



Gebirgscharakterisierung
Vergleich der Ergebnisse klassischer Methoden
mit Methoden der berührungslosen Messung

Masterarbeit

zum Erlangen des Grades

Master of Science

vorgelegt von

Maike Schäbitz

aus Bielefeld

Betreuer der Masterarbeit:

Ass. Prof. Dr. phil. Kurt Klima

angefertigt an der Technischen Universität Graz

Institut für angewandte Geowissenschaften

Graz, Juni 2012

Personal experience

is everything

Danksagung

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Datum: _____

Unterschrift: _____

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | 9 |
| 1 Einleitung | 10 |
| 1.1 Motivation | 10 |
| 1.2 Problemstellung | 10 |
| 1.3 Geographische Lage | 13 |
| 2 Geologischer Rahmen | 14 |
| 2.1 Lithologie der bearbeiteten Gesteine | 15 |
| 2.1.1 Mittelostalpinen Altkristallin | 15 |
| 2.1.2 Oberostalpine Grauwackenzone | 17 |
| 2.1.2.1 Grüngesteine der Veitscher Decke | 17 |
| 2.1.2.1 Marmore und Karbonatschiefer der Veitscher Decke | 19 |
| 3 Methodik | 20 |
| 3.1 Klassische Gebirgscharakterisierung | 20 |
| 3.1.2 Orientierung | 21 |
| 3.1.3 Trennflächenabstand | 21 |
| 3.1.4 Scheinbare Spurlänge | 22 |
| 3.1.5 Art der Endung einer Trennfläche | 23 |
| 3.1.6 Rauigkeit | 23 |
| 3.1.7 Öffnungsweite | 24 |
| 3.1.8 Füllungen | 25 |
| 3.2 Stereophotogrammetrie und softwaregestützte Bildbearbeitung | 27 |
| 3.2.1 Messungen der Rauigkeiten von Trennflächenoberflächen im Model | 30 |
| 3.1.1.2 Anforderungen an die Bildauflösung für die Bestimmung der Rauigkeiten | 31 |
| 3.3 Mineralanalyse | 32 |
| 3.3.1 Röntgendiffraktometrie | 32 |
| 3.3.2 Dünnschliffmikroskopie | 32 |
| 4 Ergebnisse | 33 |
| 4.1 Gneise des mittelostalpinen Altkristallin | 34 |
| 4.1.1 Beschreibungen der Aufschlüsse | 34 |
| 4.1.1.1 G Neu | 34 |
| 4.1.1.2 G 4 | 34 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.1.1.3 | G 6 | 35 |
| 4.1.2 | Ergebnisse | 36 |
| 4.1.2.1 | Klassisch | 36 |
| 4.1.2.1.1 | Trennflächenorientierungen | 36 |
| 4.1.2.1.2 | Trennflächennormalabstände und Frequenzen | 36 |
| 4.1.2.1.3 | Terminationsindex | 37 |
| 4.1.2.1.4 | Rauigkeiten (JRC) | 37 |
| 4.1.2.1.5 | Mittlere scheinbare Spurlänge (Semi-tracelength) | 38 |
| 4.1.2.2 | Shape Matrix | 39 |
| 4.1.2.2.1 | Trennflächenorientierungen | 39 |
| 4.1.2.2.2 | Trennflächennormalabstände und Frequenzen | 39 |
| 4.1.2.2.3 | Rauigkeiten | 40 |
| 4.2 | Karbonate der Veitscher Decke | 42 |
| 4.2.1 | Beschreibungen der Aufschlüsse | 42 |
| 4.2.1.1 | DM Bundesstraße | 42 |
| 4.2.1.2 | DM Forstweg | 43 |
| 4.2.1.3 | Weg 1 | 43 |
| 4.2.1.4 | Weg 3 | 44 |
| 4.2.2 | Ergebnisse | 45 |
| 4.2.2.1 | Klassisch | 45 |
| 4.2.2.1.1 | Trennflächenorientierungen | 45 |
| 4.2.2.1.2 | Trennflächennormalabstände und Frequenzen | 45 |
| 4.2.2.1.3 | Terminationsindex | 46 |
| 4.2.2.1.4 | Rauigkeiten (JRC) | 47 |
| 4.2.2.1.5 | Mittlere scheinbare Spurlänge (Semi-tracelength) | 49 |
| 4.2.2.2 | Shape Matrix | 50 |
| 4.2.2.2.1 | Trennflächenorientierungen | 50 |
| 4.2.2.2.2 | Trennflächennormalabstände und Frequenzen | 50 |
| 4.2.2.2.3 | Rauigkeiten | 51 |
| 4.3 | Grüngesteine der Veitscher Decke | 53 |
| 4.3.1 | Beschreibungen der Aufschlüsse | 53 |
| 4.3.1.1 | GSF Ost und GSF West | 53 |
| 4.3.2 | Ergebnisse | 54 |
| 4.3.2.1 | Klassisch | 54 |
| 4.3.2.1.1 | Trennflächenorientierungen | 54 |
| 4.3.2.1.2 | Trennflächennormalabstände und Frequenzen | 54 |
| 4.3.2.1.4 | Terminationsindex | 55 |
| 4.3.2.1.5 | Rauigkeiten (JRC) | 55 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.3.2.1.6 | Mittlere scheinbare Spurlänge (Semi-tracelength) | 57 |
| 4.3.2.2 | Shape Matrix | 57 |
| 4.3.2.2.1 | Trennflächenorientierungen | 57 |
| 4.3.2.2.2 | Trennflächennormalabstände und Frequenzen | 58 |
| 4.4 | Gegenüberstellung der Ergebnisse | 59 |
| 4.4.1 | DM Bundesstraße | 60 |
| 4.4.1.1 | Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen | 60 |
| 4.4.1.2 | Rauigkeiten | 61 |
| 4.4.2 | DM Forstweg | 61 |
| 4.4.2.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 61 |
| 4.4.3 | Weg 1 | 62 |
| 4.4.3.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 62 |
| 4.4.3.2 | Rauigkeiten | 63 |
| 4.4.4 | Weg 3 | 64 |
| 4.4.4.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 64 |
| 4.4.4.2 | Rauigkeiten | 65 |
| 4.4.5 | G Neu | 65 |
| 4.4.5.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 65 |
| 4.4.5.2 | Rauigkeiten | 66 |
| 4.4.6 | G 4 | 66 |
| 4.4.6.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 66 |
| 4.4.6.2 | Rauigkeiten | 67 |
| 4.4.7 | G 6 | 68 |
| 4.4.7.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 68 |
| 4.4.8 | GSF Ost | 69 |
| 4.4.8.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 69 |
| 4.4.9 | GSF West | 70 |
| 4.4.9.1 | Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen | 70 |
| 6 | Diskussion | 72 |
| 7 | Fazit | 74 |
| | Literaturverzeichnis | 75 |
| | Abbildungsverzeichnis | 76 |

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Ergebnisse von zwei Methoden der Gebirgscharakterisierung miteinander verglichen. Dieser Vergleich zielt speziell auf die Trennflächenorientierungen, die Trennflächenabstandsparameter, sowie Rauigkeiten der Trennflächenoberflächen. Aufschlüsse von drei verschiedenen Lithologien innerhalb des mittelostalpine Altkristallin und der oberostalpinen Grauwackenzone werden sowohl mittels Scanline-mapping als auch mit dem auf Stereophotogrammetrie basierendem System „ShapeMetrix^{3D}“ von der 3G Software & Measurement GmbH ausgewertet. In den Vergleich der Orientierung und der Trennflächenabstandsparameter werden zusätzlich Daten von MERINGER (1994) mit einbezogen, welcher diese im gleichen Gebiet ebenfalls ausgewertet hat.

Der Vergleich aller Daten zeigt, dass auch unter nicht optimalen Aufschlussbedingungen, wie oberflächennah leicht aufgelockertem, dünnchiefrigem Gefüge, in Störungsbereichen und auch bei nicht optimaler Auflösung der Stereofotos, aufgrund zu kleiner Bildausschnitte, die Trennflächenabstandsparameter, sowie die räumliche Lage des Gefüges charakteristisch und vergleichbar zu der klassischen Methode des Scanline- Verfahrens mittels Methoden der berührungslosen Messung bestimmbar sind.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Für das Gesamtverhalten des Gebirges ist das System aus intaktem Fels, Trennflächen und Bergwasser entscheidend. Die Trennflächen wiederum beeinflussen maßgeblich Verformbarkeit, Festigkeit und Durchlässigkeit. Sie haben somit einen signifikanten Einfluss auf die Spannungsübertragung und -umlagerung und starke Auswirkungen auf Ausbruchsarbeiten und die Sicherung von Felsbauwerken.

Um den Einfluss der Trennflächen auf das Gebirge zu quantifizieren, müssen die relevanten Eigenschaften derer Trennflächen, welche das Trennflächennetz bilden, bestimmt werden.

Die klassische Methode des „Scanline mappings“ zur Gebirgscharakterisierung wurde schon von einigen Autoren umfassend beschrieben, z.B. in PRIEST (1993).

Indem ein Maßband (Scanline) vor einem Aufschluss gespannt wird sollen Fehlerquellen bei der Datenerfassung minimiert werden, die durch subjektive menschliche Wahrnehmung entstehen. An allen Trennflächen, welche das Maßband schneiden, werden verschiedenste Trennflächencharakteristika bestimmt.

Auch mit Hilfe neuerer Methoden der berührungslosen Messung, wie der Datenauswertung mittels metrischer dreidimensionaler (3D) Modelle, basierend auf der Stereophotogrammetrie, können unter bestimmten Aufschlussbedingungen diverse Trennflächenparameter in vergleichbarer Güte bestimmt werden. Die Methode der digitalen Datenerfassung findet vor allem in der Dokumentation in Tunnel- und Bergbau Anwendung. Hierbei besteht keine Zugriffsproblematik, auch Trennflächen welche z.B. aufgrund ihrer Lage für einen Menschen von Hand unerreichbar sind, können am Computermodell bearbeitet werden. Metrische- und Orientierungsmessungen sind möglich und einige Kenngrößen können direkt aus den Modellen abgeleitet werden. Die davon für diese Arbeit wichtigen sind die Trennflächenabstandparameter, die Orientierungen aller Flächen im Raum und auch Morphologien von Oberflächen können als Profillinie abgebildet werden.

1.2 Problemstellung

Ziel dieser Arbeit ist ein Vergleich der klassisch von Hand vermessenen Trennflächenparameter mit denen der berührungslosen Messung aus dreidimensionalen Modellen.

An ausgewählten Aufschlüssen innerhalb drei verschiedener Lithologien wurden immer beide Methoden durchgeführt. Es wurden einmal verschiedene Trennflächenparameter entlang einer

Scanline aufgenommen und im Anschluss wurde von dem gleichen Abschnitt des Aufschlusses Stereobildpaare für die Erstellung eines 3D Modells angefertigt.

Auch die verwendete Software zur Erstellung und Auswertung dieses Modells bietet eine Scanline Funktion an. Mit dieser können zumindest die sogenannten Trennflächenabstandsparameter (mittlerer, minimaler und maximaler Trennflächennormalabstand) entlang einer durch das Modell gelegten Scanline, automatisch an vorher eingezeichneten Trennflächen bestimmt werden. Auch die Lagenkugelprojektionen aller im Modell eingezeichneten Trennflächen sowie die dazu gehörigen Lagenkugelparameter werden automatisch erstellt.

Die durch beide Methoden ermittelten Daten wurden ausgewertet und die Ergebnisse einmal untereinander und zusätzlich noch mit schon existierenden Daten von MERINGER (1994) verglichen. MERINGER (1994) hat im gleichen Gebiet Aufschlüsse mit dem Ziel geostatistischer Untersuchungen von Trennflächenparametern auch anhand des Scanline- Verfahrens untersucht. Die Ergebnisse seiner Arbeit wurden zusätzlich zu den eigenen Daten in den Vergleich mit einbezogen um herauszufinden ob unter verschiedensten Aufschlussbedingungen vergleichbare Ergebnisse produziert werden und infolgedessen besonders die Einsatzmöglichkeiten der berührungslosen Messung besser definiert werden können.

Die 3D Modelle werden aus Fotografien errechnet. Da Fotografien aus Oberflächendaten bestehen, muss ein Objekt auch abbildbar sein. Die Darstellung kann z.B. bei fehlenden Kontrasten, welche durch den Wechsel zwischen hellen und dunklen Bildbereichen entstehen, oder schlechter Ausleuchtung problematisch bzw. fehlerhaft sein. Auch ist eine gewisse Struktur der Gesteinsoberfläche notwendig, damit im 3D Modell überhaupt messbare Flächen vorhanden sind.

Ein weiteres Problem im Zusammenhang mit der Abbildbarkeit ergibt sich für die Flächen, welche nicht deckungsgleich in beiden Bildern des Stereobildpaares erfasst werden können. Für die Erstellung des 3D Modells wird das Prinzip der dreidimensionalen Oberflächenmessung anhand eines stereoskopischen Bildpaares genutzt. Aus der Orientierung der beiden Bilder zueinander und zwei korrespondierenden Punkten auf den beiden Bildoberflächen können Sehstrahlen rekonstruiert werden, die dann zu einem 3D Messpunkt führen (3G SOFTWARE & MEASUREMENT GmbH 2009, siehe auch Abb. 15, S.28).

Sind an einer Stelle keine zwei korrespondierenden Punkte vorhanden, wird die Oberfläche des 3D Modells an dieser Stelle anhand von Verknüpfung darum herum liegender korrespondierenden Punkte erstellt, was zu Verzerrungen der Oberfläche und Realitätsabweichungen führen kann. Wenn für größere Bereiche keine korrespondierenden Punkte von der Berech-

nungssoftware gefunden werden können, werden ganze Aufschlussbereiche nicht berechnet und es entstehen Lücken in der Modelloberfläche, welche einen echten Vergleich von dort lokalisierten Daten unmöglich machen. Das Fehlen korrespondierender Punkte tritt bei Oberflächen auf, welche aufgrund ihrer Orientierung aus der jeweiligen Kameraposition heraus nicht erfasst werden können.

Die Auflösung des Modells und somit die Auswertegenauigkeit einiger Parameter hängt vom Bildmaßstab und somit von der Größe des Bildausschnittes, dem Auflösungsvermögen der Kamera selbst, der Brennweite des Objektivs usw. ab. Besonders die Größe des Bildausschnittes des Aufchlusses und somit dessen Auflösung kann jedoch aus verschiedensten Gründen nicht immer nach Bedarf gewählt werden, wodurch in manchen Fällen auch die zu geringe Auflösung eine charakteristische Erfassung der Trennflächenparameter verhindert.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass bestimmte Aufschlussgegebenheiten für die Anwendung photogrammetrischer Messmethoden zur Trennflächencharakterisierung eher ungeeignet erscheinen. Mit Hilfe des Vergleichs der erhaltenen Trennflächenparameter soll diese Problematik verifiziert werden.

1.3 Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet befindet sich zwischen St. Michael in der Obersteiermark im Westen und Leoben im Osten. Südlich wird es durch die Leobener Straße (116) begrenzt, nördlich verläuft es von Leoben über den Kamm des Hinterberges, durch die Ortschaft Jassing hindurch nach St. Michael.

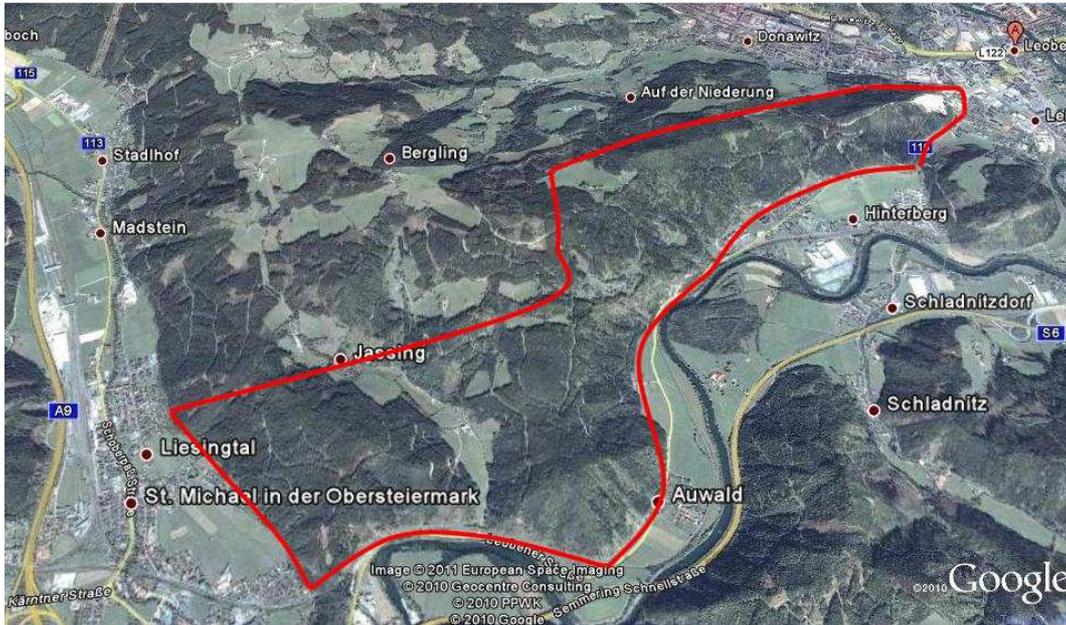


Abbildung 1: Innerhalb der roten Markierung befindet sich das Untersuchungsgebiet (GOOGLE 2010)

Die genaue Lage aller bearbeiteten Aufschlüsse ist einer Übersichtskarte in Anhang A eingetragen.

2 Geologischer Rahmen

Innerhalb des Untersuchungsgebietes treten einige geologische Großeinheiten auf.

Im Südwesten (SW) bei St. Michael das mittelostalpine Altkristallin (MOA), vertreten durch Gneise des Gleinalmmassives. Im weiteren Verlauf auf der orographisch linken Seite der Mur in Richtung Nordosten folgen permoskytische Quarzite und Quarzphyllite der Rannachserie (MOA) welche an die Basis der oberostalpinen Grauwackenzone gebunden sind. Ab dem Jassinggraben nach NE bilden dann die Gesteinsserien der oberostalpinen Grauwackenzone das höchste tektonische Stockwerk. Diese liegt wiederum in Form ihrer tieferen tektonischen Einheit, der Veitscher Decke, vor und wird hauptsächlich aus Grüngesteinen, Phylliten und Marmoren aufgebaut (BERGMAIR et al. 1996).

