

Zijad Ramic, BSc

**Die Abhängigkeit des Trennflächengefüges von  
der Datenqualität, in Bezug auf ein Steinschlager-  
eignis im Bereich des Mörtschachbergs**

**Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium Erdwissenschaften

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat., Qian LIU

Dekanat für Bauingenieurwissenschaften  
Institut für Angewandte Geowissenschaften

Graz, im Dezember 2017

## **EIDESSTÄTTLICHE 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.

---

Datum

---

Unterschrift

## **Danksagung**

Zunächst möchte ich mich bei dem Amt der Kärntner Landesregierung Abteilung 8 - Umwelt, Wasser und Naturschutz, und insbesondere bei Herrn Mag. Franz Goldschmidt, für seine Unterstützungen und die Bereitbestellung der ALS-Daten bedanken.

Bei meinem Betreuer Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr. Qian Liu bedanke ich mich ganz besonders, da er mir während der gesamten Arbeit mit all seiner Erfahrung und seinem Wissen Unterstützung und Motivation gab.

Ein großes Dankeschön geht ebenso an Matthias Weiss, BSc, meinen Freund und Studienkollegen, der mich nicht nur durch das gesamte Studium, sondern auch in diesem Projekt begleitet hat. Mit seiner Hilfe und Expertise stand er mir stets zur Seite und war insbesondere bei der Datenaufnahme eine enorme Stütze.

Sowohl bei Herrn Mag. Peter Schreiber, für seine kompetente und schnelle Hilfe bei technischen Anliegen, als auch bei Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Dietmar Klammer, für Aufklärungen bei organisatorischen Fragen, bedanke ich mich herzlichst.

Zu guter Letzt, bedanke ich mich bei meiner Familie, die mich während des Studiums immer unterstützt hat.

## Kurzfassung

Steinschlagereignisse im Bereich des Mörtschachbergs in der Gemeinde Mörtschach, Kärnten, wurden zum Anlass mehrerer ingenieurgeologischer Untersuchungen. Durch deren Auswertung wurden im Rahmen dieser Masterarbeit versucht Informationen aufzubringen, die besonders für die Beurteilung der Gefährdung von Steinschlag nützlich sein können. Aus dem Vergleich der Ergebnisse, die durch Daten verschiedener Messmethoden erhalten wurden, sollte die Abhängigkeit des Trennflächengefüges von der Qualität der gemessenen Daten gezeigt werden.

Um dieses Vorhaben zu realisieren, wurden ingenieurgeologische Parameter benötigt. Nach mehreren Geländebegehungen und der damit verbundenen Datenerfassung, insbesondere für das auf Photogrammetrie basierende Messsystem ShapeMetriX<sup>3D</sup>, kam es zur digitalen Auswertung mittels spezifischen Softwares. Es wurden neben den selbst aufgenommenen Daten auch, die von der Kärntner Landesregierung zur Verfügung gestellten, Airborne Laserscanning (ALS) -Daten verwendet. In den Computerprogrammen „ShapeMetriX<sup>3D</sup>“ und „RiSCAN PRO“ kam es zur Datenbearbeitung, um richtungsorientierte bzw. georeferenzierte Modelle zu generieren. In diese Modelle wurden gezielt Trennflächen eingebaut um sie dann in Scharen zu fassen und statistisch bzw. graphisch auszuwerten. Die Scharen der verschiedenen Daten wurden untereinander verglichen und zugeordnet. Mit den ermittelten Parametern wurde in weiterer Folge ein Beurteilungsverfahren benutzt, um dadurch Blockvolumen zu berechnen.

## Abstract

Rockfall events around the Mörtschachberg, in the local community of Mörtschach, Carinthia, have initiated several engineering geological investigations. Within this master thesis, the evaluation of those was performed, in respect to obtaining useful information for the hazard assessment of rockfall. The comparison of the results, obtained by data from different measurement methods, shows the dependence of joint systems on the quality of measured data.

To realize this project, engineering geological parameters were required. Following several site inspections along data acquisition, more specifically for the photogrammetric-based measurement system ShapeMetriX3D, the data was digitally evaluated using specific software. In addition to the self-recorded data, Airborne Laserscanning (ALS) data, provided by Carinthian State Government, were also used. With the software "ShapeMetriX<sup>3D</sup>" and "RiSCAN PRO", data was processed to generate direction-oriented or georeferenced models. Joint surfaces were inserted into these models, in order to group them into sets and evaluate them statistically as well as graphically. These joint sets of the different data were compared to each other and categorized. With the parameters determined, an assessment procedure was subsequently used to calculate block volumes.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	iii
Kurzfassung.....	iv
Abstract.....	v
Inhaltsverzeichnis.....	vi
1. Ziel und Motivation.....	1
2. Arbeitsgebiet.....	4
2.1 Geographische Übersicht des Arbeitsgebiets.....	4
2.2 Geomorphologie des Arbeitsgebiets.....	5
2.3 Geologische und tektonische Übersicht des Arbeitsgebiets.....	8
2.3.1 Regional.....	8
2.3.2 Störungen – Regional.....	9
2.3.3 Deformationsphasen.....	10
2.3.4 Lokal - Prijakt-Decke/ Prijakt-Polinik-Komplex.....	11
2.3.5 Störungen – Lokal.....	14
2.4 Geländebegehungen.....	16
3. Methodik.....	20
3.1 Airborne Laserscanning (ALS).....	20
3.2 ShapeMetriX <sup>3D</sup> .....	24
3.2.1 Messpositionen.....	26
3.3 Geologischer Kompass.....	27
3.4 Trennflächen.....	28
3.4.1 Allgemein.....	28
3.4.2 Richtungsstatistik von Trennflächenscharen.....	30
3.5 Blockvolumen.....	32
3.6 Verwendete Programme.....	33
3.6.1 „RISCAN PRO“.....	33
3.6.2 ShapeMetriX <sup>3D</sup> .....	36
3.6.3 Stereo32.....	39
4. Ergebnisse.....	41

4.1	Trennflächenscharen – ALS.....	41
4.1.1	Schar 1, KF1 .....	43
4.1.2	Schar 2, KF2 .....	45
4.1.3	Schar 3, KF3 .....	47
4.1.4	Schar 4, KF4 .....	49
4.1.5	Schar 5, KF5 .....	51
4.1.6	Schar 6, SF1 .....	53
4.1.7	Schar 7, SF2 .....	55
4.2	Trennflächenscharen – ShapeMetriX <sup>3D</sup> .....	58
4.2.1	Modell 1 .....	58
4.2.2	Modell 2 .....	67
4.2.3	Modell 3 .....	74
4.2.4	Modell 4 .....	79
4.2.5	Modell 5 .....	88
4.3	Blockvolumen .....	94
4.3.1	ALS .....	94
4.3.2	ShapeMetriX <sup>3D</sup> Modell 1 .....	97
4.3.3	ShapeMetriX <sup>3D</sup> Modell 2 .....	100
4.3.4	ShapeMetriX <sup>3D</sup> Modell 3 .....	101
4.3.5	ShapeMetriX <sup>3D</sup> Modell 4 .....	103
4.3.6	ShapeMetriX <sup>3D</sup> Modell 5 .....	107
5.	Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....	109
6.	Literaturverzeichnis .....	115
7.	Abbildungsverzeichnis .....	118
8.	Tabellenverzeichnis .....	125
9.	Anhang .....	129

## 1. Ziel und Motivation

In den letzten Jahrzehnten wurden immer wieder Steinschlagereignisse im Bereich des Mörtschachbergs dokumentiert. Das jüngste Ereignis, Dezember 2014, wurde zum Anlass ingenieurgeologischer Untersuchungen im Rahmen dieser Masterarbeit. Es wurden rund 100 Kubikmeter Gestein gelöst, wobei vereinzelt Brocken bis ins Tal gelangt sind (kleinezeitung.at 2014). Das Ereignis zeigt die Gefahr von Steinschlag in dieser Gegend, vor allem entlang der Astenstraße (Abb.1), aber auch für die Einwohner im Tal.



*Abbildung 1: Gesteinsbrocken, der die Astenstraße blockiert (kleinezeitung.at 2014)*

Um die Gefahr von Steinschlag geologisch einzuschätzen, wurden ingenieurgeologische Parameter benötigt, die für Analysen im Bearbeitungsprozess verwendet wurden. Durch das steile Relief und dem damit verbundenen unwegsamen Gelände, ist der Zugang zu Aufschlüssen stark eingeschränkt. Deshalb wurde, um die benötigten Parameter in auswertbarer Qualität zu erlangen, auf diverse ingenieurgeologische Fernerkundungsmethoden gesetzt.

Eine dieser Methoden ist das Terrestrische Laserscanning (TLS), welches hochauflösende Daten aus relativ großer Entfernung bietet. Dabei wurden Messungen von drei verschiedenen Positionen aus durchgeführt. Deren Auswertung erfolgte durch Matthias Weiss in seiner Masterarbeit „Mörtschach Felssturz 2014 des Ostbereiches – Ingenieurgeologische Untersuchungen mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden“ (Weiss, 2017).

Neben dem TLS, wurden auch Airborne Laserscanning (ALS) - Daten, die von der Kärntner Landesregierung zu Verfügung gestellt wurden, verwendet. Diese Daten liegen in Form einer 3D-Punktwolke vor, wobei jeder Punkt durch X/Y/Z – Koordinaten definiert wird. Punkte die auf einer Ebene liegen, können so im Bearbeitungsprozess als Fläche identifiziert werden. Die Auflösung, also der durchschnittliche Abstand zwischen zwei Punkten in der Punktwolke (Van Genechten & Quintero 2008), beträgt bei den bereitgestellten ALS-Daten 1m.

Darüber hinaus wurde auch das auf Photogrammetrie basierende Messsystem ShapeMetriX<sup>3D</sup> eingesetzt. Aus stereoskopische Bildpaaren wurden digital 3D-Modelle erzeugt, die eine geologische Auswertung ermöglichen. Die erreichte Auflösung mittels dieser Messmethode ist abhängig von der Größe des Aufschlusses und liegt im Millimeterbereich (Schäbitz 2012).

Ziel dieser Masterarbeit ist es, mittels dieser zwei Methoden die Haupttrennflächenscharen zu identifizieren und ein Beurteilungsverfahren anzuwenden, um Blockvolumen zu berechnen. Durch den Vergleich der ausgewerteten Daten beider Messsysteme, soll die Abhängigkeit des Trennflächengefüges von der Qualität der gemessenen Daten, zum Ausdruck gebracht werden.

Die Datenqualität, hinsichtlich der Erfassung von Trennflächenscharen für eine Beurteilung der Steinschlaggefährdung, wird im Wesentlichen bestimmt durch die Auflösung der Messdaten, sowie dem, durch die verwendete Messmethodik bedingten, Blickwinkel auf das Messobjekt.

Nach der Sammlung vorhandener geologischer und tektonischer Informationen über das Arbeitsgebiet, folgten mehrere Geländebegehungen, bei denen unter anderem die Datenaufnahme für ShapeMetriX<sup>3D</sup> erfolgte.

Mit dem Programm „ShapeMetriX<sup>3D</sup>“ wurden daraus 3D Modelle generiert, in welche gezielt Trennflächen eingebaut wurden, um in weiterer Folge die benötigten Parameter zu erhalten. Die Airborne Laserscanning - Daten wurden mittels der Software „RiSCAN PRO“ bearbeitet, mit dem Ziel ein 3D Trennflächenmodell zu erhalten. Im nächsten Arbeitsschritt erfolgte die graphische und statistische Darstellung der Trennflächenscharen, anhand derer Zuordnungen durchgeführt wurden. Mittels einem einfachen Beurteilungsverfahren wurden im Anschluss Blockvolumen für alle Modelle berechnet.

## 2. Arbeitsgebiet

### 2.1 Geographische Übersicht des Arbeitsgebiets

Das Arbeitsgebiet (Abb.2) befindet sich geographisch gesehen in dem österreichischen Teil der Ostalpen. Unterteilt man diese, so befindet man sich in den Zentralalpen, genauer gesagt im Nordwesten des Bundeslandes Kärnten, in den Hohen Tauern. Diese werden durch zahlreiche Gruppen gegliedert. Eine davon ist die für diese Arbeit interessante Goldberggruppe, in deren südlichen Teil, der Sadniggruppe, sich das Arbeitsgebiet befindet.

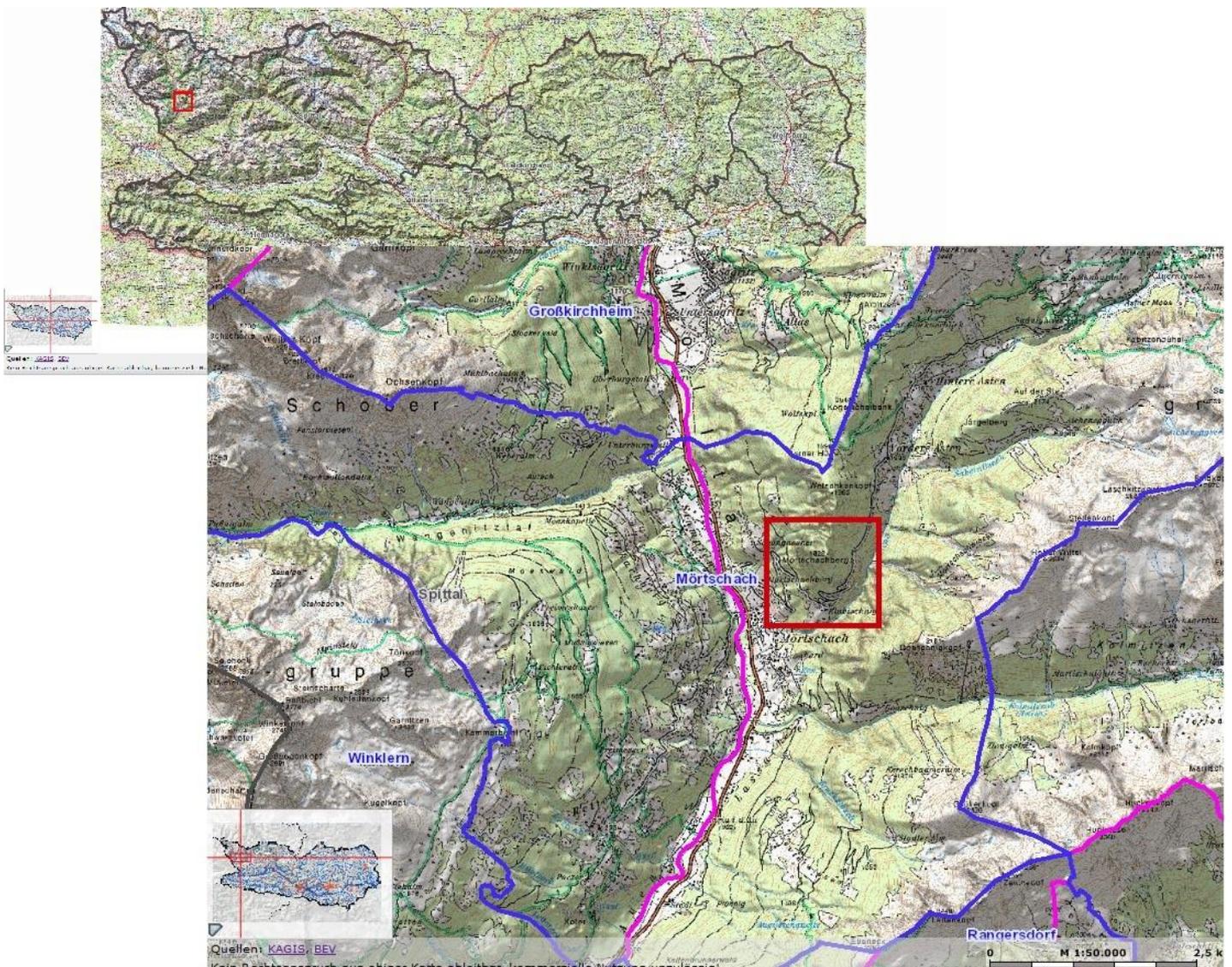


Abbildung 2: Karten Kärntens im Maßstab 1:500000 bzw. 1:50000 mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (Quelle: <http://gis.ktn.gv.at>)

Die Gruppe streckt sich über drei Gemeinden, Döllach, Winklern und Mörtschach, wo sich der untersuchte Bergsturz ereignete. Das Gebiet der Goldberggruppe verläuft orographisch links des Flusses Möll, und umfasst somit hauptsächlich das obere Mölltal sowie die Nebentäler der Nebenflüsse Zirknitz, Asten und Kolmitzen (Melzner et al. 2011).

Das untersuchte Gebiet ist der Bereich um den Mörtschachberg, sowie der Asten-Straße (Abb.3). Der Mörtschachberg liegt in der Gemeinde Mörtschach und wird nördlich vom Wetschkenkopf und südlich vom Astenbach begrenzt (Abb.3).

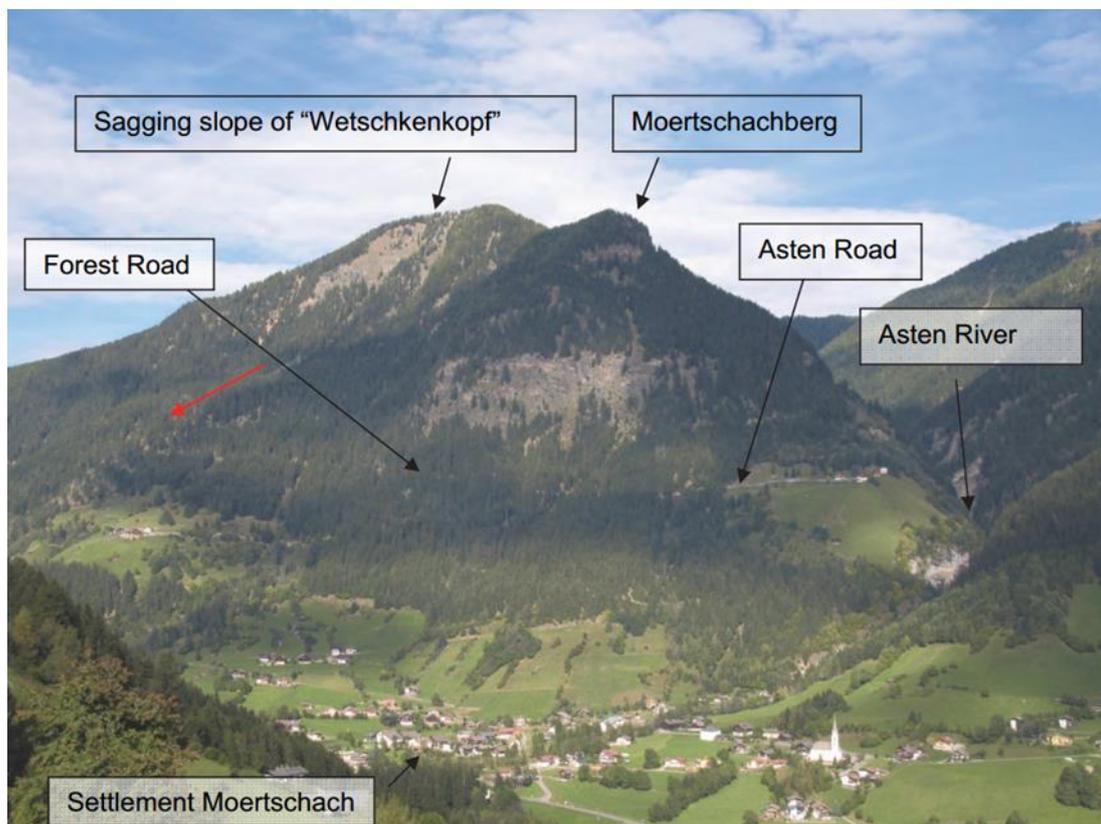


Abbildung 3: Mörtschachberg und Astenstraße sowie ihre Begrenzungen (Melzner et al. 2011)

## 2.2 Geomorphologie des Arbeitsgebiets

Besonders zwei Seitenverschiebungssysteme sind für die Geomorphologie des Arbeitsgebiets signifikant:

- Iseltal Störungssystem (dextral)
- Zwischenbergen - Wöllatratten Störungssystem (sinistral)

(Melzner et al. 2011)

Diese tektonisch anfälligen Zonen wurden vor allem glazio-fluvialen/fluviolen Erosionsprozessen unterzogen. Diese Störungen sind für den NW-SO bzw. WSW-ONO gerichteten Verlauf der Täler in diesem Gebiet verantwortlich (Melzner et al. 2011).

Vor allem durch die glaziale Erosion, hervorgerufen durch den damaligen Möllgletscher, während der letzten Eiszeit, ist die für solche Täler typische U-Form entstanden. Charakteristisch sind die großen Höhenunterschiede zwischen den Tälern und Spitzen, die nach der Vergletscherung zusätzlich die fluviatilen Erosionsprozesse förderten. Dies führte zu steil eingeschnittenen Schluchten und Hängen im Gebiet, vor allem in den Nebentälern.

Diese steilen glazialen/post-glazialen geformten Felswände, können leicht in der von rezenten Erosionsprozessen geformten Landschaft identifiziert werden (Melzner et al. 2011) (Abb.4).



Abbildung 4: Steile Felswand Mörtschachberg (Bild: Ramic & Weiss 2015)

Die Hänge des oberen Mölltals haben mit Durchschnittswerten zwischen  $48^\circ$  und  $50^\circ$  eine relativ hohe Neigung. In dem bearbeiteten Gebiet jedoch, das sich ausschließlich im Prijakt-Polinik-Komplex (siehe Kap.2.3.4) befindet, welcher deutlich kompetentere tektonische Einheiten aufweist, treten deutlich größere und steilere Felswände mit Hangneigungen über  $50^\circ$  auf (Abb.5).

Diese Bereiche sind, insbesondere wenn Störungen und Kluftscharen präsent sind, jene Zonen, von denen potentielle Steinschläge gelöst werden können (Melzner et al. 2011; Melzner et al. 2010).

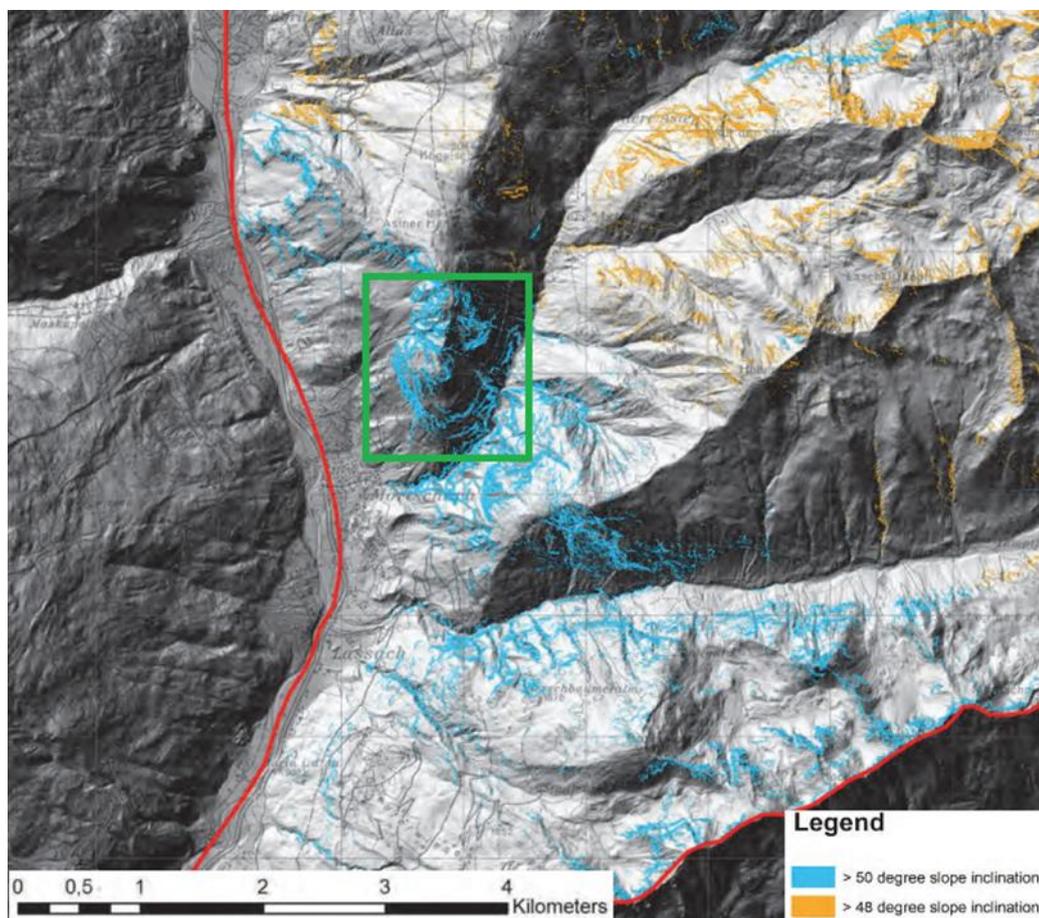


Abbildung 5: Hangneigungen der Region (Quelle: Melzner et al. 2011) mit in grün eingezeichnetem Arbeitsgebiet

## 2.3 Geologische und tektonische Übersicht des Arbeitsgebiets

### 2.3.1 Regional

Die Goldberggruppe befindet sich, geologisch gesehen, sowohl im südlichen Teil des Tauern Fensters als auch in den angrenzenden Austroalpinen Decken. Sie umfasst die tektonischen Haupteinheiten Sub-Penninikum, Penninikum und Austroalpin. Lediglich die obere Austroalpine Untereinheit, leicht bis steil in Richtung SW, teilweise NO einfallend, ist für das bearbeitete Arbeitsgebiet von Bedeutung. Während der alpidischen Orogenese wurde die Einheit mehreren duktilen und spröden Deformationsphasen unterzogen (Melzner et al. 2011).

Verschiedene gestapelte Decken bilden die obere Austroalpine Untereinheit, die hauptsächlich während des Eo-Alpine Events, in der frühen Kreidezeit bis zur frühen Spätkreide, gebildet wurde. Ein Teil dieser Einheit ist das Koralpe-Wölz-Deckensystem, in dem sich das Arbeitsgebiet befindet (Institut für Erdwissenschaften 2014) (Abb.6).

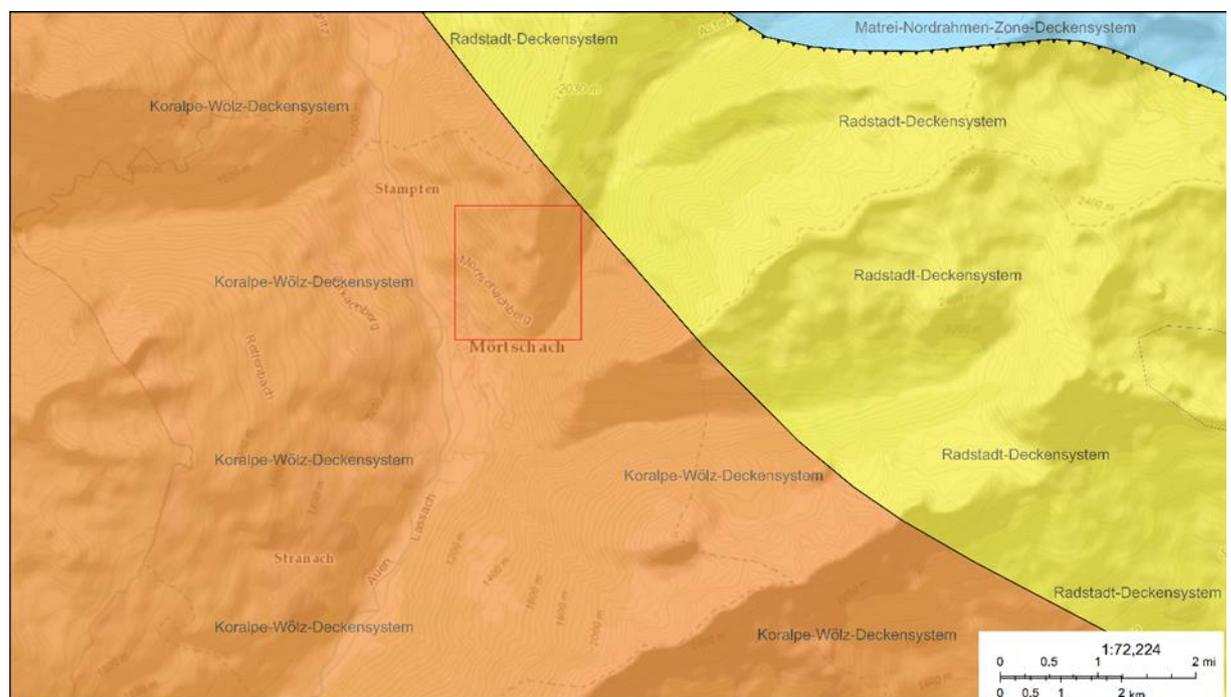


Abbildung 6: Übersicht der Deckensysteme in der Region mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet  
(Quelle: Geologische Bundesanstalt: Multifunktionale geologische Karte)

### 2.3.2 Störungen – Regional

Besonders zwei Hauptstörungssysteme (Abb.7) sind regional gesehen wichtig, da sie den Übergang von duktilen zu spröden Deformationsverhalten kontrollieren:

- Defereggan-Antholz-Vals (DAV) – Störung (sinistral)
- Pustertal-Gailtal - Störung (dextral; Teil des Periadriatischen Störungssystems)

Zusammenhängend mit diesen, sind folgende synthetische Störungen, die besonderes prägend sind für das untersuchte Arbeitsgebiet (Abb.7):

- Zwischenbergen-Wöllatratzen Störungssystem (zusammenhängend mit DAV-Störung)
- Iseltal Störungssystem (zusammenhängend mit Pustertal-Gailtal – Störung)

(LINNER et al. 2009)

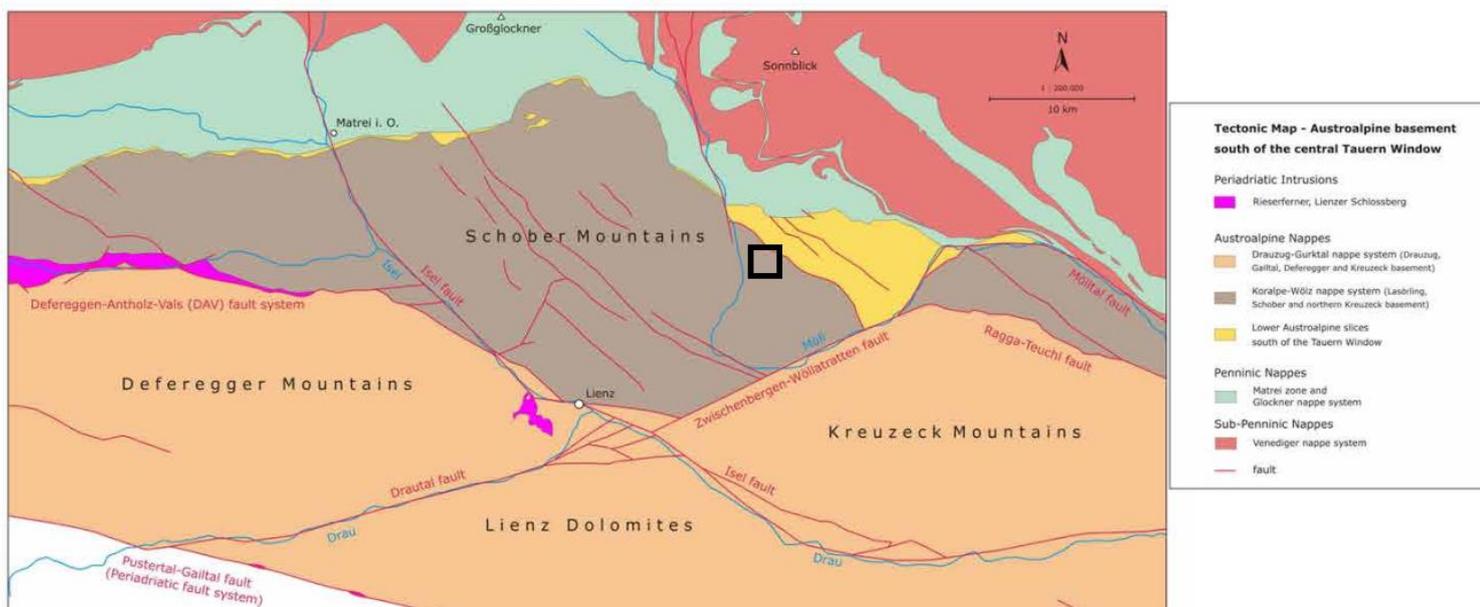


Abbildung 7: Übersicht der Decken- und Störungssysteme des südlichen Tauernfensters mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (LINNER et al. 2009)

### 2.3.3 *Deformationsphasen*

Zwei Deformationsphasen waren für die Region strukturgeologisch differenzierbar.

