

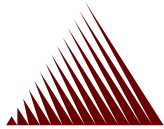
Messbericht

zur Scannerbefahrung in der Bohrung WBL-10

Messdatum: 30.10.2025

An den Auftraggeber

ARGE Nammen/Wesergebirge
c/o BOG Bohr- und Umwelttechnik GmbH
Eselsteig 17
07586 Caaschwitz



Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1. Vorwort..... | 3 |
| 2. Einleitung und Methodik..... | 3 |
| 2.1. Bohrungsdaten..... | 3 |
| 2.2. Sondenparameter..... | 3 |
| 2.3. Methodik..... | 5 |
| 3. Ergebnisse..... | 6 |
| 4. Zusammenfassung..... | 10 |

Anlagen

| | |
|-----------|------------------------------|
| Anlage 1: | Messplot 1:10 mit Pseudokern |
| Anlage 2: | Messplot 1:50 |
| Anlage 3: | Trennflächenauswertung |



1. VORWORT

Das Geotechnische Ingenieurbüro Prof. Fecker & Partner GmbH, fortan GIF, führt seit den 1980er Jahren geotechnische Messungen im Fels in Deutschland, sowie im europäischen und interkontinentalen Ausland durch.

Thema dieses Berichts ist die Bohrung WBL-10 im Rahmen des Projektes Wesergebirge, ABS/NBS Hannover-Bielefeld. Die Firma GIF wurde von der ARGE Wesergebirge / Nammen beauftragt, orientierte Bohrlochscans mit Trennflächenauswertung mit optischen Bohrlochsonden (ETIBS) und akustischen Bohrlochsonden (ABF) durchzuführen, sowie Verlaufsmessungen in Bohrungen im Bergwerk durchzuführen. Der Bohrpunkt dieses Berichts befand sich innerhalb des Bergwerks. Die Befahrung des o.g. Bohrlochs fand am 30.10.2025 statt.

Ausdrücklich nicht Gegenstand dieses Berichts sind gutachterliche Leistungen wie der Vergleich der im Folgenden beschriebenen Messergebnisse mit jeglichen Messdaten, die nicht von der Firma GIF erhoben wurden, sowie die Bewertung und Interpretation der hier vorgestellten Ergebnisse im Kontext der lokalen Geologie oder etwaiger Fachliteratur.

2. EINLEITUNG UND METHODIK

2.1. Bohrungsdaten

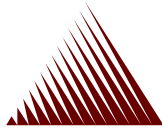
Der Messbezugpunkt für alle Tiefenangaben ist die Geländeoberkante. Die vertikale Bohrung WBL-10 (Solltiefe: 150,00 m) befindet sich im Bergwerk und wurde am 30.10.2025 von 2,50 m bis 150,55 m mit dem optischen und akustischen Bohrlochscanner befahren. Der Bohrlochverlauf wurde aus den Richtungs- und Neigungssensoren des akustischen Bohrlochscanners ermittelt. Die Bohrung hat einen scheinbar gespannten Aquifer getroffen, so dass der Wasserspiegel bis zur Geländeoberkante reichte. Die Stahlverrohrung stand bis zu einer Tiefe von 2,50 m. Die Bohrung befindet sich im Ortsteil Nammen der Stadt Porta Westfalica.

Der Bohrlochdurchmesser im befahrenen Abschnitt betrug 150 mm. Die Befahrung wurde in einem Verrohrungsabschnitt durchgeführt. Die Befahrung wurde im Folgenden ausgewertet.

2.2. Sondenparameter

Der Bohrlochscanner ETIBS® (Ettlinger Total Image Borehole System, Tab. 1) wird zur optischen Untersuchung von geologischen Erkundungs- oder verrohrten Brunnenbohrungen eingesetzt und ist eine Eigenentwicklung der GIF. Der Tiefenzähler ist in das Kabel integriert. Die Kegelstumpfbilder, welche beim Befahren der Bohrung aufgenommen werden, ergeben eine verzerrte, in Querstreifen aneinandergereihte Abbildung, weshalb die Sonde als Bohrlochscanner bezeichnet wird.