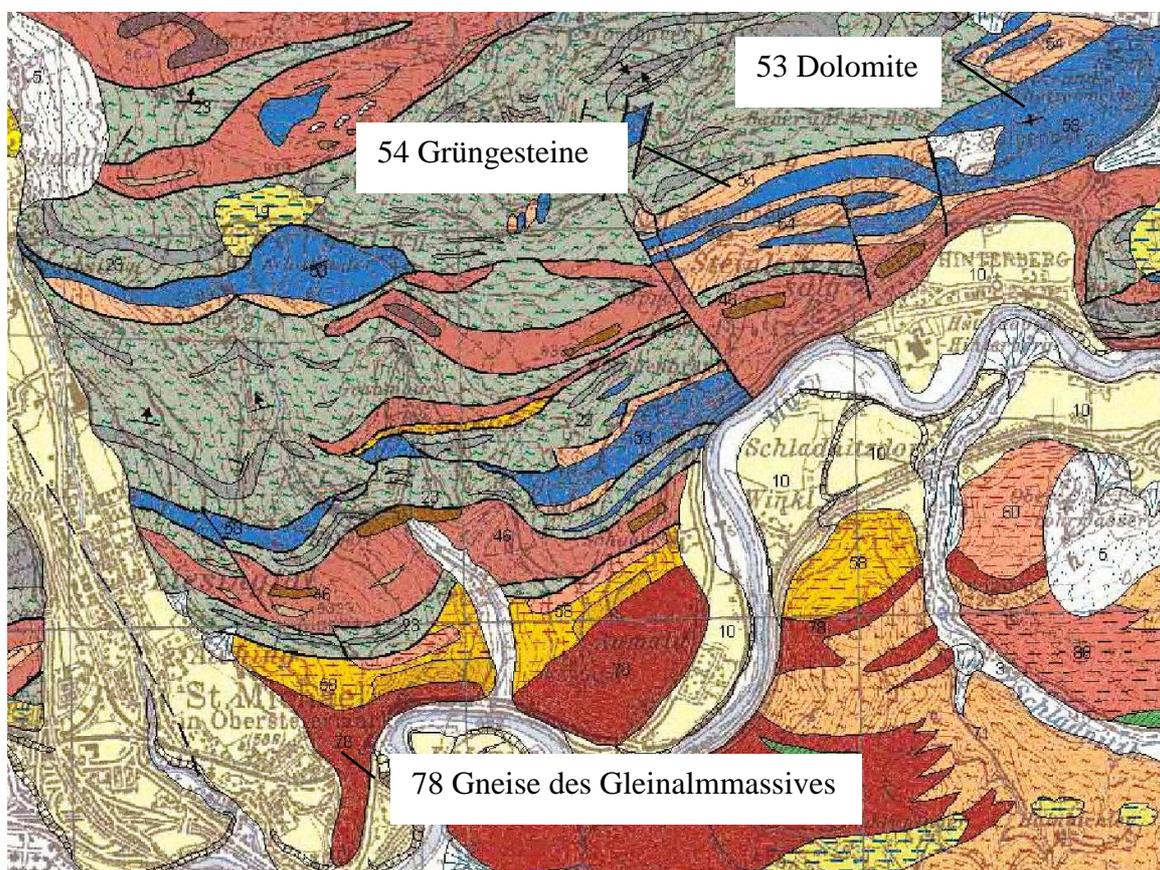


Abbildung 2: Geofast - Provisorische Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 - 132 Trofaiach: Stand 1999, Ausgabe 2005.

2.1 Lithologie der bearbeiteten Gesteine

Im Folgenden werden die Charakteristika der bearbeiteten Gesteine anhand von Beobachtungen aus dem Gelände, sowie Auswertungen von Röntgendiffraktometrie und Polarisationsmikroskopie von drei typischen Proben kurz umrissen.

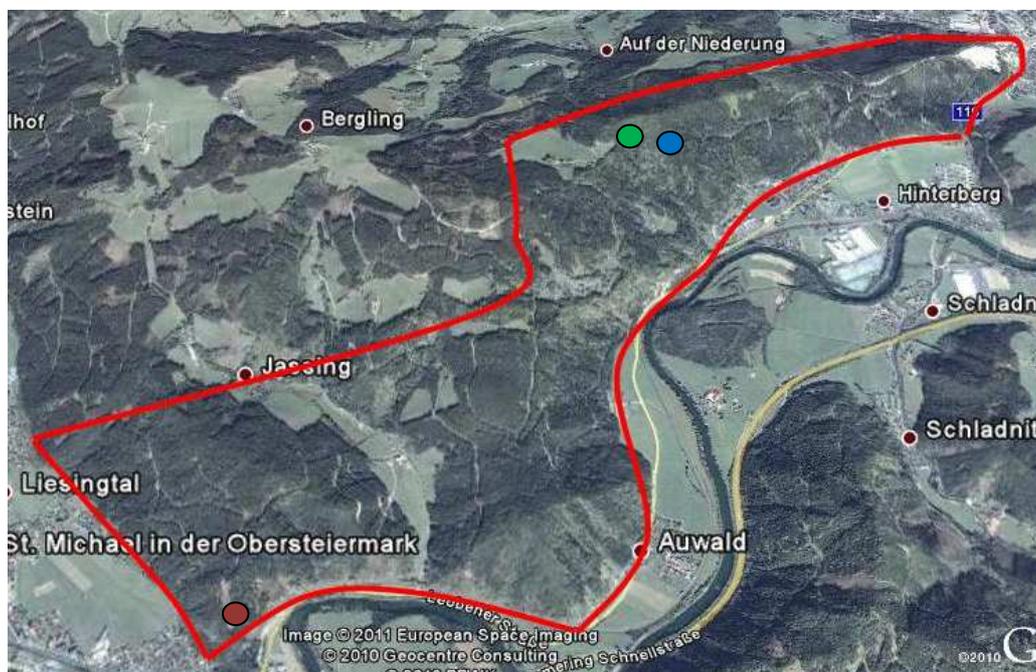


Abbildung 3: Lokationen der Proben für Untersuchung des Gesamtmineralbestandes anhand von Röntgendiffraktometrie und Dünnschliffmikroskopie. Ziegelrot: Gneisprobe, Grün: Grüngesteinsprobe, Blau: Karbonat (GOOGLE 2010).

2.1.1 Mittelostalpinen Altkristallin

Die im SW des Untersuchungsgebietes anstehenden Biotitgneise des Gleinalmmassives sind gut und teils wandbildend aufgeschlossen. Sie sind größtenteils massig und grobkörnig, von dunkelgrauer Farbe und zeigen im frischen Bruch einen limonitisch braunen Verwitterungsaum von einigen Zentimetern dicke. Makroskopisch ist der häufig hohe Biotitgehalt deutlich erkennbar, ebenso die Ausprägung der oftmals zentimetergroßer Feldspatblasten. Der Quarzgehalt variiert von dünnen Bändern bis hin zu faustgroßen Knollen.

Als Hauptgemengteile können Quarz, Feldspäte, Biotit und Muskovit sowie Epidot angegeben werden.

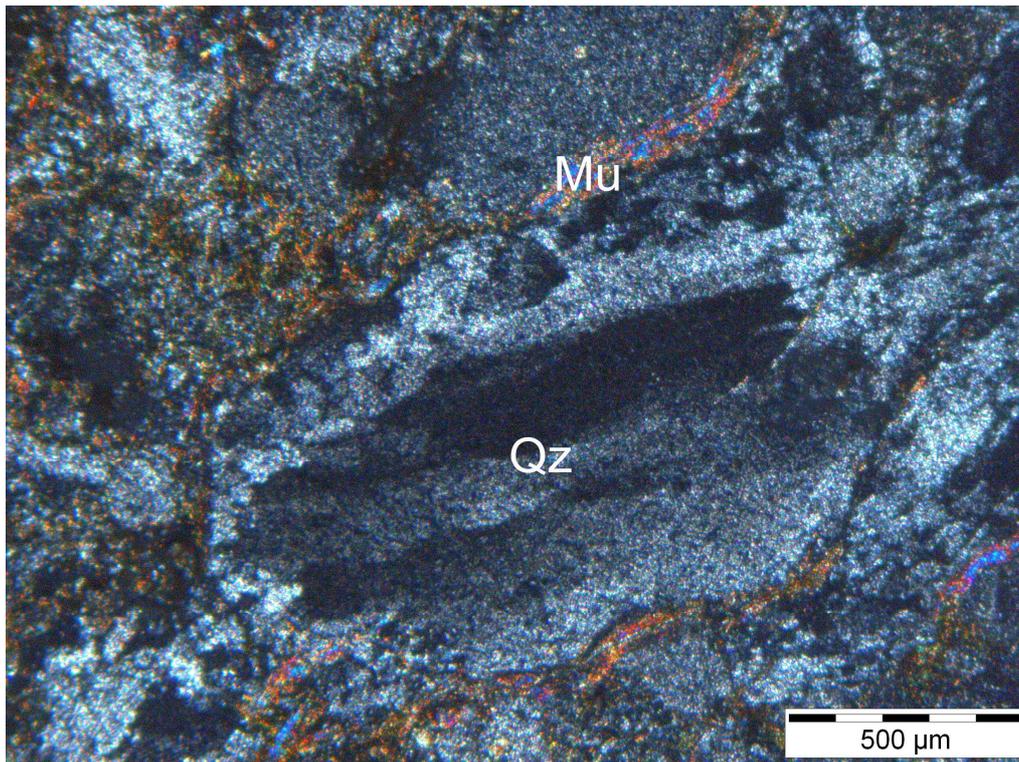


Abbildung 4: Durchlicht mit Polarisator. Mittig undulös auslöschender Quarz, umgeben von Muskovitbändern.

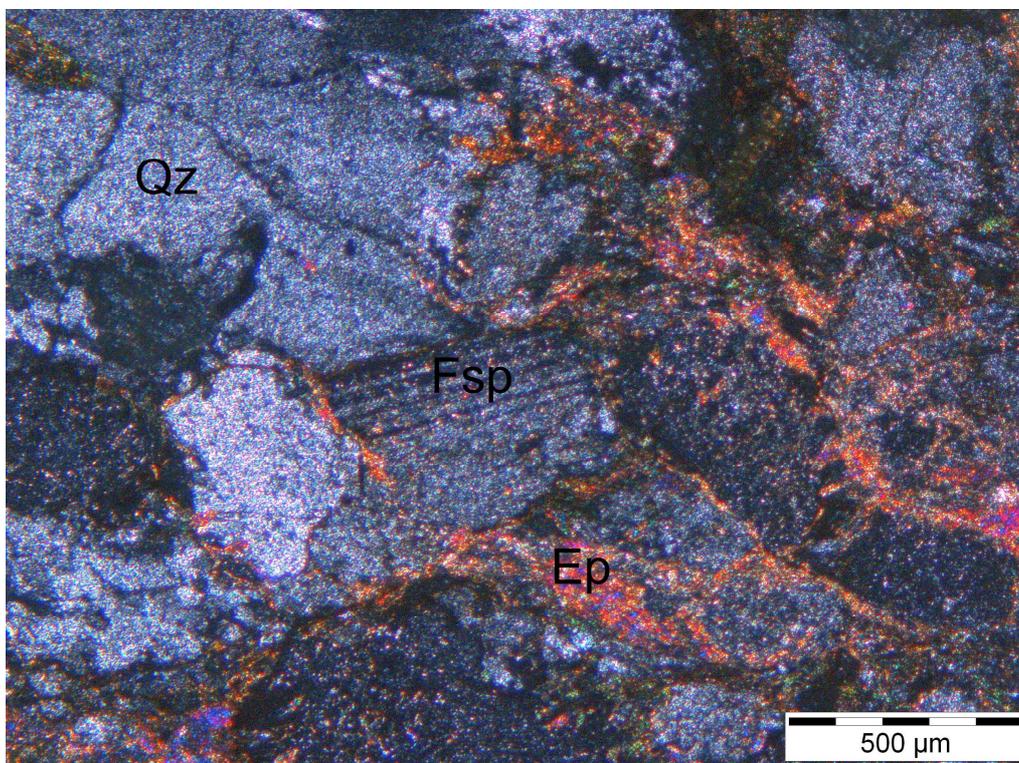


Abbildung 5: Durchlicht mit Polarisator. Quarz, Feldspat und Epidot.

2.1.2 Oberostalpine Grauwackenzone

Die Gesteine der Veitscher Decke sind im Bereich der bearbeiteten Aufschlüsse aus Marmoren, Karbonatschiefern und begleitenden Grünschiefern zusammengesetzt.

2.1.2.1 Grünschiefer der Veitscher Decke

Die Grünschiefer sind graugrün bis braungrün, sehr dünnshieferig und von eher geringer Festigkeit. Aufgrund dieser Eigenschaften sind sie weniger gut aufgeschlossen und vorhandene Aufschlüsse stark entfestigt und aufgelockert.

Die Hauptgemengteile sind Chlorit, Feldspäte, Karbonate, Epidot und Muskovit.

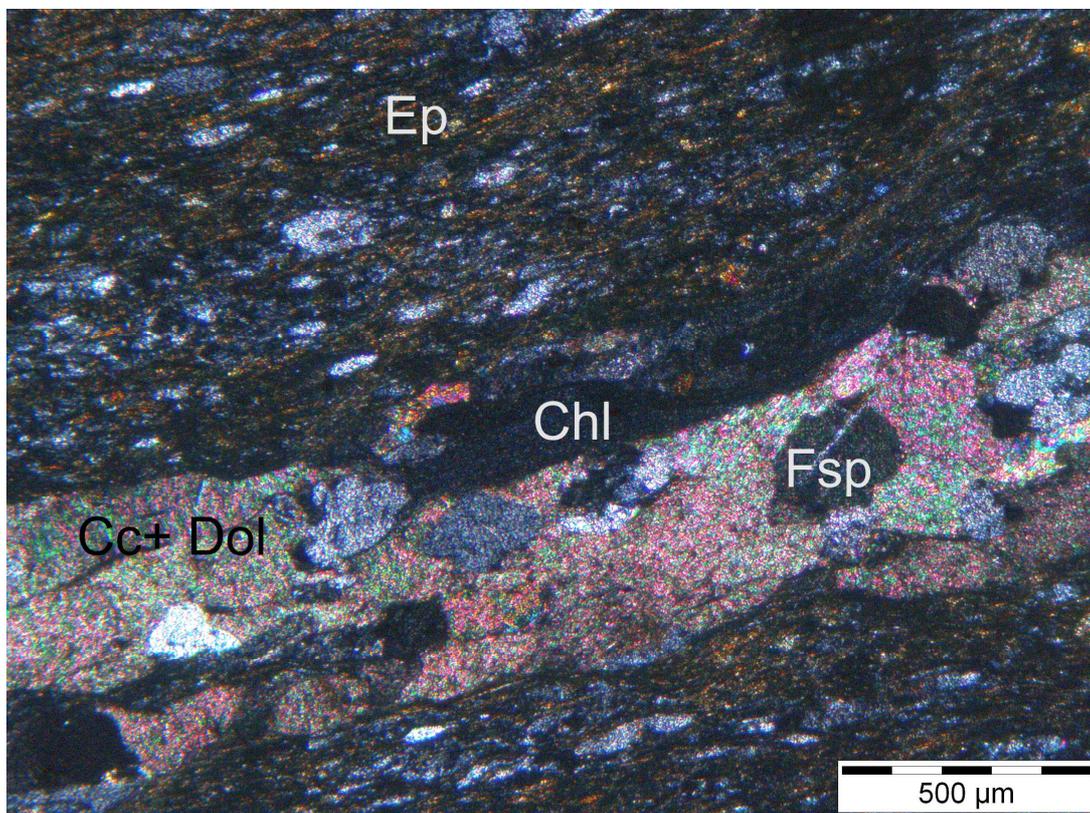


Abbildung 6: Durchlicht mit Polarisator. Grünschiefer mit dünnem Band aus Kalzit, Dolomit und vereinzelt Feldspäten umgeben von dunklem Chlorit, buntem Epidot und etwas Muskovit.

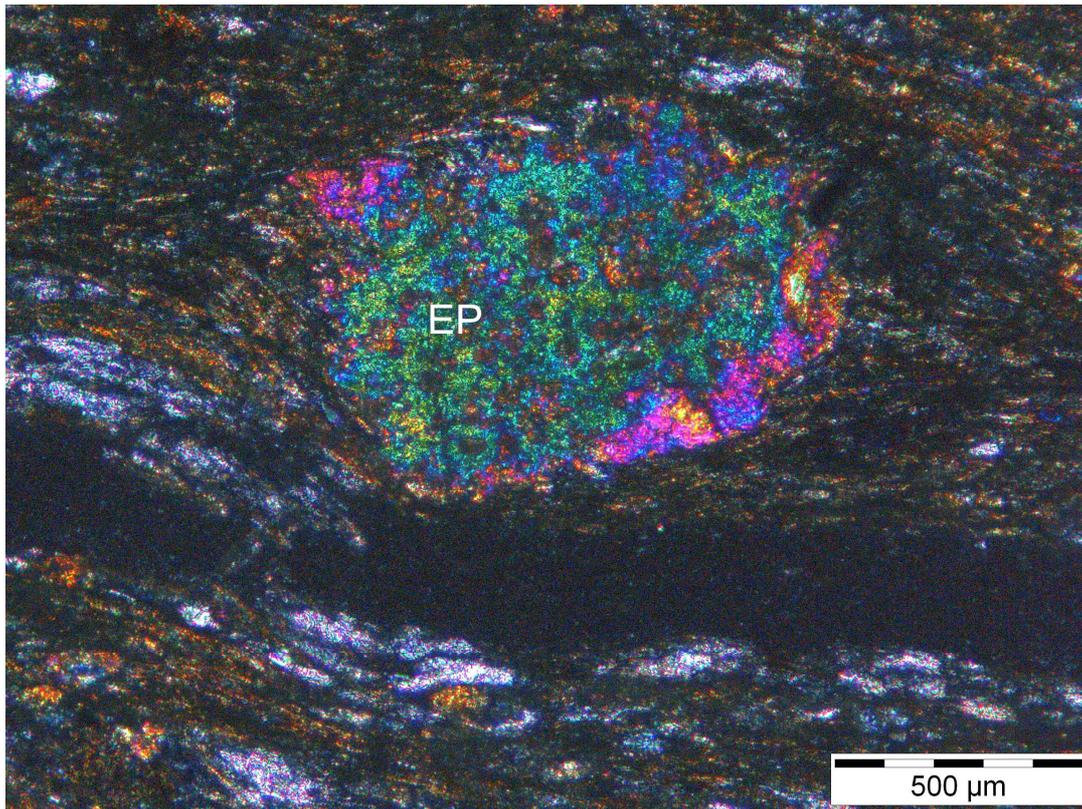


Abbildung 7: Durchlicht mit Polarisator. Duktil verformter Epidot Grünschiefer.

2.1.2.1 Marmore und Karbonatschiefer der Veitscher Decke

Die von den Grüngesteinen umgebenen Marmore sind besonders an der Bundesstraße ca. 200 m südliche vor der Ortseinfahrt Hinterberg und am Südhang des Hinterberges gut und wandbildend aufgeschlossen. Sie treten grob- bis mittelbankig auf, sind eher feinkörnig und gelblich bis leicht bräunlich.