#### 1.) Oligozän – NO-SW verkürzende duktile bis spröde Deformation (sinistral)

Zu Beginn der Deformation kommt es zu Aufschiebungen in SW-Richtung. Den Höhepunkt der Aktivität kennzeichnet eine sinistrale Seitenverschiebung an morphologisch wirksamen Störungen mit der Streichrichtung WSW-ONO. Durch die jüngere Iseltal-Störung wurde dieses gebildete WSW-ONO Störungssystem in die Drautal-Störung und Zwischenbergen-Wöllatratten Störung geteilt (siehe Abb. 7). Zum Ende der Phase kommt es zu Abschiebungen in NW-SO Richtung. Die Entwicklung des DAV-Störungssystem wird in Verbindung gebracht mit dieser Deformationsphase.

#### 2.) Miozän – spröde Deformation (sinistral und dextral)

Die Deformation führt zur Entwicklung des Iseltal Störungssystem, mit Hauptstörungsflächen die in WNW-OSO Richtung streichen. Die Störung ist dextral und steht als synthetische Fläche im Zusammenhang mit der Pustertal-Gailtal – Störung, welche der dextrale Teil des Periadriatischen Störungssystems ist. Dieses wiederum ist verantwortlich für die laterale Extrusion am Südrand der Ostalpen im Miozän. Das Ende dieser Deformationsphase kennzeichnet die sinistrale Reaktivierung der Iseltal-Störung.

Zwischen diesen beiden Hauptstörungszonen treten des Weiteren Störungen mit subvertikalem W-O Streichen und subhorizontale Störungen auf. Jedoch wurden diese noch nicht als eigene Deformationsphasen separiert.

(Linner et al. 2008)

### 2.3.4 Lokal - Prijakt-Decke/ Prijakt-Polinik-Komplex

Lokal betrachtet, ist die für das Arbeitsgebiet relevante Einheit die Prijakt-Decke. Sie zählt zum Koralpe-Wölz-Deckensystem (siehe Kap. 2.3.1) und schließt den Prijakt-Polinik-Komplex ein. Im Zuge eoalpiner tektonischer Prozesse, wurden transgressive, überlagernde permomesozoischen Sedimente abgeschert, und fehlen dadurch in dieser Einheit (Melzner et al. 2011).

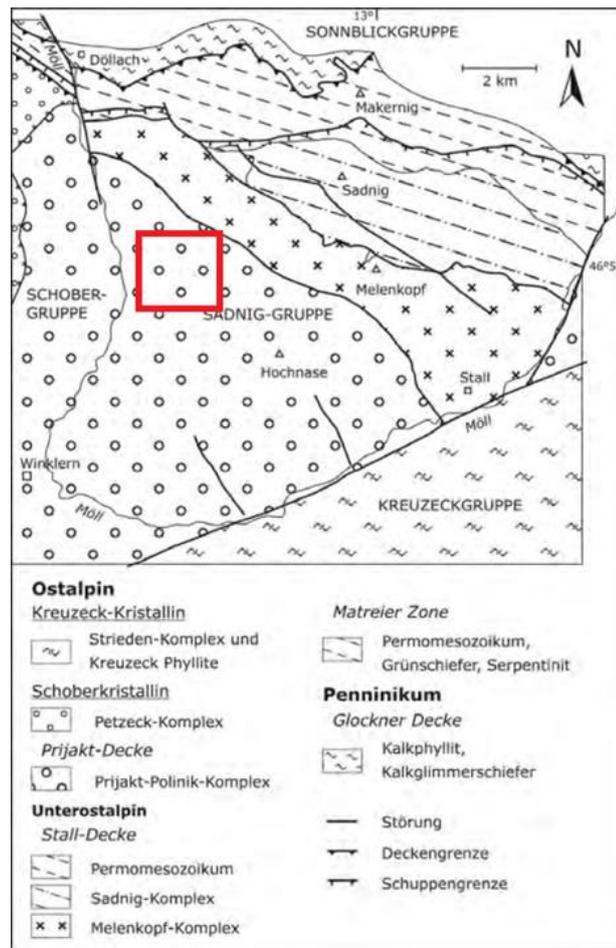


Abbildung 8: Tektonik der Sadnig-Gruppe mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (Fuchs & Linner 2005)

Anhand der tektonischen Karte der Sadnig-Gruppe (Abb.8), die den östlichen Teil der Prijakt-Decke umfasst, sieht man die Abgrenzungen der Decke. Im Südosten ist die Zwischenbergen-Wöllatratten Störung die begrenzende Einheit, im Norden eine NW-SE streichende Störung, die eine Grenze zur Stall-Decke darstellt (LINNER & FUCHS 2005). Das in dieser Arbeit untersuchte Gebiet befindet sich ausschließlich im Prijakt-Polinik-Komplex.

Charakteristisch für den Komplex, ist die flache Lagerung der Gesteine, die regional nach Südwesten, der Großteil jedoch nach Nordosten einfallen. Das Vorkommen von verschiedenen Faltenstrukturen, deutet auf zwei Deformationsphasen hin (siehe Kap.2.3.3) (LINNER & FUCHS 2005).

Die Lithologie der Prijakt-Decke innerhalb der Sadniggruppe setzt sich vor allem aus Paragesteinen zusammen, wobei vor allem metablastischer Paragneis und Glimmerschiefer charakteristisch sind. Zudem sind Eklogit, Eklogitamphibolit, Amphibolit, Orthogneis und Pegmatitgneis eingelagert (Fuchs & Linner 2005). Deren Übergänge sind teilweise ohne feste Abgrenzungen und lassen sich dadurch schwer quantifizieren (Melzner et al. 2011). Auf der geologischen Karte (Abb.9) sieht man die vorkommenden Lithologien.

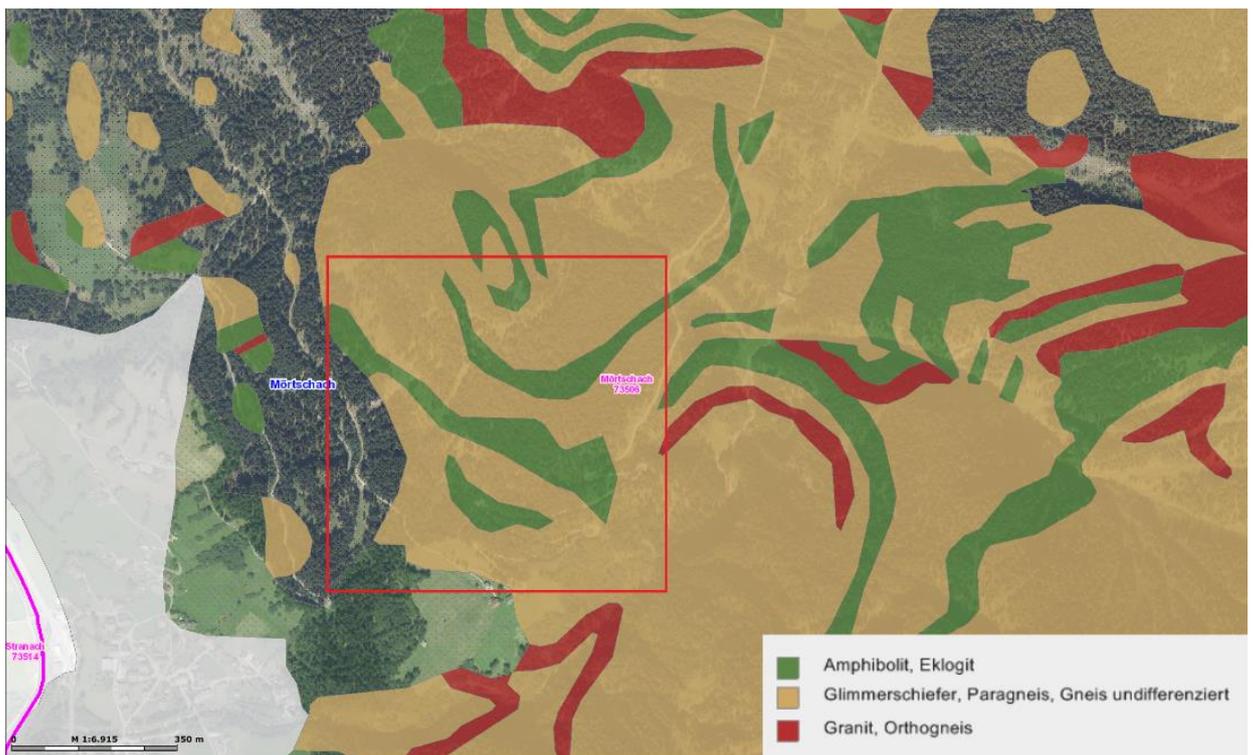


Abbildung 9: Geologische Karte (Geologie 200.000) mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (Quelle: <https://gis.ktn.gv.at>)

## Geotechnische Parameter der lithologischen Einheiten des Prijakt-Polinik-Komplexes

Um die geotechnischen Parameter der lithologischen Einheiten des Prijakt-Polinik-Komplexes zu quantifizieren, ist es notwendig, die Einheiten geologisch bezüglich ihrem geotechnischen Verhalten zu interpretieren und sie in weiterer Folge zu kategorisieren. Dazu wurde das Klassifikations-Schema nach TILCH & KOÇIU, 2007 verwendet, um geotechnisch-lithologische Homogenbereiche (GTL) (TILCH & SCHWARZ 2010) zu klassifizieren (Melzner et al. 2011). Für den Prijakt-Polinik-Komplex sind die GTL-Klasse 2.000 und 3.000 relevant (Tab.1).

*Tabelle 1: Tabelle zur Einschätzung des GTL-Codes. In Rot eingerahmt sind die zwei Codes die für den Prijakt-Polinik-Komplex relevant sind (Quelle: Tilch & Schwarz,2010)*

<b>Eigenschaften</b>	<b>Gesteinsart (Beispiele)</b>	<b>Code</b>
Sehr hartes, sehr kompaktes Festgestein, sehr verwitterungsresistent	Amphibolith, Orthogneis	2.000
Hartes, kompaktes Festgestein, sehr verwitterungsresistent	Glimmerschiefer, phyllitischer Glimmer-schiefer,	3.000
Weiches, mittelkompaktes Festgestein, verwitterungsanfällig	Passailler Phyllit	4.000
Festgestein, sehr verwitterungsanfällig	Schwarzschiefer	5.000
Karbonatgesteine (unterschiedlich)	Kalkstein	6.000
Karbonatgesteine (unterschiedlich)	Dolomit	6.000
Heterogene Festgesteinsfazies, silikatdominiert, mit 3000	Glimmerschiefer (untergeord. Paragneis; Amphibolit-Einschaltungen)	23.000
Heterogene Festgesteinsfazies, silikatdominiert, mit 4000	Schiefer, Sandstein und Grauwacke	24.000

Die Gesteine der GTL-2.000 Klasse sind sehr hart und kompakt und haben eine hohe Verwitterungsresistenz (Tab.2). Charakteristisch für diese Lithologie sind die steilen Felswände, besonders dort wo auch glaziale und postglaziale Erosionsprozesse gewirkt haben. Die Diskontinuitätsscharen tendieren dazu weite Abstände zu zeigen und formen dadurch mittel bis große Blöcke, trotz der Nähe zu den Hauptstörungszonen (Melzner et al. 2011).

Die Gesteine der GTL-3.000 sind hart, kompakt und verwitterungsresistent (Tab.2). Sie können wie die Lithologie der GTL.2.000 Klasse steile Felswände bilden, und weisen teilweise auch eine Foliation auf. In Kombination mit Diskontinuitätsscharen entstehen mittlere Gesteinsblöcke (Melzner et al. 2011).

*Tabelle 2: Geotechnische Eigenschaften der GTL-Klassen. In Rot eingrahmt sind die für den Prijakt Polinik-Komplex relevanten Daten (Quelle: Melzner et al., 2011)*

	homogeneous classes			mixed classes		
	2000	3000	4000	23000	24000	34000
<b>Rock hardness</b>	Very hard	Hard	Soft	Mostly hard	Mostly soft	Mostly soft
<b>Weathering resistance</b>	Very resistant	Resistant	Less resistant	Resistant	Less resistant	Not resistant
<b>Size of rock blocks</b>	Medium to large	Medium	Small	Small to large	Small to medium	Small to medium
<b>Size of rock blocks</b>	≤10 m <sup>3</sup>	≥1 m <sup>3</sup>	≥0.2 m <sup>3</sup>	1-10 m <sup>3</sup>	0.2-1 m <sup>3</sup>	0.2-10 m <sup>3</sup>
<b>Compact/ less compact</b>	Compact	Compact	Less compact	Compact	Less compact	Less compact
<b>Forms rock faces</b>	Yes	Mostly yes	No	In some parts	Mostly no	Mostly no

### 2.3.5 Störungen – Lokal

Wie bereits erwähnt wurde die Obere Austroalpine Untereinheit einigen duktilen und spröden Deformationsphasen unterzogen. Diese führten zur heterogenen Anisotropie der Einheit durch die Ausbildung von verschiedenen lokalen Störungssystemen, die wesentlichen Einfluss haben auf die im Gebiet vorkommenden Gesteinseinheiten. Charakteristisch dafür sind:

- Zahlreiche Diskontinuitätsscharen mit großer Streuung hinsichtlich ihrer Orientierung
- Signifikante Störungen mit einem hohen Trennungsgrad
- Tiefe Strukturen die den Hauptstörungssystemen folgen
- Schnelle Übergänge in Lithologie und Änderungen des Zerklüftungsgrads

Im Bereich des Arbeitsgebiets, dem Mörtschachberg, treten einige Störungssysteme auf, die mit ihren verschiedenen Richtungen, zu einem gewissen Grad auch sub-orthogonal, das Gebirge durchtrennen:

- NW–SO Störung; der Hauptverlauf des Mölltals folgt dieser Richtung (in Abb. 10 rot eingezeichnet)
- NNO-SSW Störung; der Hauptverlauf des Astentals folgt dieser Richtung (in Abb. 10 türkis eingezeichnet)
- NNW–SSO Störung (in Abb. 10 blau eingezeichnet)
- N-S Störung (in Abb. 10 violett eingezeichnet)
- WNW–OSO (in Abb. 10 orange eingezeichnet)
- ONO-WSW (in Abb. 10 braun eingezeichnet)

Die Störungssysteme wurden im Kärnten Atlas (KAGIS 2017) farblich eingezeichnet (Abb.10), wobei der Kartenhintergrund auf „Oberflächenschummerung“ gesetzt wurde, um die Hauptstörungen besser zu identifizieren.

(Melzner et al. 2011)

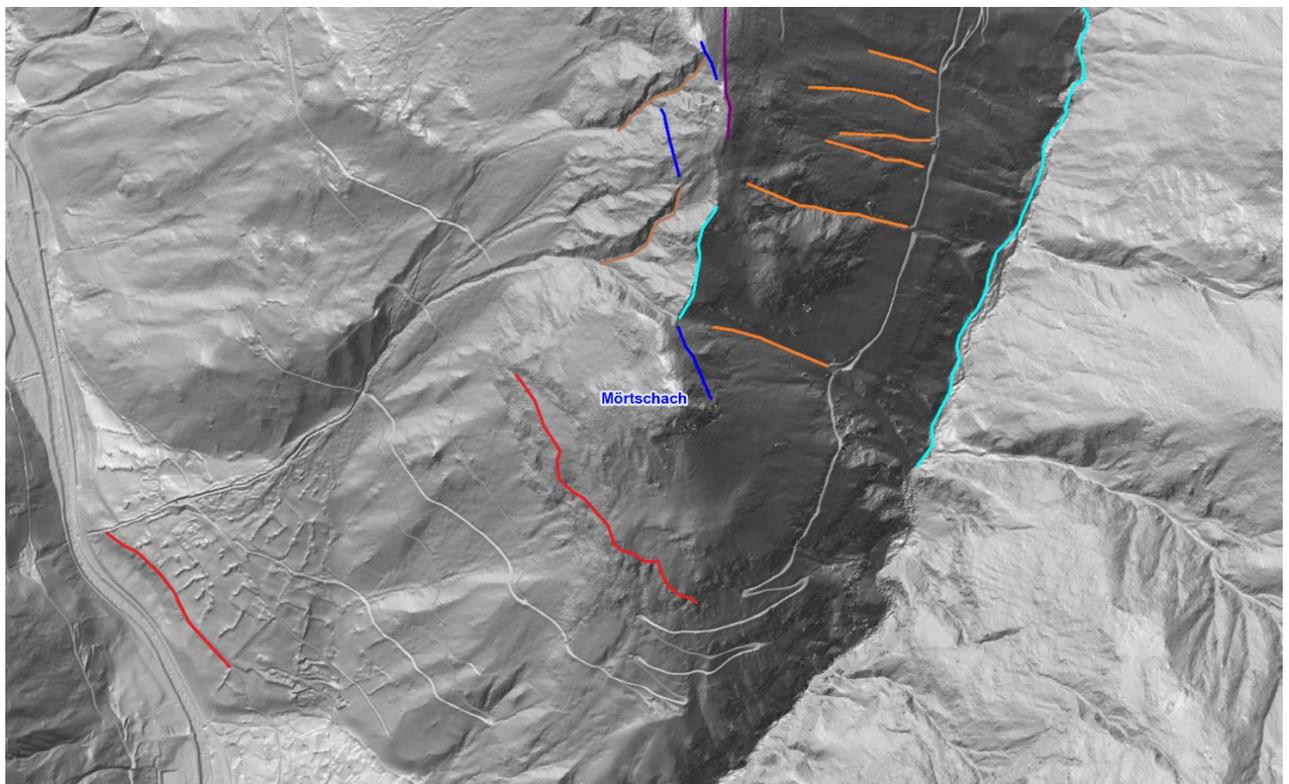


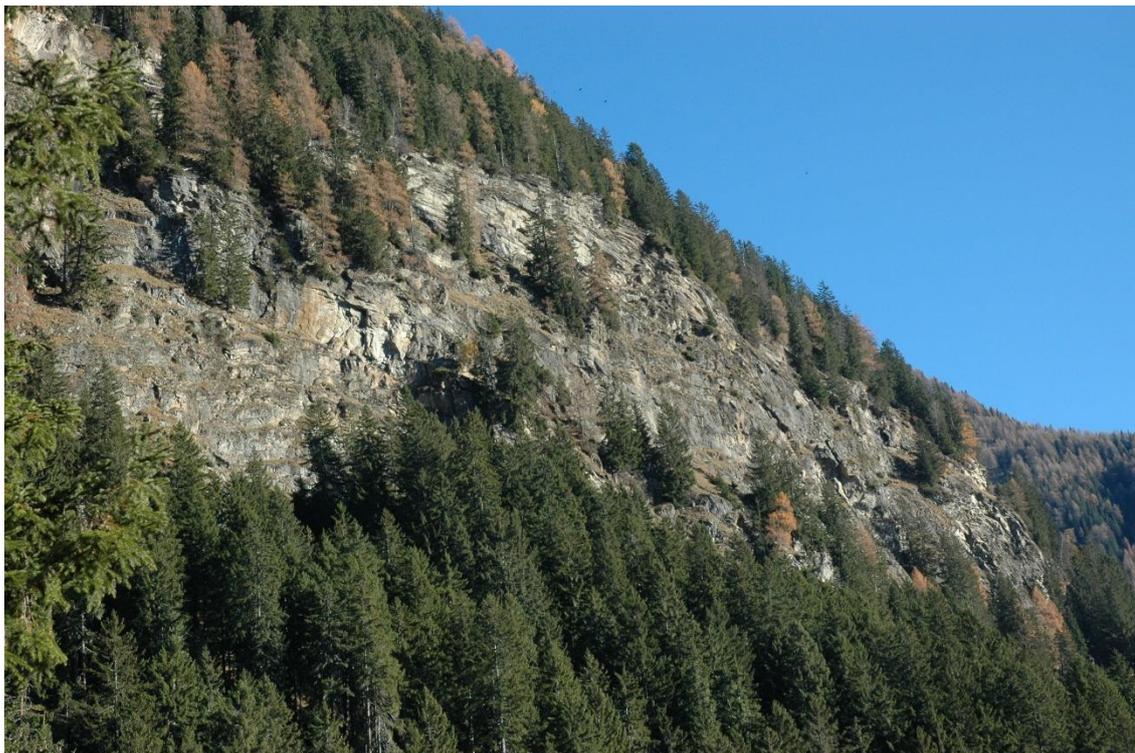
Abbildung 10: Hauptstörungen, die das Arbeitsgebiet durchziehen (bearbeitet nach Melzner et al. 2011; Quelle: KAGIS 2017)

## 2.4 Geländebegehungen

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden mehrere Geländebegehungen unternommen. Hauptaufgabe der ersten Begehungen war es, die gesammelten Informationen über das Arbeitsgebiet zu überprüfen sowie die Beurteilung der Gegebenheiten bezüglich der anwendbaren Methoden. Des Weiteren wurden eine Reihe Fotos aufgenommen, die bei der späteren Auswertung hilfreich sein können. Im weiteren Verlauf wurden die bestimmten Messverfahren durchgeführt und Veränderungen in Bezug auf die ersten Begehungen dokumentiert (Abb.16, Abb.17). Es folgen einige Fotos der Geländebegehungen (Abb.11 – Abb.17).



*Abbildung 11: Blick auf die steile Felswand, die sich auf der Westseite des Mörtlachbergs befindet (Bild: Ramic & Weiss 2015)*



*Abbildung 12: Steile Felswand auf der Westseite des Mörtlachbergs in näherer Aufnahme  
(Bild: Ramic & Weiss 2015)*



*Abbildung 13: Sicherheitsbaumaßnahme entlang der Astenstraße, östlich des Mörtlachbergs  
(Bild: Liu 2016)*



*Abbildung 14: Sichtbare Beschädigungen, die durch Steinschläge verursacht worden sind (Bild: Liu 2016)*



*Abbildung 15: Sichtbare Schäden an Bäume die auf Steinschlag zurückzuführen sind (Bild: Liu 2016)*



Abbildung 16: Errichteter Schutzzaun entlang der Straße (Bild: Ramic & Weiss 2017)



Abbildung 17: Schutzzaun (Bild: Ramic & Weiss 2017)

### 3. Methodik

In diesem Kapitel werden die Funktionsweisen der eingesetzten Messinstrumente erläutert und die bei der Auswertung verwendeten Programme vorgestellt. Zudem wird auf einige theoretische Grundlagen eingegangen, die der Verständlichkeit der Ergebnisse dienen.

#### 3.1 Airborne Laserscanning (ALS)

Laserscannen, auch LiDAR (Light Detection and Ranging), zählt zu den Fernerkundungsmethoden, also der Informationsbeschaffung ohne direkten Kontakt mit der untersuchten Materie. Abhängig vom Sensor, unterscheidet man bei ihnen zwei Typen, aktiv und passiv (Bitenc 2015). Passive Sensoren bzw. passive Fernerkundungssysteme basieren nur auf das Empfangen von Energieformen, und sind somit abhängig von externen Energiequellen, der Sonnenstrahlung. Bei aktiven Sensoren bzw. aktiven Fernerkundungssystemen, zu denen auch das Laserscannen gezählt wird, ist auch ein Sender vorhanden, der als Energiequelle fungiert (Wagner et al. 2003).

Beim Scanvorgang wird ein Lichtstrahl von einem Sender abgegeben, der an der Erdoberfläche reflektiert, und von einem Empfänger wieder registriert wird (Abb.18). Mittels einer Ablenkungseinheit erfolgt eine Ablenkung des Strahls quer zur Flugrichtung, was zur Erfassung eines Geländestreifens führt (Wagner et al. 2003). Das Befliegen von parallel verlaufenden Geländestreifen bietet flächendeckenden Aufschluss über größere Gebiete. Damit keine Lücken im Datensatz entstehen, sollten sich die abgetasteten Streifen überlappen (Zeiner 2012).

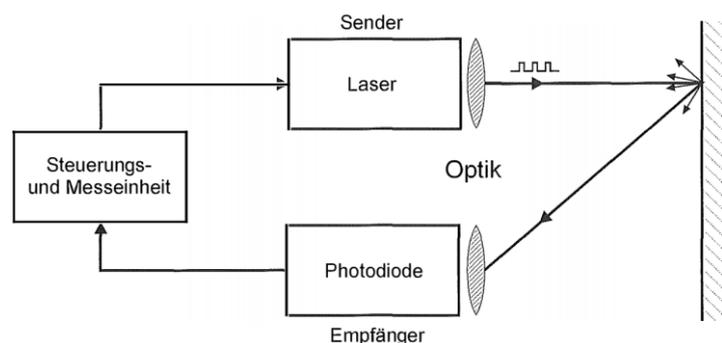


Abbildung 18: Schematische Darstellung eines Laserscanners mit seinen Hauptkomponenten  
(Quelle: Wagner et al. 2003)

Je nachdem wo sich die Sensoreinheit befindet, unterscheidet man zwischen dem flugzeuggestützten „Airborne Laserscanning“ und dem Terrestrischen Laserscannen (Bitenc 2015). Beim Airborne Laserscanning wird die Entfernung über die Laufzeitmessung des Lichtstrahls berechnet. Dieses Prinzip wird „Pulsed Laser“ genannt (Wagner et al. 2003). Je nachdem wie oft der Lichtstrahl auf dem Weg zur Geländeoberfläche reflektiert wird, ergeben sich mehrere Impulslaufzeiten. Besonders aussagekräftig sind dabei der erste („First Pulse“), als auch der letzte Impuls („Last Pulse“). Der „First Pulse“ spiegelt die Reflexion der ersten abgetasteten Vegetationsoberfläche, bzw. eines Gebäudes wieder (Abb.19). Der „Last Pulse“ ist die Reflexion der Geländeoberfläche und wird für die Berechnung von Geländemodellen verwendet (Zeiner 2012). Betrachtet man beispielsweise das Scannen eines Baumes, so spiegelt die erste Reflexion die Höhe der Baumkrone, die zweite die Geländeoberfläche wieder (Abb. 19).

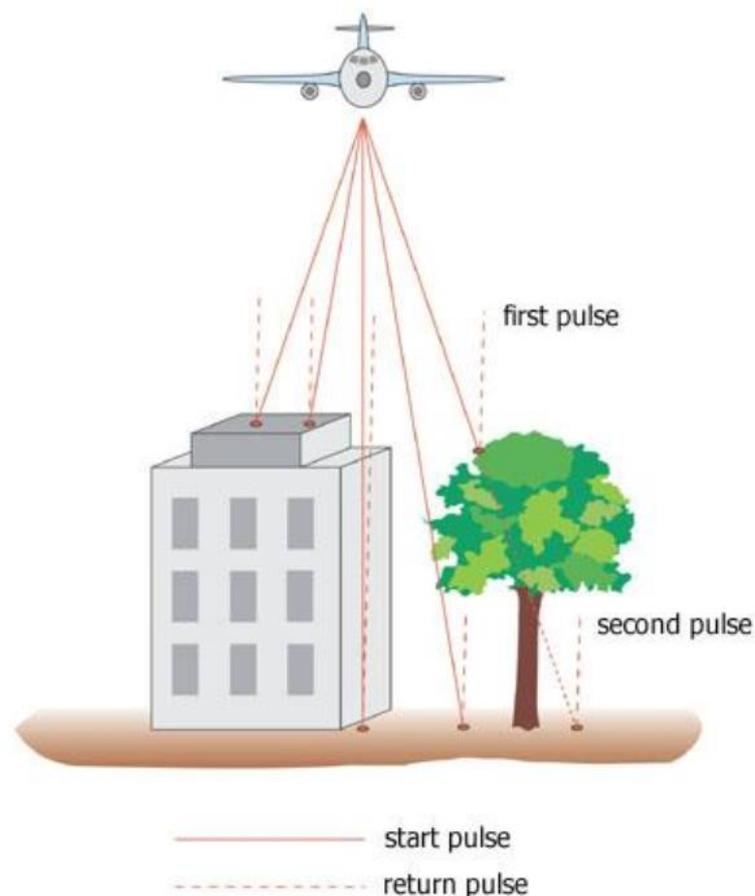


Abbildung 19: Darstellung der verschiedenen Impulse beim Airborne Laserscanning  
(Quelle: Bitenc 2015)

Zusätzlich zur Entfernung wird auch die räumliche Position und die Winkelstellung des Sensors bestimmt (Pfeifer et al. 2008). Dies geschieht durch das „Direct Georeferencing“, das für gewöhnlich durch das POS (position and orientation system) durchgeführt wird. Dabei werden die gemessenen Daten georeferenziert und in ein übergeordnetes Koordinatensystem geführt. Das POS besteht aus einem GNSS („Global Navigation Satellite System“) Empfänger und einer IMU („Inertial Measurement Unit“) (Pfeifer et al. 2007) (Abb.20).