Durch eine rechnerische Entzerrung der Bilder mit Hilfe geometrischer Beziehungen entsteht am Monitor eine abgewinkelte Abbildung der Bohrlochwand. Durch die gleichzeitige Messung des Azimuts, bezogen auf die Sonde, und der Neigung der Bohrung ist die Raumstellung der Abbildung bekannt und die Abwicklung kann mit geographischen Koordinaten versehen werden.

**Tab. 1:** Technische Spezifikation der ETIBS-Sonde

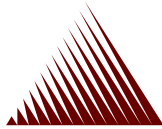
| | |
|--|---|
| | <p>Rahmenbedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erkundung geologischer Bohrungen bis max. 300 m Teufe, • druckdicht bis 30 bar, • Bohrlochdurchmesser bis 200 mm. <p>Abmessungen</p> <p>Kameramodul l = 810 mm, Ø = 96 mm Fixiermodul l = 390 mm, Ø 100 - 147 mm Anschlusssteil l = 125 mm, Ø = 96 mm Sonde komplett l = 1325 mm Kegelstumpfspiegel Ø 80 x Ø 30 x 25 mm</p> <p>Gewicht</p> <p>Sonde komplett ca. 25 kg</p> <p>Optik</p> <p>Max. Auflösung entlang Bohrlochachse 0,2 mm (abhängig von der Differenz zwischen Bohrloch- und Spiegeldurchmesser) Auflösung über Bohrlochumfang ca. 1200 Punkte</p> <p>Kompass</p> <p>Auflösung $\pm 0,5^\circ$</p> |
|--|---|

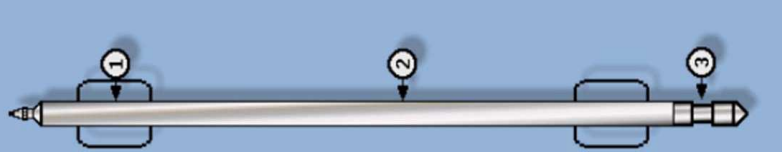
Komponenten der ETIBS-Sonde: 1) Bohrllochscanner, 2) Computer, 3) Kabelwinde, 4) Schubgestänge, 5) Toolpusher

Das akustische Bohrlochfernsehen (ABF, Tab. 2) kann nur unterhalb des Wasserspiegels eingesetzt werden, und bietet den Vorteil, in trübem Wasser ebenfalls aufzeichnen zu können. Bei der eingesetzten Sonde handelt es sich um eine *9804 Series Acoustic Televiwer* © von *Century Geophysical Llc*.

Unterschiedliche elastische Eigenschaften des Gesteins, aber auch Klüfte, führen zu unterschiedlichen akustischen Reflexionen. Messprinzip ist hierbei das Impulsechoverfahren, bei dem ein in der Sonde angebrachter, rotierender piezoelektrischer Wandler einen Ultraschallimpuls aussendet und die Reflexionen von der Bohrlochwand wieder empfängt. Durch elektronische Bildbearbeitungstechniken wird für jede Tiefenstufe eine Art „Zeilenbild“ der Bohrlochwand erzeugt und als Abwicklung dargestellt. Durch Bewegen der Sonde im Bohrloch erhält man viele einzelne „Zeilenbilder“, die zu einem Gesamtbild der Bohrlochwand zusammengesetzt werden, welches als Abwicklung oder als virtueller Bohrkern in 3D dargestellt werden kann.

Dazu ist eine Tiefenmesseinrichtung sowie ein magnetisches und auf Schwerkraft basierendes Orientierungssystem in der Sonde eingebaut, mit dessen Hilfe die Abwicklung der Bohrlochwand zeilenweise von Nord nach Nord orientiert und der Bohrlochverlauf (Einfallen und Azimut) bestimmt werden kann. Die Bildauflösung in Richtung der Bohrlochachse ist von der Geschwindigkeit abhängig, mit der die Sonde im Bohrloch bewegt wird. Neben dem Ultraschallmitter sind außerdem ein natürlicher Gamma-ray Sensor sowie ein Deviometer verbaut.

