



Carina Molterer, BSc

Ingenieurgeologische Methoden zur Erfassung und Beurteilung von Klufkörper

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium Erdwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Graz

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dr. Qian Liu

Technische Universität Graz

Institut für Angewandte Geowissenschaften

Graz am 15.12.2015

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Graz, am

Carina Molterer

DANKSAGUNG

Zuerst möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Master- Arbeit motiviert und unterstützt haben.

Mein größter Dank gilt Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr. Qian Liu, für die ausgiebige Betreuung meiner Masterarbeit. Egal um was es sich handelte, er nahm sich immer Zeit, um meine Fragen und Probleme ausführlich zu erläutern. Durch kritisches Hinterfragen bekam ich stets wertvolle Hinweise und konstruktive Kritik, die einen großen Teil zur Vollendung dieser Arbeit beigetragen haben. Vielen Dank für die Geduld und Mühen.

Ein weiterer Dank richtet sich an Herrn Mag.rer.nat. Peter Schreiber für die Installation von Computerprogrammen und die Hilfe bei Internet und Softwareproblemen.

Ich möchte mich auch bei Frau Pendl im Sekretariat bedanken, die mir stets bei studententechnischen Fragen und Problemen weiter half.

Ein großes Dankeschön geht an Georg und meiner Schwester Sabine, die sich zahlreiche Stunden Zeit nahmen um die Arbeit Korrektur zu lesen. Dadurch wurde ich auf Schwächen hingewiesen und konnte von Fachfremden erfahren, wo noch Erklärungsbedarf bestand.

Nicht zuletzt gebührt ein großer Dank meinen Eltern, die mich nicht nur in der Schulzeit, sondern auch während des Studiums unterstützen und so die dieses ganze Unternehmen ohne sie schon im Vorhinein gescheitert wäre.

KURZFASSUNG

Im Zuge dieser Arbeit wurden mittels Photogrammetrie zwei Aufschlüsse aufgenommen und ein weiterer zur Veranschaulichung des Problems betrachtet. Bei den Aufschlüssen für die Photogrammetrie, handelt es sich um einen Kristallin Aufschluss in Marhof nahe Stainz, und einen Karbonat Aufschluss am Kalvarienberg in Graz. Diese Daten werden mit der Software ShapemetriX3D bearbeitet. Durch die Auswertung mittels Computerprogramm wurde ein 3D Kluft Modell erstellt. Als Ergebnis, erhält man ein 3D Bild mit allen Trennflächenorientierungsdaten, Häufigkeiten und Größe der Trennflächen. Danach wird für Aufschluss 1 (Marhof) das Blockvolumen und der GSI mit EXCEL berechnet. Da es sich in Aufschluss 3 (Kalvarienberg) um irreguläre Kluftkörper handelt, muss für die Berechnung der Blockgröße und Präsentation der Blöcke in 3D die Blocktheorie und verschiedenen DOS Programmen angewendet werden. Diese Arbeit stellt eine moderne Methodik für die Begutachtung und Erfassung von Kluftkörper dar, um mittels 3D Bild in Kombination mit der Blocktheorie aussagekräftige Daten ermitteln zu können.

ABSTRACT

In the course of this assignment two outcrops were recorded by means of photogrammetry and another considered to illustrate the problem. The first outcrop of the photogrammetry is a crystalline outcrop in Marhof near Stainz, the second a carbonate outcrop at Kalvarienberg in Graz. These data were processed with the software ShapemetriX3D. By analysis using a computer program, a 3D fracture model was created. The result is a 3D image with all the joint orientation data, frequency and size of discontinuities. Thereafter, the block volume and Geological Strength Index is calculated using EXCEL for outcrop 1 (Marhof). Due to the fact that outcrop 3 (Kalvarienberg) consists of irregular rock mass, Block theory and various DOS programs are applied for calculating the block size and present the blocks in 3D. This work represents a modern methodology for the assessment and collection of jointed rock body by using 3D image in combination with the block theory to identify meaningful data.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Problemstellung und Zielsetzung	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Das Ziel dieser Arbeit.....	3
2. Methodische Entwicklung zur Bestimmung der Gebirgsqualität.....	6
2.1. Rock Mass Rating RMR.....	6
2.2. Rock Mass Quality Q-System	7
2.3. Rock Mass Index RMI	8
2.4. Geological Strength Index GSI.....	9
2.5. Methoden zur Erfassung von Trennflächen	12
2.5.1. Trennflächen im Allgemeinen	12
2.5.2. Trennflächenarten und die Anzahl der Scharen	13
2.5.3. Orientierung.....	13
2.5.4. Abstände und Häufigkeiten der Trennflächen	20
2.5.4.1. Abstand	20
2.5.4.2. Trennflächen Häufigkeit.....	22
2.5.5. Trennflächenerstreckung.....	23
2.5.6. Trennflächen Rauigkeit.....	25
2.5.7. Verwitterung und Festigkeit der Trennflächen Oberflächen.....	27
2.5.8. Trennflächen Öffnungsweite.....	29
2.5.9. Trennflächen Füllung.....	30
2.5.10. Wasserführung, Durchsickerung	30

3. Arbeitsgebiete	31
3.1. Aufschluss 1 Marhof.....	31
3.1.1. Geographische Lage	31
3.1.2. Geologie	32
3.2. Aufschluss 2 Plabutsch.....	33
3.2.1. Geographische Lage	33
3.2.2. Geologie	33
3.3. Aufschluss 3 Kalvarienberg.....	35
3.3.1. Geographische Lage	35
3.3.2. Geologie	35
3.4. Steinöfen und deren geologische Charakterisierung	37
4. Moderne Methoden für die Erfassung von Trennflächen	40
4.1. Fernerkundung und dessen Anforderung in der Geologie	40
4.2. Photogrammetrie im speziellen Daten Erfassung durch ShapeMetriX..	43
4.2.1. Datenerfassung	43
4.2.2. Aufnahme im Gelände.....	44
4.2.2.1. DatenAuswertung	48
4.2.2.2. ShapeMetriX Auswertung.....	48
4.2.2.3. Probleme die sich im Laufe dieser Arbeit ergaben	56
4.3. Block Theorie	57
4.3.1. Theorie	57
4.3.2. Vorgehensweise	60
4.3.2.1. Bestimmung der Blocktypen	60
4.3.2.2. Identifizierung instabiler Blöcke und Bestimmung der JP und EP Codes.....	62
4.3.2.3. Berechnung des Volumens	63
4.4. Regelmässigkeitsbedingte Bestimmung von Klufkörper	64

5. Ergebnisse	68
5.1. Aufschlussfotos und ShapeMetriX 3D Auswertung und Orientierungsmodell.....	68
5.1.1. Fotos, 3D Modell und Orientierung Marhof (Aufschluss 1)	69
5.1.2. Aufschlussfotos Plabutsch (Aufschluss 2).....	79
5.1.3. Fotos, 3D Modell und Orientierung Kalvarienberg (Aufschluss 3) ..	80
5.2. Messwerte der Orientierungen für Aufschluss 1 und 3.....	86
5.3. Trennflächen Spur Aufschluss 1	89
5.4. Blockvolumen.....	90
5.5. Geological Strength Index.....	96
5.6. Ortsbezogene Trennflächengeometrie und irreguläre Klufkörper	98
6. Fazit	102
7. Literaturverzeichnis	103
8. Abbildungs-und Tabellenverzeichnis	108
9. Anhang	113

1. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

1.1. PROBLEMSTELLUNG

Um die Gefahr von Rutschungen und Felsversagen zu ermitteln, gibt es verschiedene Möglichkeiten. In dieser Arbeit werden diverse ingenieurgeologische Methoden zur Begutachtung von Klufkörper angewendet, um dadurch die bestmögliche Datenerfassung für eine aussagekräftige ingenieurgeologische Beurteilung eines Gebirges zu erlangen. Zu berücksichtigen ist, dass bei geotechnischen Aktivitäten das Gebirgsverhalten direkt mit den Klufkörperarten verbunden ist.

"WE ARE NOW FACED WITH SEVERE DATA LIMITATIONS IN OUR ANALYSES OF ROCK ENGINEERING PROBLEMS" [HOEK, 1994].

Aus dem oben genannten Zitat geht deutlich die Notwendigkeit einer besseren Qualität der Eingangsdaten für die Gesteinsmechanik hervor. Diese Arbeit, in der mit modernsten wissenschaftlichen Auswertungsmethoden gearbeitet wird, soll eine Möglichkeit für das Einschätzen von Gebirgsverhalten veranschaulichen. Ein Ziel ist, mehrere Methoden der Ingenieurgeologie miteinander zu vergleichen und deren Vor- und Nachteile zu klassifizieren.

Die dreidimensionale Blockgröße ist eine der wichtigsten Eingabeparameter für ingenieurgeologisches Design. Deshalb ist es so wichtig, die richtige Methode für die Auswertung zu wählen.

Die Blockgröße ist ein Term für:

- Den Zerklüftungsgrad
- Klufdichte
- Klufabstand
- Räumliche Ausdehnung der Klüfte
- Anzahl der Klufscharen

Methoden wie RMR (Bieniawski 1988), Q-System (NGI 2013), RMI (Palmström 1995), GSI (Hoek 1994) sind bekannte Verfahren, die schon seit längerer Zeit angewendet werden. Zu erwähnen ist, dass nur das GSI (Hoek 1994) und der RMI (Palmström 1995) auf die Blockgröße eingehen. Q-System (NGI 2013) und RMR

(Bieniawski 1989) sind Methoden, die mit dem Durchschnitt arbeiten und nicht auf das eigentliche Problem eingehen. Zuverlässige Schätzungen der Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Gesteinsmassen sind zwingend erforderlich.

Hoek und Brown (1980a, 1980b) erschufen ein Verfahren zur Abschätzung der Stärke von zerklüfteten Gesteinsmassen, basierend auf einer Beurteilung und Einschätzung zerklüfteter Blöcke und dem Zustand der Oberfläche zwischen den Blöcken. Im Laufe der Jahre wurde diese Methode mehrmals modifiziert, um den Bedürfnissen der Nutzer gerecht zu werden. Das ursprüngliche Kriterium wurde von Hoek (1983) und Hoek und Brown (1988) entwickelt. Weitere Änderungen fanden von Hoek, Wood und Shah (1992) statt, bis schlussendlich 1994 der Geological Strength Index entwickelt wurde. Dadurch, dass der Geological Strength Index in der Praxis häufig eingesetzt wird, und schnell eine grobe Einschätzung des Gebirges möglich ist, ist er immer noch von großer Bedeutung.

Im Betonbau können gewünschte Eigenschaften im Labor erzielt werden, im Gegensatz dazu, wird in der Geologie mit natürlich entstandenem Gestein gearbeitet, welches viele verschiedene Eigenschaften hat. Diese können sich nur wenige Meter hinter einem Aufschluss stark verändern, daher sind in der Geologie viele Aussagen mit Unsicherheiten verbunden.

In der Ingenieurgeologie gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten Kluftscharen anzutreffen.

1. Es sind ingenieurgeologische Bedingungen, bei denen klar ausgeprägte Kluftscharen auftreten (Vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2).
2. Es gibt auch Situationen, in denen die Kluftscharen nicht deutlich identifizierbar sind (Vgl. Abbildung 3 und Abbildung 4).

Die Daten für Fall 1 wurden westlich von Marhof aufgenommen. Mit dieser Arbeit wird versucht, eine Alternative zur normalen Geländearbeit darzustellen, da es oft aufgrund der Unzugänglichkeit nicht möglich ist, die Messungen vor Ort am Aufschluss zu tätigen. Mit den ermittelten Daten, ist eine präzise Bestimmung der Trennflächeneigenschaften möglich, ohne sich in einem Gefahrenbereich aufzuhalten. Weiters kann aus den gewonnenen Daten das Blockvolumen und die Gesteinsfestigkeit bestimmt werden.

Die Daten für Fall 2 wurden am Kalvarienberg in Graz aufgenommen. Bei diesen wurde ebenso ein 3D Modell erstellt um anschließend das Blockvolumen mit der Blocktheorie nach Goodman und Shi (1985) zu berechnen.

1.2. DAS ZIEL DIESER ARBEIT

Das Ziel ist, Kluftkörpergröße und Kluftkörperform für die Beurteilung von Festigkeitseigenschaften, Verformungseigenschaften und Stabilität eines Gebirges zuverlässig einzuschätzen, allerdings angepasst nach der Gesamtheit der Trennflächen in einem Gebirge. Deshalb wurden 2 verschiedene Methoden für die Einschätzung des Volumens gewählt.

Dafür wird mittels Fernerkundung ein 3D Modell erstellt. Diese Technik lässt sich auch bei unzugänglichen Aufschlüssen verwenden. Mit Hilfe des erstellten Modells ist es möglich eine digitale ingenieurgeologische Kartierung durchzuführen, um mit den gewonnenen Daten das Blockvolumen zu berechnen. Das Volumen ist eine Grundlage für die Berechnung des GSI nach Hoek, Wood und Shah (1992). Für irreguläre Kluftkörper wird mittels Blocktheorie ein zuverlässiges Blockvolumen errechnet.

Auf Basis von dieser Arbeit sind die Einschätzungen der mechanischen Eigenschaften von Gesteinen möglich.



ABBILDUNG 1 REGELMÄßIGE KLUFTSCHAREN MARHOF 2015



ABBILDUNG 2 REGELMÄßIGE KLUFTSCHAREN, A. PALMSTRÖM BLOCK SIZE AND SHAPE, 2005



ABBILDUNG 3 UNREGELMÄBIGE KLUFTSCHAREN SCHWER ZU BESTIMMEN, A. PALMSTRÖM BLOCK SIZE AND SHAPE 2005



ABBILDUNG 4 GRAZ KALVARIENBERG, LIU 2005

2. METHODISCHE ENTWICKLUNG ZUR BESTIMMUNG DER GEBIRGSQUALITÄT

Für die Bestimmung der Gebirgsqualität können verschiedene Parameter angewendet werden. In diesem Kapitel werden die Wichtigsten davon vorgestellt.

2.1. ROCK MASS RATING RMR

Der RMR-Wert wurde von Z. T. Bieniawski (1988) entwickelt. Da durch den RMR-Wert nicht alle Fragen beantwortet werden können werden auch die anderen bereits erwähnten Methoden verwendet.

Diese 6 Parameter sind für die Klassifizierung nötig (Bieniawski 1989):

1. Gesteinsfestigkeit angegeben durch einaxiale Druckfestigkeit ("UCS -Uniaxial Compressive Strength") oder als Punktlastindex ("Point Load Strength Index")
2. RQD-Wert ("Rock quality designation")
3. Abstand der Klüfte
4. Zustand der Klüfte
5. Gebirgswasserbedingungen
6. Orientierung der Klüfte

Jedem der sechs Parameter wird ein Wert zugeordnet, der den Gebirgseigenschaften entspricht. Aus den sechs Parametern wird eine Summe gebildet. Die Summe ist der RMR-Wert, der zwischen 0 und 100 liegt (Bieniawski 1988).

Klassifikationstabelle:

Die Gebirgsgüte wird nach dem RMR-Wert in eine von fünf Stufen (sehr gut bis sehr schlecht) eingeteilt (vgl. Tabelle 1).

RMR	Gebirgsqualität
<20	Sehr schlecht
21–40	schlecht
41–60	mäßig
61–80	gut
81–100	Sehr gut

TABELLE 1 RMR NACH (BIENIAWSKI 1989)

Der RMR-Wert gilt immer für einen Gebirgsbereich mit mehr oder weniger gleichmäßigen Eigenschaften. Deshalb muss das Gebirge in solche Bereiche aufgeteilt werden. Die Grenzen solcher Bereiche können z.B. Störungen sein (Bieniawski 1989).

2.2. ROCK MASS QUALITY Q-SYSTEM

Das Q-System wurde vom Norwegischen Geotechnischen Institut (NGI) entwickelt. Hierbei handelt es sich um eine Klassifizierung für Gesteinsmassen (vgl. Tabelle 2), mit Bezug auf die Stabilität von Öffnungen in harten zerklüfteten Gesteinen (NGI 2013).

Für die Berechnung werden laut NGI (2013) sechs Parameter benötigt:

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. RQD | "Rock Quality Designation Index" |
| 2. J_n = Anzahl der Scharen | "Number of joint sets" |
| 3. J_r = Kluftrauigkeitsnummer | "Joint roughness number" |
| 4. J_a = Kluftverwitterungsnummer | "Joint alteration number" |
| 5. J_w = Kluftwasser reduktions Nummer | "Joint water reduction factor" |
| 6. SRF= Stressreduktionsfaktor | "Stress Reduction factor" |

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (\text{NGI 2013})$$

Q	Group	Classification
(NGI 2013)0.001-0.01		Exceptionally poor
0.01-0.1	3	Extremely poor
0.1-1		Very poor
1-4	2	Poor
4-10		Fair
10-40		Good
40-100	1	Very good
100-400		Extremely good
400-1000		Exceptionally good

TABELLE 2 ROCK MASS QUALITY SYSTEM NACH (NGI 2013)

2.3. ROCK MASS INDEX RMI

Der "Rock Mass Index" wurde vom Norweger Arild Palmström, im Zuge seiner Dissertation entwickelt.

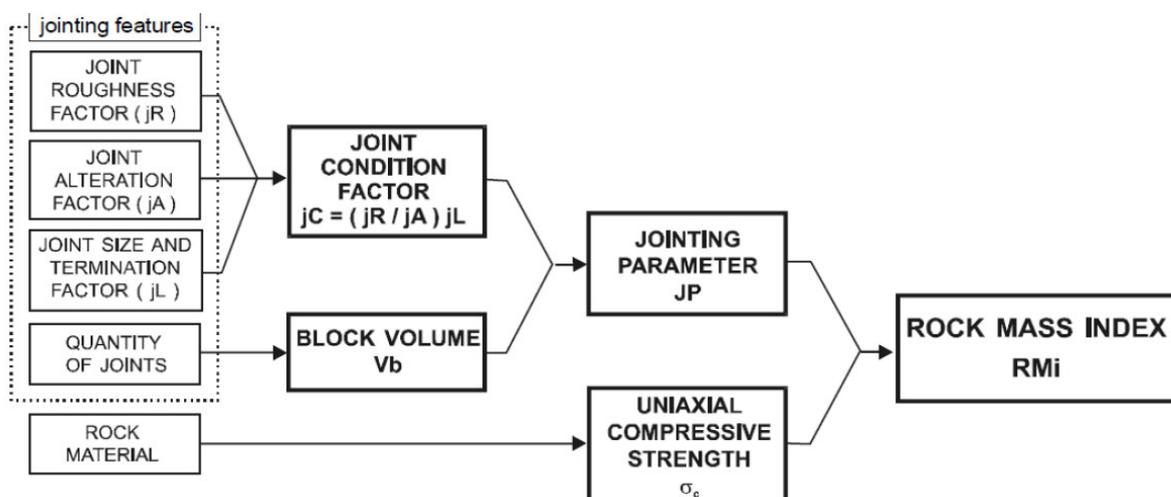
Das Auftreten von Diskontinuitäten im Gebirge, welche dazu neigen ihre Festigkeit zu reduzieren werden im Rock Mass Index dargestellt und in verschiedene Klassen eingeteilt (vgl. Tabelle 3) (Palmström 1995).

$$\mathbf{RMI} = \sigma_c \cdot J_p$$

σ_c = Uniaxial compressive Strength

J_p = der "jointing parameter", besteht aus der Blockgröße (VB) und der Oberflächenkondition von Trennflächen (JC „Joint condition factor“).

Beim RMI werden verschiedene Eingabeparameter benötigt (vgl. das Diagramm von Palmström unten). Aus den drei Parametern: Kluft Rauigkeit "Joint Roughness", Kluft Verwitterung "Joint Alteration", Kluft Größe "Joint size" und der Termination lässt sich die Oberflächenkondition der Trennflächen "Joint condition Factor" ermitteln. Die Dichte der Klüfte ergibt das Block Volumen. Der "Jointing Parameter" wird aus der Oberflächenkondition von Trennflächen und dem Block Volumen ermittelt. Mit den genommenen Gesteinsproben "Rock Material" lässt sich die einaxiale Druckfestigkeit "Uniaxiale compressive strength" berechnen. Durch die Multiplikation der letzten zwei Parameter ergibt sich der Rock Mass Index (Palmström 1995).



PALMSTRÖMS DIAGRAMM FÜR ROCK MASS INDEX (1995)

RMI Value	Term for rock mass strength	Term for RMI
< 0.001	Extremely weak	Extremely low
0.001-0.01	Very weak	Very low
0.01-0.1	Weak	Low
0.1-1	Moderately strong	Moderately high
1-10	Strong	High
10-100	Very strong	Very high
>100	Extremely strong	Extremely high

TABELLE 3 ROCK MASS INDEX BESTIMMUNGS TABELLE NACH (PALMSTRÖM 1995)

2.4. GEOLOGICAL STRENGTH INDEX GSI

Das GSI-System ist auf praktischen Erfahrungen und Geländeobservationen entstanden. Es basiert auf einer geologischen Beschreibung von der Klufkörpergröße und den Block Oberflächen Konditionen und wird in der Praxis überall eingesetzt (Hoek 1983).

Gelological Strength Index (GSI) Entwicklung

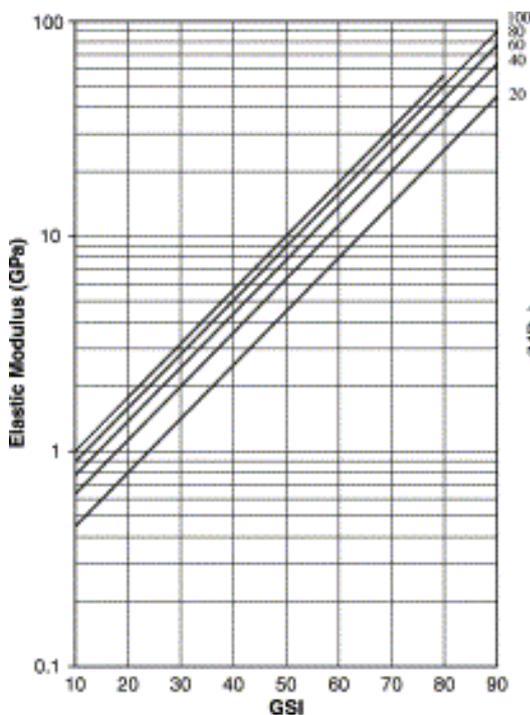
Hoek und Brown haben festgestellt, dass die "rock-mass failure criterion" keinen praktischen Bezug zu den Beobachtungen im Gelände haben. Wegen dieser Bemerkung haben sie während der Entwicklung des Kriteriums in den 1970er Jahren versucht ein einfaches System zu entwickeln, welches während der Geländeobservation leicht angewendet werden kann. Durch einige Schwierigkeiten wurde die Idee aber verworfen und mit dem bereits vorhandenen RMR-System weiter gearbeitet. Das neue System GSI wurde in Toronto mit dem geologischen Input von David Wood entwickelt (Hoek E, Wood D, Shah S 1992). Weiter entwickelt wurde dieses System von Hoek (1994), Hoek E, Wood D, Shah S (1992) Hoek und Braun (1997), aber es war bis zu dem Zeitpunkt nur für "hard rock" Systeme ähnlich dem RMR anwendbar. 1998 wurde dieses System erweitert und auch für schlechtere Gesteinsmassen einsetzbar (Hoek E, Marions P, Benissi M 1998).

Berechnung des GSI:

Um den Wert, für den für den Geological Strength Index zu ermitteln gibt, es 2 verschiedene Möglichkeiten. Einerseits kann eine Einschätzung mittels Tabelle 4 erfolgen. Dafür muss die Blockgröße in "Massive, Blocky, Very Blocky, Blocky disturbed, Disintegrated, Foliated/ laminated/ sheared" unterschieden werden und der "Joint oder Block Wall Condition" geschätzt werden. Andererseits kann der GSI mittels Block Volumen (V_b) und dem "Joint condition factor (J_c)" mittels folgender Formel berechnet werden (Cai et.al 2004).

$$GSI = \frac{26.5 + 8.79 \ln J_c + 0.9 \ln V_b}{1 + 0.0151 \ln J_c - 0.0253 \ln V_b} \quad (\text{Cai et.al 2004})$$

Weiters kann mit dem GSI der Deformation Modulus (Hoek et.al. 2002) (vgl. Abbildung 5) (Cai et.al 2004) errechnet werden.



$$E = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \text{ GPa}$$

D = rock mass damage factor
 $D=0$ for undisturbed insitu rock masses
 $D=0$ for very disturbed rock masses
 (Hoek et.al. 2002)

ABBILDUNG 5 DEFORMATIONSMODULUS NACH (CAI ET.AL 2004)

Mit den nachstehenden Formeln (Cai et.al 2004) kann die Gesteinsfestigkeit berechnet werden.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{Gsi-100}{9-3D}\right) \quad a = 0.5 + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Joint or Block Wall Condition

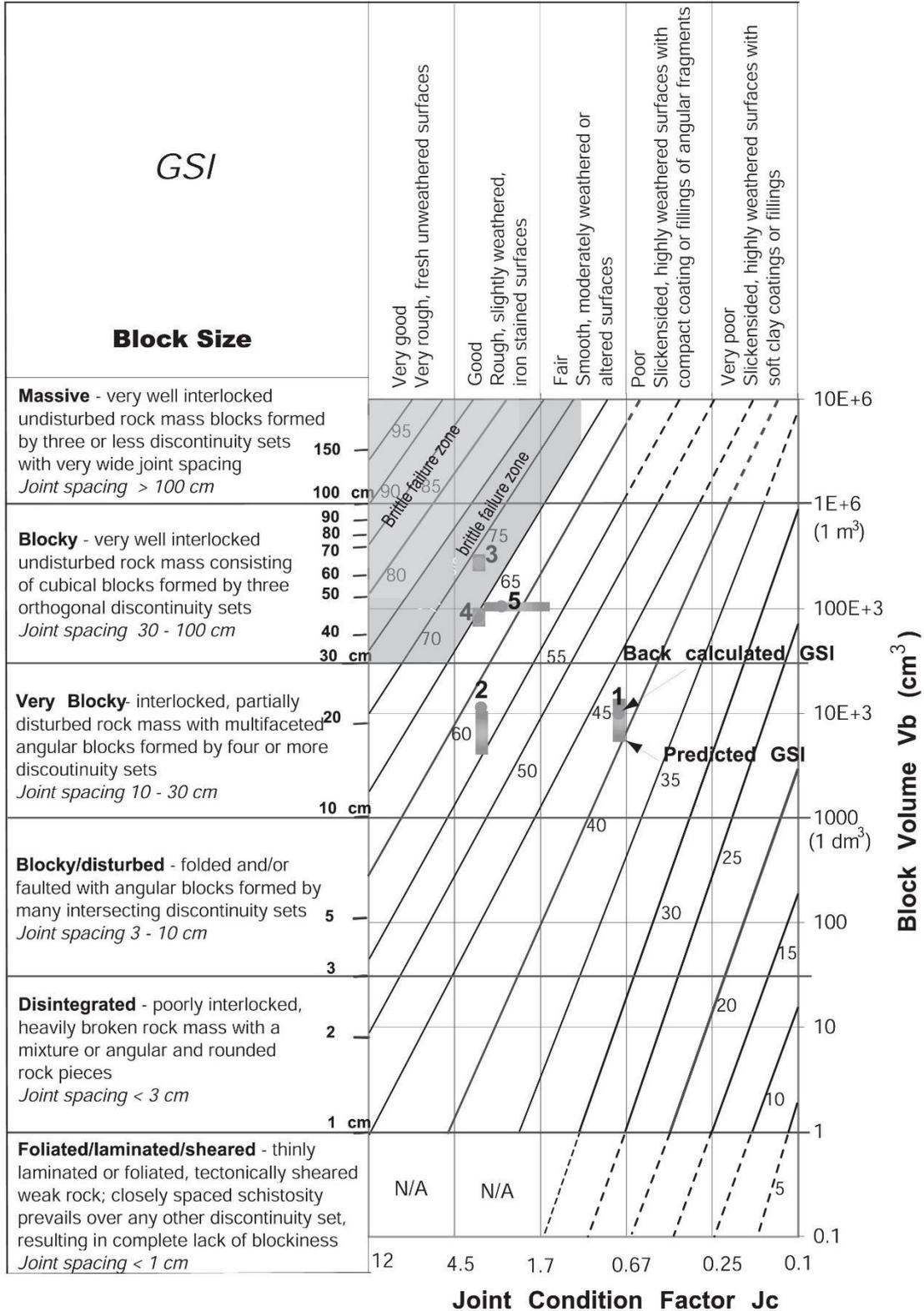


TABELLE 4 GSI (CAI ET.AL 2004)

2.5. METHODEN ZUR ERFASSUNG VON TRENNFLÄCHEN

2.5.1. TRENNFLÄCHEN IM ALLGEMEINEN

Als Trennflächen werden in der Ingenieurgeologie jene Flächen bezeichnet, die den Gesteinskörper unterbrechen, also Diskontinuitäten sind. Als Trennflächengefüge wird die Gesamtheit der Trennflächen bezeichnet. Als Trennflächenschar wird eine Gruppe mit mehr oder weniger gleicher Orientierung bezeichnet. In Tabelle 6 werden verschiedene Trennflächenarten genauer beschrieben

([https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfläche_\(Geologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfläche_(Geologie)) 2014).

Die "International Society for Rock Mechanics (ISRM)" hat eine Empfehlung für die Beschreibung der Trennflächen erstellt. Dabei wird nach der Art der Trennflächenschar in 10 Kategorien unterschieden (siehe Tabelle 5).

	Kategorie für die Beschreibung von Trennflächen in Fels	Term for description of discontinuities in rock masses
1	Art der Trennfläche & Anzahl der Trennflächenscharen	type of discontinuity & number of discontinuity sets
2	Orientierung	discontinuity orientation
3	Abstände der Trennflächen	discontinuity spacing
4	Trennflächen Erstreckung	discontinuity persistence
5	Trennflächen Rauigkeit	discontinuity roughness
6	Verwitterung/ Festigkeit der Trennflächen Oberflächen	wall strength
7	Trennflächen Öffnungsweite	discontinuity aperture
8	Trennflächen Füllung	discontinuity filling
9	Wasserführung/ Durchsickerung	seepage
10	Kluftkörpergröße	block size

TABELLE 5 KATEGORIEN FÜR DIE BESCHREIBUNG VON TRENNFLÄCHEN NACH EMPFEHLUNG ISRM (1978)

2.5.2. TRENNFLÄCHENARTEN UND DIE ANZAHL DER SCHAREN

Trennflächen können in Klufflächen, Schichtflächen, Störungsflächen, Schieferungsflächen, Harnischflächen eingeteilt werden.

Die Gebirgsform wird durch die Anzahl der Trennflächenscharen in einem Gebirge geprägt. Ein Block entsteht, wenn sich mindestens 3 Trennflächenscharen kreuzen (Eichler 2000).

Trennflächenart	Diskontinuität	Symbol	Kennzeichen	Entstehung
Kluft Flächen	Kluft	K	ohne Dislokation	Tektonik, Schollenbewegung, Druck- Spannungs- und Temperaturunterschiede
Störungsflächen	Störung	S _t	mit Dislokation	Tektonik
Schichtflächen	Schichtung	S _s	meist parallel	Sedimentation
Schieferungsflächen	Schieferung	S _f	parallel, engständig	Tektonik, Metamorphose

TABELLE 6 EINTEILUNG DER TRENNFLÄCHEN MIT DEREN EIGENSCHAFTEN
([HTTPS://DE.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/TRENNFLÄCHE_\(GEOLOGIE\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfläche_(Geologie)) 2014)

2.5.3. ORIENTIERUNG

Die Orientierung ist neben der Ausbildung des Trennflächengefüges, oft von sehr großer Bedeutung, für Felsmassen in Hohlräumen. Anhand Tabelle 7 werden eine Reihe von verschiedenen Möglichkeiten, der Orientierung in einem Gebirge dargestellt (Eichler 2000).

TRENNFLÄCHENBEDINGTE KINEMATISCHE VERSAGENSTYPEN

Damit eine Hangbewegung möglich ist, müssen zwei verschiedene Bedingungen eingehalten werden.

1. Ein Trigger muss das Gleichgewicht von den Kräften stören.
2. Ein Bewegungsmechanismus muss sich bilden können.

Der Begriff Erdbeben beinhaltet viele Arten von Massenbewegungen. Genauer wird auf die Bewegungsmechanismen Gleiten, Kippen und Keilversagen eingegangen.

GLEITEN: Das Gleiten ist eine Hangbewegung, die mechanisch am einfachsten zu beschreiben ist. Um ein mechanisches Gleiten zu ermöglichen, muss eine Gleitfläche vorhanden sein. Geklüftete Gebirge haben meist Trennflächen, die als Gleitflächen fungieren. Zum Beispiel: eine Klüftfläche, Schieferungsfläche oder eine Störung (Genske 2006, 2014).

EBENES GLEITEN:

Ebenes Gleiten zählt zu den häufigsten Formen von Massenbewegungen. Sehr oft dienen bei dieser Art Schieferungsflächen als Gleitflächen. Meist findet diese Bewegung sehr rasch statt (Genske 2006, 2014). In Abbildung 6 b (USGS 2004) ist eine Skizze von ebenen Gleiten dargestellt.

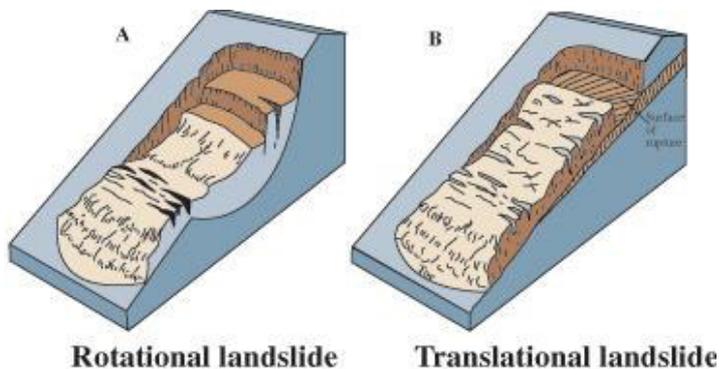


ABBILDUNG 6 KINEMATISCHE VERSAGEN: GLEITEN (USGS 2004)

ROTIEREN:

Der Gleitkörper rutscht bei einer Rotation auf einer nahezu kreisförmigen Fläche aus dem Hang. Typisch ist diese Form für Böden. Diese Versagensform kann jedoch auch im Gebirge auftreten. Gleich wie beim Gleiten, versagt die Böschung schnell und ohne Ankündigung. Das Ausmaß der Rutschung kann auf kleine Teilbereiche der Böschung beschränkt sein, oder auch den ganzen Hang betreffen (Genske 2006, 2014). In Abbildung 6 a (Kieffer 2014) und in Abbildung 7 (Kieffer 2014) ist ein rotierter Erdrutsch dargestellt. Weiters sind in Abbildung 7 (Kieffer 2014) die Hauptnormalspannungen σ_1 , σ_2 , σ_3 dargestellt.

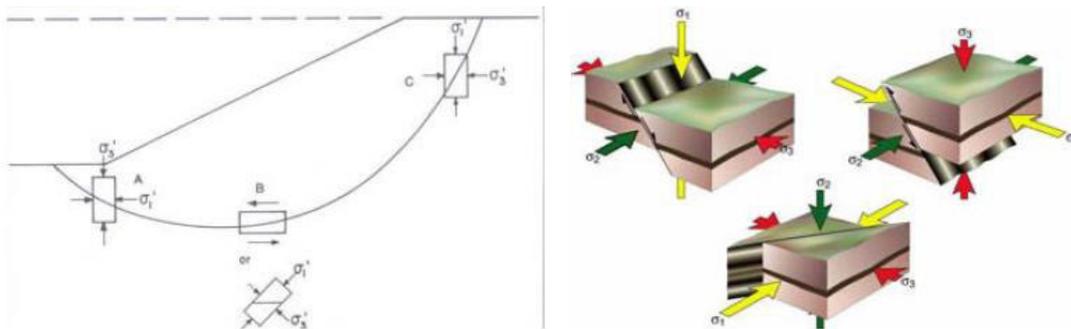


ABBILDUNG 7 ROTIERTE MASSENBEWEGUNG MIT HAUPTNORMALSPANNUNGEN (KIEFFER 2014)

KIPPEN:

Das Herauskippen steil stehender Gebirgsbänke, wird durch das rotieren von Kluffkörper rund um eine Kippachse (hangabwärts) verursacht. Ein Dominoeffekt setzt ein, sobald ein Kluffkörper aus einer Böschung heraus gekippt ist. Das Kippen von Blöcken wird oft erst dann ermöglicht, wenn am Fußteil Blöcke die für die Stabilität sorgen, abgerutscht sind. So kommt es oft zu mehreren Versagensmechanismen in einem Bereich (Genske 2006, 2014). In Abbildung 8 (Kieffer 2014), werden verschiedene Arten von Kippen veranschaulicht, in (a.) - (c.) sind unterschiedliche Auswirkung von nach vorne gekippten Bankungen dargestellt. Während in Bild (a.) ganze Bankungsschichten herauskippen, kippen in Bild (c.) nur einzelne Blöcke.

