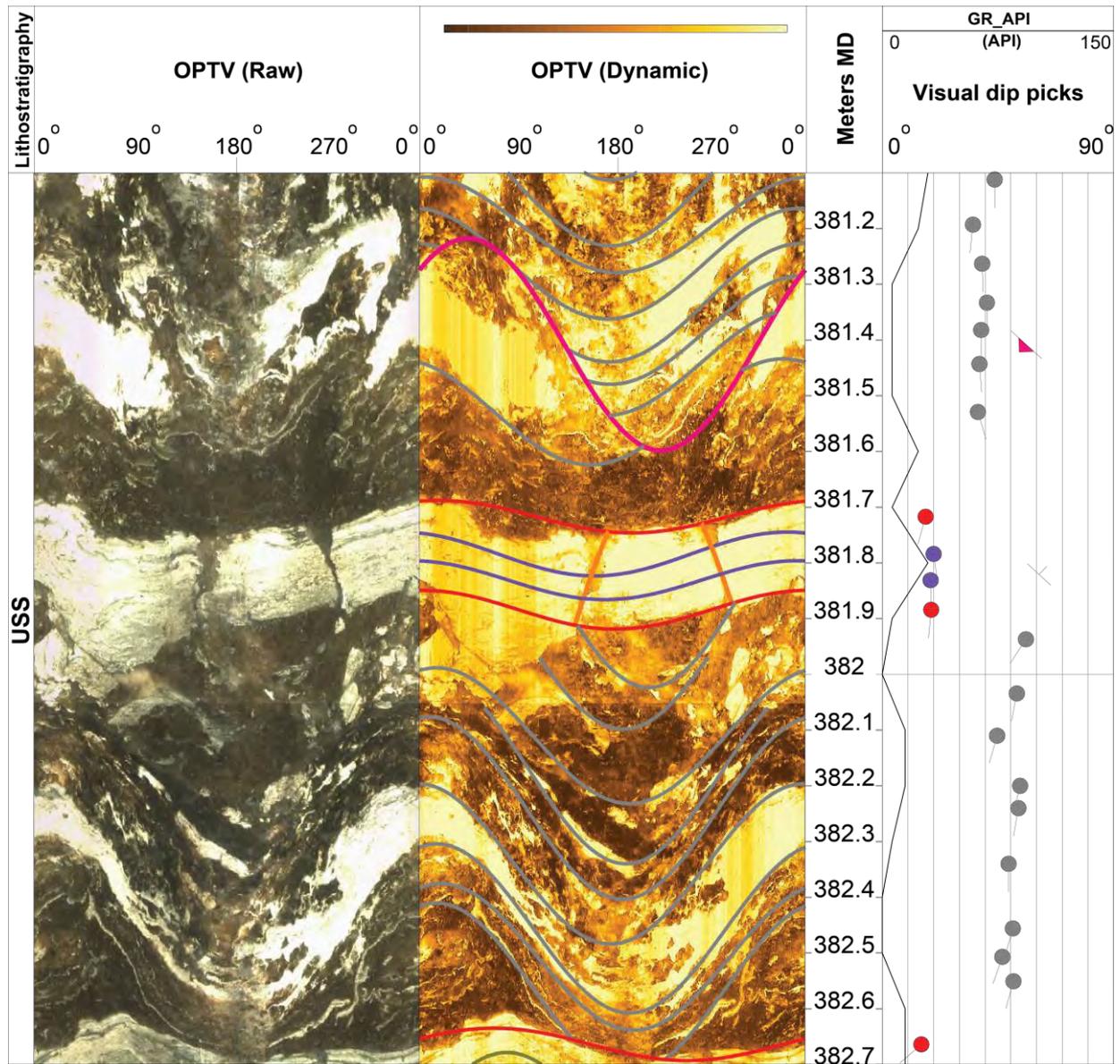


Abb. 94: Aufschiebung bei 381.42 m und verheilte Kluft bei 381.84 m im OPTV (S 149)
 Beide Strukturen zeigen Aperturen im cm-Bereich sind aber mit Steinsalz verfüllt.

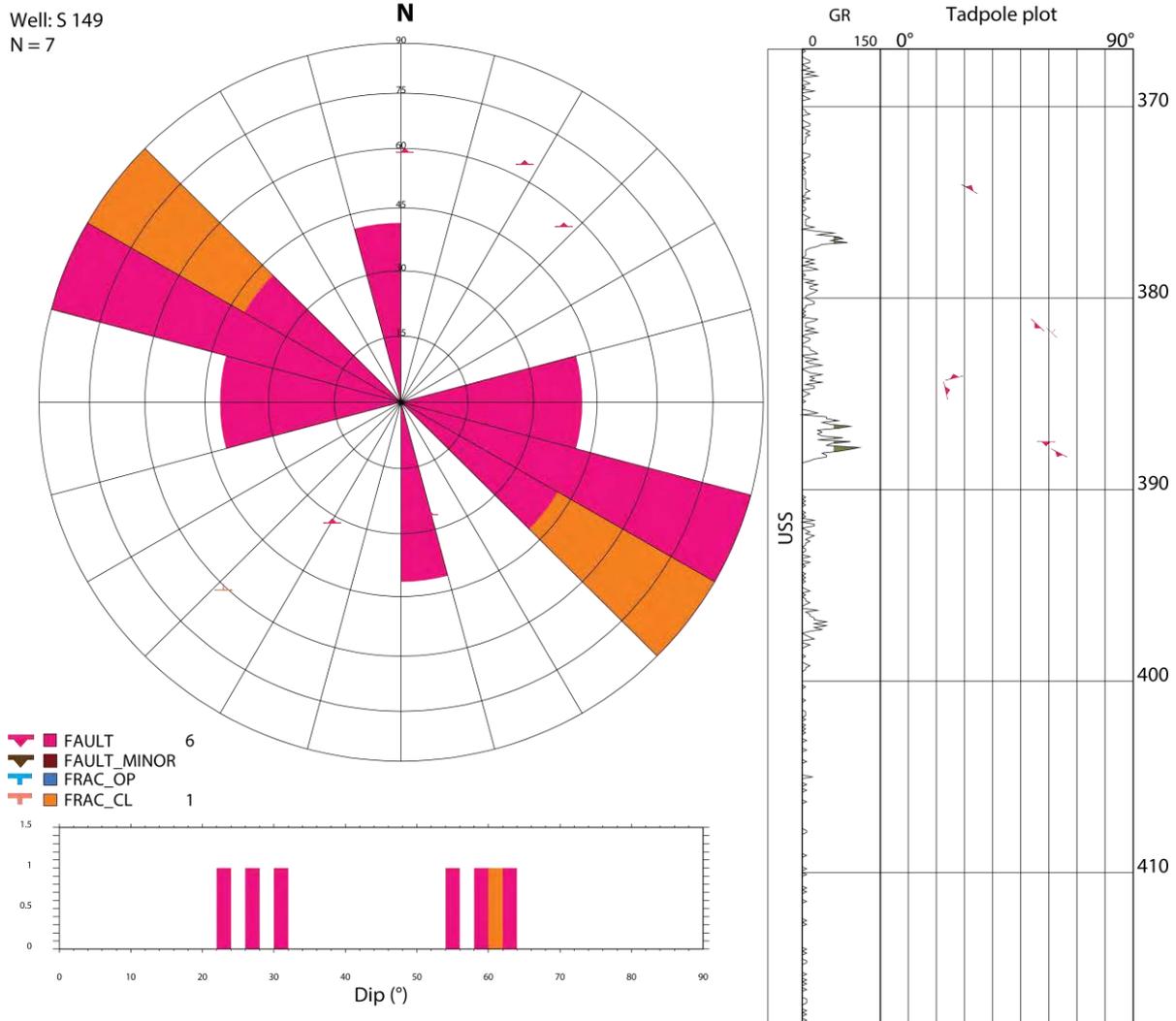


Abb. 95: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 149

Tabelle 21: Evaluation der interpretierten Stör-/Scherzonen in S 149

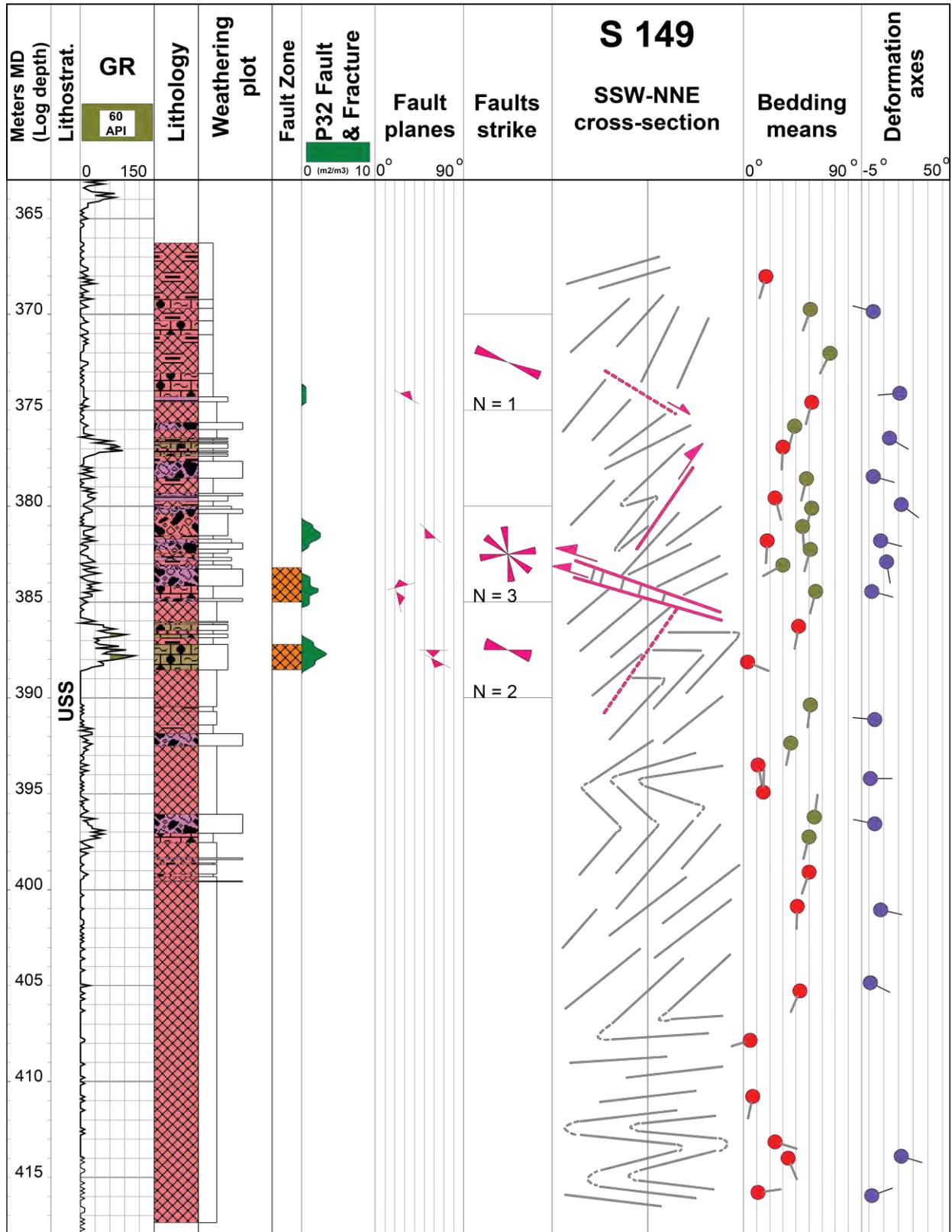
Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S 149	383.20	385.00	1.80	Stark deformierter Anhydrit in Salzmatrix; Zusammenspiel aus tektonischer / spröder Deformation und Verfaltung (Scharnierbereich?). Störungen definieren klare Änderungen in Schichteinfallen; das letztere varriert sehr stark
	387.20	388.53	1.33	Stark deformierter und spröder Tonstein mit klaren Scherflächen in USS

S 149 Zusammenfassung

Die Hauptergebnisse der OPTV Analyse der Bohrung S 149 mit einem SSW-NNE geologischen Schnitt sind in Abb. 96 visualisiert und hier kurz zusammengefasst.

Das Schichteinfallen in S 149 spiegelt die Orientierung eines SSW- bis S-verkippten Faltenschenkels einer WNW-OSO streichenden Faltenstruktur wieder. Dieser Dip Muster ist analog zur Nachbarbohrung S 148 (Kap. 3.1.8). Während der Dip Azimut im gesamten Profil außergewöhnlich stabil ist, sind die Dip Magnituden sehr variabel (1° – 80°). Dies ist einerseits auf interne, kleinräumige Verfaltung des Salzlagers und andererseits auf prominente spröde tektonische Brüche und lokale strukturelle Verschuppung zurückzuführen. Lediglich unterhalb 412.00 m ist eine Anomalie im Struktur dip mit 1° – 40° O- und SO-einfallenden Salzschiefern zu verzeichnen.

Mit lediglich 6 tektonischen Brüchen und einer Kluft ist Strukturdicke in S 149 relativ tief ($P32 = 0.13 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Alle strukturellen Trennflächen (Störungen, Klüfte und Zerrklüfte) sind **eindeutig mit Steinsalz mineralisiert**, sie zeigen jedoch zum Teil deutliche Aperturen (2 – 4 cm Bereich) und waren ursprünglich offen oder sind syn-kinematisch gewachsen. Entlang mancher Störungen lassen sich klare Schichtversätze (cm-Bereich) feststellen. Diese deuten auf kompressive Auf- und/oder Überschiebungen hin. Dies bestätigt die Übereinstimmung von tektonischen Störungen und (sub-)parallel orientierten Faltenachsen (beide WNW-OSO Trends) und einer syn-kinematischer Genese der strukturellen Diskontinuitäten in S 149. Jedoch vor der Ausbildung der Faltenstruktur und Verkürzung im Untersuchungsgebiet musste es eine extensive Deformationsphase gegeben haben. Indikatoren hierfür wurden in der tonreichen Scherzone Störzone bei 387.20 – 388.53 m gefunden.



Scale 1:300

Projected relative drift from UTM in direction 120°

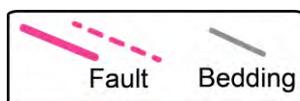


Abb. 96: Übersichtprofil der S 149 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNE Strukturquerschnitt

3.1.10 S 150

Im analysierten OPTV Intervall (348.00 – 402.00 m) wurden insgesamt 402 individuelle, geologische Flächen auf den Bohrlochwandabbildungen erkannt und manuell gepickt. Dieses Intervall besteht ausschließlich aus Unteren Salzschiechten.

Schichteinfallen

Die Evaluation des Schichteinfallens basiert auf 408 Schichtflächen. Ein Beispiel für die Determination des Schichteinfallens (Dip Picking) in einer fein laminierten Ton-Anhydrit Abfolge mit hoher OPTV Qualität ist in Abb. 97 präsentiert. Des Weiteren konnten insgesamt 38 Vektor Mittelwerte berechnet werden. Die Geometrie wie auch die Änderungen im Struktur dip entlang der S 150 sind in Stereogrammen (Abb. 98, Abb. 99 und Abb. 100), im Dip Vektor Azimut Plot (Abb. 101) und in Beilage 10 präsentiert.

Die Basis des Salzlagers in S 150 unterhalb 385.70 m ist undeformiert und sub-horizontal bis flachen (1° – 15°) gelagert. Dort fallen die Schichten vorwiegend in NNO Richtung ein. Im Kontrast, oberhalb 385.70 m ist das Schichteinfallen variabel mit sub-horizontal bis sub-vertikalen (1° – 85°) N, NNO, W, SW und SSW Bedding. Dieses Intervall (bis Top bei 402.00 m) ist durch zahlreiche graduelle sowie abrupte Änderungen in Schichteinfallen charakterisiert und deutet auf komplexe Deformation durch Verfaltung (Abb. 97) und lokale Verschuppung bei z.B. 357.20 m und 378.52 m hin. Das Letztere führte zur Ausbildung von prominenten Scherzonen bei 356.70 – 357.40 m und 377.93 – 378.95 m (siehe unten).

Der Übergang vom undeformierten Salzlager unterhalb 385.70 m zum deformierten Intervall oberhalb hat einen graduellen Charakter und deutet auf eine Versteilung der Schichtflächen im Zuge duktiler Deformation hin.

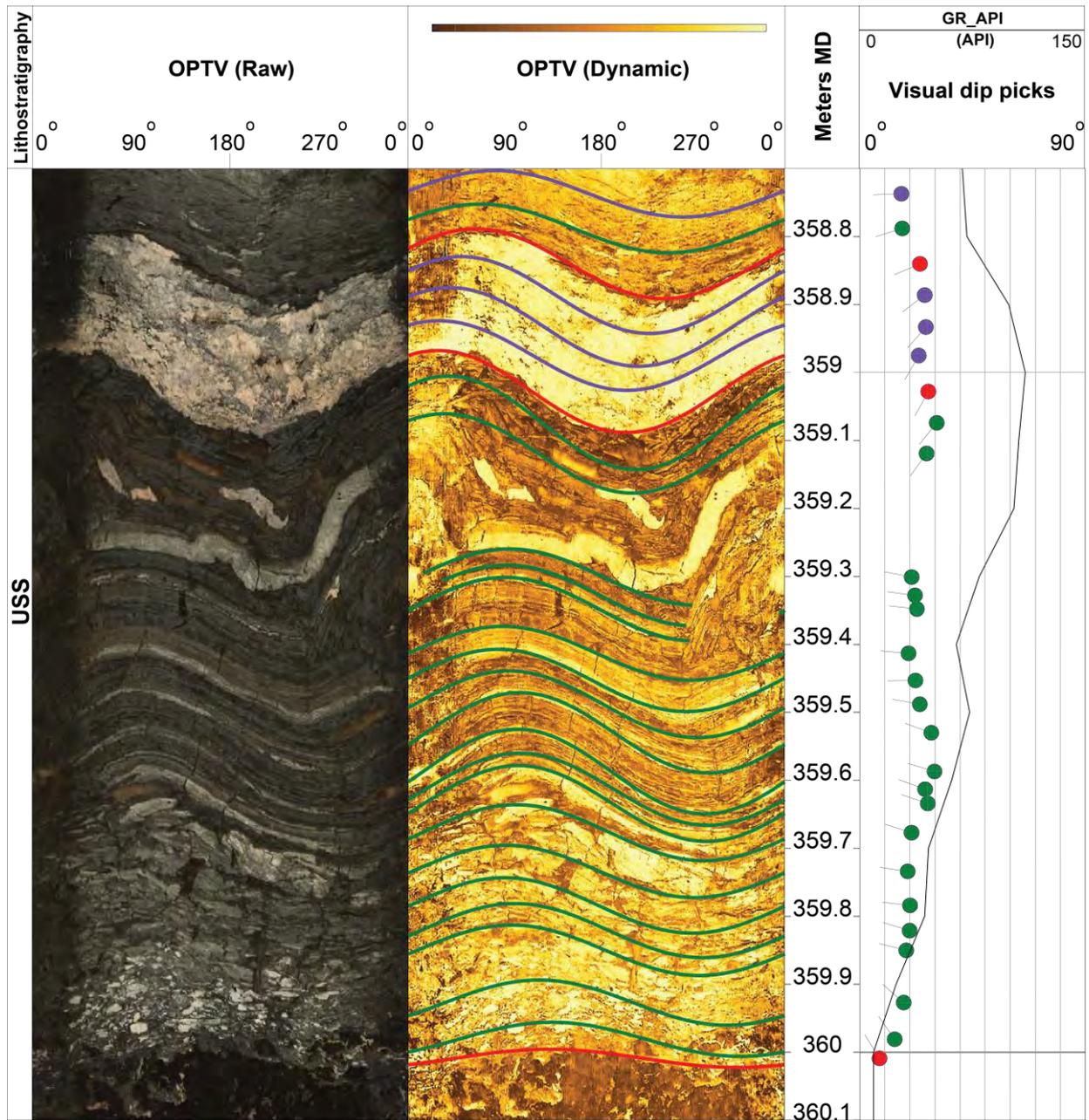


Abb. 97: Tonstein-Anhydrit Mixlithologie und Dip Picking bei 358.70 – 360.00 m (S 150)

Diese fein laminierte Abfolge liefert sehr robuste Indikatoren für die Determination des Schichteinfallens und dessen Änderungen im Profil. Das Schichteinfallen ändert sich entlang der **disharmonischen Faltung** bei 359.20 m von WNW unterhalb auf SW oberhalb 359.20 m.

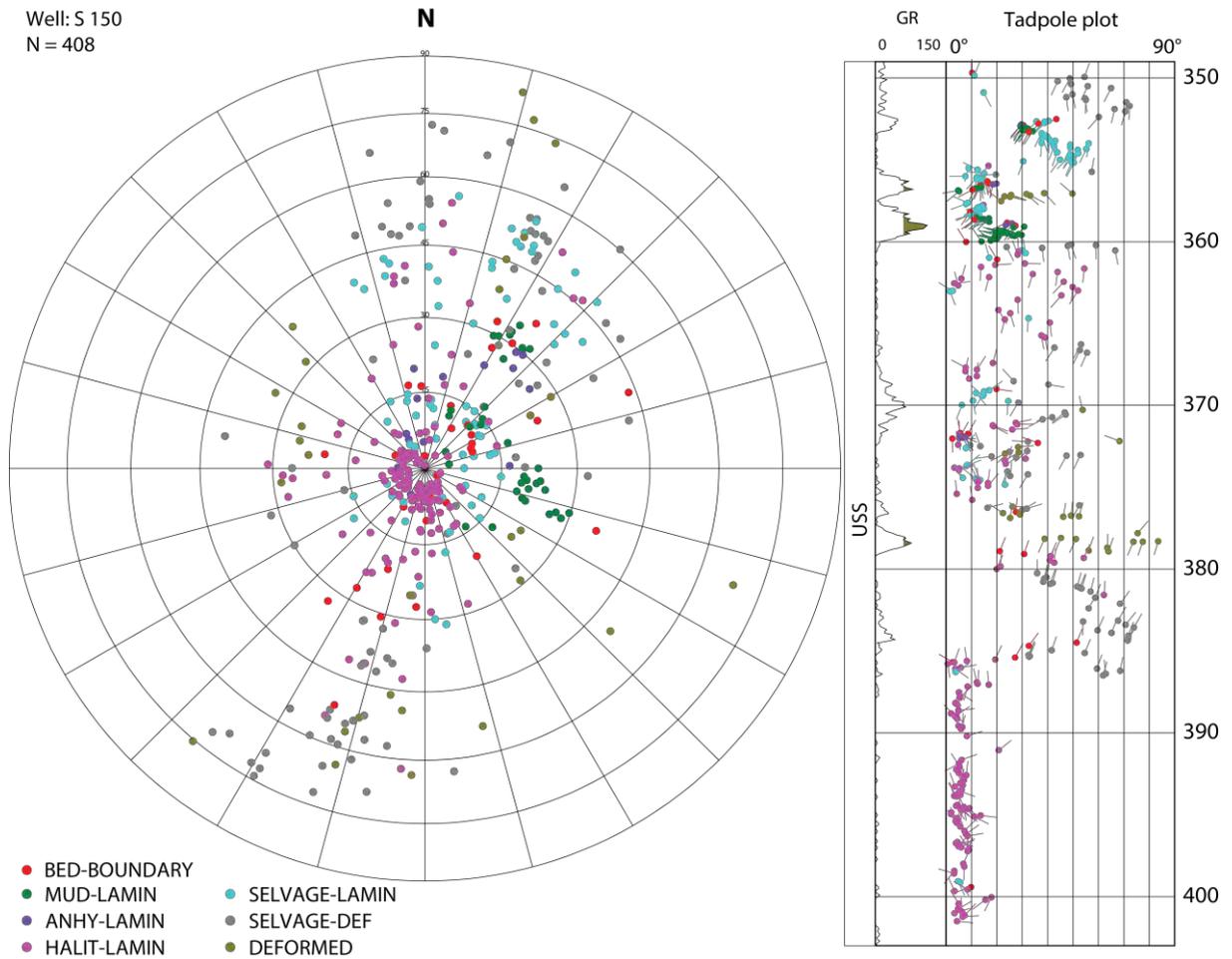


Abb. 98: Stereogramm und Tiefen Plot mit Dip Datensatz für Schichteinfällen in S 150

Well: S 150
N = 38

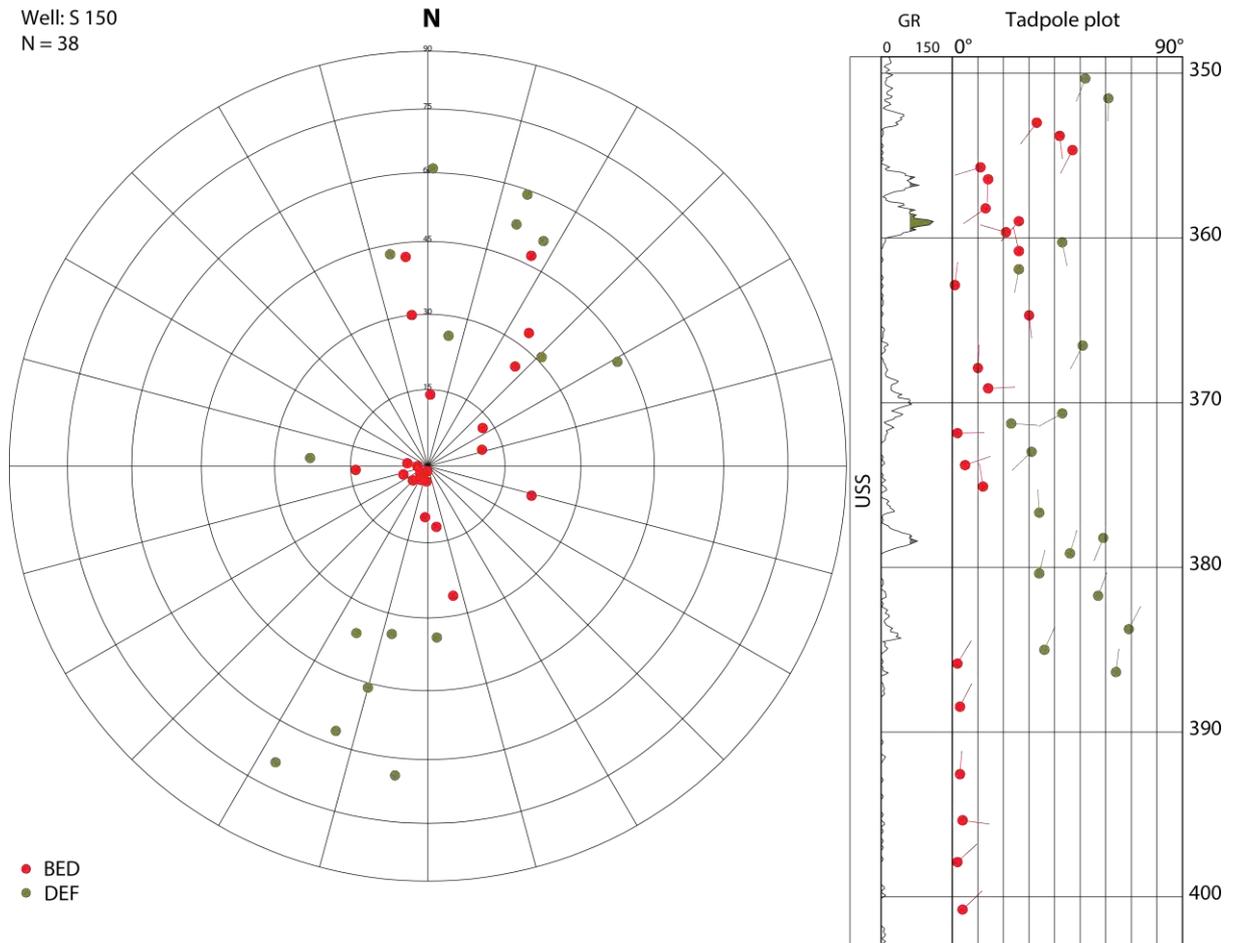


Abb. 99: Stereogramm mit berechneten Mittelwerten für Schichteinfällen in S 150

Well: S 150
N = 408

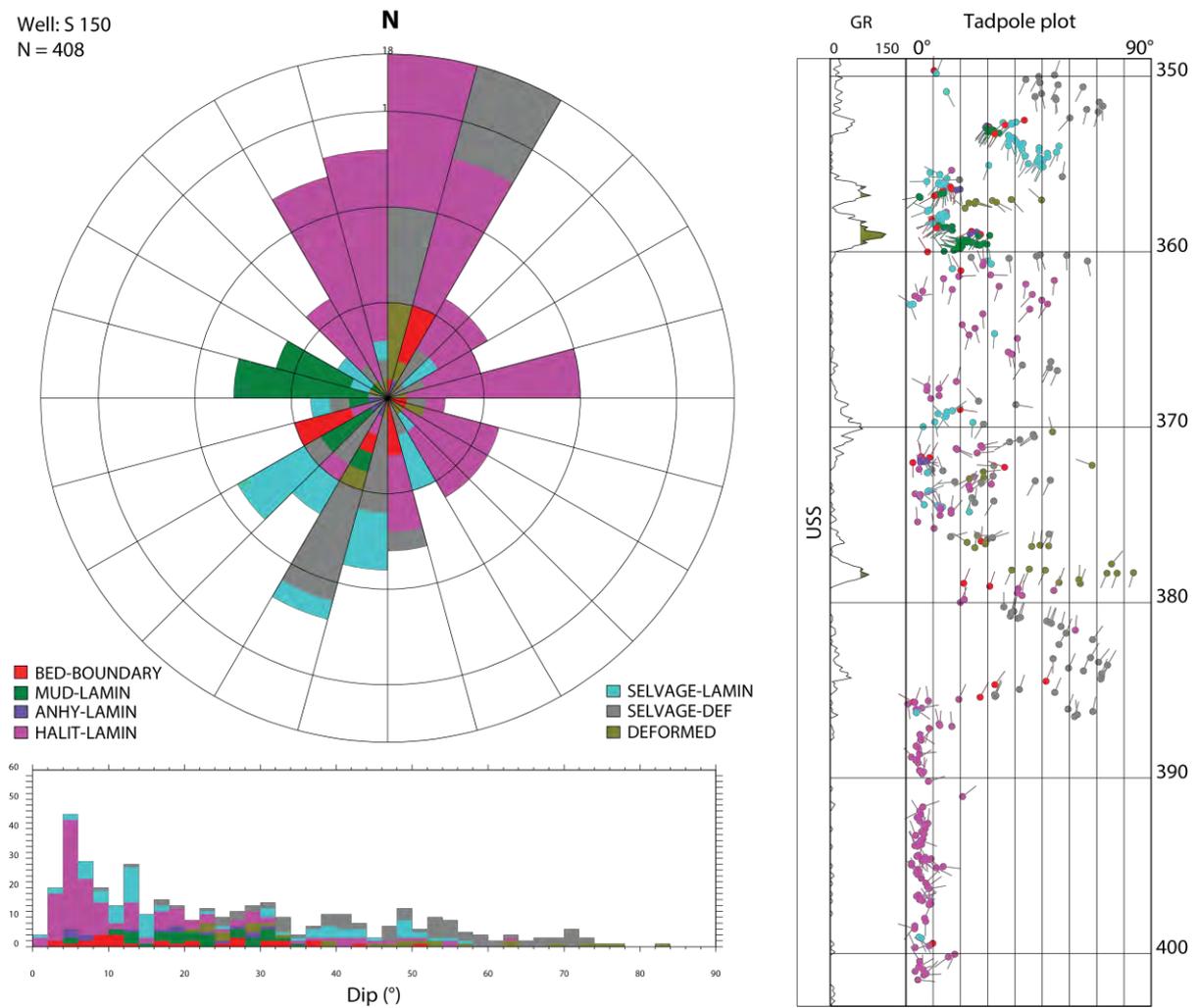


Abb. 100: Stereogramm mit Azimut Rose, Tiefen Plot und Dip Histogramm für Schichteinfällen in S 150

Vector azimuth plot

Well: **S 150** (Grosszinggibrunn 2)

Displayed dips (n = 408)

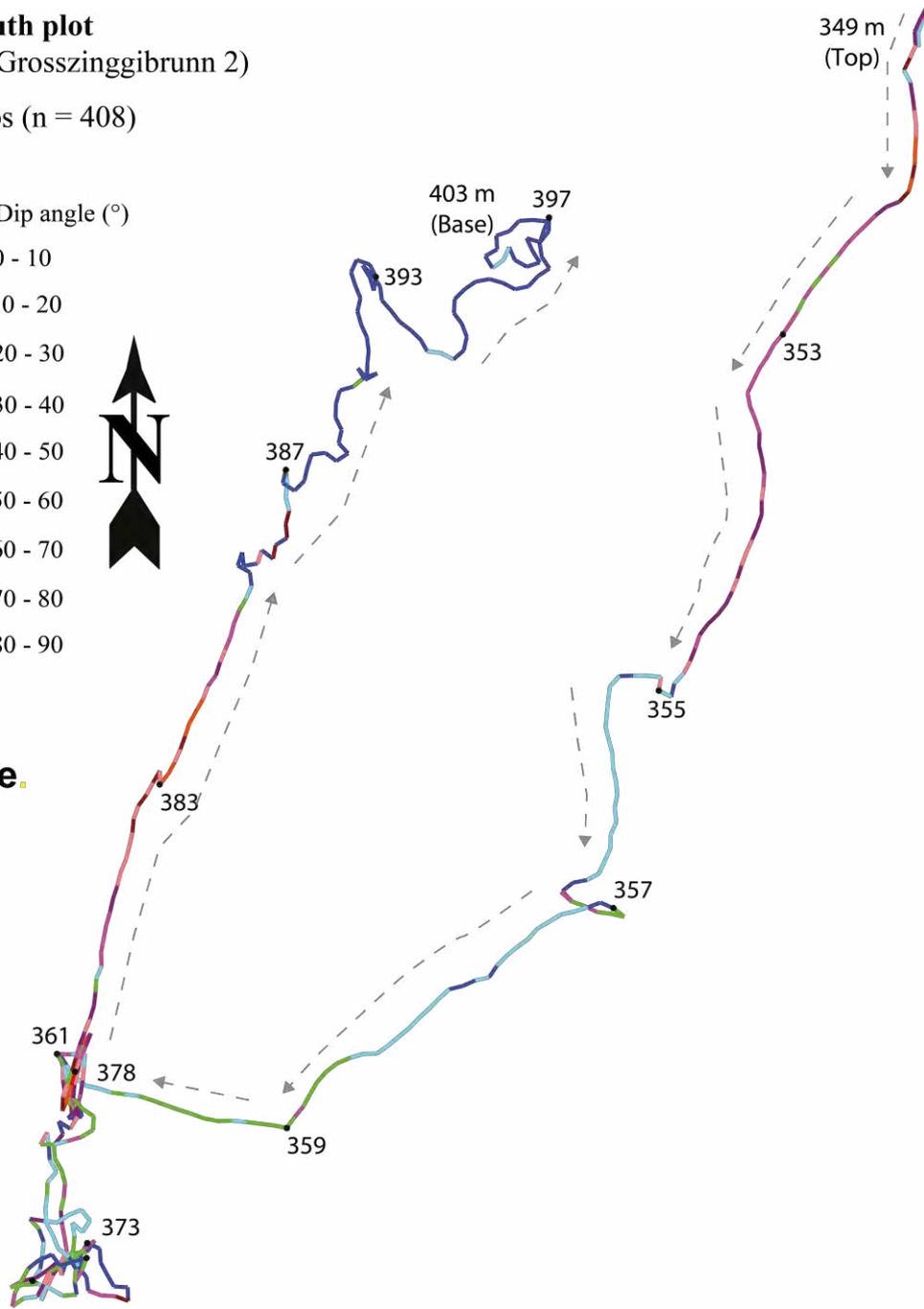
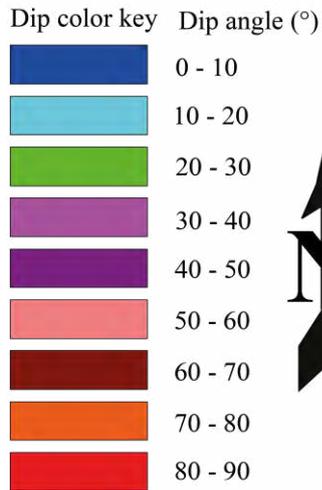


Abb. 101: Dip Vektor Azimut Plot für Schichteinfällen der S 150

Deformationsachsen

Insgesamt konnten 16 Deformationsachsen bestimmt werden (Abb. 102 und Tabelle 22). Diese haben eine konsistente WNW-OSO Orientierung mit flachen bis geneigten ($8^\circ - 30^\circ$) Abtauchwinkel.