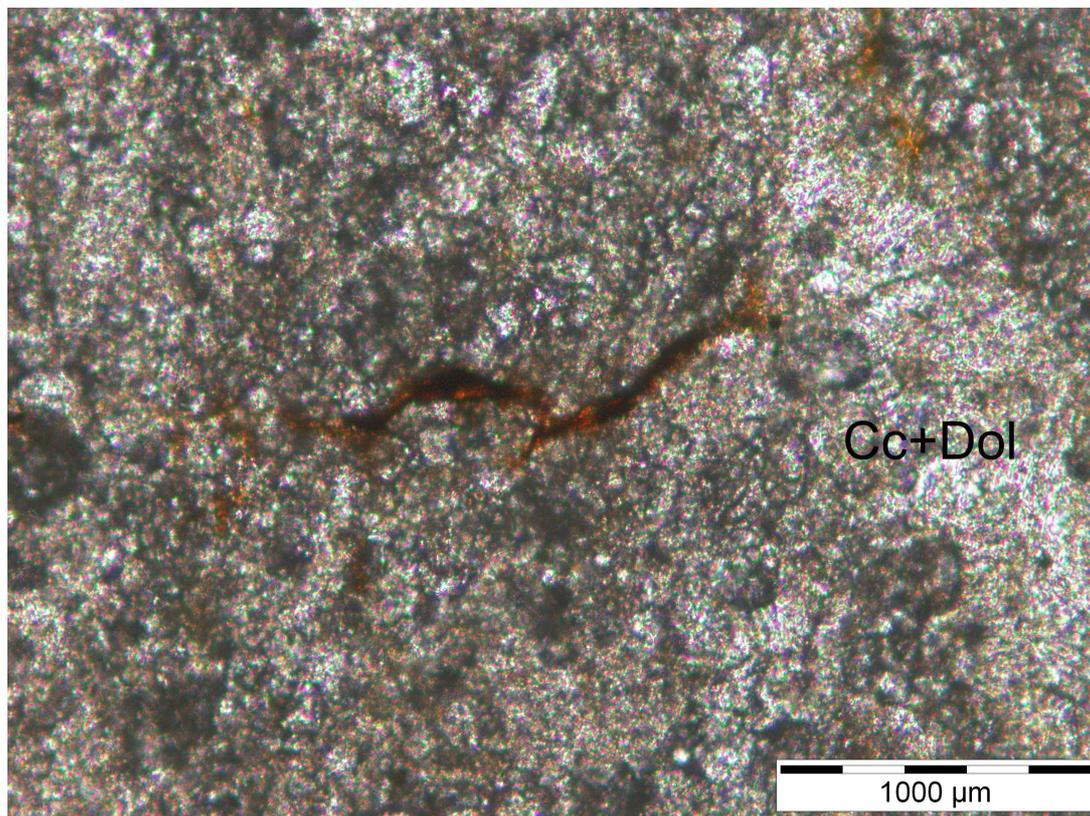


Abbildung 8: Durchlicht. Calcit, Dolomit und mittig im Bild ein Eisenoxidband.

3 Methodik

3.1 Klassische Gebirgscharakterisierung

Um den Einfluss der Trennflächen auf das Gebirge zu quantifizieren, müssen die relevanten Eigenschaften derer Trennflächen, welche das Trennflächennetz bilden, bestimmt werden.

Die Datenerfassung im Gelände und die folgenden Beschreibungen der ausgewählten Trennflächencharakteristika erfolgten unter strenger Anlehnung an die von der ISRM vorgeschlagene Methodik (BROWN 1981).

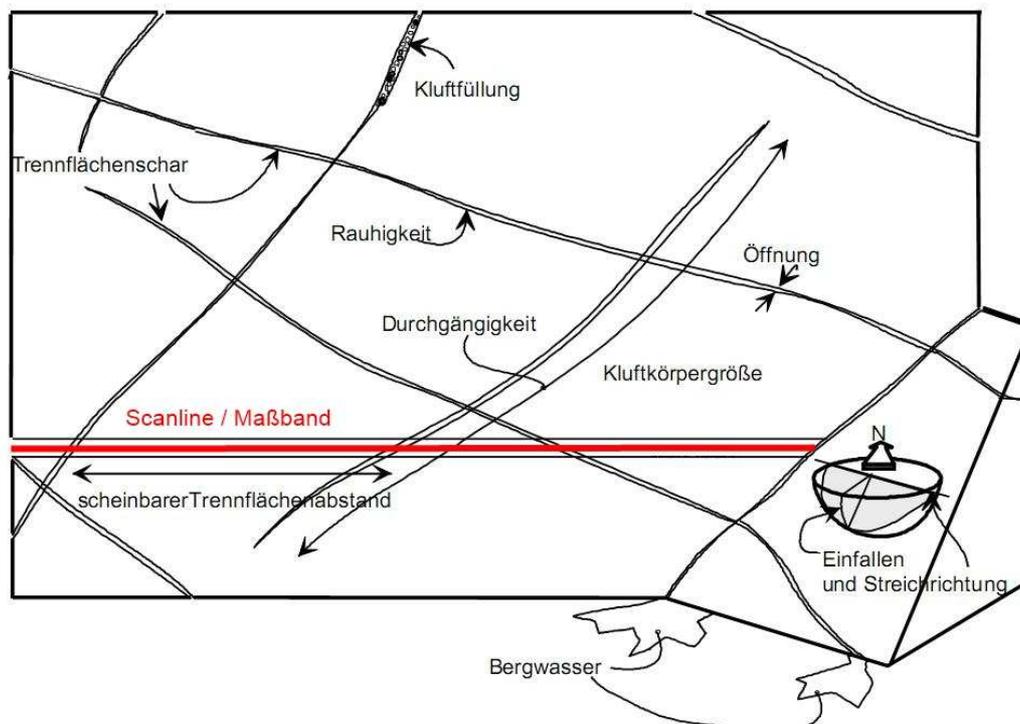


Abbildung 9: Schematische Darstellung verschiedener Trennflächencharakteristika und der Verlauf einer Scanline am Aufschluss (bearbeitet nach HUDSON & HARRISON 1997)

Als Scanline wird ein Maßband bezeichnet, welches direkt an der Felswand befestigt wird. An jeder Trennfläche, welche die Scanline schneidet, werden verschiedene Parameter bestimmt. Um den systematischen Messfehler zu minimieren, sollten verschiedene Anlegepositionen und Orientierungen des Maßbandes gewählt werden, was jedoch nicht immer möglich ist. Die folgenden Parameter wurden in jedem Aufschluss entlang einer Scanline bestimmt.

3.1.2 Orientierung

Die Orientierung einer Trennfläche im Raum wird einmal durch den Einfallswinkel, den Zahlenwert des Winkels zwischen der Horizontalen und der stärksten Neigung der Fläche, und durch ihren Azimut, die Abweichung der Orientierung der Einfallrichtung zu Nord beschrieben. Alle Trennflächen wurden mit einem Gefügekompass GEKOM nach E. Clar der Firma Breithaupt eingemessen.

3.1.3 Trennflächenabstand

Als scheinbarer Trennflächenabstand (TA) wird der horizontale Abstand zwischen zwei angrenzenden Trennflächen entlang der Scanline bezeichnet. Er wird anhand der Verschnittstelle einer Trennfläche mit der Scanline bestimmt, wodurch jeder Trennfläche entlang der Scanline ein Wert des Maßbandes zugeordnet wird.

Innerhalb der Datenauswertung werden alle Verschnittpunkte jeder Trennflächenschar nach ihrer Größe sortiert. Als Trennflächenschar oder Kluftenschar werden Trennflächen bezeichnet, welche parallel zueinander verlaufen. Durch Subtraktion der aufeinanderfolgenden Werte voneinander werden zuerst alle Trennflächenabstände der Trennflächenschar bestimmt und aus ihnen in Folge der mittlere Trennflächenabstand der jeweiligen Schar.

Für jede Trennflächenschar, welche nicht im rechten Winkel zur Scanline orientiert ist, muss der im Gelände gemessene scheinbare Trennflächenabstand korrigiert werden.

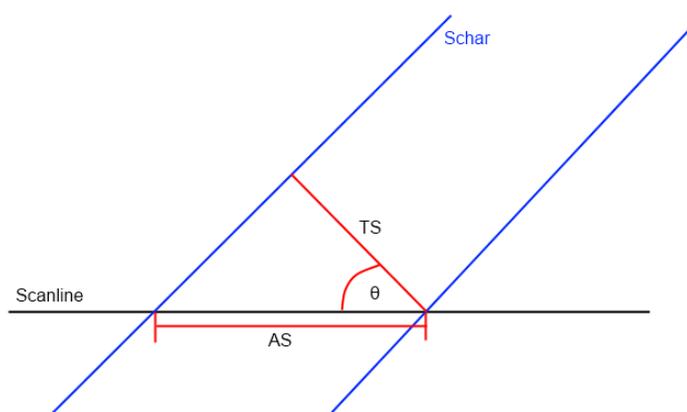


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Orientierung einer Scanline zu einer Trennflächenschar (blau). In rot ist einmal der scheinbare Trennflächenabstand (AS) und der Trennflächennormalabstand (TS) eingezeichnet.

Der Trennflächennormalabstand TS (True Spacing) wird anhand von Theta, sowie dem mittleren scheinbaren Trennflächenabstand der Trennflächenschar AS (Apparent Spacing) berechnet.

$$TS = AS \cdot \cos \theta$$

Für die Beschreibung der Ergebnisse der Trennflächennormalabstände wurde folgende Nomenklatur nach BROWN (1981) angewendet:

Tabelle 1: Möglichkeit einer Nomenklatur um Trennflächennormalabstände zu beschreiben (nach BROWN 1981).

| Beschreibung | Trennflächennormalabstand [cm] |
|--------------|-----------------------------------|
| extrem eng | < 2 |
| sehr eng | 2 - 6 |
| eng | 6 - 20 |
| mittel | 20 - 60 |
| weit | 60 - 200 |
| sehr weit | 200 - 600 |
| extrem weit | > 600 |

3.1.4 Scheinbare Spurlänge

Die scheinbare Spurlänge ist die Distanz zwischen dem Verschnittpunkt der Trennfläche mit der Scanline bis zum sichtbaren Ende Ihrer Spur. Wenn der Aufschluss frei zugänglich ist, kann diese Distanz direkt mit einem Maßband vermessen werden. So wurde auch während den Geländearbeiten dieser Arbeit verfahren.

In vielen Fällen gibt es aufgrund der natürlich vorgegebenen Verhältnisse keine andere Möglichkeit als die Scanline nahe des unteren Randes des Aufschlusses anzubringen, so dass nur die scheinbare Spurlänge oberhalb der Scanline (= Semi-tracelength, STL) bestimmen werden kann, da sie nicht vollkommen sichtbar aufgeschlossen ist.

Dieses Verfahren stellt kein Problem hinsichtlich der allgemeinen Verteilung der Trennflächen dar, da der Verschnittpunkt anhand des Maßbandes zufällig gewählt wird und somit statistisch über die Gesamtheit der gemessenen Spurlängen die durchschnittliche Länge ermittelt werden kann.

Allerdings muss statistisch beachtet werden, dass längere Trennflächen insgesamt öfter geschnitten werden als Kürzere, wobei längere Trennflächen aus ingenieurgeologischer Sicht auch eine größere Bedeutung haben, weshalb diese Verzerrung an Bedeutung verliert (PRIEST 1993).

3.1.5 Art der Endung einer Trennfläche

Mit Hilfe des sogenannten Terminations Index wird beschrieben auf welche Art die sichtbare Trennflächenspur endet. Es werden drei Arten unterschieden:

- A = Endung an einer anderen Trennfläche
- I = Endung in intaktem Gestein
- O = Endung nicht sichtbar

Das sichtbare Ende einer Trennfläche kann z.B. durch Geröll, Vegetation, Boden verdeckt werden, so dass in diesem Fall der Endungstyp „O“ gewählt wird. Je größer die Anzahl des Endungstyps „A“ desto größer ist die Tendenz hin zu blockigem, hoch permeablem Gebirge mit eher geringer Festigkeit.

$$T_i = \frac{100 N_i}{N_i + N_a + N_o} \%$$

Ist T_i groß, enden somit viele Trennflächen im Fels. Das Gebirge weist dann viele intakte Gesteinsbrücken auf und ist weniger blockig (PRIEST 1993).

3.1.6 Rauigkeit

Unregelmäßigkeiten der Trennflächenoberfläche, als Abweichungen von einer perfekt ebenen Fläche, mit einer Wellenlänge kleiner als 100 mm werden als Rauigkeiten bezeichnet. Diese sind eine wichtige Komponente der Flächenscherfestigkeit, insbesondere bei ungestörten, verzahnten Trennflächen ohne Beläge oder Füllungen. Der Einfluss der Rauigkeit sinkt wiederum mit steigender Öffnungsweite, Dicke der Trennflächenfüllung, oder dem Grad vorangegangenen Versatzes (BROWN 1981).

Barton's „Joint Roughness Coefficient“ (JRC) (BROWN 1981) ist eine Möglichkeit diese Unregelmäßigkeiten zu beschreiben und wurde während dieser Arbeit angewandt. Zur Be-

stimmung des JRC im Gelände wurde ein Profilometers (Barton Kamm) verwendet, indem mit diesem ein charakteristischer Teil der Oberfläche abgebildet, dieses Profil mit typischen Rauigkeitsprofilen verglichen und dann einem von zehn verschiedenen Rauigkeitsbereichen zugeordnet wurde.

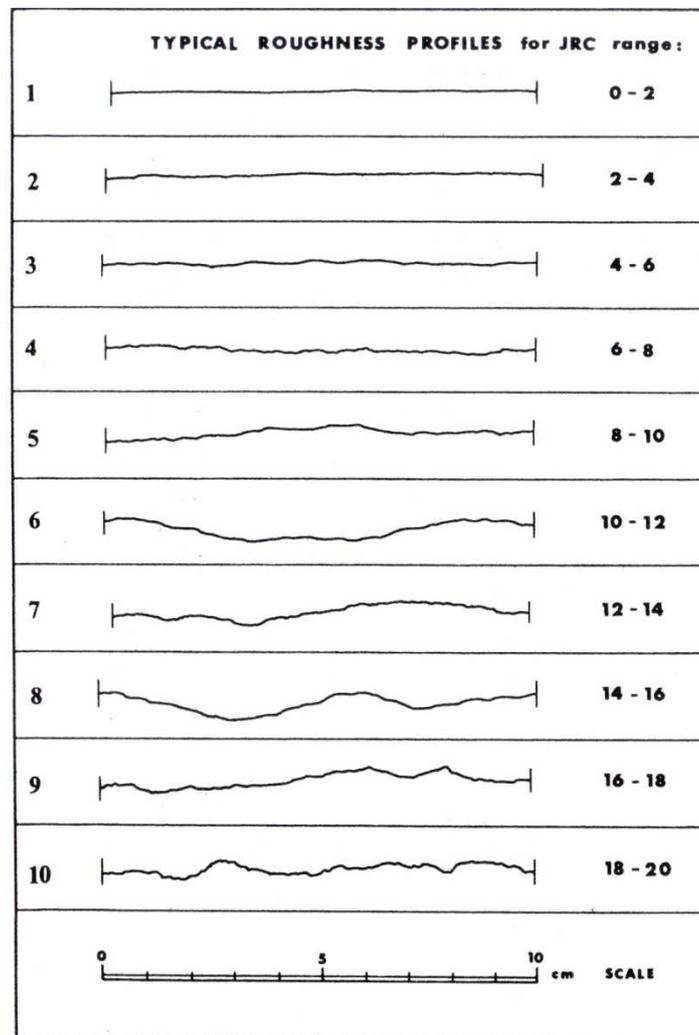


Abbildung 11: Typische Rauigkeitsprofile des JRC (nach BROWN 1981).

Die Breite der einzelnen Stifte des verwendeten Bartonkammes betragen 1 mm, somit werden nur Rauigkeiten ≥ 1 mm aufgelöst.

3.1.7 Öffnungsweite

Die Öffnungsweite ist der Abstand zwischen direkt aneinander grenzenden Gesteinswänden einer Trennfläche. Der Zwischenraum ist hohl, verfüllt oder wasserführend. Große Öffnungsweiten können aus Scherversatz an Trennflächen mit beträchtlichen Rauig- oder Welligkeiten

resultieren, aus Lösungsvorgängen, Auswaschungen oder an Dehnungsklüften. Meistens jedoch sind die Öffnungsweiten unter Tage mit Werten unter einem halben Millimeter sehr klein und solange die Oberflächen der Trennflächen nicht auffallend planar und glatt sind, wird die Scherfestigkeit durch diesen Faktor nicht signifikant beeinflusst, selbst wenn er um bis zu 1 mm schwankt. (Brown 1981)

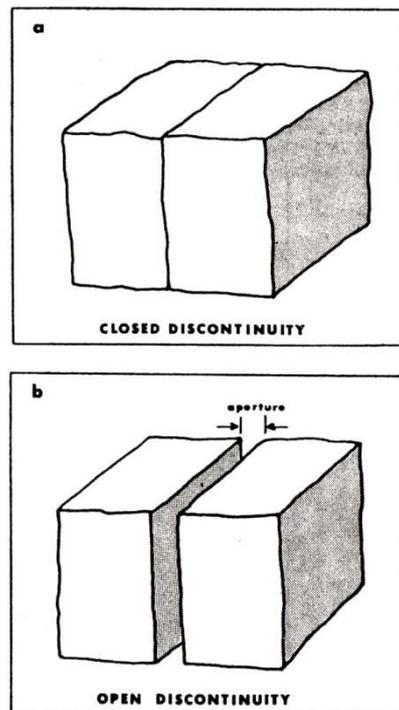


Abbildung 12: Veranschaulichung einer geschlossenen Trennfläche (a), im Gegensatz zu einer geöffneten Trennfläche (b) (verändert nach BROWN 1981).

3.1.8 Füllungen

Die Füllung beschreibt die Art von Material welches den Raum zwischen aneinander grenzenden Gesteinswänden einer Trennfläche ausfüllen kann. Parallel zu der enormen Vielfalt der auftretenden Materialien variieren deren physikalische Eigenschaften stark, speziell auch die felsmechanischen Kennwerte Scherfestigkeit, Permeabilität und Verformbarkeit.

Auf eine detailliertere Beschreibung der Trennflächenfüllungen wurde im Zuge dieser Arbeit verzichtet. (BROWN 1981)

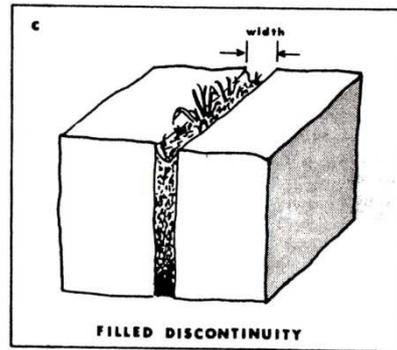


Abbildung 13: Verdeutlichung einer Trennflächenfüllung in einer geöffneten Trennfläche (verändert nach BROWN 1981).

3.2 Stereophotogrammetrie und softwaregestützte Bildbearbeitung

Die Photogrammetrie oder auch Bildmessung umfasst Verfahren zur Vermessung geometrischer Informationen abbildbarer Objekte. Die Stereophotogrammetrie ist ein Teil der Photogrammetrie, welcher sich bei der Bildaufnahme und Auswertung die Prinzipien des stereoskopischen Sehens und Messens zur Nutze macht.

Das System „ShapeMetrix^{3D}“ von der 3G Software & Measurement GmbH (im Folgenden kurz als „Shape Metrix“ bezeichnet) wurde für die Erfassung und Bewertung dreidimensionaler Oberflächendaten anhand von digitalen Fotografien entwickelt. Das System arbeitet auf Basis der digitaler Stereophotogrammetrie erweitert durch nachträgliche Bilddatenverarbeitung am Computer.

Um ein messbares, dreidimensionales Bild des Aufschlusses zu erhalten werden mit einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera, welche durch Software der Firma 3G Software & Measurement kalibriert wurde, freihand zwei Bilder des Aufschlusses gemacht, welche sich leicht überlappen. Weiterhin müssen sich drei Kalibrierungspunkte auf den Bildern befinden. Zwei von ihnen sind senkrecht übereinander an einem Stativ angeordnet und haben einen bekannten Abstand zueinander, der dritte Punkt wird ebenfalls im ausgewählten Bildbereich platziert. (siehe gelbe Markierung in Abb. 14).

Mit einem Kompass wurde die Orientierung vom Stativ in Richtung des dritten, einzeln im Bild platzierten Punktes gemessen (siehe Verlauf der grünen Markierung in Abb. 14). Über den so ermittelten Azimut werden die Raumlagen aller Trennflächen des Modells orientiert. Der Wert wird von der Softwarekomponente *SMX Normalizers* verwendet (siehe unten). Die Richtung der Kompassmessung, d.h. ob vom Stativ zu dem einzelnen Punkt oder umgekehrt eingemessen wurde, ist anzugeben um die richtige Orientierung zu erhalten. Alle metrischen Größen werden über den Abstand der Kalibrierungspunkte des Stativs bestimmt.