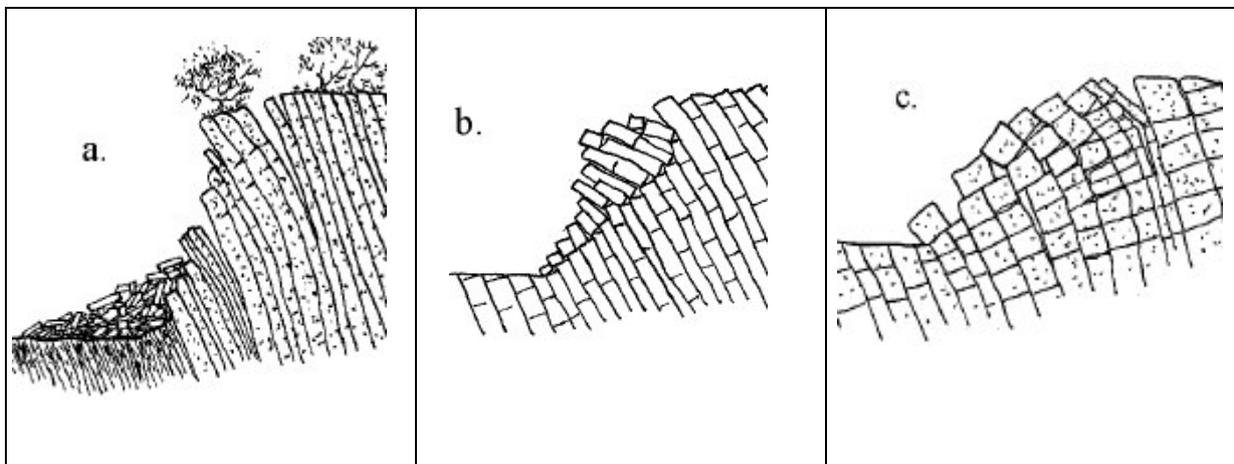


ABBILDUNG 8 VERSCHIEDENE ARTEN VON KIPPEN (KIEFFER 2014)

KEILVERSAGEN

Um ein Keilversagen zu verursachen, werden 2 Gleitflächen benötigt. Die Gleitrichtung findet entlang der Verschneidungslinie dieser 2 Flächen statt. In Abbildung 9 a und b (Kieffer 2014) wird ein Keilversagen und die Verschneidungslinie (strichliert) dargestellt.

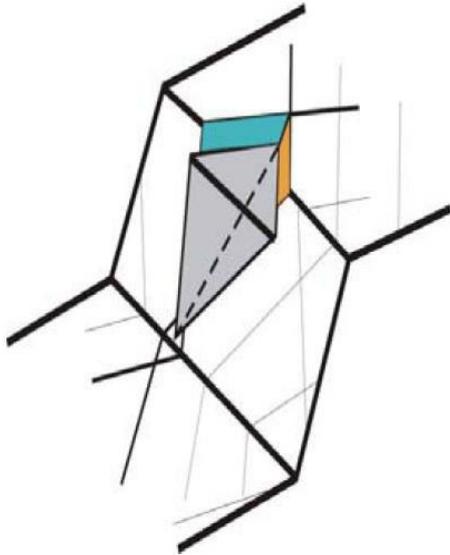


ABBILDUNG 9 KEILVERSAGEN. A DAS MODELL, B EIN PRAKTISCHES BEISPIEL (KIEFFER, 2014)

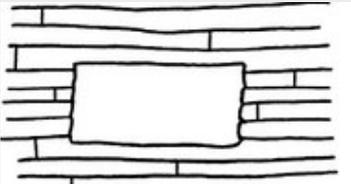
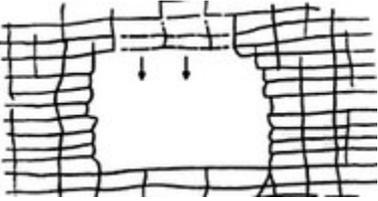
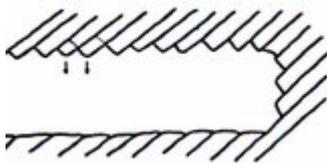
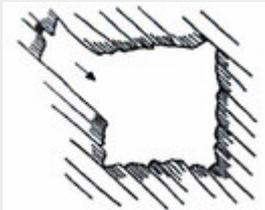
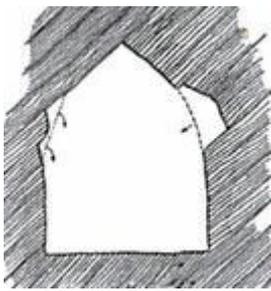
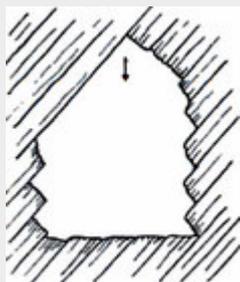
Nach (Stini 1950)	Schnitte durch einen Hohlraum im Gebirge zur Veranschaulichung der Trennflächen
	Sargdeckelbildung (Pfeile) bei stärker geklüfteten Bänken die Flach zur Ortsbrust einfallen
	dünnbankige schichten, Kluftabstand kleiner als die Stollenbreite, Firstnachbrüche möglich
	Sargdeckelbildung (Pfeile) bei stärker geklüfteten Bänken die flach zur Ortsbrust einfallen
	Die Nachbrückigkeit von Schichten, die steil zur Arbeitsbrust einfallen, nimmt mit dem Einfallswinkel ab
	Eingleiten von Schieferplatten (z.B.: Quarzphillit)
	Ablösung und Ausbruch von Platten aus den Kämpfern
	unsymmetrischer Querschnitt, bestimmt durch die Schieferung (z.B.: Gneis)

TABELLE 7 ORIENTIERUNG VON TRENNFLÄCHEN (NACH STINI 1950)

In Abbildung 10 wird von Francis (1991) anhand einer Abbildung festgestellt, ob die Trennflächenorientierung günstig oder ungünstig für die Vortriebsrichtung eines Tunnels ist. Sehr ungünstig sind die Umstände, wenn die Streichrichtung parallel zur Vortriebsrichtung ist. Ist die Streichrichtung normal auf die Vortriebsrichtung, sind die Gegebenheiten für einen Vortrieb außerordentlich günstig.

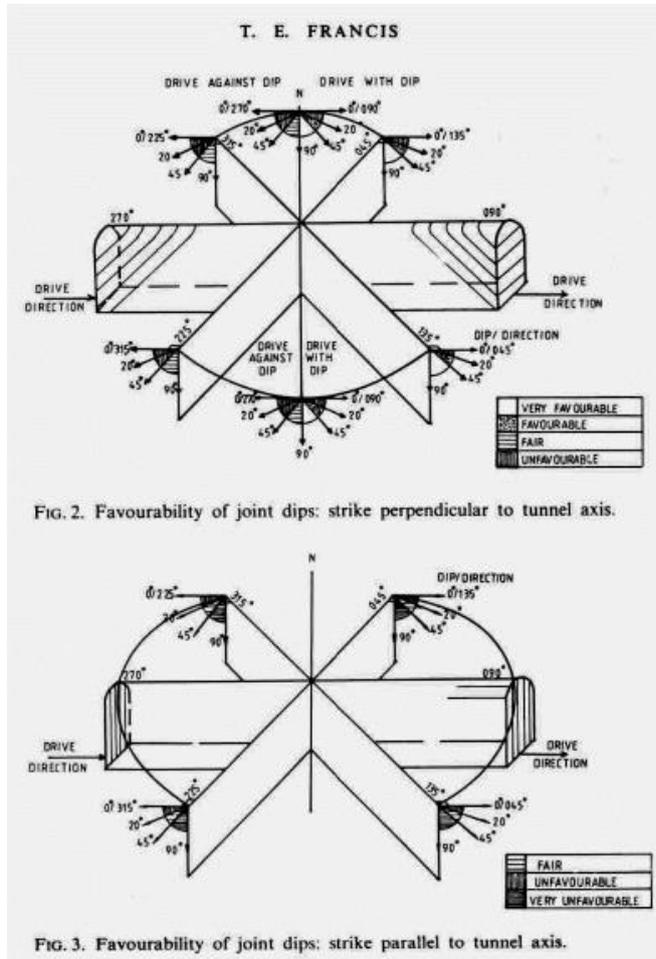


ABBILDUNG 10 BEWERTUNG DER TRENNFLÄCHENORIENTIERUNG (FRANCIS 1991)

2.5.4. ABSTÄNDE UND HÄUFIGKEITEN DER TRENNFLÄCHEN

2.5.4.1. ABSTAND

Der Abstand von Trennflächen wird durch die senkrechte Distanz von benachbarten Trennflächen beschrieben. Für eine Stabilitätsanalyse ist die Blockgröße sehr wichtig und kann durch die Abstände ermittelt werden. In der Tabelle 8 werden die Trennflächenabstände in 7 Kategorien eingeteilt.

Abstände	Schichtung	Klüftung	IAEG-Term
Größer 200 cm	massig	kompakt (k)	very widely spaced
60-200 cm	dickbankig	weitständig (ws)	widely spaced
20-60 cm	mittelbankig	mittelständig (ms)	medium spaced
6-20 cm	dünnbankig	engständig (es)	closely spaced
2-6 cm	dickplattig	dichtständig (ds)	very closely spaced
0,6-2 cm	dünnblattig	sehr dichtständig (sds)	-
< 0,6 cm	blättrig	Störungszone	-

TABELLE 8 TRENNFLÄCHEN ABSTÄNDE NACH IAEG (1981) UND ISRM (1978)

Die Abstände werden entweder im Gelände aufgenommen oder digital kartiert. Im Gelände wird der Abstand der einzelnen Klüfte einer Schar entlang einer Scanline aufgenommen. Um die Arbeit zu erleichtern, kann ein Aufnahmeblatt, wie in Abbildung 11 (Liu 2014) ersichtlich, verwendet werden. Die Abstände [ds] ergeben sich durch die auf der Scanline gemessenen Meter einer genetischen Schar.

In dieser Arbeit wurden die Abstände mittels ShapeMetriX digital kartiert.

Berechnung der Abstände

Zur Berechnung der Abstände gilt folgende Formel nach Liu (2014):

$$\bar{d}_s = \sum_{s=1}^n \frac{d_s}{n}, \text{std}_{d_s} = \left[\sum_{s=1}^n (d_s - \bar{d}_s)^2 / (n - 1) \right]^{1/2} \text{ mit einem Konfidenzintervall von 95\%}$$

$$\bar{d}_s \pm 1,96 \cdot \frac{\text{std}_{d_s}}{\sqrt{n}}$$

$$\lambda_s = 1/\bar{d}_s$$

λ_s = die Häufigkeit entlang der Scanline Richtung

Die Abstände von einer Schar entlang der Normalen werden wie folgt berechnet:

$$\bar{d}_n = \bar{d}_s \cdot \cos\delta$$

Wobei sich der Winkel δ zwischen der Scanline Orientierung (α_s, β_s) und der Set Normalen (α_n, β_n) befindet (vgl. Abbildung 12).

$$\cos\delta = |\cos(\alpha_s - \alpha_n) \cdot \cos\beta_s \cdot \cos\beta_n + \sin\beta_s \cdot \sin\beta_n|$$

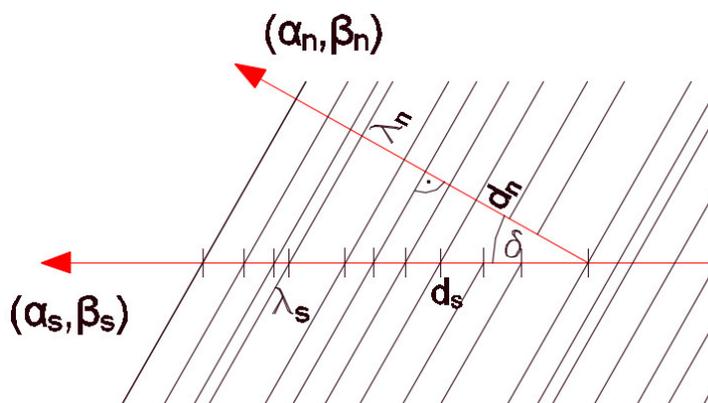


ABBILDUNG 12 ERKLÄRUNG ZUR ABSTANDSBERECHNUNG NACH (LIU, ROCK MASS CHARACTERISATION 2014)

2.5.4.2. TRENNFLÄCHEN HÄUFIGKEIT

Die Häufigkeiten lassen sich auf verschiedene Weise angeben. Bei sich stark ändernden Häufigkeiten im Gebirge bietet sich die Klüftigkeitsziffer zur Quantifizierung an. Bei dieser Methode werden pro Laufmeter die Trennflächen gezählt. Vorteil dieser Auswertung ist, dass wechselnde Häufigkeiten innerhalb einer Bohrung, Tunnelöffnung oder einer Böschung klar erkenntlich werden und in verschiedene Klüftungsklassen eingeteilt sind (vgl. Abbildung 13) (Ulrich 2014).

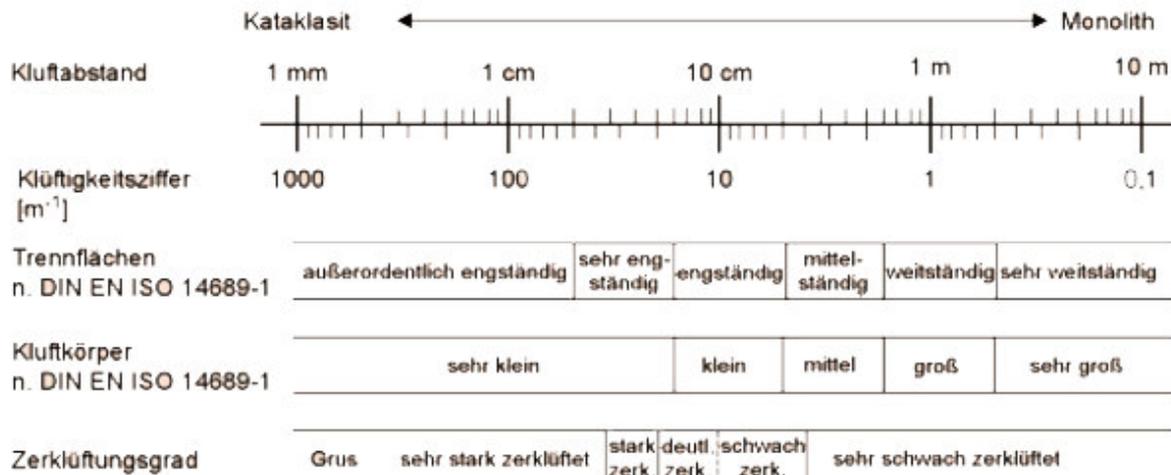


ABBILDUNG 13 KLÜFTUNGSKLASSEN (ULRICH 2014)

2.5.5. TRENNFLÄCHENERSTRECKUNG

Als Trennflächenerstreckung bezeichnet wird die flächenhafte Ausdehnung, also der Bereich, wo der Gesteinszusammenhalt aufgehoben ist. Für die Stabilitätsbeurteilung eines Hohlraumes ist die Erstreckung eine der wichtigsten Eigenschaften. Da Trennflächen immer begrenzt sind von anderen Trennflächen, Oberkante oder von der Unterkante, ist es wichtig, deren Ausdehnung beziehungsweise deren Größe zu kennen. Dabei ist sowohl die Kenntnis der absoluten Erstreckung in zwei Dimensionen, als auch selbige im Bezug zu Trennflächen anderer Scharen von größter Bedeutung. Es ist relevant, ob eine Trennfläche eine andere schneidet, daran endet oder ausläuft und ob dazwischen eine Materialbrücke verbleibt. In geschichtetem Fels ist wichtig, ob die Klüfte nur eine Schicht oder mehrere Schichten durchtrennen. Solche Eigenschaften können in räumlichen Blockdiagrammen dargestellt werden. Im Rahmen der Problemstellung kommt der Beschreibung der Erstreckung eine zentrale Bedeutung zu (Schneider 2002).

Die Persistenz einer Trennfläche beschreibt die Flächenausdehnung beziehungsweise die Größe einer Trennfläche. Obwohl sie sehr schwer zu bestimmen ist, ist sie eine der wichtigsten Eigenschaften der Trennflächen, da die Erstreckung einen Einfluss auf die Zerlegungscharakteristik, Scherfestigkeit und die Permeabilität des Gebirges hat.

Je höher die Persistenz ist, desto höher ist die Anzahl instabiler Blöcke (Fekete & Diederichs 2013).

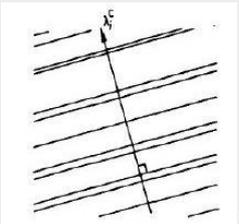
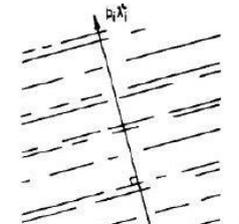
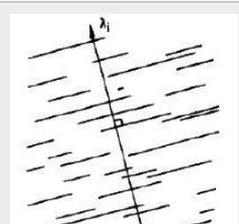
Persistenz	
 <p>(a)</p>	Durchgehende Diskontinuität
 <p>(b)</p>	Impersistent durch intermittierende Unterbrechungen
 <p>(c)</p>	Diskontinuitäten mit im persistenten Unterbrechungen

TABELLE 9 TRENNFLÄCHEN ERSTRECKUNG NACH (HUDSON & PRIEST 1983)

Diskontinuitätsflächen können nicht nur kontinuierlich oder persistent sein (Tabelle 9 (a)), denn in Wirklichkeit können die Diskontinuitäten impersistent werden. Entweder, weil die Diskontinuitätsflächen intermittierend sind (Tabelle 9 (b)), oder weil jede beschränkte Diskontinuität getrennt von anderen ist und nur von begrenzter Größe (Tabelle 9 (c)).

In Tabelle 9 (a) sind durchgehende Diskontinuitäten dargestellt. Wobei in Tabelle 9 (b) Impersistente Klüfte durch intermittierende Unterbrechungen dargestellt werden, hierbei handelt es sich um Unterbrechungen ohne Versatz. Im Gegenzug dazu sind in Tabelle 9 (c) Diskontinuitäten mit persistenten Unterbrechungen dargestellt. Die Unterbrechungen gehen in diesem Fall nicht auf derselben „Ebene“ weiter.

2.5.6. TRENNFLÄCHEN RAUIGKEIT

Die Rauigkeit der Trennflächen spiegelt die Welligkeit und Unebenheit einer solchen relativ zu ihrer durchschnittlichen Ebene wieder. Mit zunehmender Öffnungsweite und zunehmender Mächtigkeit vom Füllmaterial, nimmt die Rauigkeit des Gesteins ab. In Abbildung 14 und Tabelle 10 werden die Oberflächenbeschaffenheit dargestellt (Eichler 2000, ISRM 1978, Wittke 1984). Die Einteilungen der Rauigkeitsstufen werden in der Tabelle (Eichler 2000) dargestellt.

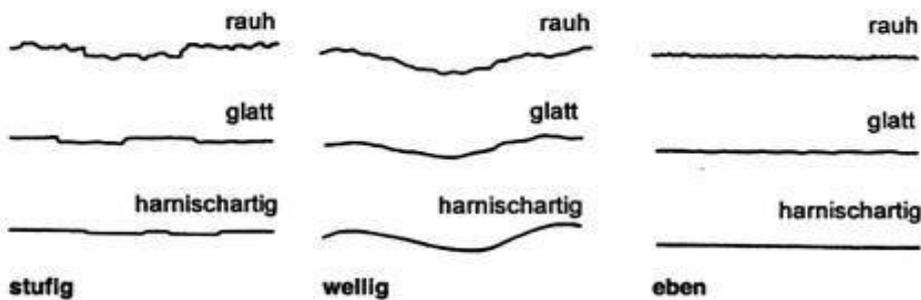


ABBILDUNG 14 BESCHREIBUNG DER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT (EICHLER 2000, ISRM 1978, WITTKER 1984)

Rauigkeit	Ebenheit	Schichtoberfläche
rau	getreppt	wellig
gestriemt	gebogen	wulstig
glatt	gewellt	knollig
poliert (harnischartig)	wulstig	eben
	eben/flach	
	gefaltet	

TABELLE 10 EINTEILUNG DER RAUHIGKEITSSTUFEN (EICHLER 2000)

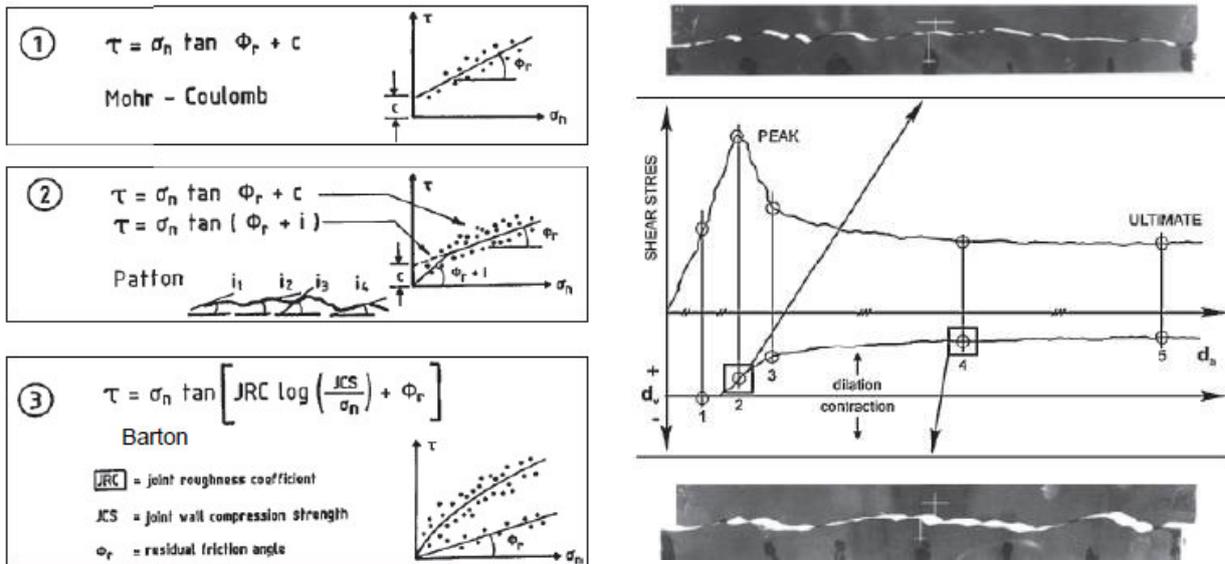


ABBILDUNG 15 MOHR COLOMB IM BEZUG ZUR RAUIGKEIT (BARTON, 1971,1973)

In Abbildung 15 wird die Scherfestigkeit im Bezug zur Rauigkeit dargestellt. Die rekonstruierten Scherereignisse in Abbildung 15 wurden aus bestimmten Spannungsbrüchen der (zweidimensionalen, 2D) Oberflächen Rauheit, in den spezifischen Direktscherversuchen gemessen. Diese Prüfungen auf Spannungsbrüche wurden im Jahr 1968 durchgeführt und vertreten die Vorläufer des nichtlinearen Kriteriums in Abbildung 15 (3) (Barton 2012).

2.5.7. VERWITTERUNG UND FESTIGKEIT DER TRENNFLÄCHEN OBERFLÄCHEN

Die Festigkeit in der Ingenieurgeologie kann in 2 Bereiche gegliedert werden. Unterschieden wird dabei zwischen Gesteins- und Gebirgsfestigkeit. Wobei sich die Gebirgsfestigkeit auf das Gestein mit Trennflächen bezieht. Diese kommen im Gebirge in größeren Maßstab vor. Durch die bevorzugten Richtungen der Trennflächen, Störungen und Klüfte kann auch die Gebirgsfestigkeit stark richtungsbezogen sein. Wobei die Gesteinsfestigkeit nicht, oder nur gering von den Trennflächenrichtungen abhängig ist. Die Gesteinsfestigkeit ist deshalb viel größer als die Gebirgsfestigkeit, welche in verschiedenen Richtungen unterschiedlich ausfällt (Eichler 2000).

Die Festigkeit kann im Labor gemessen werden und hängt von der Gesteinsart und dem Verwitterungsgrad ab (Eichler 2000).

Die Trennflächenfestigkeit wird durch die äquivalente Druckfestigkeit von benachbarten Felswänden definiert. Sie hat eine große Bedeutung für die Verformbarkeit und Scherfestigkeit. Die Festigkeit des Gesteins ist meist höher als die Trennflächenfestigkeit (Eichler 2000).

In Tabelle 11 wird eine Einteilung der Verwitterungsstufen nach Empfehlungen von ISRM und IAEG "International Association for Engineering Geology" dargestellt (Eichler 2000).

W	ISRM- IAEG	V	Bezeichnung
I	Fresch	1	Frisch und unverwittert (Fels) Es sind keine farblichen, mikro.-oder makroskopischen Veränderungen erkennbar.
II	Slightly	2	Angewittert Erste Verfärbungen sind durch mikroskopische Zersetzung von Mineralien erkennbar, die in einer verringerten Druckfestigkeit des Gesteins resultieren
-	-	3	Leicht verwittert Deutlich rotbraune Verfärbungen an den Oberflächen von Klüften (und anderen Trennflächen) bis zu 15% des Gesteins sind deutlich entfestigt.
III	Moderatly	4	Mittelstark verwittert Entlang von Klüften tritt eine starke Verwitterung auf, es entstehen dadurch tonig schluffige Beläge (Kluftfüllungen) die Reibung entlang dieser Trennflächen ist deutlich herabgesetzt; bis zu 40-50% des Gesteins sind zersetzt; alle niedrigen Verwitterungsstufen treten nebeneinander auf. Typische Steinkerne als Reste von Kluftkörpern entstehen. Wegen der Gefährdung durch Herausgleiten von solchen Kluftkörpern ist dies ein für das Baugeschehen besonders kritischer Zustand.
IV	Highly	5	Stark verwittert Mehr als 40-50% des Gesteins sind zersetzt, die ursprüngliche Struktur ist aber noch gut erkennbar, die Klüfte bestimmen noch das Gesamtverhalten des Gesteins, obwohl die Reibung entlang der Klüfte stark herabgesetzt ist. Steinkerne schwimmen als Reste von Kluftkörpern in einer zersetzten Matrix aus Lockermaterial
V	Extremly	6	Sehr stark verwittert Die Trennflächen sind nun wirkungslos, der ursprüngliche Zusammenhalt des Gesteins ist kaum noch vorhanden, aber die ursprüngliche Gesteinsstruktur ist noch in großen Bereichen erkennbar.
VI	Residual soil	7	Völlig verwittert (Boden) Die ursprünglichen Strukturen und die Gesteinszusammensetzung sind restlos aufgelöst, es ist eine deutliche Volumenänderung feststellbar, aber der Boden ist nicht wesentlich transportiert worden.

TABELLE 11 VERWITTERUNGSSTUFEN NACH EMPFEHLUNGEN VON ISRM UND IAEG (EICHLER 2000)

2.5.8. TRENNFLÄCHEN ÖFFNUNGSWEITE

Die Öffnungsweite ist ein Maß für die Trennung benachbarter Bruchflächen, die notwendig ist für die Quantifizierung der Scherfestigkeit von Bruchflächen und für die Bruchhydrologie. Die Einteilung nach ISRM (1978) und IAEG (1981) wird in Tabelle 12 näher erläutert.

Die Abbildung 16 zeigt eine Definition laut ISRM von geschlossenen Klüften, offenen Klüften und Klüften mit gefüllten Zwischenraum.

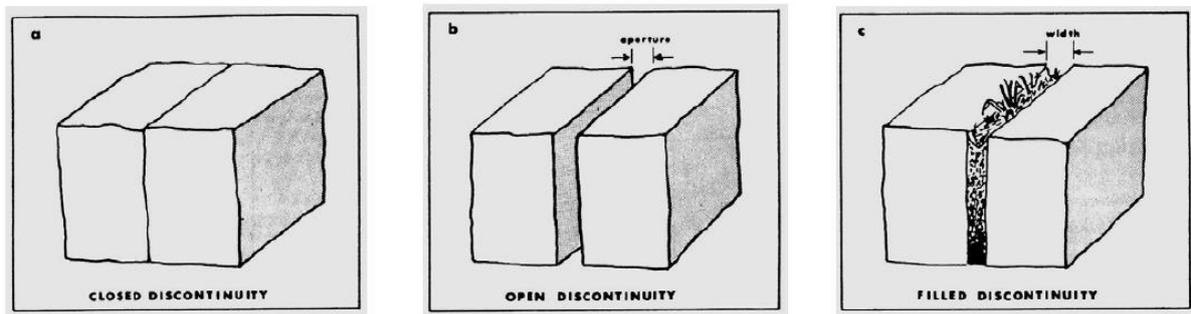


ABBILDUNG 16 ÖFFNUNGSWEITE NACH (ISRM 1978)

ISRM 1978		Öffnungsweite	IAEG1981	Öffnungsweite
offene Formen	kavernös	>1000 mm		
	extrem weit	100-1000 mm	sehr groß	> 200 mm
	sehr weit	10-100 mm	groß	60-200 mm
klaffende Formen	weit	> 10 mm	mittelgroß	20-60 mm
	mittelweit	2.5-10 mm	mittelklein	6-20 mm
	offen	0.5-2.5 mm	klein	2-6 mm
geschlossene Formen	teilweise offen	0.25-0.5 mm	sehr klein	0-2 mm
	dicht	0,1-0.25mm	geschlossen	0mm
	sehr dicht	< 0,1 mm		

TABELLE 12 KLUFTÖFFNUNGSWEITEN GEGENÜBERSTELLUNG ISRM 1978 UND IAEG 1981 NACH (EICHLER 2000)

2.5.9. TRENNFLÄCHEN FÜLLUNG

Die Trennflächenöffnungen sind oft mit einem Belag oder mit einer Füllung versehen. Solche Füllmaterialien sind zum Beispiel Chlorit, Silt, Brekzie, Kalzit oder Ton. Die Füllung wird als „Gegenstück“ für die Öffnung angegeben. Dabei wird die Mächtigkeit der Füllschicht angegeben. Füllungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Scherfestigkeit und Durchlässigkeit der Trennflächen (Schneider 2002).

2.5.10. WASSERFÜHRUNG, DURCHSICKERUNG

Trennflächen können bei einer Wasserführung im Fels trocken, feucht, sehr feucht, nass oder sehr nass sein. Die Rauigkeit auf Kluft Flächen wird durch das Wasser im Fels erniedrigt. Spalten, die zeitweise oder dauernd wassergefüllt sind, stehen unter hydraulischen Druck, in Abhängigkeit von der Höhe des freien Wasserspiegels. Gespanntes Wasser kann in Tallagen artesisch aufsteigen. Fließdruck im strömenden Grundwasser kann sich in einer Hanglage einstellen. Deswegen sind die Angaben des Wasser- und Fließdrucks so wichtig. Auch die Rauigkeit kann durch Wasser verringert werden. Durch einen Wasserüberdruck in einer Kluft kann die Reibung bis $\varphi=0$ gemindert werden (Dachroth 2013).

3. ARBEITSGEBIETE

Bei der Wahl der Arbeitsgebiete wurde speziell darauf geachtet, zwei Aufschlüsse mit verschiedenen Trennflächeneigenschaften zu finden, um den Unterschied der Auswertungsmethoden dieser klar darzustellen. Deshalb wurde für Aufschluss 1 ein Gebirge mit gut erkennbaren Trennflächenscharen eingesetzt. Im Gegensatz zu Aufschluss 2, wo die Trennflächenscharen nicht klar identifiziert werden können.

3.1. AUFSCHLUSS 1 MARHOF

3.1.1. GEOGRAPHISCHE LAGE

Der Aufschlussort (vgl. Abbildung 17) befindet sich in der Gemeinde Stainz im Ortsteil Marhof. Marhof liegt zirka eine Auto- Stunde südlich von Graz. Die größten Bäche in diesem Gebiet sind der Sierlingbach, der Theussenbach und der Rainbach die in den Stainzbach fließen. Wo der Falleggbach in den Stainzbach mündet, befindet sich die Erzherzog Johann Quelle, die zirka 100 Meter von dem Aufschluss entfernt ist (<https://de.wikipedia.org/wiki/Marhof#Geografie> 2015).

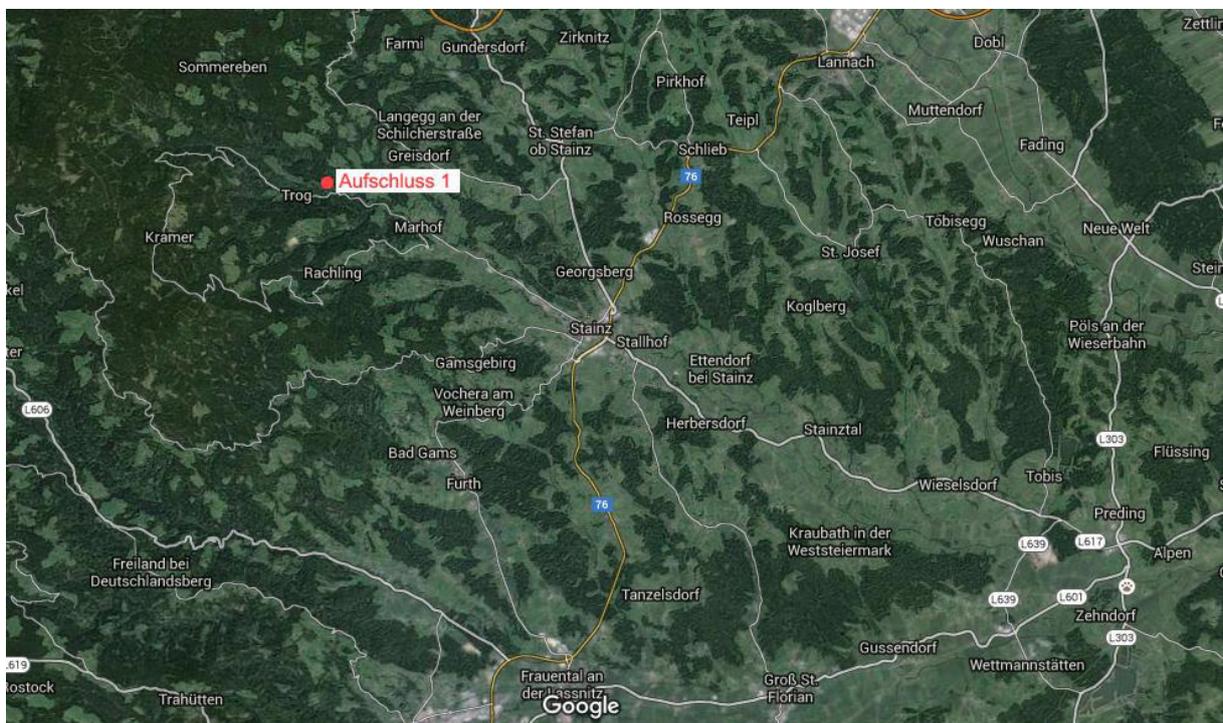


ABBILDUNG 17 GEOGRAPHISCHE KARTE MARHOF (WWW.GOOGLEMAPS.AT 2015)

3.1.2. GEOLOGIE

Der ausgewählte Aufschluss (vgl. Abbildung 18), befindet sich in mitten des Stainzer Plattengneis. Der Gneis ist durch engständige Schieferung und leichte Spaltbarkeit gekennzeichnet. Gut zu identifizieren sind hierbei, ausgeprägte Streckungslineare, welche Kennzeichen für starke tektonische Beanspruchungen sind. Anhand dieser, kann die Richtung der tektonischen Bewegung festgestellt werden. Gesteine wie der Plattengneis, welche durch hohen Druck und hohe Temperatur beansprucht werden, bezeichnet man als Mylonite. Ein weiteres Merkmal von Myloniten ist die duktile Verformung bei hohen Temperaturen. Ein Großteil der Minerale wurde dabei durch plastische Verformung verändert. Bei Temperaturen um 600°C und 15 kbar Druck wurden die Stainzer Plattengneise deformiert und dabei geplättet und geschert (Fritz 2011). In Tabelle 13 wird die Legende zur der Geologischen Karte (Abbildung 18) dargestellt.