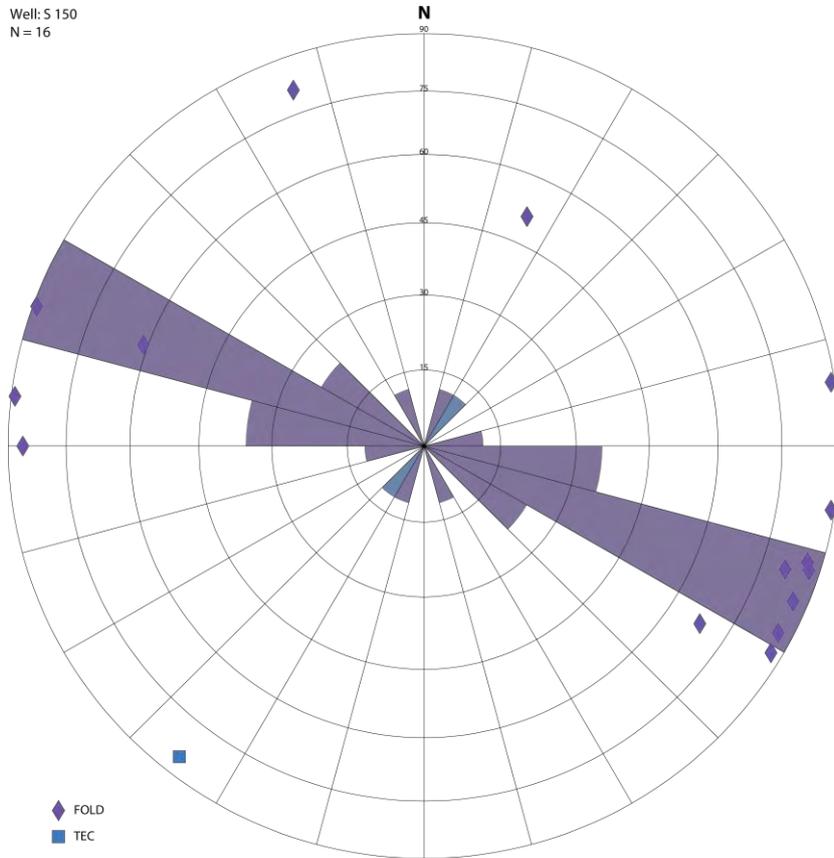


Abb. 102: Stereogramm mit der Orientierung von Deformationsachsen in S 150

Tabelle 22: Orientierung von Deformationsachsen in S 150

Deformationsachse - Intervall der Messung		Abtauchen &		Anzahl Dips	Achsentyp	Bemerkung
Top [mMD]	Basis [mMD]	Abtauchazimut [°]				
349.90	350.64	00	110	6	FOLD	
350.98	352.10	29	110	8	FOLD	Ca. 30° Streuung in Azimut - Achse definiert das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte
352.30	355.20	39	204	41	FOLD	Ca. 90° Streuung in Azimut - Achse beschreibt Scharnier einer nicht zylindrischen Falte
357.00	357.57	05	038	8	TEC	Schleppungsachse entlang der Störungszone im gesamten Intervall. Dip-slip Versatz (Achse ist parallel zum Streichen der Störungen)
357.70	359.15	09	289	28	FOLD	Messung basiert auf relativ flachen ($<30^\circ$) Schichten
360.14	361.13	00	261	12	FOLD	Der nach SSO einfallende Faltschenkel ist durch eine kleine Störung versetzt; die Störung streicht parallel (~W-O) zur Faltenachse
361.51	362.80	00	097	9	FOLD	Monoklinale
364.10	365.90	04	090	7	FOLD	
366.25	367.45	04	293	5	FOLD	
370.40	371.50	09	160	9	FOLD	
372.75	374.35	03	301	19	FOLD	
376.54	376.90	22	303	6	FOLD	Ca. 90° Streuung in Azimut - Achse beschreibt das Scharnier einer nicht zylindrischen Falte
377.75	380.00	03	288	18	FOLD	
380.20	381.80	04	287	12	FOLD	Monoklinale
383.10	385.62	04	298	18	FOLD	Monoklinale
386.02	387.10	00	279	9	FOLD	Monoklinale

Störungen und Klüfte

Insgesamt wurden 11 Störungen (FAULT = 6, FAULT_MINOR = 1) und eine möglicherweise offene Kluft (FRAC_OP) interpretiert. Jedoch generell ist die Strukturichte in S 150 relativ tief ($P32 = 0.35 \text{ m}^2/\text{m}^3$).

Beispiele für spröde tektonische Brüche sind in Abb. 103 und Abb. 104 präsentiert. Manche Strukturen zeigen deutliche Aperturen (2 – 5 cm). Während die Störungen bei z.B. 357.00 – 357.40 m, 376.32 m 378.52 m wahrscheinlich mit Steinsalz mineralisiert sind, können die Strukturen bei 353.15 m und 356.50 m **potenziell offen** sein. Jedoch die Beurteilung des Mineralisationscharakters nur auf den OPTV Daten (ohne Verifikation mit Bohrkernen) ist mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Störungen konzentrieren sich fast ausschließlich auf zwei potenzielle Störzonen bei 356.70 – 357.40 m und 377.93 – 378.95 m. Diese sind durch komplexe spröde Deformation und sehr hohe Strukturichte ($P32 = 10 \text{ m}^2/\text{m}^3$ bei 355.25 m) charakterisiert. Während die obere SW-NE streichende Scherzone **abschiebend/ blattverschiebend** ist (Abb. 103), zeigt die untere W-E orientierte Störzone einen **kompresiven** Charakter (Abb. 104). Analog zu der Tonreichen Scherzone in der Nachbarbohrung S 149 (siehe Kap. 3.1.9 und Abb. 92) lassen sich von der Scherzone bei 377.93 – 378.95 m mindestens zwei Deformationsphasen ableiten (siehe Kap. 5):

- **Extension** und Ausbildung normal zur Schichtung stehender Klüfte mit Aperturen, welche mit rötlichem Steinsalz verfüllt wurden
- **Kompression** und Verkürzung der Schichtpakete

Die Orientierung und Verteilung der Störungen und Klüfte ist im Stereogramm (Abb. 105) präsentiert. Diese zeigen einen dominanten SW-NE und einen untergeordneten WNW-OSO Orientierungscluster.

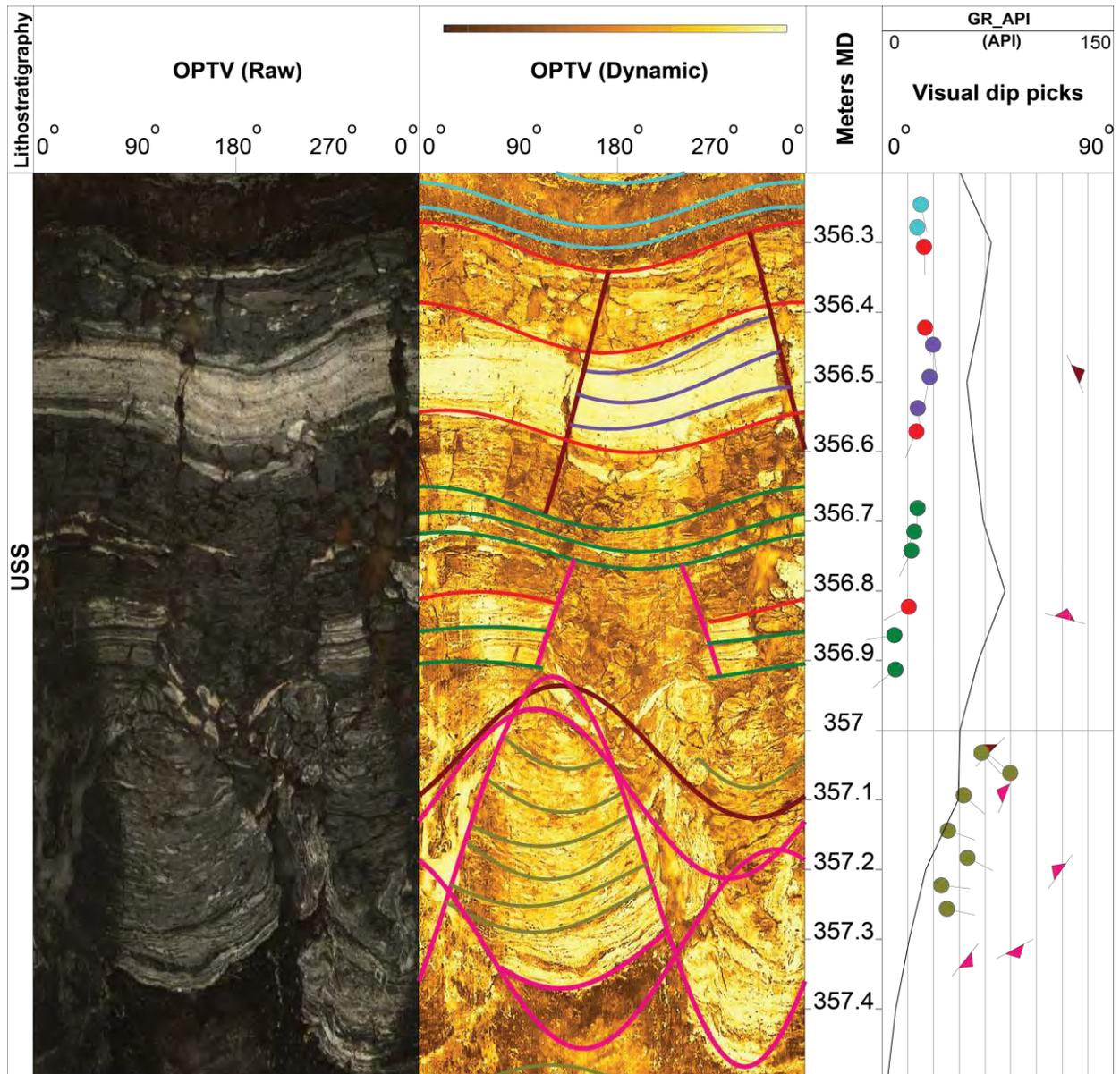


Abb. 103: Potenzielle Störzone bei 356.70 – 357.40 m (S 150)

Diese zeigt eine komplexe spröde Tektonik. Die Störungen bei 356.50 m und 357.23 m zeigen einen abschiebenden Schersinn mit Versätzen bis 20 cm. Beide haben deutliche Aperturen (ca. 2-5 cm). Während die Störungen bei 357.20 m wahrscheinlich mit Steinsalz verfüllt sind, ist die Mineralisierung der Struktur 356.50 m nur auf den OPTV Bilder schwierig zu beurteilen.

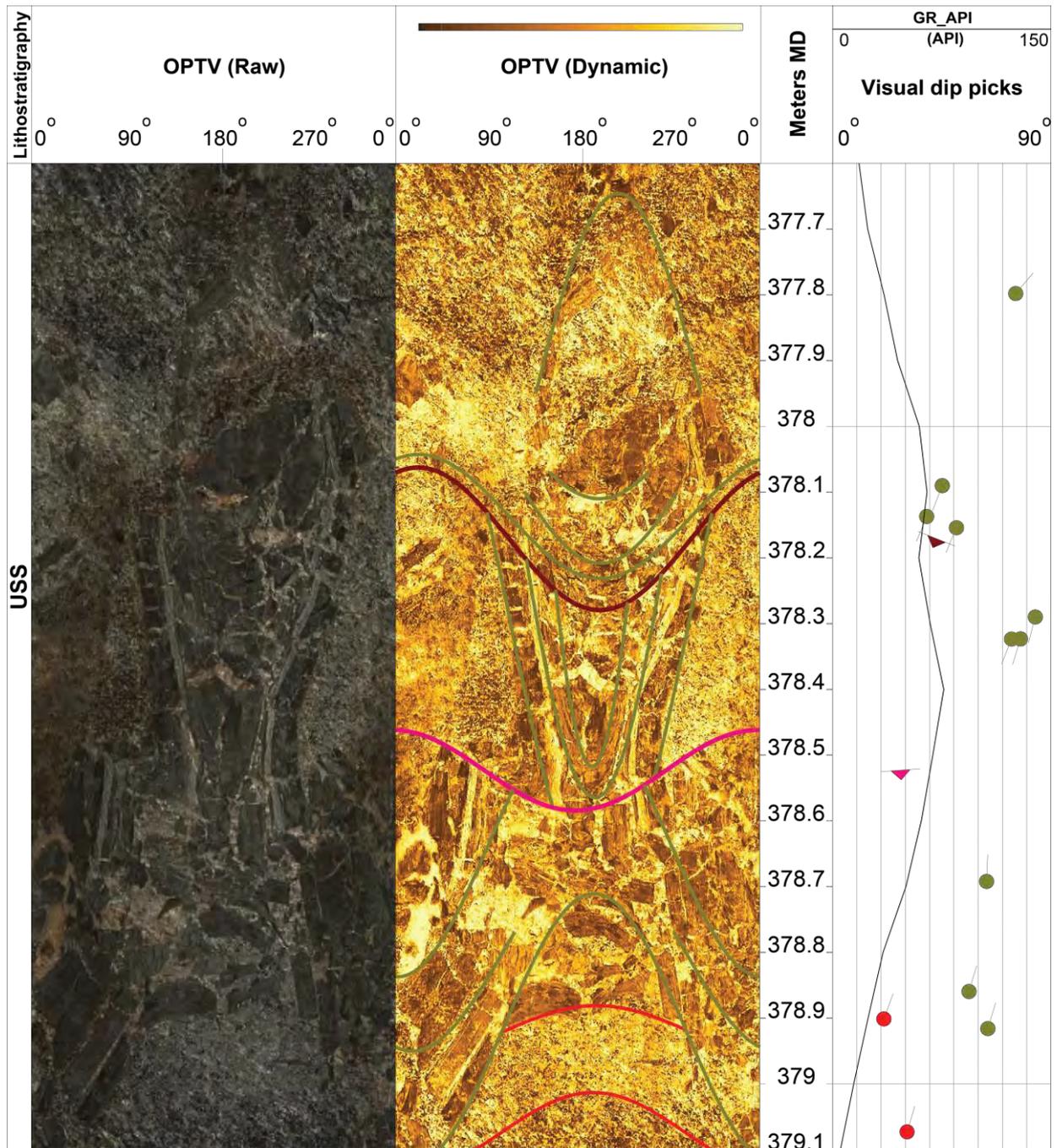


Abb. 104: Störzone im tonreichen Intervall bei 377.70 – 379.10 m (S 150)

Analog zur Störzone in Nachbarbohrung S 149 (Abb. 92) sind die senkrecht zur Schichtung stehenden Klüfte (extensive Deformation) mit rötlichen Steinsalz verfüllt. Die Tonschichten sind steil bis subvertikal ($40^\circ - 85^\circ$) SSW und NNO einfallend. Sie sind an klaren kompressiven Störungen (Aufschiebungen) bei 378.18 m und 378.54 m abgesichert und versetzt.

Well: S 150
N = 12

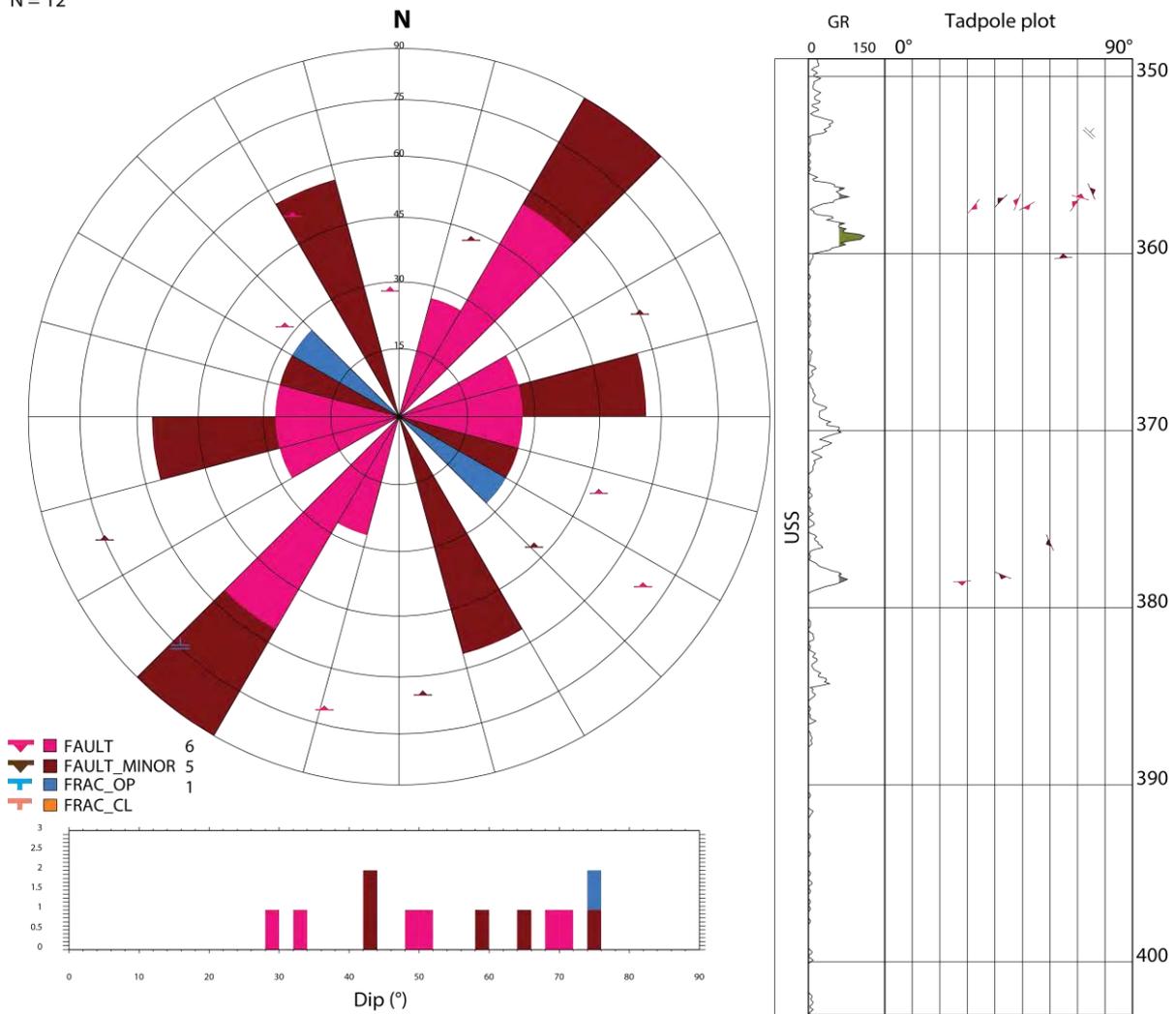


Abb. 105: Streichrose, Dip Histogramm und Tiefen Plot für alle Störungen und Klüfte in S 150

Tabelle 23: Evaluation der interpretierten Stör/-Scherzonen in S 150

Bohrung	Top (mMD)	Basis (mMD)	Länge (m)	Bemerkung
S150	356.70	357.40	0.70	Spöde Deformation mit klaren Schicht-Versätze in cm-Bereich an Störungsflächen in USS. Inwieweit diese Deformation durch Subrosion und lokale Kollapsbrekzie verursacht wurde, ist unklar
	377.93	378.95	1.02	Stark deformierter und spröder Tonstein mit klaren Scherflächen in USS; stark verfaltet (Scharnierbereich?)

S 150 Zusammenfassung

Die Hauptresultate der OPTV Analyse der Bohrung S 150 und ein SSW-NNO orientierter Strukturquerschnitt sind in Abb. 106 visualisiert und hier kurz zusammengefasst.

Das Salzlager beginnt mit einer undeformierten $1^\circ - 15^\circ$ NNO gelagerten Abfolge, welche sich bis 385.70 m fortsetzt. Oberhalb 385.70 m bis 402.00 m (Top des OPTV Logs) weist das Salzlager eine starke Variabilität im Struktur dip mit $1^\circ - 85^\circ$ N, NNO, W, SW und SSW einfallenden Schichtflächen. Diese Zone ist durch zahlreiche graduelle und abrupte Änderungen in Schichteinfallen charakterisiert. Der Übergang vom undeformierten Salzlager unterhalb 385.70 m zum deformierten Intervall oberhalb hat einen graduellen Charakter und kann auf Verfaltung oder Schleppung zurückgeführt werden.

Zusammenfassend, der Dip Muster zwischen 385.70 m und 402.00 m spiegelt die Geometrie einer intern komplex deformierten, WNW-OSO orientierte Faltenstruktur wieder. Diese weist lokal eine starke spröde Deformation auf, welche sich in zwei prominenten Scherzonen mit hoher Struktur dichte bis $P32 = 10 \text{ m}^2/\text{m}^3$ äußert. Beide Zonen unterscheiden sich jedoch deutlich in ihrem Charakter und Genese und sind hier kurz beschrieben:

- Zwischen **356.70 – 357.40 m** wurde eine $\sim 30^\circ - 70^\circ$ SW-NO streichende Scherzone interpretiert. Diese ist senkrecht zur Faltenstruktur orientiert und genetisch an Abschiebungen und/oder Blattverschiebungen gebunden. Sie verläuft (sub-)parallel zu den NNO-streichenden, rheinischen Lineamente im Tafeljura.
- Zwischen **377.93 – 378.95 m** wurde eine $\sim 28^\circ - 43^\circ$ W-O orientierte und eindeutig kompressive Scherzone angetroffen. Sie streicht (sub-)parallel zu den Faltenachsen und repräsentiert eine mögliche syn-kinematische Struktur.

Manche Strukturen in S 150 zeigen deutliche Aperturen (2 – 5 cm) und sind mit Steinsalz verfüllt (z.B. 357.00 – 357.40 m, 376.32 m 378.52 m). Jedoch der Charakter (offen vs. mineralisiert) der Strukturen bei 353.15 m und 356.50 m ist nicht eindeutig. Diese erscheinen dunkel auf den OPTV Logs und können potenziell offene Diskontinuitäten darstellen. Jedoch, die Beurteilung des Mineralisationscharakters von spröden Struktur nur auf OPTV Daten (ohne Verifikation mit Bohrkernen) ist mit hoher Unsicherheit behaftet.

Das **Salzlager** unterhalb 385.40 m bis Top USZ besteht aus reinem Halit, ist undeformiert und Strukturlos.

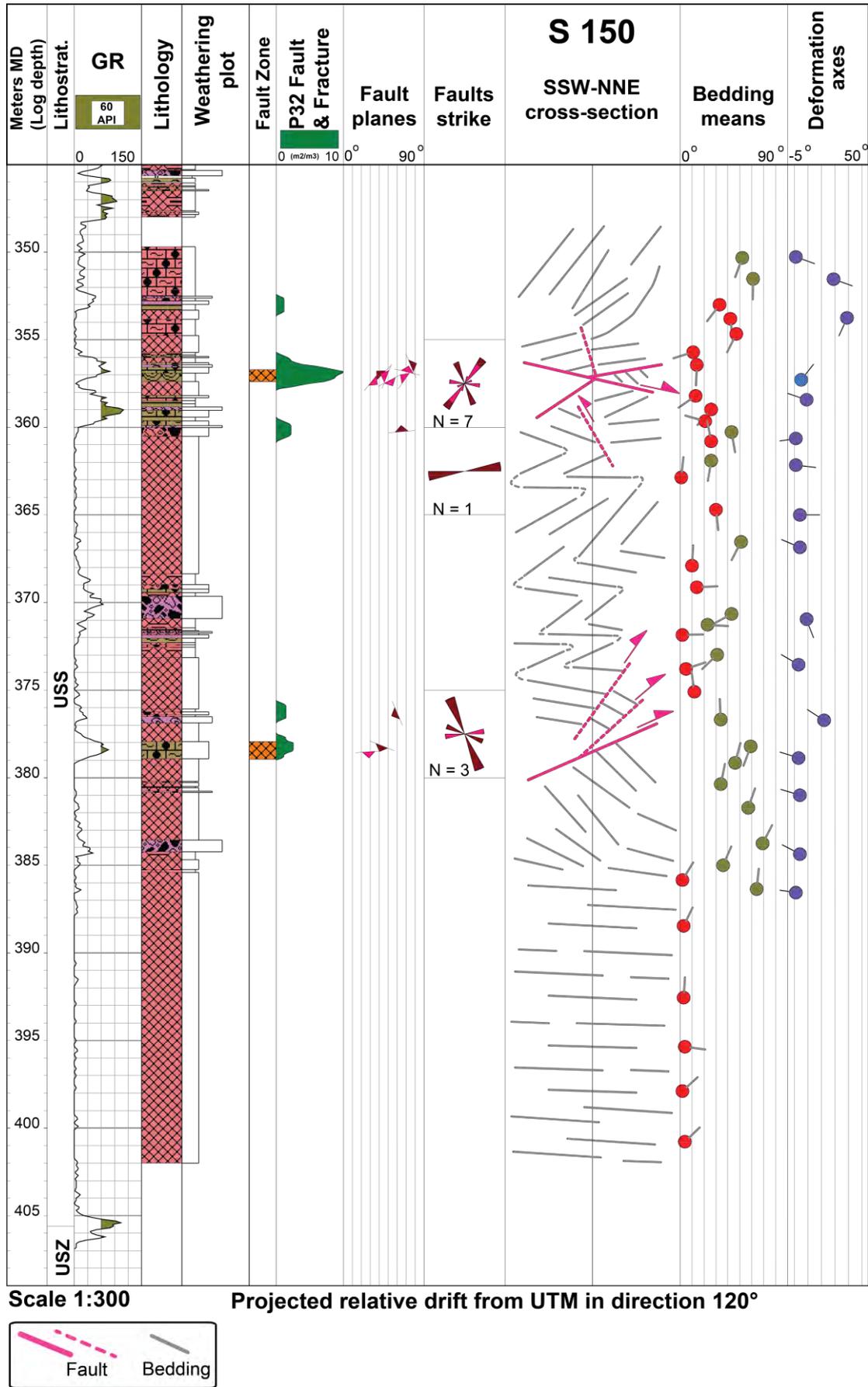


Abb. 106: Übersichtprofil der S 150 mit Hauptresultaten und einem SSW-NNO Strukturquerschnitt

3.2 Kinematische Analyse der Bohrkerne

Die Bohrkernanalyse fand vom 16. bis 18.02.2022 im Kernlager („Seilerei“) der Schweizer Salinen AG in Pratteln statt und wurde durch Lukasz Gregorczyk (G-Geologie) unter Assistenz von Lea Bieler (Schweizer Salinen AG) durchgeführt. Total wurden 357.00 m Kernmaterial aus neun Bohrungen analysiert (Tabelle 24).

Tabelle 24: Liste ausgelegter Bohrkerne für kinematische Analyse

Well	Depth core box		Length (m)
	from (m)	to (m)	
S141	286.00	298.00	12.00
S142	309.00	322.00	13.00
S144	172.00	330.00	158.00
S145	303.50	329.40	25.90
S146	299.30	343.40	44.10
S147	370.00	388.00	18.00
S148	340.00	396.00	56.00
S149	350.00	362.00	12.00
S150	330.00	348.00	18.00

Aufgrund des zum Teil schlechten Zustand der Bohrkerne konnten insgesamt 93 ausgewählte und repräsentative kinematische Indikatoren entlang von Störungsflächen ermittelt werden. Aufgrund fehlender Bohrlochwandabbildungen wurden diese an **nicht orientierten Kernen** eingemessen, folglich entsprechen die ermittelten Abtauchrichtungen nicht der wahren räumlichen Orientierung. Hierfür wurden die flachen Strukturen relativ zur geographischen Nordrichtung, wogegen die sub-vertikalen zur geographischen Ostrichtung orientiert (Abb. 107). Anschließend ist der Azimut und wenn immer möglich auch der Schersinn ermittelt worden.

Generell, werden drei Gruppen vom Bewegungssinn unterschieden, die an unterschiedliche tektonische Regime gebunden sind (Abb. 107). Die hierfür verwendeten Symbole sind in Abb. 6 dargestellt:

- Up = Aufschiebung/Überschiebung (thrusting/reverse faulting)
- Down = Abschiebung (normal faulting)
- Dextral/sinistral = Blattverschiebung (strike-slip faulting)

Die Orientierung aller Lineare ist im Stereogram und Dip Histogramm in Abb. 108 präsentiert und in Appendix 2 aufgelistet. Von den 93 eingemessenen Linearen zeigte die überwiegende Mehrheit (n=63) einen auf- bzw. überschiebenden Bewegungssinn (Abb. 108) entlang vorwiegend flach (5° bis 35°) einfallenden Störungsflächen und hatte einen Dip-Slip Charakter. Zusätzlich wurden jedoch Indikatoren für (n=2) Abschiebungen und (n=14) Blattverschiebungen beobachtet. Bei 14 Linearen konnte der Schersinn nicht eindeutig ermittelt werden (Abb. 108).

Die Auswertung weist auf eine klare Dominanz eines kompressiven Deformationsregimes in den untersuchten Kernintervallen.

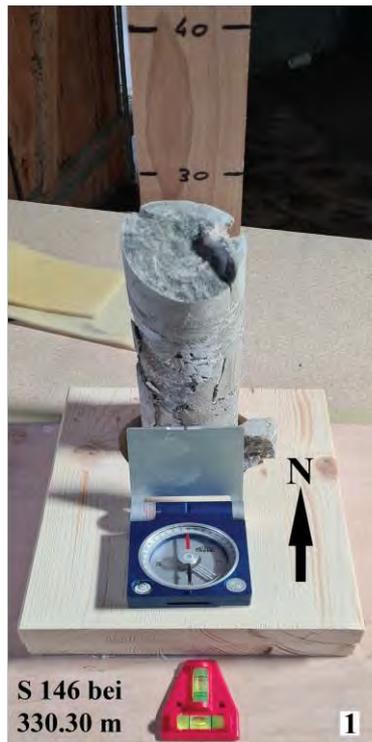


Abb. 107: (1) Orientierung des Bohrkerns im Kernständer relativ zur geographischen Nordrichtung für die kinematische Analyse. (2) Überschiebung mit Rutschharnisch und Tonfilm, (3) dextrale Blattverschiebung mit Gips Mineralisation sowie (4) Abschiebung mit sichtbarem Schichtversatz und Gipsfüllung (gelbe Pfeile). Der Schersinn ist mit roten Pfeilen markiert.

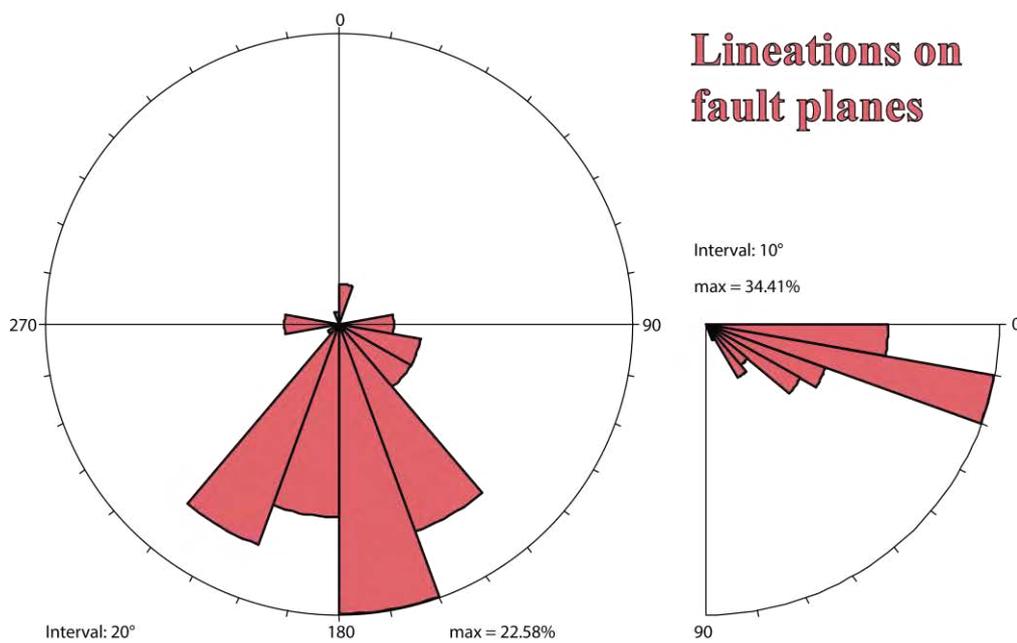
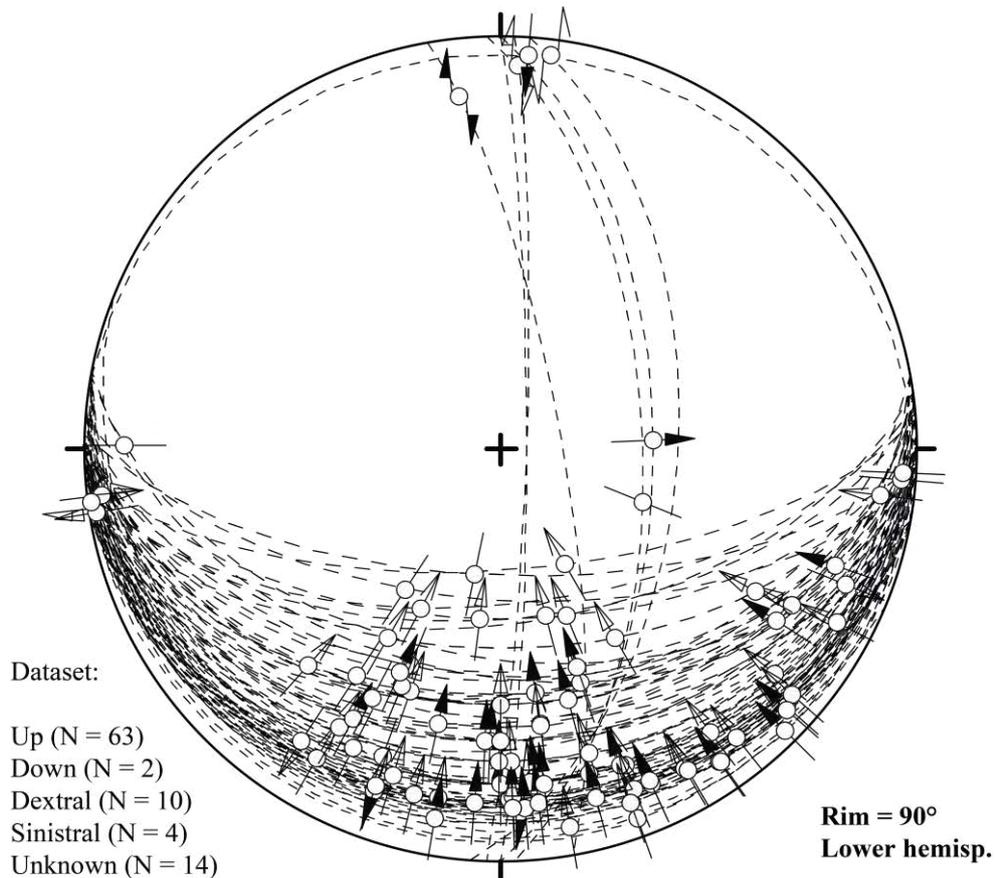


Abb. 108: (Oben) Stereogramm mit allen ermittelten Lineationen. (Unten) Abtauchrichtungen (links) und Abtauchwinkel (rechts) von Lineationen entlang tektonischer Störungsflächen.

Beachte: Die Abtauchrichtungen wurden **an nicht orientierten Kernen ermittelt** und zeigen nicht die wahre räumliche Orientierung. Die verschiedenen Symbole sind in Abb. 6 erklärt.

3.3 Lithofaziesanalyse und Lithofaziesschema

Einführung und Methodik

Die Lithofaziesanalyse basiert auf spezifischen, makroskopischen Merkmalen der Gesteine wie z.B. mineralogische Zusammensetzung, Textur, Gefüge, Deformationsgrad und Deformationsgenese, welche auf den optischen Bohrlochwandabbildungen (OPTV) und planaren Bohrkernfotos eindeutig sichtbar sind. Des Weiteren wurde die spezifische Gamma Strahlung (GR) und das vorhandene Dip Muster bei der Definition berücksichtigt. Diese Methode ist mehr deskriptiv als interpretativ. Die Unterscheidung der Schichtdicken ist gemäß Shell Standard Legend (1995) respektive NAB 19-11. Die Resultate der Lithofaziesanalyse sind in den Komposite Profilen (Beilagen 1 bis 10) entlang des Bohrprofils visualisiert. Da die OPTV Bilder hauptsächlich in den Unteren Salzsichten gewonnen wurden, ist der Sedimentaufbau des Salzlagers für jede Bohrung zusammen mit den Strukturdaten in Form von Übersichtsprofilen (1:300) im Kapitel 3.1 dargestellt. Repräsentative Detailbeispiele für jeden LFT sind nachfolgend in Abb. 110 bis Abb. 136 präsentiert.