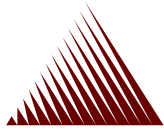
**Tab. 2:** Technische Spezifikation der ABF-Sonde

| | |
|---|---|
|  <p>Schematische Skizze des 9804 Series Acoustic Televiewer® aus dem Produktdatenblatt des Herstellers Century Geophysical Llc. 1) Natürlicher Gamma-ray Sensor, 2) Deviometer, 3) Ultraschallemitter und Ultraschallempfänger</p> | <p>Rahmenbedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erkundung geologischer Bohrungen bis max. 300 m Teufe • Druckdicht bis 100 bar • Bohrlochdurchmesser von 74 bis 230 mm <p>Abmessungen</p> <p>Sondenlänge 193 cm Außendurchmesser 50,8 mm</p> <p>Gewicht</p> <p>Sonde komplett 14 kg</p> <p>Orientierungssystem</p> <p>Auflösung für Neigung $\pm 0,5^\circ$ Auflösung für Azimuth $\pm 2,0^\circ$</p> <p>Bildauflösung</p> <p>Auflösung entlang Bohrlochachse 5 mm Auflösung über Bohrlochumfang 254 Bildpunkte</p> |
|---|---|

2.3. Methodik

Optische und/oder akustische Logs werden orientiert in die Verarbeitungssoftware WellCAD 4.3 importiert und ggf. in Helligkeit, Kontrast und Farbsättigung angepasst. Abschnittsweise Befahrungen werden mit Überlappung miteinander verschnitten und in Übergangsbereichen zur Verrohrung werden Kompassdreher entfernt. Im Falle einer größeren Überlappung des optischen und akustischen Logs wird auf Basis des aussagekräftigeren Logs ausgewertet.

Trennflächen werden in die Kategorien *Schichtung/Schieferung*, *Schrägschichtung*, *Klüfte* z. T. *erkennbar* und *Klüfte* eingeteilt und nachgezeichnet (Tabelle 3). Die Darstellung der Trennflächen als Sinuskurve ist bedingt durch den Umstand der Abwicklung eines 360°-Bildes in eine zweidimensionale, rechteckige Form.

**Tab. 3:** Arten und Kriterien der verwendeten Trennflächen

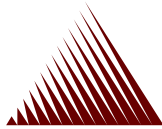
| Trennflächenkategorie | Beschreibung / Kriterium | Farbe |
|------------------------------|---|--------------|
| Schichtung / Schieferung | <ul style="list-style-type: none"> - Durchgehende oder nahezu durchgehende Trennfläche ohne Ausbruch entsprechend der vorherrschenden Lamination des Gesteins - Schichtungen: ablagerungsbedingte Gefüge- und Mineralogieunterschiede, nur in Sedimentgesteinen und schwachmetamorphen Gesteinen sedimentären Ursprungs - Schieferung: zumeist tektonikbedingte Mineral-Neuausrichtung und Alteration des verfestigten Gesteins, abhängig von Spannungsbetrag, Spannungsrichtung, sowie Temperatur | schwarz |
| Schrägschichtung | <ul style="list-style-type: none"> - Durchgehende oder nahezu durchgehende Trennfläche ohne Ausbruch, die rasch wechselnde und übereinander gestapelte Azimuth und/oder Neigungswechsel der Lamination aufweist. - Primär in Sandsteinen auftretend, seltener in Siltsteinen und Kalksandsteinen möglich. | blau |
| Kluft, z. T. erkennbar | <ul style="list-style-type: none"> - Teilweise durchgehende Trennfläche, ggf. mit sichtbarer Apertur - Schichtparalleler, unvollständiger Ausbruch | hellgrün |
| Kluft | <ul style="list-style-type: none"> - Durchgehende Trennfläche, ggf. mit sichtbarer Apertur - Schichtparalleler, vollständiger Ausbruch | magenta |

Als Anlagen zu diesem Bericht dienen die Bohrlochabwicklung als Detailansicht im Maßstab 1:10 mit Pseudokern, Trennflächen-Abwicklung, Trennflächen-Nummerierung und Bemerkungen, sowie die Strukturauswertung im Maßstab 1:50 mit Trennflächen-Abwicklung, Fallrichtungs-Diagramm, Polpunktdiagramm, Richtungsrosen-Diagramm und Trennflächen pro Laufmeter. Beide Dateien werden im PDF-Format übergeben. Außerdem werden alle Trennflächen tabellarisch nummeriert nach Wendepunkt der Trennfläche der Sinuskurve mit Fallrichtung, Fallwinkel und Trennflächenkategorie als Excel-Datei zur Verfügung gestellt.