Abbildung 14: Mögliche Positionierung der Kalibrierungspunkte auf einem der beiden Bilder des Stereobildpaares. Das Stativ muss senkrecht stehen, die Mittelpunkte der roten Scheiben haben einen exakt definierten Abstand zueinander (gelb). Von einer Position aus, welche sich aus dieser Sicht links neben dem Stativ befindet, wird die grün eingezeichnete Orientierung gemessen.

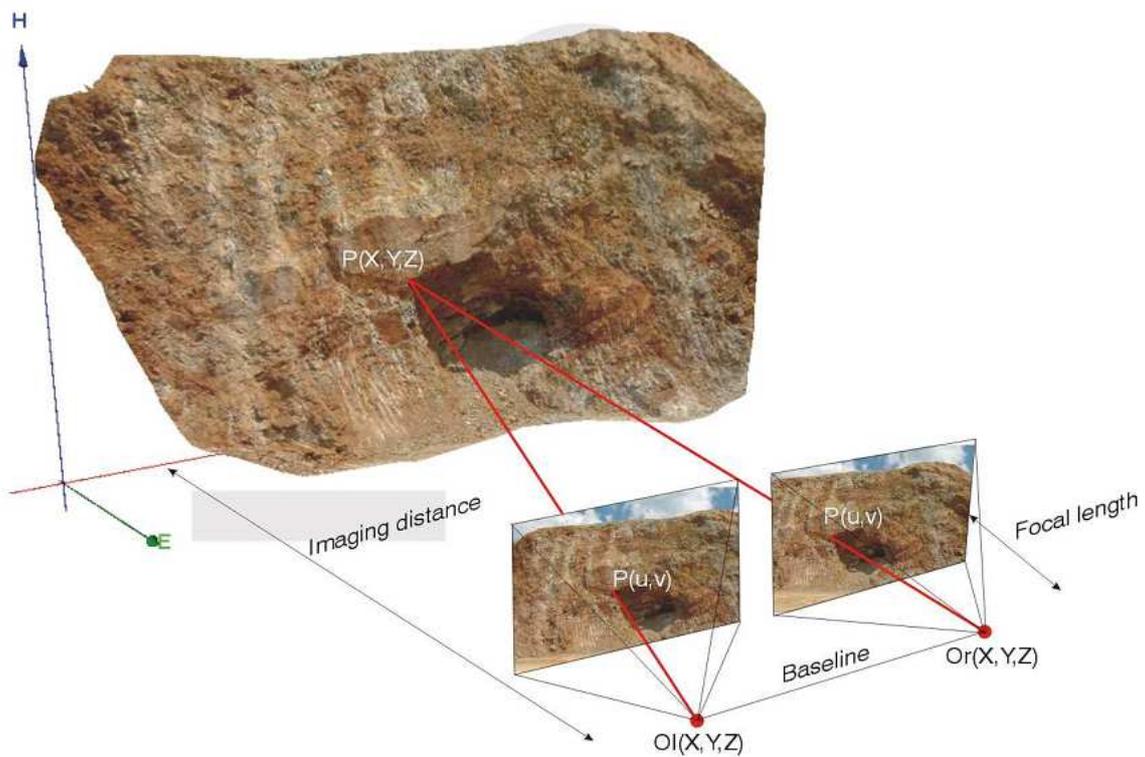


Abbildung 15: “Prinzip der dreidimensionalen Oberflächenmessung aus einem stereoskopischen Bildpaar. Aus der Orientierung der beiden Bilder zueinander und zwei korrespondierenden Punkten $P(u,v)$ können Sehstrahlen (rot) rekonstruiert werden, die zu einem 3D Messpunkt $P(X;Y,Z)$ führen. Der Vorgang wird für ein dichtes Netz an 3D Messpunkten wiederholt, die zu einem 3D Oberflächenmodell verbunden werden. Durch Überlagerung eines der beiden Ausgangsfotos erhält man ein 3D Bild“. Der Basisabstand und die Kamerapositionen müssen nicht bestimmt werden. (3G SOFTWARE & MEASUREMENT GmbH 2009)

Anhand des stereoskopischen Bildpaares erstellt die Softwarekomponente *SMX Reconstructor* das messbare dreidimensional Modell welches dann mit Hilfe des *SMX Normalizers* skaliert und orientiert wird.

Wenn ein Aufschluss nicht mit einem Stereobildbar zu erfassen ist, kann er in mehreren Teilen fotografiert werden. Es werden dann zuerst einzelne Modelle generiert, welche mit der Komponente *SMX ModelMerger* vor der Bearbeitung durch den *JMX Analyst*, optisch anhand übereinstimmender Objekte im Verschnittbereich beider Modelle, zu einem Modell verknüpft werden.

Mit dem *JMX Analyst* werden dann die Trennfläche im Modell „eingezeichnet“. Die sichtbare Spur einer Trennfläche im Modell wird von Hand durch eine frei gewählte Anzahl von Punkten auf der Modelloberfläche definiert, welche zu einer Linie miteinander verknüpft werden. Diese Linie stellt dann eine Trennfläche im Modell dar. Gleichzeitig während des Einzeichnens „erkennt“ die Software anhand des Verlaufes der Modelloberfläche die räumliche Orientierung (siehe 3.1.2) der Trennfläche und legt diese fest. Alle eingezeichneten Trennflächen können in sogenannten „Struktursets“ zu Scharen zusammengefasst werden. Für jede Schar kann eine frei wählbare Farbe definiert werden. Alle Trennflächen einer Schar werden in Folge im Modell in dieser Farbe angezeigt, die sich auch in der Lagenkugelprojektion wieder spiegelt, welche automatisch von der Software erstellt wird.

Es kann schließlich eine Scanline als Linie eingezeichnet werden, welche durch zwei Punkte frei definierbar ist. Diese wird über die Oberfläche des Modells gelegt. Im Folgenden werden die Trennflächenabstandsparameter aller Trennflächen ermittelt, welche von ihr geschnitten werden. Es werden drei verschiedene Berechnungen des Trennflächenabstandes ausgegeben:

- „Set spacing“: Abstände zwischen den Trennflächen einer Schar.
- „Normal Set spacing“: Trennflächennormalabstand innerhalb einer Schar
- „Total spacing“: Abstände zwischen allen Trennflächen welche geschnitten wurden.

Die Werte werden jeweils als Mittelwert, Maximal- und Minimalwert angegeben.

3.2.1 Messungen der Rauigkeiten von Trennflächenoberflächen im Model

Der *JMX Analyst* bietet die sogenannte „Profil-Funktion“ an. Eine Linie, wieder definiert über ihren Start- und Endpunkt, wird über eine gewünschte Oberfläche innerhalb des Modells gelegt, z.B. diejenige einer bestimmten Trennfläche.

Diese Linie zeichnet den Oberflächenverlauf maßstabsgetreu als Profil nach (siehe Abb. 16), welches als Polylinie in ein Zeichenprogramm exportiert werden kann um es bei entsprechender Vergrößerung direkt am Bildschirm mit den typischen Rauigkeitsprofilen abzugleichen (3.1.6. JRC)

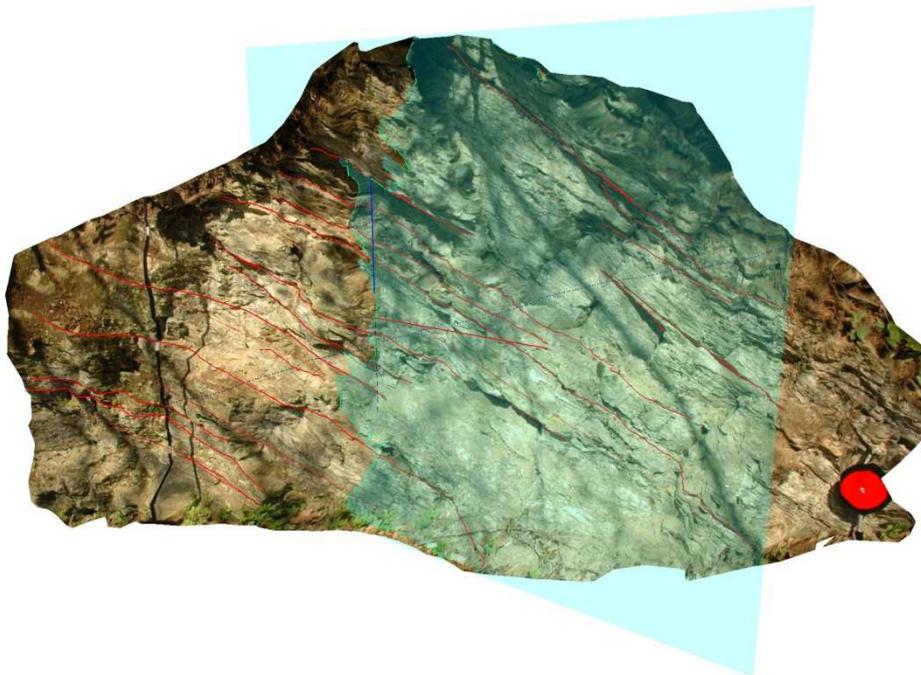


Abbildung 16: Beispielhafter Verlauf eines Profils der "Profilfunktion" über die Oberfläche des Aufschlusses "Weg 3" (hellblaue Fläche).

Um festzustellen ob die mit Shape Metrix ermittelten Rauigkeiten mit den von Hand mit dem Barton Kamm bestimmten vergleichbar sind, ist zu prüfen ob Amplitude und Form (stufig, wellig....) einer vergleichbaren, gleich langen Strecke dieses Profils denjenigen entsprechen, welche von Hand für die Trennflächenschar ermittelt wurden, auf die sich das eingezeichnete Profil bezieht.

Das heißt konkret für die Verwendung des JRCs, dass Amplitude und Charakter eines vergleichbaren Teilstücks der oben genannten Polylinie, welches zwischen Anfangs- und Endpunkt einen Abstand von 10 cm aufweist, einem entsprechenden JRC zugeordnet wird.

3.1.1.2 Anforderungen an die Bildauflösung für die Bestimmung der Rauigkeiten

In gewissen Grenzen ist für die Rauigkeitsbestimmung am Modell auch die Auflösung der Fotos entscheidend. Der Barton Kamm hat nach der Breite seiner einzelnen Stifte ein Auflösungsvermögen für Unebenheiten von Oberflächen von ≥ 1 mm. Um eine dem ungefähr entsprechende Auflösungen im Modell zu erreichen, sollte die Auflösung des Stereobildpaares ca. ein Pixel pro Millimeter betragen.

Es muss also ermittelt werden, durch wie viele Pixel der Aufschlussbereich der Fotos definiert wird, an dem Rauigkeiten gemessen werden sollen. Anhand dessen kann dann grob die die 3D Modellauflösung abgeschätzt werden. Hierfür ist eine genauere Betrachtung des Auflösungsvermögens der verwendeten Kamera notwendig.

Auflösung der Kamera Nikon D70s:

Die Nikon D70s verfügt über einen 6-Megapixel CCD-Sensor (Charge-couple Device Sensor) und erreicht somit theoretisch eine maximale Auflösung von 3039 x 2014 Pixeln. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Fotos jedoch im JPEG-Format von der Kamera importiert und im gleichen Format in Shape Metrix eingespeist. Nach Angaben des Herstellers muss bei der Nutzung des JPEG-Formats mit einer geringeren Auflösung von 3008 x 2000 Pixeln (Breite x Höhe) gerechnet werden. (WIKIPEDIA 2012).

Demnach wird eine Auflösung von 1 Pixel/ 1 mm bei einer Bildhöhe in der Natur von 2 Metern erreicht:

$$\frac{2000 \text{ Pixel}}{2000 \text{ mm}} = \frac{1 \text{ Pixel}}{1 \text{ mm}}$$

Die Bildhöhe bezieht sich auch auf die reale Höhe des fotografierten Objektes.

Die Kalibrierungspunkte an dem Stativ, welches sich auf jedem der Bilder für die Modellertellung befindet, haben einen definierten und bekannten Abstand zueinander. Anhand dieser bekannten Distanz kann die reale Bildhöhe ermittelt werden und darüber die Auflösung des Bildausschnittes des Aufschlusses abgeschätzt werden.

Weiterhin kann die Auflösung der berechneten Modelloberfläche auch zusätzlich anhand der Polylinie abgeschätzt werden, da diese durch die Verknüpfung einzelner Punkte definiert wird.

3.3 Mineralanalyse

Von jeder der drei untersuchten Lithologien wurde eine charakteristische Probe genommen. An den drei Proben wurde der Gesamtmineralbestand sowohl mittels Pulver- Röntgendiffraktometrie als auch anhand eines Dünnschliffes untersucht.

3.3.1 Röntgendiffraktometrie

Für die Röntgendiffraktometrie wurde ein repräsentativer Teil der Probe im Backenbrecher vorgebrochen und im Achatmörser fein vermahlen und gemessen.

Die anschließende Auswertung der Diffraktogramme erfolgte mit der Software „PANalytical X'Pert HighScore Plus“

3.3.2 Dünnschliffmikroskopie

Die Dünnschliffe wurden mit einem Leica Polarisationsmikroskop untersucht und charakteristische Bereiche mit der integrierten Olympus Digitalkamera fotografiert, beschrieben und charakterisiert.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der klassischen und der photogrammetrischen Methode der Datenerfassung getrennt nach lithologischen Einheiten vorgestellt. Bei der Erfassung der Trennflächenorientierungen wurden Schieferungen und Kluftscharen aufgenommen. Als Schieferung wurden nur tatsächlich durchtrennte Flächen in Schieferungsrichtung ausgewertet.

Um die Vergleichbarkeit der Daten so gut wie möglich zu gewährleisten, wurden die Scanlines in den 3D Modellen so orientiert wie diejenigen der klassischen Methode im Gelände. Weiterhin erfolgte mit Shape Matrix ausschließlich die Auswertung der Trennflächenabstandsparameter sowie einzelner Rauigkeiten, so dass auch nur diese für den Methodenvergleich herangezogen werden.

Die Bezeichnung der Trennflächenscharen erfolgte soweit möglich in Anlehnung an die von MERINGER (1994) gewählte Nomenklatur um die später folgende Gegenüberstellung der Ergebnisse (siehe 5.4) und die Diskussion zu vereinfachen und Verwechslungen vorzubeugen. Es kann daher vorkommen dass eine Kluftchar mit „K2“ bezeichnet wird, auch wenn innerhalb dieses Aufschlusses lediglich eine Schar aufgenommen wurde, da die entsprechende Schar mit einem ähnlichen Flächenschwerpunkt von MERINGER (1994) so bezeichnet wurde.

In sämtlichen Tabellen und Gefügestatistiken beider Methoden sind folgende Farbschemata durchgängig angewandt:

- Schieferung: orange
- Kluftchar 1 (K1): blau
- Kluftchar 2 (K2): hellgrün

Da die geographischen Lagen der zum Vergleich herangezogenen Aufschlüsse von MERINGER (1994) mit den in dieser Arbeit ausgewerteten nicht exakt übereinstimmen (siehe Anhang A), sind leichte Abweichungen der Parameter zu tolerieren. Sollten jedoch bemerkenswerte Abweichungen auftreten werden diese diskutiert werden, da solche zumindest in Homogenbereichen nicht zu erwarten sind.

Die oftmals geringe Datenmenge aufgrund der teilweise schlechten Aufschlussgegebenheiten muss bei kritischer Betrachtung statistischer Auswertungen beachtet werden. Die Gesamtübersicht aller erhobenen Daten befindet sich in Anhang B.

4.1 Gneise des mittelostalpinen Altkristallin

Im mittelostalpinen Altkristallin wurden drei verschiedene Aufschlüsse ausgewertet. „G Neu“ und „G 4“ sowohl klassisch als auch mit Shape Metrix, der Aufschluss „G 6“ ausschließlich mit Shape Metrix.

4.1.1 Beschreibungen der Aufschlüsse

4.1.1.1 G Neu

Der Aufschluss „G Neu“ ist ca. 2 m hoch und 2,50 breit (siehe Abb. 17). An vielen Stellen haben große Lagen von Moos die Trennflächen überdeckt, dieses konnte entfernt werden. Alle Trennflächen waren gut von Hand zu erreichen.



Abbildung 17: Aufschluss "G Neu". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline.

4.1.1.2 G 4

Der Aufschluss „G 4“ ist ca. 3 m hoch und 3,50 breit (siehe Abb. 18). An vielen Stellen haben große Lagen von Moos die Trennflächen überdeckt, dieses konnte entfernt werden. Es waren nur die Trennflächen im unteren Drittel des Aufschlusses gut von Hand zu erreichen.



Abbildung 18: Aufschluss "G 4". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline.

4.1.1.3 G 6

Der Aufschluss „G 6“ ist ca. 10 m breit und 4 hoch (siehe Abb. 19). Der Aufschluss war durch viel Vegetation bewachsen, einige kleine Bäume konnten von Hand entfernt werden. Trotzdem war ein großer Teil der Vegetation nicht zu entfernen.



Abbildung 19: Aufschluss "G 6": Der Bereich innerhalb des roten Rahmens wurde für die Erstellung des 3D Modells fotografiert.

4.1.2 Ergebnisse

4.1.2.1 Klassisch

4.1.2.1.1 Trennflächenorientierungen

Aus der Gesamtheit der innerhalb dieser lithologischen Einheit gemessenen Orientierungen können zwei Trennflächenscharen abgeleitet werden, die Schieferung (Sf) und eine Kluftchar (K2). In Tabelle 2 sind die Schwerpunktsflächen der Aufschlüsse „G Neu“ und „G4“ sortiert nach den Trennflächenscharen dargestellt.

Tabelle 2: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der klassisch vermessenen Aufschlüsse "G Neu" und "G 4" .

| Klassisch | |
|-------------|--------------------|
| Schieferung | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| G Neu | 336/43 |
| G 4 | 343/74 |
| K2 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| G 4 | 241/84 |

4.1.1.1.2 Trennflächennormalabstände und Frequenzen

Die Trennflächennormalabstände, sowie die inverse Darstellung in Form der Frequenzen, der Aufschlüsse „G Neu“ und „G 4“ sind in Tabelle 3 nach den Trennflächenscharen sortiert dargestellt.

Tabelle 3: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der klassisch vermessenen Aufschlüsse "G Neu" und "G 4".

| Klassisch | | |
|-------------|--------------------------------|----------|
| Schieferung | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| G Neu | 36,2 | 2,76 |
| G 4 | 33,4 | 2,99 |
| K2 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| G 4 | 70,3 | 1,42 |

Die Trennflächennormalabstände der Schieferung werden mit 33,2- 36,2 cm als mittel bezeichnet, es treten 2,76 – 2,99 Schieferungsflächen pro Meter auf.

Mit 70,3 cm weist die Kluftschar „K2“ weite Trennflächennormalabstände mit 1,42 Trennflächen pro Meter auf.

4.1.1.1.3 Terminationsindex

Der Terminationsindex liegt in den untersuchten Aufschlüssen der Gneise global im Bereich von 16,67- 25 %. Die Werte der einzelnen Aufschlüsse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Globaler Terminationsindex der Aufschlüsse "G Neu" und "G 4".