Darauf basierend konnten insgesamt 25 Lithofaziestypen (LFT) ausgeschieden werden, welche ein breites Spektrum an geologischen Details abdecken. Die individuellen Farben und Symbole mit dem Verwitterungsprofil aller LFT sind in Abb. 109 dargestellt und entsprechen der Shell Standard Legend (1995) respektive NAB 19-11. Generell sind die LFT in vier folgenden Haupt-Lithotypen und einen Spezialtyp organisiert:

- Karbonate
- Evaporite
- Siliziklastika
- Sedimentäre Brekzien
- Spezialtyp für Störungsgesteine und inkohäsive Bohrkern

Halit Lithofaziestypen vs. Salzklassen nach Widmer (1991)

In dieser Studie wurden insgesamt vier Salz LFT ausgeschiedenen (siehe Kap. 3.3.11 – 3.3.14). Dabei stand die Salzzreinheit bzw. der Grad der Verunreinigung im Vordergrund. Diese Einteilung liefert signifikante Informationen für die Solplanung im Bezug auf reine Salzhorizonte, ihre Lage im Profil und ihre Mächtigkeiten. Diese Herangehensweise unterscheidet sich von der Salzklassifikation nach Widmer (1991). Bei Widmer (1991) lag das Hauptaugenmerk in der Interpretation des Ablagerungsmilieus wofür v.a. primäre sedimentäre und diagenetische Strukturen wie z.B. Kristallgrößen und -formen, Salzfarben und Art der Verunreinigung für die Ausscheidung seiner 7 Salzklassen berücksichtigt wurden. Jedoch beide Methoden haben den makroskopischen Anteil der Verunreinigung gemeinsam und sind im folgenden gegenübergestellt. Jedoch Widmer's Salzklassen 1 und 7 lassen sich nicht mit dem angewandtem Lithofaziesschema vergleichen, da für ihre Definition der Halitanteil nicht berücksichtigt wurde:

Lithofaziestyp (diese Arbeit)	Salzklasse nach Widmer (1991)	Charakteristik und Halitgehalt
HltCDef60-0	5 und 6	Stark verunreinigtes Steinsalz, 60-0 Vol.% Halitgehalt. Diagenetisch überprägt
Hlt100-80	2, 3 und 4	Reines Steinsalz, 80-100 Vol.% Halitgehalt
Hlt80-60	2, 3 und 4	Rel. reines Steinsalz, 60-80 Vol.% Halitgehalt
Hlt60-0	5 und 6	Stark verunreinigtes Steinsalz, 60-0 Vol.% Halitgehalt

Datenqualität und Unsicherheiten

Insgesamt wurden 477 m von OPTV Bohrlochwandabbildungen und 360 m Bohrkernfotos aus den 10 Bohrungen analysiert und in diskrete Zonen unterteilt. Die Letzteren variieren in Mächtigkeit von wenigen cm bis mehreren 10er Metern. Im Allgemeinen kann die Qualität der OPTV Bilder und der Kernfotos als sehr gut bis ausgezeichnet eingestuft werden. Diese lieferten folglich eine zuverlässige Grundlage für eine detaillierte Lithofaziesanalyse. Ein Qualitätsranking für jeder Bohrung ist in Kap. 2 (Tabelle 3) gegeben. Generell sind die Abschnitte mit nur planaren Kernfotos – Hangendens der Unteren Salzsichten – mit einer größeren Unsicherheit behaftet als die OPTV geloggte Intervalle (Salzlager). Jedoch diverse Faktoren können die Datenqualität und somit das Interpretationspotential mindern und die sedimentologischen Details maskieren. Dies sind u.a.:

- Auflösung der Primärdaten
- Das Fehlen des GR Logs
- Bohrlochwand Instabilitäten (Bohrlochausbrüche und washouts)
- Stark zerbrochene Bohrkern
- Verschmutzung der Bohrlochwand (z.B. in S 143 und S 144)
- Überprägung des Primärgefüges der Gesteine durch diagenetische oder tektonische Prozesse wie z.B. Rekristallisation, Brekzierung, intensive Klüftung bis sogar Störzonenbildung

Lithotype	Lithopattern	Weathering profile	Lithofacies name	Abbr.
Carbonates			Limestone laminated to thin bedded	LstLT
			Limestone medium to thick bedded	LstMT
			Limestone medium to thick bedded, vuggy	LstMTV
			Dolomite laminated to thin bedded	DstLT
			Dolomite medium to thick bedded	DstMT
			Dolomite gypsum bearing	DstGyp
Evaporites			Anhydrite nodular, chicken-wire	AnhdCHW
			Anhydrite massive	AnhdM
			Anhydrite deformed	AnhdDef
			Anhydrite laminated to thin bedded	AnhdLT
Siliciclastics			Halite coarse grained, deformed, major impurity 60-0%	HltCDef60-0
			Halite pure, 100-80%	Hlt100-80
			Halite minor impurity, 80-60%	Hlt80-60
			Halite major impurity, 60-0%	Hlt60-0
Sed. breccia			Claystone brecciated-fractured	ClstBreF
			Claystone laminated to thin bedded	ClstLT
			Claystone massive	ClstM
			Claystone deformed	ClstDef
			Marl laminated to thin bedded	MrILT
			Dolomitic marl/clay, thin to medium bedded	DolMCB
Special			Packbreccia	PBrc
			Floatbreccia, argilaceous matrix	FBrcA
			Floatbreccia, halite matrix	FBrcH
			Disintegrated, heavily fractured/fault rock	DisFR
			Disintegrated, artificially broken core	CDisAB

Abb. 109: Lithofaziesschema mit Symbolen und Farben aller Lithofaziestypen (LFT)

Dieses Schema wurde in den Komposite Profilen (Beilagen 1 bis 10) wie auch in den Korrelationsprofilen und in Figuren im Bericht verwendet.

3.3.1 Kalkstein laminiert bis dünn geschichtet

Hauptmerkmale	Fein laminiert mit planaren Laminae (Abb. 110)
Vorkommen	Schinznach Fm
Schichtdicke	mm bis ~10 cm
Engl./Abkürzung	Limestone laminated to thin bedded / LstLT
Verwandter LFT	LstMT

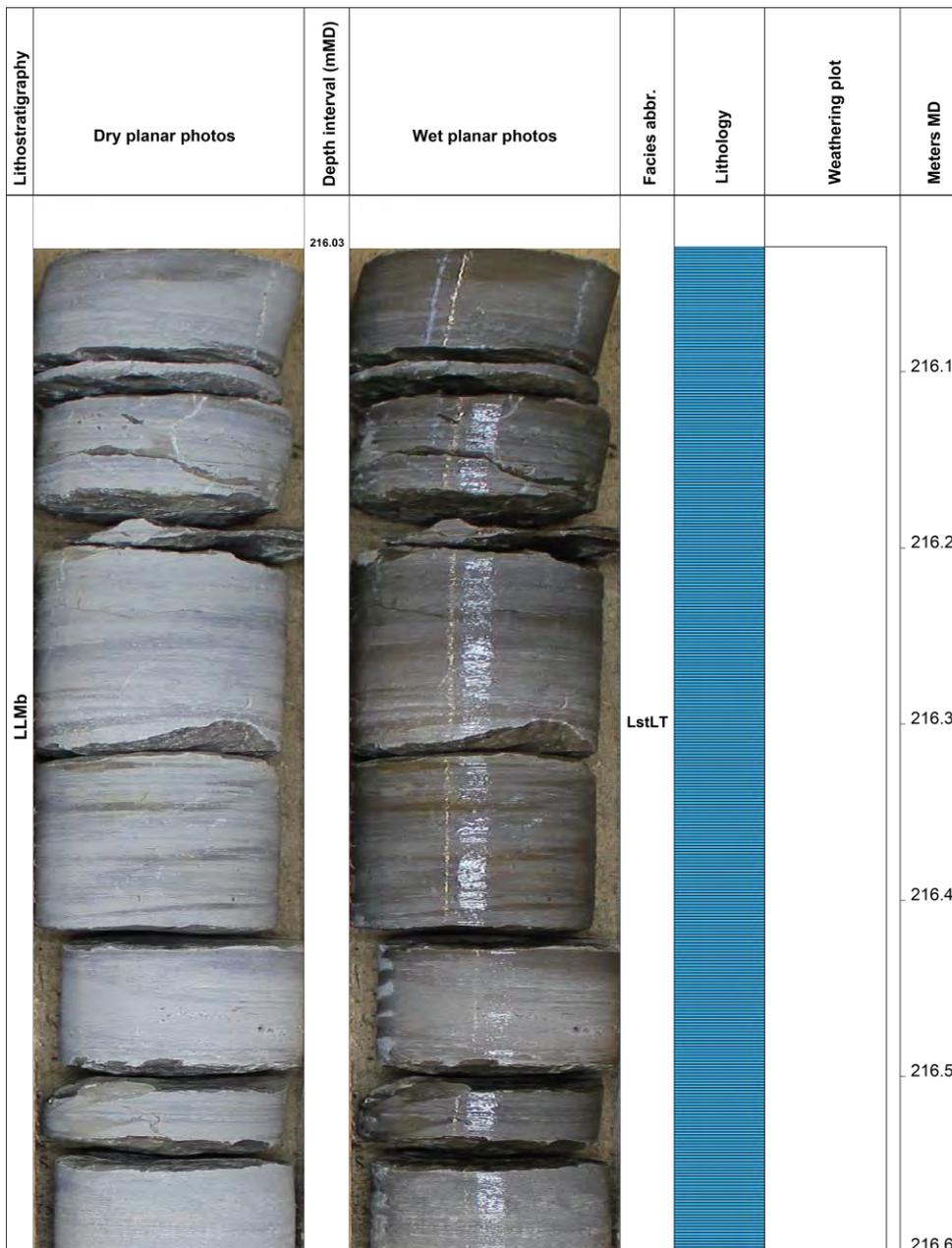


Abb. 110: Kalkstein fein laminiert (S 144)

3.3.2 Kalkstein mittel bis grob gebankt

Hauptmerkmale	Gut gebankt bis teils massiv, strukturlos. Kann irreguläre, knollige Schichtflächen aufweisen (dolomitisierte Schichtfugen; Abb. 111)
Vorkommen	Schinznach Fm
Schichtdicke	~10 cm bis 1 m
Engl./Abkürzung	Limestone medium to thick bedded / LstMT
Verwandter LFT	LstLT, Lst MTV

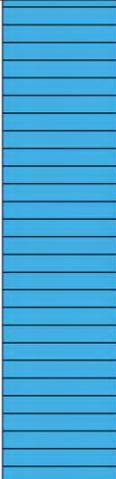
Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval (mMD)	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
LLMb		212.3 - 212.4		LstMT			212.3 - 212.4
		212.5 - 212.6		LstMTV			212.5 - 212.6

Abb. 111: Kalkstein grob gebankt oberhalb 212.56 m und porös unterhalb 212.56 m (S 144)

3.3.3 Kalkstein porös, mittel bis grob gebankt

Hauptmerkmale	Gebankt bis teils massiv. Mit deutlicher sekundärer Porosität und schichtgebundenen, zahlreichen mm- bis cm-großen, rundlichen Poren. Diese scheinen verfüllt zu sein (Abb. 112)
Interpretation	Poren in Karbonaten sind auf Zirkulation aggressiver Fluide und tiefgründige Korrosion zurückzuführen und deuten auf eine schichtgebundene diagenetische Überprägung hin. Offene Poren können als laterale Fluidpfade agieren und/oder Spülungsverluste verursachen. Beachte, Poren können auch gelöste Anhydritknollen sein
Vorkommen	Schinznach Fm
Schichtdicke	>10 cm bis 1 m
Engl./Abkürzung	Limestone medium to thick bedded, vuggy / LstMTV
Verwandter LFT	LstMT

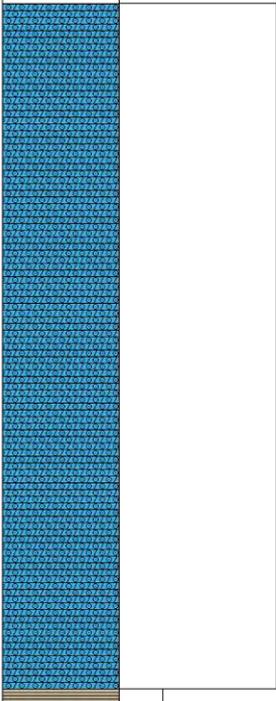
Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval (mMD)	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
LLMb		240.03		LstMTV			240.1
		240.2					
		240.3					

Abb. 112: Kalkstein porös, grob gebankt (S 144)

3.3.4 Dolomit laminiert bis dünn geschichtet

Hauptmerkmale	Fein laminiert mit planaren, schichtparallelen Laminae (Abb. 113)
Vorkommen	Übergangsschichten
Schichtdicke	mm bis ~10 cm
Engl./Abkürzung	Dolomite laminated to thin bedded / DstLT
Verwandter LFT	DstMT

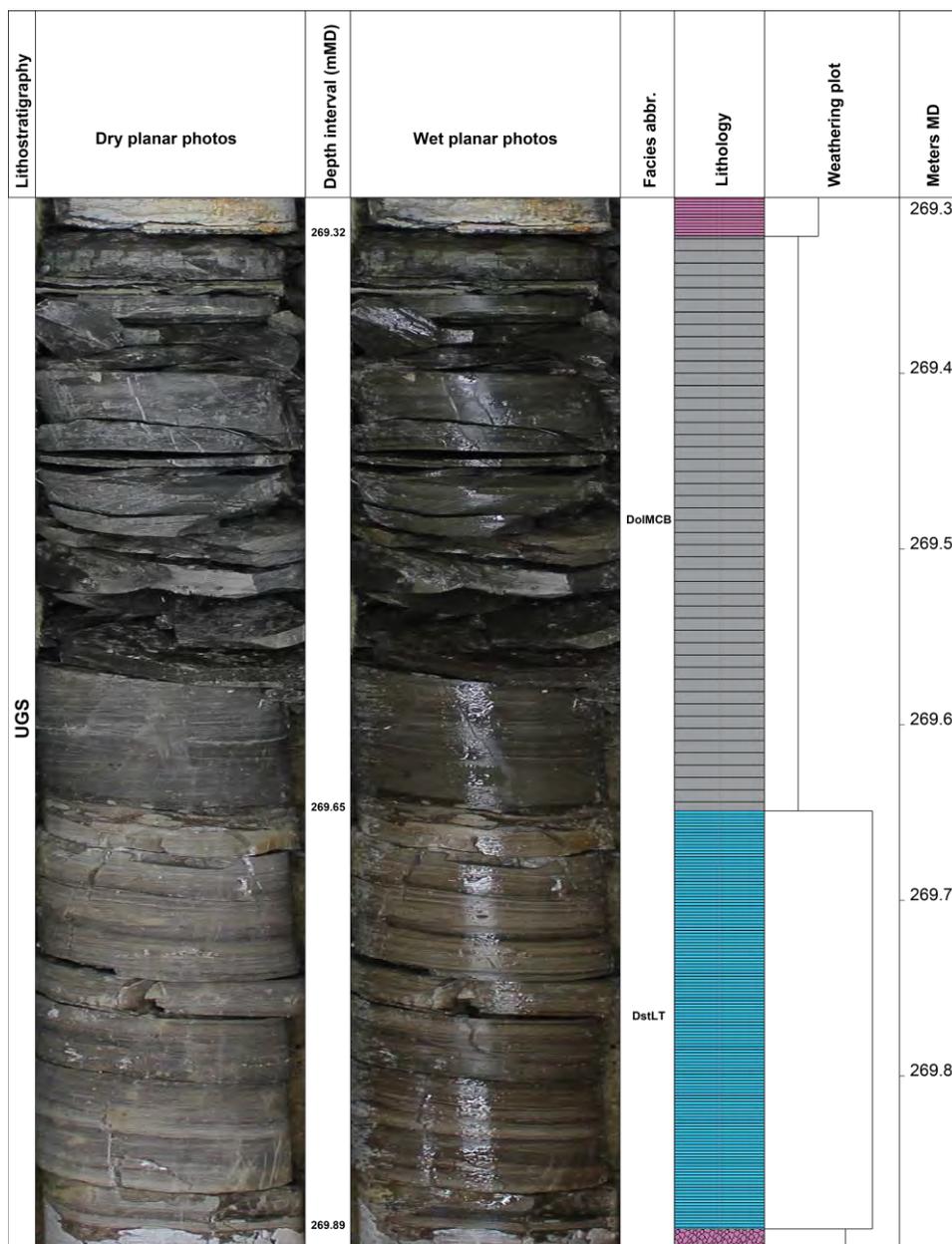


Abb. 113: Dolomit laminiert (DolLT) unterhalb 269.65 m und dolomitischer Mergel/Ton (DolMCB) oberhalb (S 144)

Die Grenze der beiden LFT ist durch den klaren Farbkontrast (grau/schwarz vs. braun) gekennzeichnet.

3.3.5 Dolomit mittel bis grob gebankt

Hauptmerkmale	Gut gebankt bis teils massiv (Abb. 114)
Vorkommen	Übergangsschichten
Schichtdicke	~10 cm bis ~1 m
Engl./Abkürzung	Dolomite medium to thick bedded / DstMT
Verwandter LFT	DstGyp

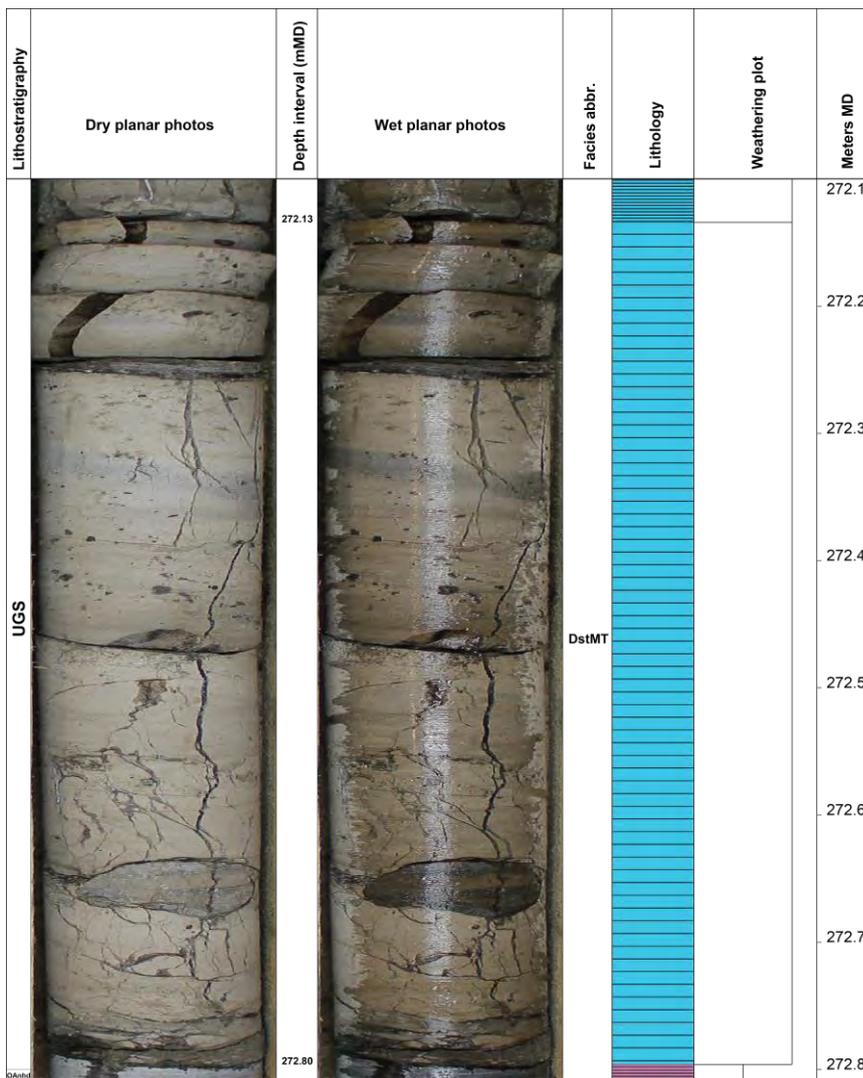


Abb. 114: Dolomit grob gebankt in S 144

Der Dolomit repräsentiert die Basis der UGS (Kontakt zu OAnhd bei 272.80 m). Die vertikalen Klüfte scheinen mit dunklem Material (Anhydrit?) verfüllt zu sein. Die Klüfte terminieren an Schichtflächen bei z.B. 272.25 m

3.3.6 Dolomit Gips führend

Hauptmerkmale	Graubeige bis grau Dolomite, fein laminiert bis gebankt. Weist Gips in Form von Lagen, Füllungen von Zerrklüften, Knollen und Knöllchen auf (Abb. 115)
Vorkommen	Ausschließlich in gekernten Übergangsschichten der S 144 und S 146
Schichtdicke	~1 cm bis ~1 m
Engl./Abkürzung	Dolomite gypsum bearing / DstGyp
Verwandter LFT	DstMT

Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval (mMD)	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
UGS				DstGyp			299.2
							299.3
							299.4
							299.5
							299.6
		299.62					

Abb. 115: Dolomit mit Gips als Kluffüllung in S 146

3.3.7 Anhydrit knollig, chicken-wire

Hauptmerkmale	Anhydrit mit unregelmäßigen Knollen. Die Knollengrößen bewegen sich im mm-bis cm-Bereich. Dieser LFT umfasst alle Texturen, die auf sekundäre Evaporit Bildung im Kapillarsaum hindeuten (d.h. chicken-wire, einzelne Anhydrit-Knollen und enterolithische (stark wellig) Strukturen (Abb. 116 & Abb. 117))
Interpretation	Knollen (nodules) entstehen durch sekundäres Mineralwachstum von Gips in bestehendem, zumeist tonigem Sediment. Die Knollen wachsen dabei im Kapillarsaum des trockenliegenden Sediments. Gips fällt dabei aus einem übersättigten Fluid aus, das aufgrund der Evaporation einen aufwärts gerichteten Strom aufweist. Je nach Anteil der Gipsknollen im Sediment können diese ein Maschengefüge (chicken-wire) bilden. Knollen, chicken-wire und enterolithische Falten sind Anzeiger einer mudflat- oder Sabkha-Fazies.
Vorkommen	Unteren und Oberen Anhydritschichten, einzelne Lagen im Salzlager und Brekzien
Schichtdicke	~1 cm bis max. 1 m
Engl./Abkürzung	Anhydrite nodular, chicken-wire / AnhdCHW
Verwandter LFT	AnhdDef

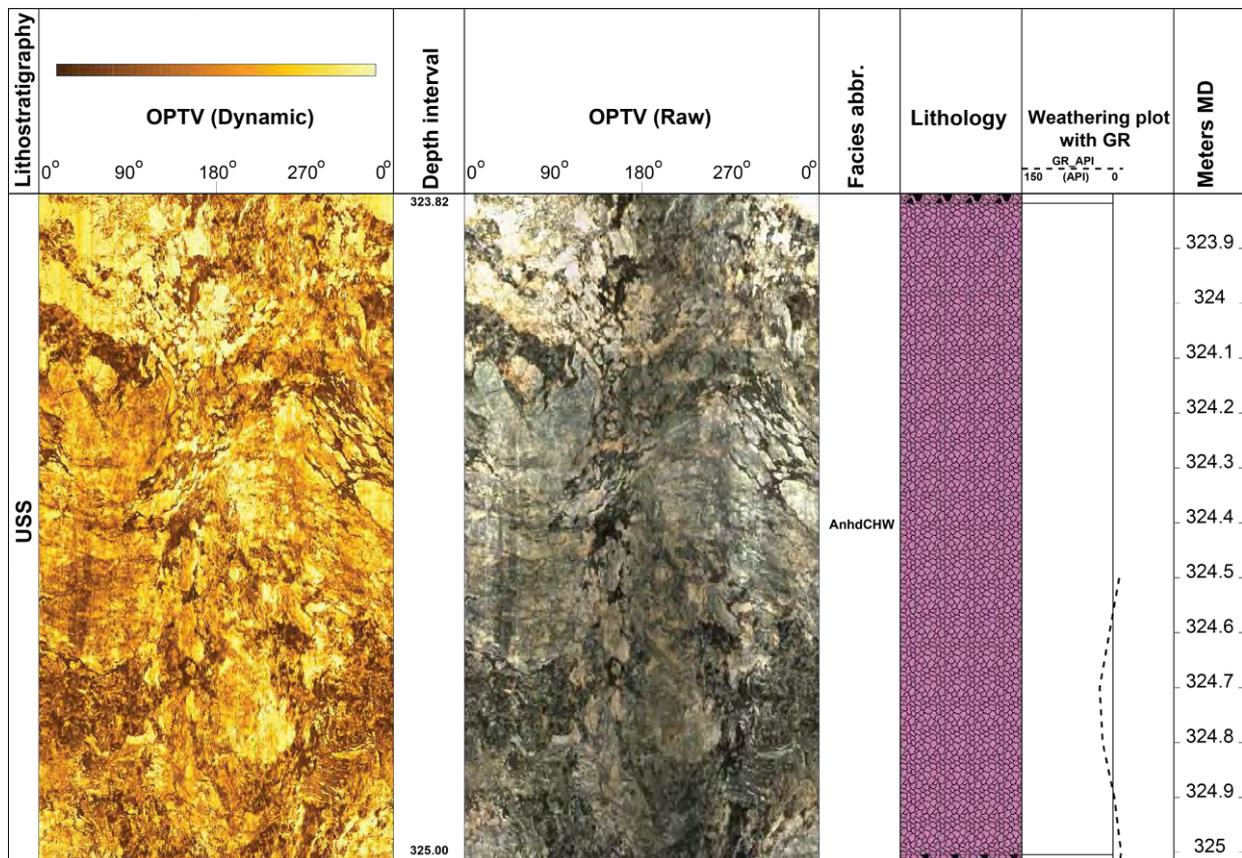


Abb. 116: Anhydrit knollig mit chicken-wire Strukturen im OPTV (S 142)

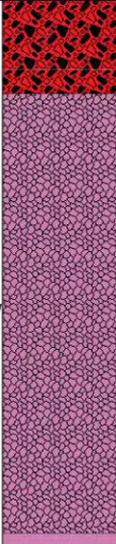
Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval (mMD)	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
UBrc		358.94		AnhdCHW			358.9
		359.13					359

Abb. 117: Anhydrit mit Knollen und chicken-wire Strukturen im Bohrkern (S 149)

3.3.8 Anhydrit massiv

Hauptmerkmale	Massiv, homogen und strukturlos, ohne erkennbare Lamination
Vorkommen	Untere und Obere Anhydritschichten
Schichtdicke	>1 m
Engl./Abkürzung	Anhydrite massive / AnhdM
Verwandter LFT	AnhdLT

Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
UAnhd				AnhdM			322.2
							322.3
							322.4
							322.5
							322.6
		322.71					322.7

Abb. 118: Anhydrit massiv in S 145

3.3.9 Anhydrit deformiert

Hauptmerkmale	Teils versteilte bis sub-vertikale Schichtpakete mit graduellen und abrupten Änderung im Schichteinfallen. Oftmals klare spröde (Störungen) und duktile (Falten) Verformung. Auch nicht planare und schichtinterne Verfältelung (convolute bedding) wurde beobachtet (Abb. 119)
Interpretation	Die Deformation ist auf drei Mechanismen zurückzuführen: (1) "Späte" Tektonik (Jurafaltung) , wodurch das primäre schichtparallele Gefüge durch eindeutige spröde Brüche und/oder viskose Deformation durch Verfaltung oder Schichtschleppung überprägt ist. (2) Massenbewegung (slumping) kurz nach der Ablagerung v.a. subaquatischer Schichten synsedimentärer Tektonik. (3) Diagenese und sekundäre Evaporit Bildung (nodules), wodurch das primäre Sedimentgefüge gestört wird
Vorkommen	Untere und Obere Anhydritschichten
Schichtdicke	~1 cm bis max. 0.5 m
Engl./Abkürzung	Anhydrite deformed / AnhdDef
Verwandter LFT	AnhdCHW, FBrcH

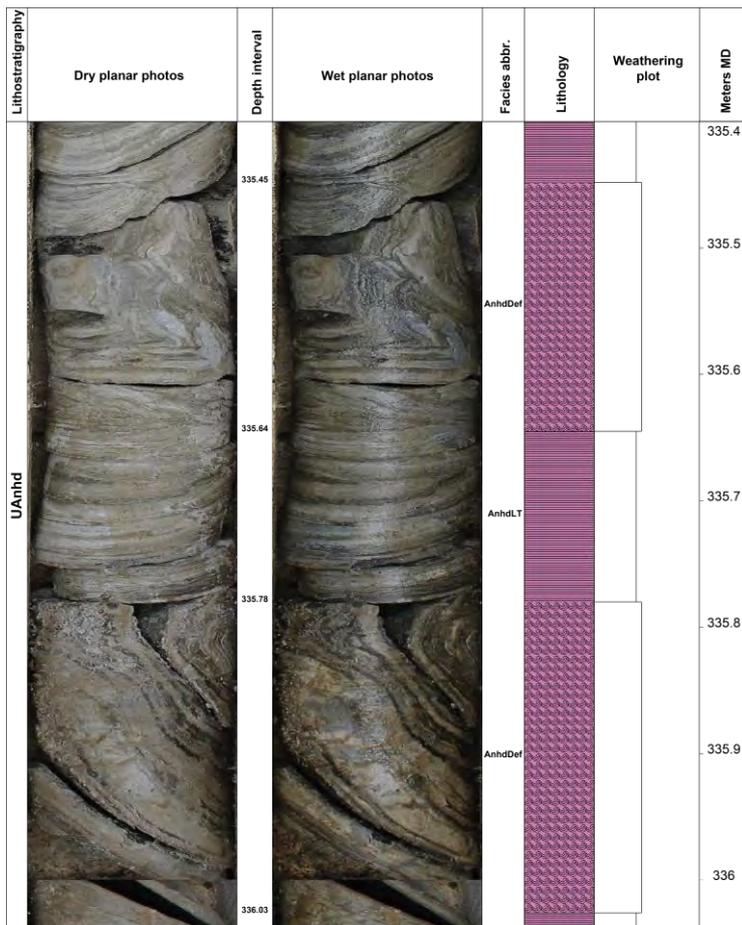


Abb. 119: Anhydrit deformiert (AnhdDef) und laminiert (AnhdLT) im Bohrkern der S 150
Die deformierten Bereiche sind auf Verfaltung und Schichtschleppung zurückzuführen.

3.3.10 Anhydrit laminiert bis dünn geschichtet

Hauptmerkmale	Fein laminiert mit planaren, schichtparallelen Laminae (Abb. 119)
Vorkommen	Untere und Obere Anhydritschichten
Schichtdicke	mm bis ~10 cm
Engl./Abkürzung	Anhydrite laminated to thin bedded / AnhdLT
Verwandter LFT	AnhdM

3.3.11 Halit grobkristallin, deformiert, stark verunreinigt (60-0 Vol.% Halit)

Hauptmerkmale	Grobkristallines, stark verunreinigtes Steinsalz, mit einem sehr hohen Anteil an unlöslichen Rückständen und chaotischer Verteilung. Der Halitgehalt ist stellenweise sehr variabel zw. 60 – 0 Vol.%. Salz ist oftmals rötlich und ist mit einem Geflecht aus duktil deformierten Anhydrit oder Mergel umhüllt. Der Anhydrit/Mergel Anteil ist variabel (Abb. 120). Salzkristalle sind mm- bis cm-groß, teils gerundet bis kubisch und idiomorph. Analog Salzklasse 5 und 6 nach Widmer (1991)
Interpretation	Starke diagenetische Umwandlung und Verdrängung des Primärsediments (Anhydrit-/ Mergelschlamm) durch Salzbildung in saline mudflat Fazies analog des für chicken-wire beschriebenen Prozesses, jedoch mit einem an Halit übersättigten Fluid. Wiederholtes Wachstum neuer Salzkristalle und Lösung derselben nach Verdünnung mit ungesättigtem Fluid kann zu einer vollständigen Auslöschung primärer Sedimentstrukturen führen (Haloturbation).
Vorkommen	Ausschließlich in den Unteren Salzschiechten
Schichtdicke	~dm bis ~1 m
Engl./Abkürzung	Halite coarse grained, deformed, major impurity 60-0% / HltCDef60-0
Verwandter LFT	Hlt60-0, FBrcH

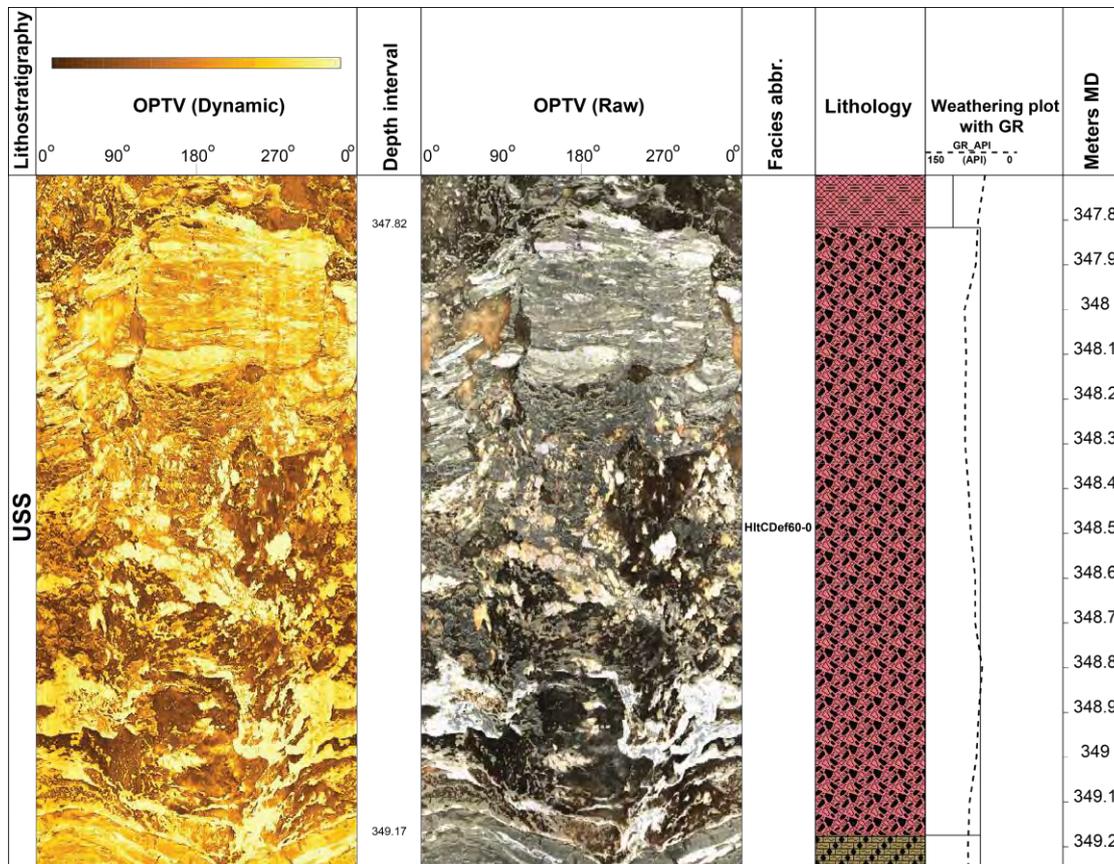


Abb. 120: Halit grobkristallin und stark verunreinigt (60-0%). Bohrung S 144

3.3.12 Halit pur (100-80 Vol.% Halit)

Hauptmerkmale	Reines Steinsalz mit >80 Vol.% Halitgehalt. Umfasst alle beobachteten Kristallgrößen (körnig, fein- bis grobkristallin), Formen (elongiert, kubisch) und Farben (milchigweiss, grau, rötlich, hell und dunkel). Kann Spuren von unlöslichen Rückständen (Anhydrit/Mergel) oft in Form von schichtparallelen Lagen (Bedding Indikatoren) aufweisen, jedoch <20 Vol.%. (Abb. 121, Abb. 122 und Abb. 123) Analog Salzklasse 2, 3 und 4 nach Widmer (1991)
Interpretation	Abgelagert in einer zentralen / landfernen salt pan (Becken) Fazies, wo ein relativ reines Salz in z.T. tieferem Wasser abgelagert wird und erhalten bleibt
Vorkommen	USS (höchste Mächtigkeiten im basalen Salzlager)
Schichtdicke	~cm bis mehrere 10er Meter
Engl./Abkürzung	Halite pure, 100-80% / Hlt100-80
Verwandter LFT	Hlt80-60

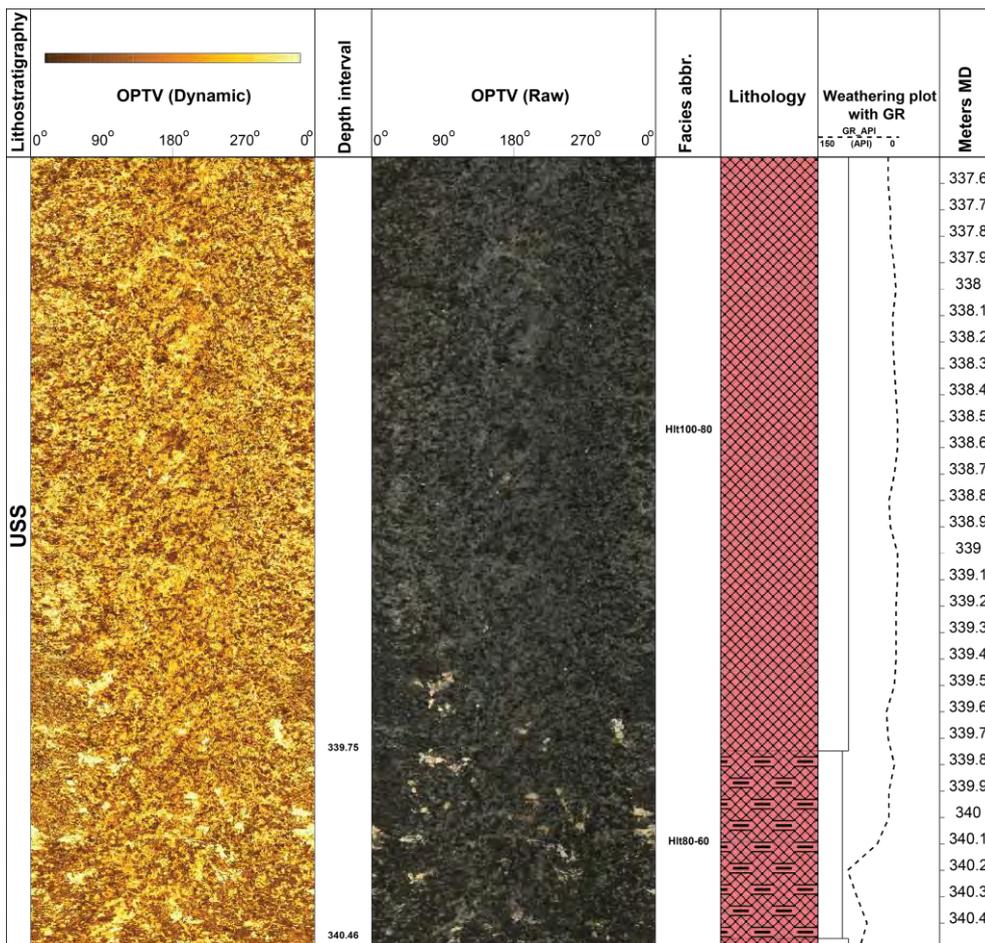


Abb. 121: Reines Steinsalz oberhalb 339.75 m und wenig verunreinigter Steinsalz unterhalb (S 142)

Beachte den graduellen Übergang zwischen den beiden LFT und die kantigen Anhydrit Klaster unterhalb 339.75 m (Übergang zu FBrcH).