3. ERGEBNISSE

Die Art und Beschreibung der verwendeten Trennflächen ist Tabelle 3 zu entnehmen. Eine grobe Übersicht der ausgewerteten Trennflächen, deren absoluter Häufigkeit sowie ihres vorwiegenden Azimuths und Fallwinkels ist in Tabelle 4 zu finden. In Anlage 2 sind Polpunktdiagramme und Kluftrosendiagramme für alle 10 m zur Bohrlochabwicklung mit allen Strukturen zu finden. Abbildung 1 zeigt ein Polpunktdiagramm mit allen Trennflächen der Bohrung. Diese Trennflächen werden nach Kategorie in Tabelle 5 getrennt und die Clusterbildung von Vorzugsrichtungen mit Hilfe von Konturlinien und farblicher Visualisierung herausgearbeitet.

Im Abschnitt zwischen etwa 22 m und etwa 95 m Bohrlochtiefe sind die Bilddateien des optischen Scanners trotz Bild-Nachbearbeitung und -Aufhellung so dunkel, dass sich fast keinerlei



Trennflächen erkennen lassen. Der akustische Bohrlochscan liefert etwas bessere Ergebnisse in Bezug auf die erkennbaren Trennflächen, so dass in diesem Abschnitt der akustische Bohrlochscan zur Auswertung herangezogen wurde, allerdings ist die Anzahl der erkennbaren Trennflächen dennoch sehr stark reduziert verglichen mit dem oberen und unteren Abschnitt des Bohrlochscans, und liegt abschnittsweise unter einer Trennfläche pro Laufmeter. Dies ist in dem ausgesprochen ungewöhnlich, da die Bildgebung in einem maßhaltigen Bohrloch unabhängig vom Gesteinstyp stets die Trennflächen deutlich wieder gibt. Es ist empfehlenswert, die Trennflächendichte des Bohrkerns als Vergleich heranzuziehen, da die Ergebnisse der optischen und akustischen Bohrlochsondierungen in Bezug auf Darstellung der Trennflächendichte im o.g. Abschnitt nur zweifelhafte Resultate liefern.

Das befahrene Bohrloch besteht aus einem Fels, der stellenweise gehäuft von subhorizontalen Schichtungen durchzogen wird, die überwiegend in nördlicher Richtung einfallen. Die durchgängigen Klüfte verlaufen überwiegend etwa schichtparallel und zeigen folglich eine ähnliche Vorzugsrichtung.

Insgesamt sind 616 Trennflächen erfasst worden.

Die bei weitem häufigste der erfassten Trennflächen wurden der Kategorie Schichtung/Schieferung zugeordnet ($n = 516$, ca. 84 % aller Trennflächen). Hierbei Diese Strukturen fallen in einer weit gefassten Vorzugsgruppe mit etwa $10^\circ - 20^\circ$ in nördlicher Richtung ein (Tab. 5).

Auf die gesamte Bohrung betrachtet sind *Klüfte*, z.T. *erkennbar* die zweithäufigste Trennflächenkategorie ($n = 82$, ca. 13 % aller Trennflächen). Diese Strukturen weisen eine starke Streuung im Neigungswinkel, größtenteils zwischen 20° und 80° auf und im Azimut auf, von einer Vorzugsgruppenbildung kann nicht wirklich gesprochen werden, vgl. auch Tab. 5.