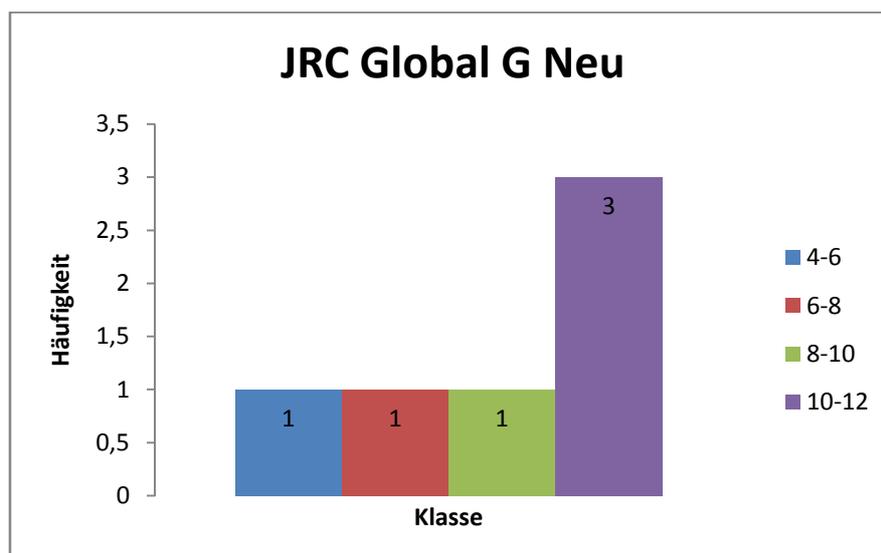
| Aufschluss | Terminationsindex [%] |
|------------|-----------------------|
| G Neu | 16,67 |
| G 4 | 25 |

4.1.1.1.4 Rauigkeiten (JRC)

Im Bereich des Aufschlusses „G Neu“ weisen global 50 % der Trennflächen einen JRC von 10-12 auf. Die anderen 50 % verteilen sich gleichmäßig mit jeweils einer Trennfläche auf die Bereiche 4-6, 6-8 und 8-10.

Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 1 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

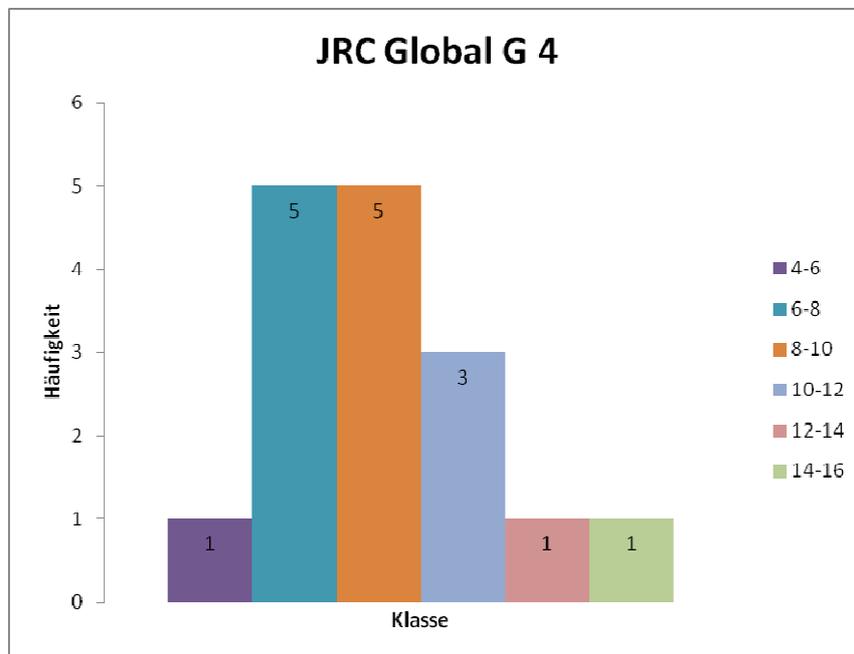
Histogramm 1: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "G Neu".



Innerhalb des Aufschlusses „G 4“ weisen global ca. 31 % der Trennflächen einen JRC von 6-8 auf und wiederum 31 % einen JRC von 8-10. 18,7 % liegen im Bereich 10-12 und die restli-

chen 18,7 & verteilen sich gleichmäßig auf die Bereichen 4-6, 12-14 und 14-16. Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 2 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

Histogramm 2: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "G 4".



4.1.1.1.5 Mittlere scheinbare Spurlänge (Semi-tracelength)

Im Bereich des Aufschlusses „G Neu“ weisen global ca. 50 % der Trennflächen eine STL (Semi-tracelength) von 1-3 m auf und 33 % eine STL von 0-1 m. 17 % liegen im Bereich 3-10 m.

Im Aufschlusses „G 4“ haben global ca. 62,5 % der Trennflächen eine STL von 0-1 m und 37,5 % eine STL von 1-3 m.

Histogramme sowohl der globalen Verteilung der STL für jeden Aufschluss, als auch der Verteilung innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

4.1.2.2 Shape Metrix

4.1.2.2.1 Trennflächenorientierungen

Auch aus der Modellauswertung konnten sowohl die Schieferung als auch die Klufscharen „K1“ und „K2“ abgeleitet werden. In Tabelle 5 sind die Schwerpunktsflächen der Modellauswertung der Aufschlüsse „G Neu“ und „G 4“ und „G 6“ sortiert nach den Trennflächenscharen dargestellt.

Tabelle 5: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "G Neu", "G 4" und "G 6".

| Shape Metrix | |
|--------------|--------------------|
| Schieferung | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| G Neu | 331/44 |
| G 4 | 150/90 |
| G 6 | 294/35 |
| K1 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| G6 | 220/83 |
| K2 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| G 4 | 232/70 |

4.1.2.2.2 Trennflächennormalabstände und Frequenzen

Die Trennflächennormalabstände der Modellauswertungen, sowie die inverse Darstellung in Form der Frequenzen, der Aufschlüsse „G Neu“, „G 4“ und „G 6“ sind in Tabelle 6 nach den Trennflächenscharen sortiert dargestellt.

Tabelle 6: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "G Neu", "G 4" und "G 6".

| Shape Metrix | | |
|--------------|--------------------------------|----------|
| Schieferung | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| G Neu | 35 | 2,86 |
| G 4 | 16 | 6,25 |
| G 6 | 15 | 4,76 |
| K1 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| G 6 | 21 | 4,76 |
| K2 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| G 4 | 7 | 14,29 |

Die Trennflächennormalabstände der Schieferung werden mit 15- 35 cm als eng bis mittel bezeichnet, es treten 2,86 – 6,25 Schieferungsflächen pro Meter auf.

Mit 21 cm weist die Kluftchar „K1“ mittlere Trennflächennormalabstände mit 4,76 Trennflächen pro Meter auf und die Kluftchar „K2“ mit 7 cm enge Trennflächennormalabstände mit 14,3 Trennflächen pro Meter.

4.1.2.2.3 Rauigkeiten

In den Aufschlüssen „G Neu“ und „G 4“ wurden an jeweils drei Trennflächen jeder Schar die Oberflächenmorphologien mit der Profil- Funktion in Shape Metrix als Polylinie abgebildet (siehe Methodik) und diese anschließend im Maßstab 1:1 mit den typischen Rauigkeitsprofilen für die Zuordnung zum JRC verglichen.

Anhand der Kalibrierungspunkte an dem Stativ kann die reale Bildhöhe der Stereobildpaare der Aufschlüsse „G Neu“ und „G 4“ abgeschätzt werden. Sie beträgt für „G Neu“ ca. 3000 mm (siehe Anhang D). Die Höhe des Bildausschnittes, welcher den Aufschluss beinhaltet, beträgt ca. 1500 mm. Wie in der Methodik erläutern beträgt die Anzahl der Pixel der verwendeten Kamera 3008 x 2000 Pixel (Breite x Höhe).

Somit beträgt die Auflösung des Bildausschnittes vom Aufschluss „G Neu“ $1500 \text{ mm} / 1000 \text{ Pixel} = 1,5 \text{ mm} / 1 \text{ Pixel}$. Ein Pixel stellt somit ungefähr 1,5 mm der Oberfläche dar.

Die reale Bildhöhe der Stereobildpaare von „G 4“ beträgt ca. 2000 mm (siehe Anhang D). Die Höhe des Bildausschnittes wiederum, welcher den Aufschluss beinhaltet beträgt ca. 1500 mm. Somit beträgt die Auflösung des Bildausschnittes vom Aufschluss „G Neu“ $1500 \text{ mm} / 1500 \text{ Pixel} = 1 \text{ mm} / 1 \text{ Pixel}$. Ein Pixel stellt somit ungefähr 1 mm der Oberfläche dar.

Innerhalb des Aufschlusses „G Neu“ liegt der JRC für die Schieferung im Bereich 14-18. Hingegen bei „G 4“ wurden für die Schieferung Werte im Bereich 8-12 ermittelt und für die Kluftchar „K2“ Werte von 4-10.

In Tabelle 7 sind die Werte für den JRC der Modellauswertung der Aufschlüsse „G Neu“ und „G 4“ sortiert nach den Trennflächenscharen dargestellt.

Tabelle 7: Werte des Joint Roughness Coefficient der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "G Neu" und "G 4". Es wurde jeweils an drei verschiedenen Flächen der Trennflächenschar eine Messung durchgeführt.

| | | JRC |
|-------|----|-------|
| G Neu | Sf | 16-18 |
| | | 14-16 |
| | | 14-16 |
| G4 | Sf | 8-10 |
| | | 8-10 |
| | | 10-12 |
| | K2 | 4-6 |
| | | 6-8 |
| | | 8-10 |

4.2 Karbonate der Veitscher Decke

In den Karbonaten der Veitscher Decke wurden fünf Aufschlüsse bearbeitet, wobei einer aufgrund zu geringer Datenmenge und infolgedessen nicht möglicher Gefügestatistik, nicht ausgewertet werden konnte. Sowohl klassisch als auch mit Shape Metrix wurden „DM Bundesstraße“, „DM Forstweg“, „Weg 1“ und „Weg 3“ ausgewertet.

In der klassischen Auswertung konnten die Trennflächen der Kluftschar „K1“ im Scanline-Bereich von „DM Forstweg“ nicht beobachtet werden. Auch die Kluftschar „K2“ war in den beiden Aufschlüssen „DM Bundesstraße“ sowie „Weg 1“ nicht Teil des Scanline-Bereiches.

Innerhalb der Modellauswertung wurden die Trennflächen der Schar „K1“ im Scanline-Bereich der Modelle „DM Forstweg“ und „Weg 3“ nicht beobachtet. Die Schar „K2“ war im Bereich der Scanline des Aufschlusses „Weg 1“ nicht Teil untersuchten Bereiches.

4.2.1 Beschreibungen der Aufschlüsse

4.2.1.1 DM Bundesstraße

Der Aufschluss „DM Bundesstraße“ ist ca. 4 m hoch und 3 m breit (siehe Abb. 20). Das Trennflächengefüge war gut sichtbar ausgebildet und im Bereich der Scanline waren die Trennflächen gut zu erreichen.



Abbildung 20: Aufschluss "DM Bundesstraße". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline.

4.2.1.2 DM Forstweg

Der Aufschluss „DM Forstweg“ ist ca. 1,5 m hoch und 4 m breit (siehe Abb. 21). Er war nicht von Vegetation bewachsen und im untersuchten Bereich waren alle Trennflächen gut zu erreichen. Da nicht Format füllend fotografiert wurden, das heißt dass die Größe der ausgewerteten Aufschlussfläche in Relation zu der Größe des gesamten Bildes vergleichsweise klein ist, ist die Auflösung des Modellbereiches herabgesetzt.



Abbildung 21: Der Bereich innerhalb des roten Rahmens wurde für klassisch von Hand mittels Scanline- Verfahren ausgewertet.

4.2.1.3 Weg 1

Der Aufschluss „Weg 1“ ist ca. 1,5 m hoch und 6 m breit und befindet sich in einem Störungsbereich (siehe Abb. 22). Er war großteils mit Vegetation bewachsen und der Gesteinsverband war stellenweise stark zerlegt und zerrieben. Auch war das noch vorhandene Gefüge im gesamten Bereich etwas aufgelockert. Alle Trennflächen entlang der Scanline waren gut zu erreichen. Aufgrund der Breite des Aufschlusses war es nicht möglich ihn mit nur einem Stereobildpaar zu erfassen. Er wurde in zwei separaten Teilen aufgenommen und die daraus erstellten beiden einzelnen Modelle wurden mit der Softwarekomponente *SMX ModelMerger* zu einem Modell verknüpft.



Abbildung 22: Aufschluss "Weg 1". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline.

4.2.1.4 Weg 3

Der Aufschluss „Weg 3“ hat eine maximale Höhe von ca. 1,5 m und ist 2 m breit (siehe Abb. 23). Er war leicht von Vegetation überwachsen. Alle Trennflächen entlang der Scanline waren gut zu erreichen.



Abbildung 23: Aufschluss "Weg 3".

4.2.2 Ergebnisse

4.2.2.1 Klassisch

4.2.2.1.1 Trennflächenorientierungen

Aus der Gesamtheit aller gemessenen Orientierungen dieser lithologischen Einheit können drei Trennflächenscharen abgeleitet werden, die Schieferung und die beiden Kluftscharen „K1“ und „K2“.

In Tabelle 8 sind die Schwerpunktsflächen der Aufschlüsse „DM Bundesstraße“ „DM Forstweg“, „Weg1“ und „Weg3“ sortiert nach den Trennflächenscharen dargestellt.

Tabelle 8: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der klassisch vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3".

| Klassisch | |
|-----------------|--------------------|
| Schieferung | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| DM Bundesstraße | 332/31 |
| DM Forstweg | 342/50 |
| Weg 1 | 001/72 |
| Weg 3 | 015/55 |
| K1 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| DM Bundesstraße | 151/57 |
| DM Forstweg | - |
| Weg 1 | 253/73 |
| Weg 3 | 124/88 |
| K2 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| DM Bundesstraße | - |
| DM Forstweg | 095/71 |
| Weg 1 | - |
| Weg 3 | 243/64 |

4.2.2.1.2 Trennflächennormalabstände und Frequenzen

Die Trennflächennormalabstände, sowie die inverse Darstellung in Form der Frequenzen, der Aufschlüsse „DM Bundesstraße“, „DM Forstweg“, sowie „Weg 1“ und „Weg 3“ sind in Tabelle 9 nach den Trennflächenscharen sortiert dargestellt.

Tabelle 9: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der klassisch vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3".

| Klassisch | | |
|-----------------|--------------------------------|----------|
| Schieferung | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| DM Bundesstraße | 24,00 | 4,15 |
| DM Forstweg | 13,42 | 7,45 |
| Weg 1 | 56,60 | 1,77 |
| Weg 3 | 25,40 | 3,93 |
| K1 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| DM Bundesstraße | 24,60 | 4,06 |
| DM Forstweg | - | - |
| Weg 1 | 89,00 | 1,12 |
| Weg 3 | 1,00 | 163,00 |
| K2 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| DM Bundesstraße | - | - |
| DM Forstweg | 26,70 | 3,74 |
| Weg 1 | - | - |
| Weg 3 | 23,20 | 4,31 |

Die Trennflächennormalabstände der Schieferung werden mit 13,42- 56,60 cm als eng bis mittel bezeichnet, es treten 1,77 – 7,45 Schieferungsflächen pro Meter auf.

Mit 1,00- 89,00 cm weist die Kluftchar „K1“ extrem enge bis weite Trennflächennormalabstände mit 4,06- 163 Trennflächen pro Meter auf.

Die Trennflächennormalabstände der Kluftchar „K2“ sind mit 23,20- 26,70 cm mittel und haben eine Frequenz von 3,74- 4,31 Trennflächen pro Meter.

4.2.2.1.3 Terminationsindex

Der Terminationsindex liegt in den untersuchten Aufschlüssen der Karbonate global im Bereich von 4,35- 11,11 %. Die Werte der einzelnen Aufschlüsse sind in Tabelle 10 dargestellt.

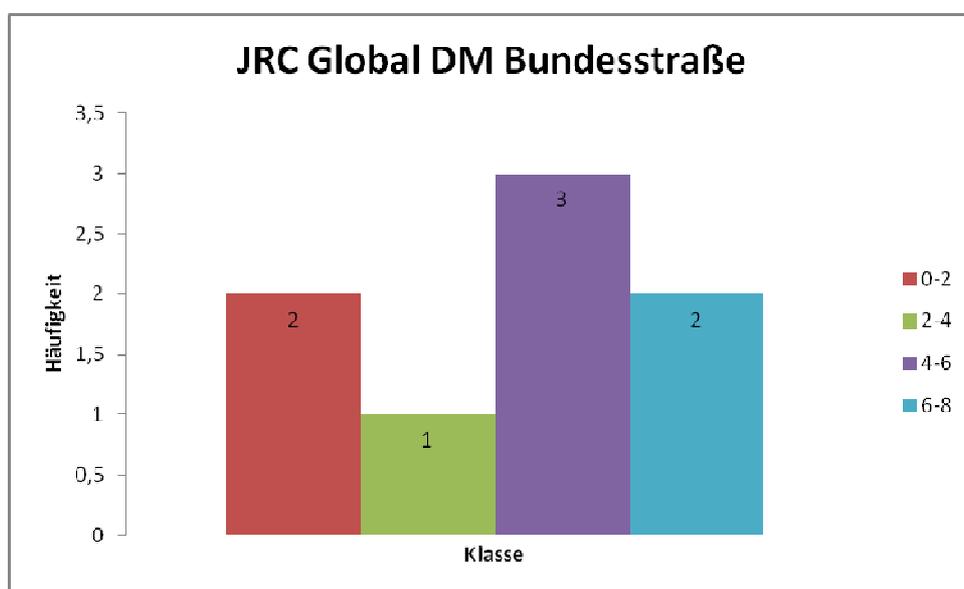
Tabelle 10: Globaler Terminationsindex der Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3".

| Aufschluss | Terminationsindex [%] |
|-----------------|-----------------------|
| DM Bundesstraße | 11,11 |
| DM Forstweg | 4,55 |
| Weg 1 | 4,35 |
| Weg 3 | 6,67 |

4.2.2.1.4 Rauigkeiten (JRC)

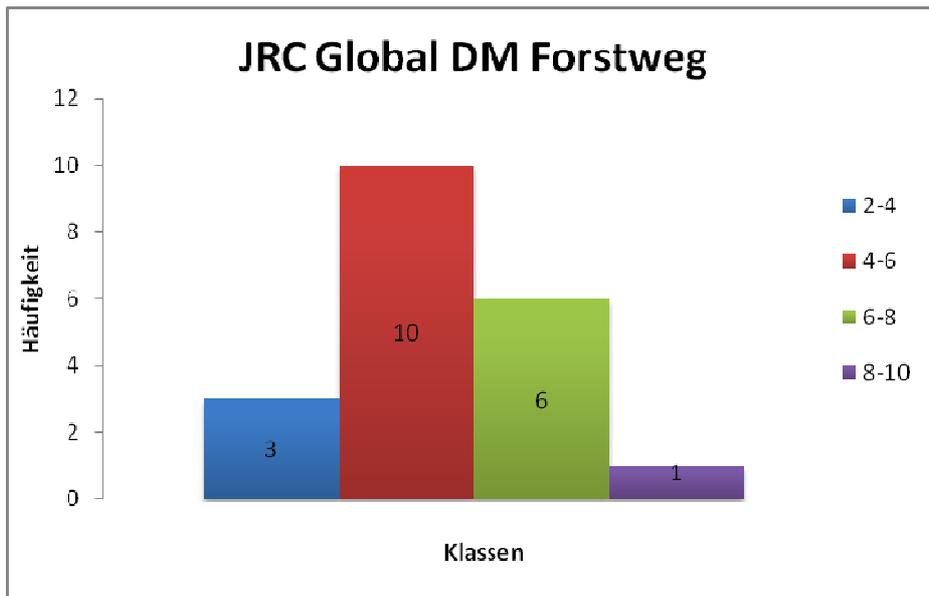
Im Bereich des Aufschlusses „DM Bundesstraße“ weisen global ca. 37 % der Trennflächen einen JRC von 4-6 auf und jeweils 25,5 % einen JRC von 6-8 und 0-2. 12,5 % liegen im Bereich von 2-4. Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 3 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

Histogramm 3: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "DM Bundesstraße".