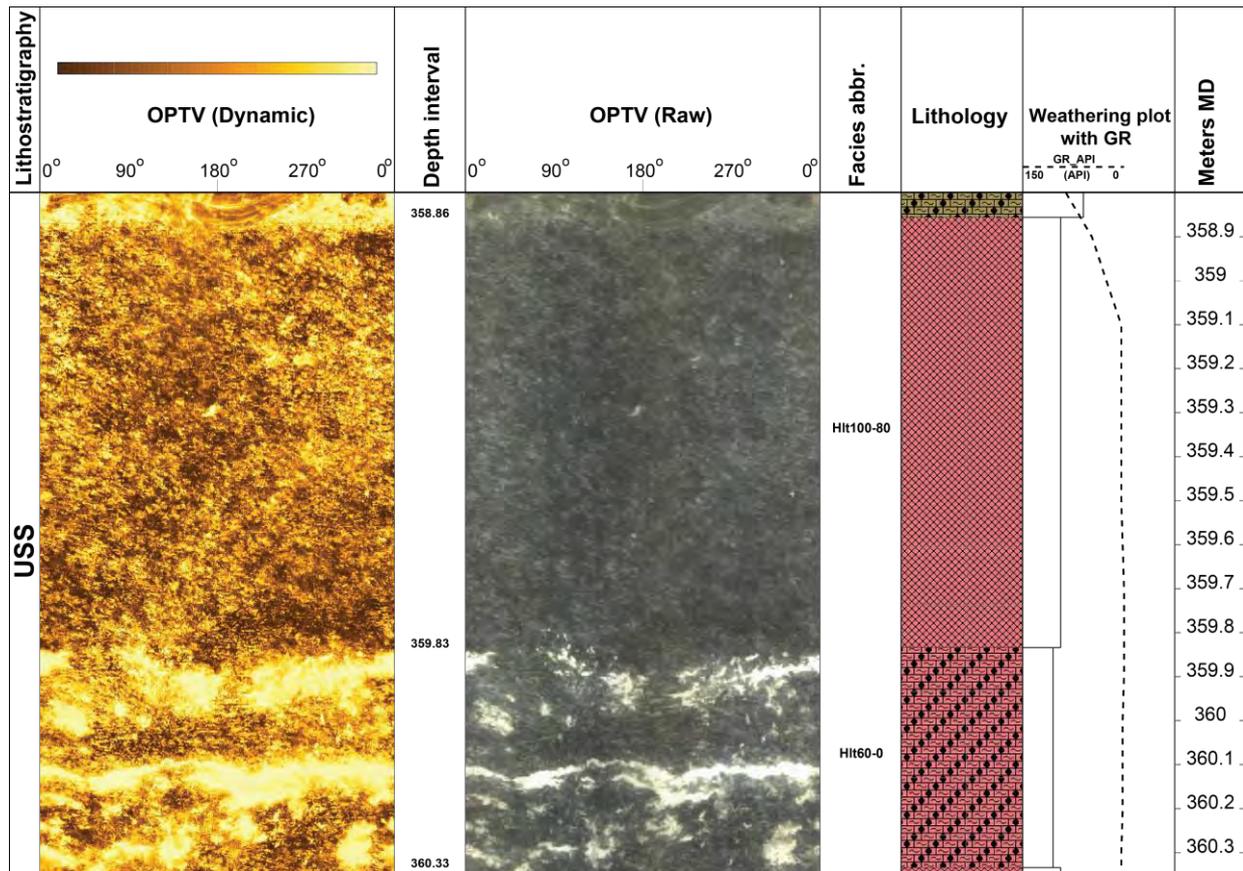


Abb. 122: Reines Steinsalz oberhalb 359.83 m und stark verunreinigtes Salz drunter (S 145)

Beachte die scharfe Grenze zwischen den beiden LFT bei 359.83 m und die durchgehenden Anhydrit (weiß) unterhalb 359.83 m.

Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD	
UB _{7c}		326.12					326.1	
								326.2
								326.3
								326.4
								326.5
								326.6
								326.7

Abb. 123: Reines Steinsalz im Salzdach der S 144

Die sub-horizontal bis schräg gelagerten unlöslichen Anhydrit/Mergel Rückstände (Säume) repräsentieren Bedding Indikatoren. Diese wurden auf den OPTV Scans als SELVAGE-LAMIN und SELVAGE-DEF gepickt.

3.3.13 Halit wenig verunreinigt (80-60 Vol.% Halit)

Hauptmerkmale	Steinsalz mit >80-60 Vol.% Halitgehalt. Weist unlösliche Rückstände von Anhydrit und/oder Mergel in Form von chaotisch gelagerten, Matrix-gestützten Klasten oder schichtparallelen, diskreten Säumen (Bedding Indikatoren) auf, jedoch mit <40 Vol.%. Optisch überwiegt der Halitanteil deutlich (Abb. 121) Analog zur Salzklasse 2, 3 und 4 nach Widmer (1991)
Interpretation	Analog zu Hlt100-80 abgelagert in einer zentralen salt pan (Becken) Fazies, wo ein relativ reines Salz in z.T. tieferem Wasser abgelagert wird
Vorkommen	USS
Schichtdicke	~cm bis mehrere Meter
Engl./Abkürzung	Halite minor impurity, 80-60% / Hlt80-60
Verwandter LFT	Hlt100-80, FBrcH

3.3.14 Halit stark verunreinigt (60-0 Vol.% Halit)

Hauptmerkmale	Stark verunreinigtes Steinsalz mit <60 Vol.% Halitgehalt. Hoher Anteil an unlöslichen Rückständen/Lösungssäumen von Anhydrit oder Mergel in Form von chaotisch verteilten Klasten mit variablen Rundungen und Korngrößen. Enthält schichtparallele Fugen (Bedding Indikatoren) und gar Faltenstrukturen. Teils em-grosse Salzkristalle, dessen Grenzen durch o.g. Verunreinigungen definiert werden (Abb. 122, Abb. 124 und Abb. 125) Analog Salzklasse 5 und 6 nach Widmer (1991)
Interpretation	Hoher Anteil an Anhydrit/Mergel deutet auf Ablagerung außerhalb der salt pan Fazies, innerhalb einer saline mudflat Randfazies. Analog zu HltCDef60-0 stellenweise Anzeiger auf diagenetische Verdrängung des Primärsediments durch sekundäres Halit-Kristallwachstum. Die häufigen und in Mächtigkeit sehr variablen unlöslichen Zwischenlagen (Abb. 125) können auf Änderungen des Wasserchemismus wie auch der Wasserenergie und des Eintrags terrigener Klastika zurückgeführt werden.
Vorkommen	USS
Schichtdicke	~cm bis mehrere Meter
Engl./Abkürzung	Halite major impurity, 60-0% / Hlt60-0
Verwandter LFT	HltCDef60-0, FBrcH

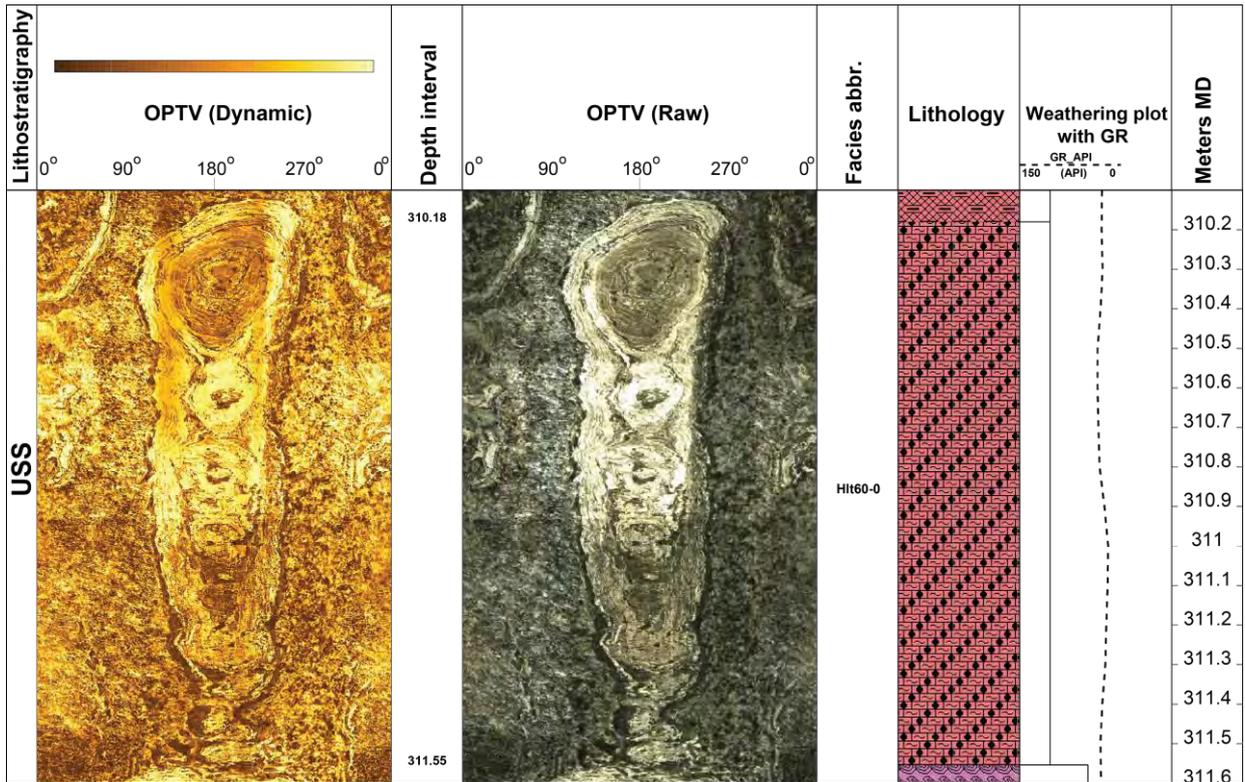


Abb. 124: Steinsalz stark verunreinigt mit fein laminierten Anhydrit sheath folds in S 141

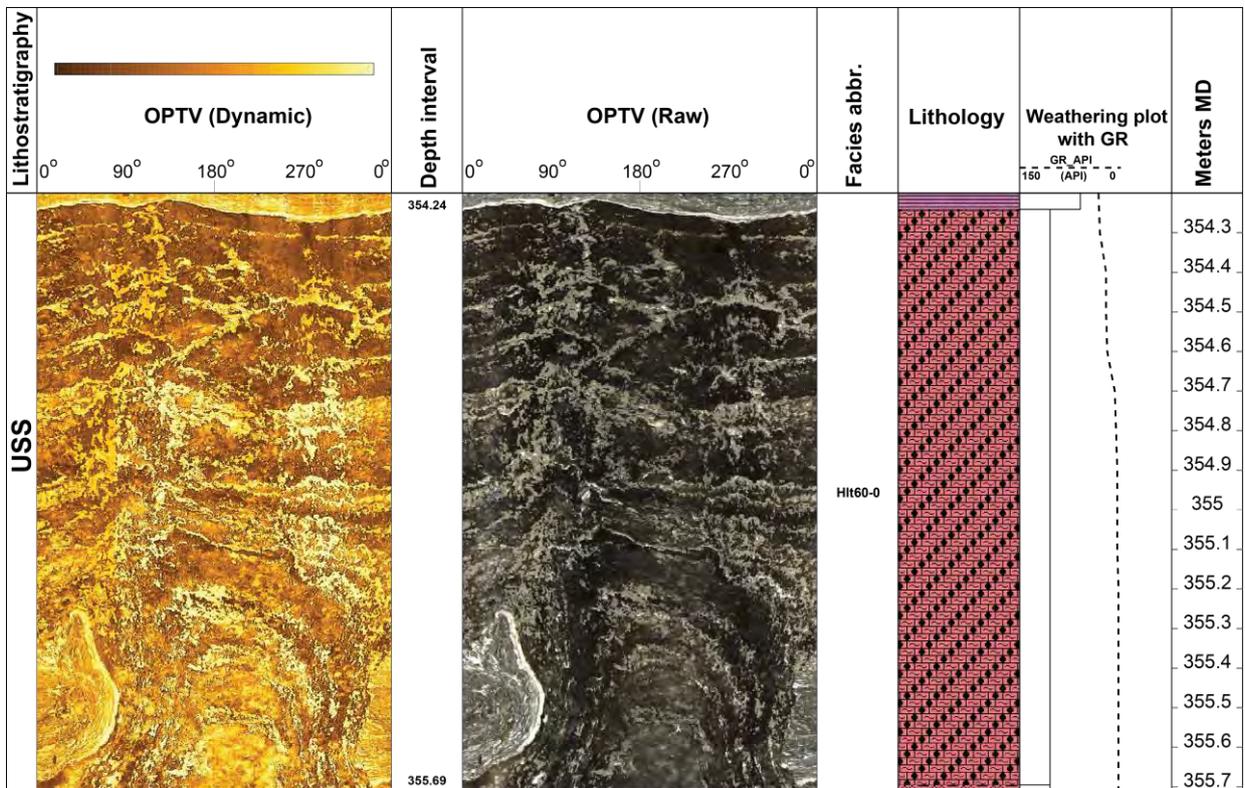


Abb. 125: Steinsalz stark verunreinigt in S 144

Die Verunreinigung geht auf unlösliche Anhydrit-Säume und einem gerundeten Klast bei 355.52 m zurück.

3.3.15 Tonstein zerklüftet bis brekziiert

Hauptmerkmale	<p>Tonstein zerklüftet bis brekziiert mit meist senkrecht zur Schichtung orientierten Klüften mit deutlichen Aperturen (mm- bis cm-Bereich). Diese spröde zerbrochenen Lagen sind typischerweise mit rötlichem Steinsalz verfüllt (Abb. 126). In wenigen Ausnahmefällen wurde Klüftfüllung aus grauem Halit oder Anhydrit beobachtet. Die Intensität der Klüftung variiert sehr stark von 1-2 Klüften bis hin zu völlig zerklüfteten/zerbrochenen Lagen.</p> <p>Typischerweise assoziiert mit deutlichen Strahlungsspitzen des GR Logs</p>
Interpretation	<p>Die Klüftung kann auf Rheologieunterschiede und das sprödes Verhalten der kompetenten, tonreichen Lagen im Zuge tektonischer Beanspruchung (Extension) zurückgeführt werden.</p> <p>Das rötliche Steinsalz deutet auf sekundäre Füllung mit Eisen-reichen Salz (diagenetische Fe-Ausfällung) unter oxidierenden Verhältnissen hin</p>
Vorkommen	Ausschließlich in USS; weit verbreitet
Schichtdicke	Variabel: cm bis >1 m
Engl./Abkürzung	Claystone brecciated-fractured / ClstBrcF
Verwandter LFT	ClstDef, FBrcA, DisFR

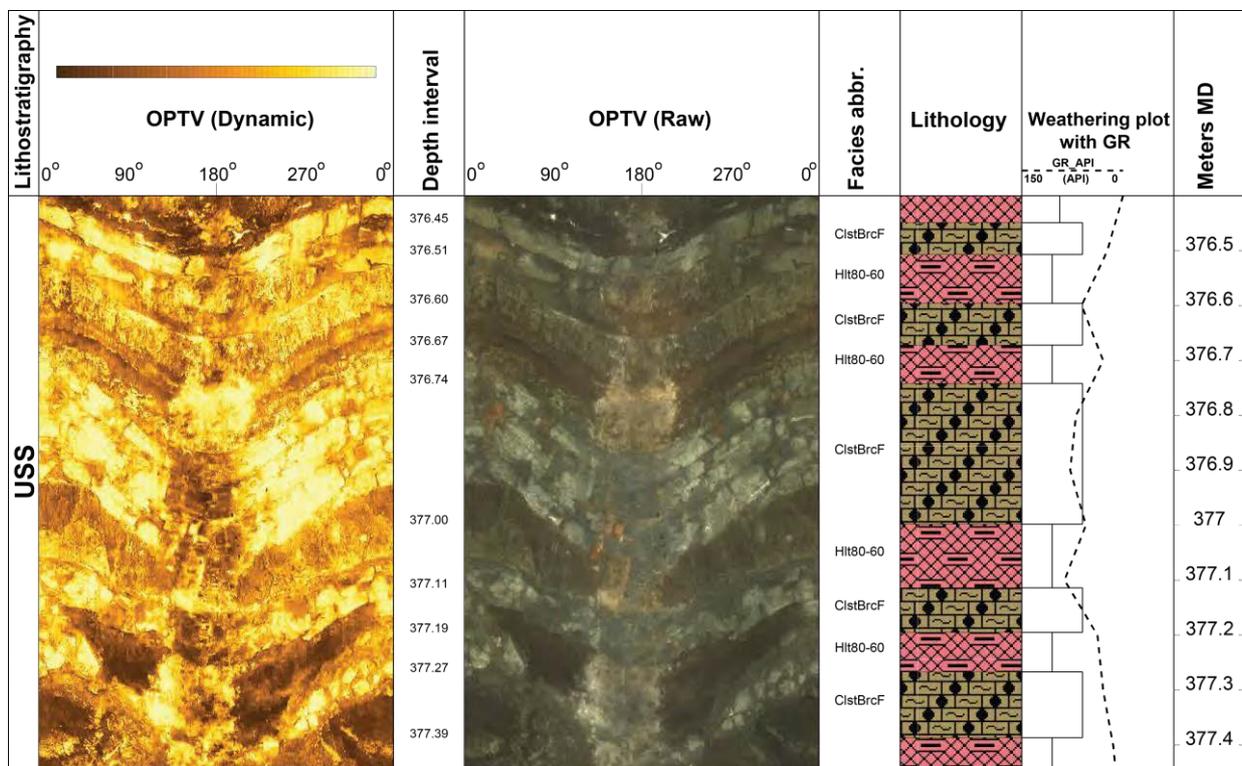


Abb. 126: Zerklüfteter Ton- bzw. Mergelstein (olivgrün) mit Salzstein Zwischenlagen (S 149)

3.3.16 Tonstein laminiert bis dünn geschichtet

Hauptmerkmale	Feinlaminiertes, plan-paralleles Tonstein/ Mergelstein mit mm bis cm dünnen Laminae; hoher und scharfer Kontrast der Schichtlagen im OPTV (Abb. 127) Assoziiert mit deutlichen Strahlungsspitzen des GR Logs
Vorkommen	Ausschließlich in USS
Schichtdicke	mm bis ~10 cm
Engl./Abkürzung	Claystone laminated to thin bedded / ClstLT
Verwandter LFT	ClstDef oder ClstM

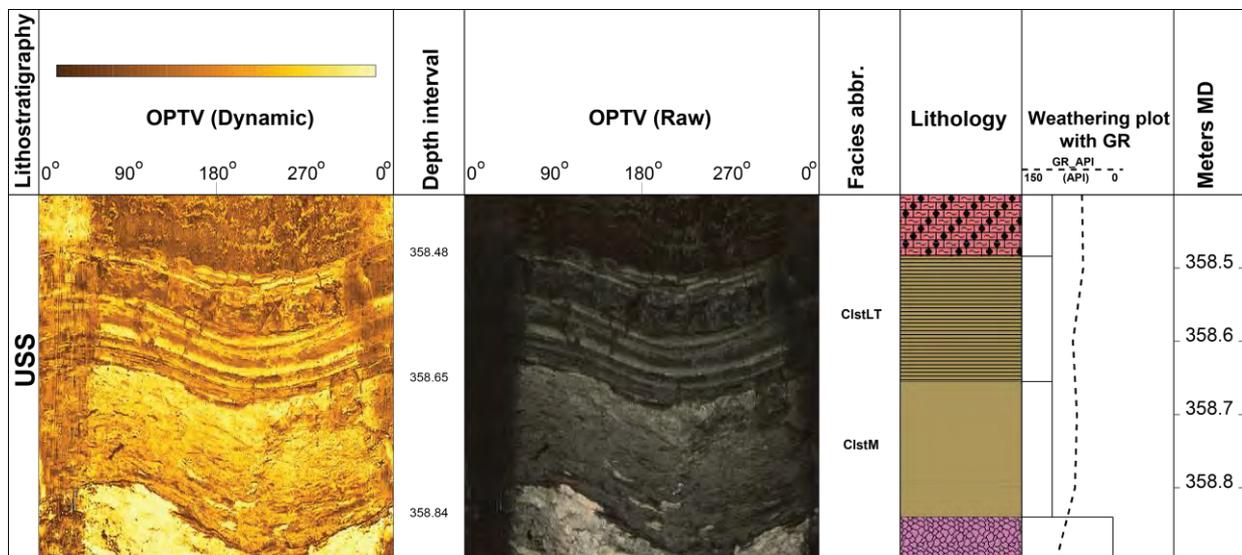


Abb. 127: Laminiertes (ClstLT) und massives (ClstM) Tonstein (beide olivgrün) in S 150

3.3.17 Tonstein massiv

Hauptmerkmale	Homogener und strukturloser Tonstein/ Mergelstein ohne erkennbares Lamine (Abb. 127) Assoziiert mit deutlichen Strahlungsspitzen des GR Logs
Vorkommen	Ausschließlich in USS
Mächtigkeit	>10 cm bis >1 m
Engl./Abkürzung	Claystone massive / ClstM
Verwandter LFT	ClstDef

3.3.18 Tonstein deformiert

Hauptmerkmale	Tonstein/Mergelstein in Steillagerung bzw. durch spröde und/oder duktile tektonische Deformation stark beansprucht (Abb. 128). Das primäre, sedimentäre Gefüge ist oftmals überprägt und schwer erkennbar. Im Gegensatz zu ClstBrcF, sind die Trennflächen nicht mit rötlichen Halit verfüllt und zeigen variable Orientierung Assoziiert mit deutlichen Strahlungsspitzen des GR Logs
Vorkommen	Ausschließlich in USS
Schichtdicke	Variabel: cm bis m
Engl./Abkürzung	Claystone deformed / ClstDef
Verwandter LFT	ClstBrcF, DisFR

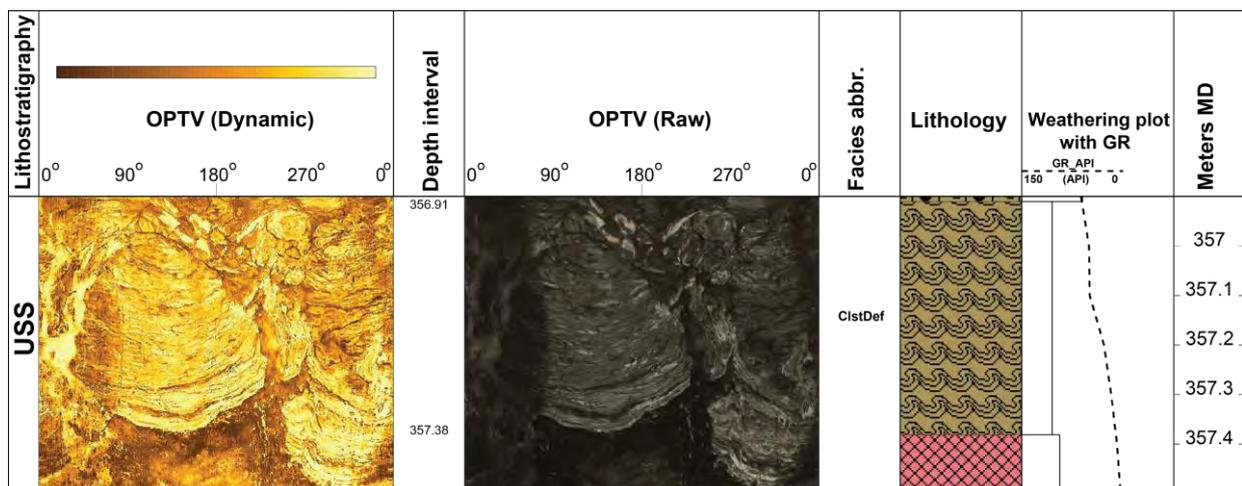


Abb. 128: Deformierter Tonstein in S 150

3.3.19 Mergel laminiert bis dünn geschichtet

Hauptmerkmale	Bräunlicher, feinlaminiertes, plan-paralleler geschichteter Mergelstein mit mm bis cm dünnen Laminae (Abb. 129)
Vorkommen	Untere und Obere Anhydritschichten
Schichtdicke	mm bis ~10 cm
Engl./Abkürzung	Marl laminated to thin bedded / MrILT
Verwandter LFT	ClstLT

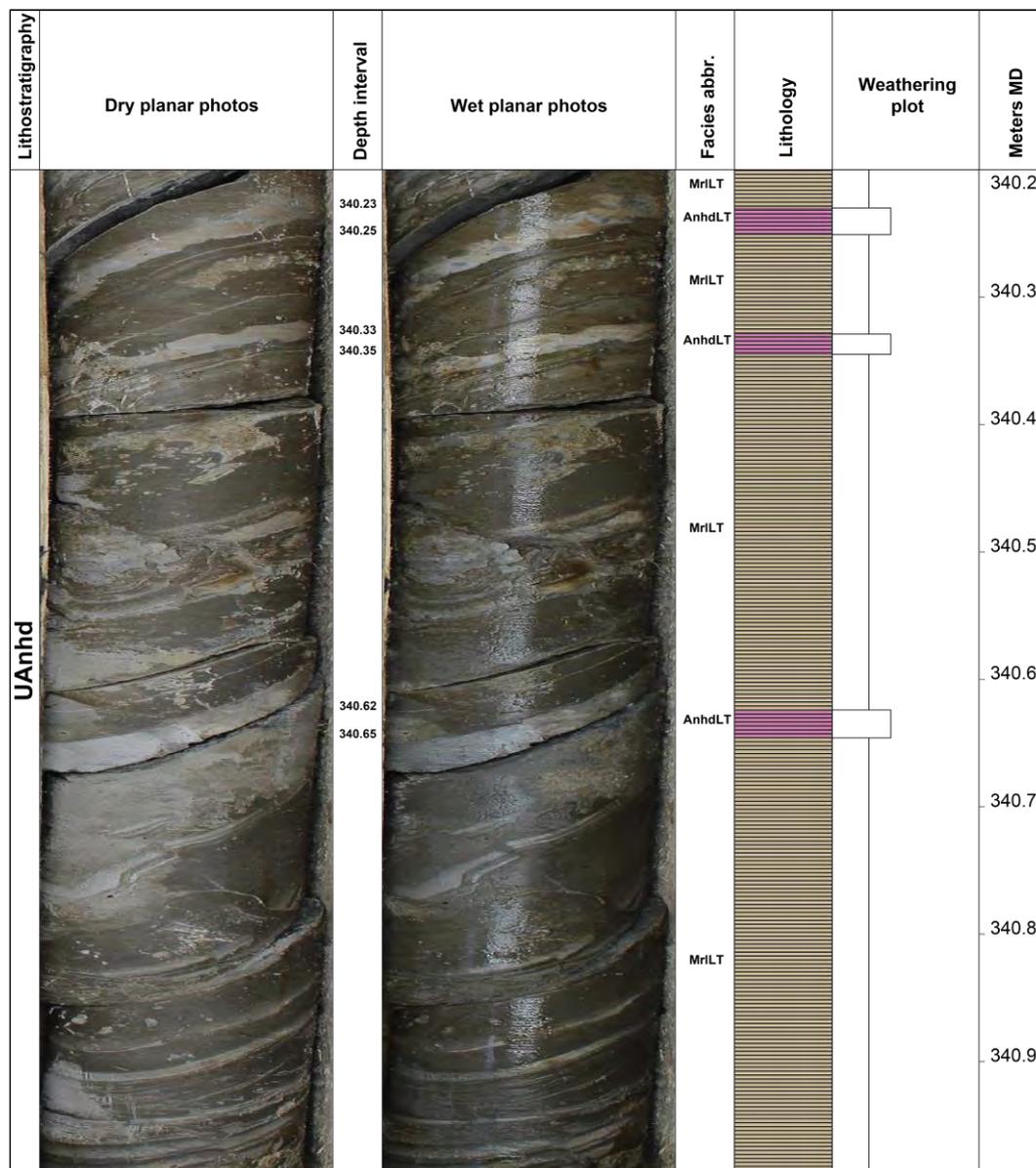


Abb. 129: Mergelstein laminiert in Vechsellagerung mit Anhydritlagen im Bohrkern der S 150

3.3.20 Dolomitischer Mergel / Tonstein, dünn bis gut gebankt

Hauptmerkmale	Bräunlicher, feinlaminiertes, plan-paralleles geschichtetes Mergelstein mit mm bis cm dünnen Laminae (Abb. 113)
Vorkommen	Obere Sulfatzone
Schichtdicke	mm bis ~10 cm
Engl./Abkürzung	Dolomitic marl/clay, thin to medium bedded / DolMCB
Verwandter LFT	DstLT

3.3.21 Komponenten-gestützte Brekzie (Packbreccia)

Hauptmerkmale	Kompakte Brekzie/ Konglomerat mit sich berührenden Komponenten. Die Letzteren haben variable Größen (mm- bis dm-Bereich) und Kantenrundungen. Die Komponenten können aus diversen Lithologien (Anhydrit, Dolomit, Ton-Mergelstein, Gips oder Salz) bestehen. Kann monomikt (Abb. 130) und/oder polymikt (Abb. 131) ausgebildet sein. Teils unkonsolidierte Schichtlagen
Interpretation	Mehrheitlich sedimentäre, insitu Subrosionsbrekzie (obere Partien von Kollapsbrekzien). Eine störungsbedingte-tektonische Brekzie wäre als DisFR bzw. als ClstBrcF (tonreiche Lagen) ausgeschieden
Vorkommen	Obere und Untere Brekzien sowie USS
Schichtdicke	Variabel: cm bis mehrere 10er Meter in O- bzw. UBrc
Engl./Abkürzung	Packbreccia / PBrc
Verwandter LFT	ClstBrcF, DisFR

Lithostratigraphie	Dry planar photos	Depth interval	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
OBrc		292.38		FBrCA			292.3
							292.4
							292.5
				PBrC			292.6
							292.7
		292.81					292.8

Abb. 130: Monomikte Komponenten-gestützte Brekzie in S 144 zw. 292-38 – 292.81 m

Beachte die scharfe Grenze zu FBrCA am Top bei 292.38 m. Die eckigen Komponenten bestehen hauptsächlich aus fein-laminierten Anhydrit.

Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
UBrc		358.94		PBrc			358.5
							358.6
							358.7
							358.8
							358.9

Abb. 131: Polymikte Komponenten-gestützte Brekzie im Bohrkern (S 149)

Die teils gut gerundeten Komponenten haben eine variable Größe (mm bis 20 cm) und bestehen aus Anhydrit, Ton und rötlichem Gips (?).