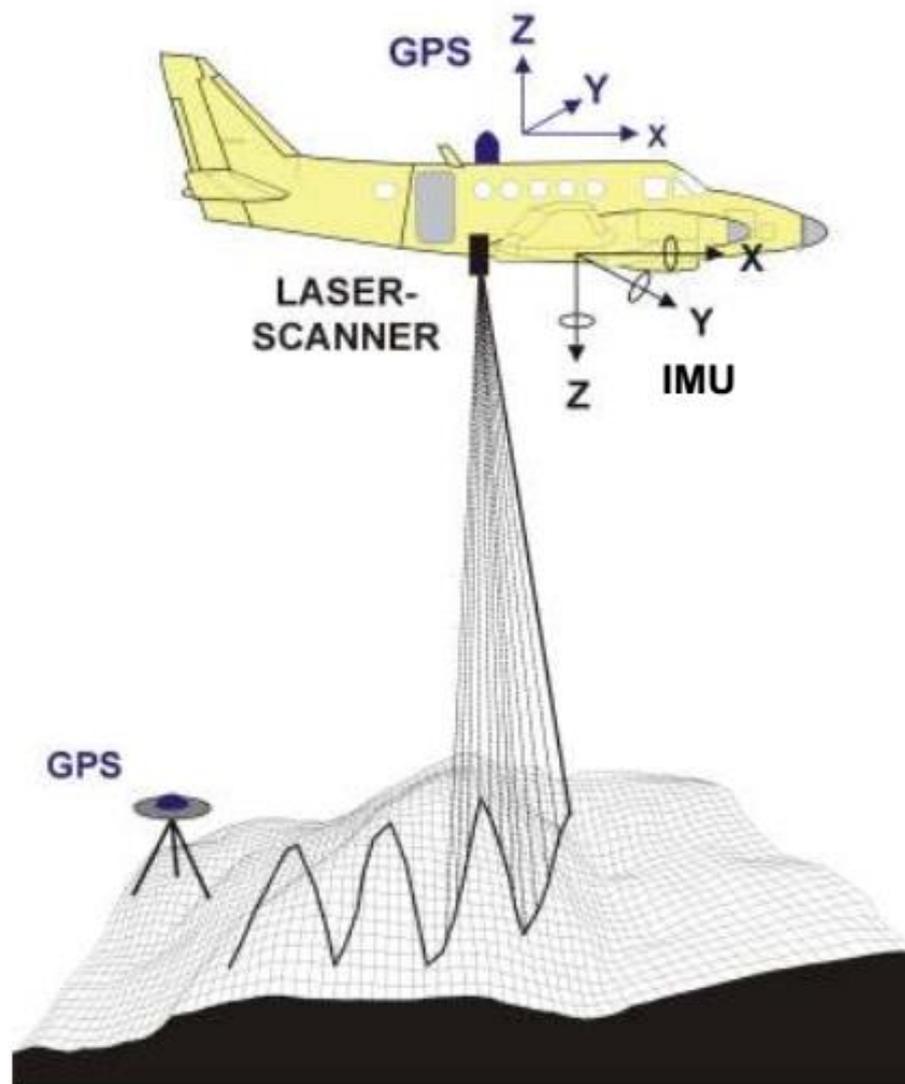


Abbildung 20: Übersicht der Komponenten einer ALS Messung (Quelle: Pfeifer et al. 2008)

Zusammenfassend ergeben sich folgende Vorteile des ALS gegenüber photogrammetrischen Methoden:

- Von Sonnenlicht unabhängig

Im Gegensatz zu passiven Fernerkundungsmethoden ist die ALS Messung nicht an die Beleuchtung gebunden und kann somit auch nachts und schattenunabhängig durchgeführt werden (Wagner et al. 2003).

- Nur ein Blickwinkel zum Objektpunkt notwendig

Während man in der Photogrammetrie mindestens zwei Blickwinkel pro Objektpunkt benötigt, ist beim ALS eine Ansicht ausreichend.

- Effektivere Datenaufnahme

Die Datenaufnahme bzw. die Datenverarbeitung erfolgt mit hoher Geschwindigkeit.

- Sehr gute Höhengenaugigkeit (Pfeifer et al. 2008)

Es ergeben sich auch Nachteile gegenüber photogrammetrischen Verfahren. Die Textur der ALS-Daten ist schwächer, und die Auflösung in horizontale Richtung ist niedrig (Pfeifer et al. 2008).

Die Daten einer ALS-Messung liegen als 3D-Punktwolke vor, die mittels Programmen zu einem Modell berechnet werden. Man unterscheidet folgende drei Modelle:

1.) Digitales Geländemodell (DGM, engl. DTM): Modell der Geländeoberfläche, erstellt anhand der „Last Pulse“ Daten; ohne Vegetation und Gebäuden

2.) Digitales Oberflächenmodell (DOM, engl. DSM): Modell der Oberfläche anhand der „First Pulse“ Daten; mit Vegetation und Gebäuden

3.) Normalisiertes digitales Oberflächenmodell (Zeiner 2012)

Bei den für diese Arbeit zur Verfügung gestellten Daten handelt es sich um DGM und DOM Daten mit 1m - Auflösung.

### 3.2 ShapeMetriX<sup>3D</sup>

ShapeMetriX<sup>3D</sup> ist ein vom österreichischem Unternehmen „3G Software & Measurement“ entwickeltes System, das auf Grundlage der terrestrischen Photogrammetrie, eine nützliche und effektive Fernerkundungsmethode darstellt. Es ermöglicht die Vermessung von Aufschlüssen bzw. der vorkommenden Trennflächen und liefert Informationen über wichtige geologische Parameter.

Mit Hilfe einer kalibrierten Kamera wird ein stereoskopisches Bilderpaar aufgenommen, aus dem mit einer Software ein 3D-Modell generiert wird. Um die Bilder leichter zusammenzuführen, werden Referenztafeln platziert, die auf beiden Bildern sichtbar sind (Abb. 21). Durch den vertikalen Abstand zwischen den Tafeln kann das 3D-Modell im Bearbeitungsprozess skaliert werden. Bestimmt man die Richtung zwischen den Referenztafeln, lässt sich das 3D-Modell in Bezug auf die Nordrichtung orientieren. Mit der Software (siehe Kap.3.6.2) können in weiterer Folge gezielt Trennflächen bzw. Trennflächenspuren eingebaut werden um geologische Parameter zu erhalten. Neben der Möglichkeit die Daten zu exportieren, kann man eine statistische Auswertung vornehmen und die Ergebnisse auch grafisch plotten.



Abbildung 21: Foto eines Aufschlusses mit davor aufgestellten Referenztafeln (Bild: Ramic 2016)

Bei der Aufnahme der Bilder müssen einige Richtlinien befolgt werden. Zunächst muss beim Aufstellen der Referenztafeln darauf geachtet werden, dass sie in beiden Fotos vollständig erfasst werden können. Die Basislinie, die definiert ist als die gedankliche Linie zwischen den zwei Aufnahmepositionen, sollte parallel zur Streichrichtung der Aufschlusswand gelegt werden. Der Abstand zwischen den beiden Positionen ist abhängig von der Distanz zur Felswand, und ist ein Wert zwischen  $1/8$  und  $1/5$  dieser Entfernung (3G Software & Measurement 2010) (Abb.22).

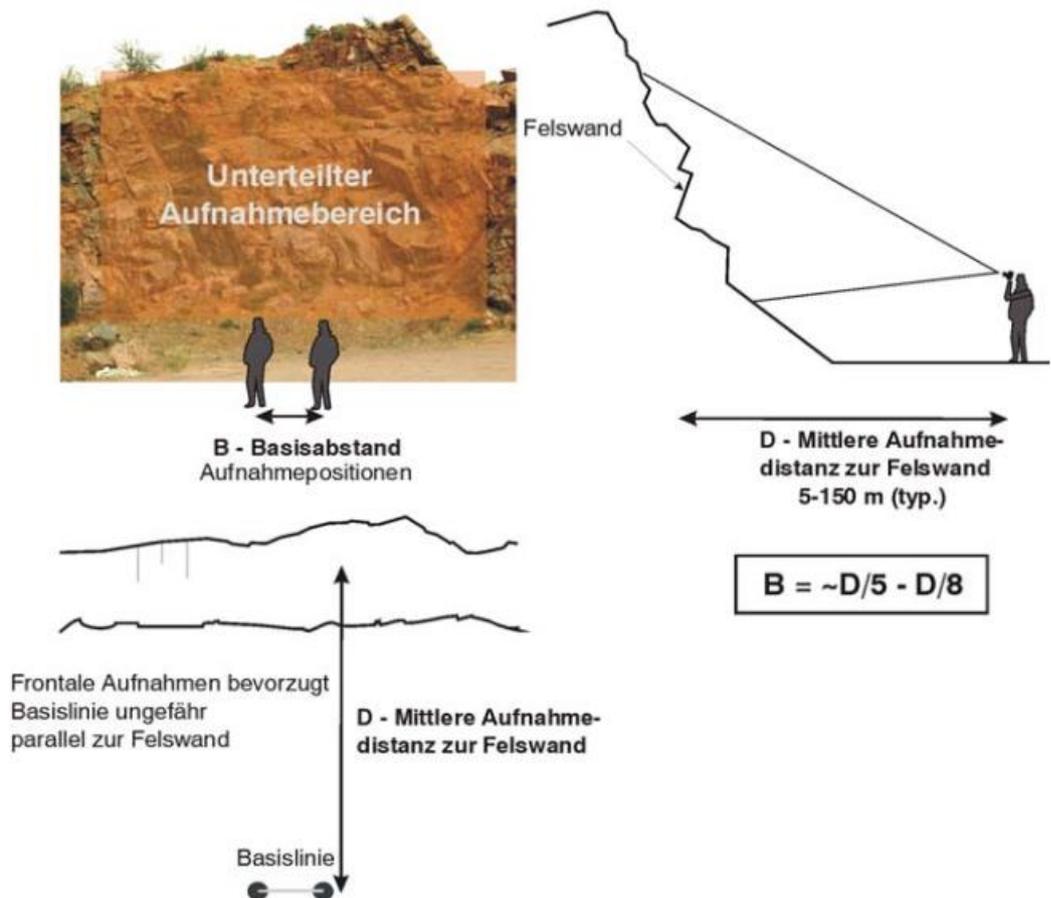


Abbildung 22: Hinweise zur Aufnahme des stereoskopischen Bildpaars (Quelle: 3G Software & Measurement 2010)

Folgende Vorteile kennzeichnen das ShapeMetriX<sup>3D</sup> System:

- Mobil einsetzbare, kontaktlose Messung des Aufschlusses
- Einfache Bedienung
- Schnelle Datenerfassung
- Hohe Datenqualität

### 3.2.1 Messpositionen

Da der Zugang zu den Bereichen, an denen sich Gestein während der Stein-schlagereignisse gelöst hat, aufgrund der Steilheit und damit verbundenen Si-cherheitsgefährdung nicht gegeben war, wurden ShapeMetriX<sup>3D</sup> Aufnahmen von Aufschlüssen entlang der Asten- und Mörtschachberg-Straße durchgeführt (Abb. 23). Insgesamt wurden fünf Positionen gewählt, an denen die Messung durchge-führt wurde, um in weiterer Folge fünf Modelle für die Auswertung zu generieren (Für die Originalbilder, links und rechts, jeder Position, siehe Anhang).

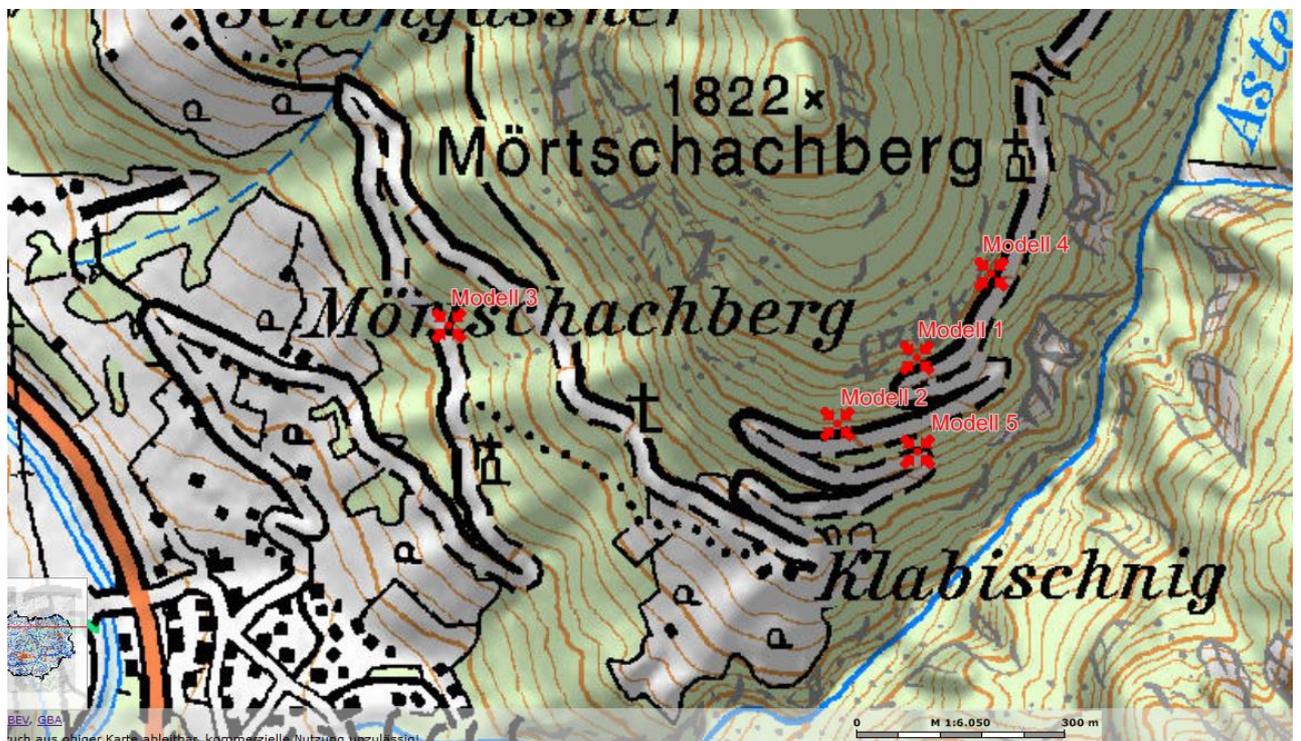


Abbildung 23: Karte mit eingezeichneten Positionen der ShapeMetriX<sup>3D</sup> Modelle (Quelle: <http://gis.ktn.gv.at>)

### 3.3 Geologischer Kompass

Der Geologenkompass ist ein Instrument der konventionellen Geländekartierung. Er ermöglicht die Bestimmung des Einfallswinkels, sowie der Einfallrichtung von geologischen Flächen. Dabei wird die Anlegeklappe des Kompasses auf die Fläche gelegt und der Kompass so justiert, dass die Libelle sich im Zentrum befindet. Danach wird die Arretierungstaste gedrückt, bis sich die Magnetnadel auf einen Wert einpendelt. Der Einfallswinkel lässt sich seitlich am Höhen- bzw. Vertikalkreis, die Einfallrichtung am Horizontalkreis ablesen (Abb.24).

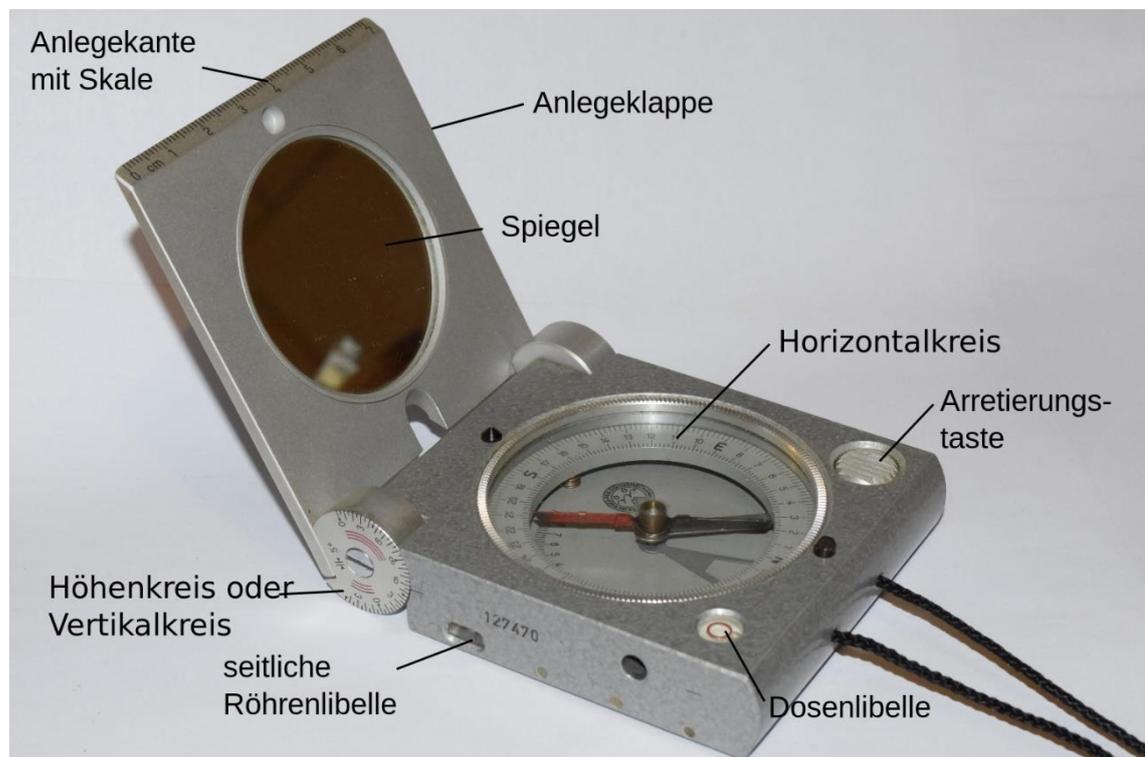


Abbildung 24: Der Geologenkompass (Quelle: Wikipedia, 2017)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Geologenkompass benutzt, um in-situ die digital gemessenen Raumdaten der Trennflächen auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Außerdem wurde mittels des Kompasses die Richtung der Referenztafeln zueinander, während der ShapeMetriX<sup>3D</sup> Datenerfassung bestimmt.

### 3.4 Trennflächen

#### 3.4.1 Allgemein

Um die Eigenschaften eines Gebirges zu beschreiben, ist es notwendig, neben der Beschreibung des Festgesteins, auch die vorhandenen Trennflächen zu charakterisieren. Trennflächen sind Diskontinuitäten, welche die Kontinuität eines Gesteinskörpers auflösen und dazu führen, dass Gebirgsfestigkeiten abgemindert werden gegenüber den Gesteinseigenschaften. Trennflächen mit ähnlichen Orientierungseigenschaften werden als Trennflächenschar zusammengefasst, welche ein Trennflächennetzwerk bilden (Liu 2014). Die Gesamtheit aller auftretende Trennflächen, wird Trennflächengefüge genannt.

Je nach genetischem Typ, lassen sich 4 verschiedene Arten von Trennflächen unterscheiden:

#### 1.) Klüfte

Unter einer Kluft versteht man Trennflächen im Gestein, deren Entstehung auf ein Überschreiten der Bruchfestigkeit zurückzuführen ist. Es wird zwischen Zug- und Scherklüften unterschieden. Während Scherklüfte sich aus verschiebenden Bewegungen längs der Kluft entwickeln und glatte Oberflächen aufweisen, entstehen Zugklüfte durch normal zur Kluft verlaufende Bewegungen, und haben raue Oberflächen.

#### 2.) Störungen und Störungszonen

Im Allgemeinen werden Störungen als Bereiche definiert, in denen das Gestein zu einem höheren Grad zerlegt ist, als im ungestörten Nebengestein. Zurückzuführen ist deren Entstehung auf tektonische Bewegungsprozesse. Neben ausgeprägten Trennflächen, werden auch Bereiche mit enorm verminderter Gebirgsfestigkeit zu den Störungszonen gezählt.

### 3.) Schichtflächen

Schichtflächen sind durch Ablagerungs- oder Lösungsprozesse entstandene Trennflächen in Sedimentgesteinen. Ihre Oberflächen können stark bezüglich der Rauheit variieren, es lässt sich aber feststellen, dass die Flächen in tonig-schluffigen Gesteinen glatter sind. Der Verlauf von Schichtflächen ist meistens parallel.

### 4.) Schieferungsflächen

Im Gegensatz zu den Schichtflächen, die nur in Sedimentgesteinen vorkommen, bilden sich Schieferungsflächen ausschließlich in metamorphen Gesteinen. Durch Änderung von Druck und Temperatur kommt es zu Änderungen im Gestein und zur Ausbildung von Mineralen. Eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Schieferungsflächen nimmt die Einregelung von blättchenförmigen Mineralen (oft Dunkel- und Hellglimmer) ein.

(Eichler et al. 2007)

Im Jahr 1978 wurden von der ISRM (International Society for Rock Mechanics) zehn Eigenschaften, bzw. Parameter festgelegt, die eine Beschreibung von Trennflächen bzw. des Gebirges ermöglichen (Tab.3) (ISRM 1978). In Abbildung 25 sind die wichtigsten Parameter schematisch dargestellt.

Tabelle 3: Zehn Kategorien zur Beschreibung von Trennflächen (Quelle: Eichler et al. 2007)

<b>Nr.</b>	<b>Kategorie für die Beschreibung von Trennflächen in Fels</b>	<b>Term for the description of discontinuities in rock masses</b>
1	Art der Trennfläche & Anzahl der Trennflächenscharen	<i>type of discontinuity &amp; number of discontinuity sets</i>
2	Raumstellung	<i>discontinuity orientation</i>
3	Trennflächen-Abstände	<i>discontinuity spacing</i>
4	Trennflächen-Erstreckung	<i>discontinuity persistence</i>
5	Trennflächen-Rauhigkeit	<i>discontinuity roughness</i>
6	Verwitterung / Festigkeit der Trennflächen-Oberflächen	<i>wall strength</i>
7	Trennflächen-Öffnungsweite	<i>discontinuity aperture</i>
8	Trennflächen-Füllung	<i>discontinuity filling</i>
9	Wasserführung/Durchströmung	<i>seepage</i>
10	Kluftkörpergröße	<i>block size</i>

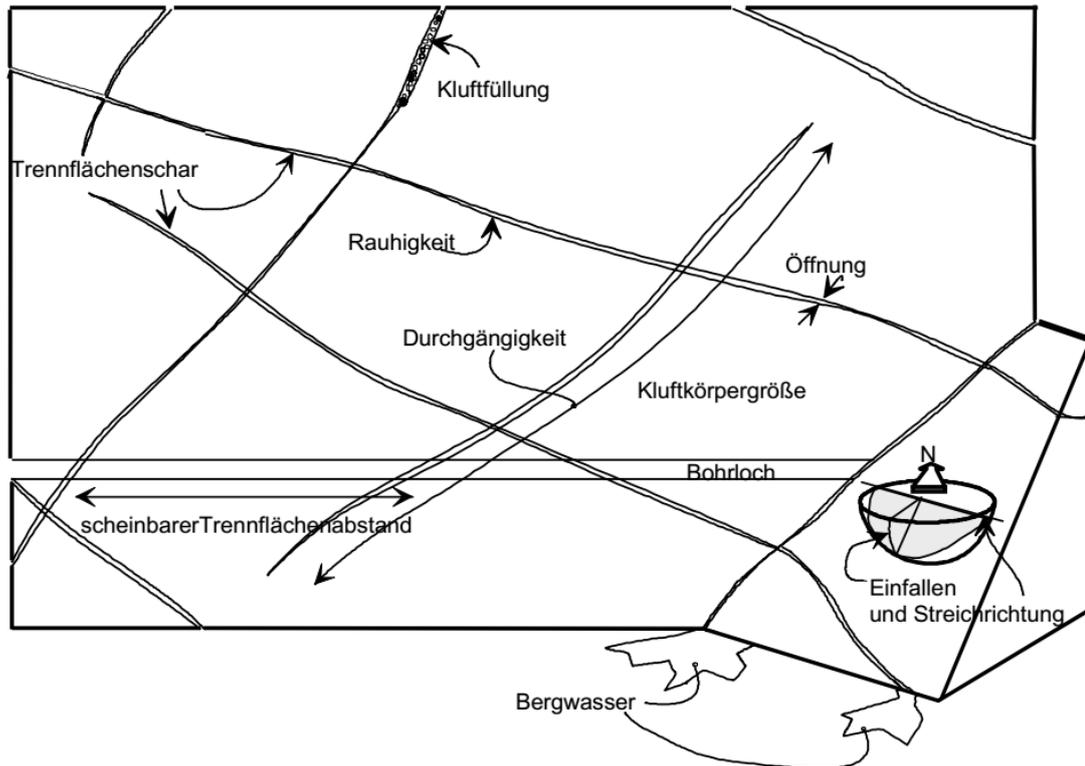


Abbildung 25: Wichtigsten geometrischen Eigenschaften von Trennflächen (Quelle: Felsmechanik und Tunnelbau TU Graz 2007)

Es ist wichtig so viele Parameter wie möglich, zumindest aber die für Stabilitätsanalysen benötigten, zu erfassen, da Informationen über Trennflächen entscheidend sind für die Beurteilung von Gebirgsfestigkeiten. Durch Trennflächen wird die Gebirgsfestigkeit deutlich herabgesetzt und beträgt dann in etwa 1/5 bis 1/10 der Gesteinsfestigkeit (Eichler et al. 2007).

### 3.4.2 Richtungsstatistik von Trennflächenscharen

Neben der mittleren Einfallsrichtung und Einfallswinkel wurde bei der Auswertung für jede Trennflächenschar auch der Regelungsgrad  $R$ , der Konzentrationsparameter  $k$ , die sphärische Öffnung  $\omega$ , sowie der Vertrauenskegel  $\vartheta$  ermittelt.

### 1.) Regelungsgrad R

Der Regelungsgrad R ist ein Prozentwert, der die Ausrichtung der Daten angibt. Je höher der Wert, desto gleichgerichteter sind die Flächen der Schar. Er wird mit folgender Formel (Formel 1) berechnet, wobei  $\vec{R}$  die Vektorsumme, und  $n$  die Anzahl der Daten ist.

*Formel 1: Berechnung des Regelungsgrads (Quelle: Liu 2015)*

$$R\% = \frac{2|\vec{R}| - n}{n} 100$$

### 2.) Konzentrationsparameter k

Der Konzentrationsparameter k (Formel 2) ist ein numerischer Wert, der angibt wie ähnlich die Flächen einer Schar sind. Je höher der Wert, desto einheitlicher sind die Flächen der Schar.

*Formel 2: Berechnung des Konzentrationsparameters (Quelle: Liu 2015)*

$$k = \frac{n - 1}{n - |\vec{R}|}$$

### 3.) Sphärische Öffnung $\omega$

Die sphärische Öffnung  $\omega$  (Formel 3) ist das geometrische Äquivalent des Konzentrationsparameters und wird in Grad angegeben. Je niedriger der Wert ist, desto dichter liegen die Daten auf der Lagekugel beisammen.

*Formel 3: Berechnung der sphärischen Öffnung (Quelle: Liu 2015)*

$$\omega = \arcsin \sqrt{2 \frac{1 - \frac{1}{n}}{k}}$$

### 4.) Vertrauenskegel $\vartheta$

Der Vertrauenskegel  $\vartheta$  wird wie folgt berechnet (Formel 4).  $p$  steht dabei für den Fehlergrad. Bei der Auswertung in dieser Arbeit wurde mit einem Wert von 0.05 für  $p$  gerechnet, was einem Vertrauensbereich von 95% entspricht.

Formel 4: Berechnung des Vertrauenskegels (Quelle: Liu 2015)

$$\vartheta = \arccos \left\{ 1 - \frac{n - |\bar{R}|}{|\bar{R}|} \left[ \left( \frac{1}{p} \right)^{\frac{1}{n-1}} - 1 \right] \right\}$$

Die 4 aufgelisteten Parameter wurden beim Auswertungsprozess für jede Trennflächenschar ermittelt. Für die ShapeMetriX<sup>3D</sup> Auswertung wurden die statistischen Parameter direkt aus der „ShapeMetriX<sup>3D</sup>“ Software exportiert. Um die Richtungsstatistik für die ALS-Daten durchzuführen, wurde das Programm „Stereo32“ verwendet, welches in der Lage ist den Regelungsgrad, den Konzentrationsparameter und den Vertrauenskegel zu berechnen. Die sphärische Öffnung wurde für die ALS Auswertung im Programm „MS Excel“ kalkuliert.

### 3.5 Blockvolumen

Für die Kalkulation des Blockvolumens  $V_b^0$ , wurde eine Berechnung (Formel 5) durchgeführt, die bei persistenten Trennflächen, Volumen als kubische bzw. rhomboedrische Blöcke ausdrückt. Für jeden Block werden jeweils 3 Scharen berücksichtigt (Abb. 26).

Formel 5: Berechnung des Blockvolumens, wobei  $\gamma$  der Winkel zwischen zwei Scharen und  $S$  der Durchschnittswert des Trennflächenabstandes einer Schar ist (Quelle: Liu 2017)

$$V_b^0 = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3}{\sin\gamma_1 \cdot \sin\gamma_2 \cdot \sin\gamma_3}$$

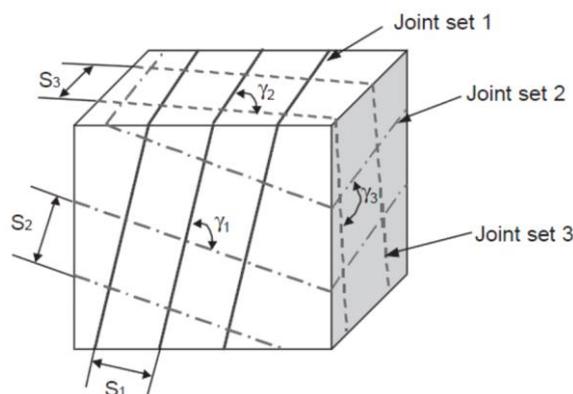


Abbildung 26: Darstellung der Parameter für die Blockvolumenberechnung (Quelle: Liu 2017)

### 3.6 Verwendete Programme

Es folgt eine Übersicht der Programme, die während dieser Arbeit im Zuge des Auswertungsprozesses verwendet wurden.

#### 3.6.1 „RiSCAN PRO“

Die erste vorgestellte Software ist „RiSCAN PRO“ (Abb.27), entwickelt vom österreichischen Unternehmen „RIEGL“. Sie dient dem Umgang mit Daten eines Laserscanners, die als 3D Punktwolke dargestellt und bearbeitet werden können. Für diese Arbeit wurde die Version „RiSCAN PRO 1.5.2sp2“ verwendet.