Innerhalb des Aufschlusses „DM Forstweg“ weisen global ca. 50 % der Trennflächen einen JRC von 4-6 und 30 % einen JRC von 6-8 und 0-2. 15 % liegen im Bereich von 2-4 und 5 % bei 8-10. Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 4 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

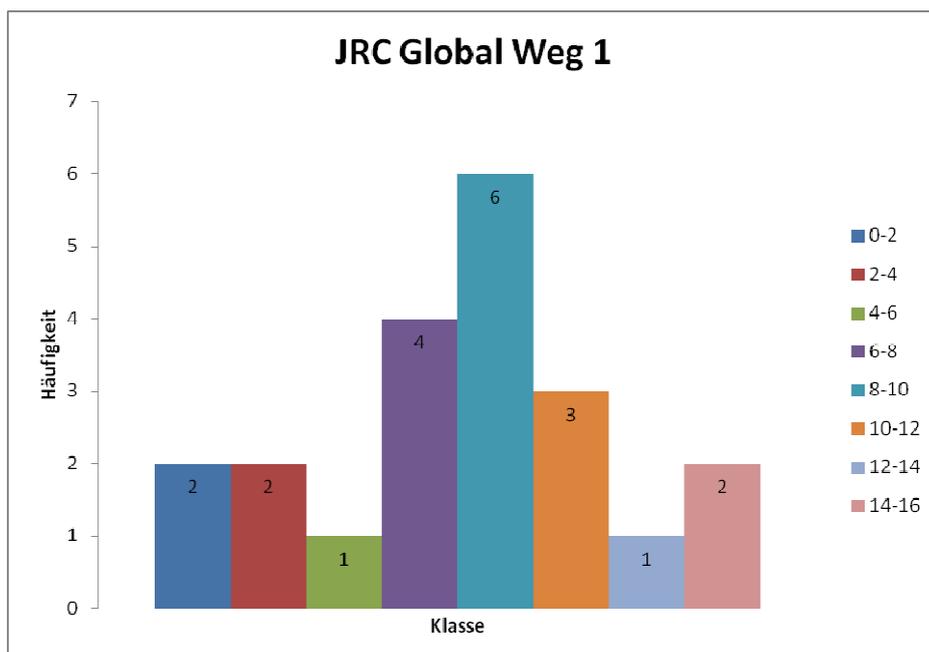
Histogramm 4: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "DM Forstweg".



Im Bereich des Aufschlusses „Weg 1“ weisen global ca. 28,6 % der Trennflächen einen JRC von 8-10 auf, 19 % einen JRC von 6-8 und 14,3 % liegen im Bereich 10-12.

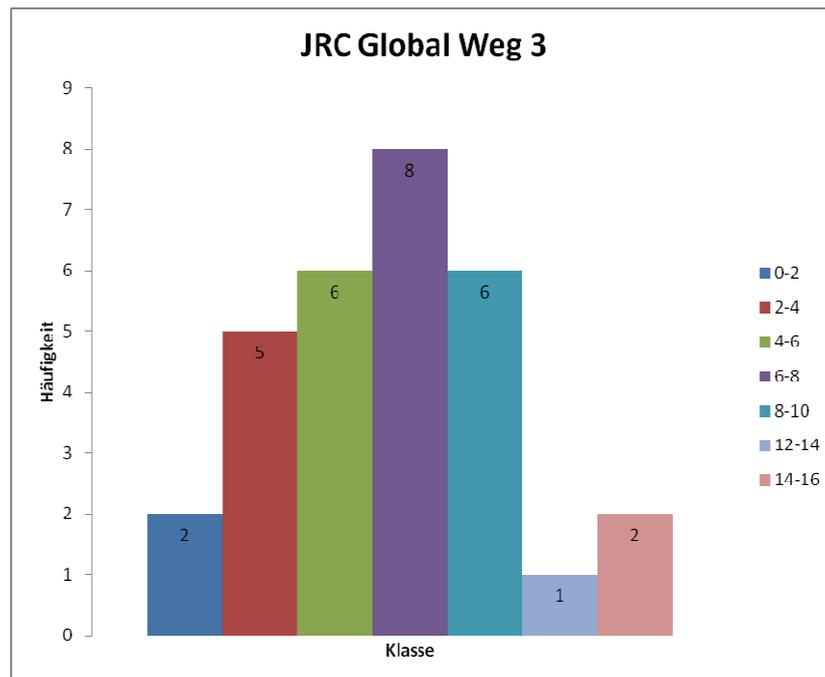
Jeweils 9,5 % fallen in die Bereiche 0-2, 2-4 und 14-16. Mit jeweils knapp 5% und einer Trennfläche sind die Koeffizienten 4-6 und 12-14 vertreten. Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 5 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

Histogramm 5: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "Weg 1".



Innerhalb des Aufschlusses „Weg 3“ weisen global ca. 26,7 % der Trennflächen einen JRC von 6-8 auf und jeweils 20 % einen JRC von 4-6 und 8-10. 16,7 % liegen im Bereich 2-4. Jeweils 6,7 % fallen in die Bereiche 0-2 und 14-16 und mit 3,4 % und einer Trennfläche ist der Koeffizient 12-14 vertreten. Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 6 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

Histogramm 6: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "Weg 3".



4.2.2.1.5 Mittlere scheinbare Spurlänge (Semi-tracelength)

Im Bereich des Aufschlusses „DM Bundesstraße“ weisen global ca. 66,7 % der Trennflächen eine STL von 0-1 m auf und 33,3 % eine STL von 1-3 m.

Im Aufschlusse „DM Forstweg“ haben global ca. 57,4 % der Trennflächen eine STL von 0-1 m und 38,1 % eine STL von 1-3 m. 4,8 % weisen eine STL von 3-10 m auf.

Bei „Weg 1“ haben global ca. 76,5 % der Trennflächen eine STL von 0-1 m und die verbleibenden 23,5 % eine STL von 1-3 m.

Im Bereich des Aufschlusses „Weg 3“ weisen global ca. 93,3 % der Trennflächen eine STL von 0-1 m auf und 6,6 % eine STL von 1-3 m.

Histogramme sowohl der globalen Verteilung der STL für jeden Aufschluss, als auch der Verteilung innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

4.2.2.2 Shape Metrix

4.2.2.2.1 Trennflächenorientierungen

Auch in der Modellauswertung könnten die drei Trennflächenscharen von Schieferung und den Klufscharen „K1“ und „K2“ abgeleitet werden.

In Tabelle 11 sind die Schwerpunktsflächen der Aufschlüsse „DM Bundesstraße“ „DM Forstweg“, „Weg1“ und „Weg3“ sortiert nach den Trennflächenscharen dargestellt.

Tabelle 11: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3".

| Shape Metrix | |
|-----------------|--------------------|
| Schieferung | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| DM Bundesstraße | 003/41 |
| DM Forstweg | 337/38 |
| Weg 1 | 007/56 |
| Weg 3 | 025/31 |
| K1 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| DM Bundesstraße | 192/53 |
| DM Forstweg | - |
| Weg 1 | 067/89 |
| Weg 3 | - |
| K2 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| DM Bundesstraße | 109/75 |
| DM Forstweg | 093/66 |
| Weg 1 | - |
| Weg 3 | 228/61 |

4.2.2.2.2 Trennflächennormalabstände und Frequenzen

Die Trennflächennormalabstände der Modellauswertung , sowie die inverse Darstellung in Form der Frequenzen, der Aufschlüsse „DM Bundesstraße“, „DM Forstweg“, sowie „Weg 1“ und „Weg 3“ sind in Tabelle 12 nach den Trennflächenscharen sortiert dargestellt.

Tabelle 12: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3".

| Shape Metrix | | |
|-----------------|--------------------------------|----------|
| Schieferung | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| DM Bundesstraße | - | |
| DM Forstweg | 17,00 | 5,88 |
| Weg 1 | 63,00 | 1,59 |
| Weg 3 | 17,00 | 5,88 |
| K1 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| DM Bundesstraße | 20,00 | 5,00 |
| DM Forstweg | - | - |
| Weg 1 | 59,00 | 1,69 |
| Weg 3 | - | - |
| K2 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| DM Bundesstraße | 27,00 | 3,70 |
| DM Forstweg | 30,00 | 3,33 |
| Weg 1 | - | - |
| Weg 3 | 18,00 | 5,56 |

Die Trennflächennormalabstände der Schieferung werden mit 17,00- 63,00 cm als eng bis weit bezeichnet, es treten 1,59 – 5,88 Schieferungsflächen pro Meter auf.

Mit 20,00- 59,00 cm weist die Kluftschar „K1“ mittlere bis weite Trennflächennormalabstände mit 1,69- 5,00 Trennflächen pro Meter auf.

Die Trennflächennormalabstände der Kluftschar „K2“ sind mit 18- 30 cm eng bis mittel und haben eine Frequenz von 3,70- 5,56 Trennflächen pro Meter.

4.2.2.2.3 Rauigkeiten

Innerhalb der Aufschlüssen „DM Bundesstraße“, „Weg 1“ und „Weg 3“ wurden an jeweils drei Trennflächen einzelner Scharen die Oberflächenmorphologien mit der Profil- Funktion in Shape Metrix als Polylinie abgebildet (siehe Methodik) und diese anschließend im Maßstab 1:1 mit den typischen Rauigkeitsprofilen für die Zuordnung zum JRC verglichen.

Anhand der Kalibrierungspunkte an dem Stativ kann die reale Bildhöhe der Stereobildpaare der Aufschlüsse „DM Bundesstraße“, „Weg 1“ und „Weg 3“ abgeschätzt werden.

Sie beträgt für „DM Bundesstraße“ ca. 2000 mm (siehe Anhang D). Die Höhe des Bildausschnittes, welcher den Aufschluss beinhaltet, beträgt auch 2000 mm. Wie in der Methodik erläutern beträgt die Anzahl der Pixel der verwendeten Kamera 3008 x 2000 Pixel (Breite x Höhe).

Somit beträgt die Auflösung des Bildausschnittes vom Aufschluss „DM Bundesstraße“ $2000 \text{ mm} / 2000 \text{ Pixel} = 1 \text{ mm} / 1 \text{ Pixel}$. Ein Pixel stellt somit ungefähr 1 mm der Oberfläche dar.

Die reale Bildhöhe der Stereobildpaare von „Weg 1“ beträgt ca 3000 mm (siehe Anhang D). Die Höhe des Bildausschnittes welcher den Aufschluss beinhaltet beträgt ca. 1500 mm.

Somit beträgt die Auflösung des Bildausschnittes vom Aufschluss „Weg 1“ $1500 \text{ mm} / 1000 \text{ Pixel} = 1,5 \text{ mm} / 1 \text{ Pixel}$. Ein Pixel stellt somit ungefähr 1,5 mm der Oberfläche dar.

Die reale Bildhöhe der Stereobildpaare von „Weg 3“ beträgt ca. 1500 mm (siehe Anhang D). Die Höhe des Bildausschnittes wiederum, welcher den Aufschluss beinhaltet beträgt auch ca. 1500 mm. Somit beträgt die Auflösung des Bildausschnittes vom Aufschluss „Weg 3“ $1500 \text{ mm} / 2000 \text{ Pixel} = 0,75 \text{ mm} / 1 \text{ Pixel}$. Ein Pixel stellt somit ungefähr 0,75 mm der Oberfläche dar.

Im Bereich des Aufschlusses „DM Bundesstraße“ liegt der JRC für die Kluftchar K1 im Bereich 8-10. Bei „Weg 1“ wurden für „K1“ Werte im Bereich 10-16 ermittelt.

Für die Schieferung des Aufschlusses „Weg 3“ wurden Bereiche des JRC von 8-16 ermittelt, für die Kluftchar „K2“ liegen die Werte bei 14-16.

In Tabelle 13 sind die Werte für den JRC der Modellauswertung der Aufschlüsse „G Neu“ und „G 4“ sortiert nach den Trennflächenscharen dargestellt.

Tabelle 13: Werte des Joint Roughness Coefficient der mit Shape Matrix vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "Weg 1" und "Weg 3". Es wurde jeweils an drei verschiedenen Flächen der Trennflächenschar eine Messung durchgeführt.

| | | JRC |
|-----------------|----|-------|
| DM Bundesstraße | K1 | 8-10 |
| | | 8-10 |
| | | 8-10 |
| Weg 1 | K1 | 10-12 |
| | | 14-16 |
| | | 14-16 |
| Weg 3 | Sf | 8-10 |
| | | 8-10 |
| | | 14-16 |
| | K2 | 14-16 |
| | | 14-16 |
| | | 14-16 |

4.3 Grüngesteine der Veitscher Decke

Die Grüngesteine der Veitscher Decke konnten innerhalb zwei größerer Aufschlüsse an einem aufgefahrener Forstweg untersucht werden, die Aufschlüsse liegen nur knapp 100 m voneinander entfernt. Sowohl klassisch als auch mit Shape Metrix wurden „GSF Ost“ und „GSF West“ ausgewertet. Der Verlauf der Scanline war in beiden Aufschlüssen aufgrund der ungünstigen Aufschlussorientierungen parallel zur Schieferung gewählt, so dass diese im klassischen Verfahren nicht erfasst wurde.

4.3.1 Beschreibungen der Aufschlüsse

4.3.1.1 GSF Ost und GSF West

Die beiden Aufschlüsse „GSF Ost“ und „GSF West“ hatten jeweils eine Höhe von ca. 2,5 m und waren ca. 10 m breit (siehe Abb. 24). Sie waren stark von Gräsern bewachsen. Da der Hangfuss am unteren Ende der Aufschlüsse durch das Graben einer Wasserrinne bei Wegearbeiten etwas entfernt wurde, ist der Gesteinsverband beider Aufschlüsse leicht abgesackt. Das Gefüge ist stellenweise stark aufgelockert und wird oftmals von weiter oben abgerutschtem Boden verdeckt. Somit waren nicht alle Trennflächen gut zu erreichen, einige gar nicht.



Abbildung 24: Aufschluss "GSF Ost". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline.

Aufgrund der Breite beider Aufschlüsse war es nicht möglich sie mit jeweils nur einem Stereobildpaar zu erfassen. Beide Aufschlüsse wurden jeweils in zwei separaten Teilen aufgenommen und die daraus erstellten einzelnen Modelle wurden mit der Softwarekomponente *SMX ModelMerger* zu einem Modell verknüpft.

4.3.2 Ergebnisse

4.3.2.1 Klassisch

4.3.2.1.1 Trennflächenorientierungen

Aus der Gesamtheit aller gemessenen Orientierungen der Grüngesteine der Veitscher Decke konnten zwei Trennflächenscharen abgeleitet werden, die Klufscharen „K1“ und „K2“.

In Tabelle 14 sind die Schwerpunktsflächen der Aufschlüsse „GSF Ost“ und „GSF West“ sortiert nach den Scharen dargestellt.

Tabelle 14: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der klassisch vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West".

| Klassisch | |
|-------------|--------------------|
| Schieferung | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| GSF Ost | - |
| GSF West | - |
| K1 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| GSF Ost | 124/74 |
| GSF West | 101/82 |
| K2 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| GSF Ost | 222/69 |
| GSF West | 203/84 |

4.3.2.1.2 Trennflächennormalabstände und Frequenzen

Die Trennflächennormalabstände, sowie die inverse Darstellung in Form der Frequenzen, der Aufschlüsse „GSF Ost“ und „GSF West“ sind in Tabelle 15 nach den Scharen sortiert dargestellt.

Tabelle 15: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der klassisch vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West".

| Klassisch | | |
|-------------|--------------------------------|----------|
| Schieferung | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| GSF Ost | - | - |
| GSF West | - | - |
| K1 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| GSF Ost | 37,80 | 2,64 |
| GSF West | 41,50 | 2,41 |
| K2 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| GSF Ost | 24,60 | 4,07 |
| GSF West | 45,30 | 2,21 |

Mit 37,80- 41,50 cm weist die Kluftschar „K1“ mittlere Trennflächennormalabstände mit 2,41- 2,64 Trennflächen pro Meter auf.

Die Trennflächennormalabstände der Kluftschar „K2“ sind mit 24,60- 45,30 cm mittel ausgeprägt und treten mit einer Frequenz von 2,21- 4,07 Trennflächen pro Meter auf.

4.3.2.1.4 Terminationsindex

Der Terminationsindex liegt in den untersuchten Aufschlüssen der Grungesteine global im Bereich von 2,27- 3,03 %. Die Werte der einzelnen Aufschlüsse sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Globaler Terminationsindex der Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West".

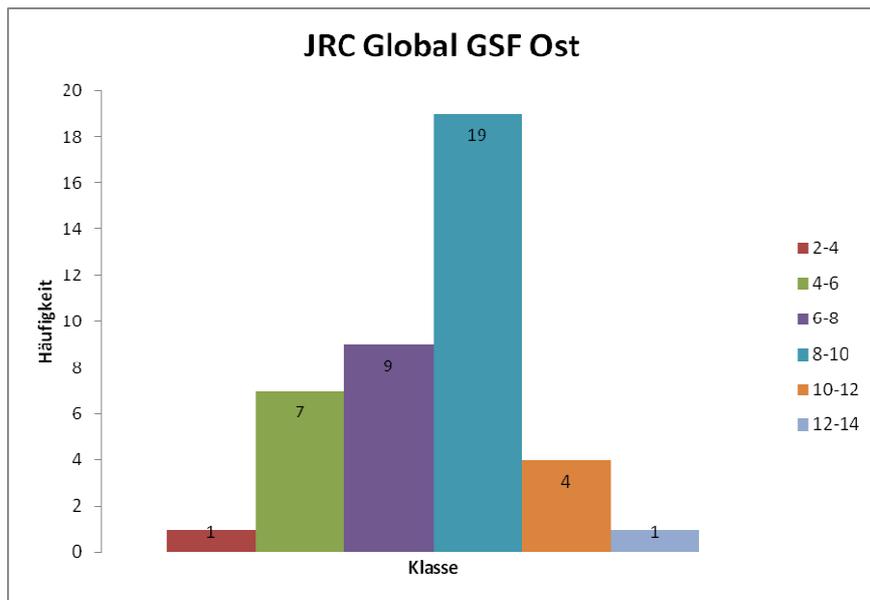
| Aufschluss | Terminationsindex [%] |
|------------|-----------------------|
| GSF Ost | 2,27 |
| GSF West | 3,03 |

4.3.2.1.5 Rauigkeiten (JRC)

Innerhalb des Aufschlusses „GSF Ost“ weisen global ca. 34 % der Trennflächen einen JRC von 8-10 auf, 22 % einen JRC von 6-8 und 17% liegen im Bereich 4-6.