3.3.22 Matrix-gestützte Brekzie, tonreiche Matrix (Floatbreccia)

Hauptmerkmale	Ton-mergelreiche, Matrix-gestützte Brekzie/ Konglomerat («Komponenten schwimmen in der Matrix»). Die Komponenten bewegt sich im mm- bis zu 0.50 m im Durchmesser, weisen variabel Kantenrundungen auf und können aus Anhydrit oder Ton/Mergel bestehen. Kann polymikt und/oder monomikt ausgebildet sein (Abb. 132)
Interpretation	Sedimentäre, insitu Subrosionsbrekzie (obere Partien von Kollapsbrekzien). Eine störungsbedingte-tektonische Brekzie wäre als DisFR bzw. als ClstBrcF (tonreiche Lagen) ausgeschieden
Vorkommen	Obere und Untere Brekzien sowie USS
Schichtdicke	Variabel: cm bis mehrere 10er Meter in O- bzw. UBrc
Engl./Abkürzung	Floatbreccia, argilaceous matrix / FBrcA
Verwandter LFT	ClstBrcF, DisFR, PBrc

Lithostratigraphie	Dry planar photos	Depth interval	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
	UBrc				FBrcA		

Abb. 132: Polymikte Matrix-gestützte Brekzie in tonreicher Matrix (S 149)

3.3.23 Matrix-gestützte Brekzie, halitreiche Matrix (Floatbreccia)

Hauptmerkmale	Halitreiche, Matrix-gestützte Brekzie/ Konglomerat. Repräsentiert oftmals nicht durchgehende Schichtlagen (kleiner als Bohrlochdurchmesser). Die Komponenten haben eine variable Größe im mm- bis zu 0.50 m Bereich und variable Kantenrundungen. Sie bestehen aus Anhydrit oder Ton/Mergel. Kann polymikt und/oder monomikt ausgebildet sein (Abb. 133 und Abb. 134)
Interpretation	Kann auf diagenetische (sekundäre) Evaporit-Knöllchenbildung und/oder insitu Subrosionsbrekzie zurückgeführt werden (Anhydrit, Mergel/Ton Brocken). Eine störungsbedingte-tektonische Brekzie wäre als DisFR bzw. als ClstBrCF (tonreiche Lagen) ausgeschieden
Vorkommen	USS
Schichtdicke	cm bis dm
Engl./Abkürzung	Floatbreccia, halite matrix / FBrCH
Verwandter LFT	HltCDef60-0, Hlt60-0, PBrc

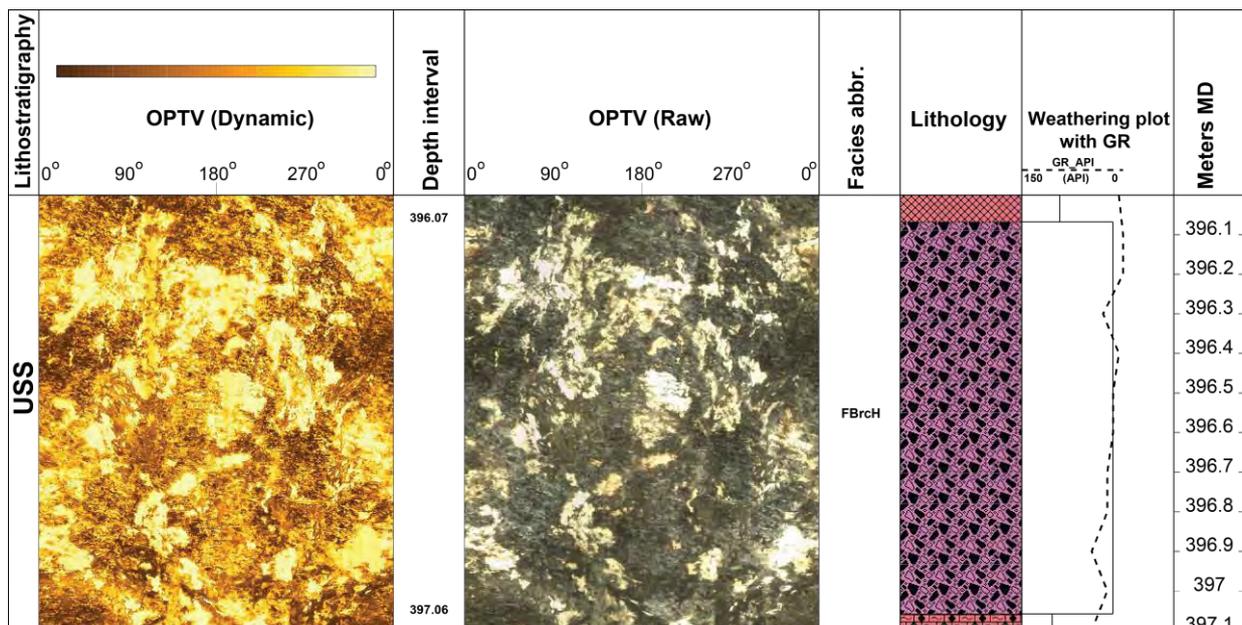


Abb. 133: Matrix-gestützte Brekzie (halitreiche Matrix) mit Anhydrit Klasten in S 149

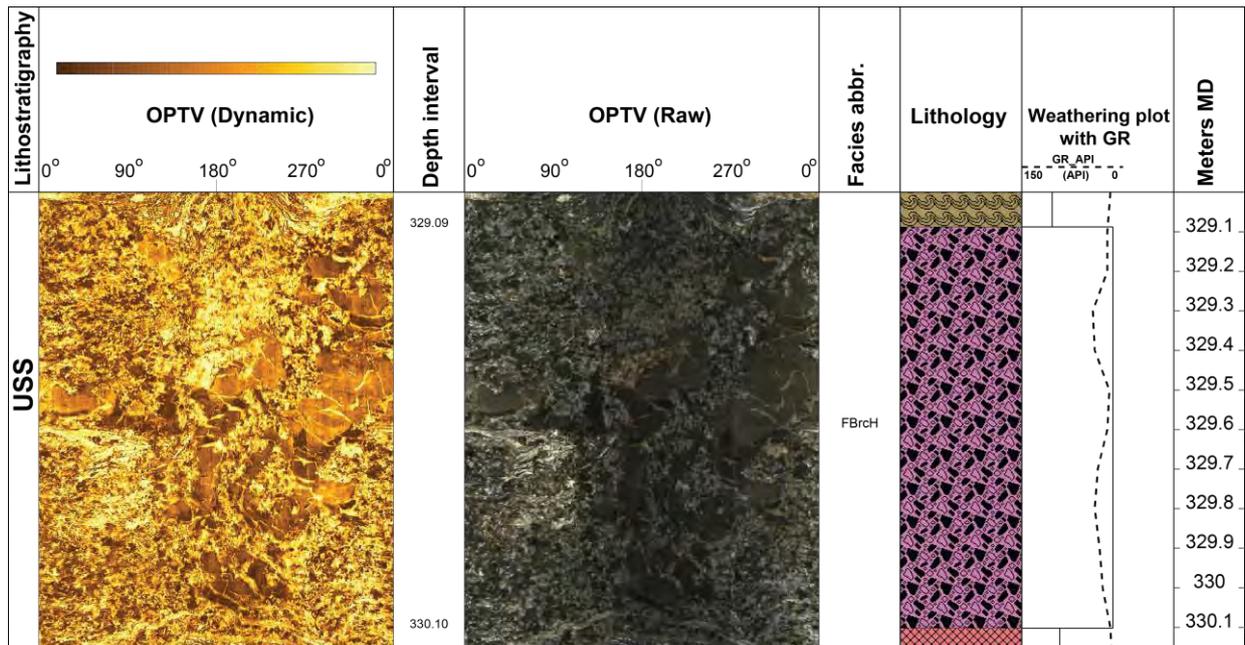


Abb. 134: Matrix-gestützte Brekzie (halitreiche Matrix) mit zerbrochenen Tonstein Brocken (S 142)

3.3.24 Tektonisches Störungsgestein, stark zerklüftet

Hauptmerkmale	<p>Dieser LFT wurde in (1) Bohrkernen und in (2) OPTV Strecken ausgeschieden:</p> <p>(1) Bohrkern völlig bis sehr stark zerfallenen/ inkohäsiv, wodurch das primäre Gesteinsgefüge und Textur nicht erkennbar sind. Die Kernbruchstücke weisen variable Größen (mm- bis dm-Bereiche) auf. Auf den Gesteinsbruchflächen sind potenzielle Rutschharnische zu erkennen, was auf tektonische Überprägung hindeutet (Abb. 84)</p> <p>(2) In OPTV (nur USS) stark zerklüftetes und sprödes Wirtsgestein, meist Anhydrit, Ton-/Mergelstein. Durch die intensive tektonische Überprägung ist das primäre Gesteinsgefüge nicht erkennbar (Abb. 135). Weitere Detailbeispiele für potenzielle viskos-spröde Scherzonen aus USS in OPTV Scans sind im Kap. 3.1 (Abb. 33, Abb. 34, Abb. 43, Abb. 44, Abb. 53, Abb. 54, Abb. 63, Abb. 72, Abb. 103 und Abb. 104) präsentiert</p>
Interpretation	Assoziiert mit potentiellen, komplexen Störungszonen (fault zones), die durch Störungsbrekzie, Gesteinsmehl (fault gouge) oder Störungsgestein (fault rock) in Bohrkernen und in den OPTV`s repräsentiert sind
Vorkommen	Alle Einheiten
Schichtdicke	cm bis m mächtige Intervalle
Engl./Abkürzung	Disintegrated, heavily fractured/fault rock / DisFR
Verwandter LFT	ClstBrcF, AnhdDef

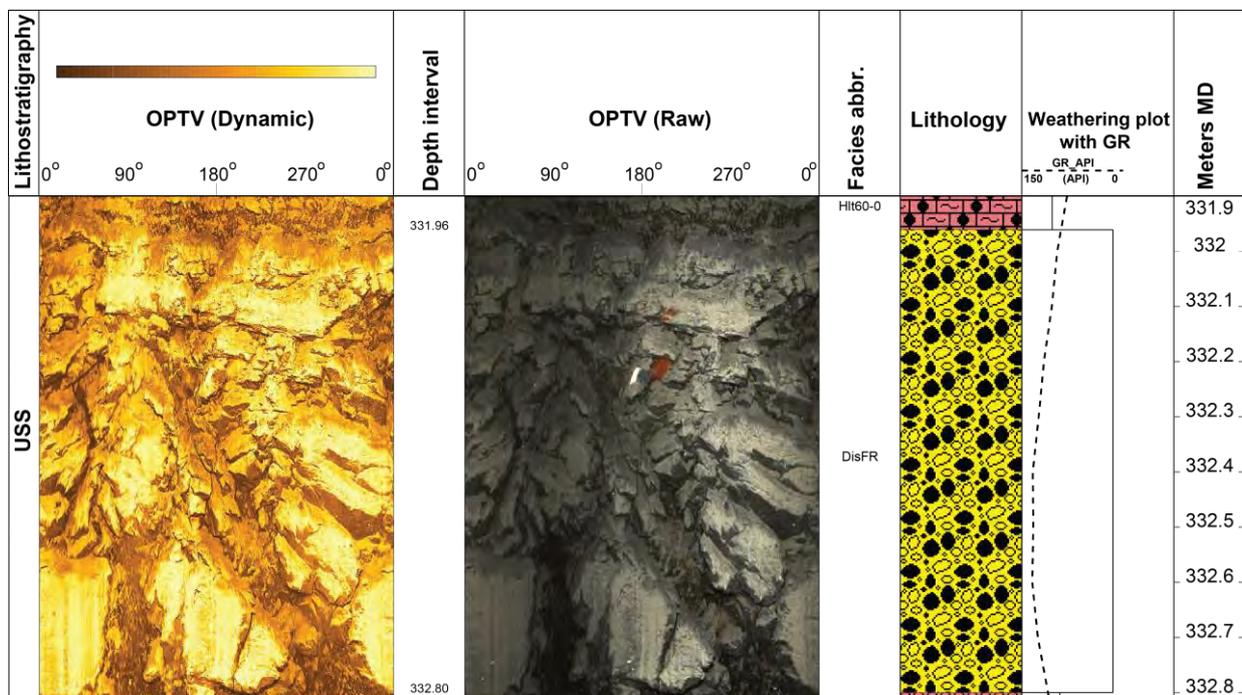


Abb. 135: Stark zerklüftetes, sprödes Ton-Mergelstein (Störungszone) in S 144

3.3.25 Bohrkern mechanisch zerbrochen

Hauptmerkmale	Ausgeschieden ausschließlich in gekernten Intervallen basierend auf planaren Kernfotos: Bohrkerne völlig bis sehr stark zerfallenen/ inkohäsive, wodurch das primäre Gesteinsgefüge nicht erkennbar ist. Der Hauptunterschied zu DisFR besteht darin, dass die tektonische Beanspruchung in Form von Rutschharnischen nicht eindeutig erkennbar ist (Abb. 136)
Interpretation	Intervalle, die auf mechanischen Kernzerfall zurückzuführen sind
Vorkommen	Gekernte Strecken im Hangenden der USS
Schichtdicke	cm bis m mächtige Intervalle
Engl./Abkürzung	Disintegrated, artificially broken core / CDisAB
Verwandter LFT	DisFR

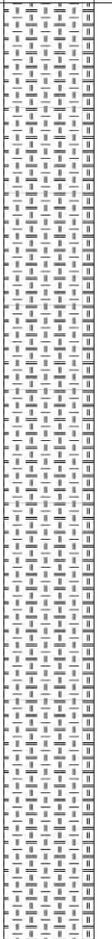
Lithostratigraphy	Dry planar photos	Depth interval	Wet planar photos	Facies abbr.	Lithology	Weathering plot	Meters MD
UGS				CDisAB			266.9
							267
							267.1
							267.2
							267.3
							267.4
							267.5
							267.6
						267.7	

Abb. 136: Mechanisch zerbrochener, inkohäsiver Bohrkern in S 144

4 Zusammenfassung, Vergleich und Interpretation

4.1 Grosszinggibrunn 2 und Rütihard

In dieser Sektion werden die strukturellen (Kap. 4.1.1) und lithologischen (Kap. 4.4.2) Beobachtungen der GZ2 Bohrungen untereinander sowie mit den Rütihard Bohrungen (S 156 und S 157) verglichen. Da für die beiden Rütihard Bohrungen keine Lithofaziesanalyse vorliegt, ist lediglich eine Strukturkorrelation möglich. Die Strukturresultate sind in der tektonischen Karte (Beilage 11) sowie in den W-O (Beilage 12) und S-N (Beilage 13 und 14) Strukturkorrelationsprofilen dargestellt. Zusätzlich sind die Haupt-Strukturparameter für jede GZ2 Bohrung in Tabelle 25 zusammengefasst. Die Ergebnisse der Lithofaziesanalyse sind in W-O und S-N Korrelationstransekten (Beilagen 13, 14 und 15) visualisiert.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich lateral von WNW (S 157) nach OSO (S 148) über circa 3.7 km und von S (S 147) nach N (S 146) über etwa 380 m. Generell, aus geologischer Sicht ähneln sich alle untersuchten Bohrungen in ihrer Komplexität, Deformationsstil und Sedimentaufbau, sie zeigen jedoch auch beträchtliche Unterschiede.

4.1.1 Strukturgeologie

Schichteinfallen und Faltengeometrie

Die Strukturanalyse basiert auf manuell gepickten Flächen auf den OPTV Bohrlochwandabbildungen. Für die Evaluation des Schichteinfallens der Zeglingen Fm und v.a. der Unteren Salzschieben konnten insgesamt 3581 repräsentative Schichtflächen gewonnen werden (Rütihard n=1008 und GZ2 n=2573). Diese sind im Stereogram der Abb. 137 visualisiert.

Das Salzlager und die Obere Sulfatzone im Solfeld GZ2 und auf der Rütihard haben einen ähnlich komplexen geologischen Aufbau, welcher auf starke duktile und spröde Deformation zurückzuführen ist. Die **Einfallswinkel** an den jeweiligen Bohrlokalationen variieren beträchtlich von horizontal bis vertikal ($1^\circ - 90^\circ$; Abb. 137) und sind üblicherweise durch häufige kleinräumige Schichtänderungen entlang der untersuchten Profile charakterisiert (Beilage 12 und 13). Die Änderungen im Dip Muster haben zwei Charakter: (1) Sie sind entweder **abrupt** und korrelieren mit prominenten, spröden Störungen und/oder Störzonen, welche an den jeweiligen Bohrlokalationen durchteuft wurden. (2) Oder sie sind **graduell** und an duktile Verformung durch kleine Verfaltungen gebunden. Folglich repräsentieren sie **parasitäre Falten 2. Ordnung** innerhalb der **inkompetenten**, leicht (viskos) verformbaren Salz-, Ton-, Mergel- oder Anhydritschichten (Abb. 138). Im Gegensatz, das **kompetente und harte** $\sim 10^\circ - 40^\circ$ NNO bis ONO-einfallende **Deckgebirge** der Schinznach Fm (Rütihard) und der Bänkerjoch Fm in S 148 ($\sim 15^\circ$ SW-Struktur dip) ist durch stabile, einheitlich verkippte und intern ausschließlich spröde deformierte Gesteinsschichten charakterisiert. Sie spiegeln die Geometrie der **Großfaltenstruktur (Falte 1. Ordnung)** wieder und zeigen ein signifikant verschiedenes, mechanisches Verhalten (Abb. 138). Die **Einfallsrichtungen** zeigen dagegen zwei dominante Azimutcluster mit (1) N, NNO bis NO oder (2) S, SSW bis SW einfallenden Schichtflächen (Abb. 137), wobei auf in S 157 (Rütihard) NO bis ONO Einfallsrichtungen dominieren (siehe unten). Für das gesamte Arbeitsgebiet (Rütihard & GZ2) konnten folgende repräsentative Clustermittelwerte für Schichteinfallen berechnet werden (siehe Abb. 137):

Schichteinfallen Rütihard und GZ2

- 021/01 (n = 1354)
- 197/47 (n = 1117)
- 014/42 (n = 798)

Während die steilen bis vertikalen ($20^\circ - 90^\circ$) \sim NNO- und \sim SSW-einfallenden Schichtflächen die Geometrie der Faltenschenkel einer WNW-OSO orientierten Antiklinalstruktur widerspiegeln,

repräsentieren die sub-horizontalen bis flachen ($0^\circ - 20^\circ$) überwiegend NNO-einfallenden Dips undeformierte Bohrlochintervalle oder flache Faltenscharnierbereiche. Folglich ist das Schichteinfallen in jeweiliger Bohrung maßgeblich von ihrer Position innerhalb der Großfaltenstruktur abhängig. Dieser Zusammenhang wird anhand der tektonischen Karte (Beilage 1) mittels kumulativer Azimut- und Streichrosen sowie in schematischen Faltenmodell der Abb. 138 verdeutlicht. Folglich folgende tektonischen Bereiche innerhalb (bzw. außerhalb) der Antiklinalstruktur wurden von den untersuchten Bohrungen durchteuft (Beilage 1, Tabelle 25 und Abb. 140):

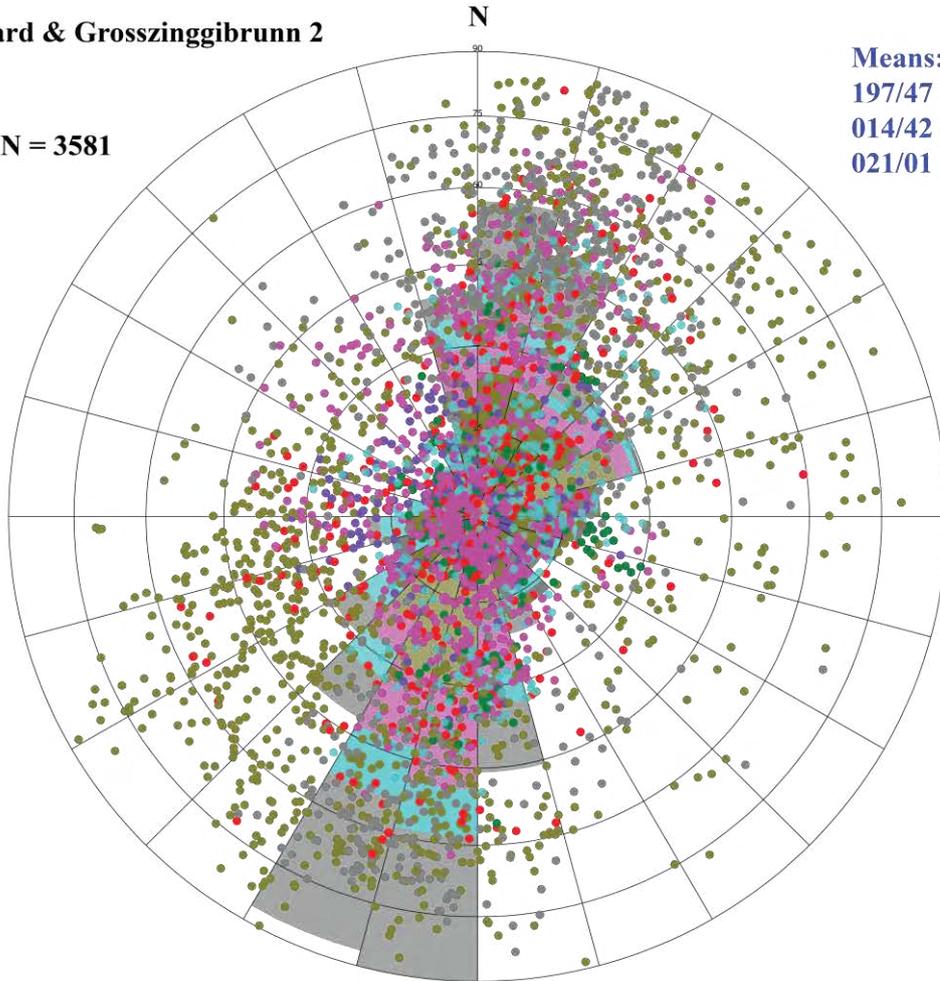
- **Antiklinal Scharnierbereich:** S 141 und S 156 (Rütihard)
- **N- bis NNO-Faltenschenkel:** S 143, S 144, S 145, S 150 und S 157 (Rütihard)
- **S- bis SSW-Faltenschenkel:** S 142, S 147, S 148 und S 149
- **Außerhalb der Antiklinalstruktur:** S 146

Mit der Ausnahme der S 141 und S 144 (wo jedoch die basalen 10 m bis 20 m des Salzlagers nicht geloggt wurden) ist die Basis des Salzlagers in allen Bohrungen strukturlos und weist ein flaches ($1^\circ - 20^\circ$) Schichteinfallen auf (siehe Beilagen 12 und 13). Die Mächtigkeit dieser basalen Zone variiert von Bohrung zu Bohrung zwischen ~ 5 m im Osten (S 146 – GZ2) und 25 m im Westen (S 157 – Rütihard) des Untersuchungsgebietes. Der Übergang zu deformierten, verfalteten und verschuppten Salzschiefern und der Oberen Sulfatzone im Hangendem hat ausschließlich einen graduellen Charakter und deutet auf eine **viskose Deformation** hin. Dies kann als ein flacher, **regionaler Abscherhorizont im Salzlager** im Untersuchungsgebiet interpretiert werden. Diese Übergänge sind anhand der geologischen Profile und berechneter Bedding Mittelwerte in Beilagen 12 und 13 klar erkennbar und in (Abb. 138) visualisiert. In der Tat, während der strukturellen Aufnahme der Rütihard Salzkerne wurden eindeutige Indikatoren für eine **tektonische Beanspruchung** des Salzlagers in Form von **dynamisch rekristallisierten Salzkristallen** beobachtet (Gregorczyk & Zarudzki 2019, Gregorczyk 2020a).

Eine Anomalie vom generellen Dip Muster und der Symmetrie der WNW-OSO verlaufenden Antiklinale im Solfeld GZ2 wurden in S 146 interpretiert. Diese liegt im nördlichsten Bereich des GZ2 Solfeldes (Beilage 1) und weist im Gegensatz zu Nachbarbohrungen flachere ($1^\circ - 35^\circ$) Dip Magnituden und recht variable Einfallrichtungen auf, jedoch mit einer SW bis SSW Dip Dominanz. Ebenfalls ist die Orientierung der Deformationsachsen und Störungen/Klüfte variabel und folgt nicht der dominanten Faltsymmetrie. Dies deutet darauf hin, dass S 146 **außerhalb** des NNO Faltenschenkels, in einer flach gelagerten tektonischen **Zone** liegt. Der flachere Bereich an der S 146 Lokation ist höchstwahrscheinlich auf eine Abflachung des Faltenschenkels Richtung Norden zurückzuführen (siehe (Abb. 138)).

Rütihard & Grosszinggibrunn 2

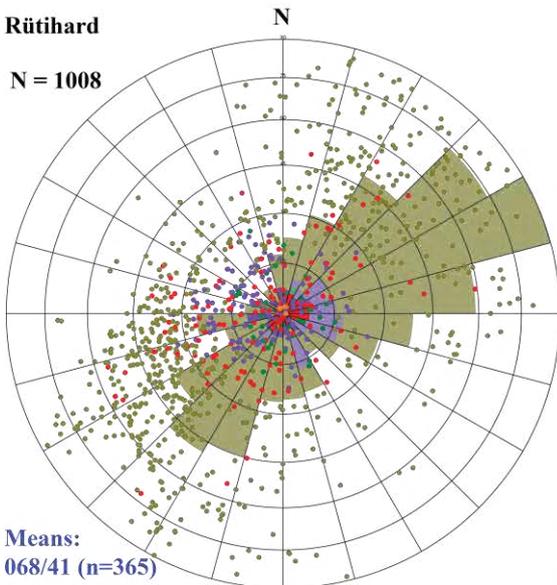
N = 3581



Means:
 197/47 (n=1117)
 014/42 (n=798)
 021/01 (n=1354)

Rütihard

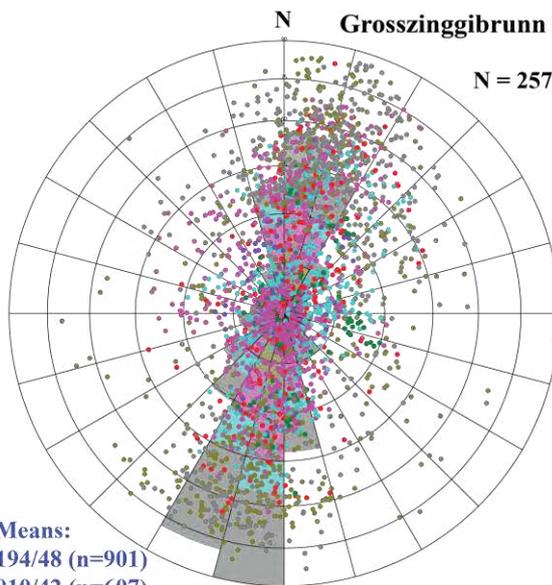
N = 1008



Means:
 068/41 (n=365)
 216/50 (n=196)
 112/07 (n=245)

Grosszinggibrunn 2

N = 2573



Means:
 194/48 (n=901)
 010/42 (n=607)
 330/03 (n=1144)

Abb. 137: Stereogram mit Azimut Rose für Schichteinfallen in Rütihard und GZ2

Beachte: Bedding Flächen aus dem Hangenden der Zeglingen Fm sind hier nicht dargestellt. Die Mittelwerte wurden für repräsentative Cluster berechnet.

Tabelle 25: Zusammenfassung relevanter Strukturparameter für das Salzlager der GZ2 Bohrungen

ID	Schichteinfallen			Orientierung der Deformationsachsen	Dip Winkel [°]	Trend	Störungen und Klüfte			Volumetrische Strukturdichte (P32) [m ² /m ³]	Tektonische Position	Hauptmerkmale Salzlager
	Dip Winkel [°]	Dip Azimut [°]	N Bedding Dips				N Azimut in Scharnieren	N spröde Strukturen	Strukturdichte [m ⁻¹]			
S 141	1 - 90	N & SSW	278	W, SW & O	10 - 70	WNW	10	0.25	0.30	Scharnierbereich	Tiefe Strukturdichte, wenig spröde Strukturen/Deformation. Jedoch stark verfaltet und teils lokal verschuppt; Änderungen im Schichteinfallen an diskreten Störungen und entlang Faltenchenkel/Scharniere. Die Letzteren fallen vorwiegend Richtung W ein	
S 142	8 - 75 1 - 15	S & N NNO	297	Variabel	45 - 70	NNW & WSW	4	0.08	0.13	S bis SSW-Faltenschenkel	Strukturarme Bohrung. Basales Salzlagerintervall (unterhalb 339 m) flach gelagert und undeformiert, jedoch oberhalb stark deformiert/verfaltet. Ab- und Aufschüben interpretiert. Ein ca. 46 m mächtiges Salzlager von hoher Reinheit	
S 143	1 - 70	N, NNO, NO & SSO	170	N/A	40 - 80	WNW	16	0.35	0.70	N bis NNO-Faltenschenkel	Analog zu S 142; Salzlager an der Basis (unterhalb 355 m) undeformiert mit 1°-20° N, NO Schichteinfallen, oberhalb 355 m deformiert (10°-70° N, NNO, NO & SSO Dips). Änderungen im Schichteinfallen an eindeutigen Störungen/Scherzonen oder entlang von Faltenchenkel. Zwei (bis 11.30 m) extrem spröde deformierte und potenziell offene Störungen. 21.60 m mächtiges Salzlager unterhalb 343.70 m von sehr hoher Reinheit	
S 144	1 - 85	NNO & SSW	372	Variabel (W, NW & NO)	55 - 90	WNW & N	42	0.91	2.60	N bis NNO-Faltenschenkel	Höchste Strukturdichte in GZZ deutet auf starke tektonische Beanspruchung. Stark verfaltet und verschuppt; Änderungen im Schichteinfallen an prominenten Störungen und entlang Faltenchenkel/Scharniere. Drei potenziell offene Scherzonen; Jedoch die meisten sind verheilt. Die meisten Störungen sind parallel zu Faltenachsen orientiert (WNW-Trend)	
S 145	1 - 80	NNO, NNW & SSW	404	Variabel (SSW, NW und O)	10 - 80	WNW & N	30	0.60	1.00	N bis NNO-Faltenschenkel	Strukturreiche Bohrung. Sie durchteufte 20° bis 80° vorwiegend NNO, NNW aber auch SSW einfallende Faltenchenkel einer NNW-orientierten Struktur. Flachere (1°-20°) Bereiche spiegeln flachere Faltenachsen wieder. Alle Störungen sind mineralisiert und konzentrieren sich oberhalb 353 m in vier strukturreichen Scherzonen	
S 146	1 - 35 (dominant)	SW (dominant)	346	N/A	10 - 80	Variabel	17	0.49	0.70	Ausserhalb der Antiklinale	Im Gegensatz zu allen Bohrungen, diese liegt ausserhalb der Faltenstruktur; Vergleichsweise flache Dip Magnituden. Orientierung der Deformationsachsen und Störungen/Klüfte variabel. Bis 65° SW verküppelt und rotierter Störungsblock zw. 347.00 - 356.00 m mit einer prominenten Scherzone an der Basis bei 346.62 - 347.42 m. Alle spröden Strukturen sind dunkel auf OPTV's mit sichtbaren (bis ca. 3 cm) Aperturen. Manche sind eindeutig mineralisiert, andere können (partiell) offen sein	
S 147	1 - 80	S & N	200	N/A	20 - 80	WNW	14	0.39	0.70	S bis SSW-Faltenschenkel	Prominente, komplexe & strukturreiche W-O orientierte Verwerfungszone zw. 395.00-400.90 m mit deformiert bis sub-horizontal. Alle Störungen sind verheilt und (sub-)parallel zu Deformationsachsen orientiert	
S 148	8 - 85	SSW ob. 428 m, variabel unterhalb	247	NO	20 - 85	WNW bis NW	7	0.13	0.26	S bis SSW-Faltenschenkel	Bänkerloch Fm und der überwiegende Teil des Salzlagers (bis 428 m) spiegeln einen etwa SSW-einfallenden Faltenchenkel wieder. Im Kontrast, 428 m überwiegt 8°-45° Struktur dip mit variablen Einfallrichtungen (SE, E und NE). Eindeutige Störungen korrelieren mit abrupten Änderungen im Struktur dip, jedoch graduelle Schichtänderung sind ebenfalls üblich (Verfaltung). Im Salzlager wurde keine Scherzone interpretiert. Jedoch zahlreiche potenzielle Scherzonen im gekerntem Deckgebirge beobachtet, welche auf starke tektonische Überprägung hindeuten	
S 149	1 - 75	SSW	326	N/A	25 - 65	WNW bis NW	7	0.13	0.17	S bis SSW-Faltenschenkel	Struktur dip analog zu S 148; Das Schichteinfallen spiegelt die Geometrie eines SSW bis S einfallenden Faltenchenkel einer WNW-OSO orientierten Faltenstruktur. Dip Winkel ändern sich durch Verfaltung (graduell) oder an prominenten Störungen (abrupt). Alle tektonischen Brüche sind mit Salzstein verfüllt und zeigen gewisse Aperturen. Die meisten Störungen stellen syn-kinematische Auf- und Überschiebungen dar und stimmen mit der Orientierung der Faltenachsen überein (WNW-OSO Trend)	
S 150	1 - 85	NNO & SSW (dominant)	408	W & O	30 - 75	SW (dominant) & W	12	0.22	0.35	N bis NNO-Faltenschenkel	Basis des Salzlagers (unterhalb 385.70 m) ist undeformiert, flach NNO-einfallend und strukturlos. Im Kontrast, oberhalb (420-385.70 m) wurde eine WNW-OSO orientierte und intern komplex deformierte Faltenstruktur angetroffen: Dip Winkel sind variabel (1°-85°), wobei SSW und W Dip Azimute dominieren. Spröde tektonische Brüche konzentrieren sich in zwei prominenten extensiven (SW-NE Trend) und kompressiven (W-E Trend) Scherzonen. Manche tektonische Strukturen zeigen deutliche Aperturen (2-5 cm) und sind mit Salzstein verfüllt. Jedoch andere können potenziell offen sein	

Antiklinal Scharnierbereich
 Ausserhalb der Antiklinal Struktur
 S bis SSW-Faltenschenkel
 N bis NNO-Faltenschenkel

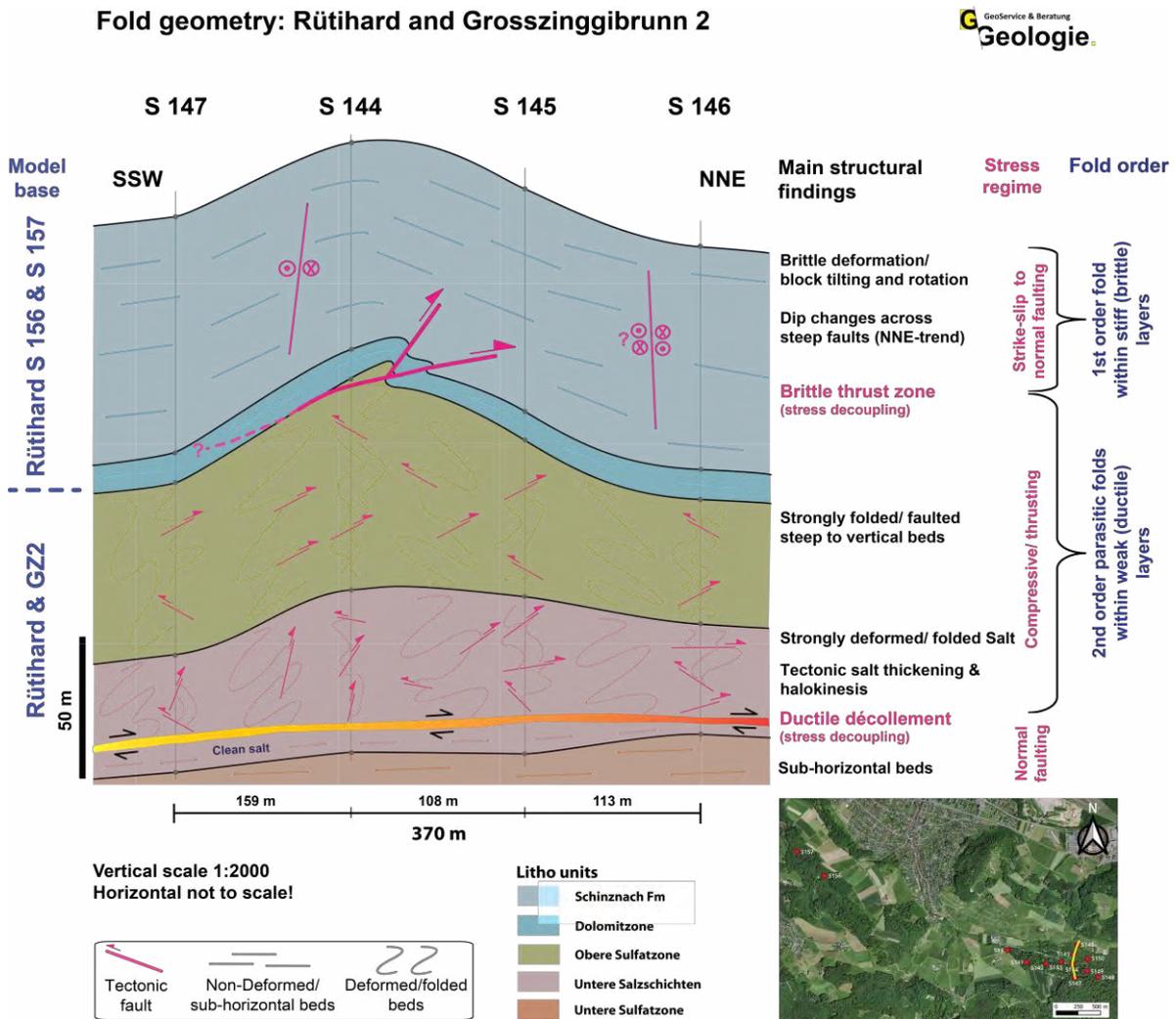


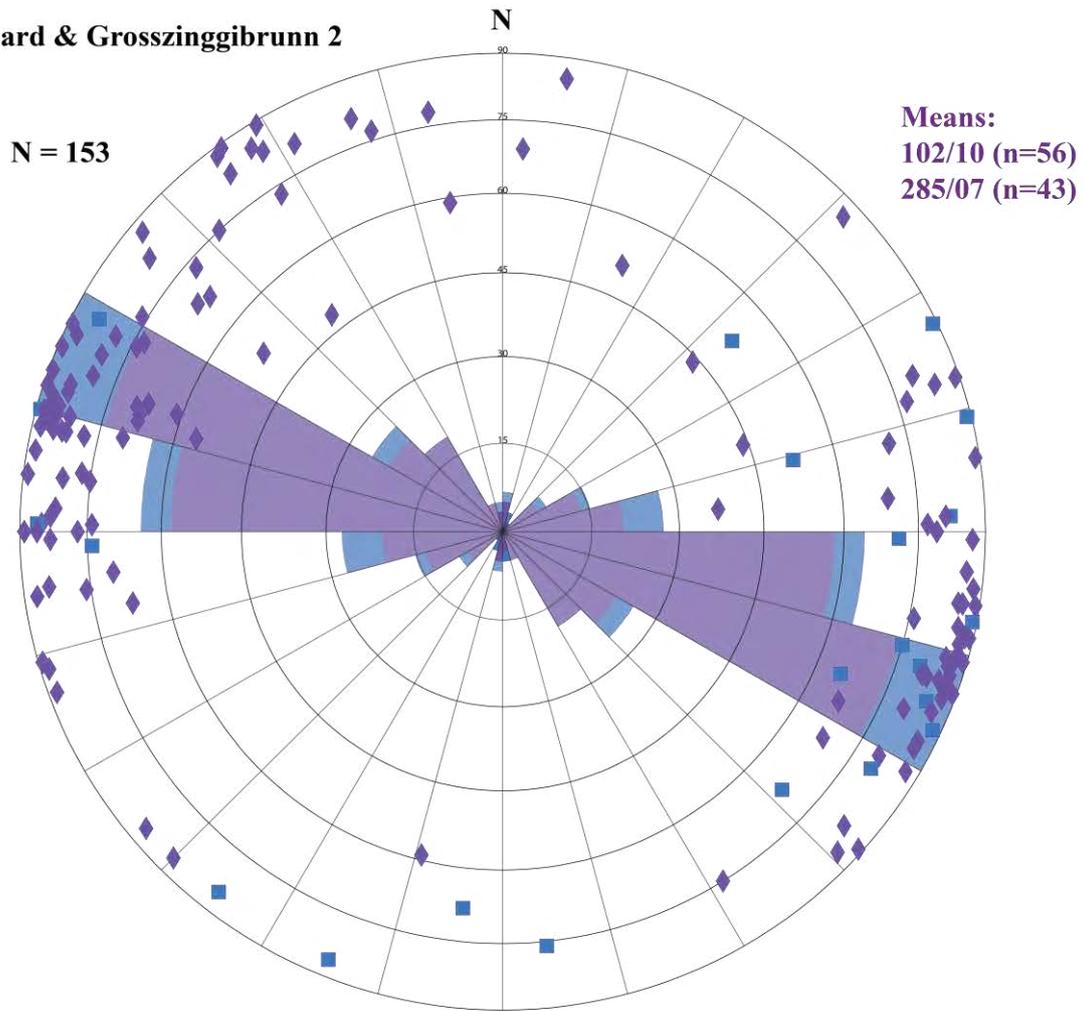
Abb. 138: Konzeptuelles geologisches Faltenmodell für Grosszinggibrunn 2 und Rütihard

Beachte dieses Model basiert auf Beobachtungen aus dieser Studie wie auch aus den Rütihard Log Auswertungen (Gregorczyk & Zarudzki 2019, Gregorczyk 2020a).