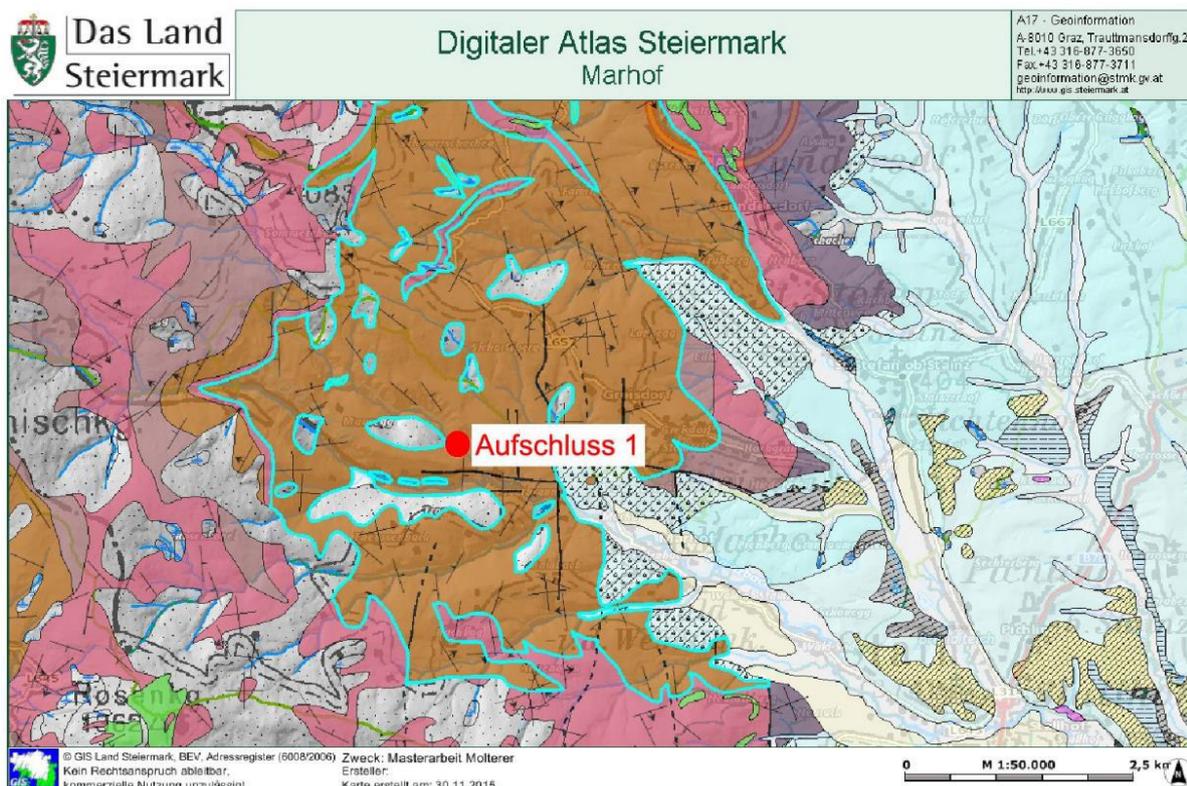


ABBILDUNG 18 GEOLOGISCHE KARTE MARHOF IM MAßSTAB 1:50000 (DIGITALER ATLAS STEIERMARK 2015)

	Formation	Tektonische Großgliederung	Tektonische Gliederung	Stratigraphische Gliederung
1	Plattengneis Typus Stainz: +/- blastomylonitischer, ebenflächiger Augengneis	Mittlostalpines Deckenstockwerk	Polymetamorphes Grundgebirge	Kristallin der Koralmpe

TABELLE 13 LEGENDE FÜR DEN AUFSCHLUSS 1 IN MARHOF (DIGITALER ATLAS STEIERMARK 2015)

3.2. AUFSCHLUSS 2 PLABUTSCH

3.2.1. GEOGRAPHISCHE LAGE

Aufschluss Nummer 2 befindet sich in Graz am Plabutsch. Zirka 500 Meter südlich des Sankt Johann und Paul Aussichtspunkt, kommt eine Weggabelung mit 3 Straßen, auf dem mittleren Weg befinden sich nach nur wenigen Metern die durch den Neubau der Straße aufgeschlossenen Kalke (Abbildung 19) (Celedin & Resch 2003).

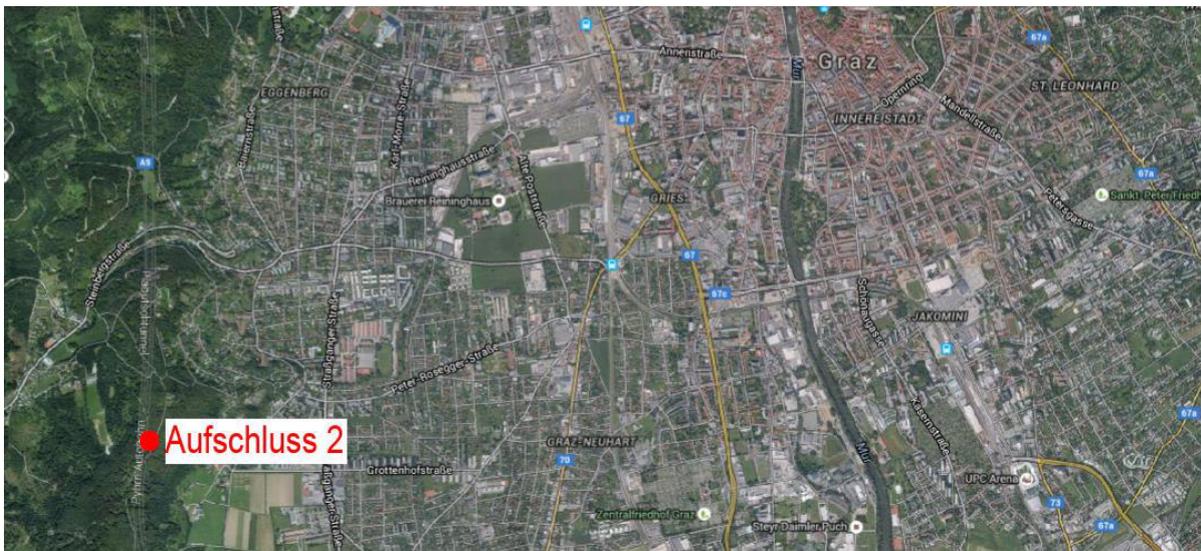


ABBILDUNG 19 GEOGRAPHISCHE KARTE AUFSCHLUSS 2 AM PLABUTSCH (WWW.GOOGLEMAPS.AT 2015)

3.2.2. GEOLOGIE

Geologisch gesehen (vgl. Abbildung 20 und Tabelle 14) gehört der Plabutsch zum Grazer Paläozoikum. Dolomit und Kalkgestein, welche im Devon abgelagert wurden dominieren den Aufbau des Berges. Nach Flügel (2000) werden die im Plabutsch-Gebiet vorkommenden „Braungesteine“ (Schäfer 1937) als Kelberg-SbFm. zu den Barrandeikalken gezählt. Im Hangenden können eher dunkelgraue Dolomite vorkommen, welche zur Gaisbergsattel-SbFm. der Kollerkogel-Fm. gehören. Lokal gesehen kann die Mächtigkeit dieser Dolomite stark schwanken. Durch Ebner et.al. (1980b) und Flügel und Neubauer (1984) wurden diese Dolomite mit einer Mächtigkeit von 20 Metern angegeben. Laut Ebner, Fritz und Hubmann (2001) soll die Mächtigkeit vor allem im Raum St. Pankrazen durchaus deutlich größer sein (Ebner, Fritz & Hubmann 2001).

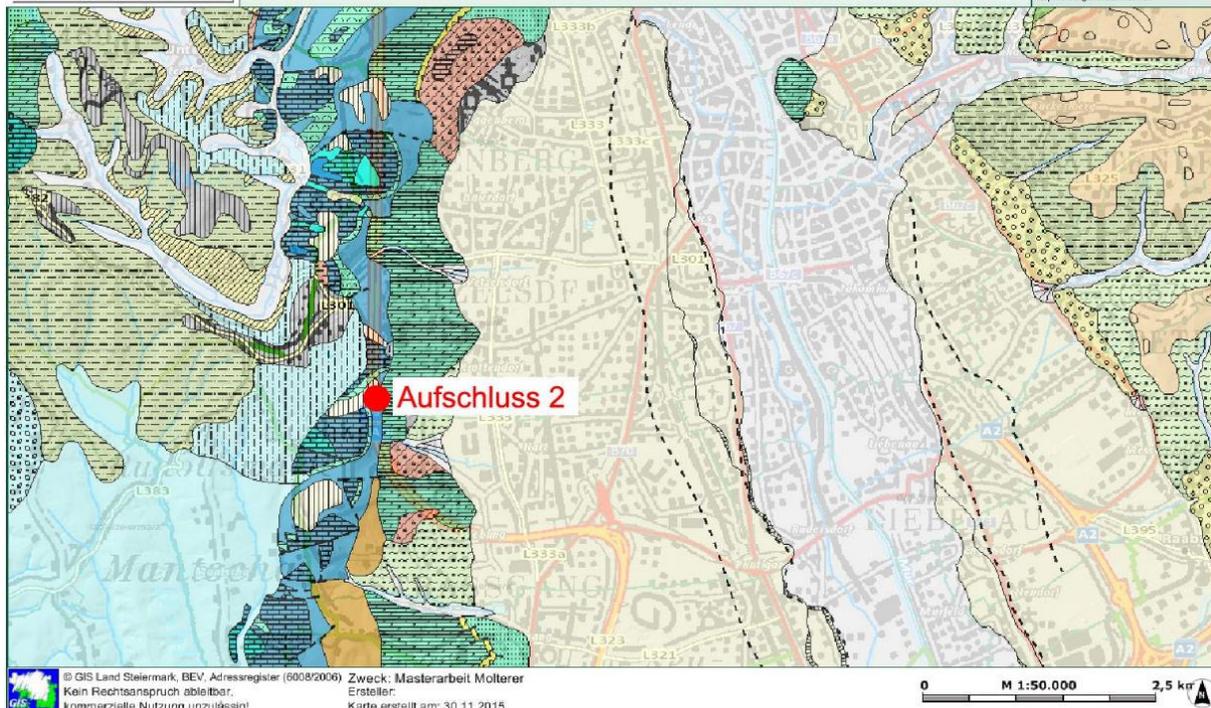


ABBILDUNG 20 GEOLOGISCHE KARTE PLABUTSCH IM MAßSTAB 1:50000 (DIGITALER ATLAS STEIERMARK 2015)

	Formation	Formation Ergänzung	Tektonische Großgliederung	Tektonische Gliederung	Stratigraphische Gliederung
1	Barrandei- Schichten: dunkle, fossilreiche Bankkalke,	örtlich Einschaltungen von Tonschiefern	Oberostalpines Deckenstockwerk	Grazer- Paläozoikum	Rannach -Fazies
2	Mitteldevond olomit: dunkelgraue Dolomite		Oberostalpines Deckenstockwerk	Grazer- Paläozoikum	Rannach -Fazies
3	Kanzelkalk		Oberostalpines Deckenstockwerk	Grazer- Paläozoikum	Rannach -Fazies

TABELLE 14 LEGENDE FÜR DEN AUFSCHLUSS 2 AM PLABUTSCH (DIGITALER ATLAS STEIERMARK 2015)

3.3. AUFSCHLUSS 3 KALVARIENBERG

3.3.1. GEOGRAPHISCHE LAGE

Der Grazer Kalvarienberg (vgl. Abbildung 21) befindet sich im Grazer Stadtbezirk Lend und liegt in Mur Nähe. Der oftmals als „Austein“ bezeichnete Kalvarienberg ist eine markante Erhebung im Stadtgebiet von Graz. Am felsigen Gipfel stehen mehrere Kapellen und eine Kreuzigungsgruppe mit drei Kreuzen. Der Kalvarienberg befindet sich im Norden von Graz.

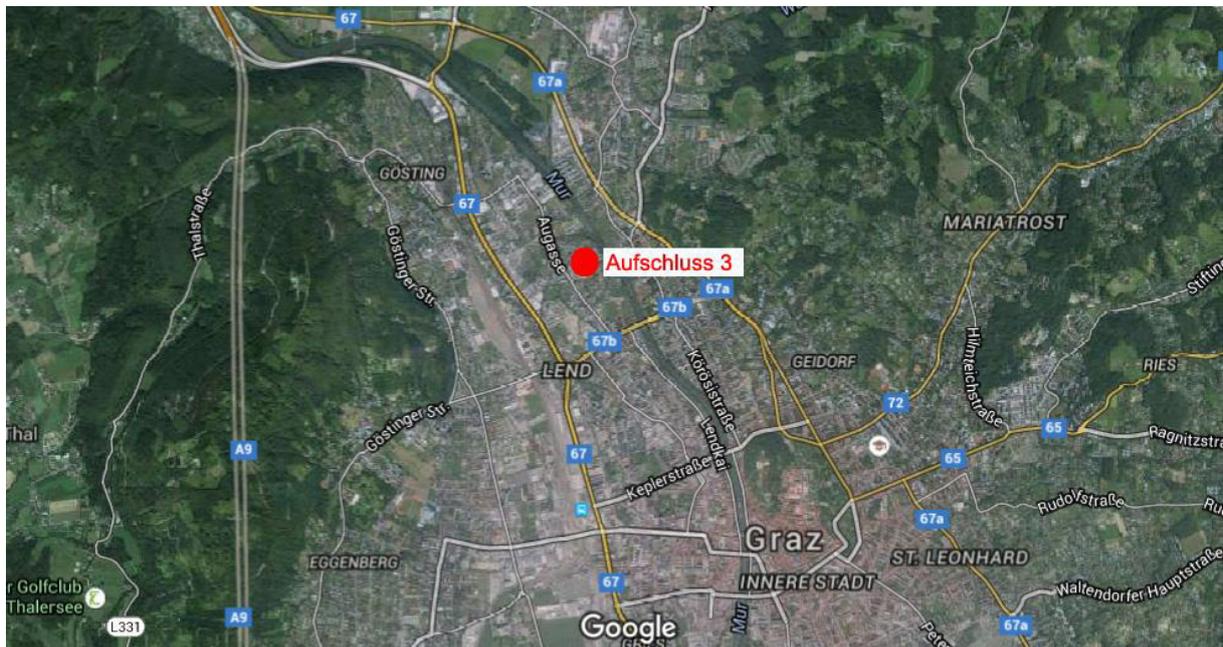


ABBILDUNG 21 GEOGRAPHISCHE KARTE AUFSCHLUSS 3 KALVARIENBERG (WWW.GOOGLEMAPS.AT 2015)

3.3.2. GEOLOGIE

Die grünschieferfaziell (Silur/Devon) überprägten Metavulkanite werden der Schöckeldecke zugeordnet. Die Gesteine des Kalvarienbergs bilden den untersten Teil des Grazer Paläozoikums. Darüber folgen Karbonate/Kalke (z.B.: Grazer Schlossberg). Am Kalvarienberg handelt es sich um Grünschiefer, Chloritschiefer und Serizitschiefer. Die Gesteine enthalten mehrere Falten- und Störungen. Auffällig ist der komplett isolierte Standort des Kalvarienbergs. Dieser Umstand ist auf die parallel zur Mur verlaufende Störungszone rückzuführen, welche unterschiedliche Einheiten voneinander abtrennt (Jutric & Ellmecker 2014). Die geologische Karte wird in Abbildung 22 mit der Legende in Tabelle 15 dargestellt.

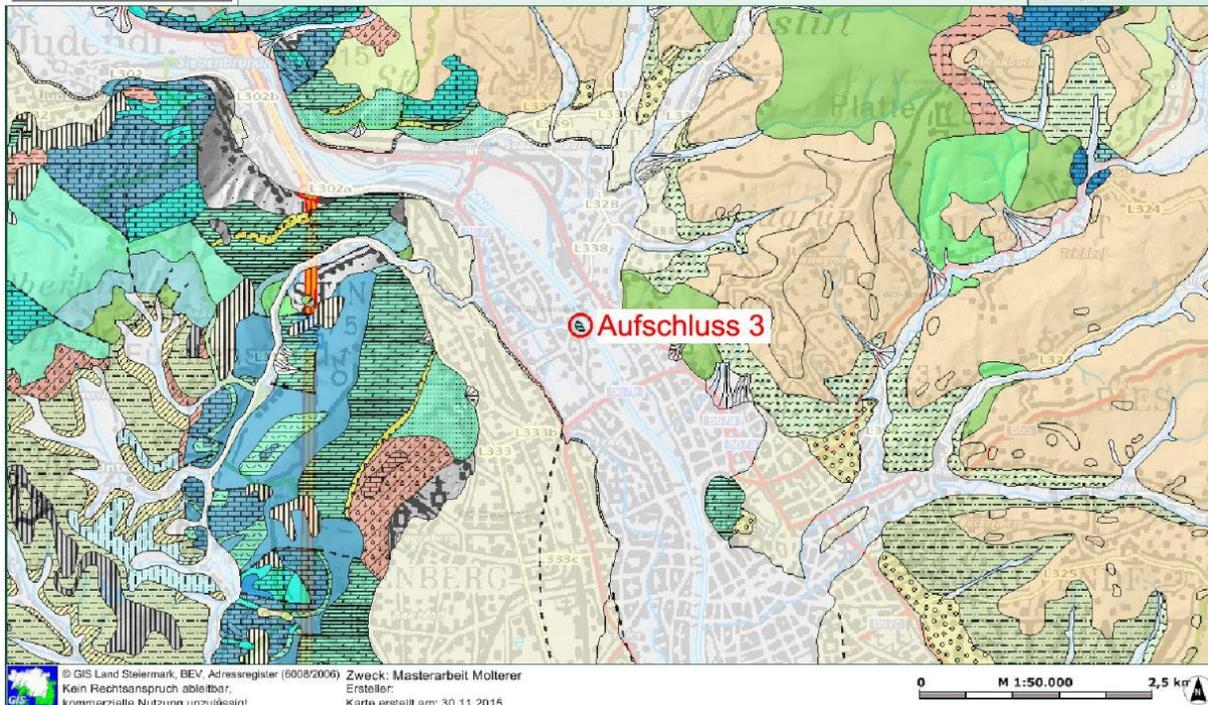


ABBILDUNG 22 GEOLOGISCHE KARTE VON AUFSCHLUSS 3 IM MAßSTAB 1:50000 (DIGITALER ATLAS STEIERMARK 2015)

Formation	Tektonische Großgliederung	Tektonische Gliederung	Stratigraphische Gliederung
Helle und dunkelgraue Dolomite	OBEROSTALPINES DECKENSTOCKWERK	GRAZER PALÄOZOIKUM	Rannach -Fazies

TABELLE 15 LEGENDE FÜR DEN AUFSCHLUSS 3 KALVARIENBERG (DIGITALER ATLAS STEIERMARK 2015)

3.4. STEINÖFEN UND DEREN GEOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG

Die Aufschlüsse in Blockform, ragen teils mehrere Meter aus dem Boden. Von Gebirgsbewohnern werden diese wie Mauer aussehenden „Gebilde“ als „Steinöfen“ bezeichnet. Eine akkuratere Untersuchung zeigt, dass die Bildung dieser Gebirgsformen nicht einfach zu erklären ist. Als Steinöfen werden jene Felsgruppen bezeichnet, die vereinzelt aus planen Flächen herausragen. Dabei ist zu beachten, dass die Blöcke anstehend und von allen Seiten freiliegend sind. Die Lage der Schichten ist sehr wichtig in Bezug auf die des Hanges. Die Schichten bei den Steinöfen westlich von Marhof fallen widersinnig zur Hangneigung ein. Für die Erhaltung eines Steinofen ist das Einfallen der Platten gegen den Hang sehr wichtig, da bei gleichen Einfallen der Platten und des Hanges ein leichtes Abrutschen möglich ist. Deswegen halten sich die Steinöfen nicht lange. In Abbildung 23 ist ganz deutlich zu sehen, dass die Einfallsrichtung der Schichten und des Hanges genau gegengleich ist. Mit dem roten Pfeil ist das Einfallen der Schichten dargestellt und in blau die Hangneigung (Kieslinger 1927).



ABBILDUNG 23 STEINÖFEN WESTLICH VON MARHOF (BLAU NEIGUNG DES HANGES, ROT EINFALLEN DER SCHICHTEN)

Laut Dr. Alois Kieslinger, ist der leitende Gedanke, dass die Felsöfen geologisch nichts Andres sind, als die herausgewitterten Köpfe härterer Bänke. Wobei er sich die Frage stellt, warum im Streichen innerhalb einer Bank gewisse Teile erhalten und andere zerstört sind.

„VON EINEM FESTIGKEITSUNTERSCHIED DER PLATTENGNEISE INNERHALB EINER UND DERSELBEN BANK KANN NACHMEINEN BEOBACHTUNGEN KEINE REDE SEIN. GERADE DIESE GNEISE SIND— WIE KEIN ANDERES GESTEIN DER KORALPE — AUF LANGE STRECKEN HIN GANZ EINHEITLICH GEBAUT. KONKRETIONEN ODER ÄHNLICHE UNREGELMÄßIGKEITEN, WIE SIE FÜR DIE VERWITTERUNG VON SANDSTEINEN SO BEDEUTUNGSVOLL SIND, FEHLEN. DIE GRENZEN ZWISCHEN DEN BENACHBARTEN GROßBLÖCKEN SIND ZIEMLICH SCHARF, ENTSPRECHEN SIE DOCH TEKTONISCHEN KLÜFTEN. DER GEDANKE, DAß GERADE ZWISCHEN ZWEI SOLCHEN KLÜFTEN, DIE DOCH VIEL JÜNGER SIND ALS DAS EIGENTLICHE GESTEIN, SICH EIN ETWA WÜRFELFÖRMIGER GESTEINSKLOTZ VON ABWEICHENDER PETROGRAPHISCHER BESCHAFFENHEIT FINDEN SOLLTE, IST GANZ WIDERSINNIC. DIE AUSGANGSFORM WOHL DER MEISTEN ÖFEN IST ALSO EINE MEHR ODER MINDER LANGE (BIS ZU EINIGEN HUNDERT METERN LÄNGE) MAUER. ES LASSEN SICH AN DEN ZAHLREICHEN FELSGRUPPEN MEINES ARBEITSGEBIETES ALLE ENTWICKLUNGSSTUFEN, DIE AM EINZELNEN BLOCK NACHEINANDER AUFTRETEN, NEBENEINANDER BEOBACHTEN. EINES DER LEHRREICHSTEN VORKOMMEN IST DIE GRUPPE AUF DER KOGGELLOCHWIESE, AM SÜDHANG DER KLEINALPE. SIE IST IN FIG. 1 ETWAS VEREINFACHT UND SCHEMATISIERT WIEDERGEgeben. DIE EINHEITLICHEN MAUERN ERSCHEINEN GEKERBT DURCH KLÜFTE, DIE IN EINER DURCHSCHNITTLICHEN ENTFERNUNG VON 1 BIS 2 M DAS GESTEIN DURCHSETZEN. DIESE KLÜFTE SIND WEGE DES EINSICKERNDEN WASSERS, DAS IM ANFANG, SOLANGE DIE KLUFT NOCH SEHR SCHMAL IST, AUCH KAPILLAR LÄNGERE ZEIT STEHENBLEIBT. DURCH DIE VERSCHIEDENEN WIRKUNGEN DER VERWITTERUNG, ALS LÖSUNG, SPALTENFROST USW., DIE ICH ALS BEKANNT VORAUSSETZE, WERDEN RELATIV RASCH TIEFE RINNEN AUSGENAGT. DER WIND HEBT ALLEN VERWITTERUNGSSAND AB, UND SO WERDEN IMMER NEUE STELLEN DER ABTRAGUNG AUSGESETZT. DIE RINNEN SAMMELN DAS SICKERWASSER DER NACHBARSCHAFT UND VERTIEFEN SICH IMMER RASCHER, WÄHREND DAS NEBENGESTEIN, DIE HAUPTMASSE DES BLOCKES, ZIEMLICH VERSCHONT BLEIBT. SO WIRD DIE MAUER AN MEHREREN STELLEN DURCHGESÄGT (FIG. 1, B—D). [KIESLINGER, 1927]

Die Abbildung 24 wird im Text von Dr. Alois Kieslinger (1927) mit FIG. 1 bezeichnet.

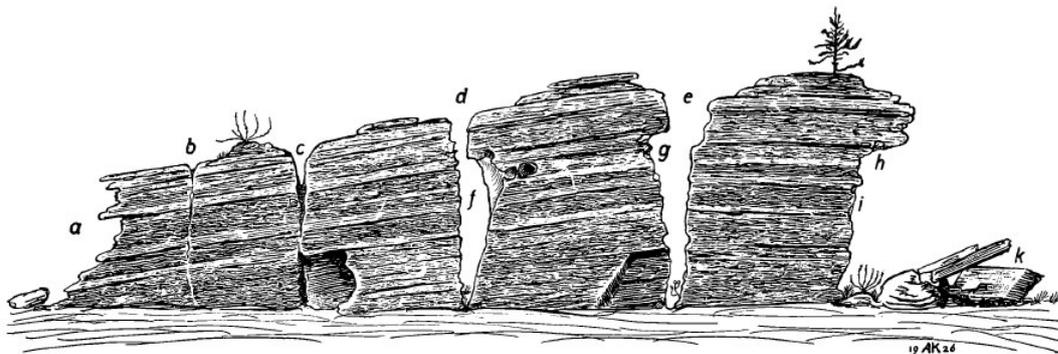


ABBILDUNG 24 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER STEINÖFEN VON DR. A. KIESLINGER

WO EINER DER ÄUßEREN BLÖCKE DURCH SEITLICHE AUSNAGUNG UNTERSCHRÄMT IST, KANN ER, WAHRSCHEINLICH DURCH MITWIRKUNG DES SPALTENFROSTES, GANZ ABBRECHEN, WODURCH DIE KLUFT PLÖTZLICH ERWEITERT WIRD (FIG. 1, E). ABER AUCH OHNE ABBRECHEN ENTSTEHEN MIT FIG. 1. ETWAS SCHEMATISIERTE DARSTELLUNG EINER FELSMAUER,-DIE VON LINKS NACH RECHTS DIE EINZELNEN ENTWICKLUNGSSTUFEN DER OFENBILDUNG ZEIGT. AN VIER STELLEN, BEI F, G, H UND I, ZEIGT DIE ZEICHNUNG NICHT DIE VORDERANSICHT, SONDERN EINEN QUERSCHNITT. DIE SCHICHTEN FALLEN IN DIE RICHTUNG HINTER DIE BILDEBENE EIN. A SEITLICHES HERAUSWITTERN DER HÄRTEREN LAGEN. B, C, D, E FORTSCHREITENDE STUFEN DER DURCHSCHNEIDUNG. DER BLOCK RECHTS VON E HAT SICH AUS DEM VERBÄNDE GELÖST UND IST ETWAS ABGESUNKEN“ [KIESLINGER, 1927].

4. MODERNE METHODEN FÜR DIE ERFASSUNG VON TRENNFLÄCHEN

Eine der kommerziellsten Methoden zur Erfassung von Trennflächen ist das Messen mit dem Kompass, da sich diese altbewährte Methode nur eignet, wenn alle Bereiche des gewünschten Untersuchungsgebiets voll zugänglich sind, ist diese nicht immer geeignet. Um räumliche Daten zu erfassen, gibt es verschiedene Methoden, die in Tabelle 16 kurz verglichen und diskutiert werden.

4.1. FERNERKUNDUNG UND DESSEN ANFORDERUNG IN DER GEOLOGIE

Bereits seit einigen Jahrzehnten finden digitale Fernerkundungsmethoden in der Geologie ihre Anwendung.

Bei Fernerkundungsmethoden wird von berührungsfreien Messtechniken gesprochen. Von unterschiedlichen Materialien der Oberfläche werden spektrale Eigenschaften in Bildern aufgezeichnet. Diese Daten werden zur Erfassung der räumlichen Verteilung und Ausdehnung benutzt (Zeiner 2012).

Für die Bildaufnahme wird ein Sensor benötigt, welcher die Reflexionseigenschaften von Objekten auf der Erdoberfläche misst. Das Ganze erfolgt in fixen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums. Es gibt ein passives und ein aktives Sensorsystem, wobei die aktiven Sensorsysteme eigene Strahlungssysteme haben und die passiven von der Sonne abhängig sind. Die geologischen Anforderungen sind, in den multispektralen Satellitenbilddaten, die Lagerungsverhältnisse von unterschiedlichen Gesteinsarten, anhand von verschiedenen Farbtönen zu erkennen und interpretieren zu können. Die Analyseergebnisse können in einer digitalen geologischen Karte zusammengefasst werden. Durch diese Auswertung kann eine umfassende geologische Karte erstellt werden (Zeiner 2012 & Ortner 2014).

Vorteile von Fernerkundungsmethoden liegen in der zügigen Kartierung von großen Gebieten. Durch herkömmliche Kartierung wird somit zu viel Zeit verloren.

Nachteile sind, dass es oft zu starken Fehlern bei der Bildberechnung kommt und somit die Daten im Gelände kontrolliert beziehungsweise verglichen werden müssen.

Satellitenbilddaten werden anhand ausgewählter Testgebiete geeicht und stichprobenartig überprüft (Zeiner 2012 & Ortner 2014).

BEISPIELE AUS DER PRAXIS:

Durch Fernerkundungsdaten kann die geologische Feldobservation erheblich verbessert und beschleunigt werden. Diese Aussage wird in mehreren Beispielen gestützt. In sehr unzugänglichen Bereichen, wie zum Beispiel auf der Zugspitze, werden gut gebankte Kalke (Mitteltrias) kartiert. Mittels verschiedensten Methoden, können selbst in einem Gebiet wie diesem, Orientierungsdaten gewonnen werden. Durch den Vergleich von beobachteten zu den modellierten 3D Daten der Schichtung, können die Daten auf ihre Richtigkeit überprüft werden (Ortner 2014).

Ein weiteres Beispiel zeigt Abbildung 25. Durch Hilfe von Aufschlussfotografien wurden Strukturen analysiert, die später mittels Orthofotos auf die geologische Karte gebracht werden können.



ABBILDUNG 25 BEISPIEL FÜR STRUKTURGEOLOGISCHE BEARBEITUNG VON FOTOS RADIOLARIT IN ELBA (KOOS M., MOLTERER C., WEIGAND S. 2015)

Methoden	Vorteil	Nachteil
Kompass	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Anwendung, • Werte können gleich kontrolliert werden, 	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheit, • Erreichbarkeit • Genauigkeit, Reproduzierbarkeit
Bohrloch	<ul style="list-style-type: none"> • Geologie über mehrere Meter Tiefe bestimmbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Teuer, • nur wenige Bohrungsstellen
Laser total station	<ul style="list-style-type: none"> • Objektivität, • Schnelligkeit, • Vollständigkeit, • Hohe Präzision, • Unabhängigkeit von Umweltbedingungen, • Hohe Reichweite und großer Messbereich, • Integrierbarkeit (Kern 2007) 	<ul style="list-style-type: none"> • Stabiler Gerätestandpunkt • Diffus reflektierende Objekte erforderlich, • Keine multispektralen Farbinformationen, • Unstrukturierte Punktwolke kann aufwendige Nacharbeiten erfordern (Kern 2007)
Light Detection and Ranging (LiDAR) technology	<ul style="list-style-type: none"> • nicht zugängliche Bereiche können bearbeitet werden, • nahezu Flächendeckende Kartierung, • alle Daten sind Georeferenziert und in einem Koordinatensystem, • hohe räumliche Auflösung, • die kleinsten Diskontinuitäten können erfasst werden, • Schnelle Datenerfassung. (Liu, Rock mass characterisation 2014) 	<ul style="list-style-type: none"> • Datengewinnung je nach Methode wetterabhängig • Fernerkundung erfordert Spezialwissen • komplexe Hard- und Software • Beschränkungen im Detaillierungsgrad je nach Methode • Daten vorwiegend auf Oberflächeninformationen beschränkt (Schmidt 2004)
Photogrammetrie	<ul style="list-style-type: none"> • berührungslose Messung, <ul style="list-style-type: none"> • sehr geringer Zeitbedarf für die Aufnahme (Messung) vor Ort, • flächenhafte optische Erfassung des Objekts, • hohe Flexibilität bezüglich Aufnahme, • Genauigkeit, • Qualität der Ergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Objekt muss abbildbar sein, • indirekte Beleuchtung erforderlich, • zwei Aufnahmen von unterschiedlichen Standorten mit korrespondierendem Bildinhalt notwendig, • Aufnahme und Auswertung erfolgen örtlich und zeitlich getrennt

TABELLE 16 FERNERKUNDUNGS-METHODEN UND DEREN VOR-UND NACHTEILE

4.2. PHOTOGRAMMETRIE IM SPEZIELLEN DATEN ERFASSUNG DURCH SHAPEMETRIX

Dieses Kapitel erklärt ShapeMetriX und die verwendeten Computerprogramme.

ShapeMetriX3D ist ein System für die Oberflächenerfassung durch dreidimensionale Bilder.

4.2.1. DATENERFASSUNG

Die Daten werden mit einer handelsüblichen digitalen Kamera aufgenommen. Diese wird durch eine Software von 3GSM kalibriert, das bedeutet sie wird damit messfähig. Der zu untersuchende Aufnahmebereich, wird von 2 Standpunkten aus fotografiert. Zwei Referenzstäbe werden für die Berechnung als Hilfsmittel aufgestellt. Anschließend kann mit der Software von 3GSM ein dreidimensionales Bild errechnet werden. Aus diesem Bild können alle nötigen Daten zur geologischen Begutachtung dieses Bereichs gemessen werden. Hinterher werden die Fotos auf einen Computer übertragen und mit der SMX Reconstructor Software in ein 3D Bild umgewandelt. Dabei wird das Prinzip der Stereofotogrammetrie genutzt. Dieses Prinzip ist skalierbar, das bedeutet, dass verschieden große Oberflächen fotografiert werden können und mittels der oben genannten Rekonstruktion zu einem 3D Bild aufbereitet werden. Wichtig dabei ist, dass die Oberfläche eine unregelmäßige Textur aufweisen muss. Das Ergebnis ist ein dreidimensionales Bild, von dem Messungen und Bewertungen abgeleitet werden können (3GSM 2012).

Die Unterschiede zur gewöhnlichen geologischen Dokumentation werden in Tabelle 17 näher beschrieben.

Unterschiede zu einer normalen Geologischen Dokumentation:
1. Gebirgsverhältnisse werden objektiv und reproduzierbar wiedergegeben
2. Keine Zugriffsproblematik und kein Zeitdruck bei der Auswertung
3. Metrische Messungen (Längen, Distanzen, Flächen) sind möglich
4. Orientierungsmessungen sind möglich (Fallrichtung & Fallwinkel)
5. Abgeleitete Kenngrößen wie z.B. Spacing können direkt bestimmt werden

TABELLE 17 UNTERSCHIEDE ZUR KONVENTIONELLEN DOKUMENTATION (3GSM, 2012)

Laut der Firma 3GSM können folgende Werte mit dem Programm ermittelt werden:

„GRUNDSÄTZLICH KÖNNEN AUS DEN 3D BILDERN KENNGRÖßEN BESTIMMT WERDEN, DIE GEOMETRISCHEN URSPRUNGS SIND. MIT DER BEIGESTELLTEN 3D SOFTWARE JMX ANALYST IST EINE BETRACHTUNG DER EINZELNEN 3D BILDER VON ALLEN SEITEN UND EINE ENTSPRECHENDE INTERAKTIVE BEWERTUNG MÖGLICH.“

GEOMETRISCHE UND GEOTECHNISCHE MESSUNGEN:

- LÄNGE (DISTANZ, ABSTAND) IN M
- FLÄCHE IN M²
- RÄUMLICHE LAGE VON AUSBISSFLÄCHEN ODER GESAMTE WANDNEIGUNG (FALLRICHTUNG UND FALLWINKEL)
- RÄUMLICHE LAGE VON TRENNFLÄCHENSPUREN ODER SCHICHTGRENZEN (FALLRICHTUNG UND FALLWINKEL)

ABGELEITETE KENNGRÖßEN:

- MITTLERER TRENNFLÄCHENABSTAND
- TRENNFLÄCHENFREQUENZ: IN TRENNFLÄCHEN/M
- RÄUMLICHE VARIATION EINER TRENNFLÄCHENSCHAR
- VOLUMINA IN M³

DATENEXPORT:

- DIREKTEXPORT DER GEOMETRIEDATEN INS CAD (DXF)
- DIREKTEXPORT DER GEMESSENEN DATEN NACH MS EXCEL (CSV)
- BILDSCHIRMFOTOS (JPG)“ [3GSM, 2012].

4.2.2. AUFNAHME IM GELÄNDE

Das Überprüfen der Kamera (vgl. Abbildung 26), ist vor dem Gelände eine der wichtigsten Aufgaben.

- Der Programmschalter muss auf „P“ gestellt sein.
- Das Zoom- Objektiv, wenn möglich auf maximale oder minimale Brennweite.
- Nach dem Einschalten der Kamera wird der Akku geprüft (Wechsel Akku im Koffer)
- Als Letztes findet die Überprüfung freier Bilder statt (3GSM 2012).