9,8 % fallen in die Bereiche 10-12 % und mit jeweils 2,4 % sind die Koeffizienten 2-4 und 12-14 vertreten. Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 7 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

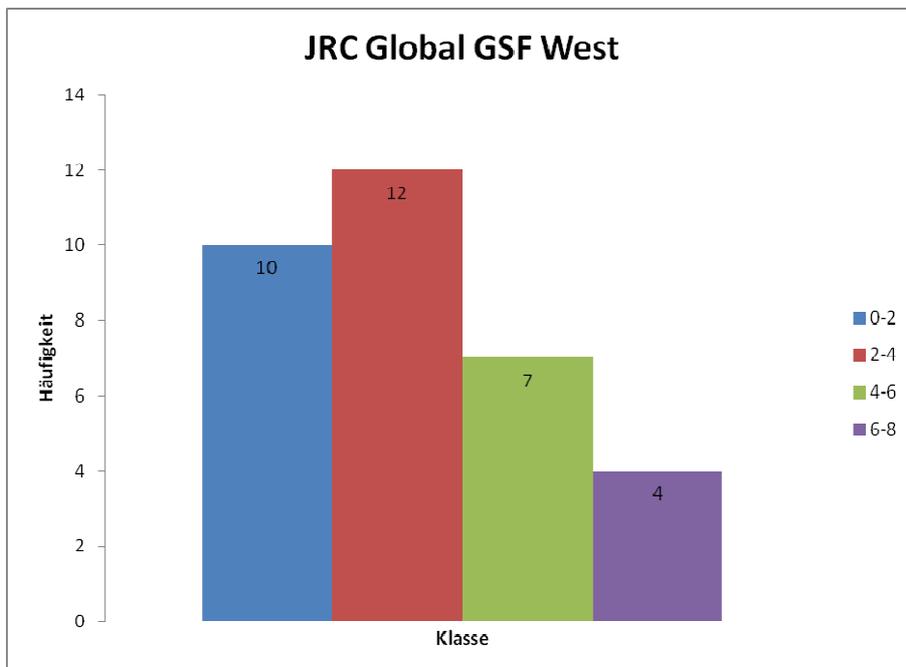
Histogramm 7: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "GSF Ost".



Im Bereich des Aufschlusses „GSF West“ weisen global ca. 37 % der Trennflächen einen JRC von 2-4 auf, 30 % einen JRC von 0-2 und 21 % liegen im Bereich 4-6.

12 % fallen in die Bereiche 6-8. Die globale Verteilung ist graphisch in Histogramm 8 dargestellt, Histogramme mit der Verteilung des JRC innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

Histogramm 8: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "GSF West".



4.3.2.1.6 Mittlere scheinbare Spurlänge (Semi-tracelength)

Im Bereich des Aufschlusses „GSF Ost“ weisen global ca. 96,1 % der Trennflächen eine STL von 0-1 m auf und 3,9 % eine STL von 1,3 m.

Im Aufschlusses „GSF West“ haben global ca. 97 % der Trennflächen eine STL von 0-1 m und 3 % eine STL von 1-3 m.

Histogramme sowohl der globalen Verteilung der STL für jeden Aufschluss, als auch der Verteilung innerhalb der einzelnen Trennflächenscharen befinden sich in Anhang B.

4.3.2.2 Shape Metrix

4.3.2.2.1 Trennflächenorientierungen

In der Modellauswertung wurde zusätzlich zu den beiden Kluftscharen „K1“ und „K2“ auch die Schieferung erfasst.

In Tabelle 17 sind die Schwerpunktsflächen der Aufschlüsse „GSF Ost“ und „GSF West“ sortiert nach den drei Scharen dargestellt.

Tabelle 17: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West".

| Shape Metrix | |
|--------------|--------------------|
| Schieferung | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| GSF Ost | 352/33 |
| GSF West | 303/14 |
| K1 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| GSF Ost | 131/82 |
| GSF West | 095/80 |
| K2 | |
| Aufschluss | Schwerpunktsfläche |
| GSF Ost | 223/77 |
| GSF West | 184/88 |

4.3.2.2.2 Trennflächennormalabstände und Frequenzen

Die Trennflächennormalabstände der Modellauswertungen, sowie die inverse Darstellung in Form der Frequenzen, der Aufschlüsse „GSF Ost“ und „GSF West“ sind in Tabelle 18 nach den Scharen sortiert dargestellt.

Tabelle 18: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West".

| Shape Metrix | | |
|--------------|--------------------------------|----------|
| Schieferung | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| GSF Ost | 11,00 | 9,09 |
| GSF West | 9,00 | 11,11 |
| K1 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| GSF Ost | 19,00 | 5,26 |
| GSF West | 42,00 | 2,38 |
| K2 | | |
| Aufschluss | Trennflächennormalabstand [cm] | Frequenz |
| GSF Ost | 27,00 | 3,70 |
| GSF West | 34,00 | 2,94 |

Die Trennflächennormalabstände der Schieferung werden mit 9,00- 11,00 cm als eng bezeichnet, es treten 9,09 – 11,11 Schieferungsflächen pro Meter auf.

Mit 19,00- 42,00 cm weist die Kluftschar „K1“ enge bis mittlere Trennflächennormalabstände mit 2,38- 5,26 Trennflächen pro Meter auf.

Die Trennflächennormalabstände der Kluftschar „K2“ sind mit 27,00- 34,00 cm mittel ausgeprägt und treten mit einer Frequenz von 2,94- 3,70 Trennflächen pro Meter auf.

4.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen sowie die einiger Rauigkeitsmessungen der zwei angewandten Methoden für jeden Aufschluss separat und sortiert nach Trennflächenscharen gegenübergestellt.

Die im Rahmen dieser Arbeit erhaltenen Ergebnisse des Scanline-Verfahrens werden mit denen der Auswertung der dreidimensionalen Modelle und den ebenfalls mittels Scanline-Verfahren erhaltenen Daten von MERINGER (1994) verglichen. Der Übersichtlichkeit halber wurden die eigenen Daten mit „klassisch“ bezeichnet, die Methodik ist jedoch die gleiche, welche auch MERINGER (1994) angewandt hat.

Der Vergleich zu MERINGER (1994) soll helfen den Faktor der menschlichen Subjektivität bei der Datenerhebung im Gelände besser beurteilen zu können bzw. dient im Falle des Aufschlusses „G 6“ als einziger Vergleich zu den mit Shape Matrix ermittelten Werten, da der Aufschluss nicht selbst von Hand aufgenommen wurde.

MERINGER (1994) hat damals im gleichen Gebiet Daten für geostatistische Untersuchungen von Trennflächencharakteristika erhoben und die Lage der von Ihm bearbeiteten Aufschlüsse auch in einer Übersichtskarte markiert. Es wurde im Vorfeld der Geländeaufnahmen zu dieser Arbeit versucht, die genaue Lage dieser Aufschlüsse festzustellen um später Daten gleicher Aufschlüsse direkt miteinander vergleichen zu können.

Die eingezeichneten Lokationen konnten jedoch nicht genau bestimmt werden bzw. wurden oftmals nicht gefunden. Dies liegt vermutlich an der seitdem vergangenen Zeit, in welcher die Aufschlüsse durch Wegearbeiten oder Erosion abgetragen oder verändert wurden, durch Vegetation überwachsen und so weiter.

Die Auswahl der zum Vergleich herangezogenen Aufschlüsse von MERINGER (1994) erfolgte durch Abgleich der Lithologien, der Schwerpunktsflächen der einzelnen Trennflächenscharen und/oder der geographischen Lage anhand seiner Aufschlusslokationskarte.

4.4.1 DM Bundesstraße

4.4.1.1 Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen

Tabelle 19: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "DM Bundesstraße".

| Sf | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------------------------|----------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer DM 12 |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | 3 | 4 | 27 |
| Schwerpunktsfläche | Sf | 332/31 | 003/41 | 348/30 |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | 37,5 | Sf Flächen im Scanline Bereich | |
| True Spacing [cm] | Sf | 24 | des Modells nicht vorhanden. | 17,32 |
| Frequency | Sf | 4,15 | | 5,77 |

Die Einfallsrichtungen der Schwerpunktsflächen der Schieferungen zeigen Abweichungen um bis zu 45°, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen den klassisch erhobenen Daten beträgt 6,68 cm (siehe Tabelle 19).

Tabelle 20: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "DM Bundesstraße".

| K1 | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|----------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer DM 12 |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K1 | 5 | 3 | 7 |
| Schwerpunktsfläche | K1 | 151/57 | 192/53 | 168/65 |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K1 | 34,3 | 37 | |
| True Spacing [cm] | K1 | 24,6 | 20 | 12 |
| Frequency | K1 | 4,06 | 5 | 8,33 |

Die Einfallsrichtungen der Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K1“ zeigen Abweichungen um bis zu 41°, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände über alle drei Methoden beträgt maximal 12,6 cm (siehe Tabelle 20).

Tabelle 21: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "DM Bundesstraße".

| K2 | | | | |
|------------------------------------|-------|--|--------------|----------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer DM 12 |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K2 | | 2 | 12 |
| Schwerpunktsfläche | K2 | | 109/75 | 109/82 |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K2 | Aufgrund der Gegebenheiten nicht messbar | 28 | |
| True Spacing [cm] | K2 | | 27 | 15 |
| Frequency | K2 | | 3,70 | 6,67 |

Die Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K2“ zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und Meringer beträgt 12 cm (siehe Tabelle 21).

4.4.1.2 Rauigkeiten

Der Vergleich der Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen zeigt innerhalb der geringen Datenmenge für die Kluftschar „K1“ leichte Abweichungen (siehe Histogramme der Rauigkeiten der Trennflächenscharen in Anhang B sowie Tabelle 22).

Tabelle 22: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "DM Bundesstraße". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Kluftschar jeweils eine Messung durchgeführt.

| DM Bundesstraße | |
|-----------------|------|
| | JRC |
| K1 | 8-10 |
| | 8-10 |
| | 8-10 |

4.4.2 DM Forstweg

4.4.2.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 23: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "DM Forstweg".

| Sf | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|---------------|------------------------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer DM 7 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | 16 | 17 | 27 | |
| Schwerpunktsfläche | Sf | 342/50 | 337/38 | 348/30 | Lage vom Aufschluss Meringer |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | 15,2 | 25 | | stimmt nicht überein. |
| True Spacing [cm] | Sf | 13,42 | 17 | 20,5 | |
| Frequency | Sf | 7,45 | 5,88 | 4,88 | |

Die Schwerpunktsflächen der Schieferung zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 7,08 cm (siehe Tabelle 23).

Tabelle 24: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "DM Forstweg".

| K2 | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|---------------|------------------------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer DM 7 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K2 | 3 | 6 | 12 | |
| Schwerpunktsfläche | K2 | 95/71 | 93/66 | 109/82 | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K2 | 110 | 58 | | Lage vom Aufschluss Meringer |
| True Spacing [cm] | K2 | 26,7 | 30 | 19,6 | stimmt nicht überein. |
| Frequency | K2 | 3,74 | 3,33 | 5,10 | |

Die Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K2“ zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 10,4 cm (siehe Tabelle 24).

4.4.3 Weg 1

4.4.3.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 25: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "Weg 1".

| Sf | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|----------|--------------------------------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer | |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | 11 | 11 | | |
| Schwerpunktsfläche | Sf | 001/72 | 007/56 | | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | 65 | 73 | | Keine vergleichbaren Daten vorhanden |
| True Spacing [cm] | Sf | 56,6 | 63 | | |
| Frequency | Sf | 1,77 | 1,59 | | |

Die Schwerpunktsflächen der Schieferung zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und der klassischen Methoden beträgt 6,4 cm (siehe Tabelle 25).

Tabelle 26: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "Weg 1".

| K1 | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|--------------------------------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K1 | 5 | 6 | |
| Schwerpunktsfläche | K1 | 253/74 | 067/89 | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K1 | 139 | 83 | Keine vergleichbaren Daten vorhanden |
| True Spacing [cm] | K1 | 89 | 59 | |
| Frequency | K1 | 1,12 | 1,69 | |

Die Einfallsrichtungen der Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K1“ weichen um knapp 180° voneinander ab, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und der klassischen Methoden beträgt 30 cm (siehe Tabelle 26).

4.4.3.2 Rauigkeiten

Der Vergleich der Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen zeigt innerhalb der geringen Datenmenge für die Kluftschar „K1“ Übereinstimmungen (siehe Histogramme der Rauigkeiten der Trennflächenscharen in Anhang B sowie Tabelle 27).

Tabelle 27: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "Weg 1". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Kluftschar jeweils eine Messung durchgeführt.

| Weg 1 | |
|-------|-------|
| | JRC |
| K1 | 10-12 |
| | 14-16 |
| | 14-16 |

4.4.4 Weg 3

4.4.4.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 28: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "Weg 3".

| Sf | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|--------------------------------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | 4 | 14 | | |
| Schwerpunktsfläche | Sf | 015/55 | 025/31 | | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | 30 | 25 | Keine vergleichbaren Daten vorhanden | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| True Spacing [cm] | Sf | 25,4 | 17 | | |
| Frequency | Sf | 3,93 | 5,88 | | |

Die Schwerpunktsflächen der Schieferung zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und der klassischen Methoden beträgt 8,4 cm (siehe Tabelle 28).

Tabelle 29: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "Weg 3".

| K1 | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------------------|--------------------------------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K1 | 5 | | | |
| Schwerpunktsfläche | K1 | 124/88 | | | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K1 | 35 | Im Modell nicht gefunden | Keine vergleichbaren Daten vorhanden | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| True Spacing [cm] | K1 | 1 | | | |
| Frequency | K1 | 163 | | | |

Da die Schar im Modell nicht gefunden wurde und von MERINGER (1994) keine vergleichbaren Daten vorhanden sind, ist ein Vergleich der Daten der Kluftschar „K1“ nicht möglich. (siehe Tabelle 29).

Tabelle 30: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "Weg 3".

| K2 | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|--------------------------------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K2 | 9 | 11 | | |
| Schwerpunktsfläche | K2 | 243/64 | 228/61 | | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K2 | 33 | 33 | Keine vergleichbaren Daten vorhanden | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| True Spacing [cm] | K2 | 23,2 | 18 | | |
| Frequency | K2 | 4,31 | 5,56 | | |

Die Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K2“ zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und der klassischen Methoden beträgt 5,2 cm (siehe Tabelle 30).

4.4.4.2 Rauigkeiten

Der Vergleich der Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen zeigt innerhalb der geringen Datenmenge sowohl für die Schieferung als auch für die Kluftchar „K2“ leichte Abweichungen (siehe Histogramme der Rauigkeiten der Trennflächenscharen in Anhang B sowie Tabelle 31).

Tabelle 31: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Schieferung und der Kluftchar "K2" des Aufschlusses "Weg 3". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen von Kluftchar und Schieferung jeweils eine Messung durchgeführt.

| Weg 3 | |
|-------|-------|
| | JRC |
| Sf | 8-10 |
| | 8-10 |
| | 14-16 |
| K2 | 14-16 |
| | 14-16 |
| | 14-16 |

4.4.5 G Neu

4.4.5.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 32: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "G Neu".

| Sf | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer G 6 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | 6 | 7 | 15 | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| Schwerpunktsfläche | Sf | 336/43 | 331/44 | 336/42 | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | 37 | 43 | | |
| True Spacing [cm] | Sf | 36,2 | 35 | 16,6 | |
| Frequency | Sf | 2,76 | 2,86 | 6,02 | |

Die Schwerpunktsflächen der Schieferung zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 19,6 cm (siehe Tabelle 32).

4.4.5.2 Rauigkeiten

Der Vergleich der Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen zeigt innerhalb der geringen Datenmenge für die Schieferung große Abweichungen (siehe Histogramme der Rauigkeiten der Trennflächenscharen in Anhang B sowie Tabelle 33).

Tabelle 33: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Schieferung des Aufschlusses "G Neu". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Schieferung jeweils eine Messung durchgeführt.

| G Neu | |
|-------|-------|
| JRC | |
| Sf | 16-18 |
| | 14-16 |
| | 14-16 |

4.4.6 G 4

4.4.6.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 34: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "G 4".

| | | Sf | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|--------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer G 4 |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | 6 | 8 | 19 |
| Schwerpunktsfläche | Sf | 343/74 | 150/90 | 316/44 |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | 40 | 21 | |
| True Spacing [cm] | Sf | 33,4 | 16 | 13,45 |
| Frequency | Sf | 2,99 | 6,25 | 7,43 |

Die Einfallsrichtungen der Schwerpunktsflächen der Schieferungen zeigen Abweichungen zwischen 27° (klassisch zu MERINGER (1994)) und 193° (klassisch zu Shape Metrix), die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 19,95 cm (siehe Tabelle 34).

Tabelle 35: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "G 4".

| K2 | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|--------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer G 4 |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K2 | 3 | 9 | 9 |
| Schwerpunktsfläche | K2 | 241/84 | 232/70 | 062/83 |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K2 | 122 | 21 | |
| True Spacing [cm] | K2 | 70,3 | 7 | 24,7 |
| Frequency | K2 | 1,42 | 14,29 | 4,05 |

Die Einfallsrichtung der Schwerpunktsfläche der Kluftschar „K2“ von MERINGER (1994) zeigt eine Abweichungen von knapp 180° zur klassischen Methode und Shape Metrix, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 45,6 cm (siehe Tabelle 45).

4.4.6.2 Rauigkeiten

Der Vergleich der Ergebnisse der Rauigkeitsmessungen zeigt innerhalb der geringen Datenmenge sowohl für die Schieferung als auch für die Kluftschar „K2“ Übereinstimmungen (siehe Histogramme der Rauigkeiten der Trennflächenscharen in Anhang B sowie Tabelle 36).

Tabelle 36: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Schieferung und der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "G 4". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Kluftschar und der Schieferung jeweils eine Messung durchgeführt.

| G4 | |
|-----|-------|
| JRC | |
| Sf | 8-10 |
| | 8-10 |
| | 10-12 |
| K2 | 4-6 |
| | 6-8 |
| | 8-10 |

4.4.7 G 6

4.4.7.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 37: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "G 6".

| Sf | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------------------|--------------|-------------|---|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer G6 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | Nicht aufgenommen | 13 | 15 | Wenn SM Flächen-schwerpunkte um 30° rotiert werden stimmen sie mit Meringer überein |
| Schwerpunktsfläche | Sf | | 294/35 | 336/42 | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | | 24 | | |
| True Spacing [cm] | Sf | | 15 | 16,63 | |
| Frequency | Sf | | 6,67 | 6,01 | |

Die Einfallsrichtungen der Schwerpunktsflächen der Schieferungen zeigen Abweichungen um bis zu 42°, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und Meringer beträgt 1,63 cm (siehe Tabelle 37).

Tabelle 38: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "G 6".

| K1 | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------------------|--------------|-------------|---|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer G6 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K1 | Nicht aufgenommen | 10 | 7 | Wenn SM Flächen-schwerpunkte um 30° rotiert werden stimmen sie mit Meringer überein |
| Schwerpunktsfläche | K1 | | 220/83 | 244/75 | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K1 | | 37 | | |
| True Spacing [cm] | K1 | | 21 | 27,86 | |
| Frequency | K1 | | 4,76 | 3,59 | |

Die Einfallsrichtungen der Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K1“ zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und Meringer beträgt 6,86 cm (siehe Tabelle 38).

4.4.8 GSF Ost

4.4.8.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 39: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "GSF Ost".

| Sf | | | | | |
|-------------------------------|-------|------------|--------------|----------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer GSF 6 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | | 6 | 22 | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| Schwerpunktsfläche | Sf | Nicht | 352/33 | 324/24 | |
| Mittlerer Trennflächen- | Sf | aufgenomme | 12 | | |
| True Spacing [cm] | Sf | n | 11 | 2,6 | |
| Frequency | Sf | | 9,09 | 38,46 | |

Die Schwerpunktsflächen der Schieferung zeigen keinen nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und MERINGER (1994) beträgt 8,4 cm (siehe Tabelle 39).