Deformationsachsen

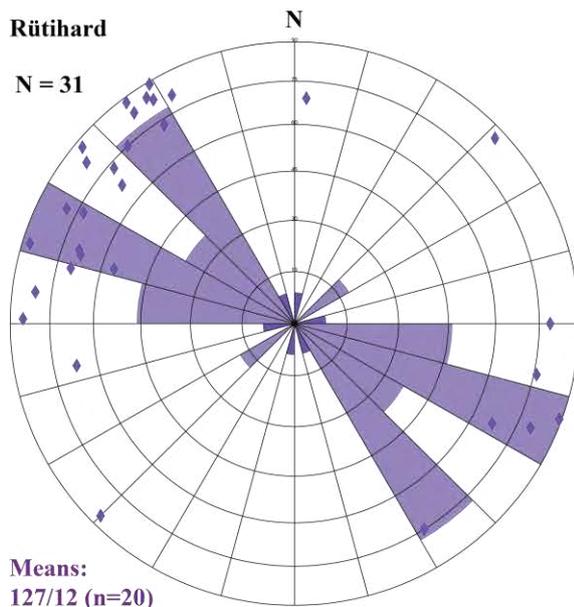
Insgesamt konnten **153 Deformationsachsen (Rütihard n=31, GZ2=122)** determiniert werden (Abb. 139 und Beilage 11): Auf der Rütihard dominiert ein steileres (12° bis 13°) OSO- bis SO Abtauchen der Faltenachse ($127/12$; $n=20$). Im Gegensatz in GZ2 ist die Abtauchrichtung schwach definiert, was auf eine flachere, jedoch konsistent WNW-OSO streichende Faltenachse zurückzuführen ist (Beilage 12): Cluster Mittelwerte $102/08$ ($n = 41$) und $283/07$ ($n = 40$).

Rütihard & Grosszinggibrunn 2



Rütihard

N = 31



Grosszinggibrunn 2

N = 122

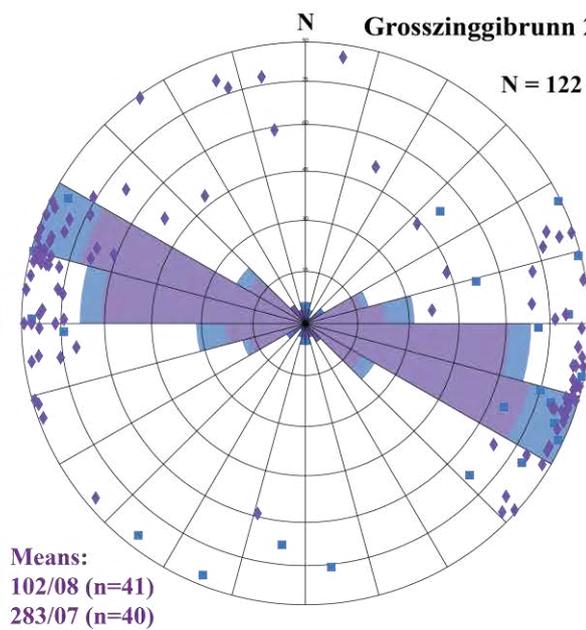


Abb. 139: Stereogram mit der Orientierung aller Deformationsachsen in Rütihard und GZ2

Beachte, Achsen aus dem Hangenden der Zeglingen Fm sind hier nicht dargestellt. Die Mittelwerte wurden für repräsentative Cluster berechnet.

Störungen und natürliche Klüfte

Insgesamt konnten **168 Störungen** (Rütihard n=43, GZ2=125) auf den Bohrlochwandabbildungen im Salzlager und in der Oberen Sulfatzone (Rütihard) identifiziert werden (Abb. 142). Neben der duktilen Deformation, stellen **spröde, tektonische Brüche und assoziierte Störzonen einen signifikanten Deformationsmechanismus** auf Rütihard und in GZ2 dar. Wie bereits oben erwähnt, sie kontrollieren maßgeblich die Geometrie des Schichteinfallens und verursachen meist sprunghafte Änderung im Dip Muster. In optischen und akustischen Bohrlochwandabbildungen können diese durch einen starken akustischen bzw. optischen Kontrast, Änderung in Gesteinstextur/Lithologie, Deformation der benachbarten Schichtung sowie durch die Orientierung der Fläche identifiziert werden. Zusätzlich wurden total **138 natürliche Klüfte** (Rütihard n=127, GZ2 n=11) interpretiert (Abb. 143). Zahlreiche Beispiele für spröde Diskontinuitäten in OPTV/ BHTV sowie in Bohrkernen sind in Kap. 3.1, in Gregorczyk & Zarudzki (2019) und in Gregorczyk (2020a) präsentiert.

Die meisten spröden Strukturen in GZ2 Bohrungen erscheinen dunkel auf den OPTV/BHTV und weisen zum Teil **deutliche Aperturen** bis ca. 3 cm auf. Ihre überwiegende Mehrheit ist eindeutig **mit Halit** (seltener mit Anhydrit) **verheilt**. Jedoch bei manchen Störungen/Störzonen und Klüften lässt sich der genaue Charakter (offen vs. verheilt) basierend nur auf den Bohrlochscans nicht definitiv feststellen. Folglich, können diese potenziell (**hydraulisch**) **offene Strukturen** darstellen. Diese Unsicherheit betrifft diskrete Strukturen aber auch tektonische Störzonen in folgenden Bohrungen: S 143, S 144, S 146 und S 150 (siehe Tabelle 25 und Kap. 3.1). Jedoch in beiden Rütihard Bohrungen wurden im Salzlager keine offenen Strukturen in den Bohrkernen beobachtet.

Die Verteilung der spröden Strukturen ist in den untersuchten Profilen ungleichmäßig (siehe Beilage 12, 13 und Abb. 141). Diese treten als einzelne, diskrete Strukturen auf, oder konzentrieren sich auf gewisse Bohrlochabschnitte und bilden komplexe, teils **extrem spröd deformierte Bruchzonen**. Es gibt jedoch auch lange, strukturlose Bohrlochabschnitte. Im Salzlager der GZ2 Bohrungen wurden insgesamt **20 potenzielle Störzonen** determiniert. Manche sind nur wenige Zentimeter mächtig, jedoch andere können eine beträchtliche Mächtigkeit von über 11 m erreichen (z.B. in S 143 bei 328.60 – 339.90 m). Darüber hinaus, in Bohrkernen der S 144 wurde eine 21.41 m mächtige Scherzone in Dolomit-dominierten und in Übergangsschichten bei 250.84 – 272.25 m identifiziert. Störzonen stellen die am stärksten von der Bruchtektonik beanspruchten Bohrungsbereiche dar und sind durch eine hohe P32-Strukturdichte (bis $11 \text{ m}^2/\text{m}^3$ in S 144) charakterisiert. Ihr Vorkommen und Verteilung entlang der untersuchten Bohrungen sind in Abb. 141 und in Korrelationsprofilen (Beilage 12 und 13) visualisiert. Daraus ist ersichtlich, dass sich **spröde Strukturen bevorzugt in Ton- und Mergelreichen Lagen** konzentrieren und somit vom unterschiedlichen **mechanischen Verhalten** der Gesteine (Ton/Mergel = spröde, Salzstein = duktil) kontrolliert werden. Die mittlere, volumetrische P32-Strukturdichte und somit die spröde, tektonische Deformation variieren stark von Bohrung zu Bohrung (Abb. 140 und Abb. 141). Jedoch die höchsten P32-Strukturdichten von 0.70 bis $2.6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ konzentrieren sich auf den **zentralen Bereich des GZ2 Solfeldes** (S 143, S 144, S 145, S 146 und S 147) und deuten auf eine **SSW-NNO verlaufende Strukturreiche Zone** an. Dieser Bereich ist in Beilage 11 und Abb. 144 mit einer gelben Schraffur hervorgehoben. Einen Ausreißer hinsichtlich Strukturdichte stellt die S 144 dar. Sie weist die meisten Strukturen (n=42) und die höchste P32-Strukturdichte von $2.6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ auf. Sie ist somit die tektonisch am stärksten beanspruchte Bohrung im Untersuchungsgebiet und durchteufte möglicherweise eine steile bis vertikale (**55° – 90°**) **WNW-OSO orientierte, aufschiebende Bruchzone** (siehe Beilage 11, Abb. 144 und Kap. 3.1).

Eine Gegenüberstellung der P32-Strukturdichte mit der jeweiligen tektonischen Position der Bohrungen innerhalb der Antiklinalstruktur ist im Punktdiagramm (Abb. 140) präsentiert. Auf den ersten Blick ist kein klarer kausaler Zusammenhang zu erkennen, jedoch vier – im N- NNO-einfallenden Faltschenkel bzw. in der o.g. Kluftreichen Zone ansässigen – Bohrungen zeigen höhere P32-Strukturdichten ($>0.70 \text{ m}^2/\text{m}^3$) und sind somit stärker spröd-tektonisch beansprucht.

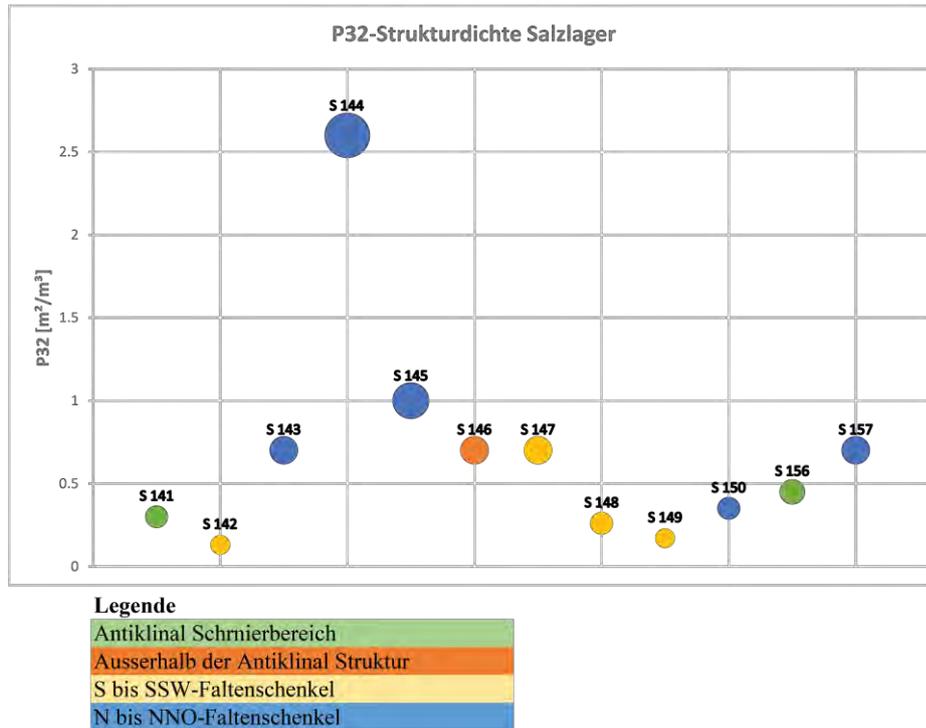


Abb. 140: Punktdiagramm mit berechneten P32-Strukturdichten im Salzlager

Die Farbcodierung der dargestellten Kreise entspricht der Position jeweiliger Bohrung innerhalb der Antiklinalstruktur gemäß Legende und Beilage 11.

Die Orientierung aller Störungen und natürlicher Klüfte ist in Abb. 142 und Abb. 143 präsentiert. Störungen zeigen eine konsistente WNW-OSO Orientierung mit flach bis sub-vertical ($5^\circ - 85^\circ$), überwiegend S- bis SSW-einfallenden Flächen und bilden folgende Orientierungscluster:

Störungen Rütihard und GZ2:

- 194/59 (n = 44)
- 186/19 (n = 17)
- 026/66 (n = 24)
- 015/22 (n = 13)

Natürliche Klüfte werden durch die hohe Anzahl (n=104) der aus Oberen Sulfatzone der S 157 stammenden Strukturen dominiert, welche eine konsistente NW-SO Orientierung aufweisen (Abb. 143). In GZ2 ist die Anzahl der Klüfte (n=11) sehr gering, ihre Orientierung variabel. Folgende Orientierungscluster konnten ermittelt werden:

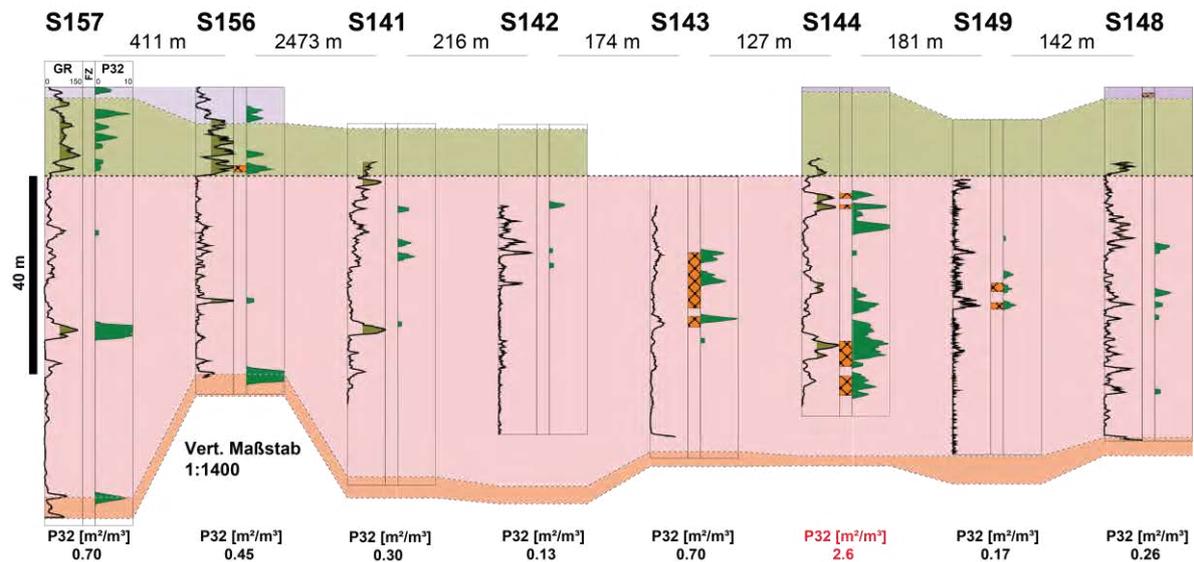
Natürliche Klüfte Rütihard und GZ2:

- 046/55 (n = 38)
- 249/47 (n = 29)

Sowohl auf der Rütihard, als auch im Solfeld GZ2 ist die überwiegende Mehrheit von Störungen und Klüften Schicht-parallel und (sub-)parallel zur Antiklinalachse orientiert. Folglich stellen diese **Strukturen syn-kinematische, kompressive tektonische Brüche** dar, die z.T. sehr starken, lokalen Verschiebung der Antiklinale beitragen.

Generell dominiert im Salzlager und in der Oberen Sulfatzone des GZ2 Solfeldes ein **aufschiebendes/überschiebendes tektonisches Regime**, welches an diversen Schichtversätze entlang von Störungen determiniert wurde (Kap. 3.1). Dies stimmt eindeutig mit der kinematischen Bohrkernanalyse der GZ2 und der Rütihard Bohrungen überein (Gregorczyk & Zarudzki 2019 und Gregorczyk 2020a). Vereinzelt wurden ebenfalls Abschiebungen und Blattverschiebungen (strike-slip) beobachtet.

W-E Korrelation: P32 Strukturdichte Salzlager



S-N Korrelation: P32 Strukturdichte Salzlager

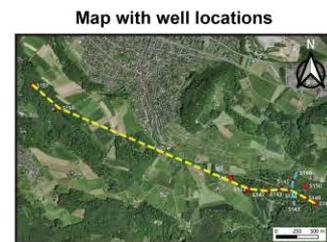
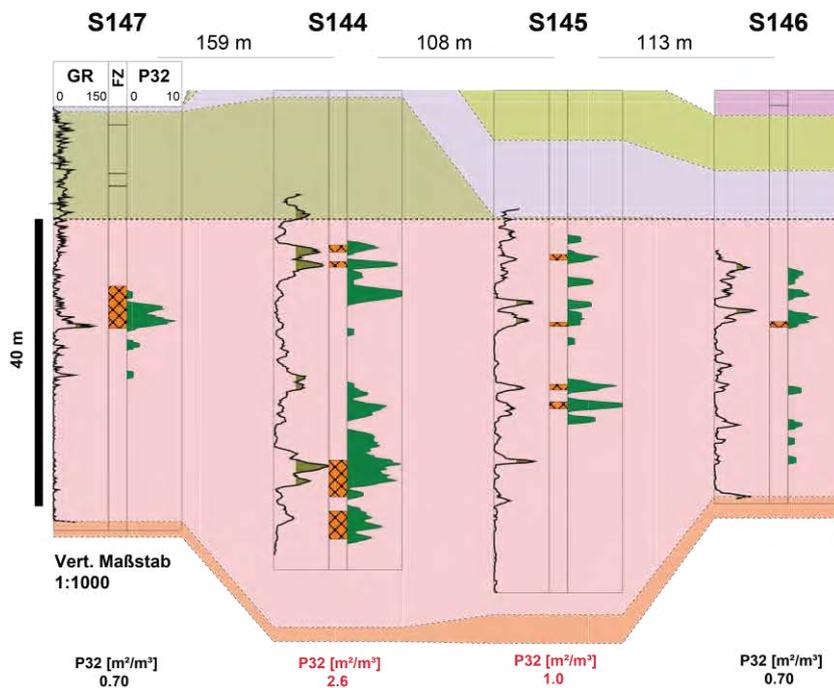


Abb. 141: W-E (oben) und S-N (unten) Korrelation der Störzonen und P32-Strukturdichte im Salzlager. Die berechneten Mittelwerte der P32-Strukturdichte [m^2/m^3] sind für jede Bohrung angegeben und begrenzen sich ausschließlich auf das Salzlager Intervall.

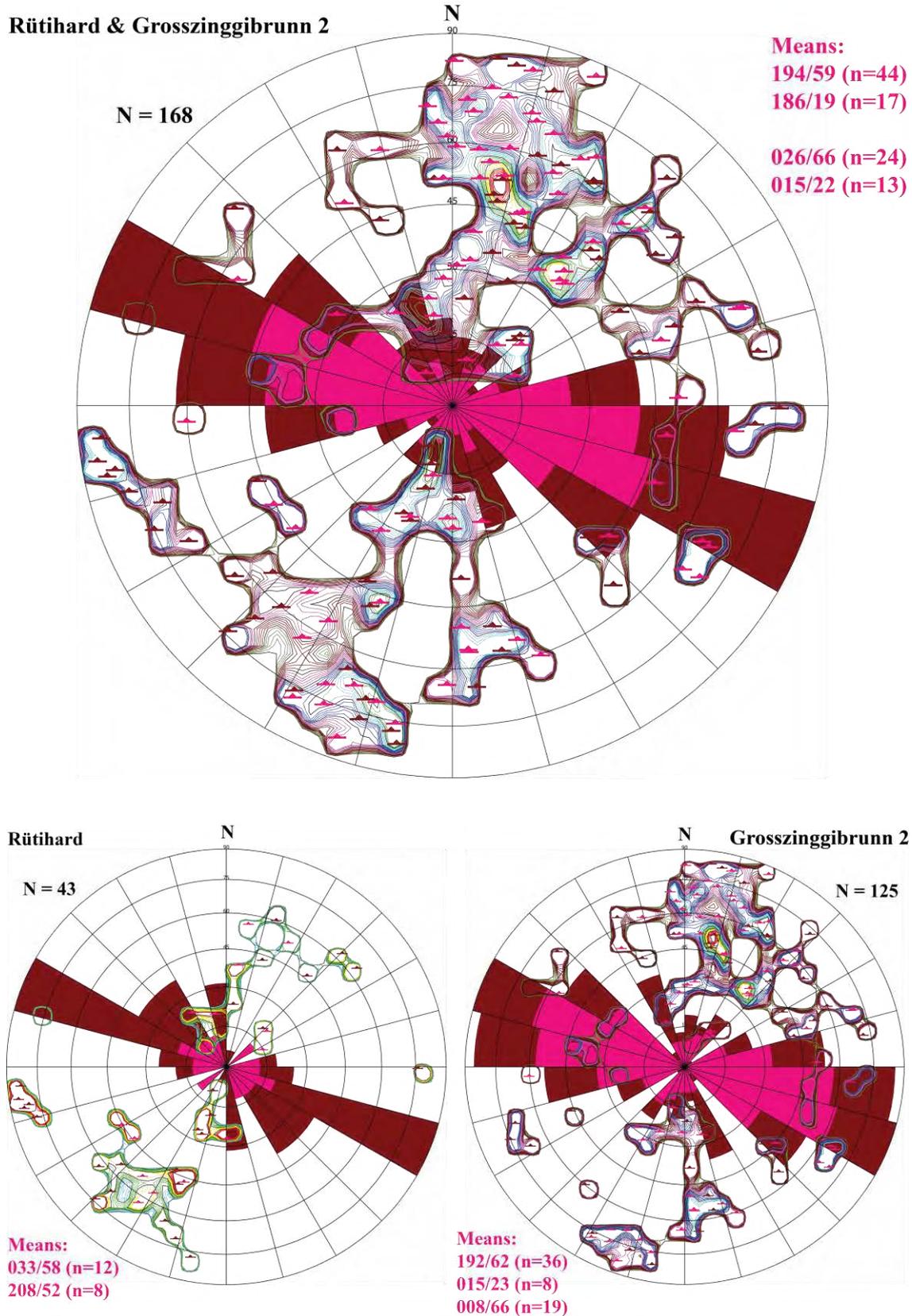


Abb. 142: Stereogram mit Konturen und Streichrose für alle Störungen in Rütihard und GZ2

Beachte, Strukturen aus dem Hangenden der Zeglingen Fm sind hier nicht dargestellt. Die Mittelwerte wurden für repräsentative Cluster berechnet.

Rütihard & Grosszinggibrunn 2

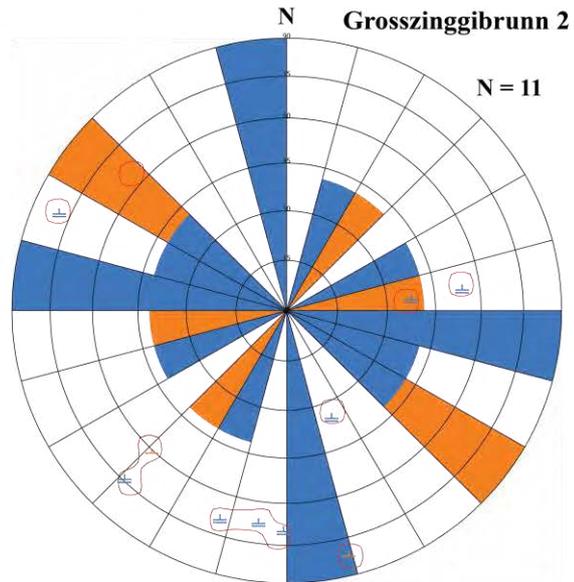
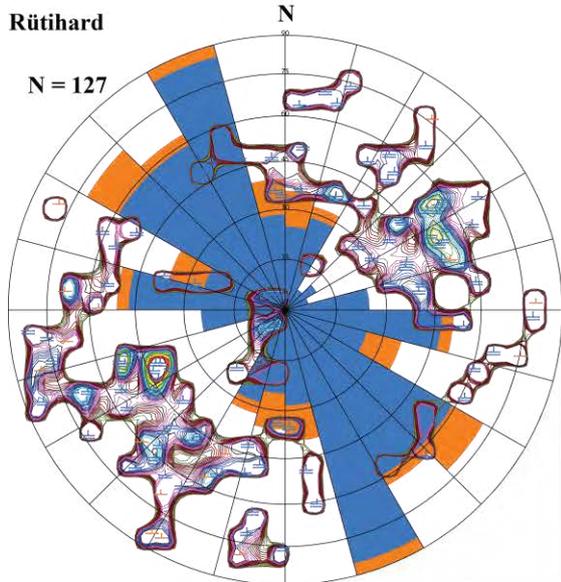
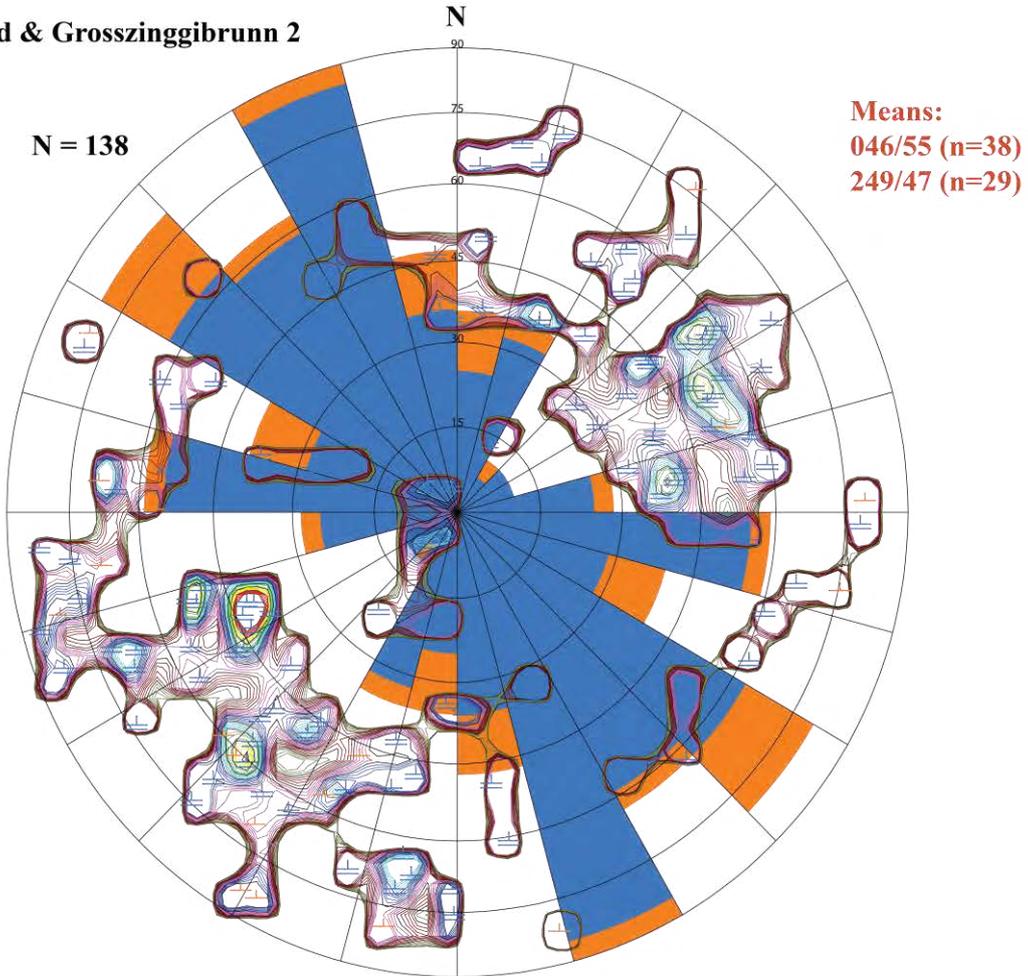


Abb. 143: Stereogram mit Konturen und Streichrose für alle Klüfte in Rütihard und GZ2

Beachte, Strukturen aus dem Hangenden der Zeglingen Fm sind hier nicht dargestellt. Die Mittelwerte wurden für repräsentative Cluster berechnet.

Tektonische Karte Rütihard und Grosszinggibrunn 2

Basierend auf der detaillierten Strukturauswertung lassen sich folgende Haupt-Strukturelemente im Untersuchungsgebiet ausscheiden. Diese sind in der tektonischen Karte (Beilage 11 und Abb. 144) dargestellt und stellen lediglich eine mögliche Interpretation basierend auf den Log Daten dar. Die großräumige tektonische Situation in der Schweizerhalle sollte vertieft mit der vorhandenen **Seismik verifiziert** werden:

- **Antiklinalachse** weist ein dominantes $\sim 12^\circ$ OSO- bis SO-Abtauchen auf der Rütihard auf, jedoch in GZ2 zeichnet sich keine klare Abtauchrichtung ab. Dort streicht die Faltenachse zwar konsistent WNW-OSO, jedoch sie taucht flach ($\sim 8^\circ$) sowohl in WNW sowie OSO Richtung ab. Das unterschiedliche Abtauchen der Antiklinale in beiden Bohrstandorten spiegelt sich im verschiedenen Strukturdip des Deckgebirges wieder. Während die Karbonate der Dolomitzone und der Schinznach Fm auf der Rütihard in Richtung NNO bis ONO verkippt sind, fällt die Bänkerjoch Fm in S 148 (in gegensätzliche Richtung ($\sim 15^\circ$ SW Strukturdip) ein. Der Scharnierbereich stellt eine schmale, vermutlich nur weniger 10er Meter breite Zone dar und wurde lediglich durch die S 141 und S 156 durchteuft ((Abb. 138).
- Indizien für **rheintalische** (\sim SSW-NNO streichende) **Brüche** wurden in zwei Bereichen der Faltenstruktur gefunden:
 - Auf der **Rütihard**, auf der doch recht kleinen lateralen Entfernung (411 m) zwischen den beiden Bohrungen ist ein deutlicher Unterschied im Strukturdip Muster, der Orientierung der Faltenachsen und ein vertikaler Versatz von circa 20 m (gemessen am Salzdach) festzustellen (Beilage 11 & 12). Dies deutet auf eine komplexe Falten- und/oder Bruchgeometrie hin und kann als unterschiedlich orientierte Faltenchenkel und eine $\sim 25^\circ$ Rotation der Faltenachse von WNW (S 156) auf NW (S 157) interpretiert werden. Alternativ durchteuften die beiden Rütihard Bohrungen zwei unterschiedlich verkippte Bruchkörper, die durch eine **OSO-einfallende (rheintalische) Abschiebung** oder eine Blattverschiebung durchtrennt sind. Jedoch diese Variation kann ebenfalls auf eine laterale Änderung der Streichrichtung der Antiklinalstruktur zurückgeführt werden. Dieses Phänomen ist üblich in Falten und Überschiebungsgürtel wie z.B. der Alpenbogen oder das Zagros Gebirge
 - Es gibt Indikatoren für einen **OSO-einfallenden Bruch** im zentralen Bereich des **GZ2 Solfeldes**. Die dort abgeteuften Bohrungen (S 143, S 144, S 145, S 146 und S 147) weisen erhöhte P32-Strukturdichten von 0.70 bis 2.6 m^2/m^3 auf. Des Weiteren, die vertikalen Versätze im Bereich 5 m bis 10 m (gemessen am Salzdach) zwischen den o.g. Bohrungen (Hangende Bruchscholle) zu den östlich gelegenen Bohrungen (S 148, S 149; Liegende Bruchscholle) deuten auf **eine OSO-einfallende Abschiebung** hin. Jedoch zwischen S 144 zu S 150 ist kein Versatz des Salzdaches zu verzeichnen. Es ist mechanisch möglich, dass dieses Lineament die Antiklinalachse nicht durchtrennt und dass das Salz die tektonische Spannung duktil aufgenommen hat. Darüber hinaus, die im Norden (S 146) und Süden (S 147) der Faltenachse liegenden Bohrungen weisen **Schichtlücken** aufgrund fehlender Schichtglieder der Oberen Sulfatzone auf. Diese können in Nachbarbohrungen bis über 20 m mächtig sein (Beilagen 12 und 13). Eine tektonische Überschiebung als Grund für die Schichtlücken kann ausgeschlossen werden, weil in keinem der untersuchten Profile eine Verdoppelung der Lithoabfolge beobachtet wurde. Folglich kann dies durch die vermutete **NNO-orientierte Abschiebung (Fault cut-out)** verursacht werden. In der S 146 und S 147 wie auch in den Nachbarbohrungen (S144, S 145 & S 150) dominieren zwar WNW-OSO streichende Brüche, jedoch rheintalisch streichende Störungen wurden ebenfalls interpretiert. Tatsächlich, der Vergleich mit dem Strukturmodell von Anrdt (2017) für die Schweizerhalle **bestätigt die Existenz einer regionalen, NNO-orientierten Störung** in diesem Bereich des GZ2 Solfeldes (Abb. 145)
- **Eine kompressive (WNW-OSO) streichende Bruchzone** wurden möglicherweise durch die S 144 durchteuft. Diese Bohrung stellt einen Ausreißer hinsichtlich tektonischer Überprägung dar und weist die meisten, spektakulären Strukturen (n=42) und die höchste P32-Strukturdichte von 2.6 m^2/m^3 auf. Sie ist somit die **tektonisch am stärksten beanspruchte Bohrung im Untersuchungsgebiet** und

durchteufte möglicherweise eine steile bis vertikale ($55^\circ - 90^\circ$) WNW-OSO orientierte, aufschiebende Bruchzone

Es gibt **keine klaren Indizien für eine tektonische Durchtrennung zwischen Rütihard und GZ2**. Die laterale Entfernung zwischen den beiden Gebieten beträgt circa 2.5 km (Beilage 12). Wie bereits erwähnt, an beiden Bohrlokationen ist das Muster der Einfallswinkel analog, jedoch die Einfallrichtungen sind etwas verschieden. Ebenfalls ist die Orientierung der Deformationsachsen zwischen den beiden Gebieten etwas unterschiedlich. Jedoch diese Variation kann durch eine natürliche laterale Änderung der Faltengeometrie verursacht werden. Ebenfalls der geringe vertikale Versatz von 11 m (gemessen am Salzdach) zwischen Rütihard (S 156) und GZ2 (S 141) kann durch das Abtauchen der Antiklinale in Richtung Osten auf dieser Distanz verursacht werden (Beilage 12).



Abb. 144: Tektonische Karte mit interpretierten Strukturelementen

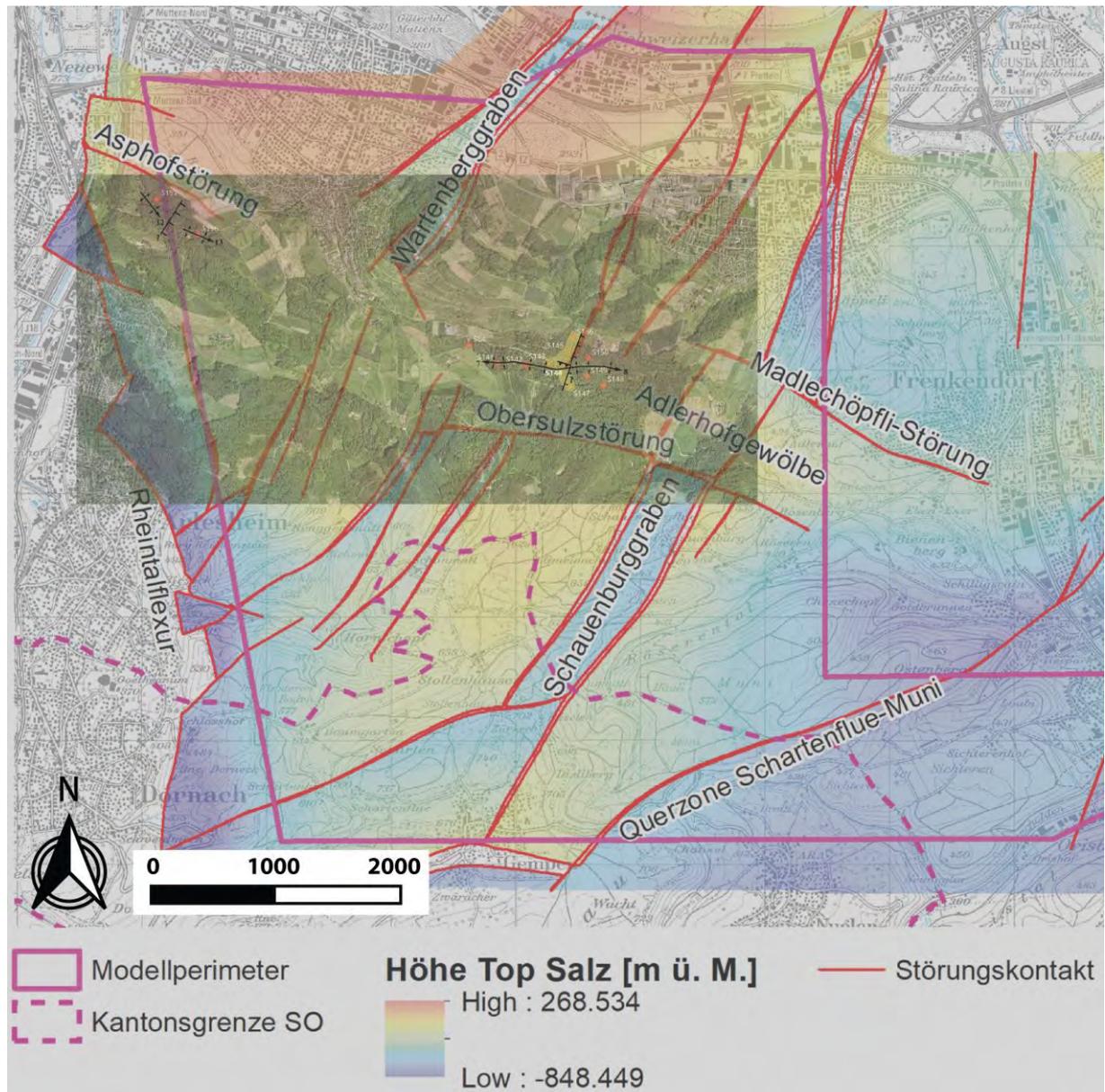


Abb. 145: Vergleich zwischen Arndt (2017) Strukturmodell und den in dieser Studie interpretierten Strukturelementen aus Log Daten

4.1.2 Sedimentaufbau und Korrelation

Der Sedimentaufbau der GZ2 Bohrungen ist in den Komposit Profilen (Beilagen 1 bis 10) dargestellt. Darüber hinaus wurde eine feldweite Korrelation für die Unteren Salzschieben unternommen. Diese wird in drei W-O (Beilage 14) sowie ~S-N (Beilagen 15 und 16) orientierten Korrelationstransekten in einer vertikalen Skala von 1:300 visualisiert. Dort sind neben der Gamma Strahlung (GR) und der lithofaziellen Untergliederung (siehe Kap. 3.3) die konstruierten Strukturprofile mit Hauptstörungen dargestellt, um die tektonische Situation und das Schichteinfallen im jeweiligen Profil zu veranschaulichen.