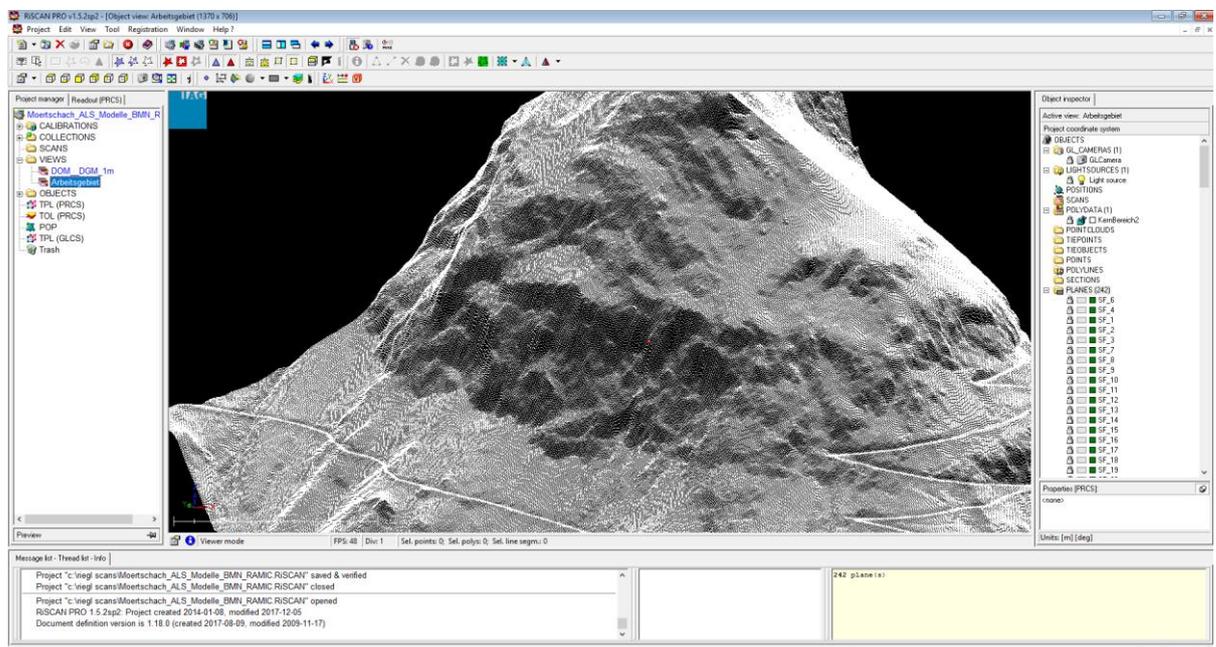


Abbildung 27: Benutzeroberfläche im Programm „RiSCAN PRO“

Im Bearbeitungsprozess, wurden zunächst die zur Verfügung gestellten ALS Daten, mit 1m Auflösung, importiert und aufgearbeitet, um eine 3D Punktwolke des Arbeitsgebiets, die im Österreichischen Bundesmeldenetz (BMN) georeferenziert ist, zu erhalten. Die Hauptaufgabe mit dem Programm war es in dieses 3D Punktwolkemodell gezielt Trennflächen einzubauen.

Um dies zu realisieren muss zunächst jener Bereich, der als Trennfläche identifiziert wurde, mit Hilfe des „selection mode“ definiert werden (Abb.28). Mit Hilfe

der Funktion „create new plane objekt“ und der Auswahl „from selected area (limited)“, kann unter Angabe eines Start- und Endpunktes, aus dem gewähltem Bereich eine Fläche erstellt werden, welcher man auch eine Farbe zuweisen kann (Abb.29).

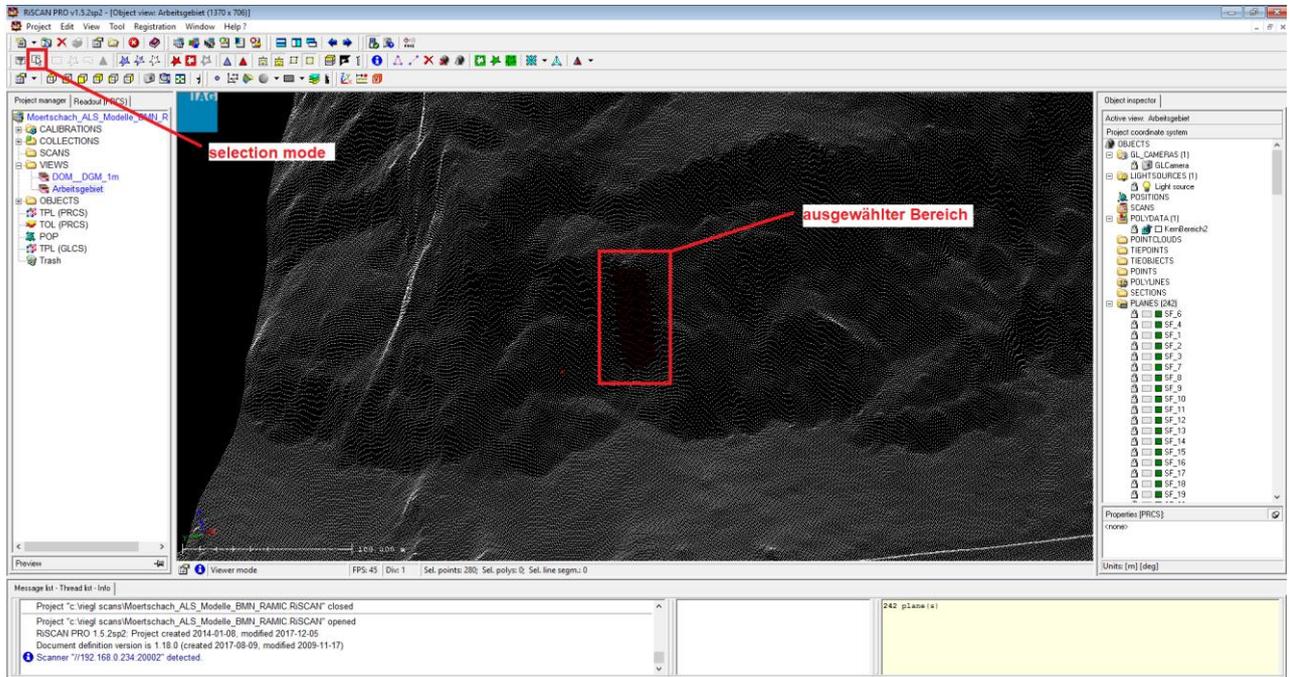


Abbildung 28: Markieren eines Bereichs mit Hilfe der "selection mode" Funktion

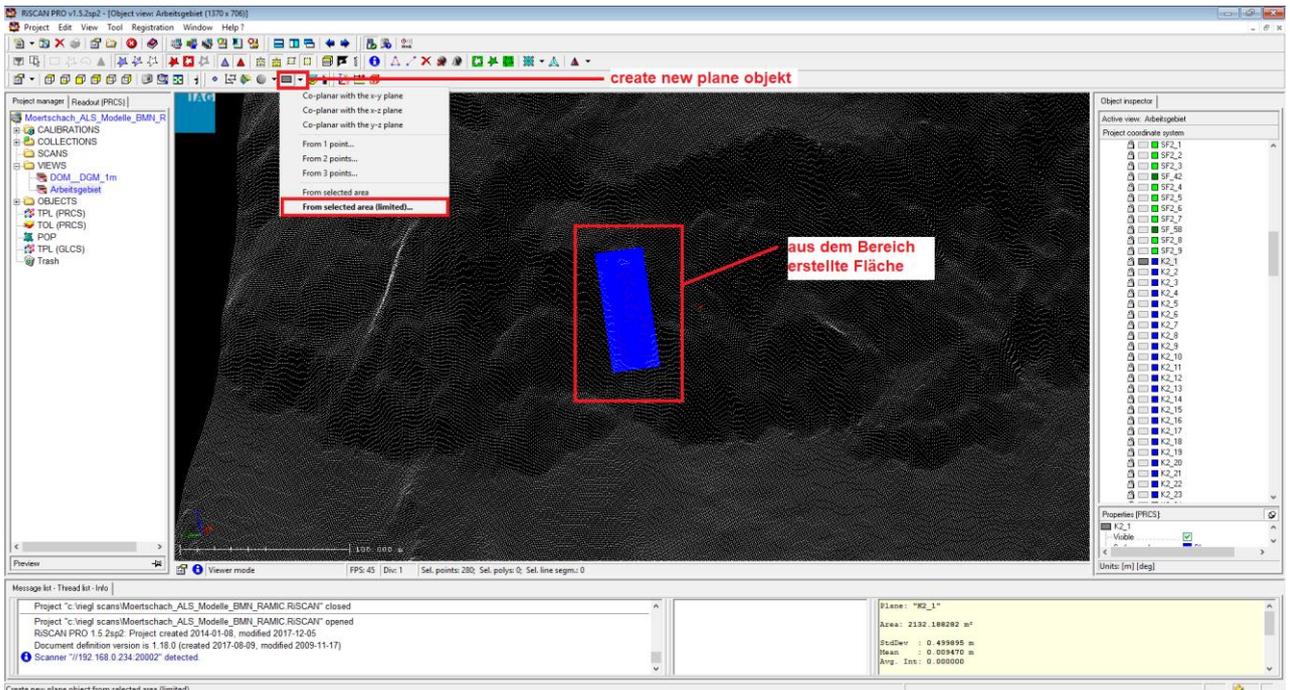


Abbildung 29: Erzeugung einer Fläche in "RiSCAN PRO"

Nachdem eine Fläche konstruiert und ausgewählt wurde, werden im „Info window“ (Abb.30), die dazugehörigen Gefügedaten angezeigt. Neben dem Einfallswinkel und der Einfallrichtung, wird auch die Größe der Fläche angegeben.

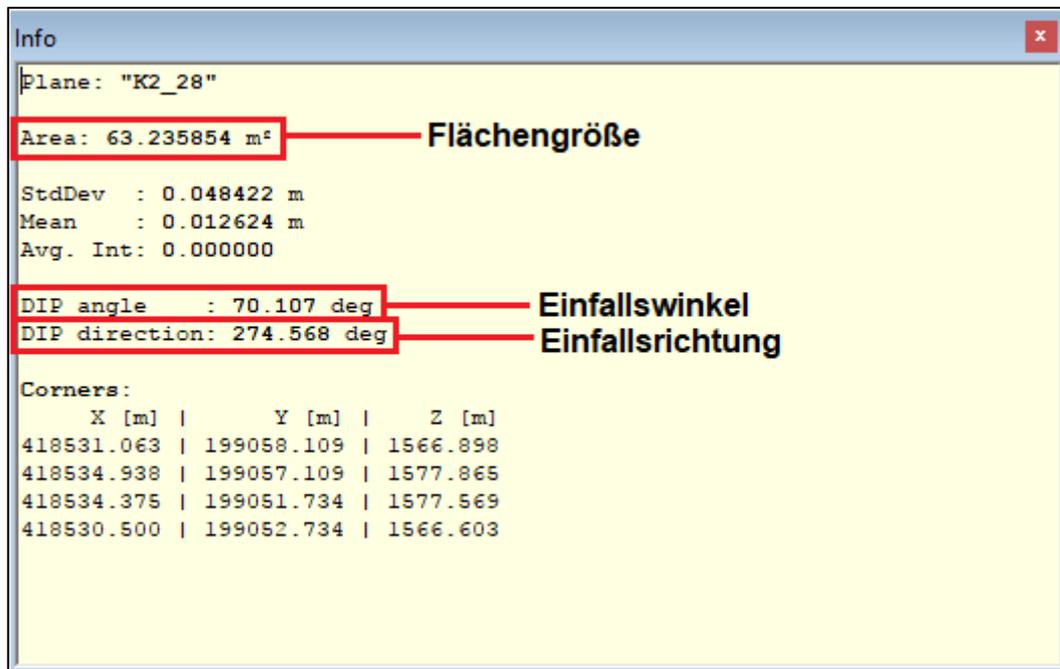


Abbildung 30: "Info window" mit angezeigten Gefügedaten

Die erhaltenen Daten der Trennflächen wurden für die Auswertung exportiert. Neben dem Trennflächeneinbau wurden mit dem Programm auch Trennflächenabstände gemessen und Bilder von den Scharen erstellt.

### 3.6.2 ShapeMetriX<sup>3D</sup>

Um aus den beim ShapeMetriX<sup>3D</sup> System erfassten Bildern ein 3D Modell zu erzeugen, wurde das gleichnamige Programm „ShapeMetriX<sup>3D</sup>“ verwendet. Die Software besteht aus mehreren Applikationen, die nach dem Öffnen des Programms aufgelistet sind (Abb.31). Für die Auswertung wurden „SMX ReconstructionAssistant“, „SMX Normalizer“, und „JMX Analyst“ verwendet.



Abbildung 31: Zentralfenster des Programms „ShapeMetriX<sup>3D</sup>“

#### 1.) SMX ReconstructionAssistant

Der „SMX ReconstructionAssistant“ ist die erste Applikation, die bei der ShapeMetriX<sup>3D</sup> Datenauswertung verwendet wurde und als Resultat ein 3D Modell erzeugt. Im ersten Schritt werden die zwei Fotos, links und rechts, des Stereobildpaars importiert und die Kameraeigenschaften ausgewählt (Abb. 32). Danach müssen die Bilder durch verschieben so gut wie möglich überlagert werden (Abb. 33). Mit einer Ober- und Unterbegrenzung wird der Bereich definiert, aus dem das Modell entstehen soll. Weiters lässt sich noch die Punktdichte einstellen, die bei allen bearbeiteten Modell auf „normal“ gewählt wurde.

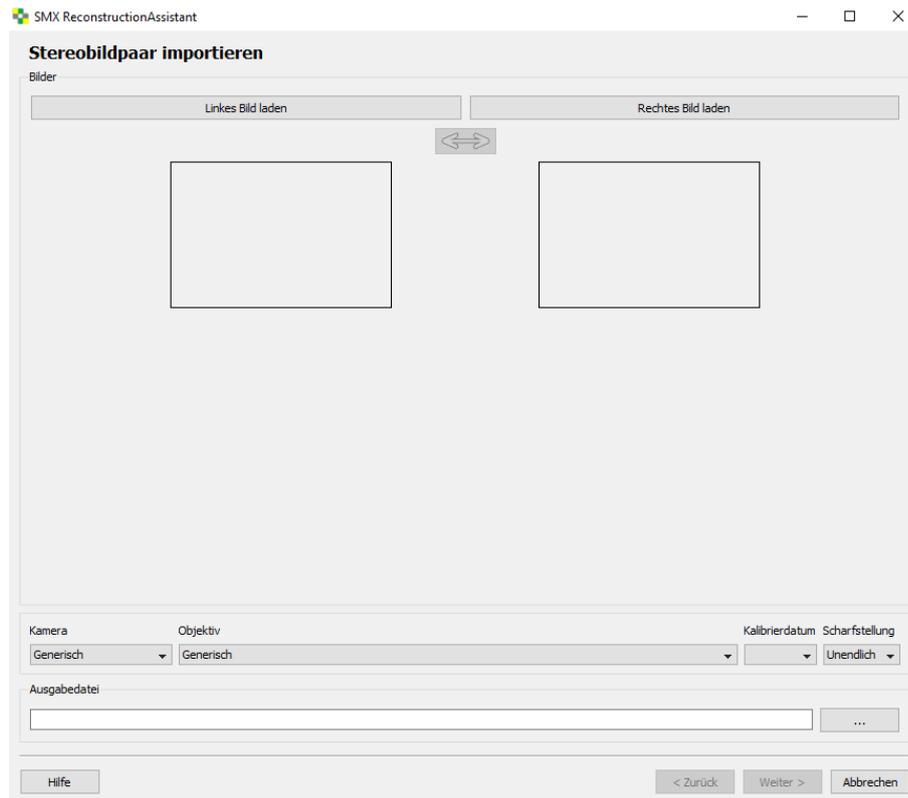


Abbildung 32: Import der Bilder im "SMX ReconstructionAssistant"

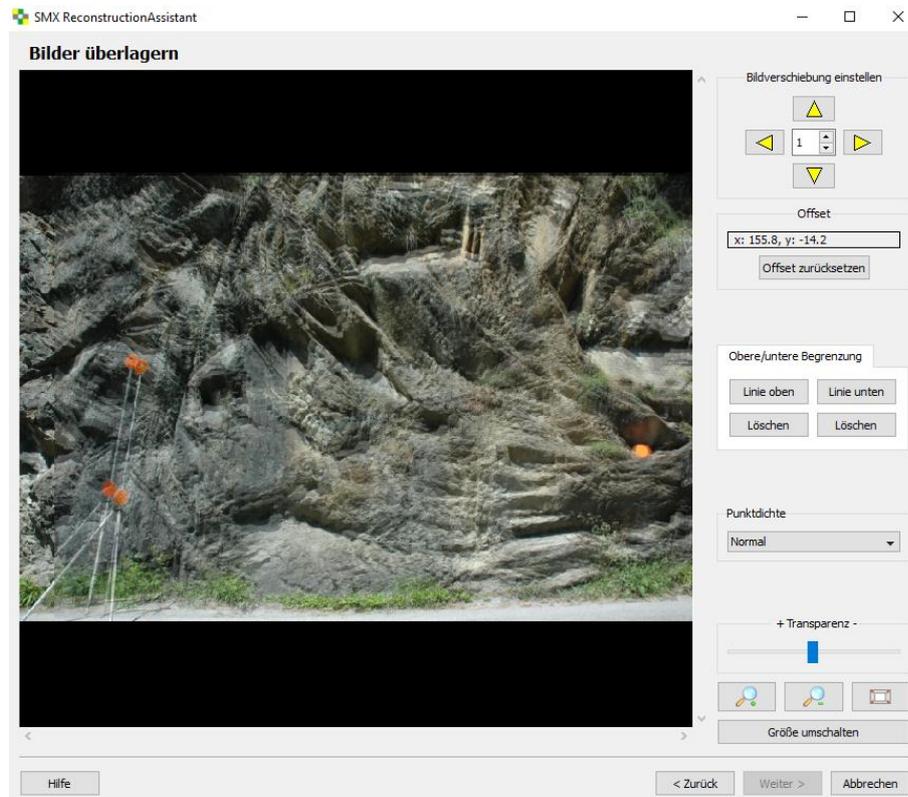


Abbildung 33: Überlagerung der Bilder im "SMX ReconstructionAssistant"

## 2.) SMX Normalizer

Das im „SMX ReconstructionAssistant“ generierte Modell, wird im „SMX Normalizer“ skaliert und orientiert. Es werden zunächst ein Anfangs-, End- und Referenzpunkt, welche durch die Referenztafeln repräsentiert werden, eingezeichnet (Abb.34). Durch Angabe des Punktabstands zwischen Anfangs- und Referenzpunkt wird das Modell skaliert. Beim Abspeichern des skalierten Modelles kann diesem durch Angabe der Richtung eine Orientierung hinzugefügt werden (Abb.35).

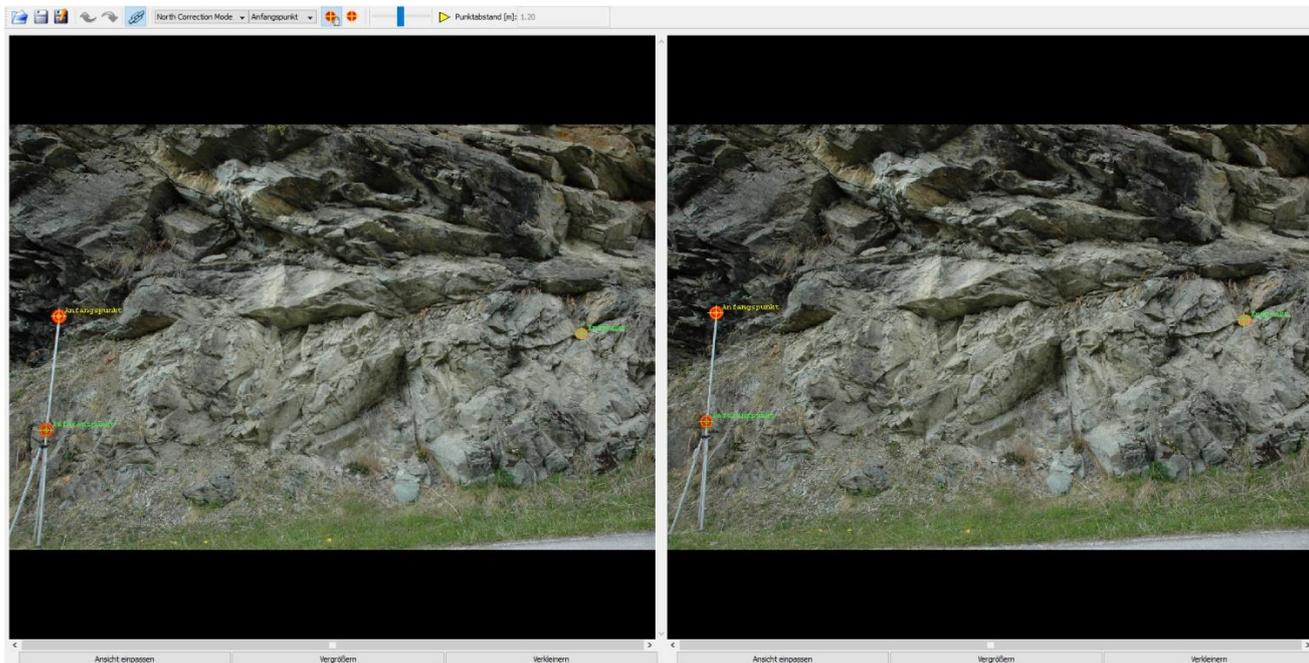


Abbildung 34: Markieren der Punkte im „SMX Normalizer“

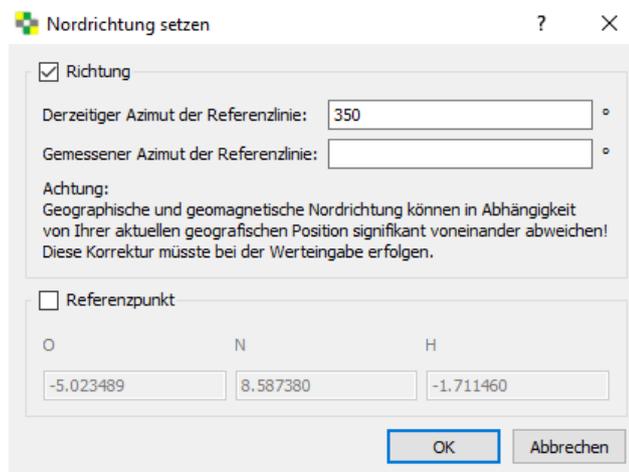


Abbildung 35: Fenster im "SMX Normalizer" zur Richtungsangabe

### 3.) JMX Analyst

In der Applikation „JMX Analyst“ (Abb.36) kann das generierte Modell visualisiert und beurteilt werden. Es wurden gezielt Trennflächen und Trennflächenspuren in das Modell eingebaut und farblich getrennt. Neben dem Export der Trennflächendaten, können im „JMX Analyst“ Plots erzeugt und statistische Analysen durchgeführt werden. Durch die Trennflächenspuren können die Trennflächenabstände ermittelt und visualisiert werden.

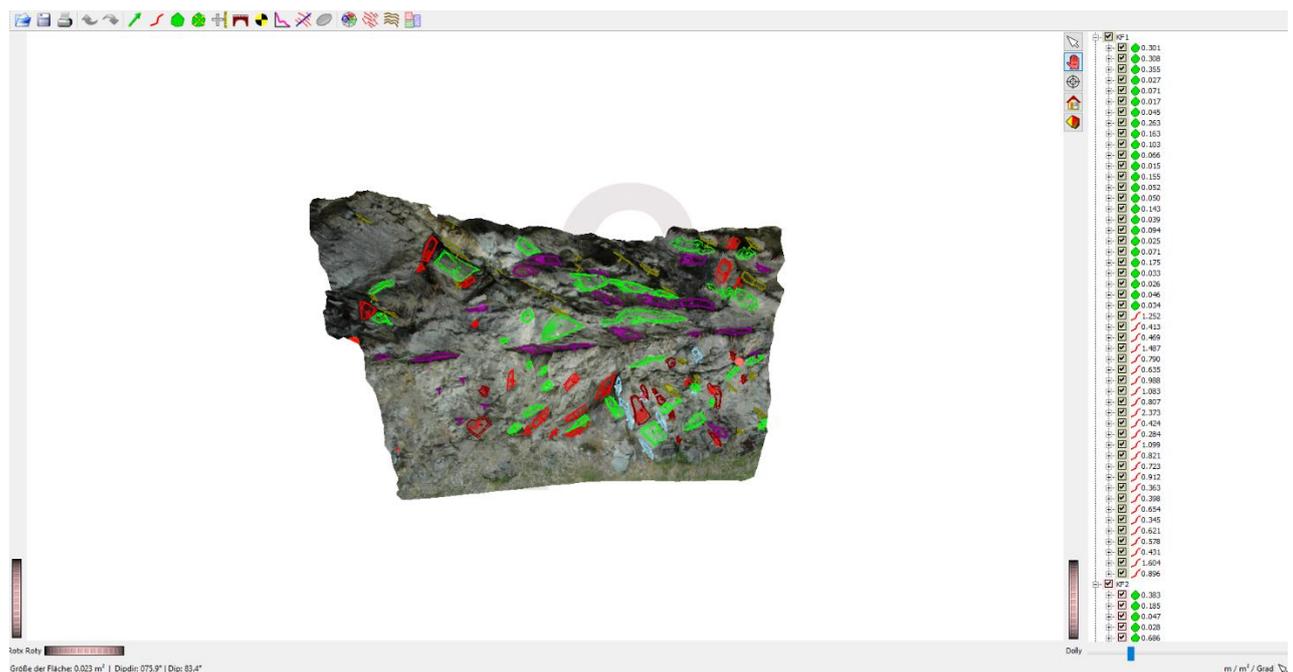


Abbildung 36: Benutzeroberfläche des „JMX Analyst“

#### 3.6.3 Stereo32

Mit dem Programm „Stereo32“ wurden Trennflächen bzw. Trennflächenscharen als Stereogramme in der unteren Halbkugel graphisch ausgewertet. Darüber hinaus lässt sich auch eine statistische Analyse der Daten durchführen. Für die Blockvolumenberechnung wurden außerdem Winkel zwischen den Scharen mit „Stereo32“ ermittelt. Zunächst werden die Einfallsrichtung und der Einfallswinkel der Flächen eingetragen, und Einstellungen für deren Visualisierung vorgenommen (Abb.37). Im Anschluss lassen sich die Daten durch ändern der Ansicht als Stereogramm darstellen und als Grafik exportieren (Abb.38).

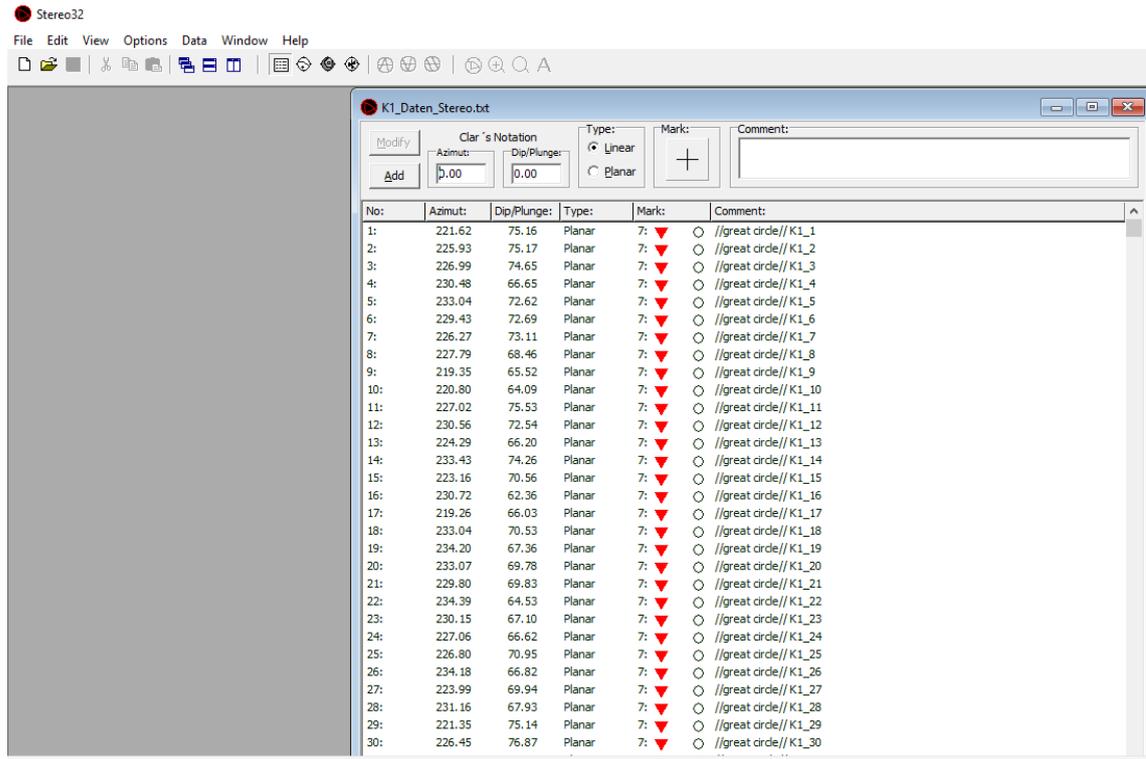


Abbildung 37: Eingabe der Daten in Stereo32

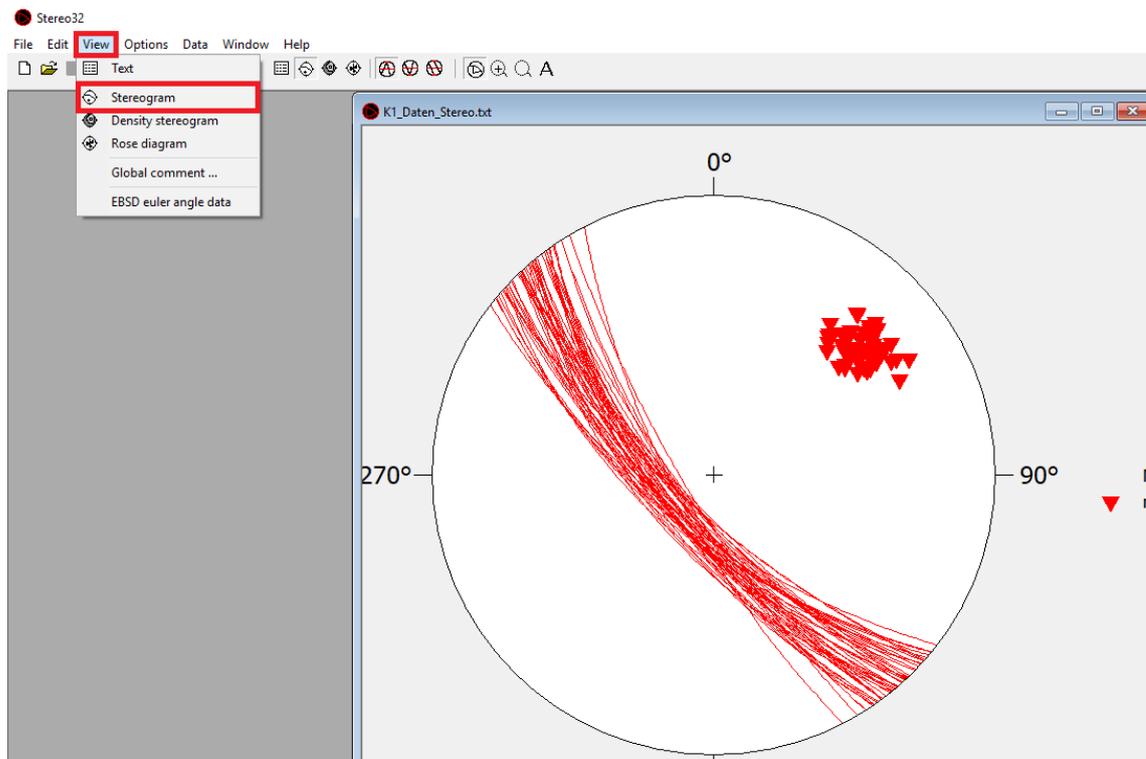


Abbildung 38: Ändern der Ansicht um die Daten als Stereogramm darzustellen

## 4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Auswertungen der Airborne Laserscanning (ALS) und der ShapeMetriX<sup>3D</sup> Daten angeführt. Es wird ein Überblick der digital kartierten Trennflächenscharen gegeben, und die Volumina der durch sie geformten Blöcke berechnet. Dabei werden die einzelnen Scharen als KF (=Klufffläche) und SF (=Schieferungsfläche) bezeichnet. Die Farben der abgebildeten Scharen in den Fotos und Diagrammen dieses Kapitels, sind basierend auf der Zugehörigkeit der Schar gewählt. Dies bedeutet, wenn zwei Scharen aus verschiedenen Modellen die gleiche Farbe aufweisen, sind sie zusammengehörend. Die Abbildungen in diesem Kapitel stammen aus den in Kapitel 3.6 geschilderten verwendeten Programmen, die Tabellen wurde mit dem Programm „MS Excel“ erstellt.