Tabelle 40: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftchar "K1" des Aufschlusses "GSF Ost".

| K1 | | | | | |
|-------------------------------|-------|-----------|--------------|----------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer GSF 6 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K1 | 15 | 25 | 12 | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| Schwerpunktsfläche | K1 | 124/74 | 131/82 | 172/74 | |
| Mittlerer Trennflächen- | K1 | 45 | 26 | | |
| abstand [cm] | K1 | | | | |
| True Spacing [cm] | K1 | 37,8 | 19 | 7 | |
| Frequency | K1 | 2,64 | 5,26 | 14,29 | |

Die Schwerpunktsflächen der Kluftchar „K1“ zeigen zwischen der klassischen Methode und Shape Metrix keine nennenswerten Abweichungen, jedoch weicht die Einfallsrichtung der Schwerpunktsfläche von MERINGER (1994) zu den anderen beiden Werten um 48° ab. Die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 30,8 cm (siehe Tabelle 40).

Tabelle 41: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "GSF Ost".

| K2 | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|-------------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer GSF 6 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K2 | 14 | 15 | 7 | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| Schwerpunktsfläche | K2 | 222/69 | 223/77 | 229/85 | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K2 | 45 | 42 | | |
| True Spacing [cm] | K2 | 24,6 | 27 | 11,7 | |
| Frequency | K2 | 4,07 | 3,70 | 8,55 | |

Die Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K2“ zeigen keinen nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 15,3 cm (siehe Tabelle 41).

4.4.9 GSF West

4.4.9.1 Trennflächenabstandsparameter und Trennflächenorientierungen

Tabelle 42: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "GSF West".

| Sf | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------------------|--------------|-------------------|--|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer GSF 7 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | Sf | | 10 | 25 | Lage vom Aufschluss Meringer stimmt nicht überein. |
| Schwerpunktsfläche | Sf | | 303/14 | 339/24 | |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | Sf | Nicht aufgenommen | 11 | | |
| True Spacing [cm] | Sf | | 9 | 3,91 | |
| Frequency | Sf | | 11,11 | 25,58 | |

Die Einfallsrichtungen der Schwerpunktsflächen der Schieferung zeigen zwischen Shape Metrix und MERINGER (1994) Abweichungen von 36°, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände zwischen Shape Metrix und MERINGER (1994) beträgt 5,09 cm (siehe Tabelle 42).

Tabelle 43: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "GSF West".

| K1 | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|-------------------|-----------------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer GSF 7 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K1 | 16 | 12 | 14 | |
| Schwerpunktsfläche | K1 | 101/82 | 95/80 | 98/80 | Lage vom Aufschluss |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K1 | 57 | 57 | | Meringer |
| True Spacing [cm] | K1 | 41,5 | 42 | 15 | stimmt nicht überein. |
| Frequency | K1 | 2,41 | 2,38 | 6,67 | |

Die Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K1“ zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 26,5 cm (siehe Tabelle 43).

Tabelle 44: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "GSF West".

| K2 | | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------|--------------|-------------------|-----------------------|
| | Schar | Klassisch | Shape Metrix | Meringer GSF 7 | Anmerkung |
| Anzahl der Trennflächenspuren | K2 | 16 | 11 | 16 | |
| Schwerpunktsfläche | K2 | 203/84 | 184/88 | 180/74 | Lage vom Aufschluss |
| Mittlerer Trennflächenabstand [cm] | K2 | 56 | 57 | | Meringer |
| True Spacing [cm] | K2 | 45,3 | 34 | 15,41 | stimmt nicht überein. |
| Frequency | K2 | 2,21 | 2,94 | 6,49 | |

Die Schwerpunktsflächen der Kluftschar „K2“ zeigen keine nennenswerten Abweichungen, die Differenz der mittleren Trennflächennormalabstände beträgt über alle Methoden maximal 29,89 cm (siehe Tabelle 44).

6 Diskussion

Anhand der Gegenüberstellung der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass innerhalb der drei verschiedenen Datensätze je Trennflächenschar sowohl einige Abweichungen auftreten, es aber auch Trennflächenscharen gibt, in welchen die Ergebnisse der Methoden untereinander gut korrelieren.

Die Abweichungen der Schwerpunktsflächen können verschiedene Ursachen haben. Differenzen zwischen den selbst erhobenen und MERINGERS (1994) Daten sind einmal auf die nicht exakt übereinstimmenden Lokationen, aber vor allem auf die unterschiedliche Anzahl der vorhandenen und erfassten Trennflächen zurückzuführen, welche schließlich in der Gesamtheit den Flächenschwerpunkt definieren. Die durchgängig auffallend größere Datenmenge von MERINGER (1994) liegt vermutlich einmal in der Subjektivität bei der Datenerfassung begründet, aber er hat im Rahmen einer geostatistischen Arbeit vermutlich auch mehrere unterschiedliche Anlegepositionen der Scanlines pro Aufschluss gewählt.

Abweichungen der Schwerpunktsflächen zwischen den eigenen Daten und Shape Matrix können ihre Ursache in einer ungenauen Einmessung der Orientierung der Kalibrierungspunkte für die interne Orientierung des Modells haben. Hier empfiehlt es sich einen Peilkompass zu verwenden und im besten Fall einige Messungen der Orientierung durchzuführen, von welchen dann ein Mittelwert verwendet wird. Weiterhin kann auch hier eine Differenz der Anzahl der vermessenen Trennflächen ein weiterer Grund sein, welche in der Subjektivität begründet ist. Es ist zu erwarten, dass sich die Subjektivität in der Modellauswertung in ähnlicher Weise wie im Gelände fortsetzt.

Der Hauptgrund für Abweichungen der Trennflächenabstände und der daraus resultierenden Frequenzen ist abermals die Subjektivität der messenden Person. Es werden entweder Trennflächen übersehen, was sich wiederum in der Modellauswertung fortsetzen kann oder es werden durch die oftmals längere Betrachtungszeit des Modells am Computer mehr Trennflächen eingezeichnet, als im Gelände vermessen wurden.

Aufgrund ihrer sehr geringen Anzahl können die Rauigkeitsmessungen aus den Modellen nur Tendenzen aufzeigen und stellen keinen fundierten Vergleich zu den Messungen von Hand dar. Es kann jedoch gesagt werden, dass bei Erreichen der notwendigen Auflösung des Stereobildpaares tendenziell reale Rauigkeitswerte ermittelt werden können. Dies ist vor allem für die Trennflächen gegeben, welche aufgrund ausreichend vorhandener korrelierbarer Punkte im Stereobildpaar, im Modell präzise dargestellt werden können.

Für absolut vergleichbare Ergebnisse wird empfohlen ausgewählte Trennflächen separat aufzunehmen um eine optimale Orientierung der Flächen zur Kamera sowie Auflösung zu erhalten.

7 Fazit

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass auch unter nicht optimalen Aufschlussbedingungen, wie oberflächennah leicht aufgelockertem, dünnstiefem Gefüge, in Störungsbereichen und auch bei nicht optimaler Auflösung der Stereofotos aufgrund zu kleiner Bildausschnitte, die Trennflächenabstandsparameter, sowie die räumliche Lage des Gefüges charakteristisch und vergleichbar zu der klassischen Methode des Scanline-Verfahrens mittels Methoden der berührungslosen Messung bestimmbar sind.

Die Vergleichbarkeit ist allerdings von der Qualität der Modelle abhängig. Diese wiederum hängt von der Auflösung der den Modellen zu Grunde liegenden Stereofotos, von der Orientierung des Gefüges zum Kameraobjektiv, aber vor allem von der Güte der Korrelation der Bildpunkte des Stereobildbares als Grundlage für die Modellberechnung ab.

Um innerhalb der genannten Methoden vergleichbare Ergebnisse produzieren zu können, sollte beachtet werden, dass das Scanline-Verfahren zur Dezimierung von Fehlern aufgrund menschlicher Subjektivität im Gelände, nur durch gründliches Arbeiten mit geschulten Augen seinen Zweck erfüllen kann. Fehler bei der Datengewinnung im Gelände setzten sich mit hoher Wahrscheinlichkeit bei der Auswertung der dreidimensionalen Modelle am Computer fort.

Die Aufschlussoberfläche sollte so gut wie möglich von z.B. Pflanzen gereinigt werden da diese in die Berechnung der Modelloberfläche eingehen und diese verzerren und verfälschen können. Beim Einmessen der Orientierung der Kalibrierungspunkte sollte ein Peilkompass benutzt werden um die Genauigkeit zu erhöhen.

Wenn Rauigkeitsbestimmungen durchgeführt werden sollen, sollte darauf geachtet werden Format füllend zu fotografieren, d.h. den Bildausschnitt der Aufschlussfläche so groß wie möglich zu wählen, um eine möglichst hohe Auflösung der Modelloberfläche zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

BERGMAIR, M.; HARER, G.; RIEDMÜLLER, G.; STADLMANN, T. (1996): Die Baugéologie des Galgenbergtunnels. Felsbau, 1996/1, 15-21, VGE Essen

BROWN, E.T. (1981): Rock Characterization, Testing and Monitoring: I.S.R.M.Suggested Methods. 200 p., Oxford (Pergamon Press).

GEOFAST – Prov. Karte: Geol. Bundesanstalt, Wien 2005

GOOGLE (2010), http://maps.google.de/maps?oe=utf-8&rls=org.mozilla:de:official&client=firefox-a&q=leoben&um=1&ie=UTF-8&hq=&hnear=0x4771df0d901f0d55:0xfe63ad4b999d6381,Leoben,+%C3%96sterreich&gl=de&ei=IKvLTa5L6Wg4gTY_Mkv&sa=X&oi=geocode_result&ct=image&resnum=2&ved=0CBoQ8gEwAQ (abgerufen am 02.05.2012)

HUDSON, J.A. & HARRISON, J.P. (1997): Engineering rock mechanics – an introduction to the principles. 456p., Tarrytown, NY (Pergamon).

MERINGER, J.R.G. (1994): Ingenieurgeologische und geostatistische Untersuchungen von Trennflächencharakteristika in unterschiedlichen lithologischen Einheiten. – Dipl. Arb. Karl Franzens Univ. Graz, Technische Univ. Graz. 61S.

PRIEST, S.D. (1993): **Discontinuity analysis for rock engineering.** 473p., London (Chapman & Hall).

WIKIPEDIA (2012): Nikon D70. http://de.wikipedia.org/wiki/Nikon_D70s (abgerufen am 27.05.2012)

3G SOFTWARE & MEASUREMENT GmbH (2009): ShapeMetrix^{3D} – Messung und Bewertung von Gebirgs- und Geländeoberflächen mit metrischen 3D Bildern. Informationsschrift. 14S., www.3gsm.at

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Innerhalb der roten Markierung befindet sich das Untersuchungsgebiet (GOOGLE 2010)..... | 13 |
| Abbildung 2:Geofast - Provisorische Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 - 132 Tro-faiach: Stand 1999, Ausgabe 2005..... | 14 |
| Abbildung 3: Lokationen der Proben für Untersuchung des Gesamtmineralbestandes anhand von Röntgendiffraktometrie und Dünnschliffmikroskopie. Ziegelrot: Gneisprobe, Grün: Grüngesteinsprobe, Blau: Karbonat (GOOGLE 2010)..... | 15 |
| Abbildung 4:Durchlicht mit Polarisator. Mittig undulös auslöschender Quarz, umgeben von Muskovitbändern..... | 16 |
| Abbildung 5: Durchlicht mit Polarisator. Quarz, Feldspat und Epidot..... | 16 |
| Abbildung 6: Durchlicht mit Polarisator. Grünschiefer mit dünnem Band aus Kalzit, Dolomit und vereinzelt Feldspäten umgeben von dunklem Chlorit, buntem Epidot und etwas Muskovit..... | 17 |
| Abbildung 7: Durchlicht mit Polarisator. Duktil verformter Epidot Grünschiefer. | 18 |
| Abbildung 8: Durchlicht. Calcit, Dolomit und mittig im Bild ein Eisenoxidband. | 19 |
| Abbildung 9: Schematische Darstellung verschiedener Trennflächencharakteristika und der Verlauf einer Scanline am Aufschluss (bearbeitet nach HUDSON & HARRISON 1997)..... | 20 |
| Abbildung 10: Schematische Darstellung der Orientierung einer Scanline zu einer Trennflächenschar (blau). In rot ist einmal der scheinbare Trennflächenabstand (AS) und der Trennflächennormalabstand (TS) eingezeichnet..... | 21 |
| Abbildung 11: Typische Rauigkeitsprofile des JRC (nach BROWN 1981)..... | 24 |
| Abbildung 12: Verdeutlichung einer geschlossenen Trennfläche (a), im Gegensatz zu einer geöffneten Trennfläche (b) (verändert nach BROWN 1981)..... | 25 |
| Abbildung 13: Verdeutlichung einer Trennflächenfüllung in einer geöffneten Trennfläche (verändert nach BROWN 1981)..... | 26 |
| Abbildung 14: Mögliche Positionierung der Kalibrierungspunkte auf einem der beiden Bilder des Stereobildpaares. Das Stativ muss senkrecht stehen, die Mittelpunkte der roten Scheiben haben einen exakt definierten Abstand zueinander (gelb). Von einer Position aus, welche sich aus dieser Sicht links neben dem Stativ befindet, wird die grün eingezeichnete Orientierung gemessen. | 28 |
| Abbildung 15: "Prinzip der dreidimensionalen Oberflächenmessung aus einem stereoskopischen Bildpaar. Aus der Orientierung der beiden Bilder zueinander und zwei | |

korrespondierenden Punkten $P(u,v)$ können Sehstrahlen (rot) rekonstruiert werden, die zu einem 3D Messpunkt $P(X;Y,Z)$ führen. Der Vorgang wird für ein dichtes Netz an 3D Messpunkten wiederholt, die zu einem 3D Oberflächenmodell verbunden werden. Durch Überlagerung eines der beiden Ausgangsfotos erhält man ein 3D Bild“. Der Basisabstand und die Kamerapositionen müssen nicht bestimmt werden. (3G SOFTWARE & MEASUREMENT GmbH 2009) 28

Abbildung 16: Beispielhafter Verlauf eines Profils der "Profilfunktion" über die Oberfläche des Aufschlusses "Weg 3" (hellblaue Fläche)..... 30

Abbildung 17: Aufschluss "G Neu". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline. 34

Abbildung 18: Aufschluss "G 4". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline..... 35

Abbildung 19: Aufschluss "G 6": Der Bereich innerhalb des roten Rahmens wurde für die Erstellung des 3D Modells fotografiert. 35

Abbildung 20: Aufschluss "DM Bundesstraße". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline..... 42

Abbildung 21: Der Bereich innerhalb des roten Rahmens wurde für klassisch von Hand mittels Scanline- Verfahren ausgewertet..... 43

Abbildung 22: Aufschluss "Weg 1". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline. 44

Abbildung 23: Aufschluss "Weg 3". 44

Abbildung 24: Aufschluss "GSF Ost". Das Bild zeigt den Verlauf der Scanline..... 53

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Möglichkeit einer Nomenklatur um Trennflächennormalabstände zu beschreiben (nach BROWN 1981)..... | 22 |
| Tabelle 2: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der klassisch vermessenen Aufschlüsse "G Neu" und "G 4" | 36 |
| Tabelle 3: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der klassisch vermessenen Aufschlüsse "G Neu" und "G 4". | 36 |
| Tabelle 4: Globaler Terminationsindex der Aufschlüsse "G Neu" und "G 4"..... | 37 |
| Tabelle 5: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "G Neu", "G 4" und "G 6". | 39 |
| Tabelle 6: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "G Neu", "G 4" und "G 6". | 39 |
| Tabelle 7: Werte des Joint Roughness Coefficient der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "G Neu" und "G 4". Es wurde jeweils an drei verschiedenen Flächen der Trennflächenschar eine Messung durchgeführt. | 41 |
| Tabelle 8: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der klassisch vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3" | 45 |
| Tabelle 9: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der klassisch vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3"..... | 46 |
| Tabelle 10: Globaler Terminationsindex der Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3"..... | 46 |
| Tabelle 11: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1" und "Weg 3"..... | 50 |
| Tabelle 12: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "DM Forstweg", "Weg 1"und "Weg 3"..... | 51 |
| Tabelle 13: Werte des Joint Roughness Coefficient der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "DM Bundesstraße", "Weg 1" und "Weg 3". Es wurde jeweils an drei verschiedenen Flächen der Trennflächenschar eine Messung durchgeführt..... | 52 |
| Tabelle 14: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der klassisch vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West"..... | 54 |
| Tabelle 15: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der klassisch vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West". | 55 |
| Tabelle 16: Globaler Terminationsindex der Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West"..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 17: Orientierungen der Flächenschwerpunkte der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West". | 57 |
| Tabelle 18: Trennflächennormalabstände und Frequenzen der mit Shape Metrix vermessenen Aufschlüsse "GSF Ost" und "GSF West". | 58 |
| Tabelle 19: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "DM Bundesstraße". | 60 |
| Tabelle 20: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "DM Bundesstraße". | 60 |
| Tabelle 21: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "DM Bundesstraße". | 61 |
| Tabelle 22: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "DM Bundesstraße". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Kluftschar jeweils eine Messung durchgeführt. | 61 |
| Tabelle 23: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "DM Forstweg". | 61 |
| Tabelle 24: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "DM Forstweg". | 62 |
| Tabelle 25: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "Weg 1". | 62 |
| Tabelle 26: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "Weg 1". | 63 |
| Tabelle 27: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "Weg 1". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Kluftschar jeweils eine Messung durchgeführt. | 63 |
| Tabelle 28: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "Weg 3". | 64 |
| Tabelle 29: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "Weg 3". | 64 |
| Tabelle 30: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "Weg 3". | 64 |
| Tabelle 31: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Schieferung und der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "Weg 3". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen von Kluftschar und Schieferung jeweils eine Messung durchgeführt. | 65 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 32: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "G Neu". | 65 |
| Tabelle 33: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Schieferung des Aufschlusses "G Neu". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Schieferung jeweils eine Messung durchgeführt. | 66 |
| Tabelle 34: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "G 4". | 66 |
| Tabelle 35: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "G 4". | 67 |
| Tabelle 36: Mit Shape Metrix ermittelte Werte des Joint Roughness Coefficient der Schieferung und der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "G 4". Es wurde an drei verschiedenen Trennflächen der Kluftschar und der Schieferung jeweils eine Messung durchgeführt. | 67 |
| Tabelle 37: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "G 6". | 68 |
| Tabelle 38: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "G 6". | 68 |
| Tabelle 39: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "GSF Ost". | 69 |
| Tabelle 40: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "GSF Ost". | 69 |
| Tabelle 41: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "GSF Ost". | 70 |
| Tabelle 42: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Schieferung des Aufschlusses "GSF West". | 70 |
| Tabelle 43: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K1" des Aufschlusses "GSF West". | 71 |
| Tabelle 44: Gegenüberstellung der Trennflächenabstandsparameter und Schwerpunktsflächen der Kluftschar "K2" des Aufschlusses "GSF West". | 71 |
| | |
| Histogramm 1: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "G Neu". | 37 |
| Histogramm 2: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "G 4". | 38 |
| Histogramm 3: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "DM Bundesstraße". | 47 |

| | |
|---|----|
| Histogramm 4: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "DM Forstweg". | 48 |
| Histogramm 5: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "Weg 1". | 48 |
| Histogramm 6: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "Weg 3". | 49 |
| Histogramm 7: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "GSF Ost"..... | 56 |
| Histogramm 8: Globaler Joint Roughness Coefficient des Aufschlusses "GSF West". | 56 |