ABBILDUNG 26 KAMERA ZUR AUFNAHME DER 3D BILDER (3GSM)

Für die Aufnahme im Gelände, werden 2 Referenzstäbe benötigt, die wie folgt zusammengebaut werden (Abbildung 27):

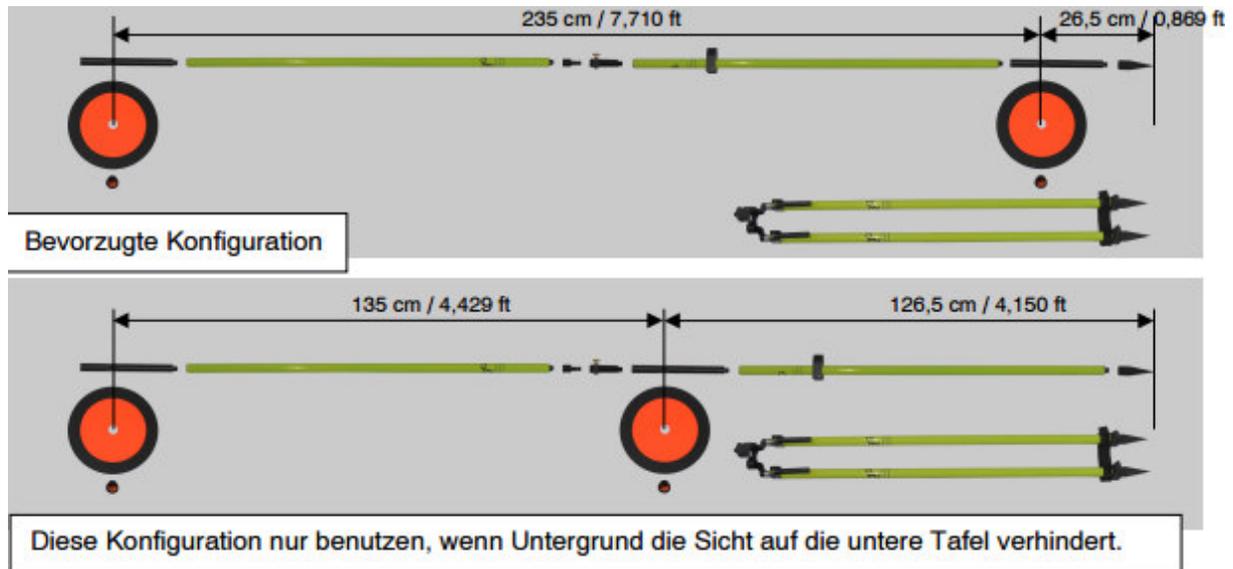


ABBILDUNG 27 REFERENZSTÄBE (3GSM)

Referenzstab aufstellen:

- Wichtig ist, dass die Referenzstäbe genau (vertikal) aufgestellt werden.
- Beide Zieltafeln müssen von den geplanten Aufnahmestandpunkten gesehen werden.
- Der Referenzstab muss nicht an der Felswand anstehen.
- Einen Standpunkt wählen, wo der Messbereich das Foto gut ausfüllt.
- Nach Möglichkeit minimale oder maximale Brennweite benutzen (3GSM 2012).

Bilderpaar aufnehmen:

Beim aufnehmen des Bildes ist wichtig, dass der Abstand vom ersten Aufnahmepunkt zum zweiten Aufnahmepunkt zirka 1/8-1/5 des Abstandes, zum Aufschluss betragen muss (Abbildung 28).

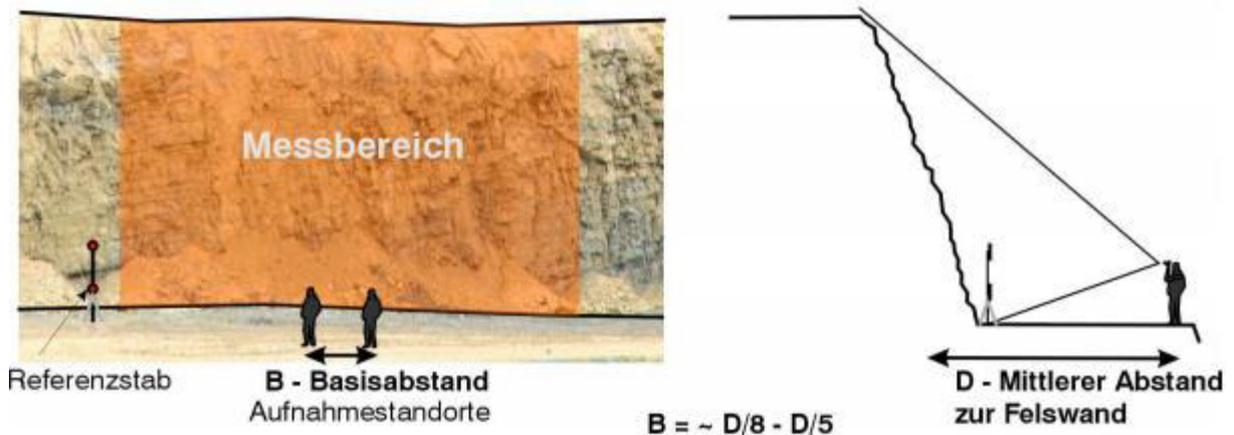


ABBILDUNG 28 BILDERPAAR AUFNAHME (3GSM)

In Tabelle 18 werden alle Schritte vom Vorbereiten der Kamera bis zum abbauen des Referenzstabes genau erklärt.

1. Kamera vorbereiten:	Der Programmwahlschalter der Kamera wird auf „P“ gestellt und die Kamera eingeschaltet. Bei sehr schlechten Lichtbedingungen: Kamera auf einem Stativ anbringen, um ein Verwackeln der Fotos zu verhindern.
2.Referenzstab aufstellen	Zu beachten ist, dass der Referenzstab mit Hilfe der eingebauten Libelle möglichst senkrecht gestellt wird und die Zielmarken dabei so gedreht werden, dass sie ungefähr parallel zur Felswand in Richtung der gewählten Aufnahmestandpunkte stehen.
3. Freie Sicht herstellen	Sicherstellung, dass keine Personen oder Objekte die freie Sicht auf den Aufnahmebereich behindern.
4. Linken Standpunkt aufsuchen	Der Standpunkt ist so zu wählen, dass die Felswand möglichst frontal betrachtet wird. Der Abstand zur Felswand sollte ungefähr bekannt sein (für die Wahl der Distanz zum zweiten Foto). Durch den Sucher ist der Aufnahmebereich zu kontrollieren und so zu wählen, dass möglichst die gesamte Aufnahmebereich formatfüllend sichtbar ist. Die Brennweite sollte wenn möglich auf den oberen oder unteren Anschlag gestellt werden.
5. Linkes Foto erstellen	Auf den Auslöser drücken, die Kameraautomatik sollte den Rest erledigen. Die Bildqualität (Helligkeit und Schärfe) kann unmittelbar nach dem Auslösen auf dem Monitor (Anzeige kann vergrößert werden) am Kamerarücken überprüft werden.
6. Autofokus abschalten	Durch Umschalten des kleinen Hebels von AF auf M seitlich des Objektivs bleiben die Kameraeinstellungen erhalten.
7. Rechtes Foto erstellen	Nach Erstellung des linken Fotos begibt man sich etwa 1/8 des Abstands zur Felswand nach rechts im gleichen Aufnahmeabstand wie beim linken Foto. Von diesem Standpunkt aus wird das rechte Foto erstellt.
8.Bildnummern notieren	Dies erleichtert später das Auffinden zusammengehöriger Bilder.
9. Referenzstab abbauen	Mit dem Abbau des Referenzstabs ist die Datenerfassung abgeschlossen.

TABELLE 18 ANLEITUNG ZUM FOTOGRAFIEREN IM GELÄNDE NACH (3GSM)

4.2.2.1. DATENAUSWERTUNG

Für diese Arbeit wurden neben verschiedener "Software" für Bildbearbeitung vor allem diese Computerprogramme verwendet.

4.2.2.2. SHAPEMETRIX AUSWERTUNG

Daten die aus einem 3D Bild gewonnen werden können

Ein 3D-Bild repräsentiert ein indirekt erworbenes geometrisches Modell der physikalischen Gesteinsoberfläche. Es sind geometrische Informationen, die direkt aus einem 3D Bild bestimmt werden. Nebenbei ist das Bild eine gute Dokumentation des derzeitigen Gebirgsverhältnisses. In den nächsten Absätzen folgt ein kleiner Überblick welche Informationen direkt aus dem 3D Bild erhältlich sind (Gaich A., Schubert W., Pötsch M. 17-21.06.2006).

Navigation

Eine Navigation „durch“ ein 3D Bild bedeutet, dass der Aufschluss von jedem gewünschten Standpunkt beobachtet werden kann, dies ist im Gelände meist nicht möglich. Der „Standortwechsel“ kann mit Hilfe der Computer-Maus durchgeführt werden. Für genauere Einschätzungen der Sturkturmerkmale eines Gebirges, kann durch Klicken und Markieren hineingezoomt werden, um dadurch einen genaueren Blick darauf zu bekommen. Dadurch, dass es möglich ist, das 3D Bild zu drehen, wird ein guter Gesamtüberblick über die Trennflächenhäufigkeit und deren Lage gewonnen (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006).

Koordinaten und Entfernungen

Die Grundgrößen beziehen sich auf eine Oberflächenpunktmessung (x,y,z-Koordinaten) und die Bestimmung des euklidischen Abstands zwischen den beliebigen Oberflächenpunkten, die zu einem virtuellen Maßband korreliert werden. Durch das Klicken auf „Maßband“ generiert die "Software" sofort die metrischen Informationen (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006).

Einzelne Orientierungen

Bei jeder Position auf dem 3D-Bild, können durch klicken mit einem bestimmten Cursor (grüner Pfeil), das Einfallen und der Einfallswinkel gemessen werden. Es folgt die eigentliche 3D Form der rekonstruierten Oberfläche. Beim Bewegen des Pfeiles

über die Oberfläche zeigt die generierte Pfeilspitze die tatsächliche Orientierung der Oberfläche an (siehe Abbildung 30) (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006).

Flächen Orientierungen

Mit "areas regions" werden ähnliche geologische Eigenschaften (z.B.: Lithologie oder gleicher Grad der Klüftung) oder gemeinsames Einfallen gekennzeichnet. Wenn der Bereich markiert ist, entsteht eine geschlossene 3D-Polylinie. Ohne Schwierigkeiten ist es möglich, dass der Bereich innerhalb dieser Linie bestimmt wird. Automatisch wird von dem markierten Gebiet die Orientierung errechnet und als Einfallswinkel und Fallrichtung dargestellt. Die Abbildung 31 zeigt ein Beispiel eines markierten Bereichs und die resultierende Oberflächennormale, welche die Orientierung in diesem Sektor anzeigt (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006).

Lineament

Messungen von linearen Gesteinseigenschaften wie Trennflächen, lithologische Grenzen oder geologische Schichten, können auch durch das Markieren dieses Bereichs identifiziert werden. Das Ergebnis dieser Markierungen, ist eine dreidimensionale Polylinie, die aus 3D Oberflächenpunkt Messungen besteht. Wenn die 3D Polylinie eine signifikante Veränderung in der Tiefe zeigt, kann eine Fläche automatisch eingebaut werden. Die Ausrichtung der Einbauebene entspricht der räumlichen Orientierung der Diskontinuität. In Abbildung 32 wird eine 3D Polylinie dargestellt, die eine Diskontinuität markiert. Eine Fläche ist bei der Polylinie eingebaut und zeigt die Orientierung der Kluft (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006). Die Trennflächenparameter wie in Abbildung 29 dargestellt, werden durch das Klicken der rechten Maustaste auf einen ausgewählten "Joint" angezeigt.

Struktur Karten

Charakteristika wie Fugen, Flächen, Orientierungen, sowie die Koordinaten, oder Entfernungen werden in Strukturkarten kombiniert um die ingenieurgeologischen Einheiten darstellen und strukturieren zu können.

Es ist möglich mehrere Messungen auf einmal durchzuführen, so erhält man eine genaue ingenieurgeologische Kartierung des Aufschlusses. In Abbildung 33 sind verschiedene Eigenschaften die gemessen wurden, unter anderem die oben genannten Einzel und Flächen Orientierungen und die "Joints" abgebildet (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006).

Hemisphärische Projektion

Nach dem alle Messungen durchgeführt wurden, gibt es die Möglichkeit alle Daten sofort in einem hemisphärischen Plot darzustellen. Dabei können die einzelnen Scharen ein und ausgeschaltet werden. So wird bestimmt welche Daten angezeigt werden und welche nicht. Dies gibt einem Geotechniker die Möglichkeit, eine kurze Vorschau auf die tatsächlichen Gegebenheiten zu erhalten. In der Abbildung 34 sind die vier Scharen dargestellt, gleichzeitig wird der Durchschnitt der Messungen für jedes Set angezeigt (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006).

Abstand

Weil Orientierungsmessungen den "Joints" zugeordnet sind, ist es möglich den Normalabstand zwischen den Trennflächenspuren innerhalb einer Struktur zu bestimmen. Wahrer Abstand bedeutet dreidimensionale Bestimmung des Abstandes zwischen den anschließenden Diskontinuitäten von einem Set zu bestimmen. Herkömmliche Scanline Probenahme oder Analyse eines einzelnen Bildes führt in der Regel nur auf die scheinbaren Abstände, welche auf der Orientierung der Diskontinuitäten mit der Intersektion der freien Oberfläche beruht (Gaich, Schubert, Pötsch 17-21.06.2006).

The screenshot shows a dialog box titled "Trennflächenspur" with the following fields and values:

- Bezeichnung der Linie: Joint3D 0611
- Teil der Strukturgruppe: StructureSet 01
- Statistik
 - Länge entlang der Oberfläche: 0.54 m
 - Direktabstand zwischen Anfangs- und Endpunkt: 0.43 m
- Orientierungsmessung
 - Fallrichtung: 11.6°
 - Fallwinkel: 86.4°
- Termination
 - Beginn: Verdeckt
 - Ende: Verdeckt

Buttons: OK, Abbrechen

ABBILDUNG 29 TRENNFLÄCHENSPUR

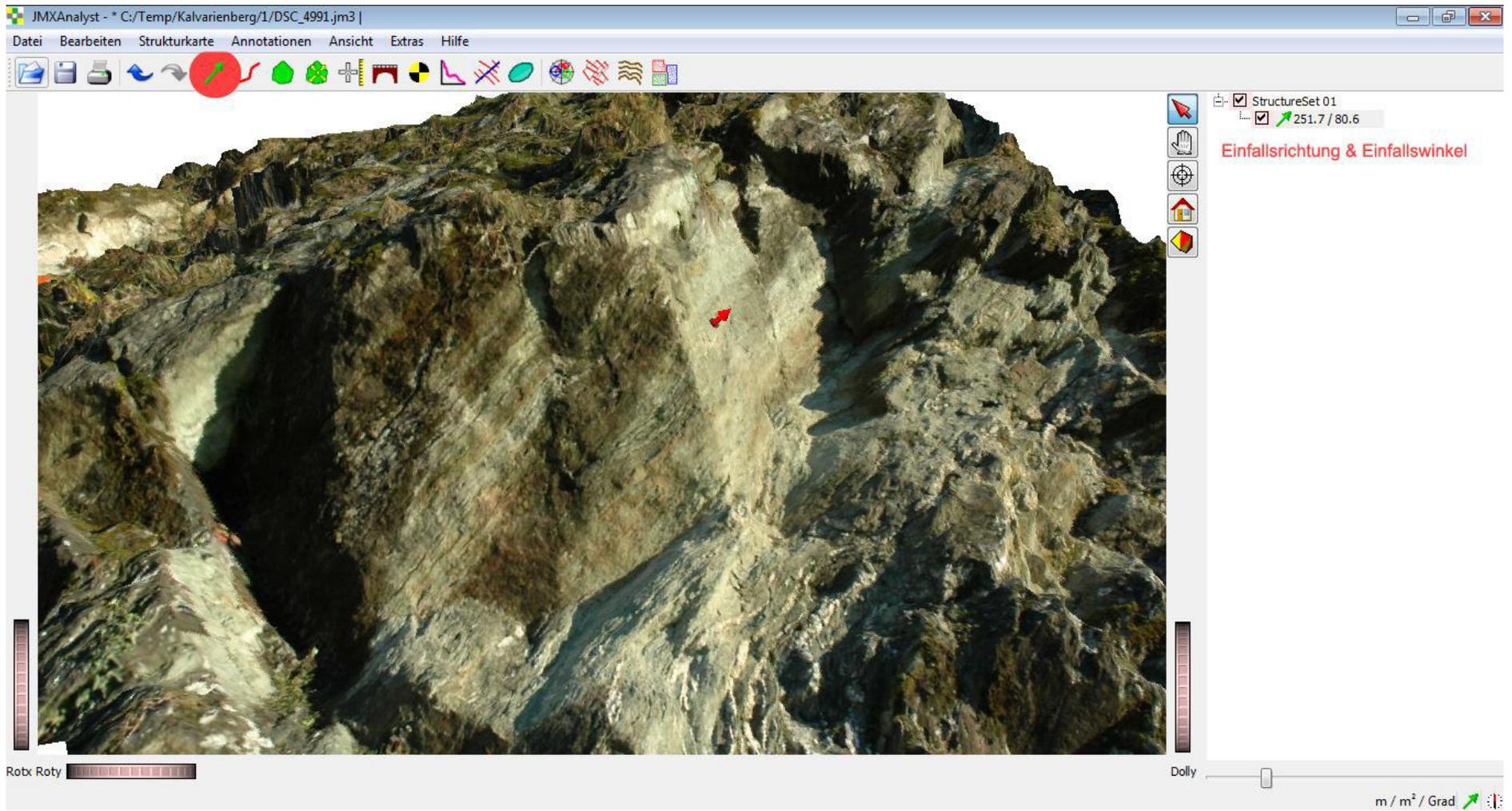


ABBILDUNG 30 ORIENTIERUNGSMESSUNG MIT SHAPEMETRIX3D

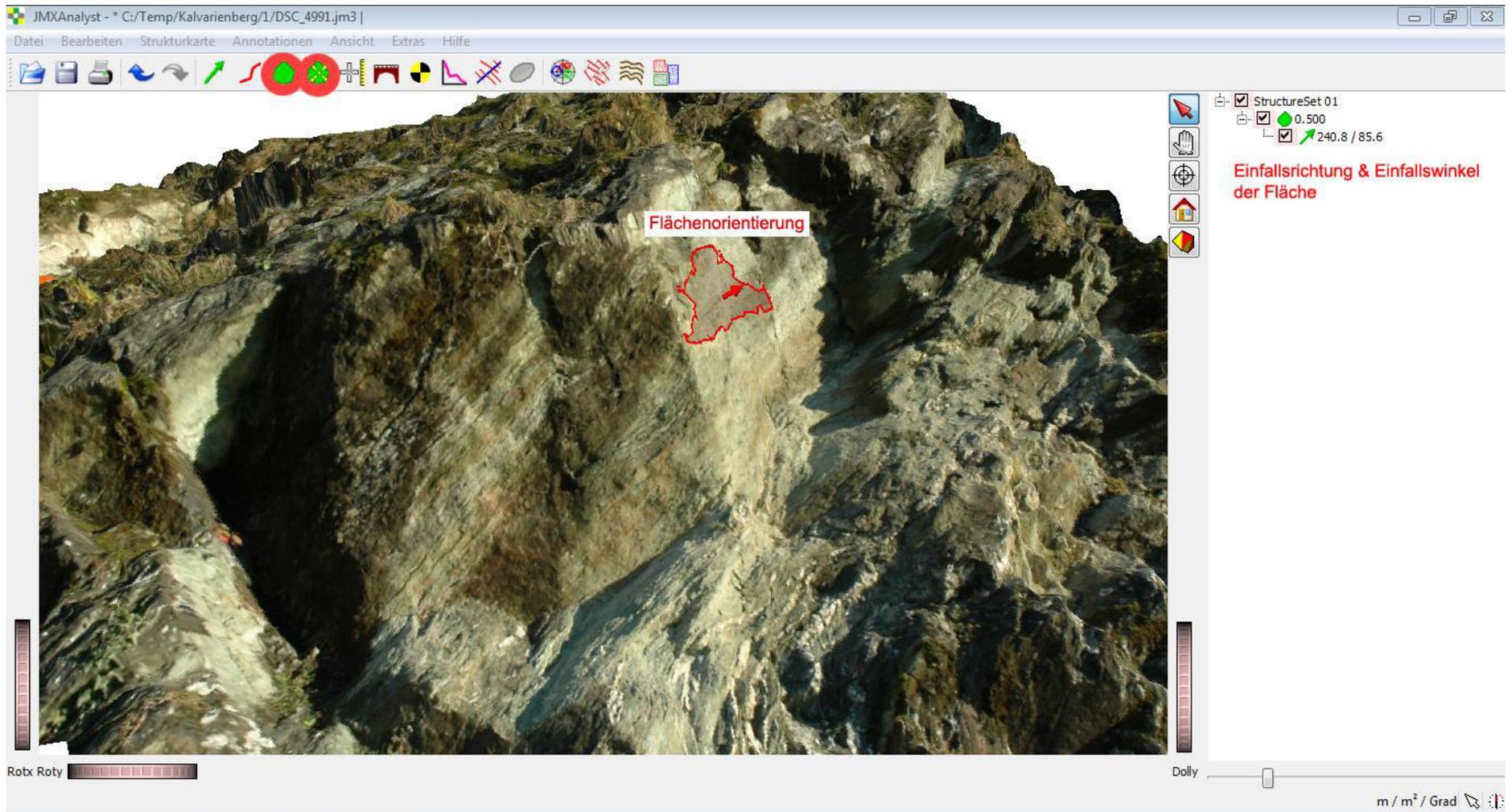


ABBILDUNG 31 FLÄCHEN MIT GLEICHEN EIGENSCHAFTEN-SHAPEMETRIX3D

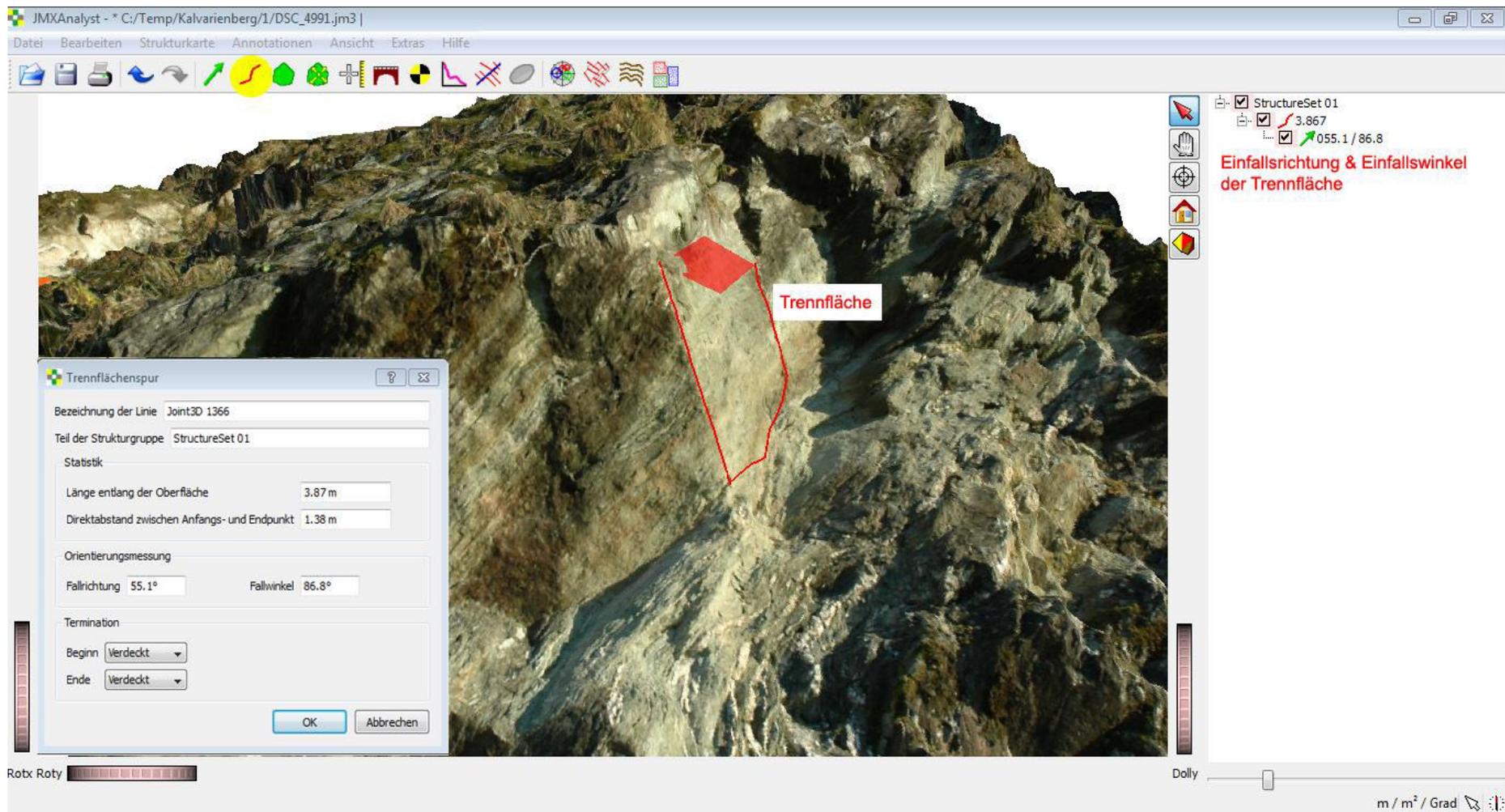


ABBILDUNG 32 JOINT MIT EINGEBAUTER FLÄCHE UND ORIENTIERUNG

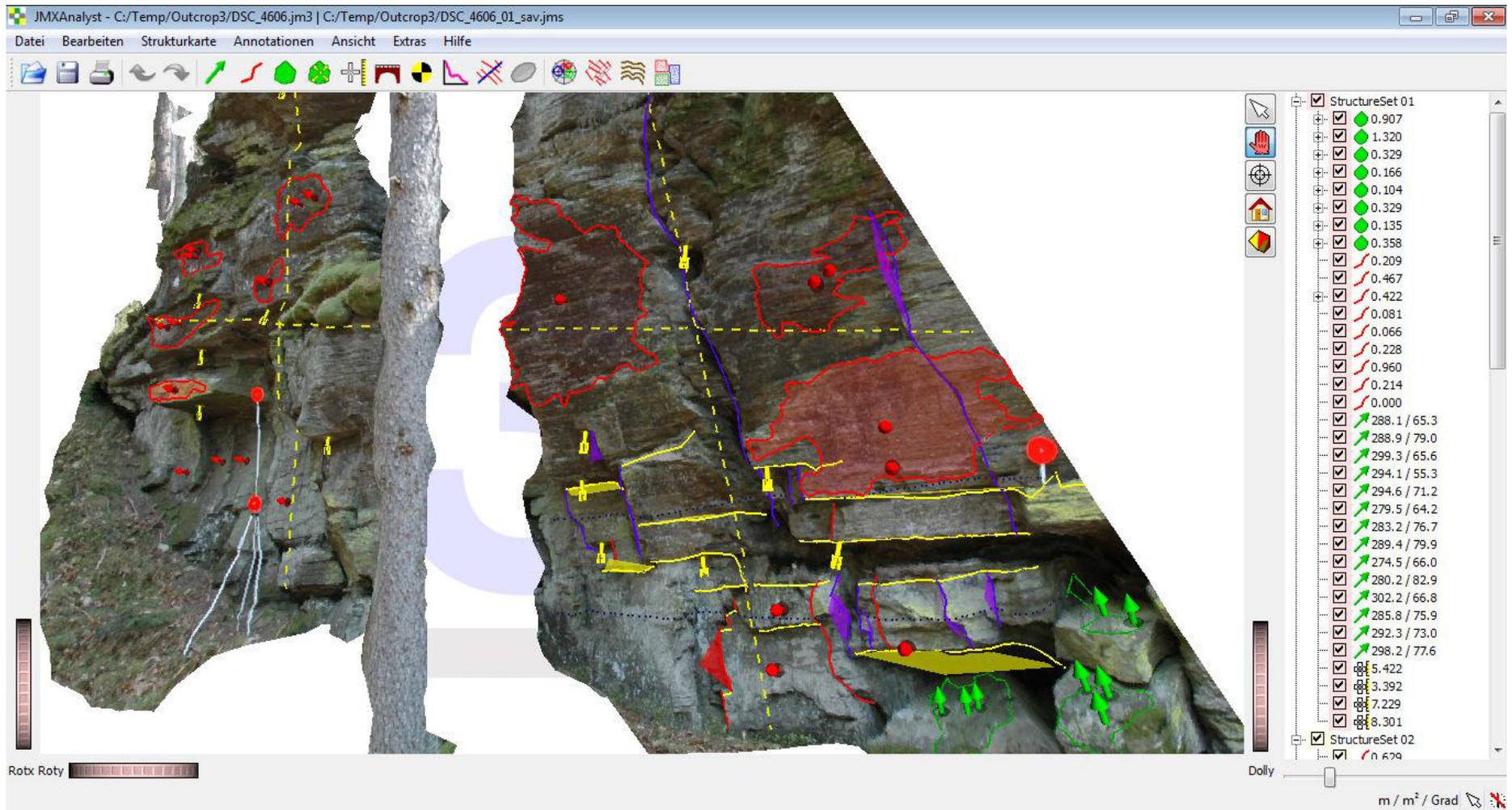


ABBILDUNG 33 GEFÜGEMESSUNGEN

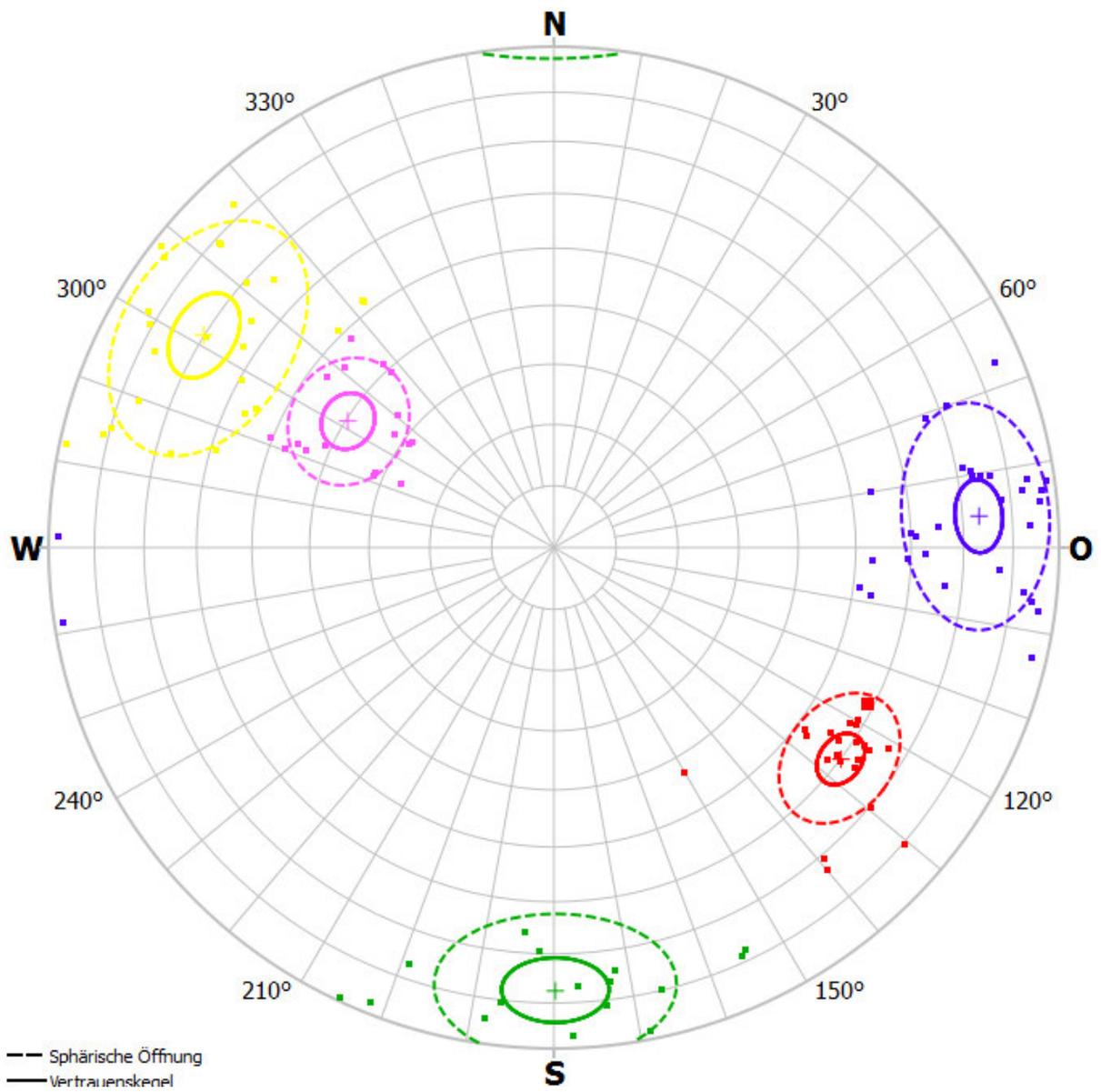


ABBILDUNG 34 HEMISPÄHRISCHE PROJEKTION DER POLPUNKTE

4.2.2.3. PROBLEME DIE SICH IM LAUFE DIESER ARBEIT ERGABEN

Besonders wichtig ist, dass freie Sicht zum Aufnahmebereich hergestellt sein muss. Sollte sich der gewünschte Aufschluss in einem Waldstück befinden, kann es zu großen Problemen bei der Auswertung kommen. Da dieses Programm anders als der Laserscanner, nur mit 2 Fotos arbeitet, die im Nachhinein nicht bearbeitet werden können, stellen Bäume im Bild große Probleme dar. Das Programm schafft es nicht die Bäume in 3D darzustellen, beziehungsweise aus dem Bild zu schneiden. Deshalb wird der Aufschluss in diesen Bereichen stark verzerrt dargestellt und es kommt zur ungenauen Auswertung.

4.3. BLOCK THEORIE

4.3.1. THEORIE

„A BLOCK IS REMOVABLE IF AND ONLY IF THERE IS NO INTERSECTION OF THE EXCAVATION PYRAMID (EP) WITH THE RESPECTIVE JOINT PYRAMID (JP)“ [KIEFFER, 2014].

BEGRIFF-ERKLÄRUNG:

JPs (Joint Pyramid)	Block begrenzt durch natürliche Trennflächen
EPs (Excavation Pyramid)	Blockbereich durch freie Flächen begrenzt
SPs (Space Pyramid)	Komplementär zur den freien flächen
BPs (Block Pyramid)	Ist ein Block der als Durchschnitt von EP und JP definiert ist

[Weber, 2013]

Die Block Theorie ist eine Methode, um herauslösbare Blöcke zu identifizieren und deren Stabilität und Versagensmechanismen abzuschätzen. Als „keyblock“ werden Blöcke bezeichnet, die am ehesten versagen (George & Sitar 2012).

Die Basis der Blocktheorie ist die Idee eines Halbraumes. Dabei werden die Bereiche auf der unteren Hälfte (“lower half space“) mit 1 bezeichnet und um die obere Hälfte zu benennen, wird eine 0 verwendet. Das heißt, der Code gibt an, ob ein Block unter oder über einer Trennfläche liegt (Liu 2014).

Bei Betrachtung des gelb markierten Blocks in Abbildung 35, ist klar erkenntlich, dass dieser über Schar 1 und Schar 2 liegt, also die ersten beiden Werte 0 sind. Jedoch liegt der Block unter Schar 3. Somit beträgt dieser Wert 1. Damit hat der Block einen JP-Code von 001. Die blaue Linie stellt die Projektionsebene dar.

```

RESULTANT
0.0 0.0 1.0
DIP AND DIP DIRECTION
45.0 90.0
45.0 330.0
45.0 210.0
FOCUS TO CENTER
0.0 0.0 -1.0
SUBSET OF PROJECTED PLANES
000

```

■ Schar 1
■ Schar 2
■ Schar 3

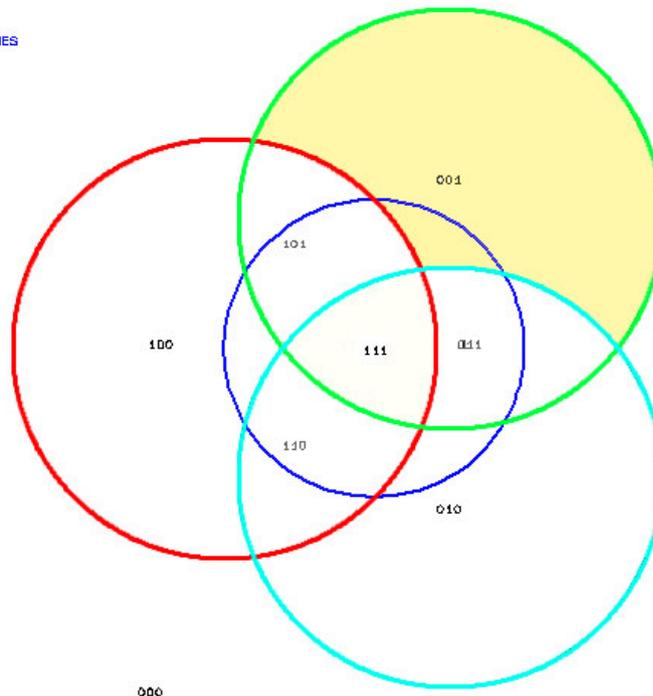


ABBILDUNG 35 UNTERER HEMISPHÄREN-PLOT ZUR VERANSCHAULICHUNG VON JP CODES (PROGRAMM LIU B02)

Die Blocktheorie funktioniert nur unter folgenden Bedingungen:

- Jede Trennfläche ist komplett planar.
- Wenn alle Trennflächen komplett durchgängig sind und sich über das gesamte betrachtete Gebiet erstrecken.
- Wenn Blockdeformation und Blockverzerrung nicht berücksichtigt wird, das heißt, dass die Blöcke als starr angenommen werden.
- Trennflächen und freie Flächen werden als Eingabeparameter festgelegt (Goodman, Shi, 1985).

Um festzustellen welche und wie viele Blöcke vorhanden sind gelten folgende Formeln nach (Liu 2014).

- In der Blocktheorie verschneidet eine EP jede Kluft, aber nicht jede JP.
- Für n Trennflächen gibt es 2^n JPs, das heißt, dass bei 3 Trennflächen 8 verschiedene JPs existieren ($2^3=8$).
- Gleichzeitig kann festgestellt werden, wie viele JPs die freie Fläche EP schneidet ($2 \cdot n$). Also in diesem Beispiel würden 6 JPs die freie Fläche schneiden.