Insgesamt konnten 10 potenzielle Korrelationshorizonte innerhalb des Salzlagers ausgeschieden werden. Diese wurden vom Liegenden ins Hangende durchnummeriert und sind in Abb. 146 dargestellt. Sie repräsentieren ausschließlich Mergel- und Tonreiche Lagen, welche durch ein GR Peak und idealerweise einen ähnlichen Lithoaufbau charakterisiert sind. Folglich stellen diese Horizonte Verunreinigungen (Kontamination) des Salzlagers dar.

Korrelationsschema Salzlager

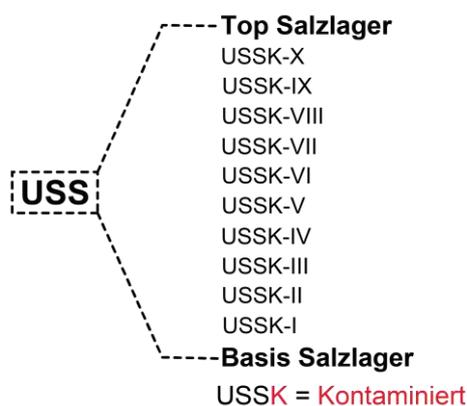


Abb. 146: Korrelationsschema für das Salzlager in GZ2

Unsicherheiten

Aufgrund der strukturellen Komplexität innerhalb der Faltenstruktur (Kap. 4.1.1) ist die lithologische **Korrelation mit einer sehr hohen Unsicherheit verbunden bis teilweise unmöglich**. Durch die stellenweise steil bis sub-vertikal einfallenden Schichten, die andauernden Änderungen im Schichteinfallen, die kleinräumige Verfaltungen und die zahlreichen tektonischen Brüche lassen sich die Schichtglieder lateral nur wagen verfolgen. Dies resultiert in z.T. signifikanten Tiefenunterschieden (bis zu 20 m) der (potentiell) gleichen Horizonte zwischen den Bohrungen. Dies ist deutlich in Beilage 15 zwischen S 147 und S 144 anhand der USSK-I bis -III zu sehen.

Korrelation

In **W-O Erstreckung** (Beilage 14) – parallel zur Faltenachse – ist die Korrelation nur für die unteren zwei bis drei Horizonte (USSK-I bis -III) einigermaßen möglich. Nach oben hin ist der Sedimentaufbau und das GR Muster von Bohrung zu Bohrung zu verschieden, um eine Korrelation zu wagen. In **~S-N Richtung** (Beilagen 15 und 16) – quer zur Faltenachse – lassen sich die Horizonte insgesamt besser verfolgen. Insbesondere zwischen S 144-S 145-S 146 (Beilage 15), aber auch zwischen S 148-S 149-S 150-S 146 (Beilage 16) lassen sich bestimmte Lagen (unter Vorbehalt der o.g. Unsicherheiten) zwischen zwei bis drei Bohrungen verfolgen, jedoch mit beträchtlichen Tiefenunterschieden von Bohrung zu Bohrung.

Beckenkonfiguration und Salzdicke

Die bessere Korrelation in S-N Richtung und folglich ein ähnlicher Sedimentaufbau zwischen den Bohrungen kann ihren Ursprung in der primären, sedimentären Beckenkonfiguration haben. Dies impliziert, dass in der Mittleren Trias (Anisian) das Untersuchungsgebiet durch ~W- oder E-einfallende Störungen in ~N-S verlaufende **Mini-Becken (Bruchschollen)** zergliedert wurde, wo sich eine ähnliche Faziesabfolge ablagern konnte. Syn-sedimentäre (extensive) Tektonik sowie assoziierte differenzielle Subsidenz und daraus folgende hohe Sedimentationsraten könnten ein bereits initial mächtiges Salzlager zu Folge haben. Jedoch, klare tektonische Überprägung des Salzlagers und identifizierte **Zungenfalten (sheath folds)**; siehe Abb. 11 und Abb. 124) in diversen Profilen deuten auf eine zusätzliche **Verdickung des Salzlagers** durch die Kompressionstektonik und **Salz Mobilisation (Halokinesis)** hin. Tatsächlich die höchsten Salzmächtigkeiten sind in der axialen Antiklinalzone zu beobachten (Beilage 15 und 16): ~55 m in S 145, ~57 m in S 144 und ~61 m in S 150.

Das reinste **Steinsalz mit >80 Vol.% Halitgehalt kommt im basalen Salzlager** vor und hat eine variable Mächtigkeit zwischen ~5 m im Osten (S 146) und 25 m im Westen (S 157) des Untersuchungsgebiets. Dieses Salzpaket bildet eine homogene, strukturlose und relativ undeformierte Sequenz und besteht aus diversen Kristallgrößen, Kristallformen und Farben. Es impliziert eine zentrale/ landferne Beckenfazies (salt pan), wo ein relativ reines Salz im tieferen Wasser abgelagert wird und erhalten bleibt.

4.2 Strukturvergleich S 84 (Sulz 1) mit Rütihard und Grosszinggibrunn 2

Ein weiteres Ziel dieser Studie war ein strukturgeologischer Vergleich der in 2019 und 2020 analysierten Rütihard Bohrungen S 156 und S 157 (Gregorczyk & Zarudzki 2019 und Gregorczyk 2020a), der in diesem Bericht interpretierten Grosszinggibrunn 2 (GZ2) Bohrungen mit der Strukturanalyse der historischen S 84. Der Vergleich soll abklären, ob die S 84 (1) die komplexe Gesteinsgeometrie, (2) einen ähnlichen Deformationsmechanismus wie in Rütihard und GZ2 widerspiegelt und letztendlich, ob (3) die S 84 im Bereich der kompressiven Adlerhofstruktur liegt?

Die Produktionsbohrung S 84 wurde im Jahr 1982 im Solfeld Sulz 1 – etwa 200 m nordwestlich von der S 141 bzw. Solfeld GZ2– abgeteuft (siehe Abb. 1). Insgesamt wurden 54.25 m Kernmaterials zwischen 242.35 – 296.60 m gewonnen (Kerndurchmesser 10 cm). Diese decken das gesamte Salzlager und die Sulfatzonen im Liegenden und Hangenden ab. Die Resultate der geologischen Bestandsaufnahme liegen in Form eines internen Berichts von Dr. U. Pfirter aus dem Jahr 1982 und wurden von der Schweizer Salinen AG zur Verfügung gestellt.

Generell liefert der Vergleich eine eindeutige Analogie in den o.g. Fragen zwischen den Vergleichsbohrungen. Zwecks Beweisführung und tektonischer Charakterisierung der Vergleichsbohrungen sind in Abb. 147 repräsentative Schlüsselstrukturen gegenübergestellt und unterstehend weiter erörtert:

Schichteneinfallen und duktile Deformation

Analog zu Rütihard und GZ2 Bohrungen und gemäß dem S 84 Bohrprofil (Beilage 1 in Pfirter 1982) weist das z. T. gebänderte Salzlager variable Einfallswinkel der bis 35 cm dicken Anhydrit- und Ton-/Mergel Bänke auf:

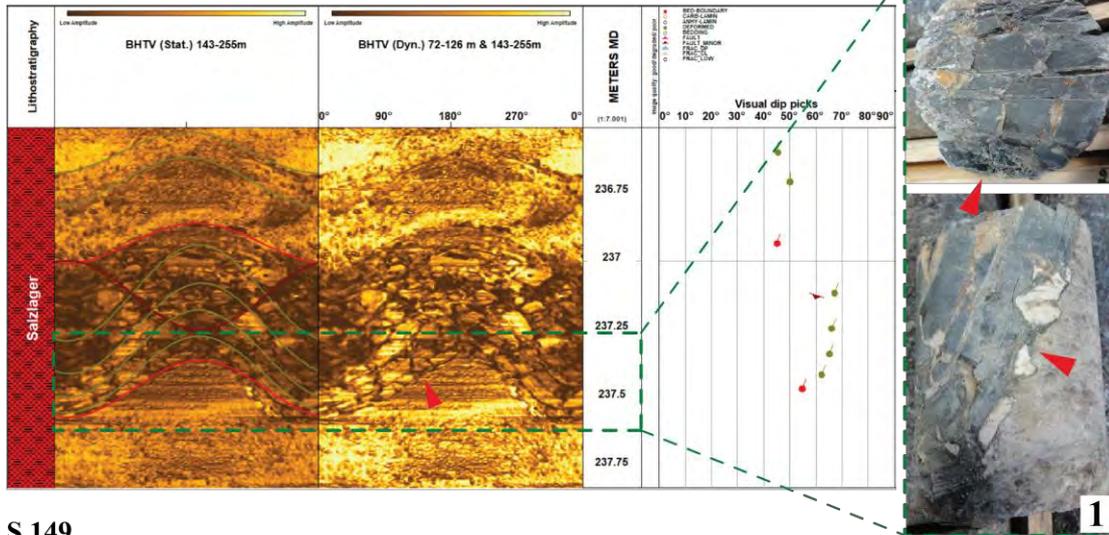
- Flache Dip Magnituden wurden an der Basis (zwischen 273.00 – 297.00 m) und am Top (zwischen 242.00 – 259.00 m) beobachtet
- Im Kontrast zahlreiche bis 68°steile und verfaltete Zwischenlagen und unlösliche Anhydrit Säumchen wurden im mittleren Salzlagerintervall (zwischen 260.00 – 273.00 m) dokumentiert (siehe Abb. 147):
 - Steile bis schräge Anhydrit-Mergel Bänke (bei 260.30 m, 271.10 m, 271.55 m, 271.95 m, 272.05 m und 272.40 m) sowie steile unlösliche Säumchen (bei 263.90 m und 265.50 m)
 - Zudem wurde an diversen Stellen (bei z.B. 259.85 m, 260.05 m und 263.90 m) viskose Deformation in Form von Falten in Anhydrit und Ton-Mergelsteinlagen beobachtet

Die steilen Dip Magnituden und Falten in Teilen des Salzlagers beweisen die für die Adlerhofantiklinale typischen Dip Muster. Beachte, dass die Raumlage der Gesteine in S 84 hinsichtlich der Einfallrichtungen nicht verglichen werden kann, weil die Aufnahme an nicht orientierten Bohrkernen vorgenommen wurde. Die Winkelangaben beziehen sich auf den Winkel relativ zur Kernachse.

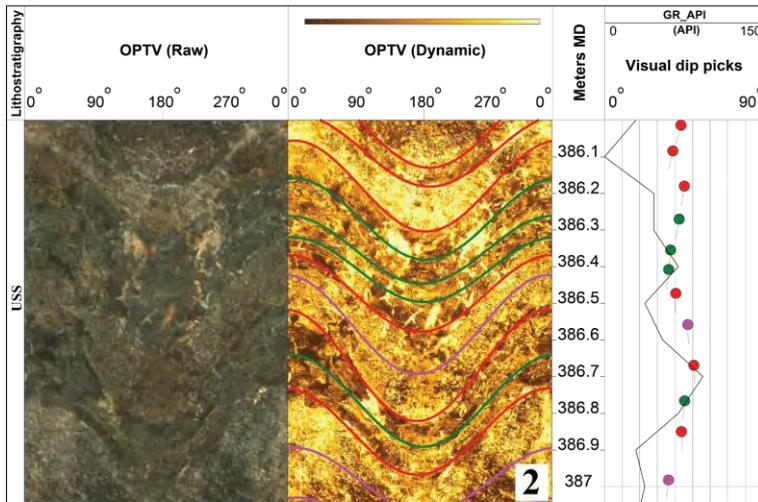
Störungen und Klüfte

Analog zu Rütihard und GZ2 Bohrungen sprödes Bruchverhalten in S 84 wurde ausschließlich innerhalb der Anhydrit- und Ton-/ Mergel Bänke. Dies deutet auf eine identische mechanische Stratigraphie der Gesteine an den Bohrlokationen hin. Die von Pfirter (1982) aufgenommenen spröden Diskontinuitäten sind vorwiegend durch **flach (30° – 35°) einfallende Überschiebung** bei z.B. 260.05 m und 271.10 m repräsentiert (Abb. 147). Zusätzlich wurde eine steile dextrale Verwerfung bei 272.05 m dokumentiert (Abb. 147), sowie Rutschharnische senkrecht zur Einfallrichtung der Schichtflächen beobachtet. Dies deutet auf ein Rütihard ähnliches **strike-slip Spannungsregime** in S 84 hin. Analog zur Rütihard, in S 84 liegt ein **Rekristallisationsgefüge im Salzlager** vor, das auf eine starke tektonische Überprägung hindeutet. Die in Pfirter (1982) examinierten spröden Strukturen zeigen gewisse Aperturen sind aber – analog zu Rütihard und GZ2 – mit (rötlichem) Fasersteinsalz oder Anhydrit verfüllt (Abb. 147).

S 156



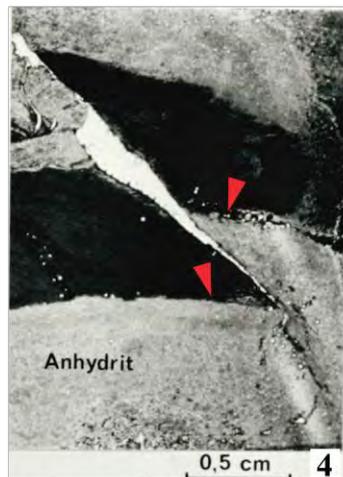
S 149



S 84



S 84



S 84



S 84



Abb. 147: Beispiel für Schlüsselstrukturen aus S 84 mit Rütihard und Grosszinggibrunn 2

Spröde Mergelbank in Steillagerung mit Steinsalzfüllung der Klüfte im BHTV und Kernen der (1) S 156 und (2) S 149. (3) Basis Mergelbank mit ~50° Einfallen in S 84 bei 272.40 m. (4) Überschiebung mit ca. 1 cm Versatz in S 84 bei 260.05 m. (5) Duktile Verformung in Anhydrit-Mergel Lagen in S 84 bei 259.85 m. (6) Steile, dextrale Störung mit Steinsalzfüllung bei 272.05 m (S 84).

4.3 Implikationen für den Salzabbau

Die durchgeführte Logdatenanalyse liefert relevante Parameter, welche beim Salzabbau und der Unterhaltung von Salzkavernen berücksichtigt werden sollten. Folgende Einflussfaktoren können implementiert werden:

Das **Schichteinfallen** definiert die Orientierung der Salzsichten und der eingeschalteten Ton-, Mergel-, und Anhydritlagen im Raum. Insbesondere in **Steillagerung** können Schichtflächen auf geringer lateraler Entfernung ihre vertikale Position signifikant ändern. Es ist möglich, dass während des Laugungsprozesses die generierte Sole **an der Basis** solcher schräg verkippten oder steilstehenden harten Bänke **Updip migriert**. Diess können folglich einerseits als Barrieren, andererseits aber als Migrationspfade die Kavernengeometrie beeinflussen und ein **präferenzielles Wachstum** einer Kaverne über die Zeit kontrollieren. Des Weiteren, diese Strukturen können das radiale Wachstum einer Kaverne verhindert, wodurch sie erratische Formen annehmen kann. Durch die Updip Migration kann die gelöste Sole – welche den Weg des geringsten Widerstandes geht – das (vertikal) höher gelegene Deckgebirge oder andere Horizonte erreicht oder durch laterale **Querlaugung** andere Salzkavernen verbinden. Diese Prozesse sind in einem konzeptuellen Modell für GZ2 und Rütihard (Abb. 148) zusammengefasst:

- Folglich, unter Berücksichtigung der Strukturresultate (Kap. 4.1.1) ist es denkbar, dass im Solfeld GZ2 mögliche Querlaugungsprozesse durch die Faltengeometrie kontrolliert werden und vorzugsweise in WNW-OSO Richtung erfolgen. Des Weiteren kann das WNW sowie OSO Abtauchen der Antiklinalachse ein weiterer Kontrollfaktor für mögliche Querlaugung sein
- Der **Kontakt zwischen dem Salzlager und der Oberen Sulfatzone** in den Rütihard Bohrungen ist sub-horizontal. In den GZ2 Bohrungen ist dieser Übergang in keinem OPTV abgebildet. Jedoch sind die unmittelbar darunter liegenden Schichten in z.B. S 142, S 144, S 145 und S 148 stark verkippt (Dip Magnituden $>40^\circ$). Des Weiteren sind im obersten Salzlager der S 142, S 144 und S 145 klare steile tektonische Störungen interpretiert. Folglich ist es möglich, dass das **Salzdach an manchen Lokationen steil steht** oder sogar **gestört** ist (siehe Abb. 148)

Neben der steilen bis vertikalen Schichtflächen, sind **spröde, tektonische Trennflächen und Störzonen** ein weiterer signifikanter Kontrollfaktor. Störzonen bilden z.T. extrem zerklüftete und tektonisch am stärksten überprägte Bohrlochintervalle und sind durch eine hohe P32-Strukturdicke charakterisiert. Folglich stellen sie **natürliche Schwächezonen im Gebirge** dar, sie können aber auch als Barrieren oder Migrationspfade die Kavernenentwicklung beeinflussen

- Im lokalen Kontext (Kap. 4.1.1) ist es denkbar, dass Kavernengeometrie und mögliche Querverbindungen lateral oder vertikal ($5^\circ - 85^\circ$ Dip Magnituden) entlang der dominanten WNW-OSO orientierten tektonischen Strukturen erfolgen und durch diese beeinflusst werden. Einen weiteren – jedoch untergeordneten Trennflächencluster – bilden die steilen bis sub-vertikalen \sim S-N orientierten (rheintalisch) Strukturen. Insbesondere die potenzielle **rheintalische Bruchstruktur** im zentralen Bereich des GZ2 Solfeldes kann die Querlaugung zwischen S 143-S 144-S 145-S 146 und S 147 beeinflussen
- Ob die interpretieren, **sub-vertikalen Störungen und Klüfte** vertikale Verbindungen zur Oberen Sulfatzone oder sogar zur Schinznach Fm herstellen können, ist alleine an Log Daten schwer zu beantworten. Jedoch die meisten interpretierten spröden Strukturen und Störzonen sind an **diskrete Ton- und Mergellagen gebunden und terminieren an ihren Grenzen**. Darüber hinaus, ist aus rheologischer Sicht **eher unwahrscheinlich**, dass sich spröde, vertikale Brüche in den mächtigen, duktil verformbaren Ton- Mergel- und Anhydritschichten der Oberen Sulfatzone ausbilden oder über längere Strecken erhalten bleiben („self-sealing Effekt“)
- Wie bereits im Kap. 4.1.1 diskutiert, die meisten **spröden Strukturen** zeigen zum Teil deutliche Öffnungsweiten (bis ca. 3 cm), sind aber überwiegend **mit Halit mineralisiert**. Bei manchen Trennflächen lässt sich der genaue Charakter (offen vs. verheilt) nicht definitiv feststellen. Jedoch

während der Solelaugung mit Frischwasser kann das Halit Zement aus den Trennflächen wieder gelöst werden, wobei die Aperturen wieder frei werden. So können sich potenziell **offene (hydraulische) Verbindungen für Fluide und Gase** bilden.

Resultate der **Lithofaziesanalyse** (Kap. 4.1.2) liefern neben dem genauen Sedimentaufbau und der Faziesverteilung im Profil vor allem die Position und Mächtigkeiten der reinen Salzhorizonte, welche besonders abbauwürdig sind. Im Solfeld GZ2 und auf der Rütihard befindet sich das reinste Steinsalz ohne jegliche Verunreinigung im basalen Salzlagerbereich und hat eine Mächtigkeit von ~5 m (S 146) bis 25 m (S 157). Dieses Horizont ist durch ein **flach gelagertes Salzlager** charakterisiert und befindet sich unmittelbar unterhalb oder oberhalb des basalen Detachements im Salz (Abb. 148). Ebenfalls ist die Schichtdicke, Orientierung, Grad der Zerklüftung und die fazielle Zusammensetzung von Ton- und Mergel Lagen für Soleabbau zu berücksichtigen. Diese bilden **mögliche Blanket-Horizonte** und sollten sorgfältig unter Berücksichtigung der o.g. Faktoren ausgewählt werden. In Kombination mit Strukturresultaten folgende Lithofaziestypen können mögliche **instabile Horizonte** darstellen und können zu **Blanket Verlusten** führen:

- Tonstein zerklüftet bis brekziiert
- Tonstein deformiert
- Alle Brekzien Lithofaziestypen: Komponenten- und Matrix gestützte
- Tektonisches Störungsgestein, stark zerklüftet (= Störzonen)

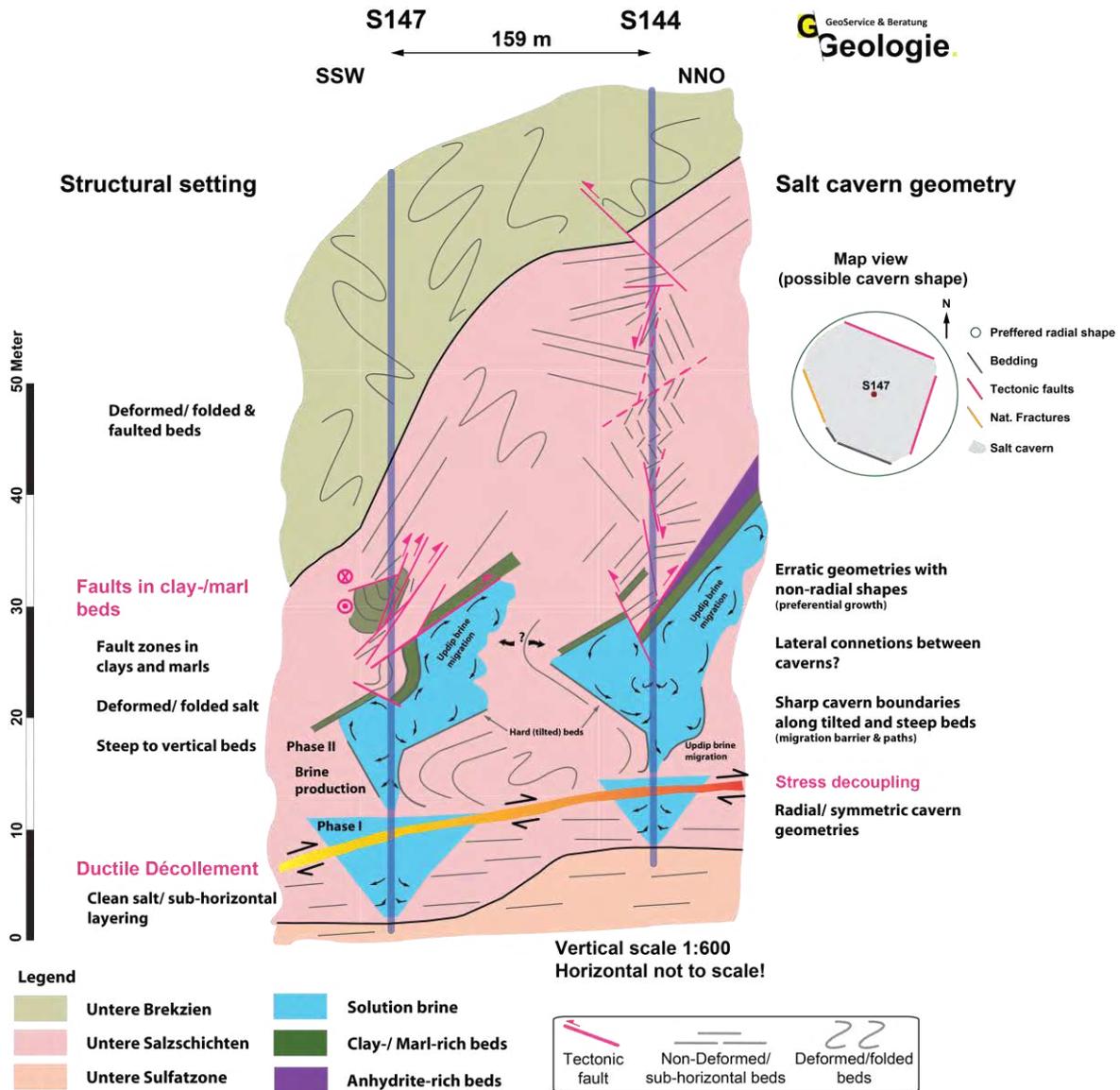


Abb. 148: Konzeptuelles Model für Salzkaverngeometrie und Entwicklung im Solfeld GZ2

5 Geologische Synthese

Die analysierten Bohrungen durchteuften eine komplexe geologische Faltenstruktur, welche auf duktile-spröde Deformation zurückzuführen ist (siehe Abb. 138). Sie hat ein konsistentes WNW-OSO bis NW-SO (Rütihard) Streichen und variabel ($1^\circ - 90^\circ$) SSW- bzw. NNO-einfallende Faltenschenkel. Auf der Rütihard dominiert ein steileres (12° bis 13°) OSO- bis SO **Abtauchen der Faltenachse**, während die Abtauchrichtung im Solfeld GZ2 nicht definiert ist. Dies ist auf eine flache, jedoch konsistent WNW-OSO streichende Faltenachse zurückzuführen. Die interpretierten Dip Muster sind maßgeblich von der Position der jeweiligen Bohrung innerhalb der Faltenstruktur kontrolliert. Die Änderungen im Schichteinfallen im Salzlager und in der Oberen Sulfatzone sind auf zwei **Deformationsmechanismen** zurückzuführen: Sie sind entweder (1) **abrupt** und korrelieren mit prominenten, spröden Störungen und Bruchzonen, oder sie haben einen (2) **graduellen** Charakter und sind an duktile Verfallungen gebunden. Die Antiklinale hat einen heterogenen internen Aufbau, der vom unterschiedlichen **mechanischen Eigenschaften** der stratigraphischen Einheiten kontrolliert wird: Die harten Abfolgen der **Bänkerjoch Fm** (S 148) und der **Schinznach Fm** und der **Dolomitzone** (Rütihard) spiegeln die **Falte 1. Ordnung** wieder. Sind durch einheitlich verkippte ($\sim 10^\circ - 40^\circ$ NNO, ONO und SW) Gesteinspakete charakterisiert, wo sich der Struktur dip ausschließlich an spröden, steilen bis vertikalen ($\sim 60^\circ - 90^\circ$) Blattverschiebungen und/oder Abschiebungen ändert. Im oberen Intervall der **Übergangsschichten**, am Kontakt zur Dolomitzone wurde auf Rütihard eine prominente, ~ 7 bis 14 m mächtige und S-einfallende **Haupt-Scherzone** durchteuft. Ebenfalls in Bohrkernen der S 144 wurde im gleichen lithostratigraphischen Niveau (Dolomit-dominierte und Übergangsschichten) eine prominente 21.41 m mächtige, compressive Scherzone identifiziert. In allen drei Bohrungen sind diese Zonen durch massive Kernverluste, inkohärente und kataklastisch-brekiöse Bohrkernkerne charakterisiert. Sie **entkoppelt die rezente Gebirgsspannung** vom blattverschiebend/ abschiebend in den Karbonaten im Hangenden, auf ein kompressives tektonisches Regime im Liegenden und stellt ein mögliches, regionales Lineament dar. Den Kern der Antiklinale bilden die inkompetenten und leicht (viskos) verformbaren Ton-, Mergel- oder Anhydritschichten der **Oberen Sulfatzone** sowie das **Salzlager**. Diese sind durch kleinräumige **parasitäre Falten 2. Ordnung** und Überschiebungen charakterisiert.

Jedoch, hinsichtlich tektonischer Überprägung ist das **Salzlager** durch ein mögliches **Abscherhorizont zweigeteilt**: (1) Seine Basis ist strukturlos und weist ein flaches ($1^\circ - 20^\circ$) Schichteinfallen auf und variiert in Mächtigkeit zwischen ~ 5 m (S 146) und 25 m (S 157). Diese Zone ist durch **reinstes Steinsalz mit >80 Vol.% Halitgehalt** charakterisiert. Der Übergang zu den (2) deformierten, verfalteten und teils verschuppten Salzschiebungen im Hangendem hat ausschließlich einen graduellen Charakter. Dieser ist durch ein **1 m bis 4 m dickes, viskoses und flaches, N-vergentes Abscherhorizont** repräsentiert (Abb. 138). Dieses ist in fast jeder Bohrung durch ein graduelles Versteilen des Beddings (Schleppung) identifiziert worden. Weitere, eindeutige Indikatoren für eine starke tektonische Beanspruchung des Salzlagers (dynamische Rekristallisation und gerichtete Salzkristalle) wurde an den Salzkernen der Rütihard Bohrungen beobachtet. Der komplexe geologische Aufbau des Salzlagers, die vordefinierte Orientierung der Schichtflächen, das interpretierte Störungsmuster (siehe unten) und nicht zuletzt seine Zweiteilung und Stress-Entkoppelung können den **Salzabbau und die Kavernengeometrie** maßgeblich beeinflussen (Abb. 148). Die steilen bis sub-vertikalen Schicht- und Bruchflächen können auf geringer lateraler Entfernung ihre vertikale Position signifikant ändern. Während des Laugungsprozesses kann die generierte Sole an der Basis solcher schräg verkippten oder steilstehenden „harten“ Mergel- oder Anhydrit Bänke oder tektonischer Strukturen **Updip migrieren** und so (vertikal) höher gelegenes Deckgebirge oder andere Horizonte erreichen. Diese können die Kavernengeometrie einerseits als Barrieren, andererseits aber als Migrationspfade beeinflussen, ein präferenzielles Wachstum erzwingen und die radiale Form einer Kaverne verhindern. Schließlich können sich mit der Zeit entlang dieser Strukturelemente erratische Geometrien entwickeln, was mit der Zeit zur lateralen Querlaugung und Verbindung zwischen Salzkavernen führen kann. Dagegen im basalen flach einfallenden Salzlager können die Salzkavernen ihre radiale Form unbehindert entwickeln. Die **Salzmächtigkeit** in den untersuchten Profilen ist beträchtlich. Jedoch die höchsten Salzmächtigkeiten sind in der **axialen Zone der Antiklinale** zu beobachten: ~ 55 m in S 145, ~ 57 m in S 144 und ~ 61 m in S 150 und nimmt nach S und N ab (Abb. 138). Dies kann auf **Verdickung des Salzlagers** durch die Kompressionstektonik und **Salz Mobilisation (Halokinesis)** zurückgeführt werden. Tatsächlich identifizierte **Zungenfalten (sheath folds)** bestätigen

das Salzfließen. Jedoch, die hohen Salzmächtigkeiten können auch teilweise auf **syn-sedimentäre Tektonik und differenzielle Subsidenz in der Mittleren Trias (Anisian)** zurückgeführt werden (Abb. 149), was ein bereits initial mächtiges Salzlager zufolge hätte. Tatsächlich die lithofazielle Korrelation deutet darauf hin, dass das Untersuchungsgebiet durch ~W- oder E-einfallende Störungen in ~N-S verlaufende **Mini-Becken** zergliedert sein konnte.

Spröde Störungen und assoziierte **Störzonen** stellen neben duktiler Verfallung einen wichtigen Deformationsmechanismus in allen Bohrungen dar. Sie kontrollieren das Schichteinfallen und verursachen meist sprunghafte Änderung im Dip Muster. Spröde Strukturen sind in den untersuchten Profilen ungleichmäßig verteilt: Sie treten als diskrete Strukturen auf, oder konzentrieren sich auf bestimmte Intervalle und bilden komplexe **Störzonen**. Diese sind z.T. extrem zerklüftete und tektonisch am stärksten überprägte Bohrlochintervalle und sind mit einer hohen P32-Strukturdichte assoziiert. Damit repräsentieren sie **natürliche Schwächezonen im Gebirge** und können den Salzabbau, Kavernengeometrie und die Gebirgsstabilität beeinflussen. Insgesamt wurden im Salzlager der GZ2 Bohrungen **20 potenzielle Störzonen** interpretiert, welche weniger Zentimeter bis mehr als 11 m mächtig (z.B. in S 143 bei 328.60 – 339.90 m) sein können. Im Salzlager konzentrieren sich spröde Strukturen bevorzugt in **Ton-, Mergel-, und Anhydritlagen** und werden von **mechanischen Verhalten** der Gesteine (Ton/Mergel = spröde, Salzstein = duktil) kontrolliert. Die meisten **spröden Strukturen** zeigen zum Teil deutliche Öffnungsweiten (bis ca. 3 cm), sind aber überwiegend **mit Halit mineralisiert**. Bei manchen Trennflächen lässt sich der genaue Charakter (offen vs. verheilt) nicht definitiv feststellen. Jedoch, während der Solelaugung kann das Halitzement aus den Trennflächen gelöst werden und so potenziell **offene (hydraulische) Verbindungen für Fluide und Gase** generieren. Die interpretierten Störungen und Klüfte zeigen eine **konsistente WNW-OSO bis NW-SO Orientierung** mit flach bis sub-vertikal (5° – 85°), überwiegend S- bis SSW-einfallenden Flächen. Diese sind Schicht-parallel und (sub-)parallel zur Antiklinalachse orientiert. Ob die **(sub-)vertikalen tektonischen Trennflächen und Bruchzonen** vertikale Verbindungen zur Oberen Sulfatzone oder sogar zur Schinznach Fm herstellen können, ist alleine an Log Daten nicht möglich zu beantworten. Jedoch, die meisten interpretierten spröden Strukturen und Störzonen sind an **diskrete Ton- und Mergellagen gebunden und terminieren an ihren Grenzen**. Darüber hinaus, ist es aus rheologischer Sicht **eher unwahrscheinlich**, dass sich spröde, vertikale Brüche sich in der duktil verformbaren Oberen Sulfatzone ausbreiten oder über längere Strecken erhalten bleiben („self-sealing Effekt“). Im Salzlager dominiert ein **kompressives Stressregime** mit einer Tendenz zur Blattverschiebung (strike-slip), was an diversen Schichtversätze entlang von Störungen beobachtet wurde.

Im zentralen Bereich der GZ2 Solfeldes wurde ein **rheintalischer Bruch** innerhalb einer Strukturreichen Zone interpretiert. Dort abgeteufte Bohrungen (S 143, S 144, S 145, S 146 und S 147) weisen erhöhte P32-Strukturdichten von 0.70 bis 2.6 m^2/m^3 auf. Des Weiteren, die vertikalen Versätze (5 m bis 10 m) zu den östlich gelegenen Bohrungen (S 148, S 149) deuten auf **eine OSO-einfallende Abschiebung** hin. Jedoch zwischen S 144 zu S 150 ist kein Versatz des Salzdaches zu verzeichnen. Es ist mechanisch möglich, dass dieses Lineament die Antiklinalachse nicht durchtrennt und dass das befindliche, mächtige Salz die tektonische Spannung duktil abgefangen hat. Darüber hinaus, die im Norden (S 146) und Süden (S 147) der Faltenachse liegenden Bohrungen weisen **Schichtlücken** aufgrund fehlender Schichtglieder der Oberen Sulfatzone auf, welche in Nachbarbohrungen bis über 20 m mächtig sein können. Dies bestätigt die vermutete **NNO-orientierte Abschiebung** und einen möglichen **fault cut-out** und stimmt mit dem Strukturmodell von Arndt (2017) überein. Die höchsten P32-Strukturdichten von 0.70 bis 2.6 m^2/m^3 konzentrieren sich auf den **zentralen Bereich des GZ2 Solfeldes** (S 143, S 144, S 145, S 146 und S 147) und deuten auf eine **SSW-NNO verlaufende Strukturreiche Zone** an. Einen Ausreißer hinsichtlich Strukturdichte stellt die S 144 dar. Sie weist die meisten Strukturen (n=42) und die höchste P32-Strukturdichte von 2.6 m^2/m^3 auf. Sie ist somit die tektonisch am stärksten beanspruchte Bohrung und durchteufte möglicherweise eine steile bis vertikale (55° – 90°) **WNW-OSO orientierte, aufschiebende Bruchzone**. Es gibt **keine klaren Indizien für eine tektonische Durchtrennung zwischen Rütihard und GZ2**. Jedoch der vertikale Versatz (20 m gemessen am Salzdach sowie die Unterschiede im Struktur dip, Orientierung der Faltenachsen und spröder Trennflächen deuten auf eine Durchtrennung der Rütihard Bohrungen, durch eine **rheintalische Abschiebung** oder Blattverschiebung.