### 4.1 Trennflächenscharen – ALS

Die mittels „RiSCAN PRO“ (Kap.3.6.1) identifizierten Scharen der ALS Daten werden in diesem Abschnitt präsentiert. Es wurden sieben Scharen erfasst (Abb.39, Abb.40 und Tab.4), die teilweise der in Kap. 2.3.5 und Abb.10 angeführten lokalen Störungen zugeordnet werden konnten. Aus Tabelle 5 kann der Trennflächenabstand der einzelnen Scharen entnommen werden.

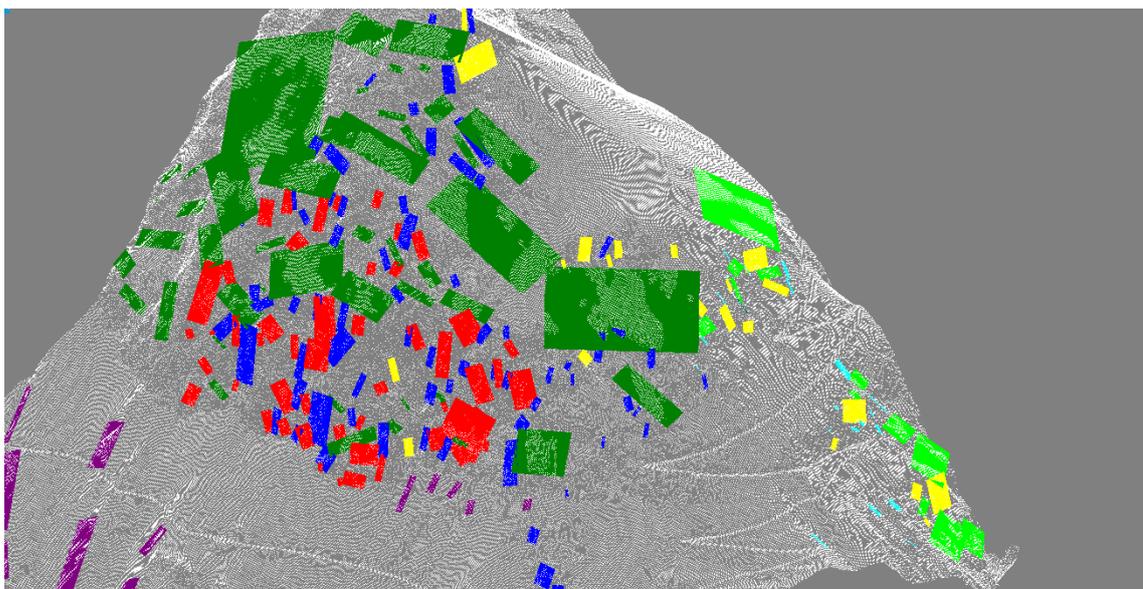


Abbildung 39: ALS-Daten 3D Punktwolkenmodell mit eingezeichneten Trennflächen

Tabelle 4: Scharen der ALS-Daten mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung;  $\vartheta$  = Vertrauenskegel

Farbe	Bezeichnung	ER [°]	EW [°]	N	K	R[%]	$\omega$ [°]	$\vartheta$ [°]
clRed	KF1	228,7	69,8	50	139,8	98,6	6,8	1,7
clBlue	KF2	256,2	65,3	73	44,55	95,5	12,1	2,5
clYellow	KF3	173,3	71,7	21	64,4	96,9	9,9	3,8
clAqua	KF4	123,3	57,3	24	36,48	94,5	13,3	4,8
clPurple	KF5	279,8	41,7	14	111,3	98,2	7,4	3,6
clGreen	SF1	240,7	42,4	48	17,39	88,5	19,6	5
clLime	SF2	156,6	47,3	9	80,29	97,5	8,6	5,3

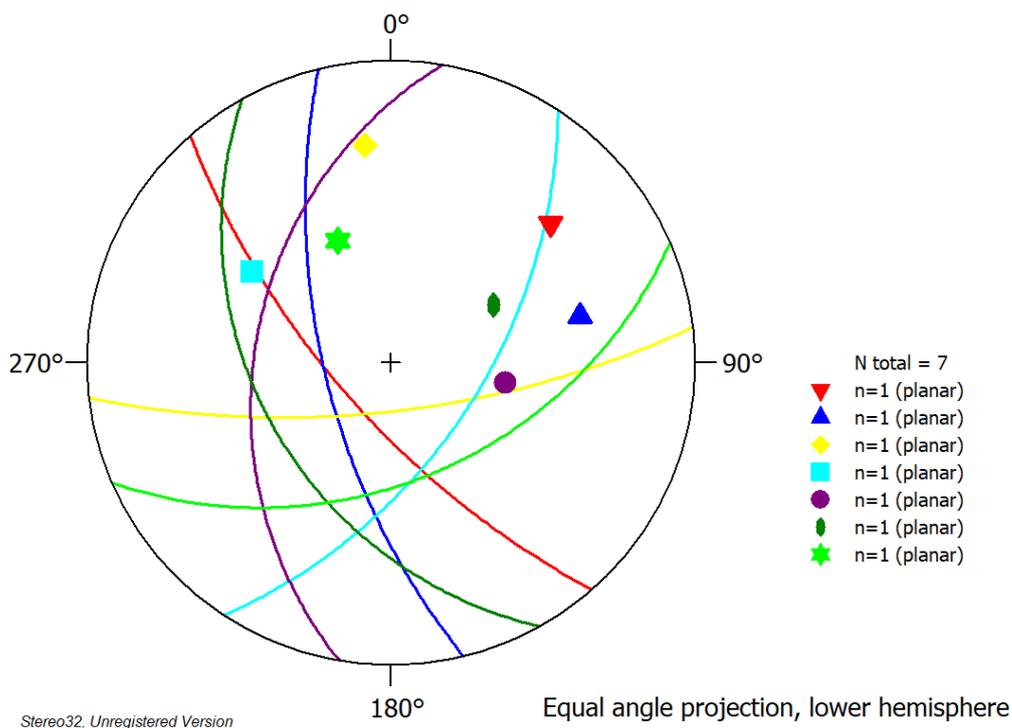


Abbildung 40: Stereogramm der Schwerpunktlflächen, von den in Tab.4 aufgelisteten Scharen

Tabelle 5: In „RiSCAN PRO“ gemessener durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen

Farbe	Bezeichnung	Abstand [m]
clRed	KF1	8,14
clBlue	KF2	7,30
clYellow	KF3	7,70
clAqua	KF4	8,46
clPurple	KF5	13,30
clGreen	SF1	8,79
clLime	SF2	8,00

## 4.1.1 Schar 1, KF1

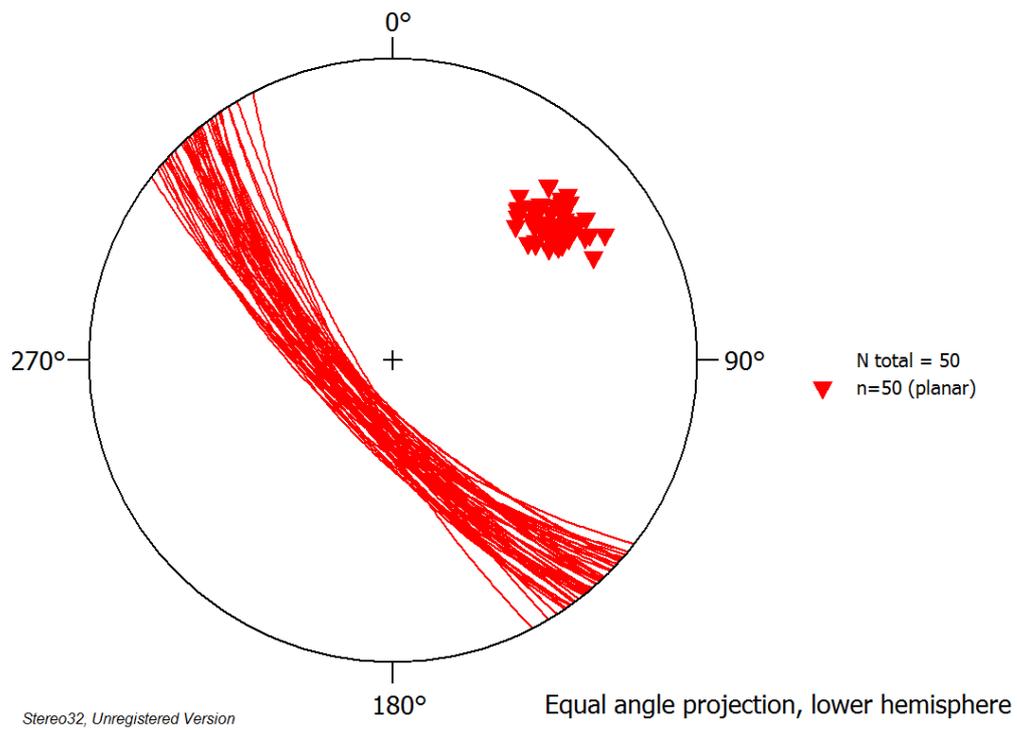


Abbildung 41: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (ALS)

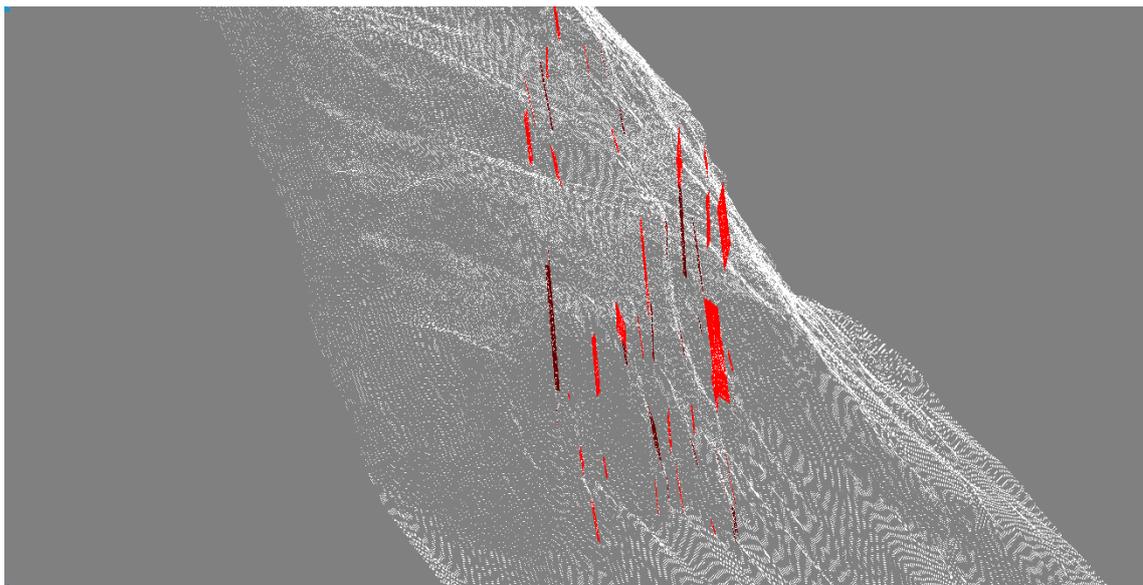


Abbildung 42: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF1 (ALS)

Die Schar streicht in NW-SO Richtung (Abb.41), die Flächen haben eine durchschnittliche Einfallrichtung von 228,7° und Einfallswinkel von 69,8°. In Tabelle 6 sind die Daten der einzelnen Flächen dieser Schar aufgelistet. Sie hat demnach den gleichen Verlauf wie die NW-SO orientierte Störung (in Abb. 10 rot eingezeichnet), und steht in weiterer Folge im Zusammenhang mit dem Iseltal Störungssystem, welches den Hauptverlauf des Mölltals bestimmt. Die Trennflächen dieser Schar wurden in „RiSCAN PRO“ vor allem an der Richtung Südwesten gerichteten Felswand am Mörtschachberg gemessen und wurden im Projekt als „KF1“ bezeichnet. In Abbildung 42 sind die ins Modell eingezeichneten Flächen, dieser Schar ersichtlich.

*Tabelle 6: Daten der Schar KF1 (ALS)*

Einfallrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
221,62	75,16	234,18	66,82
225,93	75,17	223,99	69,94
226,99	74,65	231,16	67,93
230,48	66,65	221,35	75,14
233,05	72,62	226,45	76,87
229,43	72,69	237,22	73,87
226,27	73,11	222,45	68,71
227,79	68,46	220,10	66,30
219,35	65,52	242,64	73,29
220,80	64,09	217,48	68,78
227,02	75,53	223,08	69,11
230,56	72,54	228,13	76,05
224,29	66,20	233,41	76,52
233,43	74,26	239,21	78,03
223,16	70,57	229,90	62,98
230,72	62,36	235,44	66,95
219,26	66,03	228,94	61,03
233,04	70,53	221,72	68,68
234,20	67,36	226,58	65,43
233,07	69,78	229,16	67,18
229,80	69,83	222,31	61,94
234,39	64,53	235,53	67,95
230,15	67,10	237,30	75,23
227,06	66,62	235,19	70,27
226,80	70,95	232,26	73,23

#### 4.1.2 Schar 2, KF2

Mit einem Streichen in NNO-SSW (Abb.43), verläuft die zweite bearbeitete Schar. Somit ist sie der gleich orientierten NNO-SSW streichenden Störung zuzuordnen (in Abb. 10 blau eingezeichnet). Die Flächen haben eine durchschnittliche Einfallsrichtung von  $256,2^\circ$  und Einfallswinkel von  $65,3^\circ$ . In Tabelle 7 sind die Daten der einzelnen Flächen dieser Schar aufgelistet. Die Schar wurde im Bearbeitungsprozess als "KF2" benannt und deren Flächen wurden hauptsächlich, wie bei KF1, an der Felswand im Südwesten des Mörtschachbergs eingebaut. Vereinzelt wurden auch einige Flächen in Richtung Südosten aufgezeichnet. In Abbildung 44 sind die ins Modell eingezeichneten Flächen, dieser Schar ersichtlich.

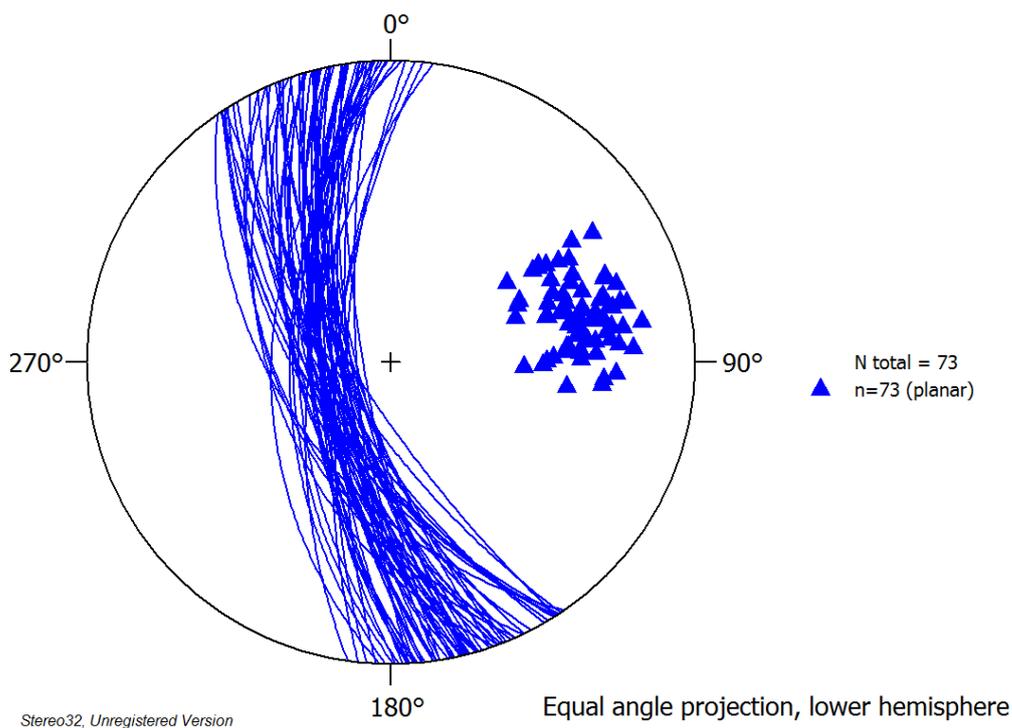


Abbildung 43: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (ALS)

Tabelle 7: Daten der Schar KF2 (ALS)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
266,54	77,23	257,83	68,28
265,56	73,93	266,37	63,92
255,69	77,34	252,53	72,28
272,82	73,14	247,73	74,35
256,17	69,27	253,34	71,41
260,76	79,76	253,76	66,29
255,19	75,75	263,60	66,23
255,92	73,78	257,98	61,78
237,55	62,10	253,59	60,18
237,08	76,53	255,41	75,79
254,89	66,46	250,74	76,19
261,47	63,56	261,47	65,13
237,06	60,01	265,00	60,39
244,10	67,15	251,03	62,64
236,45	60,27	249,40	57,63
253,21	61,80	238,83	65,50
236,96	58,08	249,39	67,64
239,72	68,04	242,54	61,16
261,99	71,17	245,74	49,10
260,72	72,53	253,65	55,94
246,68	60,07	253,69	56,47
259,25	63,72	262,00	65,30
256,46	64,76	265,17	60,81
248,36	73,91	256,83	64,15
266,61	60,81	258,32	68,60
246,12	65,83	272,22	47,17
269,49	54,38	278,09	60,58
274,57	70,11	267,01	63,83
276,11	69,80	271,03	53,24
261,36	75,32	265,64	59,82
267,65	68,09	268,41	56,32
264,27	68,14	236,05	71,19
269,03	63,89	250,36	47,03
261,86	64,34	248,76	62,63
255,76	72,92	244,33	50,14
258,56	71,04	235,32	49,79
264,04	71,87		

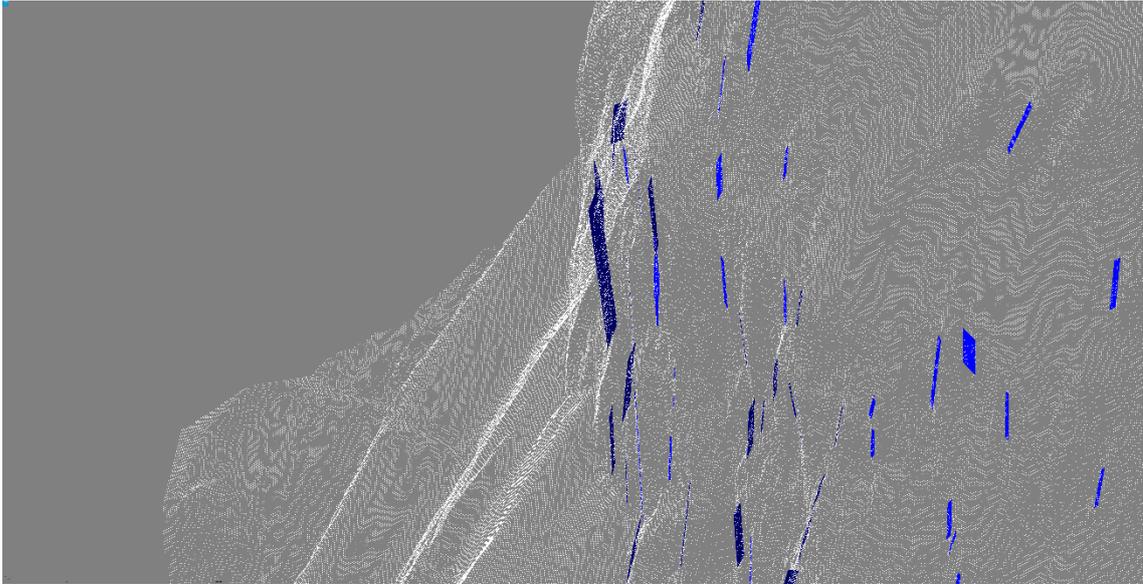


Abbildung 44: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF2 (ALS)

#### 4.1.3 Schar 3, KF3

Die dritte beschriebene Schar, im Projekt „KF3“ genannt, tritt vor allem südwestlich vom Mörtschachberg, im Bereich der Astenstraße, auf. Vereinzelt konnten auch Flächen im Bereich von KF1 und KF2 eingebaut werden. Die Durchschnittseinfallrichtung der Flächen beträgt  $173,3^\circ$  mit einem mittleren Einfall von  $71,7^\circ$ . In Tabelle 8 sind die Daten der einzelnen Flächen dieser Schar aufgelistet. Die Streichrichtung ist W-O (Abb.45). Diese Schar könnte daher mit den W-O streichenden subvertikalen Störungen, die zwischen den Hauptstörungszonen auftreten korrelieren (siehe Kap.2.3.3). In Abbildung 46 sind die ins Modell eingezeichneten Flächen, dieser Schar ersichtlich.

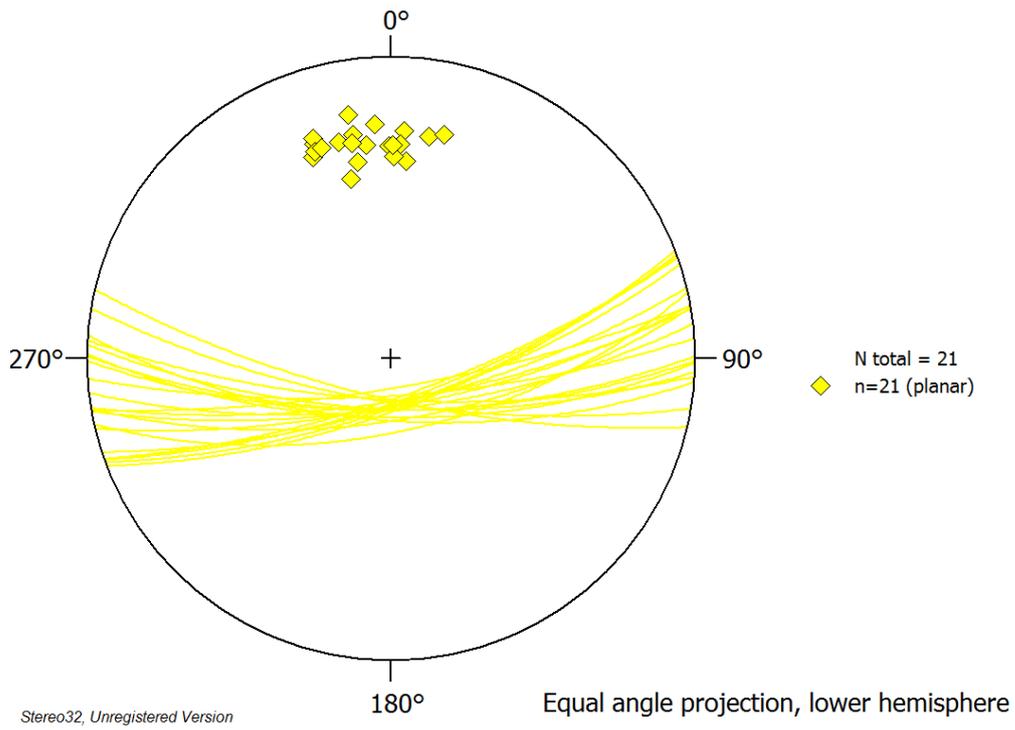


Abbildung 45: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (ALS)

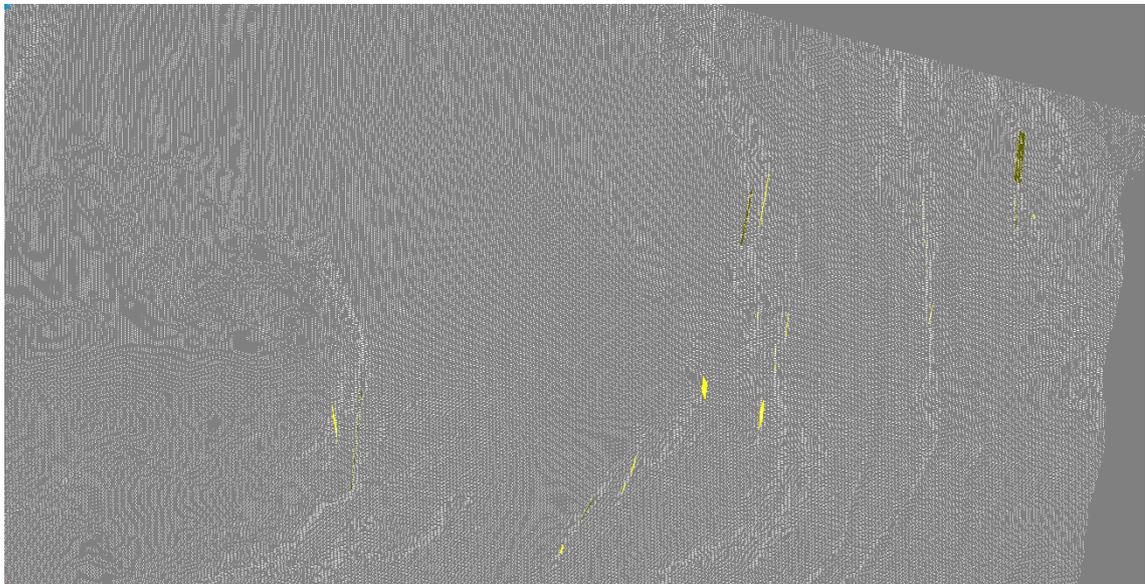


Abbildung 46: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF3 (ALS)

Tabelle 8: Daten der Schar KF3 (ALS)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
183,43	74,14
189,55	73,42
193,21	74,60
184,40	66,57
179,55	70,28
182,61	70,79
167,42	62,64
180,83	67,65
170,54	73,79
159,08	71,04
176,15	75,71
173,40	70,80
166,50	72,77
169,91	71,79
170,03	78,66
160,38	73,87
160,53	75,24
159,82	72,13
161,86	72,46
170,35	66,75
180,44	70,54

#### 4.1.4 Schar 4, KF4

Die nächste Trennflächenschar, im Zuge der Bearbeitung als "KF4" bezeichnet, hat eine durchschnittliche Einfallsrichtung von 123,3° mit einem mittleren Einfall von 57,3°. In Tabelle 9 sind die Daten der einzelnen Flächen dieser Schar aufgelistet. Es ergibt sich eine Streichrichtung von NNO – SSW (Abb.47). Hinsichtlich der vorhandenen Hauptstörungen in dieser Region (Abb.10) lässt sich die Schar in Verbindung setzen mit der NNO – SSW verlaufenden Störung (in Abb. 10 türkis eingezeichnet), nach der sich der Hauptverlauf des Astentals richtet. Die Flächen dieser Schar wurden im südöstlichen Teil des Mörtschachbergs, im Bereich der Astenstraße, identifiziert. In Abbildung 48 sind die ins Modell eingezeichneten Flächen, dieser Schar ersichtlich.