- Wie viele “non-empty” JPs die freie Fläche EP nicht schneiden, kann mit folgender Formel berechnet werden $(n^2-n+2)-2n=n^2-3n+2$.
- Herausfallende finite Blöcke (BPs) sind die Kombination aus EP mit den JPs die im SP (Space Pyramide) liegen. Die Anzahl solcher Blöcke ist genau die Hälfte also $(n^2-3n+2)/2$
- Dann gibt es noch die Blöcke die versagen könnten. Diese werden in 3 Typen eingeteilt:

Typ I “removable keyblock”	Typ II “potential keyblock”	Typ III “stable just under the loading of gravity”
-------------------------------	--------------------------------	---

Die JP muss zur Gänze in der SP liegen, um einen herauslösbaren Block zu erhalten. Während die “Excavation Pyramid” das Gestein repräsentiert, wird der Raum der freien Fläche SP als Übergang zwischen Gestein zu Luft oder Gestein zu Wasser definiert. Unter Annahme erstreckt sich die freie Fläche planar über das ganze Betrachtungsgebiet (George & Sitar 2012).

Mindestens 4 Flächen werden benötigt, um einen Block zum Abrutschen zu bringen. In Abbildung 36 werden die möglichen Flächen genauer veranschaulicht.

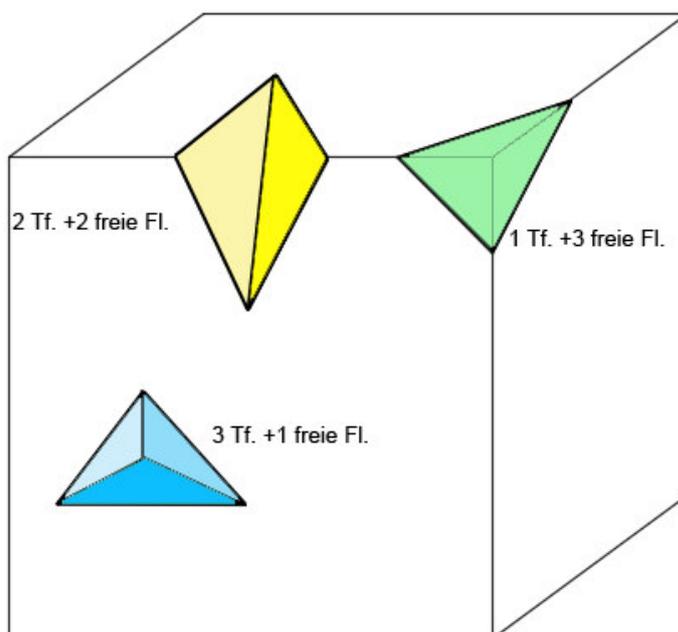


ABBILDUNG 36 MINDESTENS 4 FLÄCHEN FÜR "POTENTIAL KEYBLOCK" WERDEN BENÖTIGT (TF= TRENNFLÄCHE, FL= FLÄCHE) NACH (KIEFFER 2014)

Folgende Beziehungen lassen sich zusammenfassend aufstellen nach (Liu 2014):

- Die "Block pyramid" ist die Schnittmenge aus JP und EP

$$\mathbf{BP = JP \cap EP}$$

- Ein Block ist finit wenn JP kein Teil von EP ist

$$\mathbf{JP \cap EP = \emptyset}$$

- Eine alternative Aussage ist möglich wenn SP als Set von Richtungen definiert wird die komplementär zu EP sind.

$$\mathbf{SP = \sim EP}$$

- Daraus ergibt sich, dass ein Block nur finit ist wenn die JP zur Gänze in der SP enthalten ist.

$$\mathbf{JP \subset EP}$$

4.3.2. VORGEHENSWEISE

Für die Auswertung der Block Theorie nach Goodman & Shi, wurde das Programm B03HPGL.EXE angewandt. Das besagte DOS-Programme wurden von Herrn Prof. Dr. Liu programmiert. Dafür wird Windows XP oder Windows 7 (32-bit) benötigt.

4.3.2.1. BESTIMMUNG DER BLOCKTYPEN

Die Blocktheorie unterscheidet fünf Blocktypen (Abbildung 37 und Abbildung 38). Als "keyblock" werden potentiell instabile, finite und ablösbare Blöcke bezeichnet. Im Gegensatz zu den finiten Blöcken stellt der infinite Block Typ V keine Gefahr dar. Typ V ist gleich wie der finite Block Typ IV nicht ablösbar, da er von anderen Blöcken eingeschlossen ist. Die auslösbaren Blöcke werden in 3 Gruppen unterteilt. Der Block Typ III ist auch ohne Reibung stabil, da er im Bezug auf die Kräfte eine sehr vorteilhafte Orientierung hat. Der Block Typ II ist ein potentieller "keyblock", dies bedeutet, dass der Block nur bei extrem niedrigen Reibungswiderständen auf den Gleitebenen, oder durch hohe Auflast instabil ist. Ein "keyblock" ist durch seine Lage im Gebirgsverband so ungünstig orientiert, dass er ohne erforderliche Stützmaßnahmen aus dem Gebirge heraus fallen wird (Auzinger 2014).

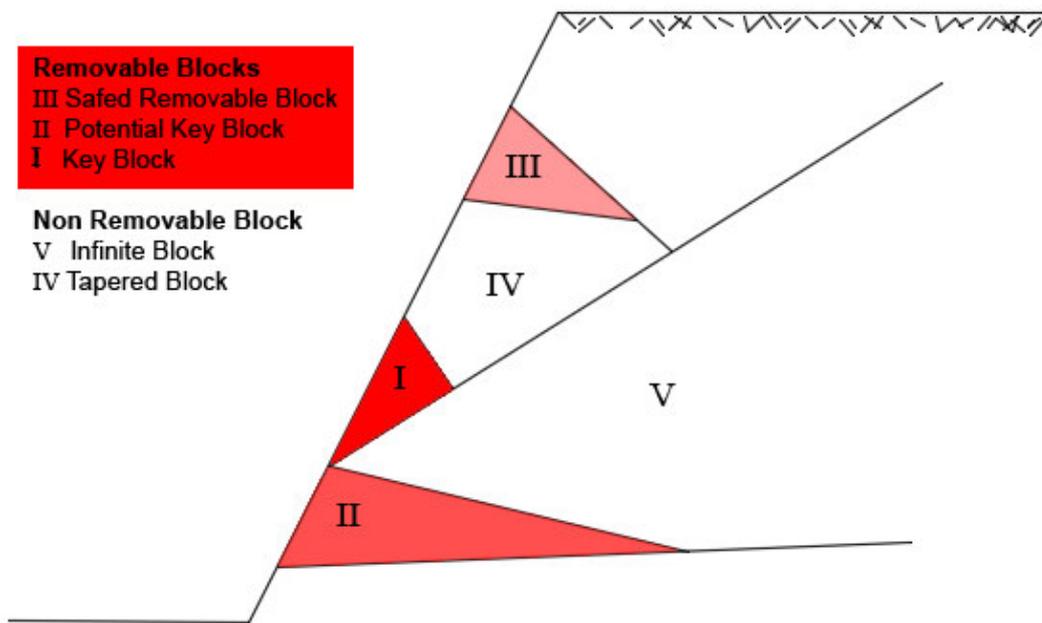


ABBILDUNG 37 DARSTELLUNG DER BLOCKTYPEN, NACH [LIU, 2014]

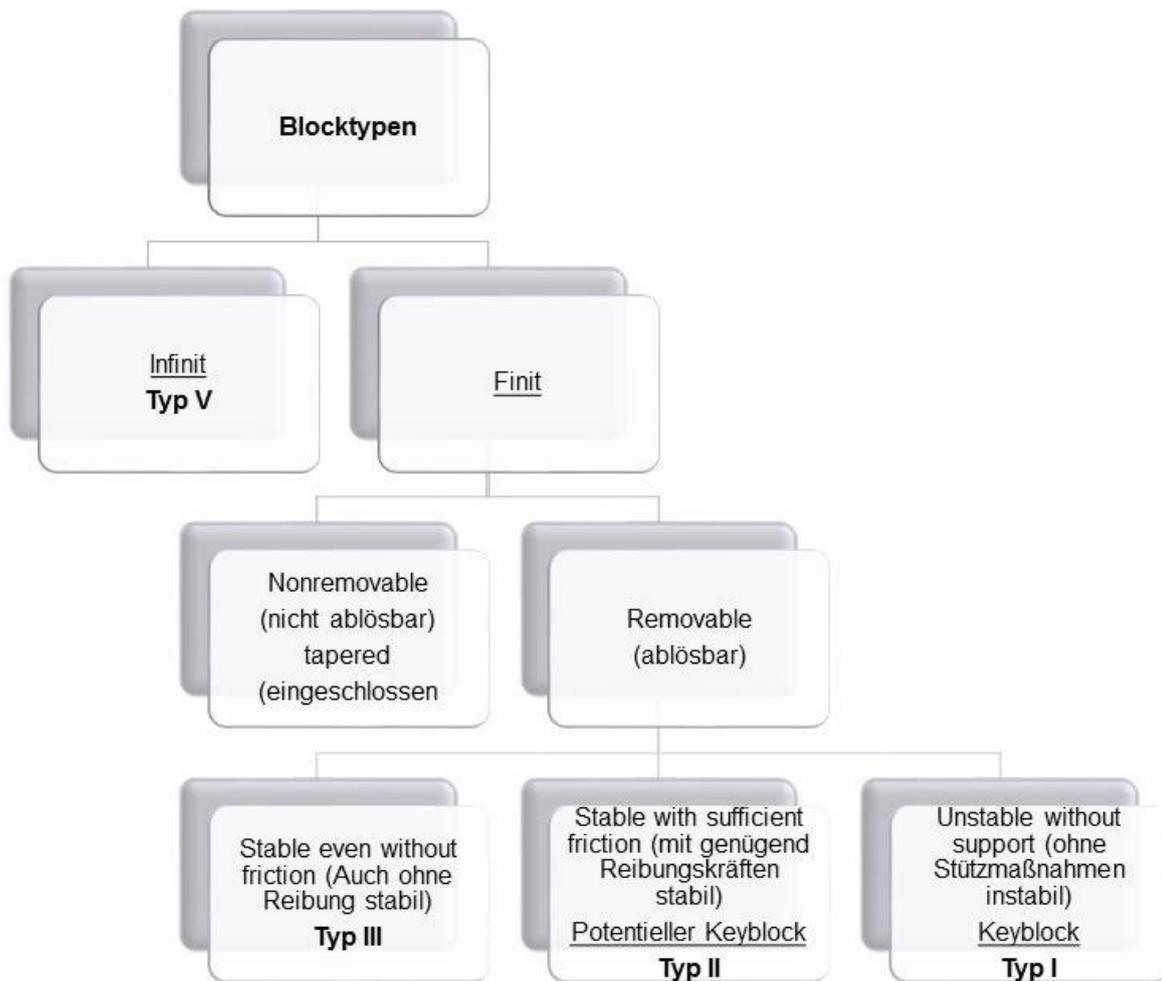


ABBILDUNG 38 BLOCKTYPEN EINTEILUNG NACH [LIU, 2014]

4.3.2.2. IDENTIFIZIERUNG INSTABILER BLÖCKE UND BESTIMMUNG DER JP UND EP CODES

IDENTIFIZIERUNG INSTABILER BLÖCKE

Um instabile Blöcke zu identifizieren, wurde das Programm "B02HPGL.EXE" benutzt. Zuerst wurden die Aufschlüsse in ShapeMetriX und auf den Fotos nach potentiellen „keyblocks“ durchsucht. Nach dem Bestimmen der Blöcke, wurden die Orientierungsdaten der Trennflächen und der freien Flächen gemessen und notiert. Um später bei der Auswertung im Programm die (Einfallrichtung und Winkel) eingeben zu können. Als Ergebnis werden Großkreise der Trennflächen und freien Flächen dargestellt und mit den jeweiligen JP-Codes versehen. Anhand solcher Darstellungen können potentiell instabile Blöcke und die Versagensmechanismen identifiziert werden. Potentielle „keyblocks“ können ermittelt werden, wenn deren JP zur Gänze in der SP enthalten ist.

Die Ausgabedatei des Programms B02HPGL.EXE ist eine plt Datei, welche anschließend mit dem Programm „SPLOT“ als hpg-Dateien exportiert wird. Es werden automatisch 2 Plots erstellt, wobei der erste Plot die Großkreise der Trennflächen und freien Flächen und die JP-Codes zeigt. Am zweiten Plot werden die Großkreise der Trennflächen und freien Flächen dargestellt. Durch die Zahlen erschließen sich die Versagenstypen der Blöcke. Die Zahl 12 würde zum Beispiel bedeuten, dass die Trennflächen eins und zwei beteiligt sind (Auzinger 2014).

BESTIMMUNG DES BP CODES

Ein Block entsteht durch die Verschneidung von mindestens 4 Flächen und wird daher von Trennflächen und freien Flächen begrenzt. Der JP-Code gibt die Position in Bezug auf die Trennfläche wieder, wobei der EP-Code die freien Flächen in Bezug zu den Trennflächen widerspiegelt. JP und EP setzten den "half-space-code" BP zusammen.

Für den Block 1 (vgl. Abbildung 67, Abbildung 68 und Abbildung 69) ergibt sich daher ein JP

- Block 1 liegt unter Trennfläche 1 (137,71) → 1
- Block 1 liegt über Trennfläche 2 (195,69) → 0

Um den EP Code zu erhalten, werden freie Flächen betrachtet

- Block 1 liegt unter der freien Fläche 3 (30,54) → 1
- Block 1 liegt über der freien Fläche 4 (91,70) → 0

Daraus ergibt sich ein **BP von 1010**.

Der Block im 3D Modell, beziehungsweise am Foto ist mit dem Code 1010 klar identifiziert. Die Bestimmung aller anderen Blöcke erfolgt nach dem gleichen Prinzip.

Mit dieser Methode lässt sich der BP Code bestimmen, ohne das Programm B02 zu verwenden. Diese Methode zu beherrschen ist wichtig, da somit im Gelände sehr schnell beurteilt werden kann, ob es sich hierbei um einen gefährlichen Block handelt oder nicht.

4.3.2.3. BERECHNUNG DES VOLUMENS

Die Volumsberechnung irregulärer Kluftkörper erfolgt mit dem DOS-Programm B03HPGL.EXE. Zusätzlich zum Volumen wird mit diesem Programm die Blockform dargestellt. Für die Berechnung wurden die Trennflächenabstände, ausgewählter Blöcke, herangezogen. Die Abstände wurden mit dem Programm ShapeMetriX3D gemessen.

Die Berechnung des Volumens ist insofern wichtig, da mit dem Volumen und der Dichte des Gesteins, das Gewicht berechnet werden kann. Dieser Wert wird oftmals von Bauingenieuren benötigt.

4.4. REGELMÄSSIGKEITSBEDINGTE BESTIMMUNG VON KLUFTKÖRPER

Die Blockgröße ist der wichtigste Parameter für die Ermittlung der Festigkeit und der Stabilität eines Gebirges. Da nicht alle Aufschlüsse gleich bearbeitet werden können, werden in diesem Kapitel 2 verschiedene Methoden näher diskutiert.

Um das Blockvolumen mit der Formel nach Cai et.al (2004) zu bestimmen, müssen alle Scharen klar identifizierbar sein. In dieser Arbeit kann nur Aufschluss 1 mit dieser Methode bearbeitet werden. Da bei fein strukturierten Kalken wie sie am Plabutsch und am Kalvarienberg zu finden sind, keine scharbezogene Regelmäßigkeit aufweisen. Deshalb wurde das von Herrn Prof. Dr. Liu programmierte Programm „B03HPGL.EXE“, für die nicht klar identifizierbaren Scharen bei Aufschluss 3 verwendet.

FÜR DIE BERECHNUNG DES BLOCKVOLUMENS IN AUFSCHLUSS 1 GELTEN FOLGENDE FORMELN:

Zur Berechnung der Abstände gelten folgende Formeln nach Liu (2014)

$$\bar{d}_s = \sum_{s=1}^n \frac{d_s}{n}, \text{std}_{d_s} = \left[\sum_{s=1}^n (d_s - \bar{d}_s)^2 / (n - 1) \right]^{1/2}$$

d_s = Mittelwert der Abstände in Scanline Richtung

n = Anzahl der gemessenen Abstände

mit einem Konfidenzintervall von 95%

$$\bar{d}_s \pm 1,96 \cdot \frac{\text{std}_{d_s}}{\sqrt{n}}$$

$$\lambda_s = 1/\bar{d}_s$$

λ_s = die Häufigkeit entlang der Scanline Richtung

Die Abstände von einer Schar entlang der Normalen werden wie folgt berechnet:

$$\bar{d}_n = \bar{d}_s \cdot \cos\delta$$

Wobei sich der Winkel δ zwischen der Scanline Orientierung (α_s, β_s) und der Set Normalen (α_n, β_n) wie in Abbildung 12 zu sehen ist.

$$\cos\delta = |\cos(\alpha_s - \alpha_n) \cdot \cos\beta_s \cdot \cos\beta_n + \sin\beta_s \cdot \sin\beta_n|$$

“Volumetric joint count” (J_v) (Palmström 1995)

Der “Volumetric joint count“ wird definiert durch die Anzahl der Klüfte, die sich innerhalb eines Quadratmeters schneiden.

$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_3 + \dots + 1/S_n$$

S_1, S_2, \dots, S_n sind die mittleren Abstände der Klufscharen.

Die Klassifikation von J_v wird in Tabelle 19 dargestellt und Teilt diesen in die sechs verschiedene Klassen, von sehr niedrig zu zerstört ein.

	Sehr niedrig	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	zerstört
$J_v =$	< 1	1-3	3-10	10-30	30-60	>60

TABELLE 19 GRAD DER ZERKLÜFTUNG

Blockvolumen nach Palmström (1995) und Cai (2004)

Weiters, ist der Grad der Zerklüftung J_v in Bezug mit dem Block Volumen V_b .

$$V_{b0} = \beta \cdot J_v^{-3} \quad \text{wobei } \beta \text{ der Blockform Faktor ist } \beta = 20 + 7(e_3/e_1)$$

$$\text{Eckenlänge}(e_3 > e_2 > e_1)$$

Die generelle Form lautet

$$V_b = \beta \cdot J_v^{-3} \cdot \frac{1}{\sin\gamma_1 \cdot \sin\gamma_2 \cdot \sin\gamma_3}$$

γ_s sind die Winkel zwischen den Scharen.

Falls drei oder mehrere persistente Scharen vorhanden sind kann das Blockvolumen mit der folgenden Formel berechnet werden (Cai et.al 2004, Palmström 1995).

$$V_b^0 = \frac{s_1 \cdot s_2 \cdot s_3}{\sin\gamma_1 \cdot \sin\gamma_2 \cdot \sin\gamma_3}$$

s_i ist der Abstand der Klüfte und γ_i ist der Winkel zwischen den einzelnen Scharen.

Für impersistente Klüfte wird die Formel mit p_i erweitert. Der p_i Wert ist der Durchtrennungsgrad der Klüfte und wird in Prozent angegeben.

$$p_i = \begin{cases} \bar{l}_i & \bar{l}_i < L \\ L & \bar{l}_i \geq L \\ 1 & \end{cases}$$

Somit lautet die erweiterte Formel wie folgt:

$$V_b^0 = \frac{s_1 \cdot s_2 \cdot s_3}{\sqrt[3]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3} \cdot \sin\gamma_1 \cdot \sin\gamma_2 \cdot \sin\gamma_3}$$

Für die Berechnung des GSI wurden folgende Formeln verwendet nach Liu (2014) und Cai (2004).

Fracture surface condition J_c

$$J_c = \frac{J_w \cdot J_s}{J_A}$$

J_c = Oberflächenkondition

J_s = Rauigkeit "Roughness"

"fracture surface condition"

J_A = Verwitterung "Alteration"

J_w = Welligkeit "Waviness"

Geological Strength Index (Cai et.al 2004)

$$GSI = \frac{26.5 + 8.79 \ln J_c + 0.9 \ln V_b}{1 + 0.0151 \ln J_c - 0.0253 \ln V_b}$$

GSI= Geological Strength Index

J_c = Oberflächenkondition "fracture surface condition"

V_b = Block Volumen

DIE AUSWERTUNG DES BLOCKVOLUMENS VON AUFSCHLUSS 3 ERFOLGTE MIT DEM PROGRAMM B03HPGL.EXE.

Die Berechnungsmethode wurde auf Seite 63 genauer erläutert.

5. ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden alle Ergebnisse der Auswertungen dargestellt.

5.1. AUFSCHLUSSFOTOS UND SHAPEMETRIX 3D AUSWERTUNG UND ORIENTIERUNGSMODELL

Die Aufschluss Foto wurden zum Erstellen eines 3D Modells verwendet. Mit dem besagtem Modell wurde die Berechnung des Blockvolumens durchgeführt.

In den Abbildung 39- Abbildung 64 werden die Aufschlüsse einzeln dargestellt. Für Aufschluss 1 und 3 wird ein gewöhnliches Foto, die Auswertung des 3D Modells mittels ShapeMetriX, inklusive angepassten Trennflächen und das Orientierungsmodell dargestellt. Aufschluss 2 wurde nur zur Veranschaulichung der unregelmäßigen Scharen dargestellt, siehe Abbildung 54 und Abbildung 55.