Jedoch diese Variation könnte alternativ auf die laterale Änderung der Streichrichtung der Antiklinalstruktur zurückgeführt werden.

Basierend auf der Analyse der Haupt-Strukturelemente aller Bohrungen (Struktur dip, Faltenachsen, Störungen und Klüfte) ist eine eindeutige **WNW-OSO bis NW-SO** Symmetriebeziehung im deformierten Salzlager und in der Oberen Sulfatzone ersichtlich. Im regionalem Kontext ist dieser Trend sub-parallel zum **Adlerhofgewölbe** und zum Jurabogen südlich des Untersuchungsgebietes orientiert und ist höchstwahrscheinlich auf „**Thin-skinned**“ **Jura Faltung im späten Miozän bis Pliozän** zurückzuführen (Abb. 149). Folglich entwickelten sich die (sub-)parallel orientierten Falten und Überschiebungen **im Hangenden** eines basalen **Abscherhorizontes im Salzlager**, was zur einer bereichsweise starken, spröden Verschuppung führte. Das Abscherhorizont, das sich im Zuge von Fault-Propagation-Folding und einer etwa **~NNO-gerichteten Kompression** entwickelte, **entkoppelt die Gebirgsspannung** im Salzlager. Das Letztere ist durch die nicht-deformierten und flach gelagerten Salzsichten und die Untere Sulfatzonen im Liegenden bestätigt. Dieses (jüngere) kompressive Deformationsevent überprägte maßgeblich das Untersuchungsgebiet und somit die **älteren (Eozän bis Oligozän) rheintalischen Bruchstrukturen**, was ihre Unterrepräsentation im Datensatz (Salzlager und Obere Sulfatzone) erklären könnte. Jedoch, rheintalische Strukturen dominieren in Karbonaten der Schinznach Fm und in der Dolomitzone. Beide zeitlich getrennten und aufeinander folgenden Deformationsereignisse (Abb. 149) sind in manchen Bohrungen gut archiviert und bestätigen das kinematische Model des Untersuchungsgebiets (in S 149; Abb. 92 und in S 150; Abb. 104).

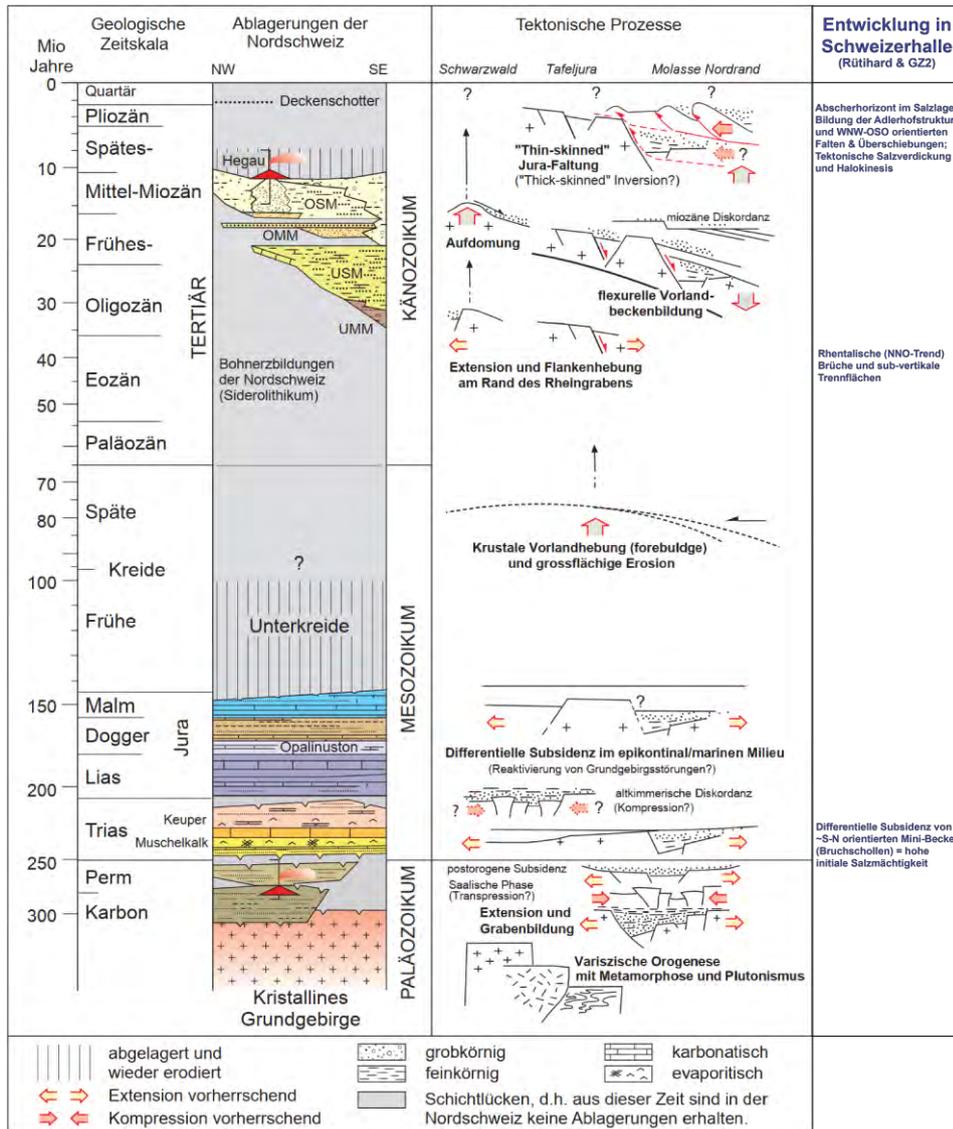


Abb. 149: Überblick der geologischen Entwicklung der Nordschweiz (Schichtfolge und Tektonik) mit der kinematischen Entwicklung im Untersuchungsgebiet modifiziert nach NAGRA 2014

6. RQD Index

Die Fels- bzw. Gebirgsklassifikation (Rock Quality Designation (RQD) Index) wurde optisch auf planaren Kernfotos mit einer Gesamtlänge von 360 m für neun Bohrungen ermittelt. Die Methodik geht auf Deere and Deere (1988) zurück und der RQD-Wert ist als Quotient definiert:

$$RQD = \frac{\sum \text{lenght (L) of core piecies} > 10\text{cm lenght}}{\text{Total lenght of core run}}$$

Die RQD-Werte wurden für 1 m Intervalle berechnet und sind in Komposite Profilen (Beilagen 1a bis 10a) visualisiert. Die Resultate sind ebenfalls in digitaler Form (Excel) als Zonierung zur Verfügung gestellt.

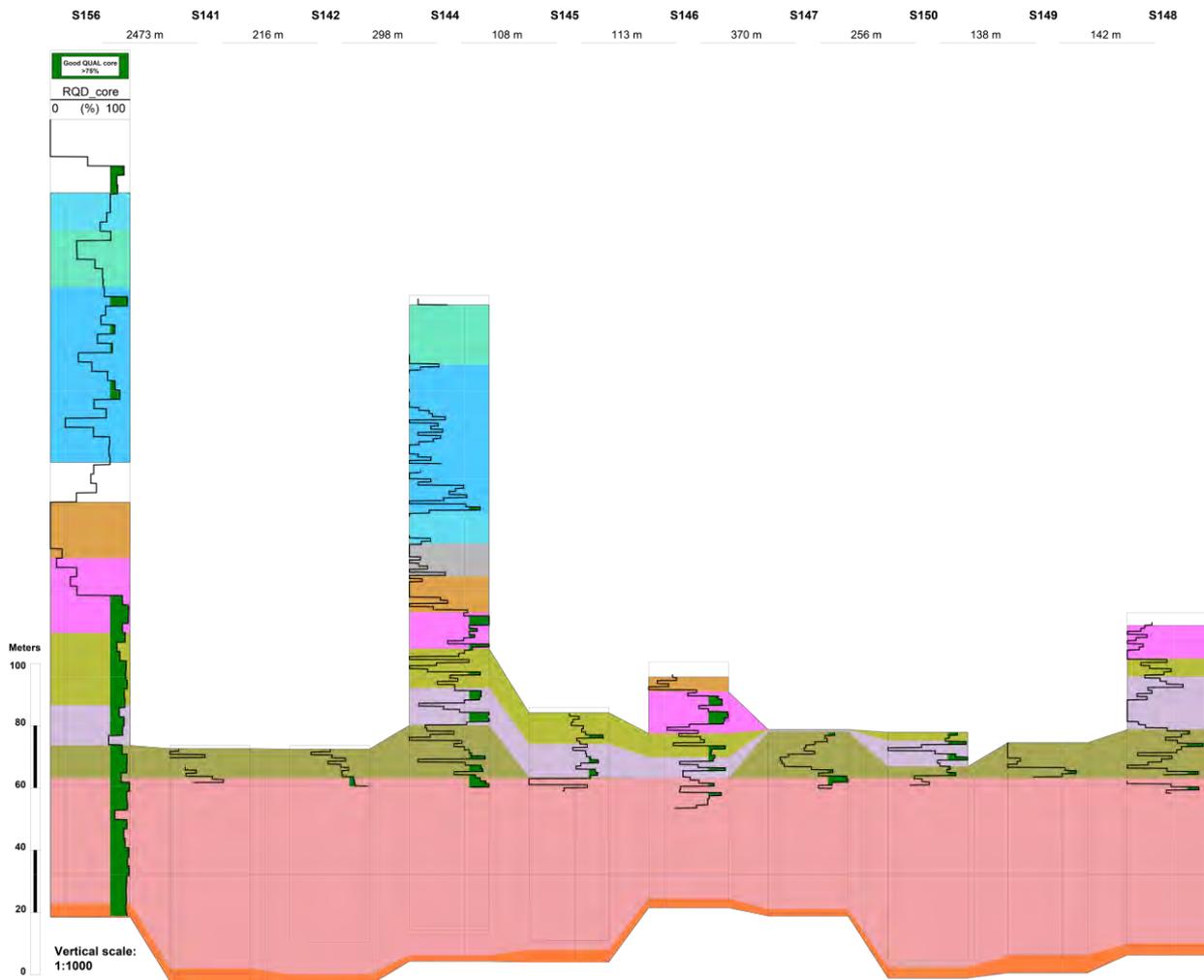


Abb. 150: RQD-Werte basierend auf Bohrkeranalyse (S 156 Rütihard) und aus optischer Kernfotoanalyse der GZ2 Bohrungen

Zusätzlich wurde eine alternative Berechnung des RQD-Wertes gemäß Palmström (2005) an gepickten, tektonischen Flächen (Störungen und Klüfte) und den daraus resultierenden Strukturdichten getestet. Bei dieser Methodik wird der RQD-Index wie folgt definiert, wobei **wJd** (weighted joint density) die für Bohrlochablenkung korrigierte Strukturdichte repräsentiert:

$$RQD = 115 - 3.3 * wJd$$

Die daraus ermittelten RQD-Werte wurden mit realen Daten der Rütihard Bohrung (S 156) verglichen (Abb. 151). Jedoch, sie liefern keine repräsentativen Daten für eine weitere gebirgsmechanische Modellierung und korrelieren nicht mit der Bohrkernanalyse. Die resultierenden Log-basierten Werte spiegeln lediglich die P32-Strukturdichten und nicht die tatsächliche Durchtrennung des Bohrkerns wieder. Palmström (2005) berücksichtigt eben nicht, dass die auf den OPTV gepickten Strukturen mineralisiert sein können und folglich nicht automatisch eine mechanische Durchtrennung des Bohrkerns zur Folge haben.

S 156 (Rütihard)

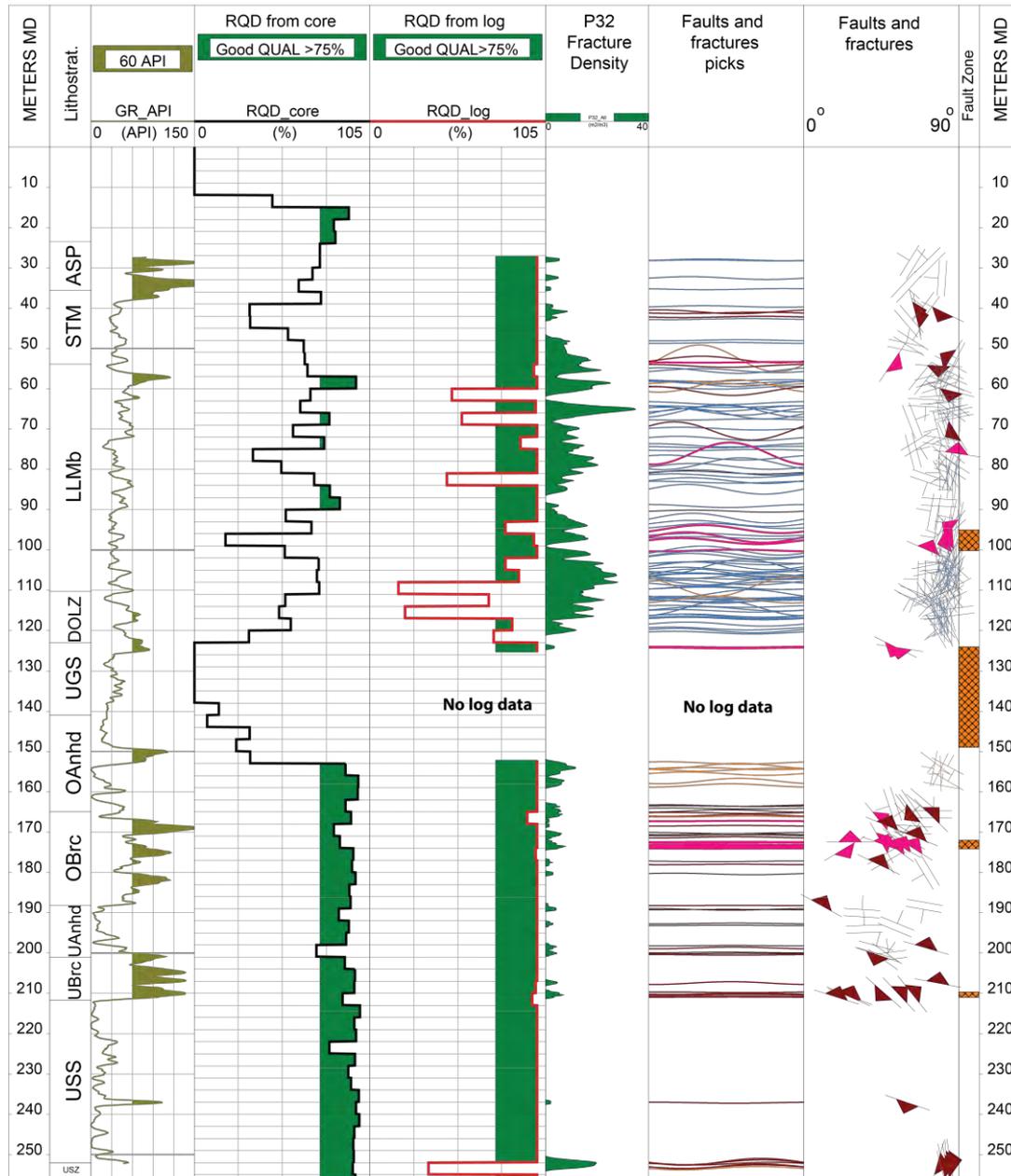


Abb. 151: Vergleich der RQD-Werte aus Kern- und Logdaten (S 156)

Dargestellt sind RQD-Werte für 3 m Intervalle resultierend aus Bohrkernanalyse (schwarze Kurve, 4er Tiefentrack von links) und aus (Log-)Strukturdichten (rote Kurve, 5er Tiefentrack von links).

7 Literaturverzeichnis

- Arndt, D. (2017): Abschluss Bericht 3D Modell Schweizerhalle. Bericht für die Schweizer Salinen AG. Pp. 21.
- Deere, D. U. and Deere, D. W. (1988): The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. American Society for Testing and Materials. Pp. 10.
- Ebert, A. & Decker, K. (2019): Structural Analysis Manual. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-12.
- Gregorczyk, L (2020a): Strukturauswertung von OPTV, BHTV & Bohrkernen sowie Salzgehaltbestimmung der Sondierbohrung S 156 (Rütihard) und Korrelation mit Sondierbohrung S 157 (Rütihard). Bericht für die Schweizer Salinen AG. Pp. 48.
- Gregorczyk, L (2020b): Salzgehaltbestimmung an Logs und Korrelation im Bohrfeld Bäumlilhof (Möhlin), Etappe 4. Bericht für die Schweizer Salinen AG. Pp. 20.
- Gregorczyk, L & Zarudzki, W. (2019): Strukturelle Analyse von OPTV, BHTV & Bohrkernen sowie petrophysikalische Salzgehaltbestimmung der Sondierbohrung S 157 (Rütihard). Bericht für die Schweizer Salinen AG. Pp. 32.
- Gürler, B, Hauber, L & Schwander, M (1987): Die Geologie der Umgebung von Basel mit Hinweisen die Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärme. Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz. Landeshydrogeologie und -geologie. Pp. 33.
- Jackson, M & Hudec, M. (2017): Salt Tectonics: Principles and Practice. The University of Texas Austin. Pp. 498.
- Jordan, P (2016): Reorganisation of the Triassic stratigraphic nomenclature of northern Switzerland: overview and the new Dinkelberg, Kaiseraugst und Zeglingen formations. Swiss Journal of Geosciences. Pp. 14.
- Lorenz, J & Cooper, S (2018): Atlas of Natural and Induced Fractures in Core. AAPG publications. Pp. 328.
- Naef, H., Büchi, M., Bläsi, H.R., Deplazes, G. & Gysi, M. (2019): Lithology Manual – Lithological description of drill cores and cuttings in Northern Switzerland. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-11.
- Nagra (2014): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier II. Sedimentologische und tektonische Verhältnisse. Nagra Tech. Ber. NTB 14-02.
- Palmstrom, A. (2005): Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology Vol. 20. Pp. 20.
- Pfirter, U (1982): Zwischenbericht Bearbeitung Bohrung S 84 (Projekt Adlerhof). Geol. Pal. Institut Universität Basel. Pp. 34.
- Pietsch, J., Wetzel, A. & Jordan, P. (2016): A new lithostratigraphic scheme for Schinznach Formation (Upper Muschelkalk of Northern Switzerland). Swiss Journal of Geosciences 109, 285-307.
- Shell International (1995): Shell Standard Legend 1995. – Shell International Exploration and Production B.V. The Hague. Pp. 212.

Warren, J (2016): *Evaporites: A Geological Compendium*. Springer, 2. Edition. Pp. 1829.

Widmer, T. (1991): Zur Stratigraphie und Sedimentologie der Anhydritgruppe (Mittlere Trias) in der Region Liestal-Anisdorf (Baselland, Nordwestschweiz). *Beitr. Geol. Schweiz, geotechnische Serie* 79, pp. 108.

Appendixe

Appendix 1: Schichteinfällen Mittelwerte S 141 – S 150

App. 1.1 S 141

Schichteinfällen Mittelwerte		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
299.02	301.87	46	189	16	DEF
301.95	302.25	26	203	5	BED
302.62	303.55	82	198	5	DEF
303.90	306.30	46	193	18	DEF
308.12	308.34	36	018	3	BED
308.36	308.98	50	192	7	DEF
310.31	311.19	81	186	9	DEF
312.53	313.10	63	019	7	DEF
313.20	313.50	58	192	6	DEF
313.65	315.95	48	006	19	DEF
316.95	317.65	40	205	6	BED
319.30	320.95	30	010	12	BED
321.00	321.85	10	092	6	BED
322.40	323.65	23	276	6	BED
324.75	325.60	51	189	6	DEF
325.96	327.75	57	352	17	DEF
327.82	329.76	33	190	17	BED
329.85	331.15	25	357	10	BED
331.45	331.75	03	284	5	BED
331.80	332.60	39	179	5	BED
332.90	333.30	69	181	3	DEF
335.70	336.80	30	354	11	BED

App. 1.2 S 142

Schichteinfallen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
322.80	323.78	49	179	8	DEF
325.87	327.93	57	013	6	BED
328.00	329.00	33	005	13	BED
329.90	331.98	43	007	15	BED
333.78	334.80	16	176	11	BED
334.90	335.40	46	199	4	DEF
335.42	335.97	20	201	6	BED
336.48	336.73	12	272	5	BED
338.70	339.81	57	080	6	DEF
339.90	340.77	31	349	5	DEF
340.95	342.00	24	251	7	BED
342.91	344.21	46	202	12	BED
344.65	345.78	40	180	14	BED
345.92	348.28	27	197	16	BED
348.32	349.80	47	186	9	BED
351.81	354.17	51	214	14	BED
355.12	355.60	39	224	5	DEF
355.81	357.31	52	024	8	DEF
357.42	359.48	30	033	19	BED
360.10	363.60	14	036	18	BED
364.62	366.78	13	031	15	BED
366.86	369.90	04	081	21	BED

App. 1.3 S 143

Schichteinfallen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
320.97	322.12	47	024	5	DEF
324.62	327.83	05	351	8	BED
342.45	343.60	59	003	11	DEF
345.80	346.15	39	176	4	DEF
346.61	347.15	51	005	5	DEF
347.25	348.53	46	128	7	DEF
348.54	349.12	08	299	4	BED
349.13	351.68	46	168	14	DEF
352.00	354.35	31	014	25	BED
355.05	358.30	14	359	21	BED
359.30	360.75	02	178	7	BED
361.10	362.10	12	353	9	BED
363.20	363.96	14	024	9	BED
364.02	365.00	03	235	7	BED

App. 1.4 S 144

Schichtefallen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
328.50	329.43	37	227	12	DEF
330.38	331.12	09	152	7	BED
331.13	331.98	14	227	18	BED
333.54	333.99	22	158	7	BED
334.20	334.68	36	198	3	DEF
334.81	335.91	63	201	9	DEF
336.50	336.91	13	013	3	DEF
341.08	341.60	66	016	6	DEF
342.15	342.78	65	185	4	DEF
342.92	345.76	61	007	20	DEF
345.82	346.33	28	206	4	BED
346.43	347.60	58	018	6	DEF
348.82	349.47	27	203	9	BED
349.58	350.12	73	207	4	DEF
350.95	351.94	68	003	5	DEF
351.96	352.50	45	207	6	DEF
352.75	353.33	60	013	4	DEF
353.52	355.08	18	274	23	BED
355.13	357.52	50	003	21	DEF
358.71	360.38	51	190	19	DEF
360.48	360.98	45	167	10	BED
361.40	361.70	31	340	5	DEF
362.55	363.13	40	201	9	DEF
363.16	364.13	59	026	9	BED
364.80	366.70	60	026	17	BED
366.85	367.76	22	306	9	BED
367.90	368.79	14	004	12	BED
369.30	370.50	55	015	11	DEF
371.00	372.70	36	027	19	BED

App. 1.5 S 145

Schichteneinfällen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
326.99	327.75	48	309	7	DEF
329.22	329.64	24	353	5	BED
329.67	330.47	45	008	12	DEF
330.62	331.01	57	025	4	DEF
331.98	333.53	36	013	13	DEF
333.78	334.37	43	035	7	DEF
334.43	336.56	31	355	29	BED
336.96	338.67	29	355	27	BED
338.68	340.12	58	030	17	DEF
340.72	341.18	21	217	4	BED
342.99	343.90	23	143	9	BED
344.28	345.03	63	021	5	DEF
345.07	345.63	16	325	6	BED
345.83	346.79	29	097	10	BED
347.23	347.53	13	270	5	BED
348.00	348.32	31	351	4	DEF
348.48	348.70	17	254	5	DEF
348.76	349.08	16	205	4	BED
349.70	350.42	23	261	8	DEF
352.61	352.92	22	242	5	DEF
353.38	354.78	12	268	19	BED
354.85	355.73	09	330	9	BED
356.91	357.58	35	254	4	DEF
358.08	358.90	13	177	12	BED
359.82	361.19	14	235	10	BED
361.88	362.45	00	294	5	BED
362.86	364.00	58	025	8	DEF
364.36	367.22	09	217	23	BED
368.36	371.40	07	034	16	BED
371.52	374.85	04	019	8	BED

App. 1.6 S 146

Schichteinfallen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
336.98	337.65	24	152	5	DEF
338.58	339.28	31	293	7	DEF
339.82	340.83	19	014	8	BED
341.70	342.10	24	111	6	DEF
342.90	343.09	17	082	6	BED
343.18	343.66	25	001	11	BED
343.67	344.10	24	044	6	DEF
344.30	346.88	09	146	50	BED
347.41	348.12	24	233	9	DEF
348.15	348.65	07	183	6	BED
349.10	349.47	24	238	5	BED
349.67	350.92	34	203	11	DEF
351.08	351.93	30	159	7	DEF
352.05	353.00	43	212	8	DEF
353.05	354.67	22	201	16	DEF
354.80	355.24	36	324	6	DEF
355.98	356.87	07	213	17	BED
356.89	357.71	05	176	17	BED
357.97	358.68	06	321	11	BED
358.98	359.20	47	171	4	DEF
359.21	359.89	23	195	8	BED
360.43	360.68	21	311	4	DEF
360.81	361.18	00	272	5	BED
361.27	362.48	08	199	10	BED
362.72	363.19	21	191	4	DEF
363.52	365.05	06	012	12	BED
365.20	365.92	21	196	7	BED
366.10	367.27	11	226	13	BED
367.30	368.55	04	179	10	BED
369.30	370.00	00	134	6	BED

App. 1.7 S 147

Schichteinfällen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
392.48	394.22	59	199	9	DEF
394.52	395.82	46	188	9	DEF
396.55	397.85	63	004	13	DEF
398.11	398.70	45	020	8	DEF
399.00	399.50	69	192	3	DEF
399.67	399.89	07	007	4	DEF
400.02	400.24	38	217	4	DEF
400.43	400.73	39	246	4	DEF
401.12	401.78	55	200	5	DEF
402.35	403.12	35	198	8	DEF
403.71	404.35	71	188	4	DEF
404.88	407.36	62	188	14	DEF
407.53	408.36	36	026	7	DEF
409.00	410.32	18	039	17	BED
410.52	413.63	26	198	15	BED
414.83	415.82	24	165	9	BED
416.55	418.22	24	002	9	BED
418.57	420.65	20	020	8	BED
421.26	421.78	01	082	6	BED
422.41	426.98	04	187	25	BED

App. 1.8 S 148

Schichteinfällen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
194.65	196.01	04	229	5	BED
196.51	197.79	16	204	4	BED
198.26	201.85	18	219	16	BED
202.61	206.02	23	216	10	BED
206.71	208.69	14	221	10	BED
211.10	211.55	14	242	4	BED
389.80	391.77	62	038	6	DEF
392.00	394.00	24	182	7	BED
401.15	402.52	75	191	5	DEF
403.71	404.95	49	189	13	DEF
405.10	406.48	45	194	12	DEF
407.00	407.49	56	189	4	DEF
407.60	411.20	79	199	12	DEF
412.94	413.61	36	177	8	DEF
413.96	414.35	54	196	5	DEF
414.80	415.83	41	179	11	BED
415.95	416.62	42	184	7	DEF
416.70	417.10	10	096	8	BED
417.20	418.30	70	210	6	DEF
419.05	420.75	65	190	9	BED
420.85	422.82	53	193	15	DEF
422.95	424.97	63	203	14	DEF
425.12	425.96	51	191	6	BED
426.10	427.20	51	205	7	DEF
427.23	427.84	46	240	9	DEF
428.11	429.76	38	134	12	BED
430.55	431.22	37	160	5	DEF
432.22	433.63	27	144	9	BED
434.51	435.53	15	057	5	BED
436.96	437.95	10	045	8	BED
439.25	440.25	12	062	9	BED
440.50	441.70	28	027	10	BED

App. 1.9 S 149

Schichtefallen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
367.19	368.85	17	196	14	BED
368.95	370.52	51	199	12	DEF
370.67	373.38	66	206	16	DEF
374.01	375.16	52	195	13	BED
375.36	376.29	39	195	10	DEF
376.40	377.43	30	183	18	BED
377.75	379.38	48	193	13	DEF
379.42	379.72	24	165	5	BED
379.82	380.39	52	196	7	DEF
380.54	381.58	45	176	10	DEF
381.70	381.90	18	183	4	BED
381.92	382.59	51	195	9	DEF
382.65	383.49	30	241	8	DEF
384.20	384.69	55	194	7	DEF
385.25	387.28	42	190	21	BED
387.70	388.55	03	113	5	BED
389.34	391.38	51	187	13	DEF
392.18	392.52	36	191	5	DEF
393.01	393.98	11	169	4	BED
394.47	395.36	15	002	4	BED
395.61	396.81	54	008	10	DEF
396.95	397.54	50	194	7	DEF
398.17	400.00	50	198	22	BED
400.05	401.68	41	182	11	BED
404.38	406.17	43	203	9	BED
406.69	409.02	05	252	7	BED
409.87	411.69	07	192	6	BED
412.95	413.35	24	108	5	BED
413.70	414.30	34	158	6	BED
414.55	417.02	11	082	13	BED

App. 1.10 S 150

Schichtefallen Mittelwert		Dip &		Anzahl Dips	Typ
Top [mMD]	Basis [mMD]	Azimut [°]			
350.00	350.64	52	200	5	DEF
350.98	352.06	61	181	8	DEF
352.60	353.40	33	217	17	BED
353.50	354.10	42	174	9	BED
354.13	355.20	47	206	13	BED
355.34	356.08	11	253	7	BED
356.10	356.77	14	182	14	BED
357.72	358.69	13	235	19	BED
358.82	359.14	26	221	7	BED
359.27	360.03	21	286	18	BED
360.13	360.40	43	170	5	DEF
360.49	361.10	26	349	6	BED
361.51	362.29	26	189	6	DEF
362.41	363.31	01	006	4	BED
363.52	365.88	30	174	8	BED
366.25	366.82	51	207	4	DEF
367.39	368.40	10	003	6	BED
368.98	369.28	14	087	4	BED
370.40	370.90	43	241	4	DEF
371.03	371.50	23	094	5	DEF
371.66	372.04	02	089	10	BED
372.76	373.20	31	226	8	DEF
373.60	373.98	05	071	5	BED
374.40	375.79	12	352	11	BED
376.48	376.88	34	357	7	DEF
378.07	378.35	59	200	7	DEF
378.68	379.62	46	015	9	DEF
379.81	380.92	34	012	8	DEF
381.03	382.41	57	019	8	DEF
383.12	384.38	69	027	8	DEF
384.47	385.53	36	023	9	DEF
385.58	386.10	02	031	6	BED
386.18	386.53	64	006	3	DEF
387.13	389.79	03	026	14	BED
391.19	393.92	03	004	22	BED
394.38	396.33	04	098	18	BED
396.64	399.14	02	047	14	BED
400.02	401.53	04	046	7	BED

Appendix 2: Liste mit kinematischen Indikatoren

Well name	No.	Depth (Core box) mMD	Structure Structure Type	Plane		Striation			
				Dip direction [°]	Dip [°]	Azimuth [°]	Plunge [°]	Shear sense	Shear sense
S141	1	287.80	MirFP	172	33	172	31	Up	3
S141	2	288.48	MirFP	184	14	200	14	No	No
S141	3	292.65	MirFP	176	66	153	62	Up	3
S142	4	311.62	MirFP	172	24	200	18	No	No
S144	5	190.70	MirFP	90	85	170	15	Dex	1
S144	6	233.96	MirFP	180	20	180	19	No	No
S144	7	239.85	MirFP	180	20	165	18	Up	3
S144	8	256.15	MirFP	180	5	135	3	Up	1
S144	9	256.22	MirFP	190	15	150	13	Up	3
S144	10	256.46	MirFP	178	15	80	2	Dex	2
S144	11	257.72	MirFP	184	35	118	2	Sin	3
S144	12	258.15	MirFP	190	12	145	10	Up	1
S144	13	258.16	MirFP	170	20	130	14	Up	2
S144	14	258.18	MirFP	180	38	168	20	Up	1
S144	15	258.22	MirFP	90	60	87	58	Down	1
S144	16	259.80	MirFP	180	30	182	28	Up	1
S144	17	259.90	MirFP	182	20	144	15	Up	3
S144	18	260.67	MirFP	80	78	358	14	Dex	1
S144	19	261.90	MirFP	180	14	165	12	Up	1
S144	20	261.95	MirFP	180	17	178	15	Up	1
S144	21	262.20	MirFP	180	21	174	20	Up	1
S144	22	263.17	MirFP	176	30	183	28	Up	1
S144	23	266.20	MirFP	178	38	120	19	Up	2
S144	24	268.80	MirFP	190	17	214	15	Down	3
S144	25	268.85	MirFP	186	14	156	12	Up	1
S144	26	269.17	MirFP	94	55	12	356	Sin	3
S144	27	269.25	MirFP	172	20	175	16	Up	2
S144	28	269.85	MirFP	174	14	200	11	Up	3
S144	29	269.91	MirFP	180	16	210	10	Up	3
S144	30	270.50	MirFP	170	14	176	12	Up	1
S144	31	271.37	MirFP	178	11	132	9	Up	1
S144	32	271.46	MirFP	180	14	156	13	Up	1
S144	33	278.85	MirFP	180	15	194	14	Up	2
S144	34	283.18	MirFP	180	20	160	9	Up	3
S144	35	283.43	MirFP	178	20	160	14	Up	1
S144	36	283.49	MirFP	172	16	190	15	Up	2
S144	37	293.33	MirFP	190	48	120	25	Up	1
S144	38	295.70	MirFP	180	40	210	30	No	No
S144	39	295.70	MirFP	180	40	96	2	No	No
S144	40	303.53	MirFP	180	25	178	24	Up	2
S144	41	308.62	MirFP	184	60	208	48	No	No
S144	42	311.27	MirFP	184	44	198	24	No	No
S144	43	312.39	MirFP	190	48	270	10	No	No
S145	44	306.40	MirFP	190	8	170	4	Up	2
S145	45	308.65	MirFP	176	40	198	30	Up	2

Appendix 2: Fortsetzung

S145	46	311.76	MirFP	180	15	174	13	Up	1
S145	47	311.77	MirFP	178	10	145	8	Up	3
S145	48	315.57	MirFP	190	6	160	4	Up	1
S145	49	315.90	MirFP	186	15	142	6	Up	3
S145	50	316.72	MirFP	180	25	164	23	Up	2
S145	51	317.10	MirFP	180	30	80	2	Sin	2
S145	52	317.16	MirFP	176	12	150	10	Up	2
S145	53	319.97	MirFP	180	10	190	8	Up	1
S146	54	300.08	MirFP	92	85	2	8	Dex	2
S146	55	302.90	MirFP	202	15	178	14	Up	2
S146	56	306.08	MirFP	190	20	173	16	Up	1
S146	57	315.10	MirFP	88	62	111	60	No	No
S146	58	315.82	MirFP	181	38	221	30	Up	3
S146	59	326.42	MirFP	173	13	159	10	Up	2
S146	60	325.44	MirFP	178	15	184	12	Up	1
S146	61	325.67	MirFP	190	17	130	10	Up	3
S146	62	325.95	MirFP	178	10	160	9	Up	2
S146	63	326.30	MirFP	170	28	100	3	Dex	3
S146	64	330.10	MirFP	170	40	172	38	Up	1
S146	65	330.48	MirFP	170	16	116	16	Up	3
S146	66	330.65	MirFP	172	55	160	50	Up	3
S146	67	331.18	MirFP	180	40	202	36	Up	3
S148	68	349.90	MirFP	191	44	160	43	Dex	2
S148	69	361.79	MirFP	180	56	185	43	Up	2
S148	70	375.72	MirFP	191	21	206	20	No	No
S148	71	376.77	MirFP	190	13	132	10	Dex	2
S148	72	381.50	MirFP	175	56	165	55	Up	2
S148	73	381.65	MirFP	180	45	162	40	Up	1
S148	74	383.97	MirFP	181	33	172	32	Up	3
S148	75	385.10	MirFP	174	39	80	2	Dex	2
S148	76	383.80	MirFP	174	59	206	54	Up	
S150	77	331.72	MirFP	180	50	152	40	Up	2
S150	78	333.35	MirFP	180	38	180	35	Up	2
S150	79	333.36	MirFP	180	40	110	15	Dex	1
S150	80	333.46	MirFP	180	43	204	40	Up	1
S150	81	334.65	MirFP	178	25	180	13	Up	1
S150	82	334.67	MirFP	170	20	198	17	Up	3
S150	83	335.18	MirFP	186	25	210	24	Up	2
S150	84	335.20	MirFP	178	30	208	25	Up	1
S150	85	335.45	MirFP	180	50	210	45	Up	3
S150	86	335.85	MirFP	182	65	190	60	No	No
S150	87	335.85	MirFP	182	65	90	5	No	No
S150	88	336.30	MirFP	184	30	180	28	No	No
S150	89	336.68	MirFP	180	15	200	12	Down	1
S150	90	336.42	MirFP	184	35	204	20	No	No
S150	91	336.46	MirFP	10	5	4	4	Up	1
S150	92	337.21	MirFP	172	34	192	30	Up	1
S150	93	340.60	MirFP	180	50	120	30	Dex	2