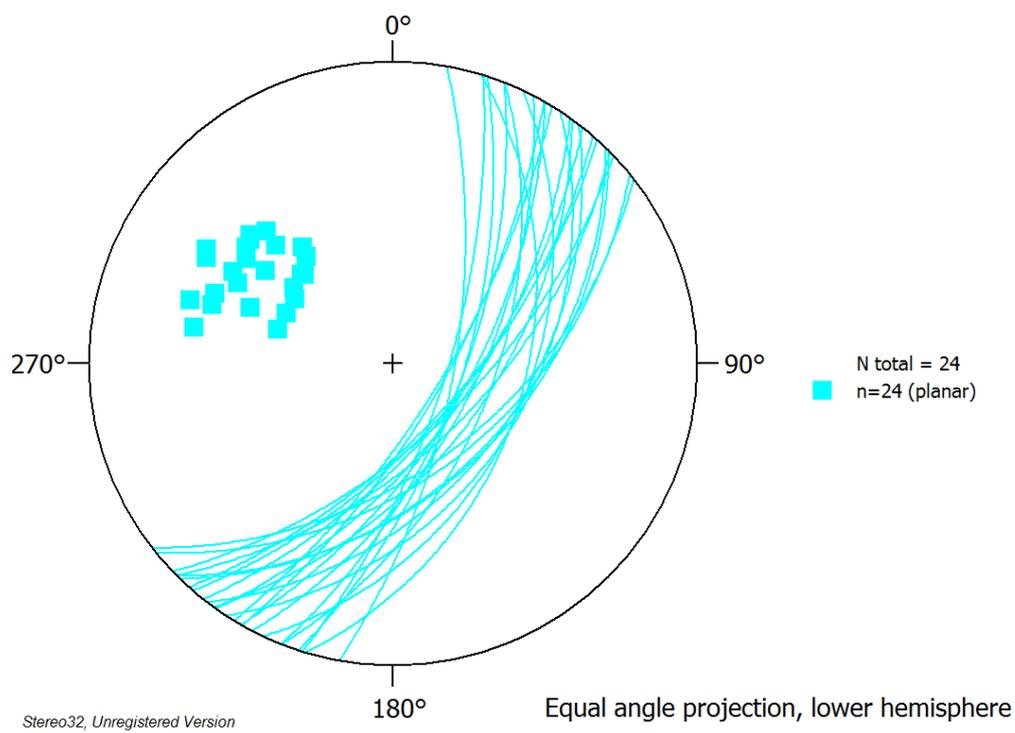


Abbildung 47: Stereogramm der Trennflächenschar KF4 (ALS)

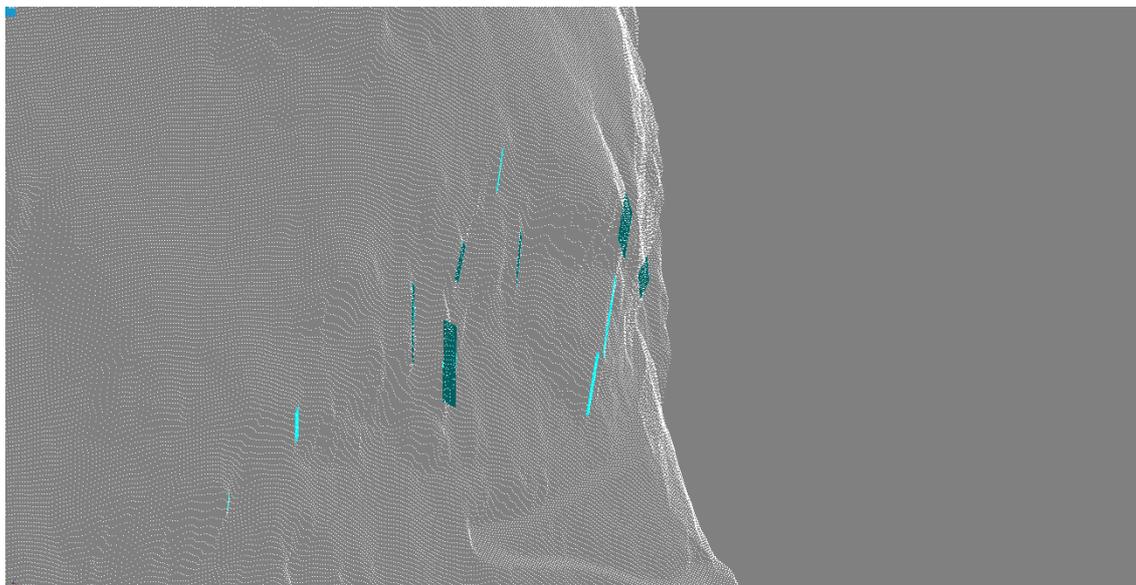


Abbildung 48: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF4 (ALS)

Tabelle 9: Daten der Schar KF4 (ALS)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
117,58	59,64
100,18	67,11
111,54	53,44
120,06	62,46
119,79	70,31
108,08	64,12
111,57	64,21
121,55	71,53
128,63	63,26
126,17	54,83
136,43	62,19
131,13	63,76
106,77	43,07
107,37	69,83
132,15	64,69
135,28	44,80
125,64	61,34
135,45	57,62
123,36	42,23
127,67	44,73
142,30	51,78
141,09	48,88
134,43	45,66
115,32	42,42

#### 4.1.5 Schar 5, KF5

Die fünfte Trennflächenschar, im Rahmen der ALS-Daten-Auswertung als "KF5" bezeichnet, ist gekennzeichnet durch einen mittleren Einfall der Flächen von 279.8° bzw. Einfallswinkel von 41,7°. In Tabelle 10 sind die Daten der einzelnen Flächen dieser Schar aufgelistet. Die Streichrichtung der Schar entspricht einer N – S Richtung (Abb.49) und kann somit korreliert werden mit der N-S verlaufenden Störung des Gebiets (in Abb. 10 violett eingezeichnet). Hauptsächlich wurden die Flächen dieser Schar talabwärts identifiziert, mit Ausnahme einiger, die auch im unteren Bereich der im Südwesten liegenden Felswand, eingezeichnet werden konnten. In Abbildung 50 sind die ins Modell eingezeichneten Flächen, dieser Schar ersichtlich.

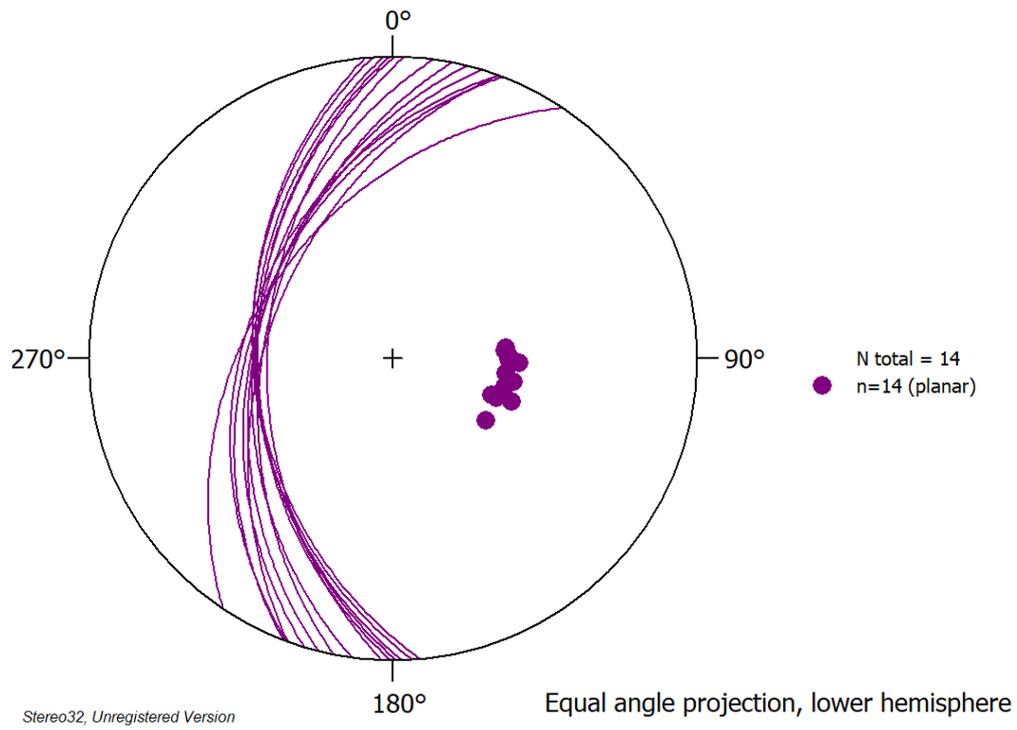


Abbildung 49: Stereogramm der Trennflächenschar KF5 (ALS)

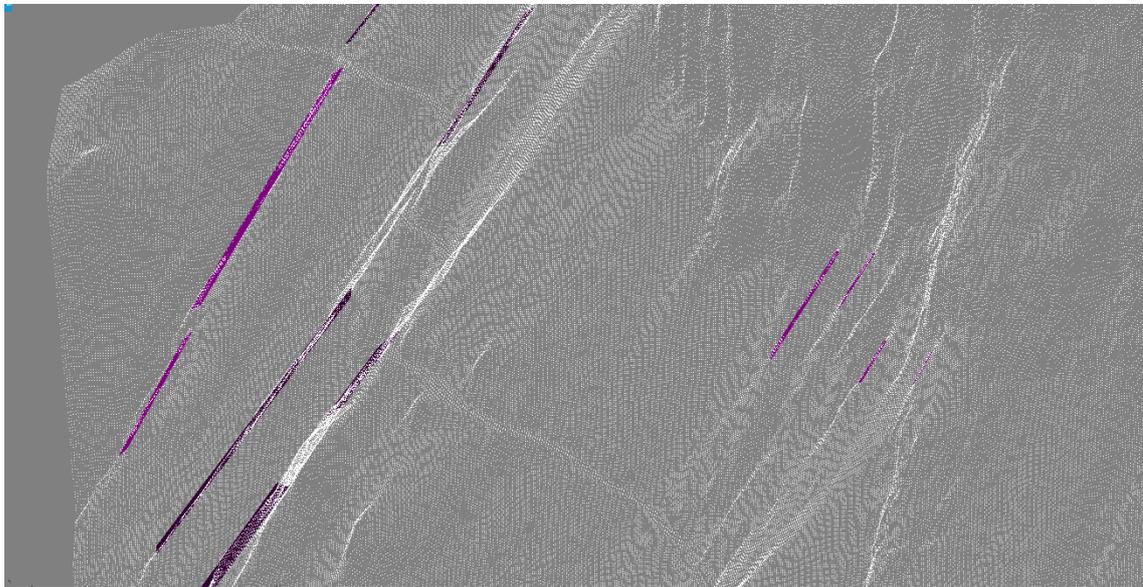


Abbildung 50: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF5 (ALS)

Tabelle 10: Daten der Schar KF5 (ALS)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
286,93	41,14
268,29	41,39
266,26	40,66
284,15	41,64
281,20	44,00
290,20	45,04
291,13	40,25
290,40	38,29
303,95	40,39
264,77	40,99
270,36	41,82
277,74	41,08
269,40	42,08
272,12	45,17

#### 4.1.6 Schar 6, SF1

Schar 6, als "SF1" bezeichnet, hat eine durchschnittliche Einfallsrichtung von 240,7° und Einfallswinkel von 42,4°. In Tabelle 11 sind die Daten der einzelnen Flächen dieser Schar aufgelistet. Abbildung 51 zeigt das den Werten entsprechende Stereogramm. Besonders was die Richtung angeht, streuen die Werte weit auseinander. Der Großteil der Flächen wurden im südwestlichen Bereich des Mörtschachbergs identifiziert, aber auch Richtung Osten, also Richtung Astenstraße, konnten Flächen eingebaut werden. Die Flächen dieser Schar sind Schieferungsflächen. In Abbildung 52 sind die ins Modell eingezeichneten Flächen, dieser Schar ersichtlich.

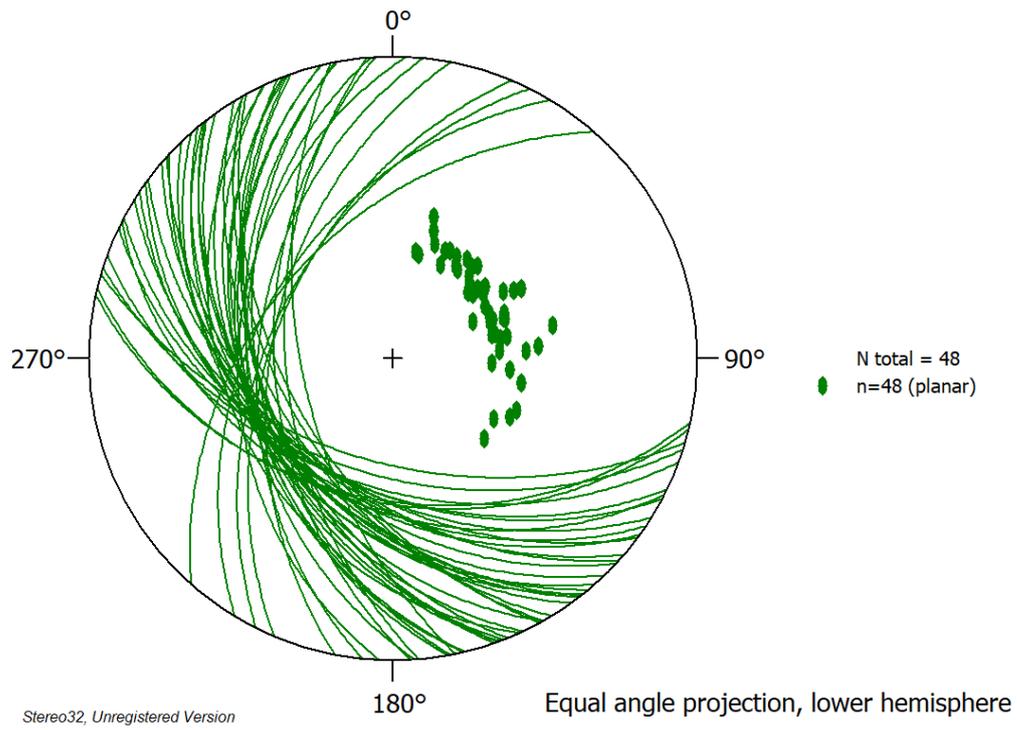


Abbildung 51: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (ALS)

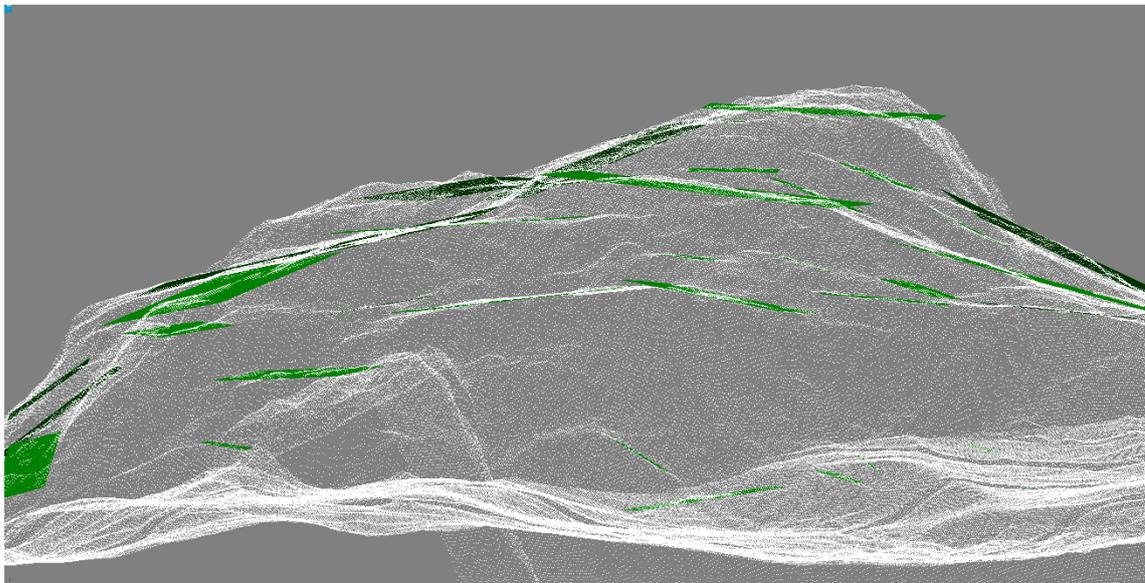


Abbildung 52: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar SF1 (ALS)

Tabelle 11: Daten der Schar SF1 (ALS)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
256,48	36,93	213,71	40,57
231,78	42,00	228,42	36,55
211,81	43,34	241,15	51,35
249,30	37,65	207,82	43,75
259,52	39,42	215,70	39,82
244,72	38,48	222,07	44,90
266,69	47,41	272,49	36,06
250,46	42,70	245,23	32,31
275,71	42,33	225,99	38,58
293,06	47,54	240,48	38,38
311,47	43,78	265,87	38,77
296,70	46,47	238,60	46,15
301,26	42,33	192,22	39,71
247,81	43,19	234,16	40,32
231,25	37,32	258,11	56,57
249,80	42,29	281,01	46,49
248,71	38,84	265,12	51,16
259,05	41,87	216,50	44,47
256,28	38,06	196,21	51,91
222,87	40,55	205,66	43,26
197,58	47,63	220,60	43,36
230,14	39,70	193,64	39,00
232,31	40,59	206,91	38,21
200,12	43,87	240,39	49,07

#### 4.1.7 Schar 7, SF2

Schar 7, als "SF2" bezeichnet, hat eine durchschnittliche Einfallsrichtung von 156,6° sowie Einfallswinkel von 47°. In Tabelle 12 sind die Daten der einzelnen Flächen dieser Schar aufgelistet. Abbildung 53 zeigt das den Werten entsprechende Stereogramm. Diese Flächen wurden im Bereich um die Astenstraße identifiziert, südöstlich des Mörtschachbergs. Genau wie bei Schar 6 handelt es sich bei diesen Flächen um Schieferungsflächen. In Abbildung 54 sind die ins Modell eingezeichneten Flächen, dieser Schar ersichtlich.



Tabelle 12: Daten der Schar SF2 (ALS)

<b>Einfallsrichtung [°]</b>	<b>Einfallswinkel [°]</b>
174,40	43,91
160,89	51,16
161,77	47,89
151,84	44,57
165,75	52,26
146,95	53,13
162,70	47,99
152,17	44,60
133,11	40,26

## 4.2 Trennflächenscharen – ShapeMetriX<sup>3D</sup>

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der ShapeMetriX<sup>3D</sup> Auswertung, von den 5 bearbeiteten Modellen aufgelistet.

### 4.2.1 Modell 1

Beim ersten Modell wurden insgesamt sieben Scharen erfasst (Abb.55 -Abb.57 und Tab.13). Aus Tabelle 14 kann der Trennflächenabstand der einzelnen Scharen entnommen werden.

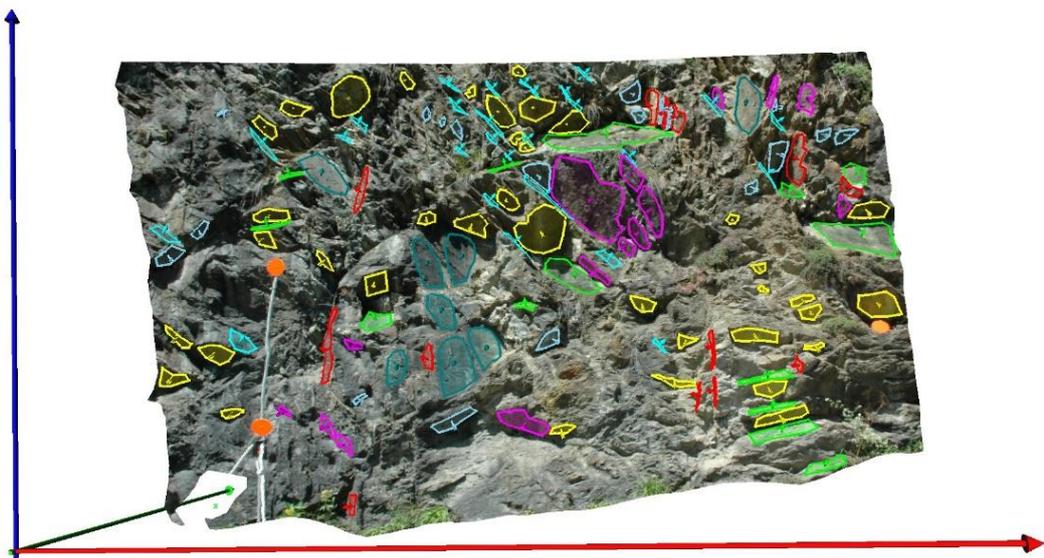


Abbildung 55: Modell 1 mit eingezeichneten Trennflächen

Tabelle 13: Scharen aus dem ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modell 1 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung;  $\vartheta$  = Vertrauenskegel

Farbe	Bezeichnung	ER [°]	EW [°]	N	K	R[%]	$\omega$ [°]	$\vartheta$ [°]
clAqua	KF1	110,3	52,3	27	56,1	96,6	10,7	3,7
clYellow	KF2	350,9	62,2	38	56,8	96,6	10,7	3,1
clFuchsia	KF3	24,9	79,3	15	21,5	91,3	17,2	8,4
clRed	KF4	228,9	82,0	13	52,6	96,5	10,8	5,8
clTeal	KF5	152,6	68,8	8	62,1	97,2	9,7	7,1
clSkyblue	KF6	316,5	64,6	19	24,9	92,4	16,0	6,9
clLime	SF1	171,6	39,0	14	72,9	97,5	9,2	4,7

Tabelle 14: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 1

Farbe	Bezeichnung	Abstand [m]
clAqua	KF1	0,96
clYellow	KF2	0,78
clFuchsia	KF3	0,87
clRed	KF4	1,99
clTeal	KF5	0,13
clSkyblue	KF6	1,91
clLime	SF1	0,44

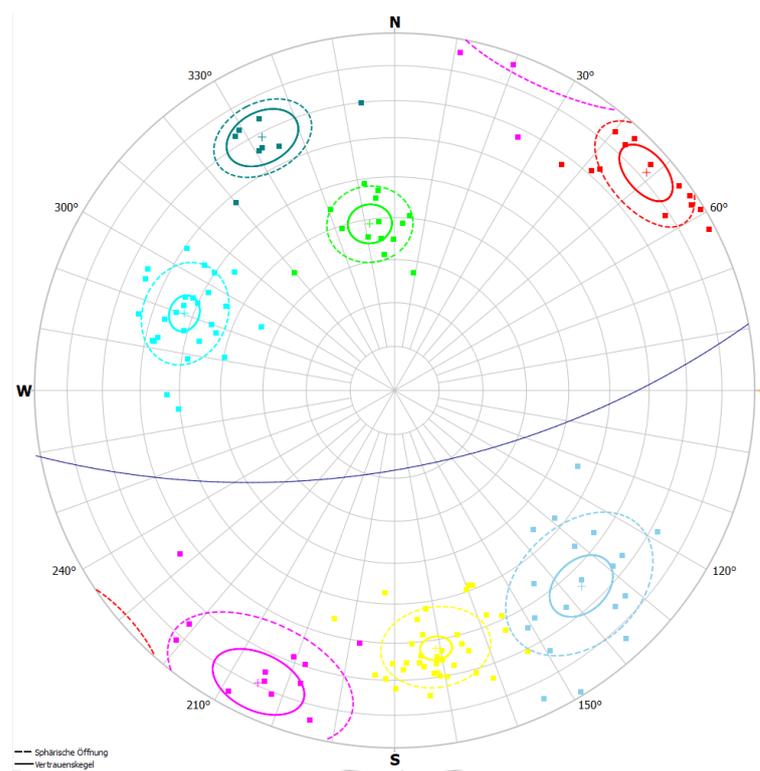


Abbildung 56: Polpunkte der Flächen aus Modell 1 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand ( $169,3^\circ/72,1^\circ$ ). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.13 entnommen werden

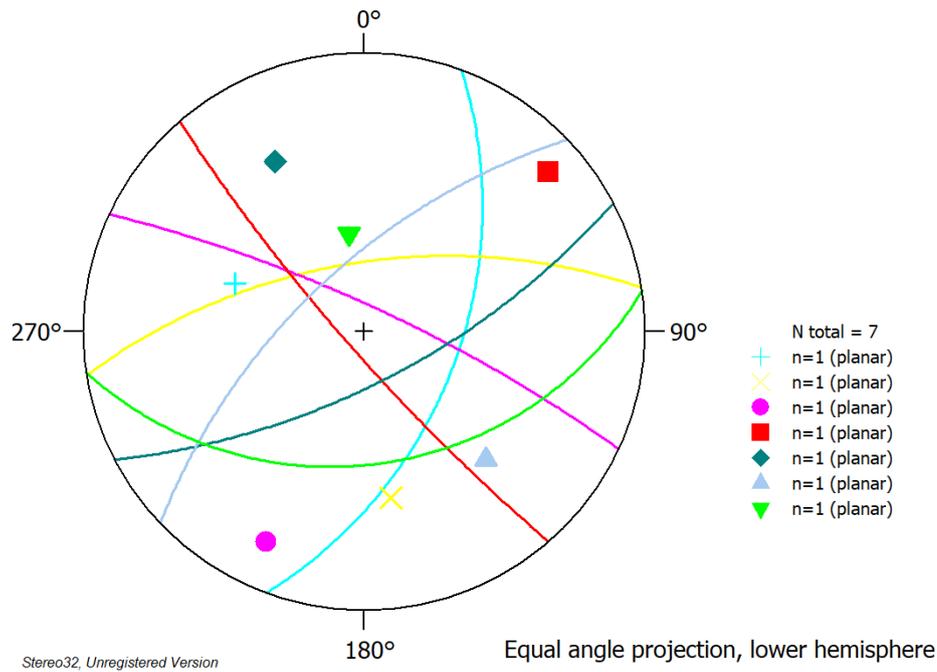


Abbildung 57: Stereogramm der Schwerpunktsflächen aus Modell 1. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.13 entnommen werden

Es folgt eine Übersicht der einzelnen in Modell 1 vorkommenden Scharen, wobei von jeder, ein Stereogramm der eingebauten Flächen (Abb.58 – Abb.64), sowie die Flächendaten in Tabellenform (Tab.15 – Tab.21) abgebildet sind.

### 1.) KF1

Tabelle 15: Daten der Schar KF1 (Modell 1)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
106,44	51,88	116,26	34,53
99,37	49,28	123,45	51,05
104,68	47,37	101,74	40,61
103,24	57,86	123,81	54,22
110,32	45,80	102,27	58,94
108,40	44,07	114,50	65,94
114,50	51,01	124,74	60,33
85,81	51,06	110,15	55,13
102,07	58,55	116,67	66,53
107,13	64,21	117,16	44,33
107,76	57,24	115,18	52,53
112,57	53,92	126,97	47,08
89,62	53,83	118,26	49,78
114,52	54,44		

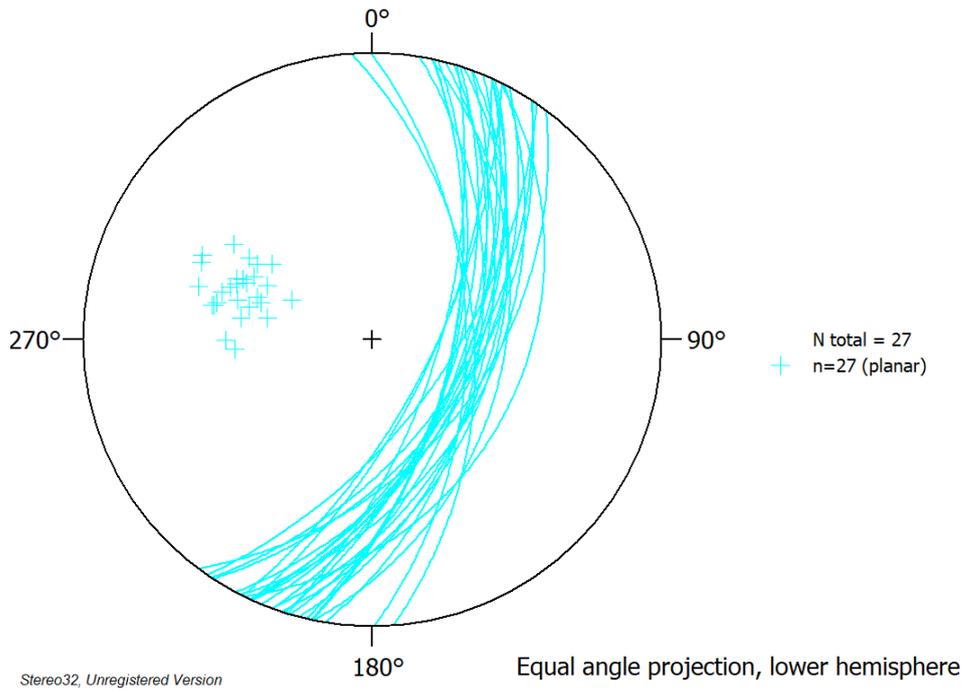


Abbildung 58: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 1)

## 2.) KF2

Tabelle 16: Daten der Schar KF2 (Modell 1)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
346,11	58,91	338,79	48,09
339,76	47,87	3,55	46,62
356,70	59,52	0,96	64,65
355,06	53,48	345,73	61,63
352,53	68,15	333,38	69,70
351,45	68,87	358,72	66,46
352,56	50,90	4,44	68,06
355,24	64,69	335,57	61,94
351,94	67,93	344,62	63,91
354,36	65,85	348,31	66,73
351,79	65,56	350,33	64,49
335,08	58,10	0,30	71,55
351,53	63,69	354,06	57,44
350,20	62,27	2,32	68,96
350,49	64,62	353,88	73,97
350,13	69,46	358,04	64,52
341,50	73,05	15,48	55,24
340,85	48,60	344,32	70,22
338,35	56,36	354,88	62,89

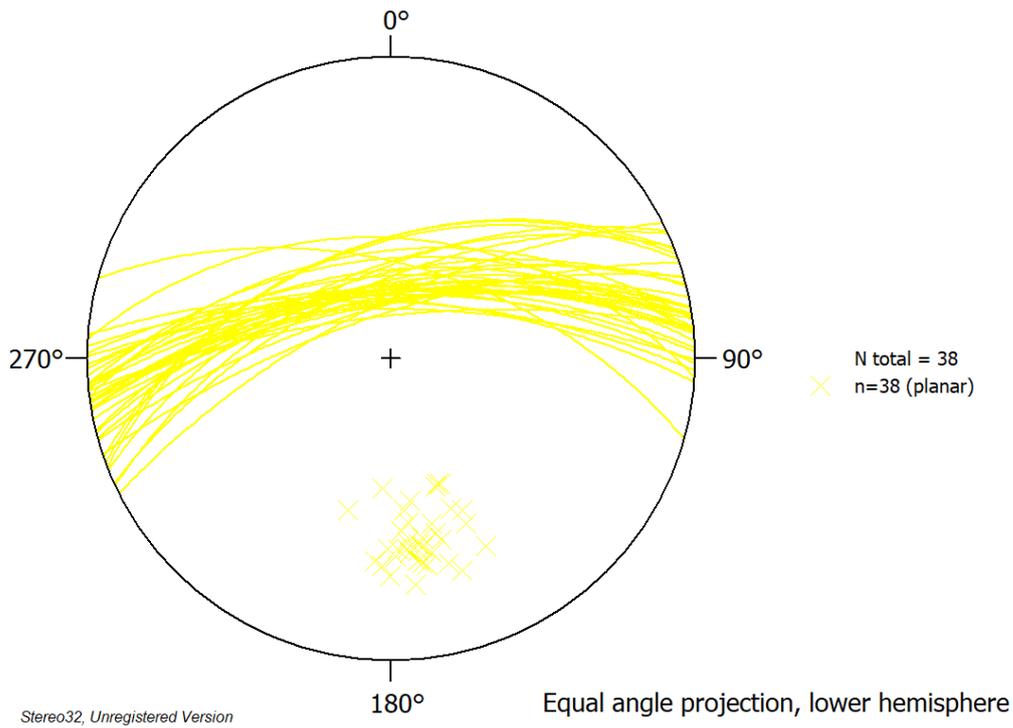


Abbildung 59: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 1)

### 3.) KF3

Tabelle 17: Daten der Schar KF3 (Modell 1)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
53,31	64,30
25,24	75,13
14,82	84,02
24,64	77,68
18,60	68,93
22,57	80,26
41,80	75,60
205,04	67,98
190,34	86,60
8,46	60,04
41,62	81,55
199,34	87,12
29,36	85,12
18,35	74,54
21,29	68,20