5.1.1. FOTOS, 3D MODELL UND ORIENTIERUNG MARHOF (AUFSCHLUSS 1)

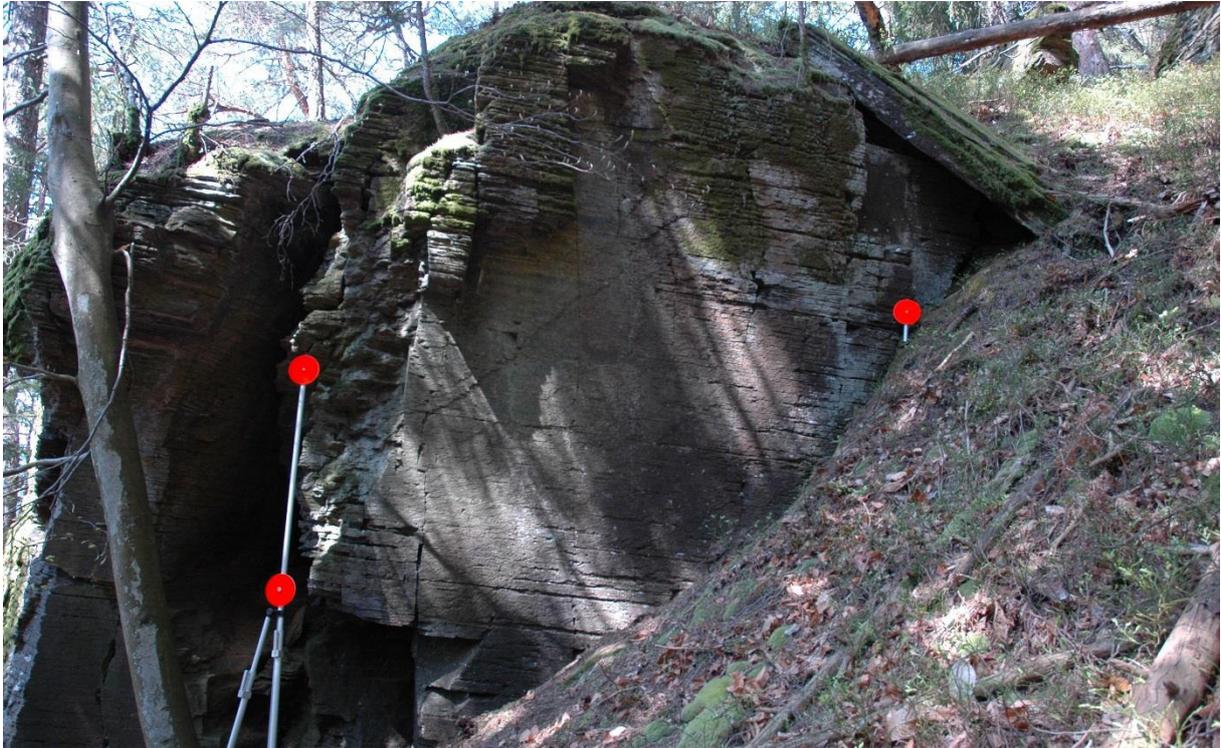


ABBILDUNG 39 AUFSCHLUSS1_1

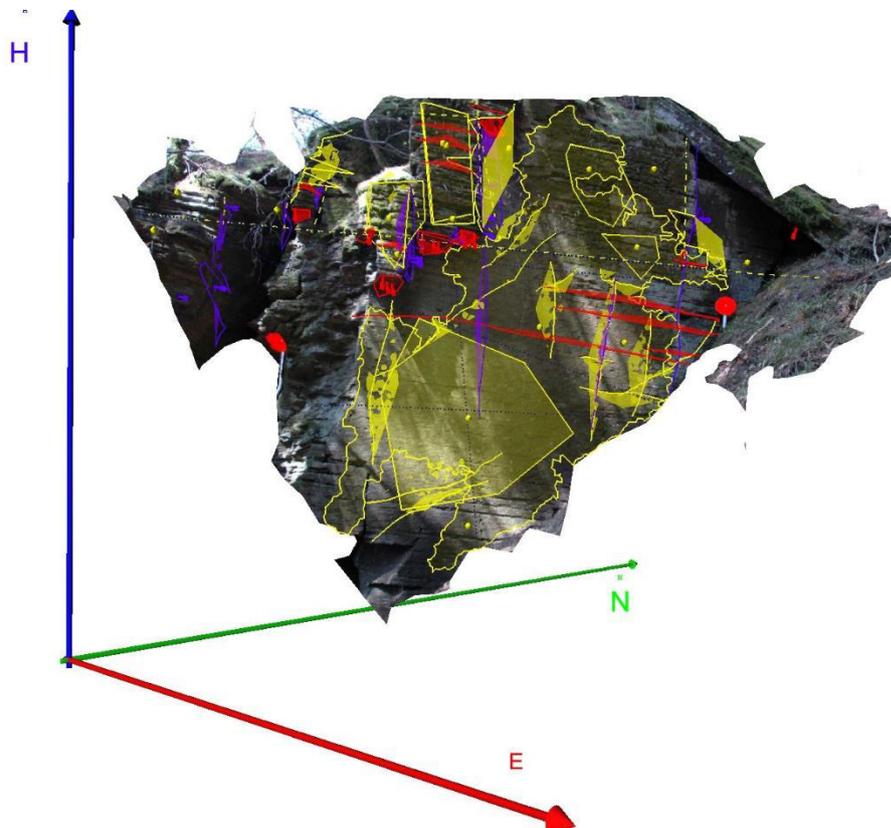


ABBILDUNG 40 SHAPEMETRIX AUSWERTUNG AUFSCHLUSS 1_1

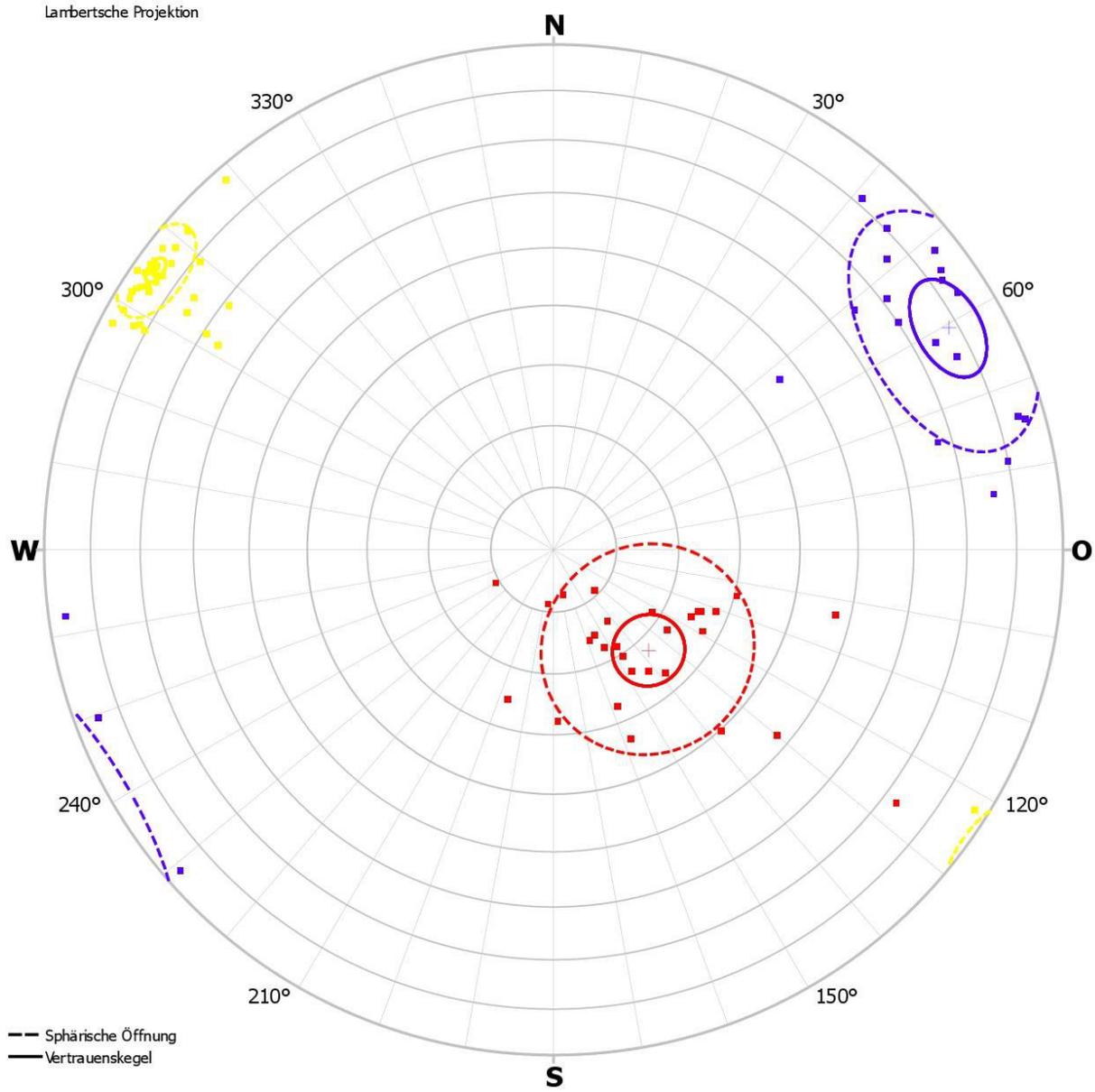


ABBILDUNG 41 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 1_1



ABBILDUNG 42 AUFSCHLUSS 1_2

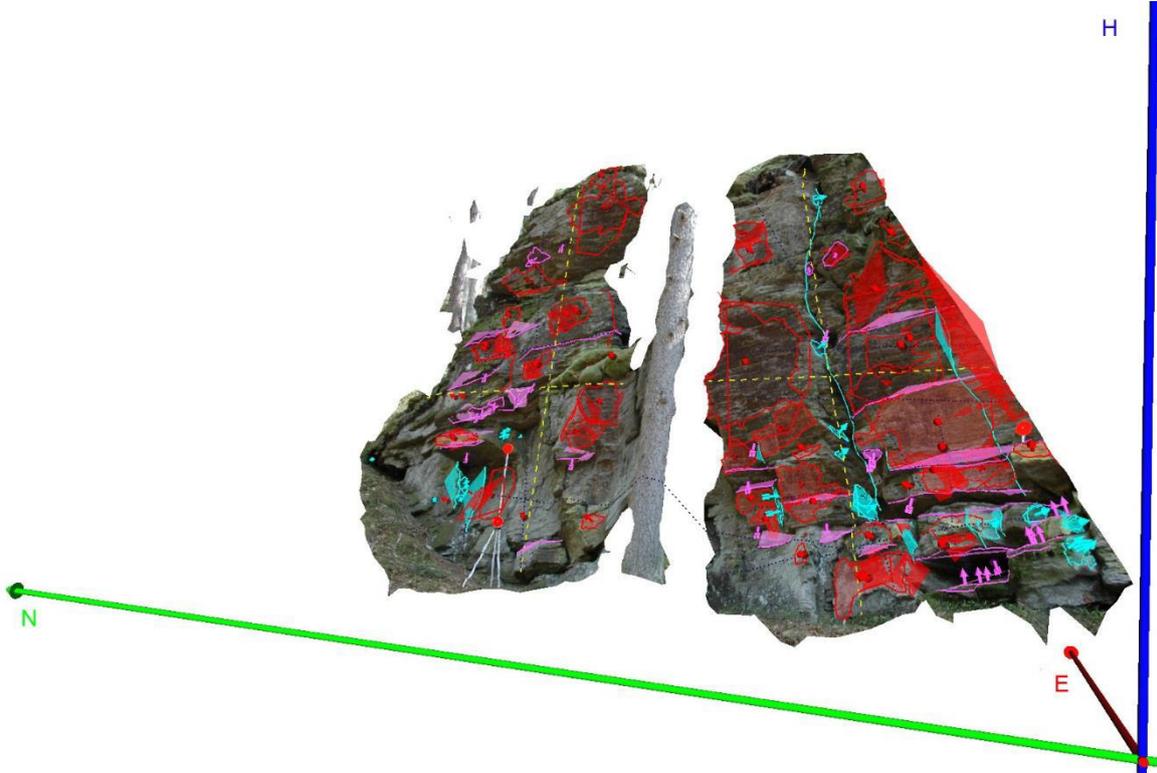


ABBILDUNG 43 SHAPEMATRIX AUSWERTUNG AUFSCHLUSS 1_2

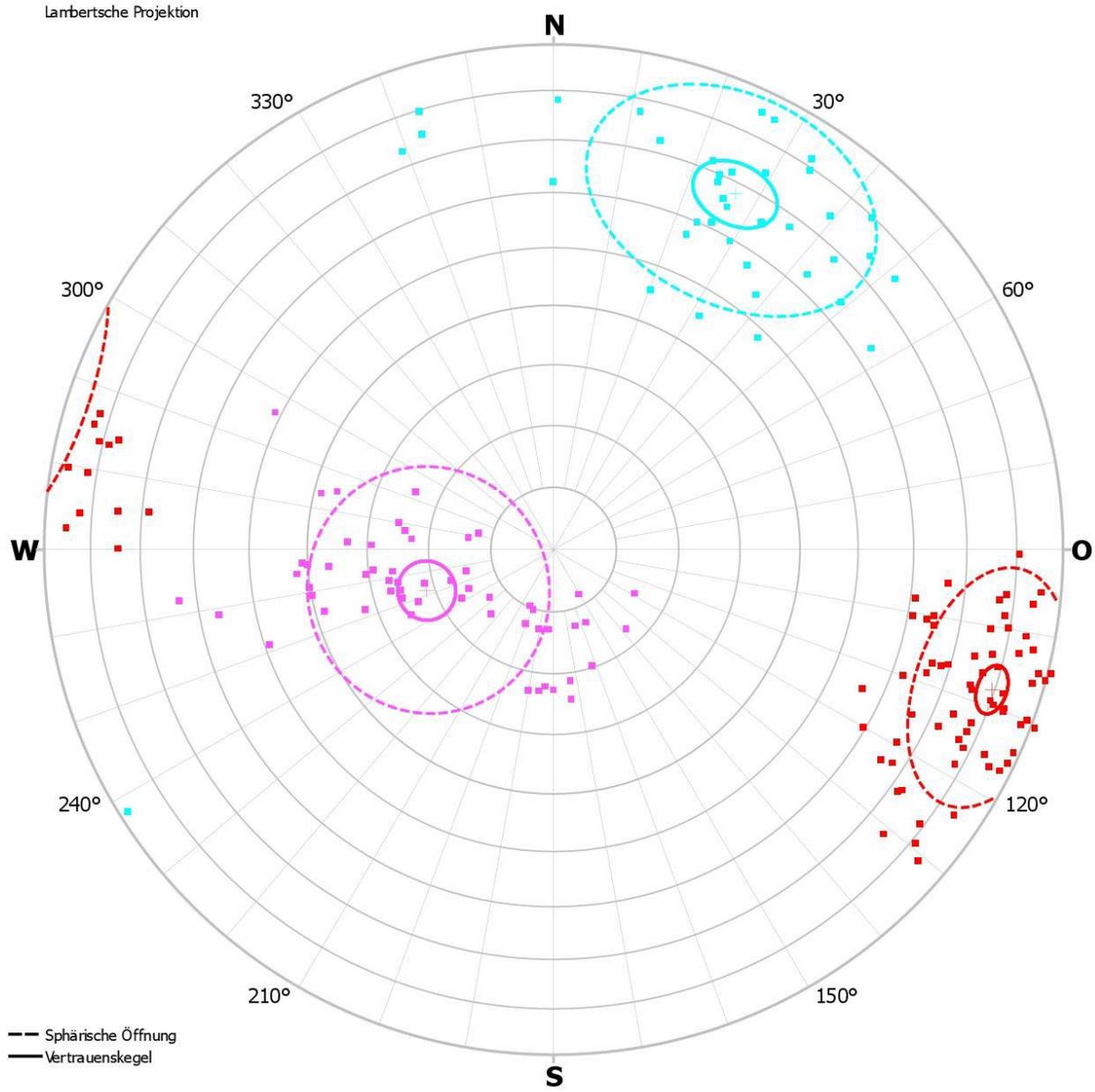


ABBILDUNG 44 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 1_2



ABBILDUNG 45 AUFSCHLUSS 1_3

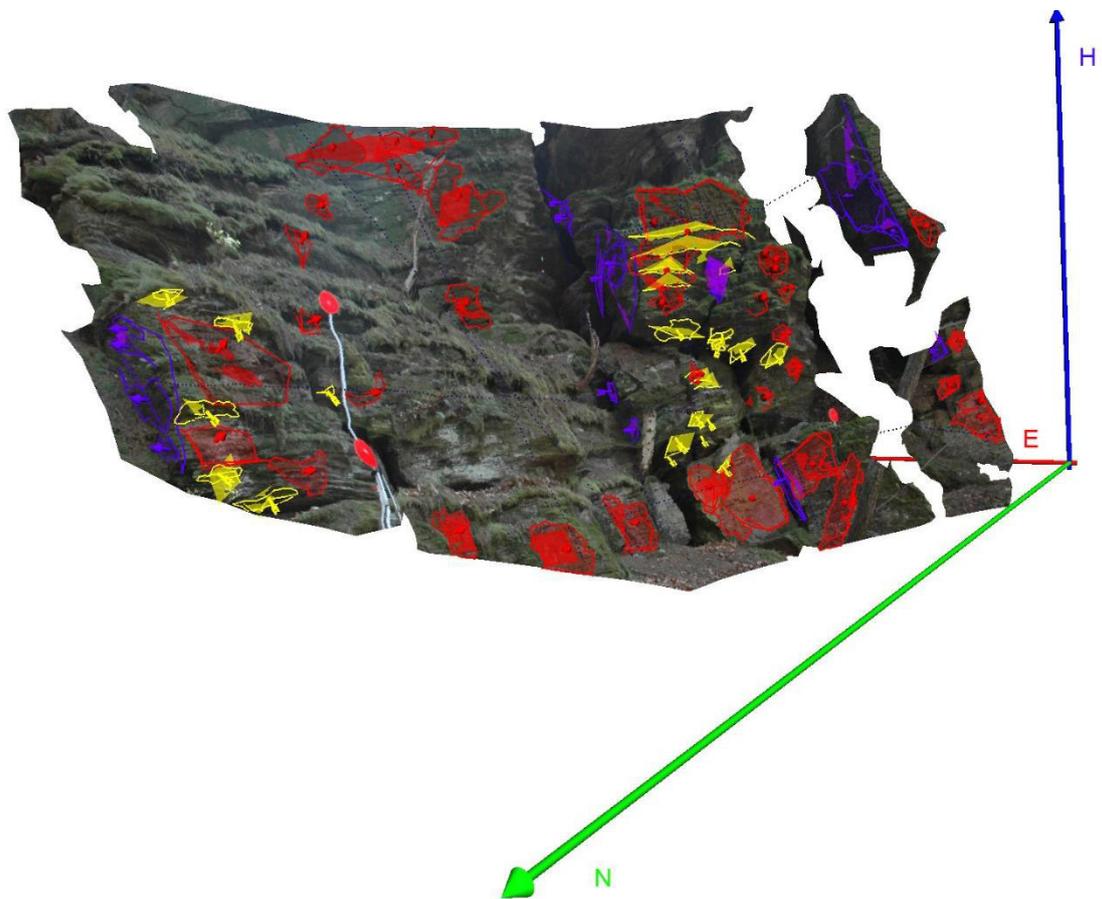


ABBILDUNG 46 SHAPEMATRIX AUSWERTUNG AUFSCHLUSS 1_3

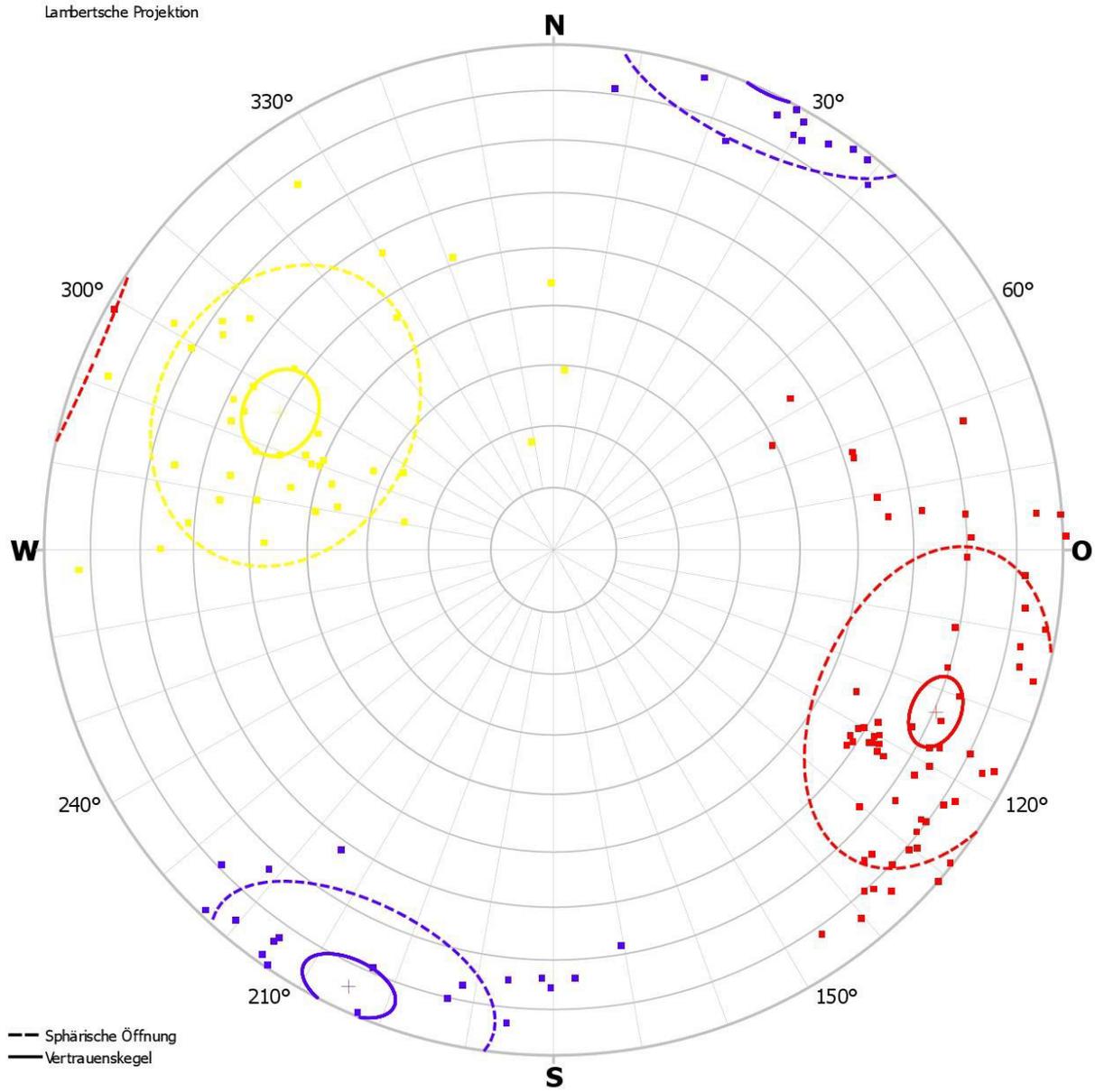


ABBILDUNG 47 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 1_3



ABBILDUNG 48 AUFSCHLUSS 1_4

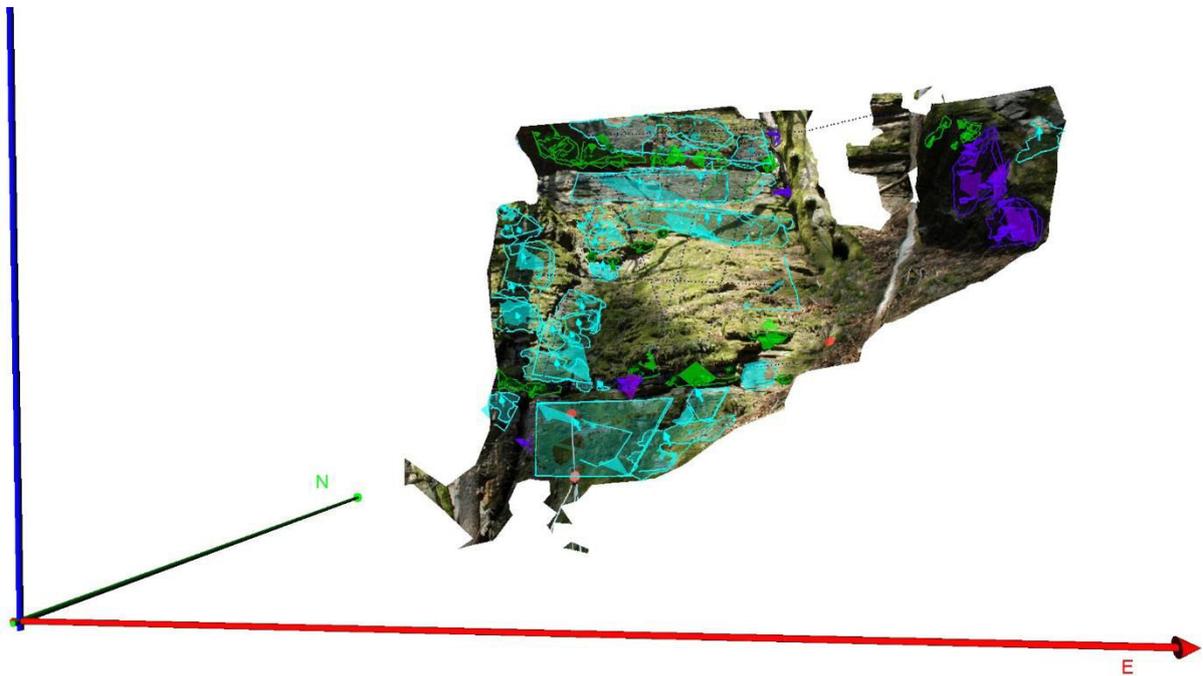


ABBILDUNG 49 SHAPOMETRIX AUSWERTUNG AUFSCHLUSS 1_4

Lambertsche Projektion

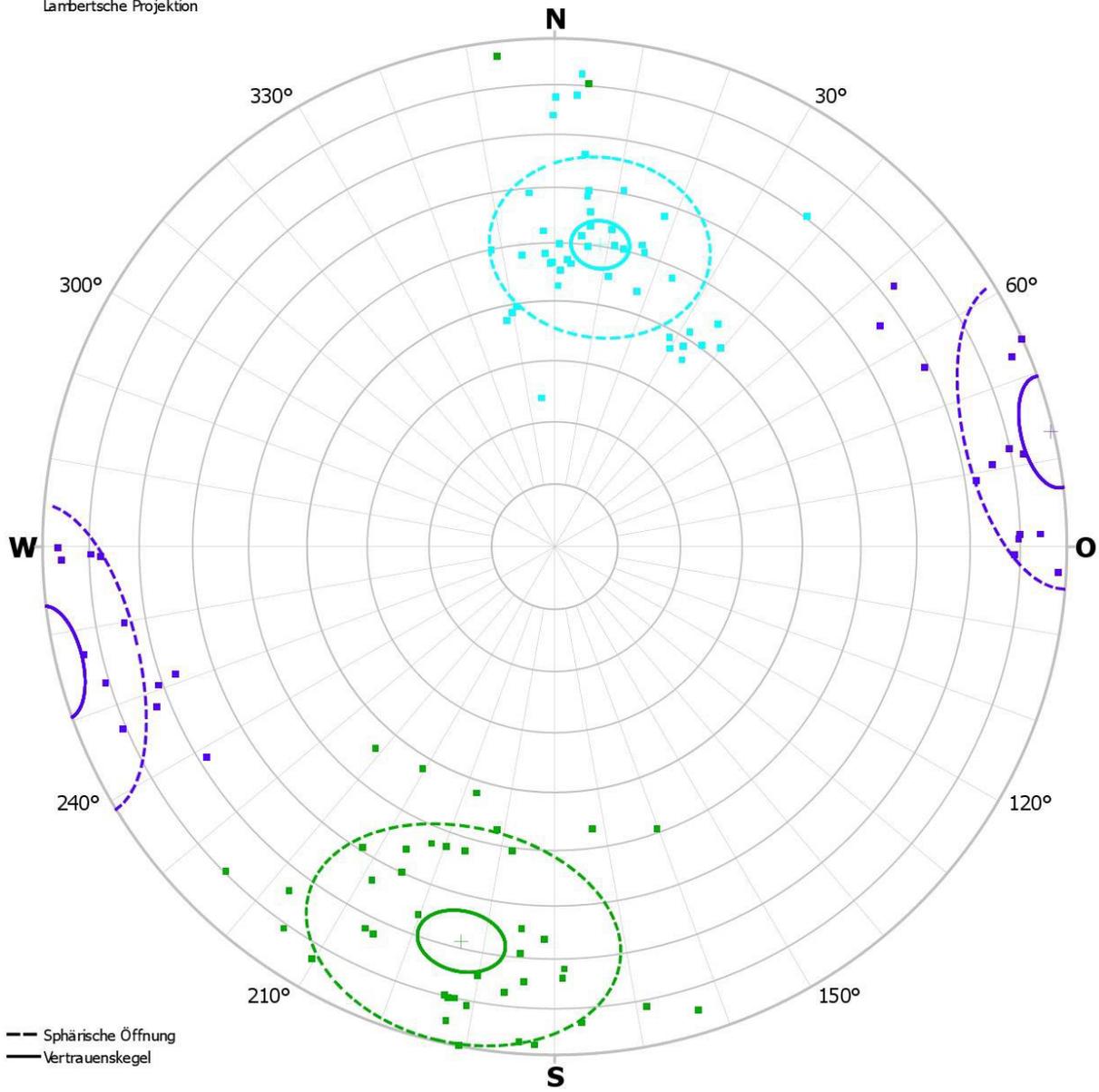


ABBILDUNG 50 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 1_4



ABBILDUNG 51 AUFSCHLUSS 1_5

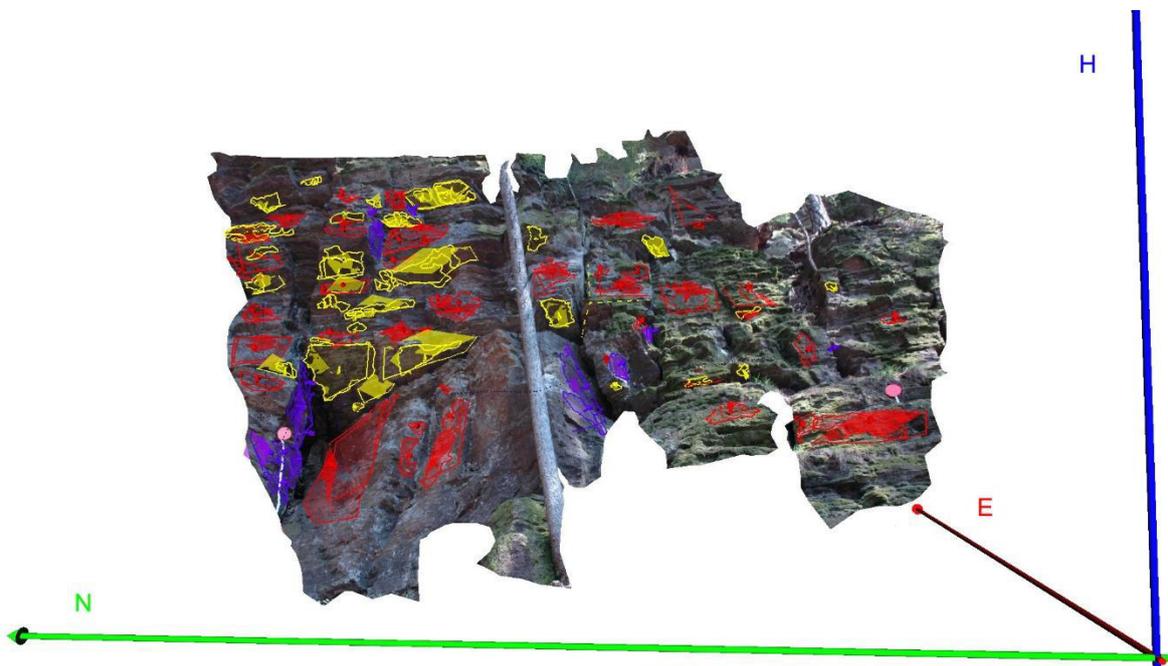


ABBILDUNG 52 SHAPEMATRIX AUSWERTUNG AUFSCHLUSS 1_5

Lambertsche Projektion



ABBILDUNG 53 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 1_5

5.1.2. AUFSCHLUSSFOTOS PLABUTSCH (AUFSCHLUSS 2)



ABBILDUNG 54 AUFSCHLUSSFOTO 2_1 ZUM BESSEREN VERSTÄNDNIS DER SCHAR-REGELMÄßIGKEITEN. BEI DIESEM AUFSCHLUSS SIND DIE KLUFTSCHAREN SEHR SCHWER ZU IDENTIFIZIEREN.



ABBILDUNG 55 AUFSCHLUSSFOTO 2_2 (MASSBAND = 1 METER)

5.1.3. FOTOS, 3D MODELL UND ORIENTIERUNG KALVARIENBERG (AUFSCHLUSS 3)



ABBILDUNG 56 AUFSCHLUSS 3_1 KALVARIENBERG GRAZ, UNREGELMÄßIGE SCHAREN

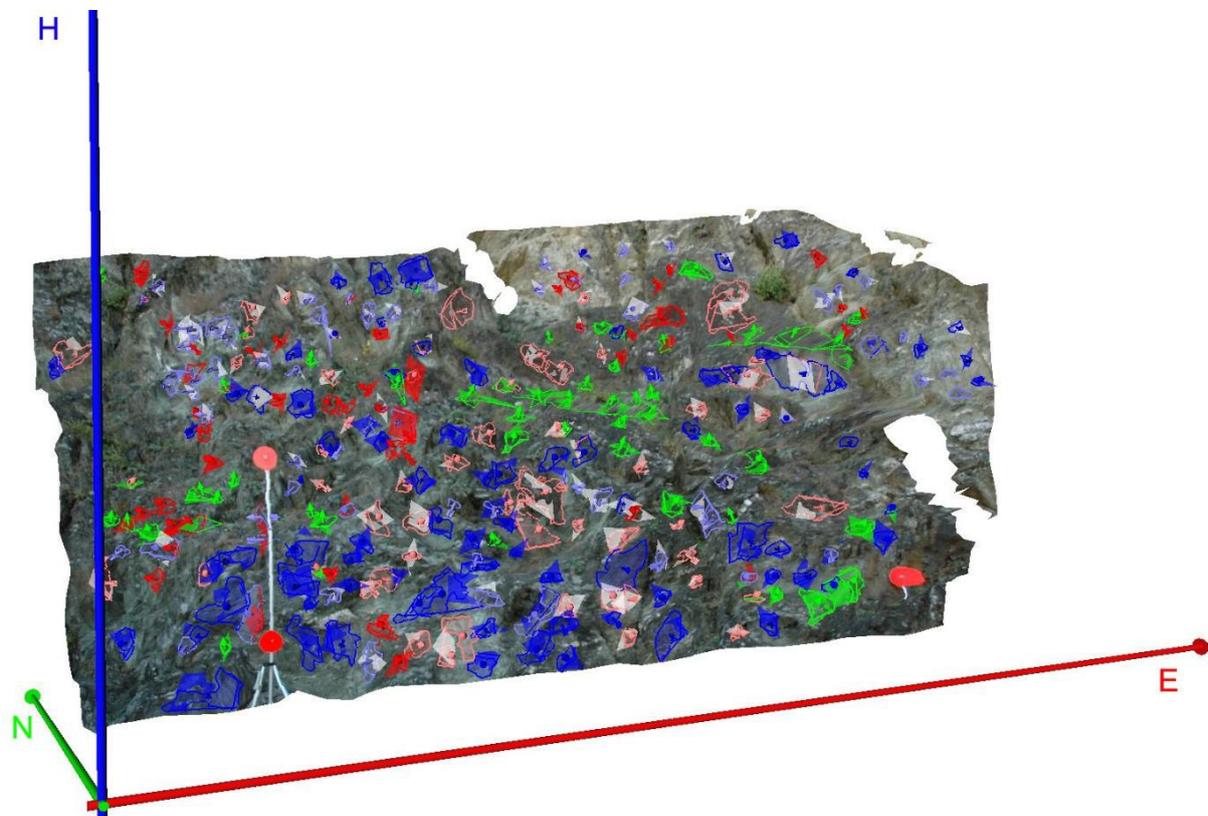


ABBILDUNG 57 AUFSCHLUSS 3_1 SHAPOMETRIX AUSWERTUNG

Lambertsche Projektion

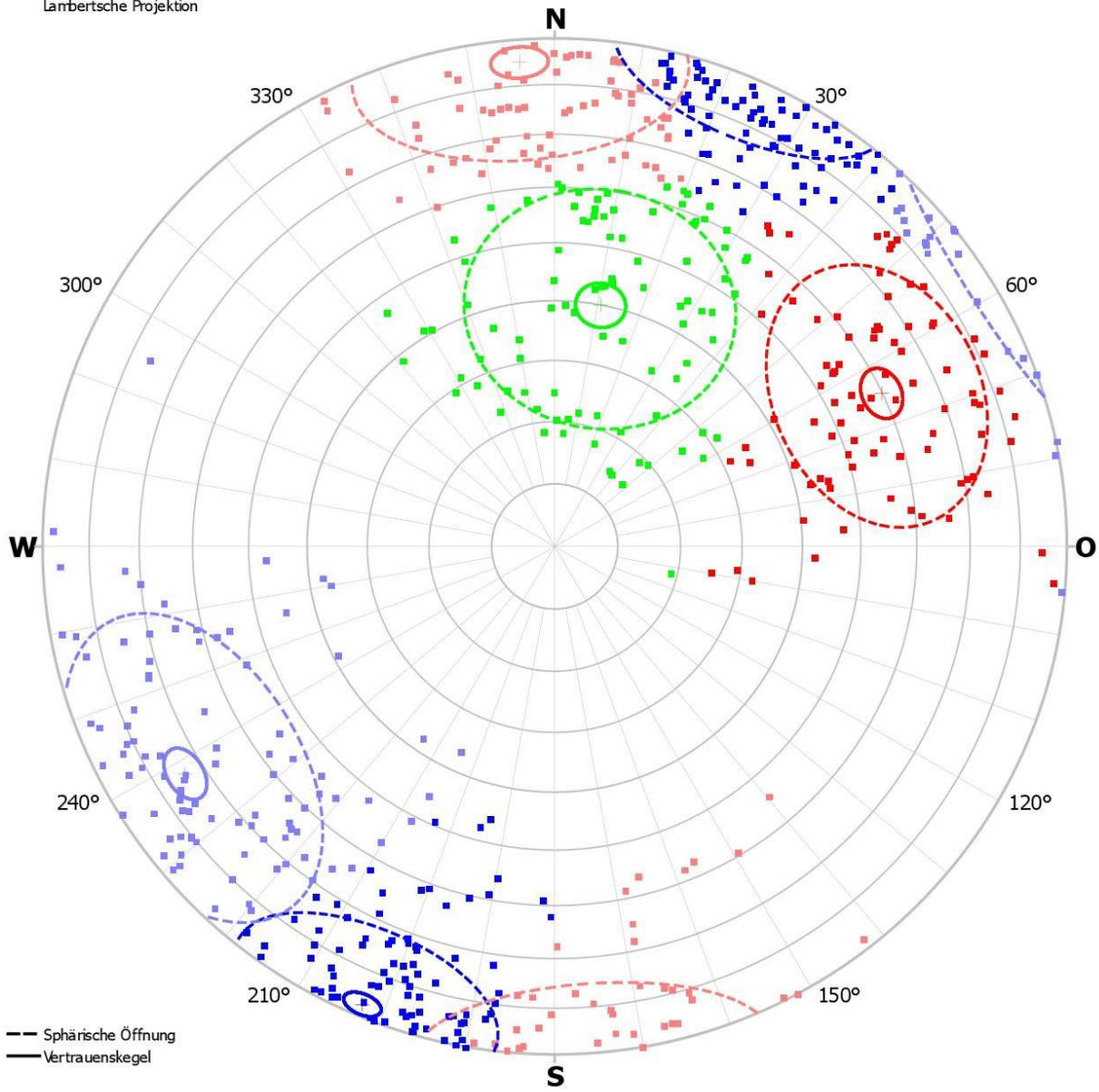


ABBILDUNG 58 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 3_1



ABBILDUNG 59 AUFSCHLUSS 3_2 KALVARIENBERG GRAZ

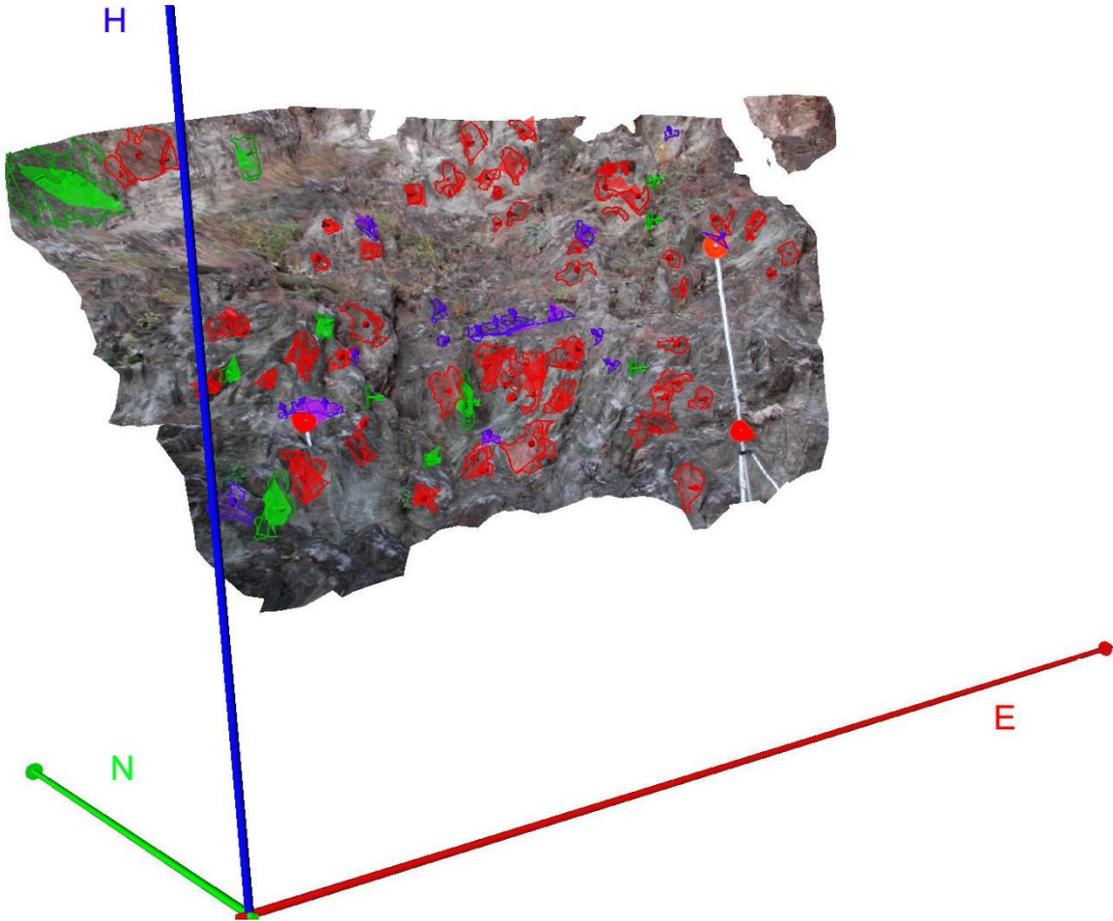


ABBILDUNG 60 AUFSCHLUSS 3_2 SHAPEMATRIX AUSWERTUNG

Lambertsche Projektion

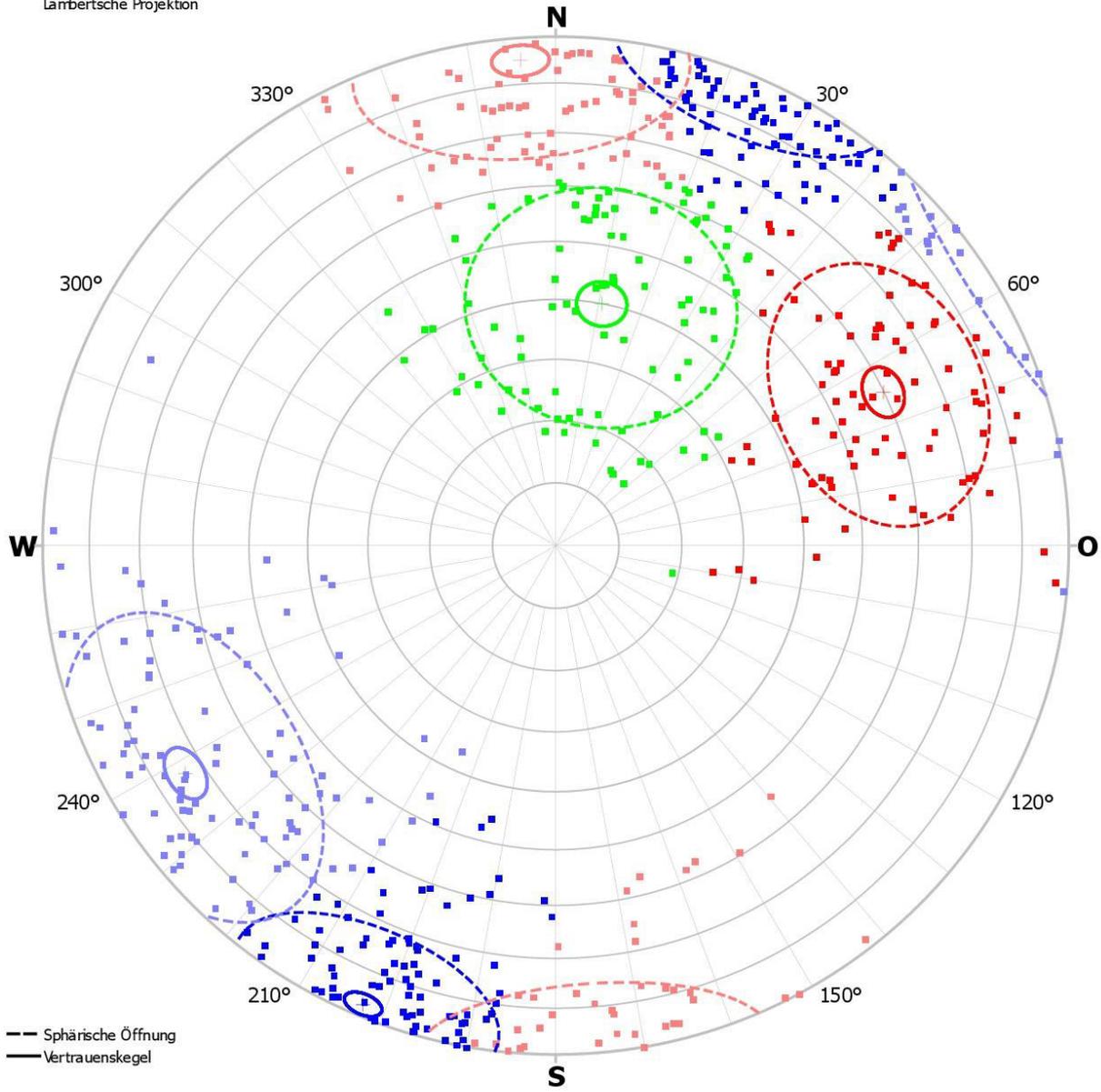


ABBILDUNG 61 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 3_2



ABBILDUNG 62 AUFSCHLUSS 3_3 KALVARIENBERG

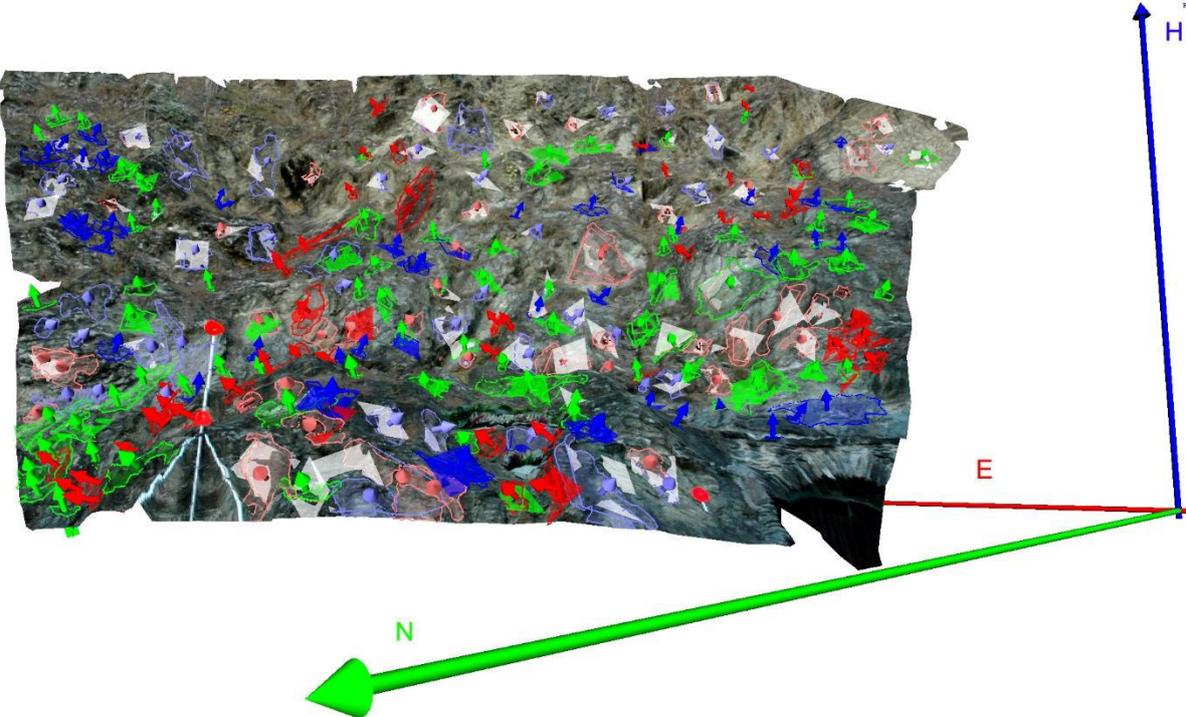


ABBILDUNG 63 AUFSCHLUSS 3_3 SHAPEMETRIX AUSWERTUNG

Lambertsche Projektion

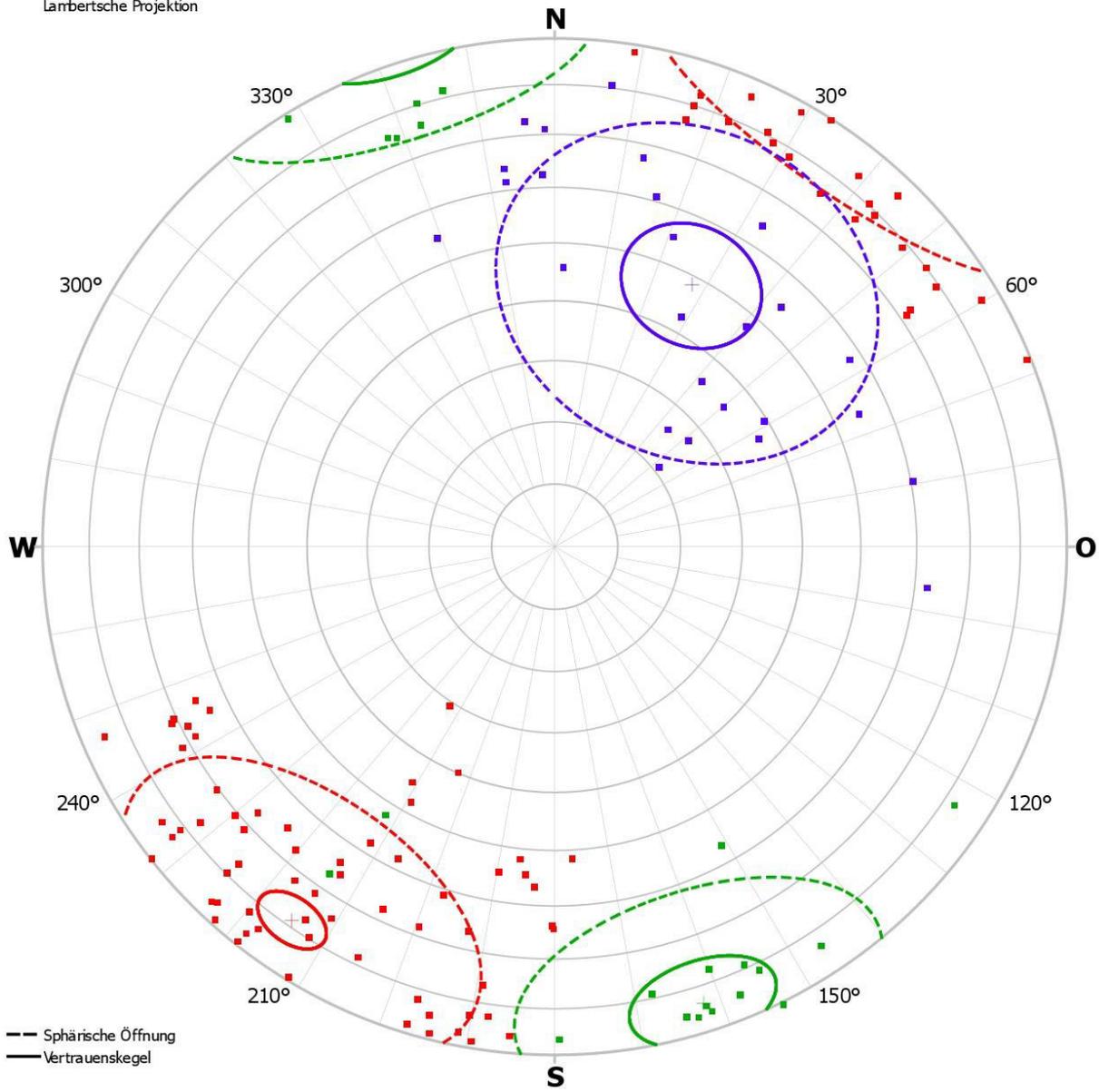


ABBILDUNG 64 ORIENTIERUNG AUFSCHLUSS 3_3

5.2. MESSWERTE DER ORIENTIERUNGEN FÜR AUFSCHLUSS 1 UND 3

Für jeden Aufschluss wurde ein eigenes Orientierungsmodell erstellt und in Tabelle 20 sind alle Daten des Modells von Aufschluss 1 (Marhof) zusammengefasst. Die Tabelle 21 zeigt alle Orientierungsdaten von Aufschluss 3 (Kalvarienberg). Die komplexere Struktur bei Aufschluss 3 ist gut an den Orientierungsplots in Abbildung 58, Abbildung 61 und Abbildung 64 zu sehen.