In geringer Anzahl treten *Klüfte* auf ($n = 18$, ca. 3 % aller Trennflächen) auf. Obwohl sich zwar eine scheinbar eindeutige schichtparallele Vorzugsrichtung ergibt, ist die Aussagekraft dieser aufgrund der geringen Anzahl von Datenpunkten nur mit Vorsicht zu bewerten. Sämtliche Strukturen fallen zwar grob in nördliche Richtung ein, jedoch zeigen mehrere Strukturen im Vergleich zu den Schichtungen erhöhte Neigungswinkel von bis etwa 40° (siehe Tab. 5).

Tab. 4: Häufigkeiten und Vorzugsrichtungen der Trennflächen.

| | Schichtungen/ Schieferungen | Klüfte, z. T. erkennbar | Klüfte |
|------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------|
| Absoluter Anteil | 516 | 82 | 18 |
| Relativer Anteil | 83,8 % | 13,3 % | 2,9 % |
| Azimuth Median | $353^\circ \pm 27^\circ$ | $19^\circ \pm 75^\circ$ | $353^\circ \pm 27^\circ$ |
| Fallwinkel Median | $14^\circ \pm 5^\circ$ | $43^\circ \pm 22^\circ$ | $28^\circ \pm 14^\circ$ |

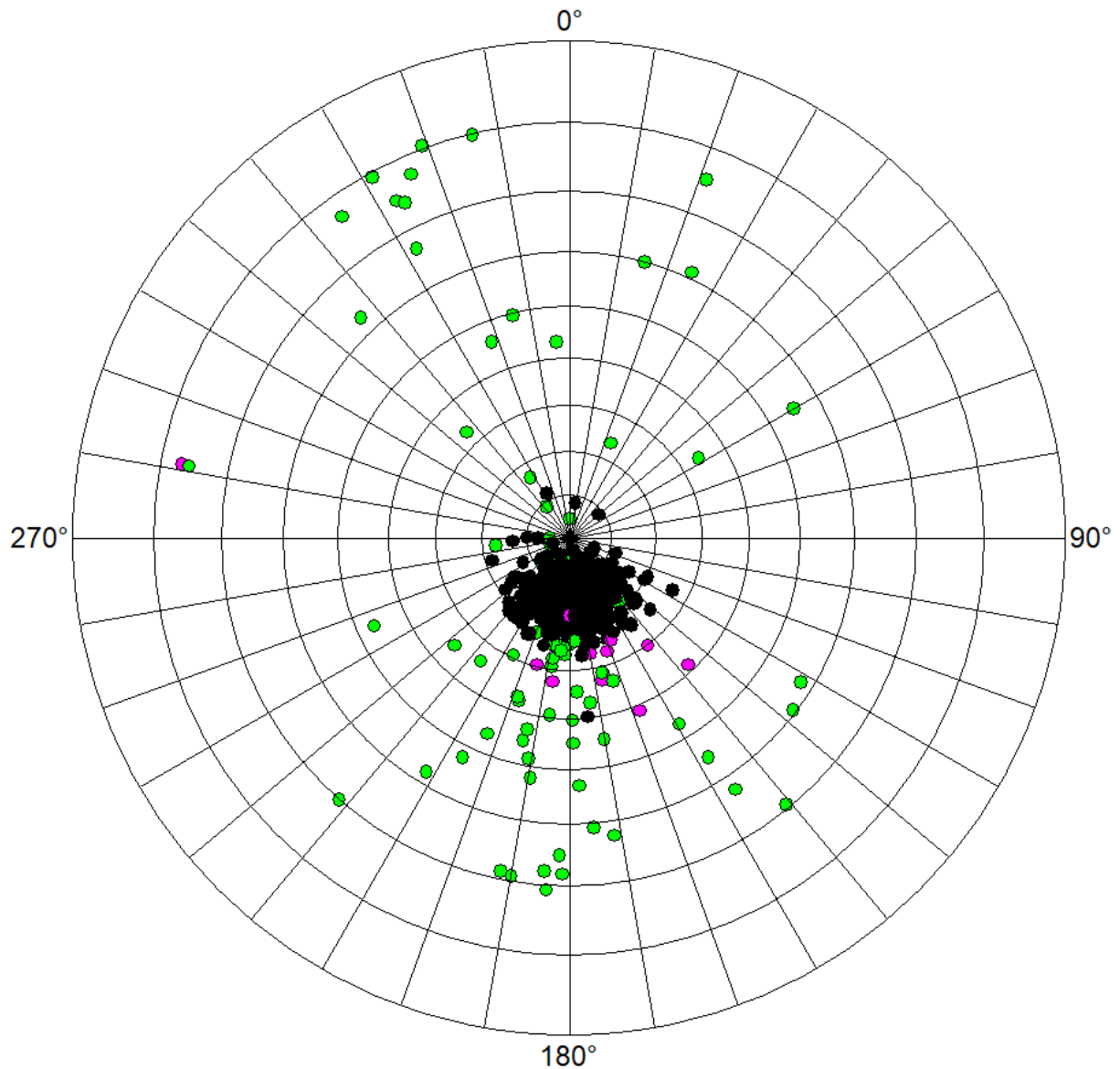
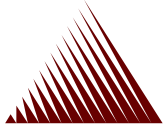
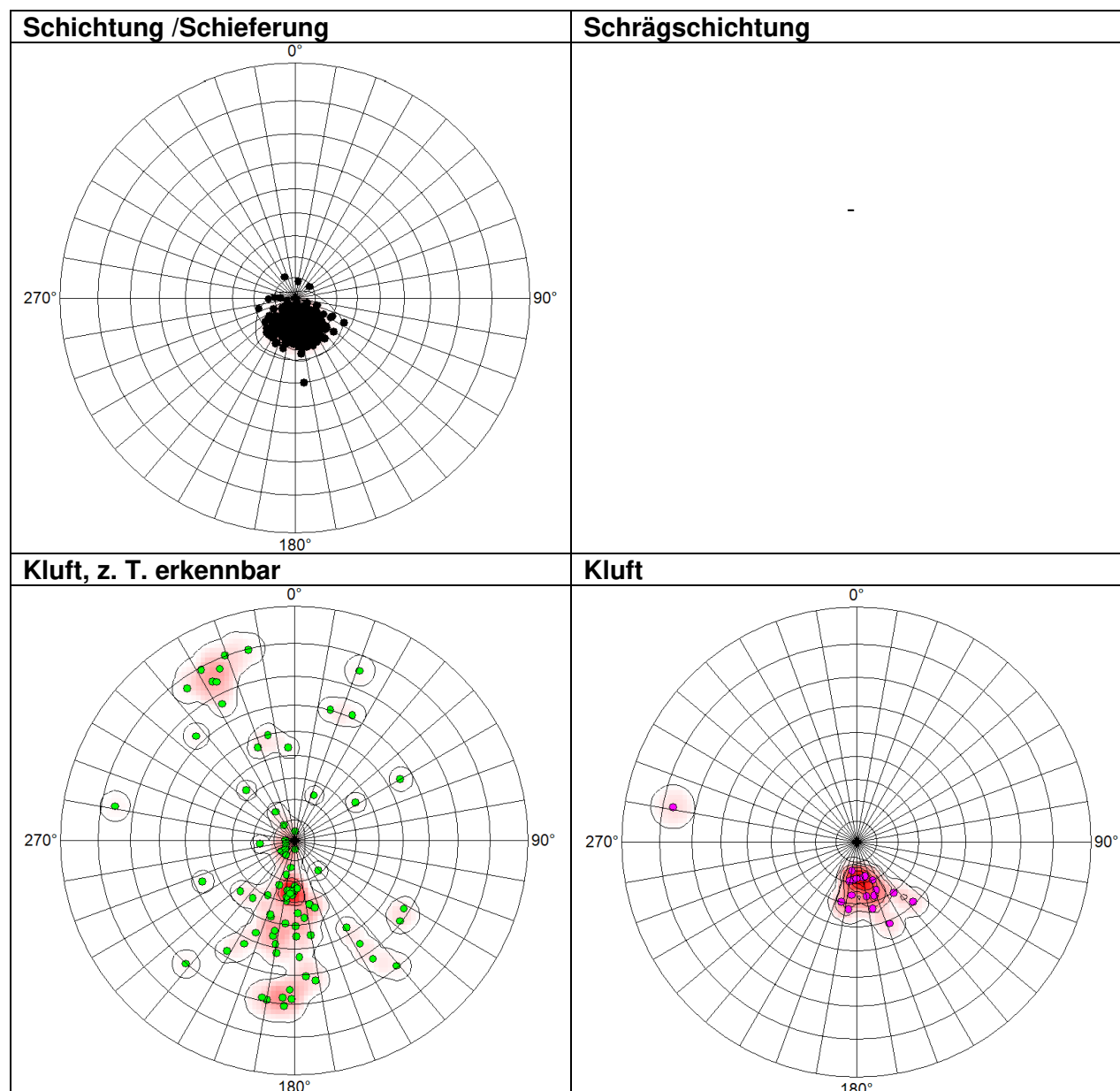