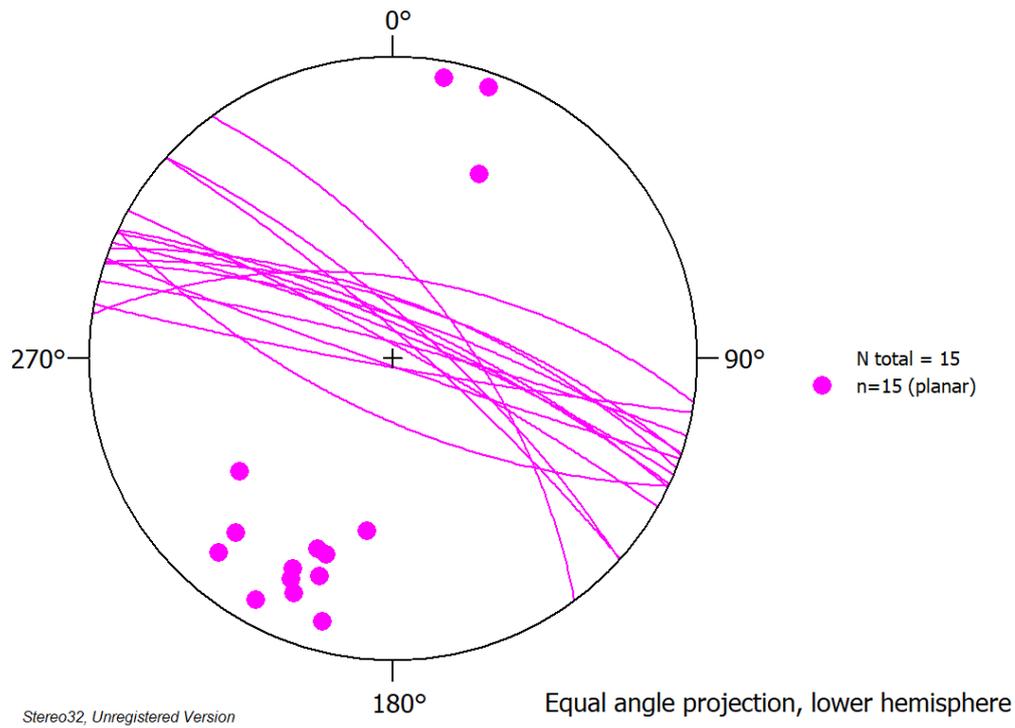


Abbildung 60: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (Modell 1)

#### 4.) KF4

Tabelle 18: Daten der Schar KF4 (Modell 1)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
215,51	67,57
221,91	73,05
220,89	71,19
219,60	84,41
235,84	88,02
222,76	86,69
236,32	78,56
222,40	83,32
227,74	84,50
233,40	87,05
237,17	86,70
238,63	88,50
242,09	87,81

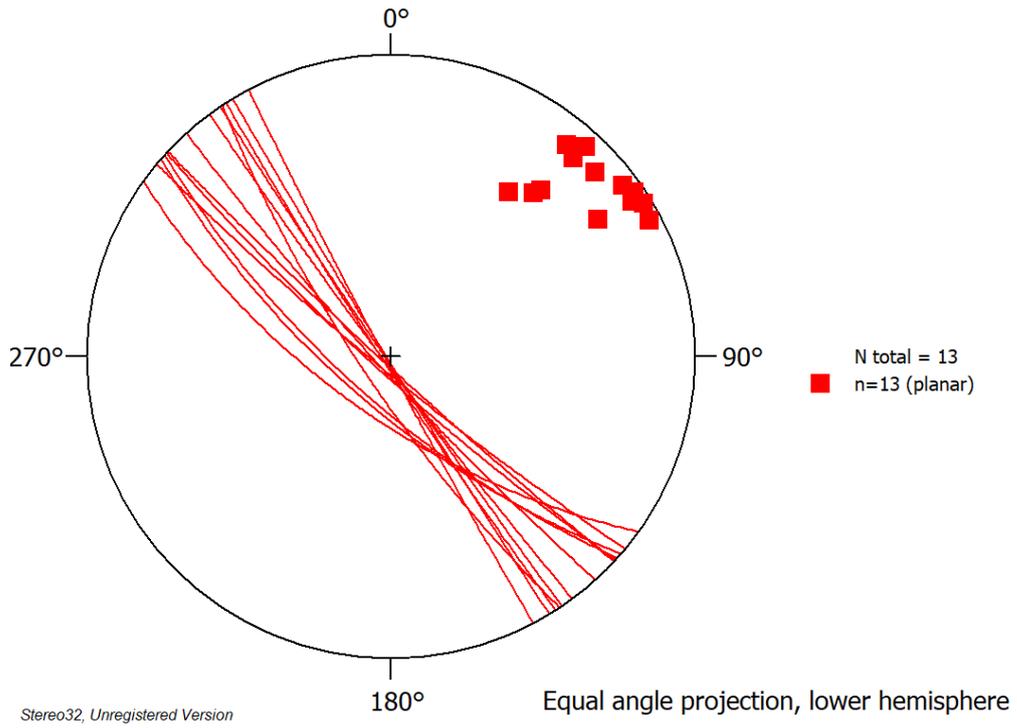


Abbildung 61: Stereogramm der Trennflächenschar KF4 (Modell 1)

5.) KF5

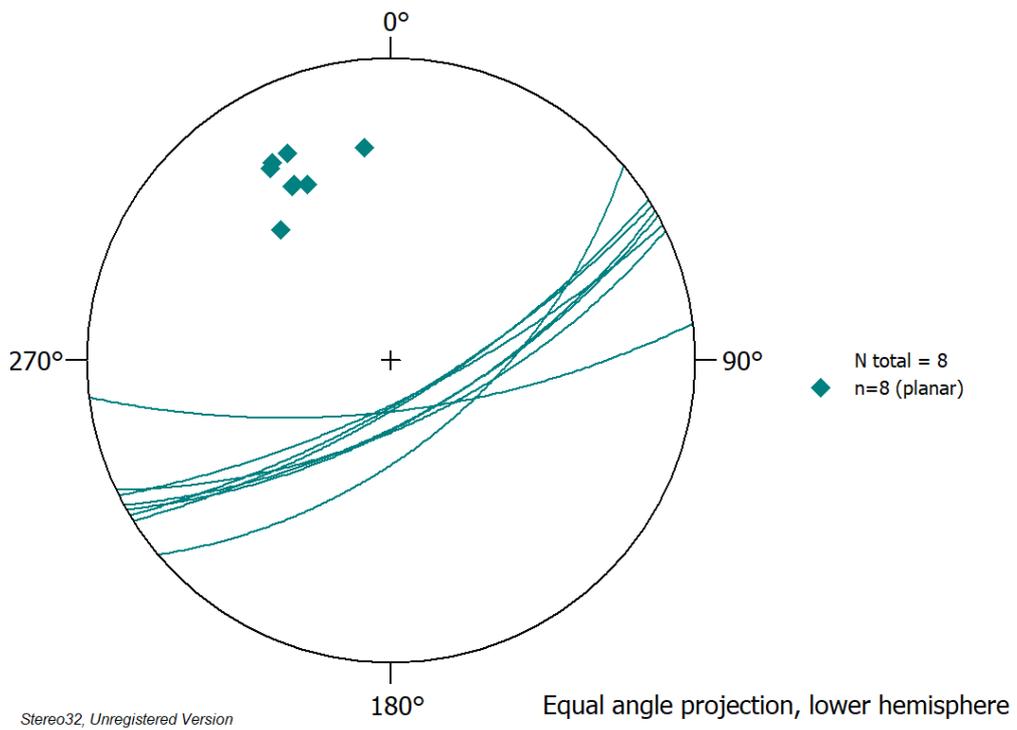


Abbildung 62: Stereogramm der Trennflächenschar KF5 (Modell 1)

Tabelle 19: Daten der Schar KF5 (Modell 1)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
139,95	58,91
153,41	74,79
149,18	74,56
154,56	65,42
151,36	67,10
150,41	66,81
147,94	73,65
172,97	70,73

## 6.) KF6

Tabelle 20: Daten der Schar KF6 (Modell 1)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
308,64	46,61
308,86	65,98
292,15	44,96
298,25	70,95
315,40	44,65
311,08	55,00
306,11	66,19
315,61	62,16
311,88	73,90
324,54	55,08
321,89	65,15
314,54	73,85
328,83	62,74
329,47	72,50
334,48	84,03
328,66	87,67
305,59	56,61
317,20	82,73
331,03	64,08

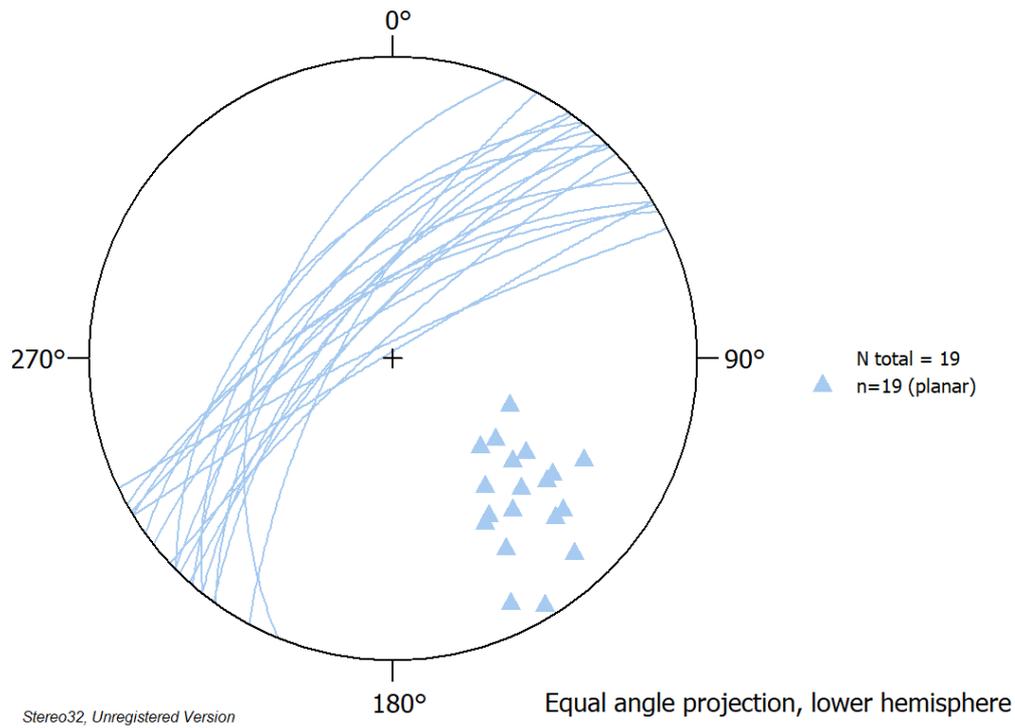


Abbildung 63: Stereogramm der Trennflächenschar KF6 (Modell 1)

## 7.) SF1

Tabelle 21: Daten der Schar SF1 (Modell 1)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
173,94 €	39,80 €
169,45 €	36,58 €
160,09 €	45,54 €
178,57 €	35,55 €
161,57 €	40,08 €
174,17 €	35,80 €
181,68 €	39,25 €
174,71 €	47,43 €
173,80 €	45,71 €
171,12 €	49,59 €
139,61 €	36,37 €
183,92 €	41,26 €
187,58 €	27,82 €
174,72 €	31,91 €

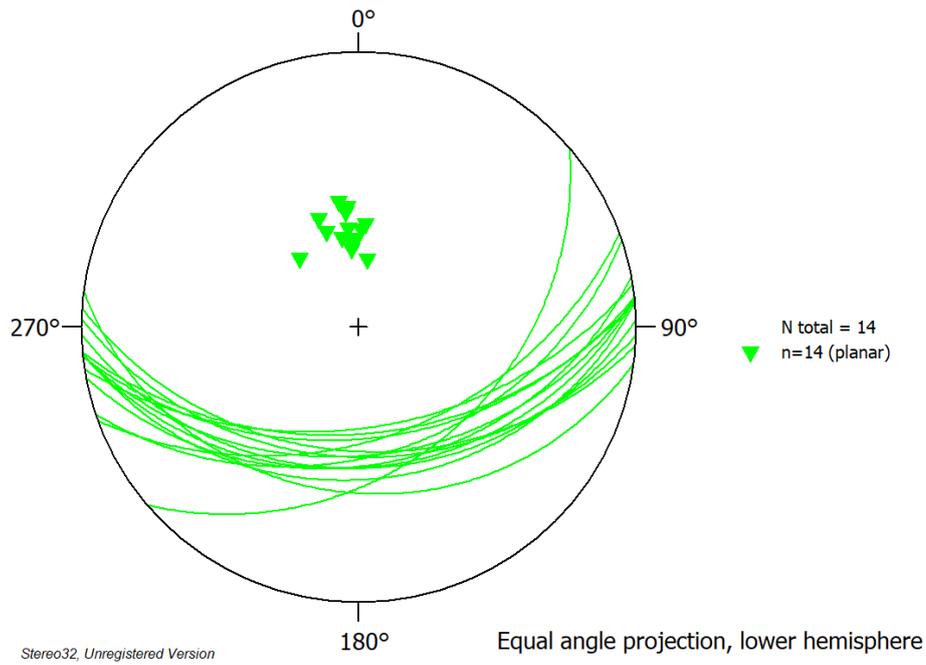


Abbildung 64: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 1)

#### 4.2.2 Modell 2

Beim zweiten Modell wurden insgesamt vier Scharen (Abb.65 – Abb.67, und Tab.22) erfasst. Aus Tabelle 23 kann der Trennflächenabstand der einzelnen Scharen entnommen werden.

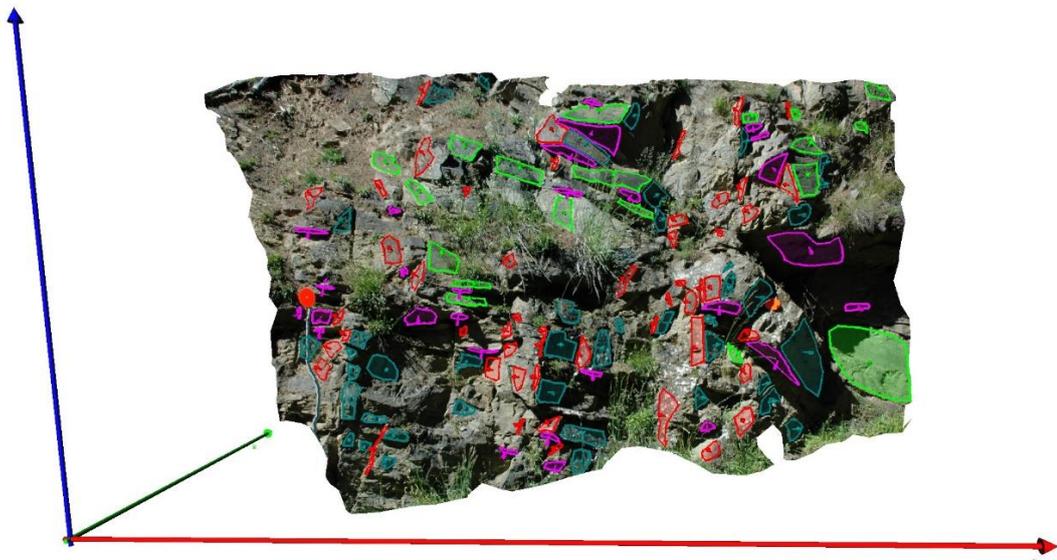


Abbildung 65: Modell 2 mit eingezeichneten Trennflächen

Tabelle 22: Scharen aus dem ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modell 2 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung

Farbe	Bezeichnung	ER [°]	EW [°]	N	K	R[%]	$\omega$ [°]	$\vartheta$ [°]
clRed	KF1	216,9	62,3	51	30,7	93,6	14,6	3,7
clTeal	KF2	142,2	76,8	43	27,0	92,8	15,6	4,3
clFuchsia	KF3	8,5	52,7	28	18,7	89,7	18,7	6,5
clLime	SF1	165,4	56,7	19	27,4	93,1	15,2	6,5

Tabelle 23: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 2

Farbe	Bezeichnung	Abstand [m]
clRed	KF1	0,90
clTeal	KF2	0,92
clFuchsia	KF3	1,20
clLime	SF1	0,33

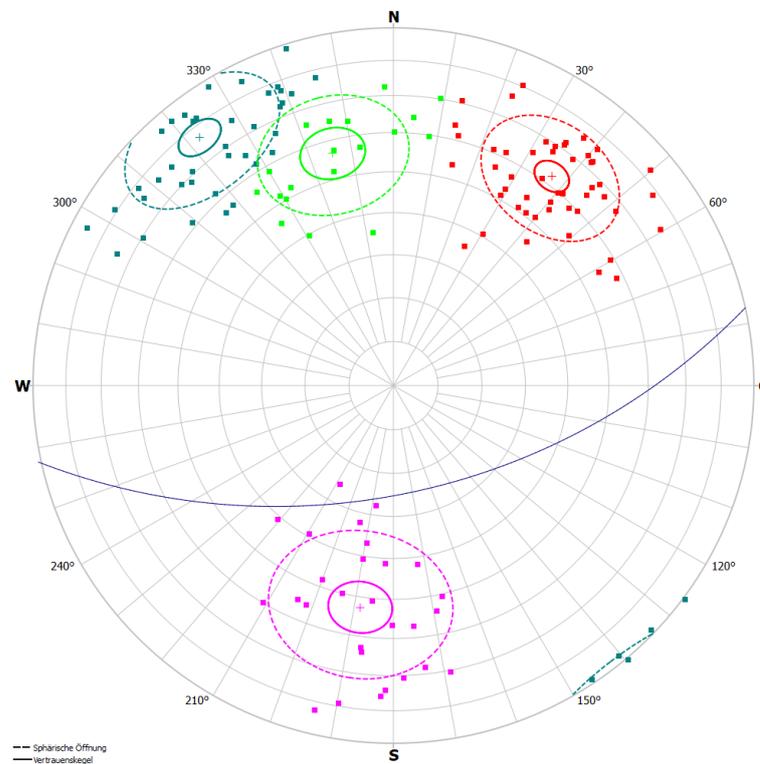


Abbildung 66: Polpunkte der Flächen aus Modell 2 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand (167,4°/65,3°). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.22 entnommen werden

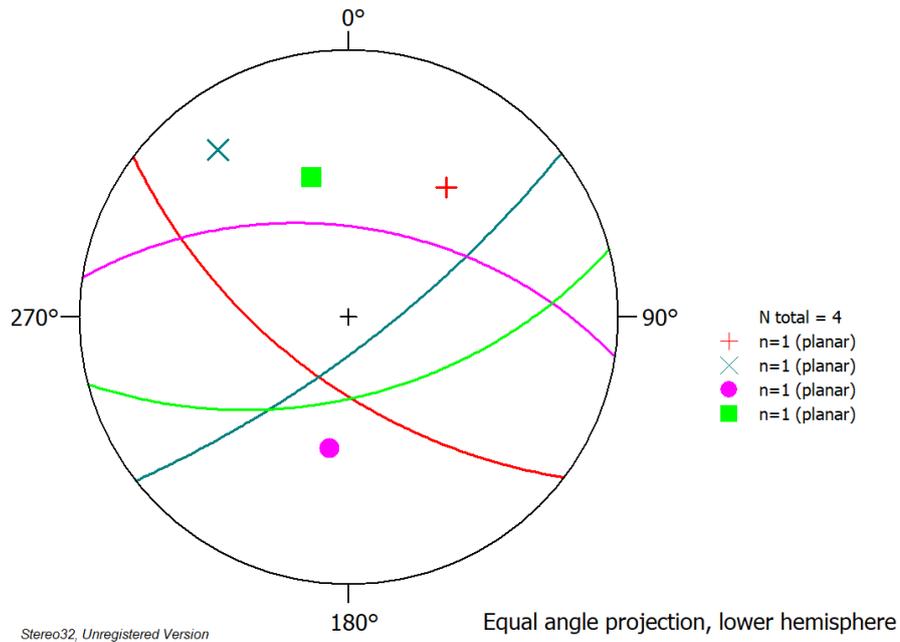


Abbildung 67: Stereogramm der Schwerpunktlflächen aus Modell 2. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.22 entnommen werden

Es folgt eine Übersicht der einzelnen in Modell 2 vorkommenden Scharen, wobei von jeder, ein Stereogramm der eingebauten Flächen (Abb.68 – Abb.71), sowie die Flächendaten in Tabellenform (Tab.24 – Tab.27) abgebildet sind.

### 1.) KF1

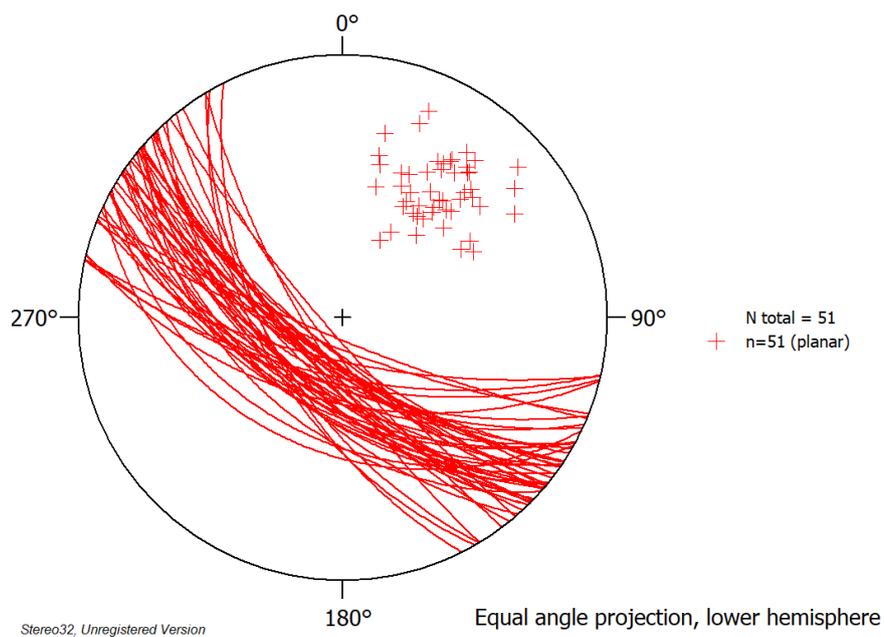


Abbildung 68: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 2)

Tabelle 24: Daten der Schar KF1 (Modell 2)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
208,23	51,29	220,85	72,45
202,00	61,23	211,14	69,43
213,80	51,00	202,58	80,71
193,69	61,75	232,84	78,30
219,56	56,92	238,84	74,56
214,64	60,47	204,88	61,75
208,59	53,34	219,32	73,07
225,48	59,75	214,19	54,26
219,41	60,03	194,04	54,18
209,95	65,15	221,54	45,44
219,00	51,40	220,34	60,58
227,12	67,70	224,83	69,15
214,46	71,49	214,55	72,12
217,56	69,50	239,95	54,67
220,63	71,94	209,26	40,83
219,94	75,87	224,50	64,55
213,15	69,71	223,66	58,90
216,66	76,21	239,00	58,77
224,09	66,97	229,19	82,46
225,43	59,79	243,25	57,89
205,51	36,22	213,39	68,06
203,99	57,27	192,90	71,30
208,41	56,66	201,44	76,77
228,35	54,07	216,29	50,85
192,64	64,44	220,38	55,25
230,94	67,46		

## 2.) KF2

Tabelle 25: Daten der Schar KF2 (Modell 2)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
158,74	79,47	137,41	63,04
148,67	76,53	129,35	62,21
145,01	71,41	148,27	88,95
152,50	63,47	117,57	86,39
157,73	73,95	137,03	71,64
158,38	74,77	131,43	76,82
143,69	83,06	320,44	86,59
160,63	76,07	128,04	79,86
142,99	82,76	144,46	68,77
153,43	85,28	134,82	76,71
162,16	89,52	140,17	86,81
165,55	78,74	135,34	69,72
156,80	78,71	142,50	85,86
151,68	71,92	133,76	71,23
148,24	62,78	313,66	87,45
137,86	86,60	306,40	89,47
319,70	89,54	127,28	76,78
136,17	57,59	115,90	74,92
158,92	78,19	120,97	70,62
138,63	57,72	122,56	81,74
154,91	67,66	147,35	66,27
326,32	87,71		

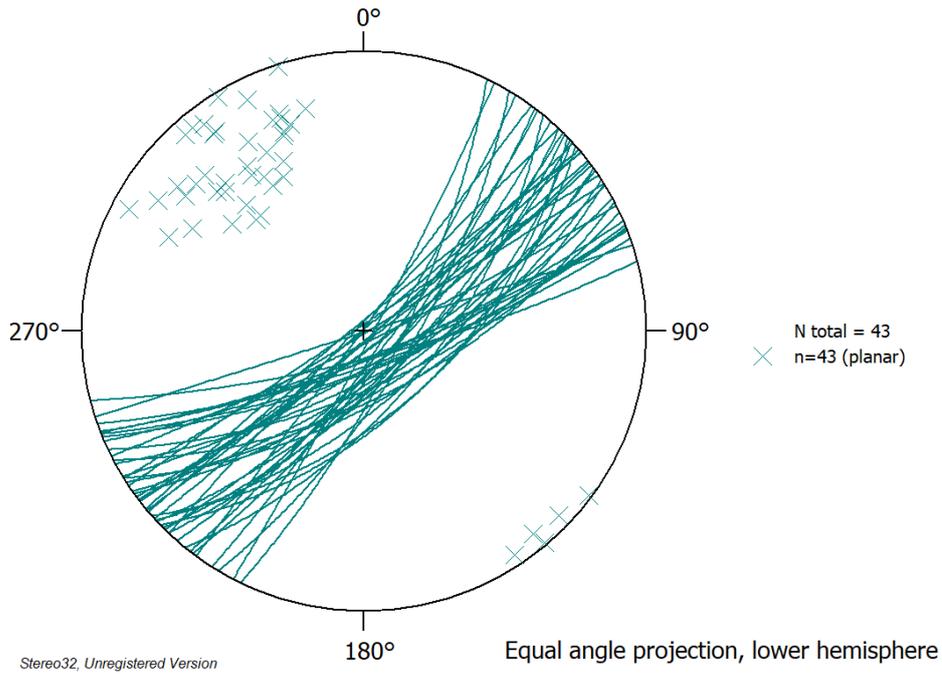


Abbildung 69: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 2)

## 3.) KF3

Tabelle 26: Daten der Schar KF3 (Modell 2)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
3,48	40,60	30,62	39,19
29,90	25,37	22,38	55,11
358,55	69,87	24,86	54,83
10,36	78,51	7,68	62,32
353,08	41,09	10,73	40,27
349,71	53,11	41,89	40,66
9,59	27,30	354,00	67,34
14,85	31,86	347,59	49,81
31,65	59,77	349,19	69,57
14,53	49,62	14,12	81,99
2,89	75,26	6,35	50,09
7,45	63,58	21,03	47,79
10,69	36,30	2,07	73,46
355,86	56,25	0,90	55,89

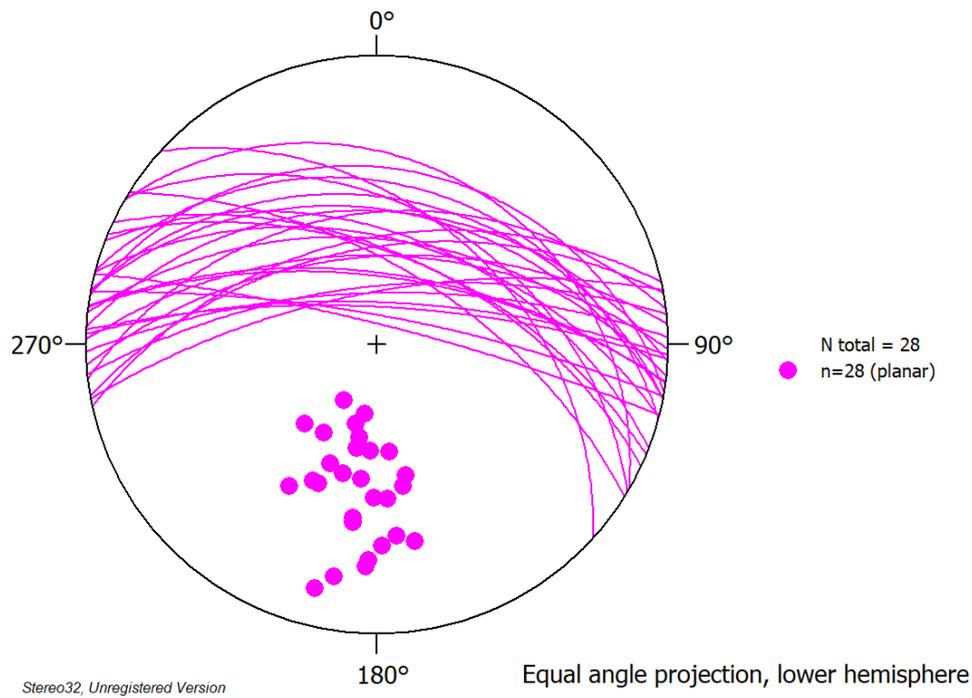


Abbildung 70: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (Modell 2)

#### 4.) SF1

Tabelle 27: Daten der Schar SF1 (Modell 2)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
177,84	73,22
149,90	59,44
145,50	46,60
166,06	65,96
161,30	66,61
144,82	56,59
152,39	53,09
149,96	51,12
171,67	36,15
179,65	60,79
188,68	70,83
169,83	64,90
183,71	64,78
187,48	60,22
150,53	40,52
171,55	57,56
164,07	52,91
149,08	52,57
165,35	58,13

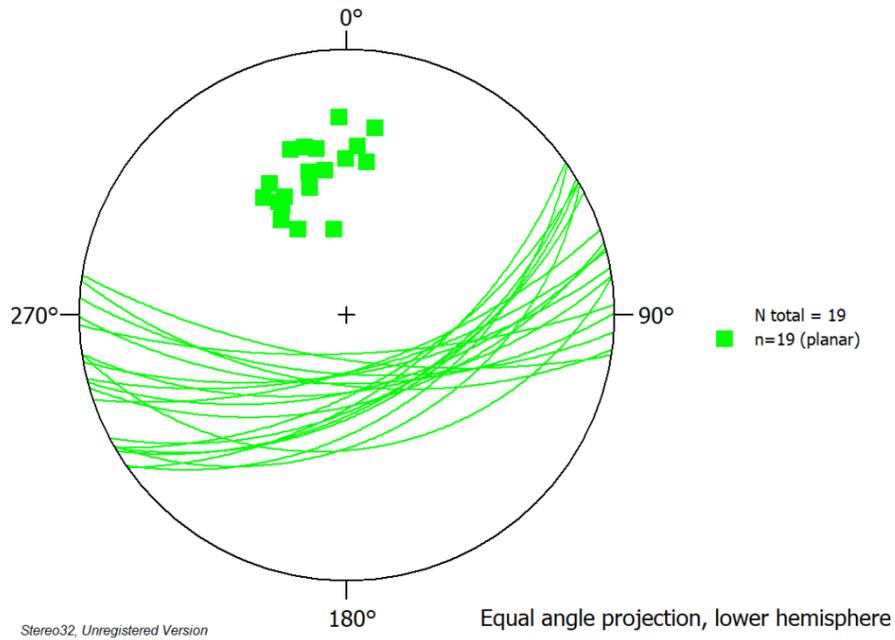


Abbildung 71: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 2)

#### 4.2.3 Modell 3

Beim dritten Modell wurden insgesamt drei Scharen digital kartiert (Abb.72 – Abb.74 und Tab.28). Aus Tabelle 29 kann der Trennflächenabstand der einzelnen Scharen entnommen werden.