Aufschluss 1_1	Schar 1	Schar 2	Schar 3	Schar 4	Schar 5	Schar 6
Fallrichtung	316.84 °	125.32 °	240.47 °	-	-	-
Fallwinkel	22.25 °	85.21 °	78.20 °	-	-	-
Spährische Öffnung	16.99 °	6.35 °	16.37 °	-	-	-
Konzentration	22.62	159.97	23.98	-	-	-
Orientierungsgrad	91.46%	98.78%	92.06%	-	-	-
Vertrauenskegel	5.75 °	1.63 °	6.63 °	-	-	-
Konfidenz	95%	95%	95%	-	-	-
Orientierungsmessungen	29	48	21	-	-	-
Aufschluss 1_2	Schar 1	Schar 2	Schar 3	Schar 4	Schar 5	Schar 6
Fallrichtung	287.86 °	-	-	-	71.97 °	206.87 °
Fallwinkel	79.50 °	-	-	-	21.38 °	67.90 °
Spährische Öffnung	15.31 °	-	-	-	19.63 °	20.38 °
Konzentration	28.31	-	-	-	17.4	16.06
Orientierungsgrad	93.03%	-	-	-	88.71%	87.87%
Vertrauenskegel	3.09 °	-	-	-	4.69 °	5.90 °
Konfidenz	95%	-	-	-	95%	95.00%
Orientierungsmessungen	77	-	-	-	56	39
Aufschluss 1_3	Schar 1	Schar 2	Schar 3	Schar 4	Schar 5	Schar 6
Fallrichtung	293.13 °	116.85 °	24.99 °	-	-	-
Fallwinkel	70.53 °	50.41 °	84.76 °	-	-	-
Spährische Öffnung	22.18 °	22.78 °	17.93 °	-	-	-
Konzentration	13.83	13.01	20.42	-	-	-
Orientierungsgrad	85.75%	85.01%	90.52%	-	-	-
Vertrauenskegel	4.84 °	6.52 °	5.86 °	-	-	-
Konfidenz	95%	95%	95.00%	-	-	-
Orientierungsmessungen	67	40	31	-	-	-
Aufschluss 1_4	Schar 1	Schar 2	Schar 3	Schar 4	Schar 5	Schar 6
Fallrichtung	-	-	256.84 °	13.22 °	-	188.51 °
Fallwinkel	-	-	89.37 °	68.75 °	-	50.29 °
Spährische Öffnung	-	-	17.96 °	20.94 °	-	15.93 °
Konzentration	-	-	20.23	15.28	-	25.98
Orientierungsgrad	-	-	90.49%	87.22%	-	92.47%
Vertrauenskegel	-	-	6.46 °	5.83 °	-	4.21 °
Konfidenz	-	-	95%	95%	-	95%
Orientierungsmessungen	-	-	26	42	-	46
Aufschluss 1_5	Schar 1	Schar 2	Schar 3	Schar 4	Schar 5	Schar 6
Fallrichtung	265.50 °	78.48 °	195.95 °	-	-	-
Fallwinkel	52.72 °	65.97 °	75.47 °	-	-	-
Spährische Öffnung	20.98 °	16.55 °	19.17 °	-	-	-
Konzentration	15.36	24.22	17.81	-	-	-
Orientierungsgrad	87.19%	91.89%	89.22%	-	-	-
Vertrauenskegel	4.68 °	3.94 °	7.06 °	-	-	-
Konfidenz	95.00%	95.00%	95.00%	-	-	-
Orientierungsmessungen	64	56	25	-	-	-

TABELLE 20 ORIENTIERUNGSDATEN VON AUFSCHLUSS 1 (MARHOF)

Aufschluss 3_1	Schar 1	Schar 2	Schar 3	Schar 4	Schar 5
Fallrichtung	244°	190°	22°	175°	58°
Fallwinkel	59°	39°	97°	85°	73°
Spährische Öffnung	19°	20°	16°	19°	21°
Konzentration	18.65	16.29	25.98	17°	14.5
Orientierungsgrad	89.40%	87.86%	92.35%	88.55%	86.32%
Vertrauenskegel	3.61°	3.75°	2.27°	3.36°	3.58°
Konfidenz	95%	95%	95%	95%	95%
Anzahl der Orientierungsmessungen	87	93	154	108	115
Aufschluss 3_2	Schar 1	Schar 2	Schar 3		
Fallrichtung	34°	342°	207°		
Fallwinkel	78°	83°	48°		
Spährische Öffnung	24°	22°	28°		
Konzentration	11.14	12	8		
Orientierungsgrad	82.25%	85%	76.76%		
Vertrauenskegel	4.73°	8.96°	10.5°		
Konfidenz	95%	95%	95		
Anzahl der Orientierungsmessungen	88	22	26		
Aufschluss 3_3	Schar 1	Schar 2	Schar 3	Schar 4	Schar 5
Fallrichtung	5°	320°	274°	316°	279°
Fallwinkel	53°	47°	30°	85°	69°
Spährische Öffnung	21.76°	13°	21°	19°	17°
Konzentration	14	35	14	17	20
Orientierungsgrad	82.26%	94.41%	86.73%	88.74%	90.49%
Vertrauenskegel	4.74°	2.37°	4.73°	4.08°	3.58°
Konfidenz	95%	95%	95.00%	95.00%	95.00%
Anzahl der Orientierungsmessungen	67	103	65	73	79

TABELLE 21 ORIENTIERUNGSDATEN VON AUFSCHLUSS 3 (KALVARIENBERG)

5.3. TRENNFLÄCHEN SPUR AUFSCHLUSS 1

Anhand Tabelle 22 und mehreren auf Seite 90, wurde die Frequenz der Trennflächenabstände im Bezug auf einen Meter dargestellt

	Frequenz	Abstand [m]				Länge der Trennflächen-spuren	Mittlere Länge der Trennflächen-spuren	Standardabweichung der Länge der Trennflächen-spuren
	Trennflächen-spuren /m	min	max	Mittelwert	Standardabweichung			
Aufschluss 1_1								
Schar 1	3.1035	0.01	1.02	0.32	0.26	8.8	0.55	0.66
Schar 2	11.99	0	0.78	0.08	0.15	14.41	0.76	0.4
Schar 3	1.23	0.16	2.05	0.81	0.54	7.96	0.8	0.62
Aufschluss 1_2								
Schar 1	2.1739	0	3.48	0.46	0.72	17.3	0.62	0.45
Schar 5	1.7804	0.03	2.67	0.56	0.57	24.4	0.91	0.36
Schar 6	0.8088	0.11	6.25	1.24	1.64	10.69	0.76	0.95
Aufschluss 1_3								
Schar 1	1.4954	0	3.3	0.67	0.83	14.08	0.49	0.36
Schar 2	3.1003	0	1.19	0.32	0.32	8.94	0.41	0.34
Schar 3	0.4303	0.01	4.76	2.32	1.81	7.62	0.59	0.54
Aufschluss 1_4								
Schar 3	2.3965	0.03	1.66	0.42	0.51	3.42	0.38	0.17
Schar 4	0.5487	0	4.91	1.82	2.11	5.71	0.44	0.31
Schar 6	2.0031	0	5.09	0.5	0.97	17.28	0.91	0.57
Aufschluss 1_5								
Schar 1	2.2363	0	1.4	0.45	0.43	7.78	0.49	0.23
Schar 2	2.339	0.02	2.13	0.43	0.42	12.19	0.53	0.21
Schar 3	1.1297	0	2.8	0.89	1.02	4.29	0.43	0.36

TABELLE 22 ABSTAND DER TRENNFLÄCHEN UND DEREN HÄUFIGKEIT IN BEZUG AUF EINEN METER

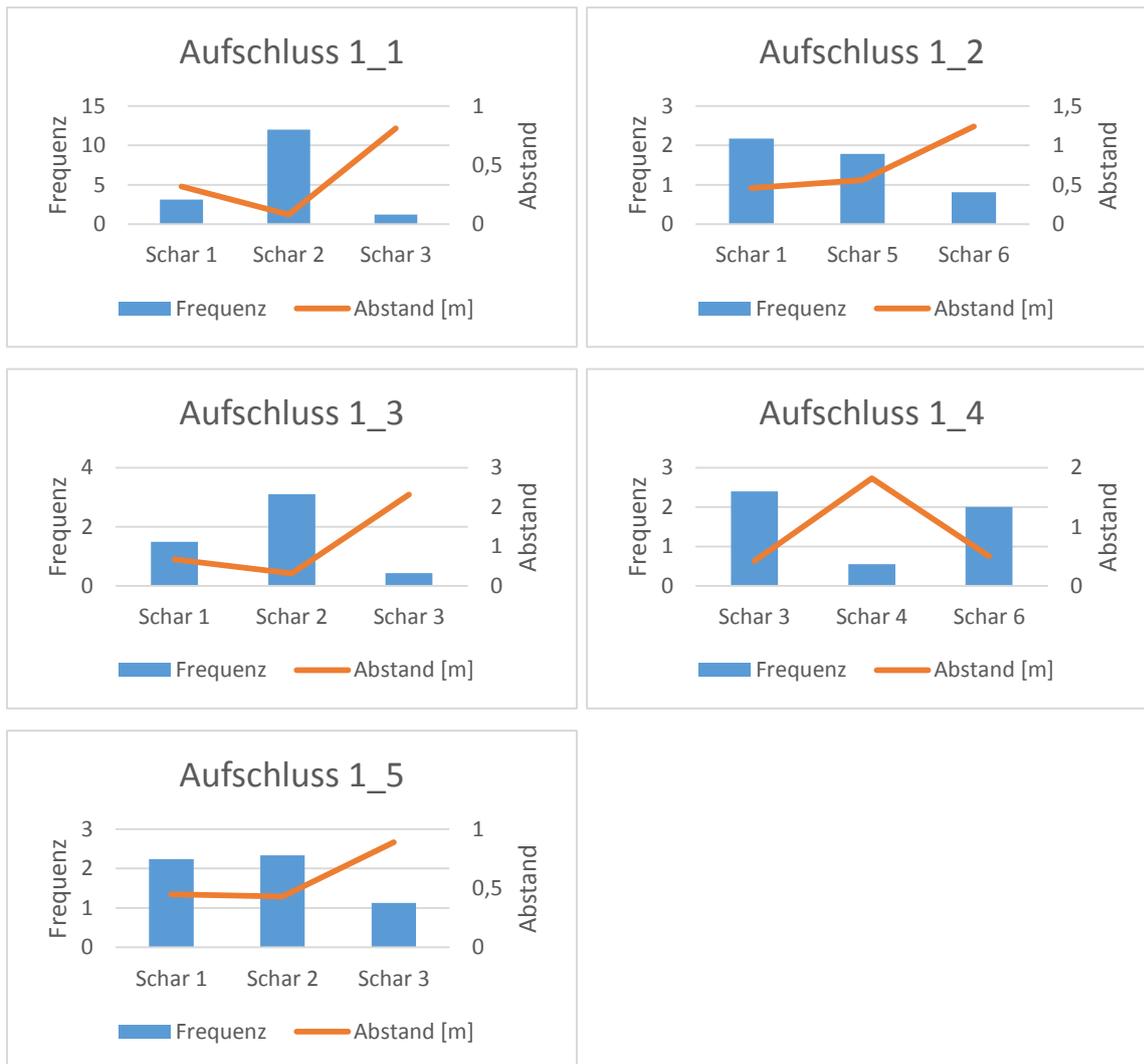


ABBILDUNG 65 GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER TABELLE 22 FREQUENZ UND ABSTAND VON AUFSCHLUSS 1

Abbildung 65 stellt die Frequenz und den Abstand von Aufschluss 1_1 - Aufschluss 1_5 dar. Wobei die orange Linie den Abstand für jede Schar zeigt und die blauen Säulen die Frequenz der Abstände per Meter je Schar darstellen. Festzustellen ist, dass die Abstände in Aufschluss 1_3 bei Schar 3 am größten sind gleichzeitig ist die Frequenz hierbei sehr niedrig.

5.4. BLOCKVOLUMEN

Die Berechnung wurde mittels Microsoft Excel nach den Formeln in Kapitel 4.4 ab Seite 64 durchgeführt und in Tabelle 23- Tabelle 27 dargestellt.

Scanline		α_s	β_s								
Aufschluss 1		37	0								
	Fläche		Pole		δ	d_s [m]	d_n [m]	l_n	w	$l_{n,T}$	
		Einfallsrichtung	Winkel	a_n							b_n
JS1		316	22	136	68	87	0.32	0.02	53.33	5.00	266.63
JS2		125	85	305	5	88	0.81	0.03	35.51	5.00	177.55
JS3		240	78	60	12	26	0.80	0.72	1.39	1.11	1.54
Eingabeparamter für Block Volumen Berechnung											
Parameter	Symbol		Ergebnis	Einheit							
min d_n			0.02	m							
max d_n			0.72	m							
Winkel zwischen JS1/JS2	γ_1		73.4	°							
Winkel zwischen JS2/JS3	γ_2		66.8	°							
Winkel zwischen JS3/JS1	γ_3		73.7	°							
block shape factor	β		288.88								
Volumetric joint count	J_v		90.22								
Persistent discontinuities											
estimated Block Size	V_b [d1*d2*d3]		3.80E-04	m ³							
Block Größe	V_b^0		4.50E-04	m ³							
Block Size as a function of β	V_b		4.65E-04	m ³							
Impersistent discontinuities											
P1		21%	0.21								
P2		100%	1								
P3		36%	0.36								
Block Größe	V_b		1.04E-03	m ³	1043.35	cm ³					

TABELLE 23 BERECHNUNG BLOCKVOLUMEN VON AUFSCHLUSS 1_1

Scanline		α_s	β_s								
Aufschluss 2		200	0								
		Fläche		Pole		δ	d_s [m]	d_n [m]	l_n	w	$l_{n,T}$
		Einfallsrichtung	Winkel	a_n	b_n						
JS1		287	79	107	11	87	0.46	0.02	42.32	5.00	211.58
JS2		71	21	251	69	77	0.56	0.13	7.92	4.43	35.11
JS3		206	67	26	23	24	1.24	1.14	0.88	1.09	0.96
Eingabeparameter für Blockvolumen Berechnung											
Parameter	Symbol	Ergebnis		Einheit							
min d_n		0.02		m							
max d_n		1.14		m							
Winkel zwischen JS1/JS2	γ_1	83.9		°							
Winkel zwischen JS2/JS3	γ_2	82.4		°							
Winkel zwischen JS3/JS1	γ_3	77.5		°							
block shape factor	β	356.24									
Volumetric joint count	J_v	51.11									
Persistent discontinuities											
estimated Block Size	V_b [d1*d2*d3*]	3.39E-03		m ³							
Block Größe	V_b^0	3.52E-03		m ³							
Block Size as a function of β	V_b	2.77E-03		m ³							
Impersistent discontinuities											
P1		85%	0.85								
P2		23%	0.23								
P3		24%	0.24								
Block Größe	V_b	9.58E-03		m ³	9578.81	cm ³					

TABELLE 24 BERECHNUNG DES BLOCKVOLUMEN VON AUFSCHLUSS 1_2

Scanline		α_s	β_s								
Aufschluss 3		190									
		Fläche		Pole		δ	d_s [m]	d_n [m]	l_n	w	$l_{n,T}$
		Einfallsrichtung	Winkel	a_n	b_n						
JS1		293	70	113	20	78	0.67	0.14	7.06	4.73	33.40
JS2		116	50	296	40	78	0.32	0.07	14.80	4.74	70.09
JS5		24	84	204	6	15	2.32	2.24	0.45	1.04	0.46
Eingabeparamter für Block Volumen Berechnung											
Parameter	Symbol		Ergebnis	Einheit							
min d_n			0.07	m							
max d_n			2.24	m							
Winkel zwischen JS1/JS2	γ_1		60.1	°							
Winkel zwischen JS2/JS3	γ_2		87.7	°							
Winkel zwischen JS3/JS1	γ_3		88.9	°							
block shape factor	β		251.93								
Volumetric joint count	J_v		22.31								
Persistent discontinuities											
estimated Block Size	V_b [$d_1*d_2*d_3$]		2.14E-02	m^3							
Block Größe	V_b^0		2.47E-02	m^3							
Block Size as a function of β	V_b		2.62E-02	m^3							
Impersistent discontinuities											
P1		80%	0.35								
P2		20%	0.3								
P3		30%	0.3								
Block Größe	V_b		7.83E-02	m^3	78344.38	cm^3					

TABELLE 25 BERECHNUNG DES BLOCKVOLUMEN VON AUFSCHLUSS 1_3

Scanline		α_s	β_s								
Aufschluss 4		262									
		Fläche		Pole		δ	d_s [m]	d_n [m]	l_n	w	$l_{n,T}$
		Einfalls-Richtung	Winkel	a_n	b_n						
JS1		188	50	8	40	78	0.50	0.11	9.47	4.74	44.86
JS2		13	68	193	22	71	1.82	0.60	1.65	3.01	4.98
JS5		256	89	76	1	6	0.42	0.42	2.39	1.01	2.41
Eingabeparamter für Block Volumen Berechnung											
Parameter	Symbol		Value	Unit							
min d_n			0.11	m							
max d_n			0.60	m							
Winkel zwischen JS1/JS2	γ_1		62.2	°							
Winkel zwischen JS2/JS3	γ_2		65.5	°							
Winkel zwischen JS3/JS1	γ_3		72.7	°							
block shape factor	β		60.10								
Volumetric joint count	J_v		13.52								
Persistent discontinuities											
estimated Block Size	V_b [d1*d2*d3]		2.67E-02	m ³							
Block Größe	V_b^0		3.47E-02	m ³							
Block Size as a function of β	V_b		3.17E-02	m ³							
Impersistent discontinuities											
P1		80%	0.6								
P2		20%	0.5								
P3		30%	0.6								
Block Größe	V_b		6.02E-02	m ³	60177.13	cm ³					

TABELLE 26 BERECHNUNG DES BLOCKVOLUMEN VON AUFSCHLUSS 1_4

Scanline		α_s	β_s									
Aufschluss 5		352	0									
		Fläche		Pole		δ	d_s [m]	d_n [m]	l_n	w	$l_{n,T}$	
		Einfallsrichtung	Winkel	a_n	b_n							
JS1		78	65	258	25	86	0.45	0.03	35.15	5.00	175.75	
JS2		265	52	85	38	88	0.43	0.02	56.39	5.00	281.95	
JS3		195	75	15	15	27	0.89	0.79	1.26	1.12	1.42	
Eingabeparamter für Block Volumen Berechnung												
Parameter	Symbol		Value	Unit								
min d_n			0.02	m								
max d_n			0.79	m								
Winkel zwischen JS1/JS2	γ_1		63.3	°								
Winkel zwischen JS2/JS3	γ_2		65.2	°								
Winkel zwischen JS3/JS1	γ_3		73.3	°								
block shape factor	β		332.36									
Volumetric joint count	J_v		92.80									
Persistent discontinuities												
estimated Block Size	V_b [d1*d2*d3]		3.99E-04	m ³								
Block Größe	V_b^0		5.14E-04	m ³								
Block Size as a function of β	V_b		5.35E-04	m ³								
Impersistent discontinuities												
P1		72%	0.72									
P2		76%	0.76									
P3		100%	1									
Block Größe	V_b		5.69E-04	m³	568.58	cm³						

TABELLE 27 BERECHNUNG DES BLOCKVOLUMEN VON AUFSCHLUSS 1_5

5.5. GEOLOGICAL STRENGTH INDEX

Der berechnete Geological Strength Index von Aufschluss 1 befindet sich in Tabelle 28.

Geological Strength Index Aufschluss 1_1				
Set	J _w	J _s	J _A	J _c
JS1	1.50	1.50	2.0	1.1
JS2	1.00	1.00	2.0	0.5
JS3	2.00	2.00	2	2.0
Rock Mass Parameters				
	JC	1.2		
	GSI	42		

Geological Strength Index Aufschluss 1_2				
Set	J _w	J _s	J _A	J _c
JS1	1.50	2.00	1.5	2.0
JS5	1.00	1.00	0.8	1.3
JS6	2.00	3.00	1	6.0
Rock Mass Parameters				
	JC	3.1		
	GSI	57		

Geological Strength Index Aufschluss 1_3				
Set	J _w	J _s	J _A	J _c
JS1	1.50	2.00	2.0	1.5
JS5	1.50	1.50	2.0	1.1
JS6	1.00	1.00	2	0.5
Rock Mass Parameters				
	JC	1.0		
	GSI	52		

Geological Strength Index Aufschluss 1_4				
Set	J _w	J _s	J _A	J _c
JS1	3.00	3.00	1.0	9.0
JS5	1.00	1.00	1.0	1.0
JS6	2.50	1.50	2	1.9
Rock Mass Parameters				
	JC	4.0		
	GSI	66		

Geological Strength Index Aufschluss 1_5				
Set	J _w	J _s	J _A	J _c
JS1	1.50	1.50	0.75	3.0
JS5	1.00	1.00	0.75	1.3
JS6	2.50	3.00	1.00	7.5
Rock Mass Parameters				
	JC	3.9		
	GSI	52		

TABELLE 28 BERECHNETER GSI VON AUFSCHLUSS 1

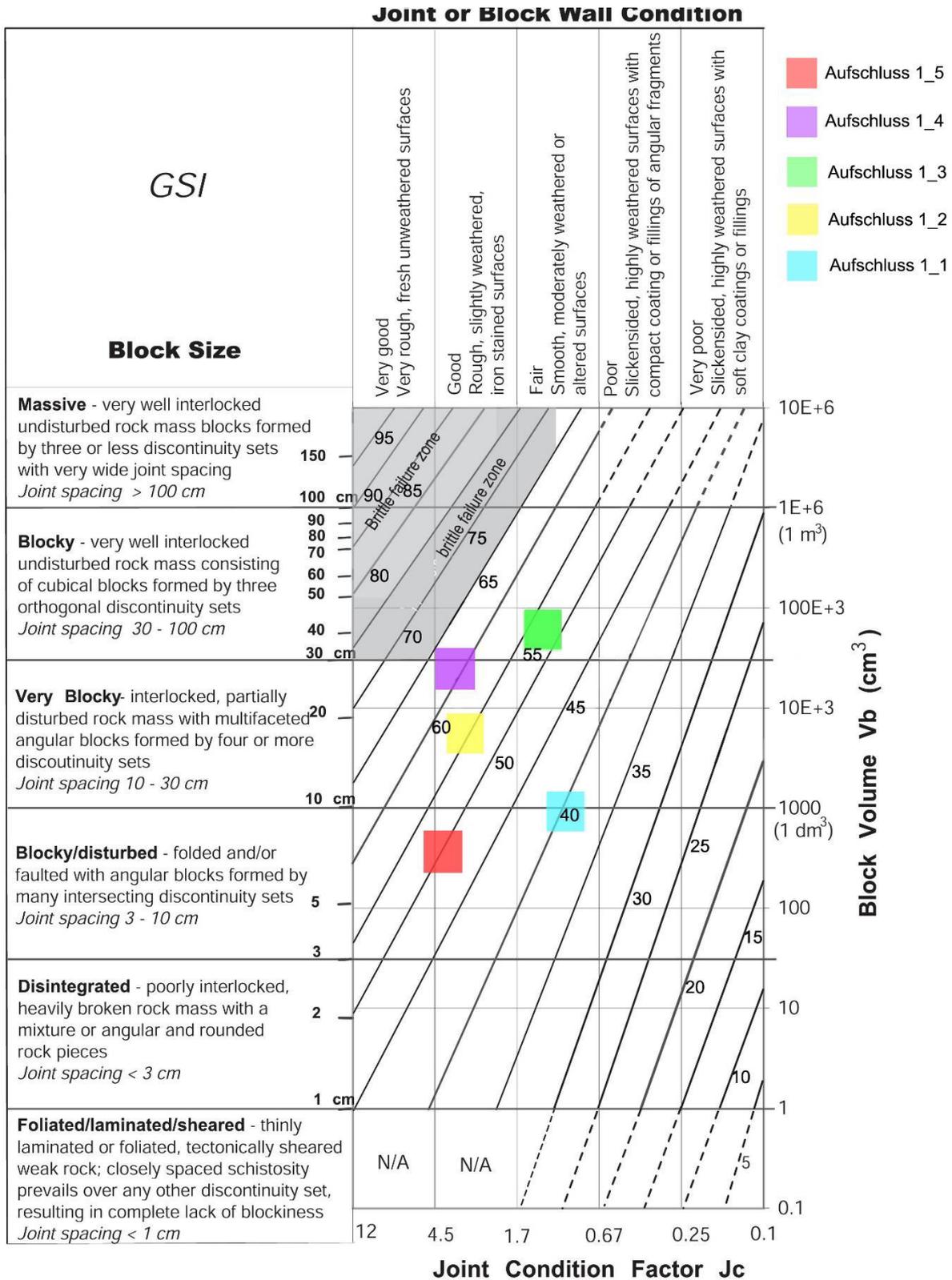


ABBILDUNG 66 GEOLOGICAL STRENGTH INDEX VON AUFSCHLUSS 1 NACH (CAI ET.AL 2004)

In Abbildung 66 ist der Geological Strength Index von Aufschluss 1 in das Diagramm eingetragen. Aufschluss 1_4. Hat mit 66 den größten GSI Wert. Der kleinste GSI ist 42 und von Aufschluss 1_1.

5.6. ORTSBEZOGENE TRENNFLÄCHENGEOMETRIE UND IRREGULÄRE KLUFTKÖRPER

Eine ortsbezogene Volumen Berechnung ist dann notwendig, wenn die Scharen nicht eindeutig identifizierbar sind. Wenn mehr als 3 Scharen einen Kluftkörper bilden, kann das Blockvolumen nicht mit den Formeln in Kapitel 4.4 berechnet werden. Deshalb wurde in dieser Arbeit eine alternative Methode verwendet. Die Volumsberechnung für irreguläre Körper erfolgte mit dem Programm B03HPGL.EXE.

Dazu wurden im 3D Modell Blöcke gesucht, die bereits abgerutscht sind und deren Trennflächen bestimmt. Mit ShapeMetriX3D wurde die Einfallrichtung und der Einfallswinkel aller beteiligten Scharen+ freien Flächen ermittelt und deren Abstand gemessen.

In Abbildung 67 und Abbildung 68 ist Block 1 in ShapeMetriX dargestellt. Um das Volumen mit dem Programm B03HPGL.EXE zu berechnen werden folgende Daten benötigt:

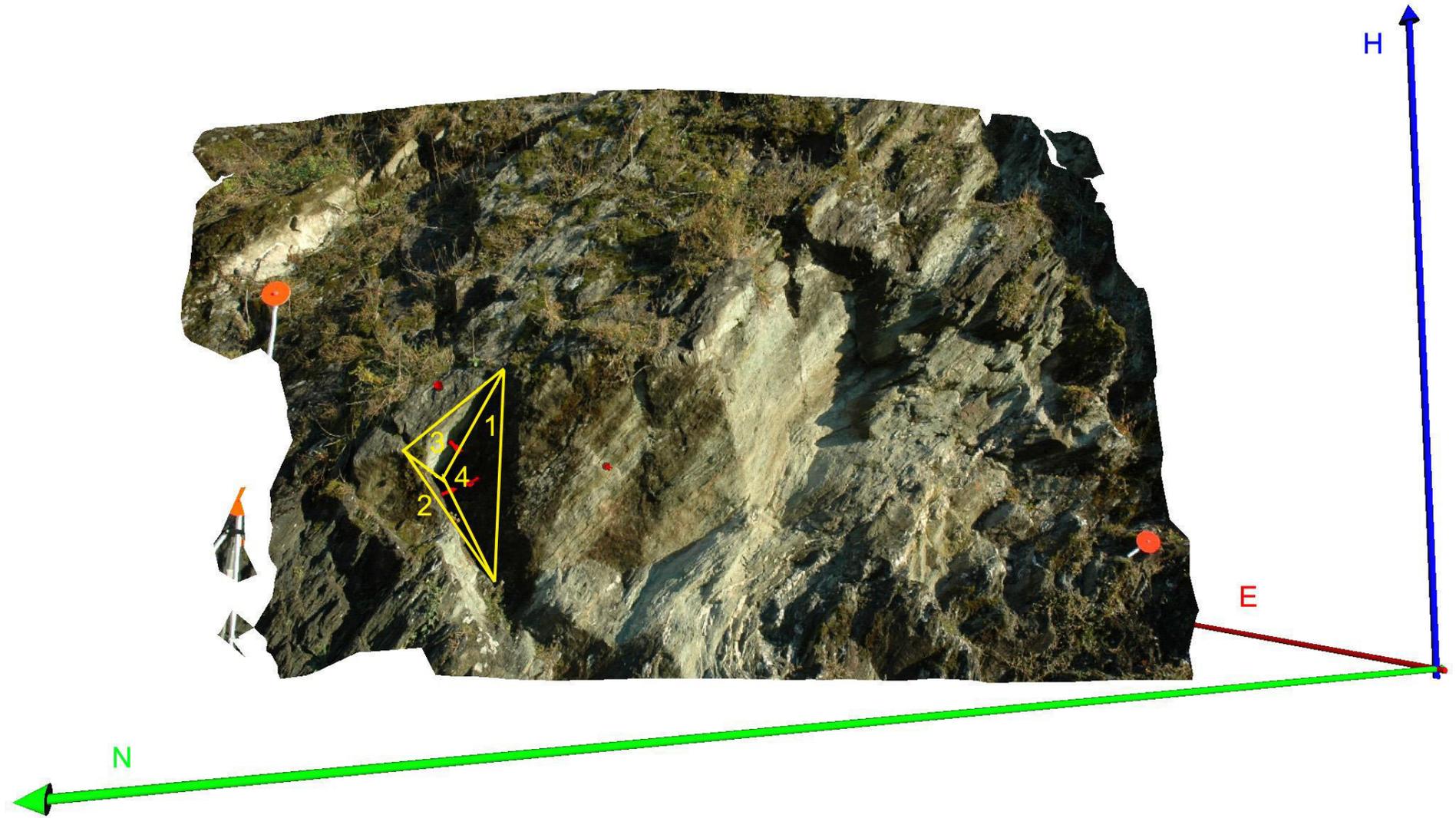
- Einfallrichtung, Einfallswinkel
- Abstände der einzelnen Scharen (Die Abstände müssen durch 2 dividiert werden um das richtige Volumen zu erhalten)
- "Block Pyramid Code" (in Kapitel 4.3.2.2 beschrieben)

Alle 3 erforderlichen Eingabeparameter können mit ShapeMetriX ermittelt werden.

Für Block 1 sind die Eingabeparameter in Tabelle 29 aufgelistet und werden in Abbildung 67 und Abbildung 68 dargestellt

Fläche	Einfallrichtung/ Einfallswinkel	Abstände	BP Code
Fläche 1	137/71	1,054 → 0,5	1
Fläche 2	195/69	1,054 → 0,5	0
Fläche 3	30/54	1,290 → 0,64	1
Freie Fläche 4	91/70	0,975 → 0,48	0
			BP Code 1010

TABELLE 29 EINGABEPARAMETER BLOCK 1



ABBILDUNG

67

BLOCK

1

KALVARIENBERG

(SHAPEMETRIX3)

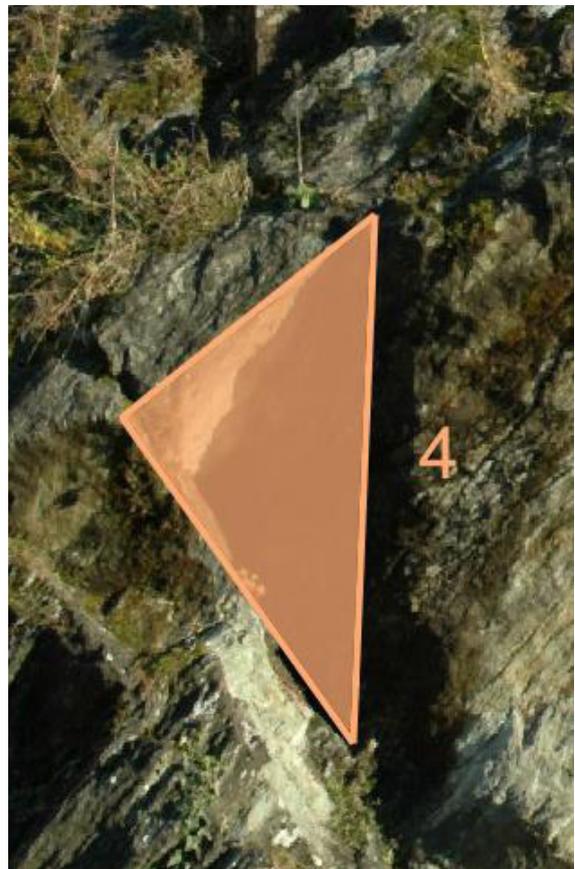
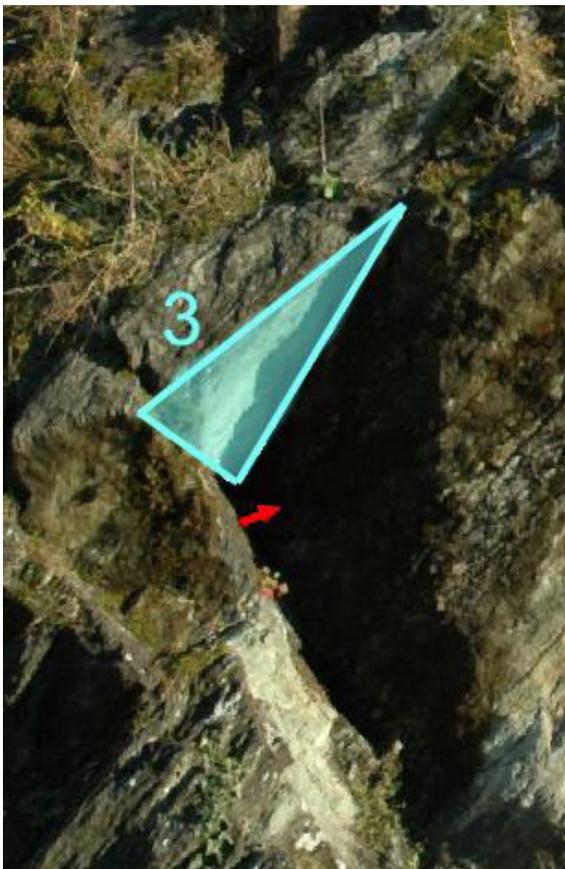
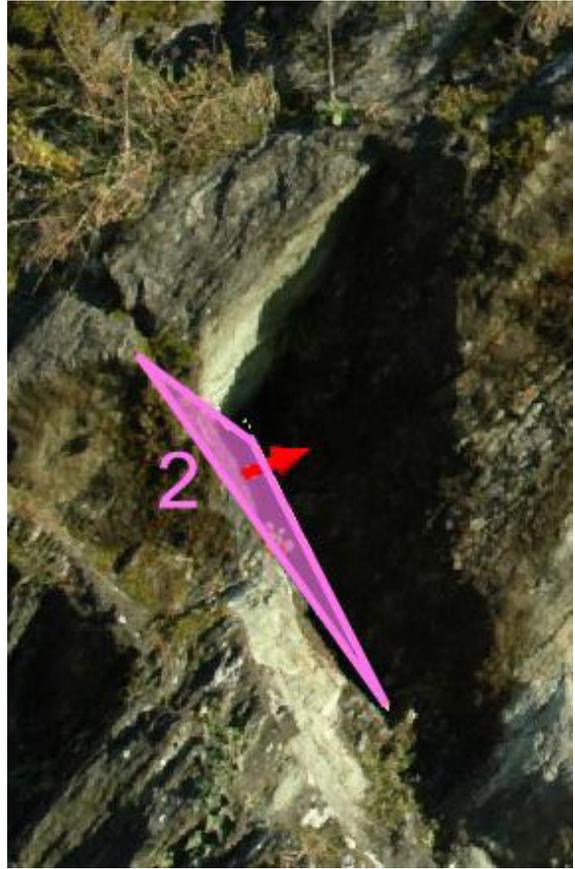
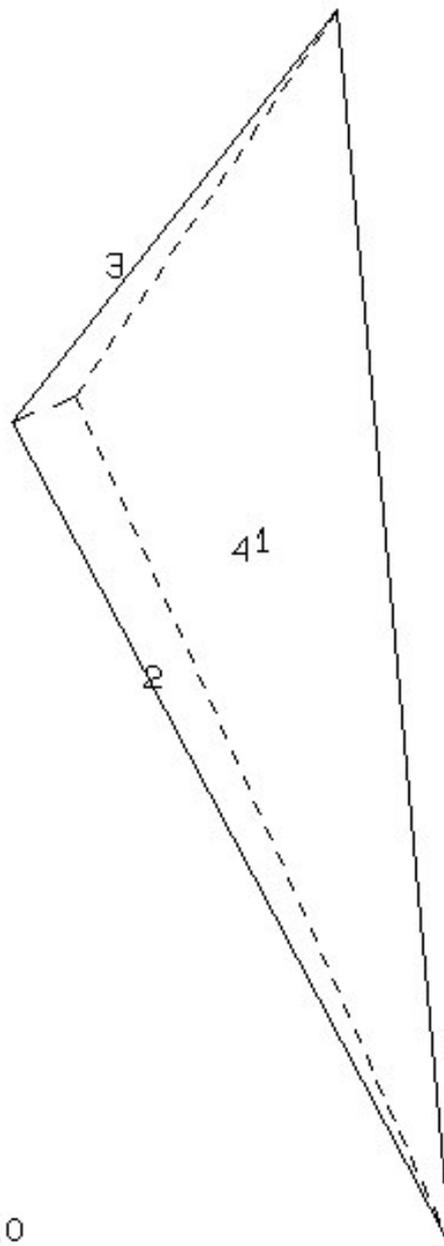


ABBILDUNG 68 FLÄCHEN DARSTELLUNG VON BLOCK 1 ZUR BESTIMMUNG DES BP CODES

Nach erfolgreicher Eingabe in das Programm wird eine .plt Datei erstellt. Diese kann mit dem Programm Splot in eine HPG Datei umgewandelt werden. Anschließend wird die Datei mit Corel Draw weiterbearbeitet (vgl. Abbildung 69)

```
PROJECTIVE DIRECTION:
-0.8  0.1  0.3
DIP, DIP D., DISTANCE
71.0 137.0  0.5
68.0 185.0  0.5
54.0  30.0  0.6
70.0  81.0  0.5
VOLUME= 4.630+00
```



1010

ABBILDUNG 69 BLOCK 1 DARGESTELLT VON B03HPGL.EXE MIT DEM BERECHNETEN BLOCKVOLUMEN

Das errechnete Blockvolumen von Block 1 beträgt 4,630 m³.