Abb. 1: Polpunktdiagramm (Wulff-Plot, südliche/untere Halbkugel) aller Trennflächen der gesamten Bohrung. Der Kreisrand entspricht 90° Neigungswinkel, das Kreiszentrum 0° Neigung. Zur Umwandlung in Gefügeschreibweise sind die abgelesenen Azimute um 180° zu versetzen. Radiale Linien und umlaufende Linien alle 10°.



Tab. 5: Polpunktdiagramme der Trennflächen-Großkreise mit Konturlinien und roter Farbdarstellung zur Visualisierung der statistischen Signifikanz, projiziert auf die südliche Halbkugel eines Wulff-Diagramms. Radiale Linien und umlaufende Linien alle 10°.



Aus Tabelle 5 lassen sich anhand der Konturlinien und Datenhäufung direkt die Datenqualität und Datenkontinuität ableiten.

Die Neigung der Vorzugsgruppierung der Schichtungen/ Schieferungen, welche relativ flach grob in nördliche Richtung einfallen, entspricht den bisher untersuchten Vorzugsrichtungen in anderen Bohrlöchern, die außerhalb des Bergwerks abgeteuft worden sind.. Insgesamt sind Azimut und Neigungswinkel der Vorzugsgruppe etwa im Wertebereich der die bisherigen Bohrlochscans.



Die Vorzugsrichtungen der nur zum Teil erkennbaren Klüfte spiegeln sich zum Teil in den Ergebnissen bisheriger Bohrlochscans wider.

Die Ergebnisse der Kuftorientierungen stimmen nur schlecht mit den bisher untersuchten Bohrlöchern überein. Typisch waren bisher zum einen relativ steile Einfallswinkel, und zum anderen ein südlicher Azimut und ggf. ein nördlicher Azimut. In der Bohrung WBL-10 fallen die Klüfte bis auf eine Ausnahme nach Norden mit maximal 40° ein.

Eine detaillierte textliche Auflistung der lokalen Trennflächen-Trends jedes kürzeren Abschnitts würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen, kann jedoch aus den alle 10 m segmentierten Klüftrosen und Polpunktdiagrammen in der 1:50er Strukturauswertung entnommen werden. Ebenso ist die digital les- und editierbare Excel-Trennflächenliste dazu gedacht, dass der Berichtsempfänger und/oder Gutachter ohne Hürden die Messdaten weiter statistisch auswerten kann, sollte er dies wünschen.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Die Bohrung WBL-10 GWM (Solltiefe 150,00 m) wurde zwecks Trennflächenanalyse mit dem akustischen Bohrlochscanner befahren.

Die Trennflächenanalyse ergab eine Gesamtanzahl von 616 Trennflächen. Schichtungen/Schieferungen sind hierbei die mit Abstand häufigste Trennflächenart, die mit etwa 10° bis 20° überwiegend nach Norden einfällt. Auffallend ist, dass die Klüfte mehrheitlich schichtparallel orientiert sind und somit im Gegensatz zu vorherigen Bohrlochscans in Bohrungen außerhalb des Bergwerks nur flache Neigungswinkel aufweisen. Nur zum Teil erkennbare Klüfte zeigen eine zu große Datenstreuung, um von einer Vorzugsgruppenbildung sprechen zu können.

(ppa. Dr. Alexander Monsees)