Alle weiteren Ergebnisse können dem Anhang 1 entnommen werden.

6. FAZIT

In dieser Arbeit wird eine Methodik dargestellt, welche zeigt, wie aus Fernerkundungsdaten aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden können. Durch hochpräzise Darstellungen des Aufschlusses in Marhof mittels ShapeMetriX, können Klüfte sehr genau beobachtet und gemessen werden. Jedoch ist es sehr wichtig, dass freie Sicht zu den Aufschlüssen hergestellt wird. Das heißt, dass keine Bäume, Sträucher oder Ähnliches im Bild sein sollten. Sonst wird das 3D Bild verzerrt dargestellt.

Durch die ausgewerteten Daten konnte eine durchschnittliche Blockgröße für jeden Aufschluss berechnet und dargestellt werden.

Um die richtige Auswertungsmethode auszuwählen, sollten die Regelmäßigkeiten der Klüfte genauer betrachtet werden.

Deshalb wurde für den Aufschluss 3 (am Kalvarienberg) eine Methode gewählt, die in Kombination mit der Blocktheorie arbeitet. Durch diese Art von Auswertung können selbst bei unregelmäßigen Scharen, genaue Blockvolumen und deren Stabilität, Verformung und Festigkeit ermittelt werden. Mit meiner Methode ist es möglich, bereits im Gelände festzustellen welchen BP-Code der Block hat. Mit nur wenigen Messungen ist es möglich sehr schnell ein präzises Volumen zu erhalten.

Diese Arbeit stellt in Kombination mit der Blocktheorie eine sehr moderne Art für die Ermittlung von Festigkeits-, Verformungseigenschaften und Stabilität eines Gebirges dar. Die Daten für die Auswertung werden nicht, wie häufig, statistisch ermittelt sondern ortsbezogen bestimmt. Dadurch wird eine hoch präzise Einschätzung der ingenieurgeologischen Gegebenheit erreicht. Diese Auswertung kann in weiterer Folge für bauliche Maßnahmen eingesetzt werden, da das Volumen multipliziert mit der Gesteinsdichte die Gesteinsmasse ergibt.

Eine gute Alternative zur gewöhnlichen Geländearbeit wurde in dieser Arbeit erfasst. Selbst für unzugängliche Gebiete ist diese Art der Auswertung sehr geeignet, da auch in Bereichen die normalerweise nicht erreicht werden können, exakte Messungen der Klüfte möglich sind.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- 3GSM. Vers. SMX_Info_dt_v3.5.1.doc. 3gsm. 20. 06 2012.
http://3gsm.at/static/dt/smxinfo_dt.html (Zugriff am 09. 07 2015).
- Auzinger, T. *Dreidimensionale Visualisierung und Stabilitätsanalyse von potentiell instabilen Blöcken mittels Fernerkundungsdaten am Beispiel Feldkofel, Kärnten*. Graz: TU Graz Masterarbeit Institut für Angewandte Geowissenschaften, 2014.
- Barton, N. *A model study of the behaviour of steep excavated rock slopes*. PhD Thesis. London : University of London , 1971.
- Barton, N. „Review of a new shear strength criterion for rock joints.“ 287-332. Engineering Geology, 1973.
- Barton, N. „Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill and rock masses: Problems and some solutions.“ *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2012: 249-261.
- Bieniawski, Z.T. *Engineering Rock Mass Classifications*. New York: Jhon Wiley and Sons, 1989.
- Bieniawski, Z.T. „The Rock Mass Rating (RMR) System (Geomechanics Classification) in Engineering Practices. In: Rock Classification Systems for Engineering Purposes.“ *American Society for Testing and Materials* (American Society for Testing and Materials), 1988: 17-34.
- Cai et.al. "Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system." 2004, 41 ed.
- Celedin G. & Resch W. „Kulturführer Graz.“ 163-165. Wien: Böhlau, 2003.
- Dachroth, Wolfgang R. *Handbuch der Baugeologie und Geotechnik*. Bd. 3. Heidelberg: Springer- Verlag, 2013.
- Digitaler Atlas Steiermark. 2015. www.gis.steiermark.at (Zugriff am 17. 07 2015).
- . *Gis Steiermark*. 2015. <http://www.gis.steiermark.at/cms/ziel/73679/DE/> (Zugriff am 05. 08 2015).

- Ebner F., Fenninger A. & Holzer H- L. „Früher zu ausgewählten Profilen in der Rannach Fazies des Grazer Paläozoikums.“ *Mitteilung der Abteilung für Geologie Paläontologie Bergbau Landesmuseum Joanneum* 41 (1980b): 93-105.
- Ebner F., Fritz H. & Hubmann B. „Das Grazer Paläozoikum: Ein Überblick.“ *Workshop "Paläozoikumforschung in Österreich"*, 2001: 44.
- Eichler, K. *Fels- und Tunnelbau*. Bd. Band 1. Expert Verlag, 2000.
- Fekete S. Diederichs M. „Integration of three-dimensional laserscanning with discontinuum modelling for stability analysis of tunnels in blocky rockmasses.“ *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 57, 2013: 11-13.
- Flügel H.W. & Neubauer F. „Steiermark- Geologie der österreicherischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen (Erläuterungen zur geologischen Karte der Steiermark 1:200000).“ *Geologische Bundesanstalt*, 1984: 127.
- Flügel, H.W. „Die lithostratigraphische Gliederung des Paläozoikums von Graz.“ *Das Paläozoikum von Graz: Stratigraphie und Bibliographie* (Österr. Akad. Wiss., Schriftenr. Erdwiss. Kommiss.), 2000: 7-59.
- Francis, T. E. „Determination of the influence of joint orientation on rock mass classification of tunnelling using a stereographic overlay.“ *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 1991: 267-273.
- Fritz, H. „Geologisch-Paläontologische Exkursion 2011.“ 2011.
- Gaich A., Schubert W., Pötsch M. „Acquisition and assessment of geometric rock mass.“ *"50 Years of Rock Mechanics - Landmarks and Future"*. Golden, Colorado, 17-21.06.2006.
- Genske, Dieter D. *Ingenieurgeologie Grundlagen und Anwendung*. Bd. 2. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum, 2006, 2014.
- George & Sitar. "Block Theory Application to Scour Assessment of Unlined Rock Spillways." Department of Civil & Environmental Engineering , University of California, 2012.

- Goodman, R. E. & Shi, G. H. *Block Theory and Its Application to Rock Engineering*. Berkeley: University of California, 1985.
- Goodman, Shi. *Blocktheorie*. 1985.
- Hoek , Wood und Shah. „A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock.“ *Int. Soc. Rock Mech.* 1992. 209-214.
- Hoek E, Marions P, Benissi M. „Applicability of the geological strength index GSI classification for weak and sheared rock masses - the case of the Athens schist formation. .“ *Bull Eng Geol Env*, Nr. 57(2):151-160 (1998).
- Hoek E, Wood D, Shah S. „A modified Hoek- Brown criterion for jointed rock masses.“ In *Hudson JA (ed) Proceedings of the rock mechanic symposium, International Society of Rock Mechaniks Eurock*, 209-214. London: British Geotechnical Society, 1992.
- Hoek et.al. „Hoek - Brown failure criterion.“ Toronto: Corkum Proc NARMS-TAC Conference, 2002.
- Hoek und Brown. 1980a, 1980b.
- Hoek und Brown. „Practical estimates of rock mass strength.“ Nr. Abstr. 34:1165-1186 (1997).
- . *The Hoek-Brown failure criterion*. University of Toronto, 1988.
- Hoek, E. *Strength of jointed rock masses*, . Bd. 23rd Rankine Lecture. 1983.
- Hoek, E. „Strength of rock and rock masses.“ (News), Nr. ISRM 2(2):4-16 (1994).
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Marhof#Geografie>. *Marhof*. 3. Mai 2015.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Marhof#Geografie>.
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfl%C3%A4che_\(Geologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfl%C3%A4che_(Geologie)). *Wikipedia*. 17. 09 2014.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfl%C3%A4che_\(Geologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfl%C3%A4che_(Geologie)) (Zugriff am 21. 07 2015).
- Hudson & Priest. „Discontinuity Frequency in Rock Masses.“ *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.* 20. No. 2 (1983): 73-89.
- ISRM. „ International Society for Rock Mechanics.“ 1978.

- Jutric & Ellmecker. *Strukturgeologie & Petrologie*. Karl Franzens Universität Graz, 2014.
- Kalenchuk, K.S. „Characterizing block geometry in jointed rockmasses.“ (International Journal of Rock Mechanics & mining Sciences) 43 (2006).
- Kern, F. „Terrestrisches Laserscanning kurz & bündig.“ *Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik*, 2007.
- Kieffer, Scott D. „Landslides and Slope stability (Vorlesungsfolien).“ 2014.
- Kieslinger, Dr. Alois. „Geologie und Petrographie der Koralpe III.“ *Jerome und Margaret Stonborough-Fonds*, März 1927: 79-84.
- Koos M., Molterer C., Weigand S. „Kartierbericht Elba.“ Graz, 2015.
- Liu, Q. *Modelling in Engineering Geology*. TU Graz, 2014.
- Liu, Q. „Rock mass characterisation.“ 2014.
- NGI. *Using the Q- system. Rock mass classification and support design*. 2013.
- Ortner, Hugo. „Fernerkundung mit Hilfe von Orthofotos und Geländemodellen.“ (Institut für Geologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck) 11 (2014).
- Palmström, A. *RMI- a rock mass characterisation system for engineering purposes*. Bde. (4-3)-(4-8). Oslo: University of Oslo, Norway, 1995.
- Schäfer, A. „Geologische Karte des Buchkogel- Florianibergzuges im Maßstabe 1:25000.“ *Mitt. naturwissenschaftlicher Verein Steiermark* 74 (1937): 133-142.
- Schmidt. „Gis und Fernerkundung.“ *Universität Jena (Powerpoint Folien)*, 2004.
- Schneider, Alexander H. „Sicherheit gegen Niederbruch im Untertagebau.“ 2002.
- Stini, J. „Tunnelbaugeologie.“ Wien: Springer, 1950.
- Ulrich, Sebastian. *Gesteinskunde*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.
- Universität Münster. *Fernerkundung in der Geologie: Eine kurze Einführung*. o. Jahr.
<https://www.google.at/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=fernerkundung%20in%20der%20geologie>.

USGS. „Landslide Types and Processes.“ *science for a changing world*, 2004.

Weber, S. *Stabilitätsanalyse mittels terrestrischem Laserscan am Feldkofel in Bad Bleiberg, Kärnten*. Graz: Masterarbeit, Institut für Angewandte Geowissenschaften, 2013.

www.googlemaps.at. 09. 11 2015.

Zeiner, Robert. *Der Einsatz von Airborne Laserscanning Daten im forstbetrieblichen Informationssystem*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien, 2012.

8. ABBILDUNGS-UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1 Regelmäßige Klufscharen Marhof 2015	4
Abbildung 2 Regelmäßige Klufscharen, A. Palmström Block Size and Shape,2005 .	4
Abbildung 3 Unregelmäßige Klufscharen schwer zu bestimmen, A. Palmström Block Size and Shape 2005	5
Abbildung 4 Graz Kalvarienberg, Liu 2005	5
Abbildung 5 Deformationsmodulus nach (Cai et.al 2004).....	10
Abbildung 6 Kinematische Versagen: Gleiten (USGS 2004)	14
Abbildung 7 Rotierte Massenbewegung mit Hauptnormalspannungen (Kieffer 2014)	15
Abbildung 8 Verschiedene Arten von Kippen (Kieffer 2014).....	16
Abbildung 9 Keilversagen. a das Modell, b ein Praktisches Beispiel (Kieffer, 2014)	17
Abbildung 10 Bewertung der Trennflächenorientierung (Francis 1991).....	19
Abbildung 11 Scanline Aufnahmeblatt (Liu, Rock mass characterisation 2014)	21
Abbildung 12 Erklärung zur Abstandsberechnung Nach (Liu, Rock mass characterisation 2014)	22
Abbildung 13 Klüftungsklassen (Ulrich 2014)	23
Abbildung 14 Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit (Eichler 2000, ISRM 1978, Wittke 1984)	25
Abbildung 15 Mohr Colomb im Bezug zur Rauigkeit (Barton, 1971,1973).....	26
Abbildung 16 Öffnungsweite nach (ISRM 1978).....	29
Abbildung 17 Geographische Karte Marhof (www.googlemaps.at 2015)	31
Abbildung 18 Geologische Karte Marhof im Maßstab 1:50000 (Digitaler Atlas Steiermark 2015)	32
Abbildung 19 Geographische Karte Aufschluss 2 am Plabutsch (www.googlemaps.at 2015)	33
Abbildung 20 Geologische Karte Plabutsch im Maßstab 1:50000 (Digitaler Atlas Steiermark 2015)	34
Abbildung 21 Geographische Karte Aufschluss 3 Kalvarienberg (www.googlemaps.at 2015)	35
Abbildung 22 Geologische Karte von Aufschluss 3 im Maßstab 1:50000 (Digitaler Atlas Steiermark 2015)	36

Abbildung 23 Steinofen westlich von Marhof (Blau Neigung des Hanges, Rot Einfallen der Schichten).....	37
Abbildung 24 Schematische Darstellung der Steinöfen von Dr. A. Kieslinger	38
Abbildung 25 Beispiel für Strukturgeologische Bearbeitung von Fotos Radiolarit in Elba (Koos M., Molterer C., Weigand S. 2015).....	41
Abbildung 26 Kamera zur Aufnahme der 3D Bilder (3GSM).....	44
Abbildung 27 Referenzstäbe (3GSM).....	45
Abbildung 28 Bilderpaar Aufnahme (3GSM).....	46
Abbildung 29 Trennflächenspur.....	50
Abbildung 30 Orientierungsmessung mit ShapeMetriX3D.....	51
Abbildung 31 Flächen mit gleichen Eigenschaften-ShapeMetriX3D.....	52
Abbildung 32 Joint mit eingebauter Fläche und Orientierung	53
Abbildung 33 Gefügemessungen	54
Abbildung 34 Hemispährische Projektion	55
Abbildung 35 Unterer Hemisphären-Plot zur veranschaulichung von JP codes (Programm Liu B02)	58
Abbildung 36 Mindestens 4 Flächen für "potential keyblock" werden benötigt (Tf= Trennfläche, FI= Fläche) Nach (Kieffer 2014).....	59
Abbildung 37 Darstellung der blocktypen, nach [Liu, 2014]	61
Abbildung 38 Blocktypen Einteilung nach [Liu, 2014]	61
Abbildung 39 Aufschluss1_1	69
Abbildung 40 ShapeMetriX Auswertung Aufschluss 1_1	69
Abbildung 41 Orientierung Aufschluss 1_1.....	70
Abbildung 42 Aufschluss 1_2	71
Abbildung 43 ShapeMetriX Auswertung Aufschluss 1_2.....	71
Abbildung 44 Orientierung Aufschluss 1_2.....	72
Abbildung 45 Aufschluss 1_3	73
Abbildung 46 ShapeMetriX Auswertung Aufschluss 1_3.....	73
Abbildung 47 Orientierung Aufschluss 1_3.....	74
Abbildung 48 Aufschluss 1_4	75
Abbildung 49 ShapeMetriX Auswertung Aufschluss 1_4.....	75
Abbildung 50 Orientierung Aufschluss 1_4.....	76
Abbildung 51 Aufschluss 1_5	77
Abbildung 52 ShapeMetriX Auswertung Aufschluss 1_5.....	77

Abbildung 53 Orientierung Aufschluss 1_5.....	78
Abbildung 54 Aufschlussfoto 2_1 zum besseren Verständnis der Schar-Regelmäßigkeiten. Bei diesem Aufschluss sind die Klufscharen sehr schwer zu identifizieren.	79
Abbildung 55 Aufschlussfoto 2_2 (Massband = 1 Meter)	79
Abbildung 56 Aufschluss 3_1 Kalvarienberg Graz, Unregelmäßige Scharen	80
Abbildung 57 Aufschluss 3_1 ShapeMetriX Auswertung	80
Abbildung 58 Orientierung Aufschluss 3_1.....	81
Abbildung 59 Aufschluss 3_2 Kalvarienberg Graz.....	82
Abbildung 60 Aufschluss 3_2 ShapeMetriX Auswertung	82
Abbildung 61 Orientierung Aufschluss 3_2.....	83
Abbildung 62 Aufschluss 3_3 Kalvarienberg	84
Abbildung 63 Aufschluss 3_3 ShapeMetriX Auswertung	84
Abbildung 64 Orientierung Aufschluss 3_3.....	85
Abbildung 65 Graphische Darstellung der Tabelle 22 Frequenz und Abstand	90
Abbildung 66 Geological Strength Index von Aufschluss 1 nach (Cai et.al 2004)	97
Abbildung 67 Block 1 Kalvarienberg (ShapeMetriX3).....	99
Abbildung 68 Flächen Darstellung von Block 1 zur Bestimmung des BP Codes....	100
Abbildung 69 Block 1 Dargestellt von B03HPGL.EXE mit dem berechneten Blockvolumen	101
Abbildung 70 Block 2 in ShapeMetriX	Error! Bookmark not defined.
Abbildung 71 Flächen Darstellung für Block 2 zur Erstellung des BP Codes	113
Abbildung 72 Block 2 dargestellt von B03HPGL.EXE mit dem berechneten Blockvolumen	114
Abbildung 73 Block 3 in ShapeMetriX	115
Abbildung 74 Flächen Darstellung für Block 3 zur Erstellung des BP Codes	115
Abbildung 75 Block 3 dargestellt von B03HPGL.EXE mit dem berechneten Blockvolumen	116
Tabelle 1 RMR Nach (Bieniawski 1989)	6
Tabelle 2 Rock Mass Quality System Nach (NGI 2013)	7
Tabelle 3 Rock Mass Index Bestimmungs Tabelle Nach (Palmström 1995)	9
Tabelle 4 GSI (Cai et.al 2004)	11

Tabelle 5 Kategorien für die Beschreibung von Trennflächen nach Empfehlung ISRM (1978).....	12
Tabelle 6 Einteilung der Trennflächen mit deren Eigenschaften (https://de.wikipedia.org/wiki/Trennfläche_(Geologie) 2014)	13
Tabelle 7 Orientierung von Trennflächen (nach Stini 1950).....	18
Tabelle 8 Trennflächen Abstände nach IAEG (1981) und ISRM (1978)	20
Tabelle 9 Trennflächen Erstreckung Nach (Hudson & Priest 1983)	24
Tabelle 10 Einteilung der Rauigkeitsstufen (Eichler 2000)	25
Tabelle 11 Verwitterungsstufen nach Empfehlungen von ISRM und IAEG (Eichler 2000)	28
Tabelle 12 Kluftöffnungsweiten Gegenüberstellung ISRM 1978 und IAEG 1981 nach (Eichler 2000)	29
Tabelle 13 Legende für den Aufschluss 1 in Marhof (Digitaler Atlas Steiermark 2015)	32
Tabelle 14 Legende für den Aufschluss 2 am Plabutsch (Digitaler Atlas Steiermark 2015)	34
Tabelle 15 Legende Für den Aufschluss 3 Kalvarienberg (Digitaler Atlas Steiermark 2015)	36
Tabelle 16 Fernerkundungs-Methoden und deren Vor-und Nachteile	42
Tabelle 17 Unterschiede zur Konventionellen Dokumentation (3GSM, 2012)	43
Tabelle 18 Anleitung zum Fotografieren im Gelände Nach (3GSM).....	47
Tabelle 19 Grad der Zerklüftung.....	65
Tabelle 20 Orientierungsdaten von Aufschluss 1 (Marhof).....	87
Tabelle 21 ORIENTIERUNGSDATEN VON AUFSCHLUSS 3 (KALVARIENBERG)	88
Tabelle 22 Abstand der Trennflächen und deren Häufigkeit in Bezug auf einen Meter	89
Tabelle 23 Berechnung Blockvolumen Aufschluss 1_1	91
Tabelle 24 Berechnung des Blockvolumen von Aufschluss 1_2.....	92
Tabelle 25 Berechnung des Blockvolumen von Aufschluss 1_3.....	93
Tabelle 26 Berechnung des Blockvolumen von Aufschluss 1_4.....	94
Tabelle 27 Berechnung des Blockvolumen von Aufschluss 1_5.....	95
Tabelle 28 Berechneter GSI von Aufschluss 1	96
Tabelle 29 Eingabeparameter Block 1	98
Tabelle 30 Eingabeparameter Block 2.....	114

Tabelle 31 Eingabeparameter Block 3..... 116

9. ANHANG

Die Ergebnisse der Volums-Berechnung für irreguläre Blöcke befinden sich in Abbildung 70, Abbildung 71 und Abbildung 72.

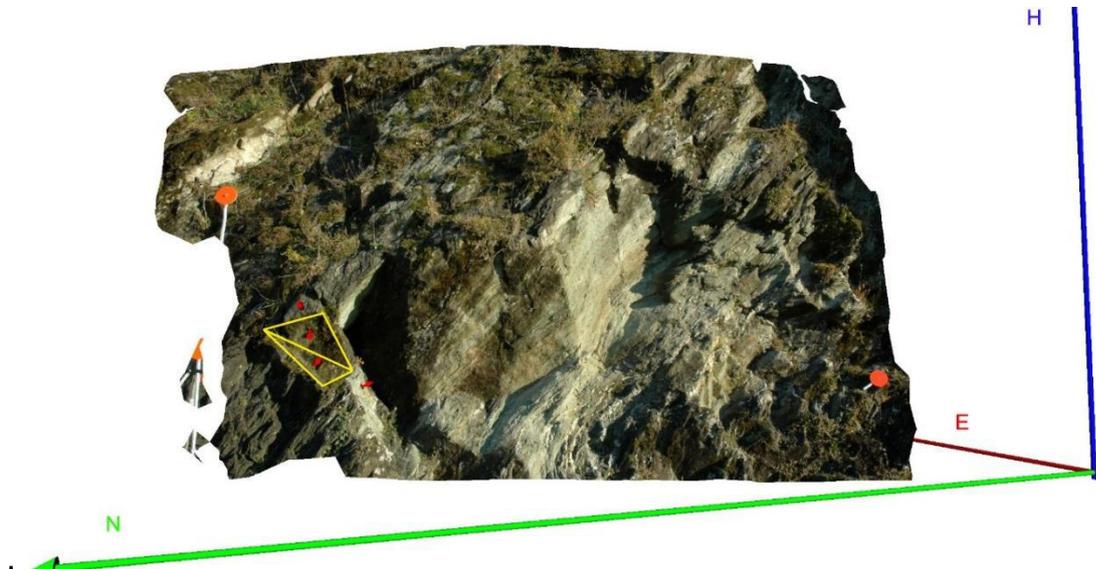


ABBILDUNG 70 BLOCK 2 IN SHAPEMETRIX

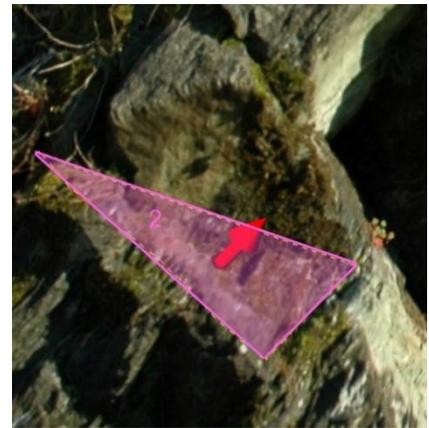
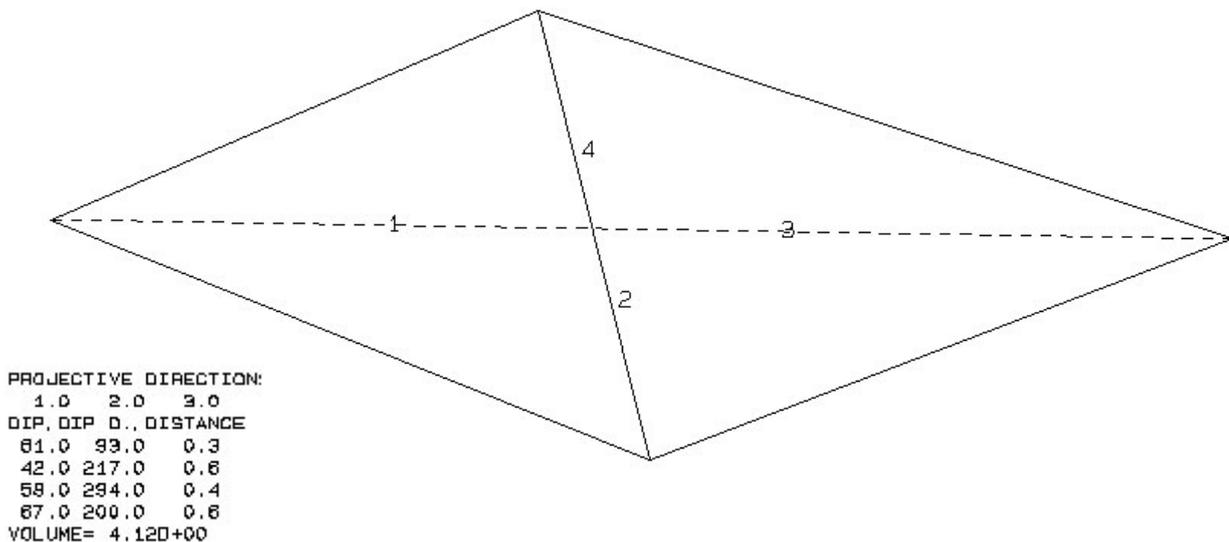


ABBILDUNG 71 FLÄCHEN DARSTELLUNG FÜR BLOCK 2 ZUR ERSTELLUNG DES BP CODES

Eingabe Parameter für Block 2 sind in Tabelle 30 ersichtlich und werden in Abbildung 72 graphisch dargestellt.

Fläche	Einfallsrichtung/ Einfallswinkel	Abstände [m]	BP Code
Fläche 1	93/61	0,70→ 0,35	1
Fläche 2	217/42	1,42→ 0,62	0
Freie Fläche 3	294/58	0,80→ 0,4	1
Freie Fläche 4	200/67	1,18→ 0,59	1
			BP Code 1010

TABELLE 30 EINGABEPARAMETER BLOCK 2



1011

ABBILDUNG 72 BLOCK 2 DARGESTELLT VON B03HPGL.EXE MIT DEM BERECHNETEN BLOCKVOLUMEN

Das Blockvolumen für Block 2 beträgt 4,120 m³

Ergebnisse der Volums-Berechnung für Block 3 sind in Abbildung 73 Abbildung 74 dargestellt.

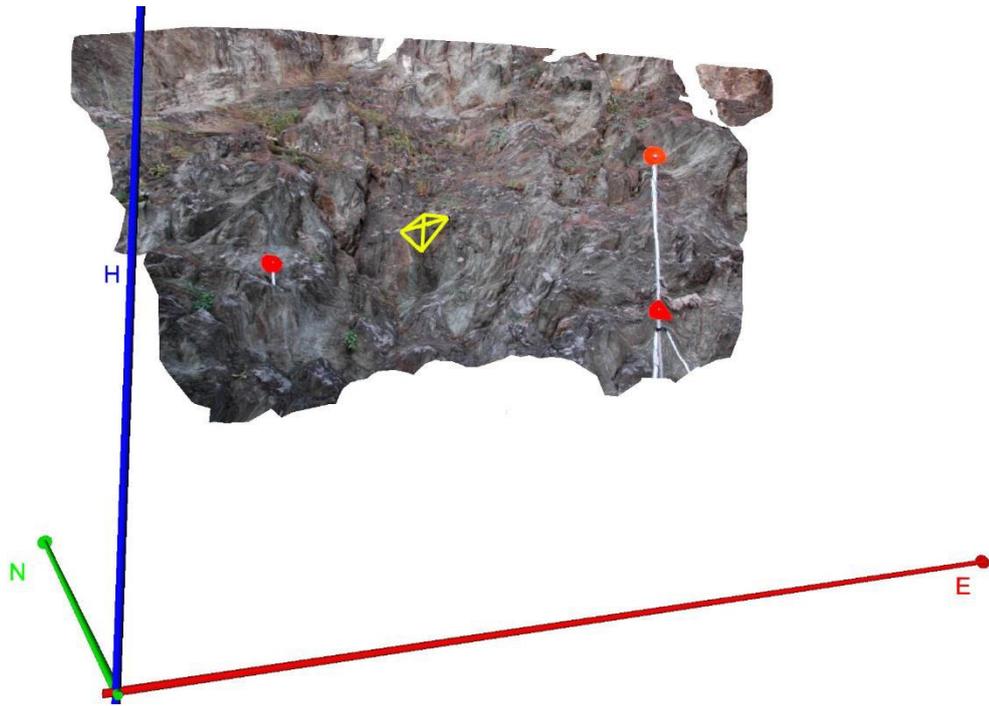


ABBILDUNG 73 BLOCK 3 IN SHAPEMETRIX

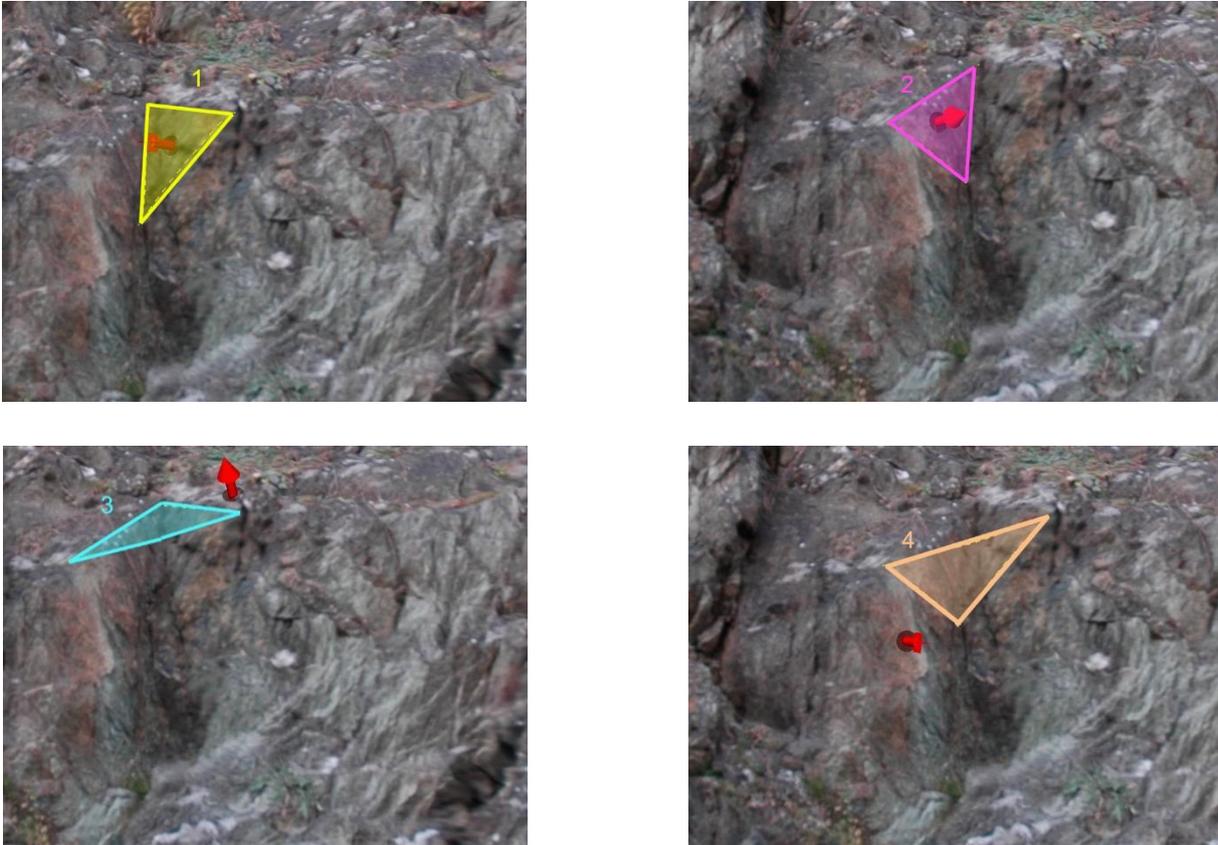


ABBILDUNG 74 FLÄCHEN DARSTELLUNG FÜR BLOCK 3 ZUR ERSTELLUNG DES BP CODES

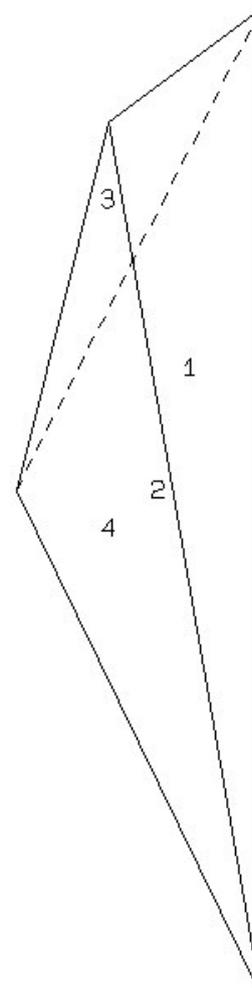
Eingabe Parameter für Block 3 sind in Tabelle 31 dargestellt, die graphische Auswertung wird in Abbildung 75 präsentiert. Das Blockvolumen für Block 3 beträgt $2,310E^{-01}m^3$

Fläche	Einfallsrichtung/ Einfallswinkel	Abstände [m]	BP Code
Fläche 1	080/82	0,52→0,260	1
Fläche 2	172/84	0,39→ 0,195	0
Freie Fläche 3	240/58	0,47→ 0,235	1
Freie Fläche 4	005/82	0,23→ 0,115	0
			BP Code 1010

TABELLE 31 EINGABEPARAMETER BLOCK 3

```

PROJECTIVE DIRECTION:
  0.9 -0.5 0.2
DIP, DIP D., DISTANCE
82.0 80.0 0.3
84.0 172.0 0.2
58.0 240.0 0.2
82.0 5.0 0.1
VOLUME= 2.310-01
    
```



1010

ABBILDUNG 75 BLOCK 3 DARGESTELLT VON B03HPGL.EXE MIT DEM BERECHNETEN BLOCKVOLUMEN