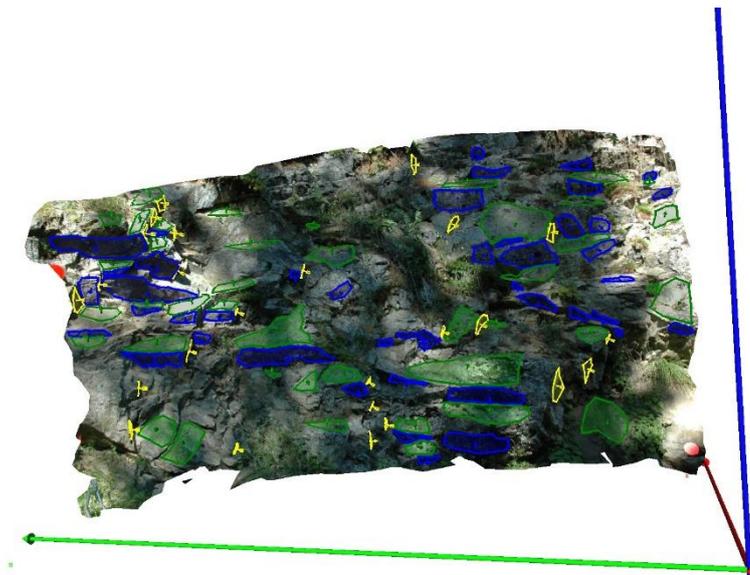


Abbildung 72: Modell 3 mit eingezeichneten Trennflächen

Tabelle 28: Scharen aus dem ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modell 3 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung

Farbe	Bezeichnung	ER [°]	EW [°]	N	K	R[%]	$\omega$ [°]	$\vartheta$ [°]
clBlue	KF1	66,3	52,7	44	40,6	95,2	12,7	3,4
clYellow	KF2	348,9	74,3	25	17,0	88,7	19,7	7,2
clGreen	SF1	244,7	45,6	42	24,3	92,0	16,4	4,6

Tabelle 29: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 3

Farbe	Bezeichnung	Abstand [m]
clBlue	KF1	0,9
clYellow	KF2	3,24
clGreen	SF1	0,87

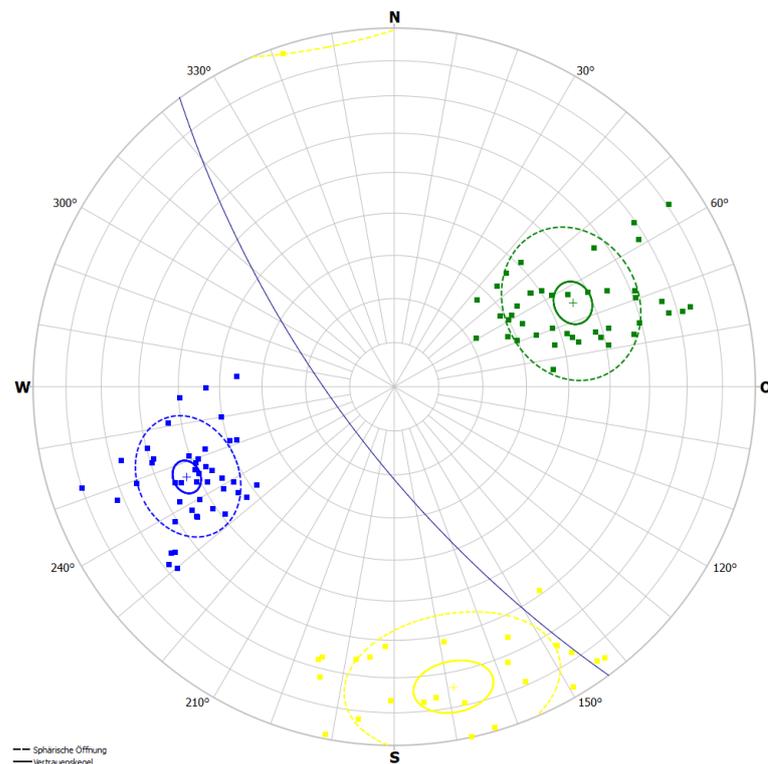


Abbildung 73: Polpunkte der Flächen aus Modell 3 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand (233,6°/77°). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.28 entnommen werden

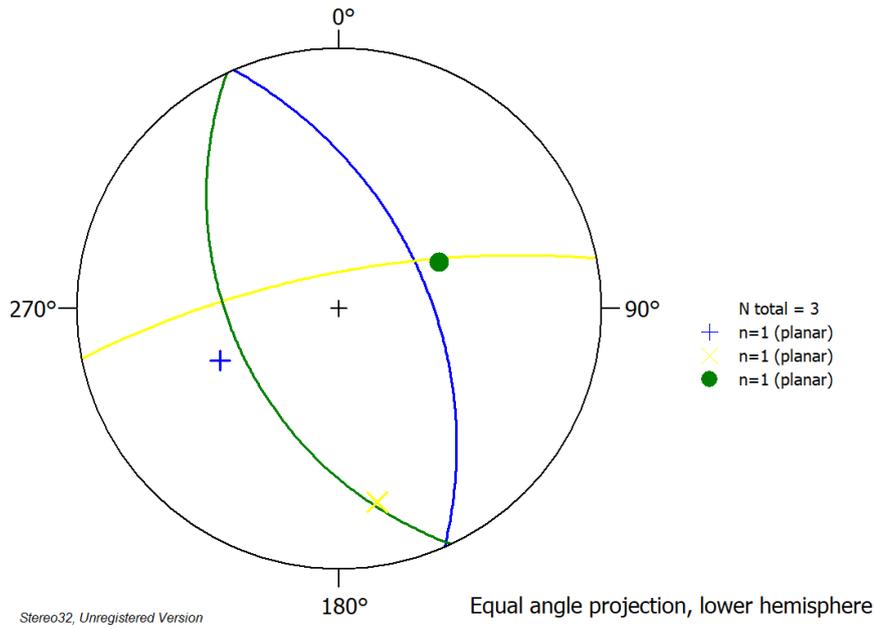


Abbildung 74: Stereogramm der Schwerpunktlächen aus Modell 3. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.28 entnommen werden

Es folgt eine Übersicht der einzelnen in Modell 3 vorkommenden Scharen, wobei von jeder, ein Stereogramm der eingebauten Flächen (Abb.75 – Abb.77), sowie die Flächendaten in Tabellenform (Tab.30 – Tab.32) abgebildet sind.

1.) KF1

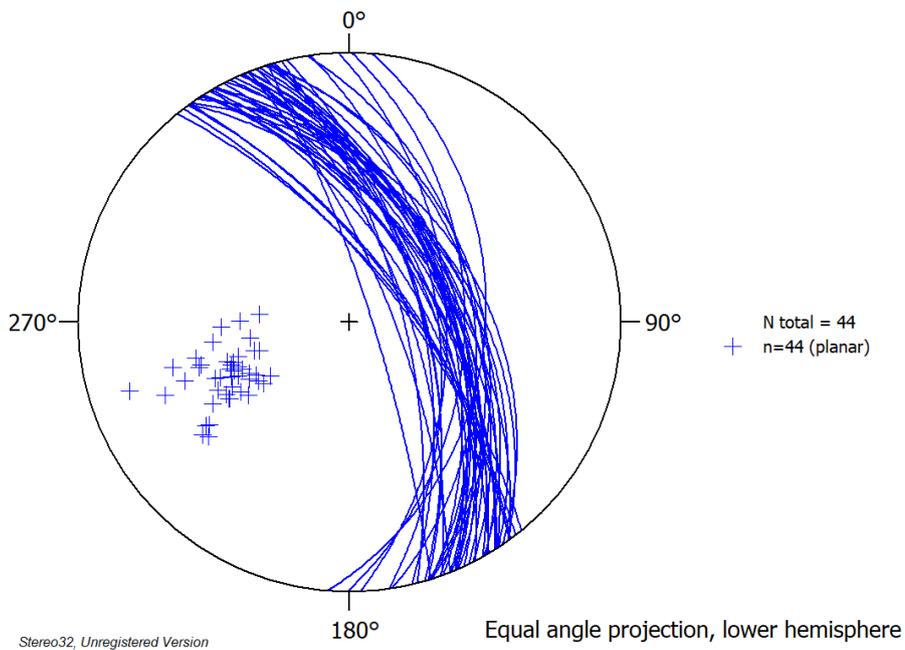


Abbildung 75: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 3)

Tabelle 30: Daten der Schar KF1 (Modell 3)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
62,85	45,16	70,52	48,83
54,28	42,56	70,06	65,71
67,04	56,37	56,71	43,67
60,63	52,51	60,17	43,14
53,84	49,32	50,62	67,64
53,53	65,44	72,34	38,40
63,82	48,89	66,24	46,64
57,17	55,33	75,49	67,69
68,21	50,36	81,62	53,84
59,04	60,82	65,10	51,30
57,46	55,50	67,85	47,71
72,90	40,11	69,72	49,57
59,35	55,59	56,86	50,90
72,58	46,31	73,15	60,07
73,89	59,39	72,05	50,63
76,64	60,29	53,91	66,38
62,42	57,35	66,56	54,89
87,68	50,43	72,45	80,67
90,44	43,87	52,24	68,64
94,65	36,72	55,69	38,90
68,19	72,21	80,95	40,72
59,91	46,19	66,83	49,77

## 2.) KF2

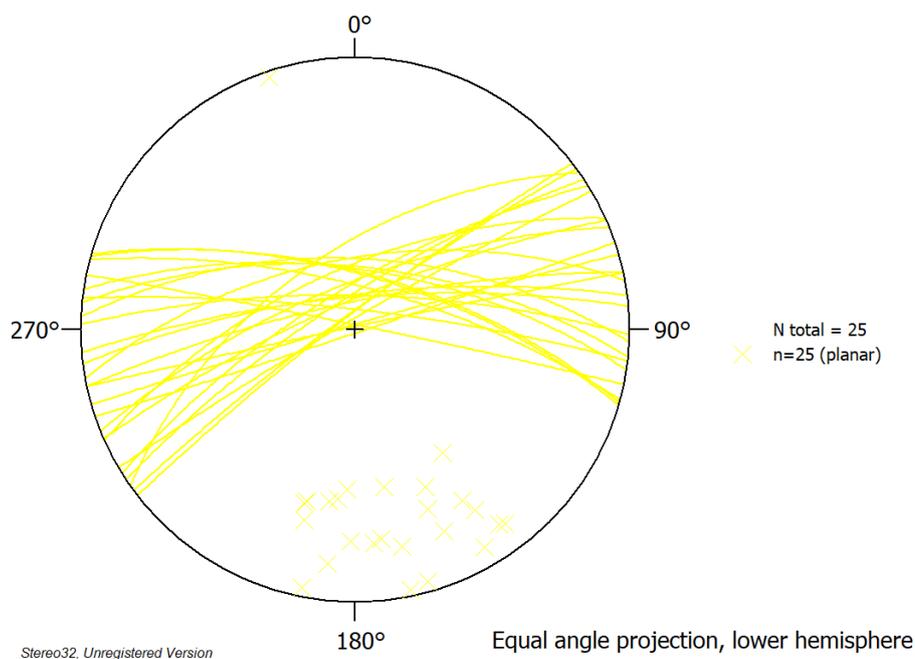


Abbildung 76: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 3)

Tabelle 31: Daten der Schar KF2 (Modell 3)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
336,35	77,98	349,59	60,76
329,50	85,80	2,64	60,88
347,95	88,76	5,71	64,11
328,16	73,07	326,55	76,94
324,90	58,09	14,83	71,91
355,10	76,53	335,96	64,64
323,78	83,27	16,06	67,20
338,02	70,90	15,55	66,44
6,58	81,63	11,62	88,02
8,49	65,09	1,07	75,74
344,02	87,83	352,82	75,48
322,42	83,87	161,34	88,55
347,89	78,42		

## 3.) SF1

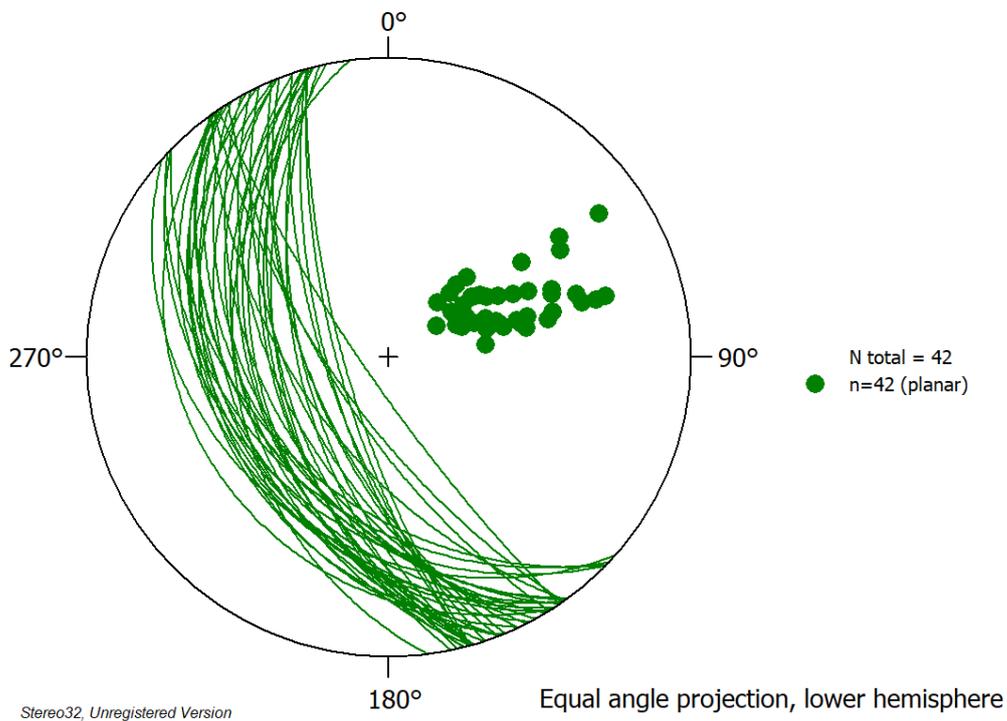


Abbildung 77: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 3)

Tabelle 32: Daten der Schar SF1 (Modell 3)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
236,88	31,11	244,43	27,95
238,57	41,71	240,82	45,10
242,01	32,24	223,11	36,57
255,35	43,10	233,85	37,64
254,16	37,43	254,22	73,40
234,16	37,82	235,65	80,38
235,61	40,28	254,23	67,24
248,81	60,27	237,16	21,32
251,69	41,02	255,64	48,70
224,06	32,78	244,70	54,06
234,67	69,37	234,23	56,91
237,95	67,85	224,14	40,75
242,89	49,65	221,56	27,37
253,86	47,75	253,69	51,12
254,58	70,94	253,47	41,96
251,47	66,42	234,54	28,81
248,53	34,07	254,60	58,95
247,85	29,44	256,82	56,91
235,10	33,32	248,36	38,27
262,63	35,94	258,04	50,14
247,33	60,60	237,89	29,99

#### 4.2.4 Modell 4

Beim vierten Modell wurden insgesamt sechs Scharen (Abb.78 – Abb.80 und Tab.33) erfasst. Aus Tabelle 34 kann der Trennflächenabstand der einzelnen Scharen entnommen werden.

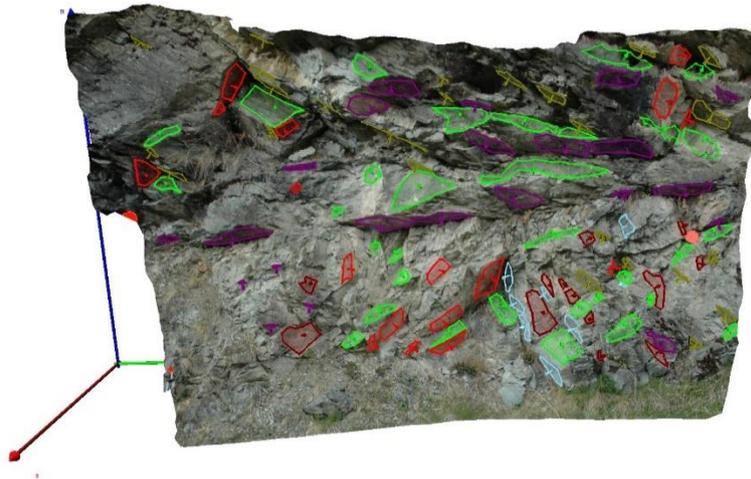


Abbildung 78: Modell 4 mit eingezeichneten Trennflächen

Tabelle 33: Scharen aus dem ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modell 4 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung

Farbe	Bezeichnung	ER [°]	EW [°]	N	K	R[%]	$\omega$ [°]	$\vartheta$ [°]
clOlive	KF1	323,4	44,2	25	25,5	92,5	15,9	5,8
clRed	KF2	224,1	70,2	17	23,5	92,0	16,4	7,5
clPurple	KF3	268,9	47,4	22	31,9	94,0	14,2	5,6
clMaroon	KF4	60,4	70,3	13	25,8	92,9	15,5	8,3
clSkyblue	KF5	324,8	83,7	8	47,1	96,3	11,1	8,2
clLime	SF1	114,6	36,3	32	14,9	87,0	21,2	6,8

Tabelle 34: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 4

Farbe	Bezeichnung	Abstand [m]
clOlive	KF1	2,03
clRed	KF2	1
clPurple	KF3	0,85
clMaroon	KF4	1,27
clSkyblue	KF5	0,24
clLime	SF1	2,03

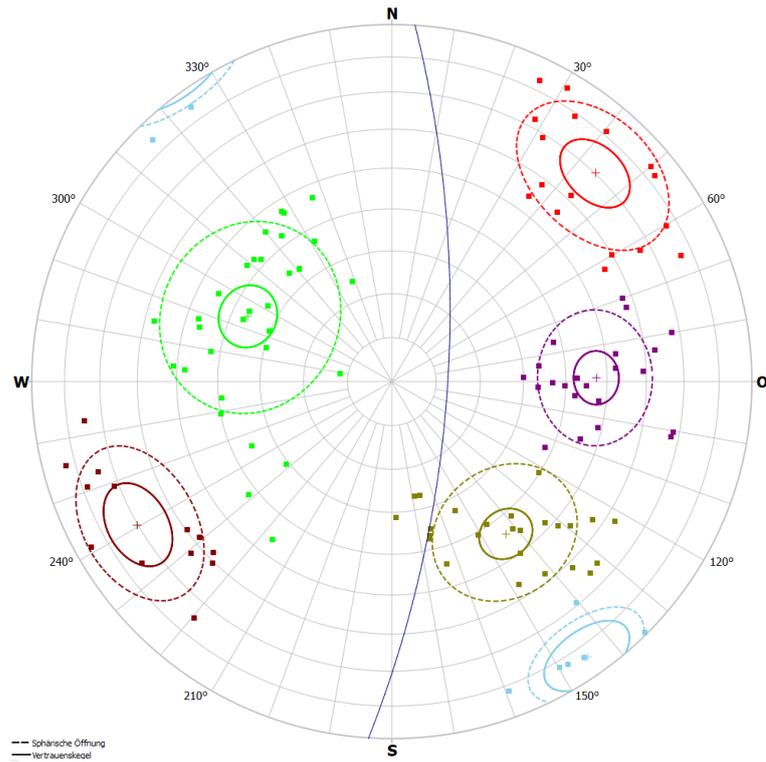


Abbildung 79: Polpunkte der Flächen aus Modell 4 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand ( $93,7^\circ/77,4^\circ$ ). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.33 entnommen werden

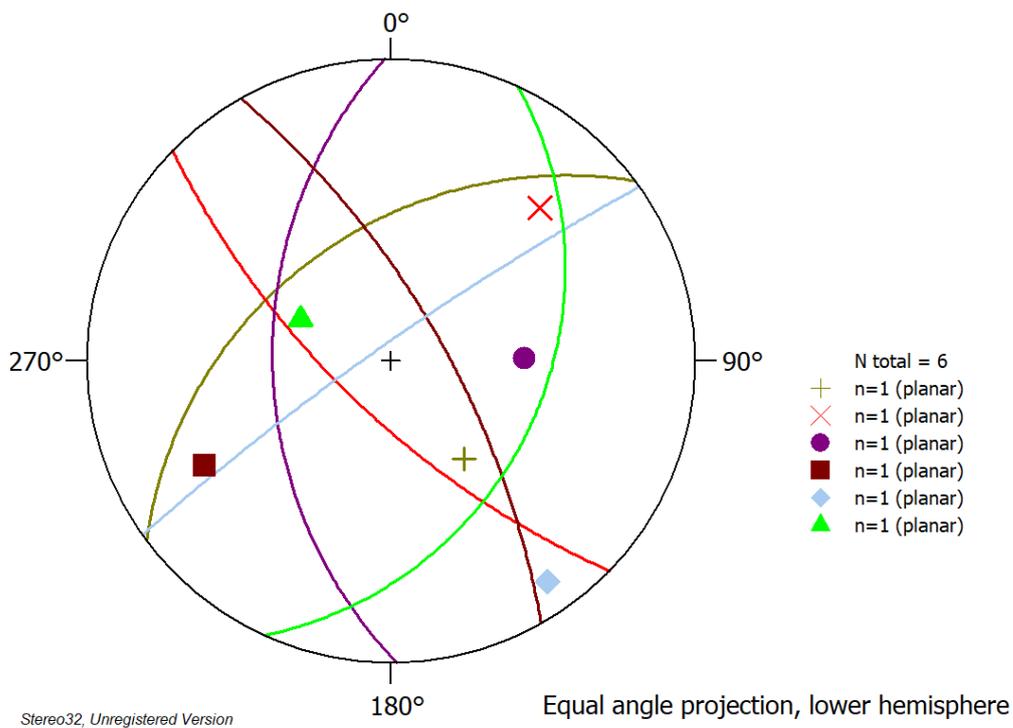


Abbildung 80: Stereogramm der Schwerpunktlflächen aus Modell 4. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.33 entnommen werden

Es folgt eine Übersicht der einzelnen in Modell 4 vorkommenden Scharen, wobei von jeder, ein Stereogramm der eingebauten Flächen (Abb.81 – Abb.86), sowie die Flächendaten in Tabellenform (Tab.35 – Tab.40) abgebildet sind.

### 1.) KF1

*Tabelle 35: Daten der Schar KF1 (Modell 4)*

<b>Einfallsrichtung [°]</b>	<b>Einfallswinkel [°]</b>
331,19	39,79
349,91	26,07
319,61	44,78
321,75	57,12
311,07	50,51
359,33	30,58
346,97	35,83
347,29	36,49
320,98	43,17
334,52	32,20
347,18	26,18
328,45	55,47
318,74	40,56
312,89	47,66
326,81	38,62
302,13	61,44
323,57	49,19
346,26	34,36
301,60	38,88
304,63	56,31
343,86	43,40
309,13	52,86
311,73	64,44
316,12	60,48
314,24	64,86

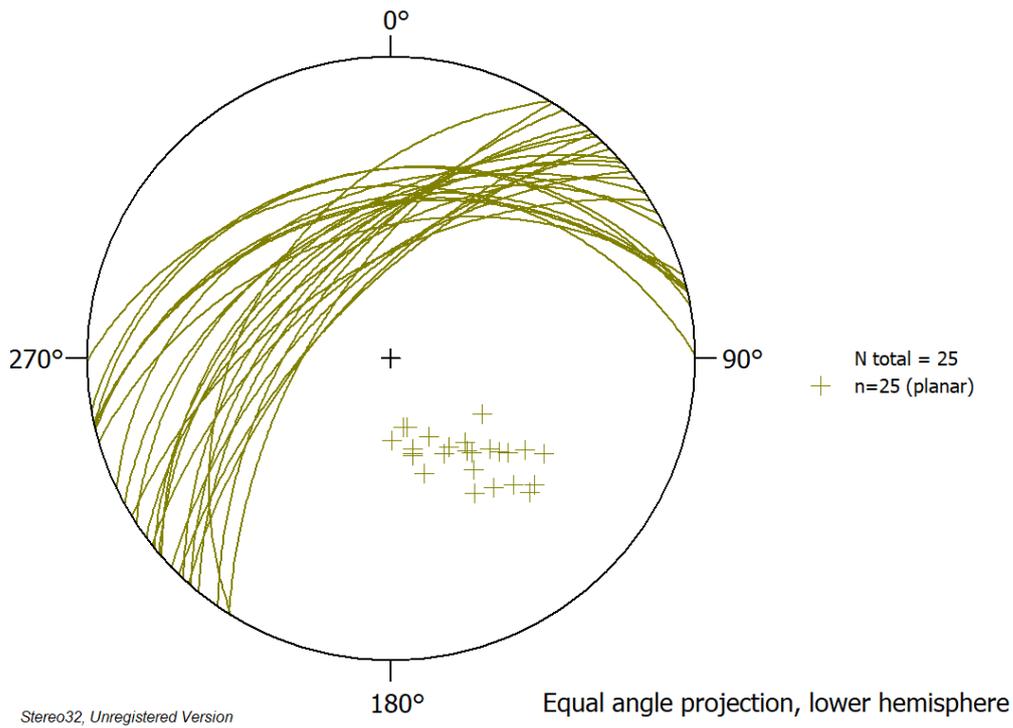


Abbildung 81: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 4)

## 2.) KF2

Tabelle 36: Daten der Schar KF2 (Modell 4)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
207,73	72,66
229,42	83,14
213,77	79,30
231,10	82,18
223,16	55,69
241,17	66,75
222,89	61,40
241,08	56,28
239,01	59,74
209,99	85,35
215,30	54,34
216,23	58,57
245,61	76,24
210,80	69,25
219,76	81,24
239,53	76,46
205,33	83,36

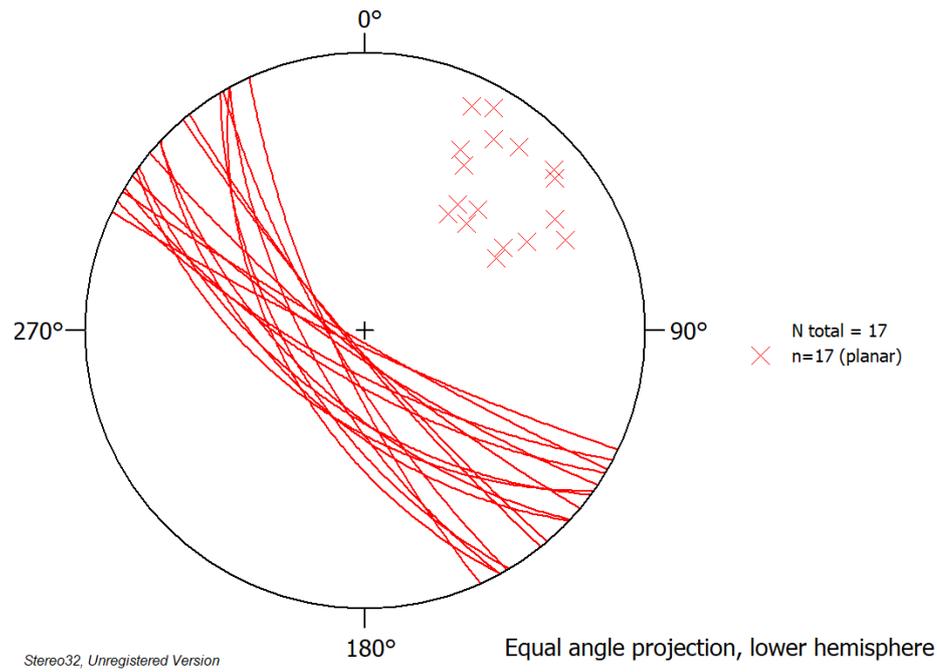


Abbildung 82: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 4)

## 3.) KF3

Tabelle 37: Daten der Schar KF3 (Modell 4)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
270,57	39,06
251,50	57,44
267,01	58,62
286,60	44,80
274,64	47,46
262,08	51,97
249,22	57,27
267,01	29,41
269,35	36,13
282,08	48,19
271,28	32,72
280,78	67,13
262,49	61,99
259,35	67,24
293,02	37,44
262,79	33,23
265,74	51,57
255,06	37,65
268,11	41,99
270,39	44,33
279,93	67,41
273,56	41,64

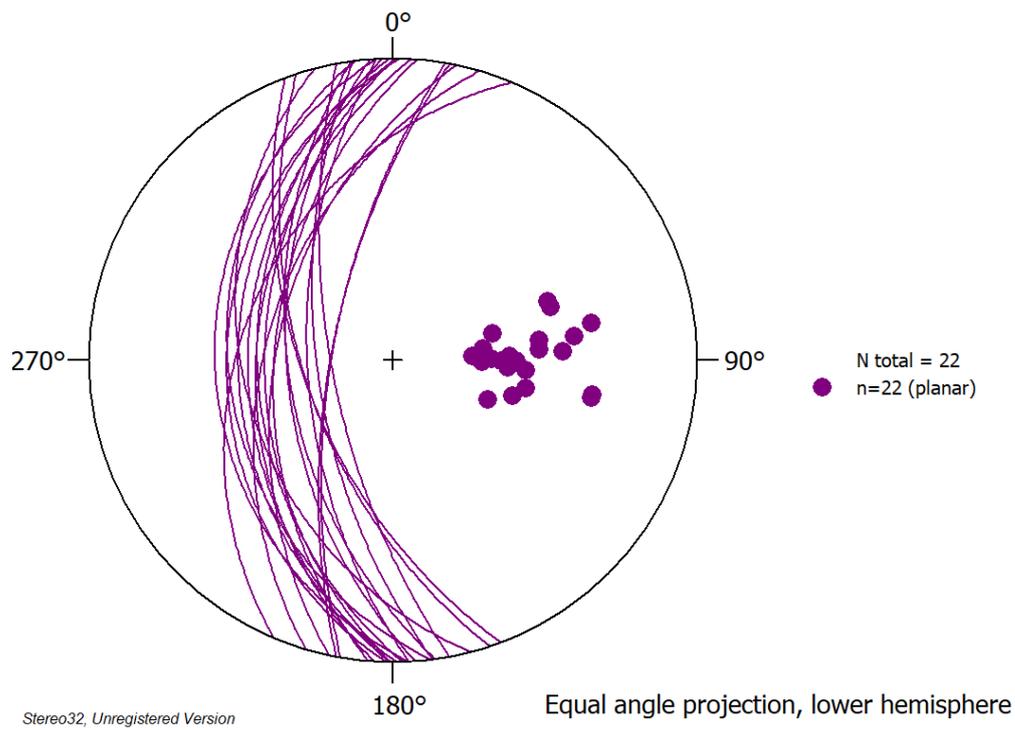


Abbildung 83: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (Modell 4)

#### 4.) KF4

Tabelle 38: Daten der Schar KF4 (Modell 4)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
61,58	85,21
71,36	79,15
69,88	71,67
83,25	75,66
73,41	74,73
75,95	83,44
54,77	59,88
51,57	58,41
46,92	58,26
45,26	60,50
50,12	62,83
40,35	74,72
54,45	75,01

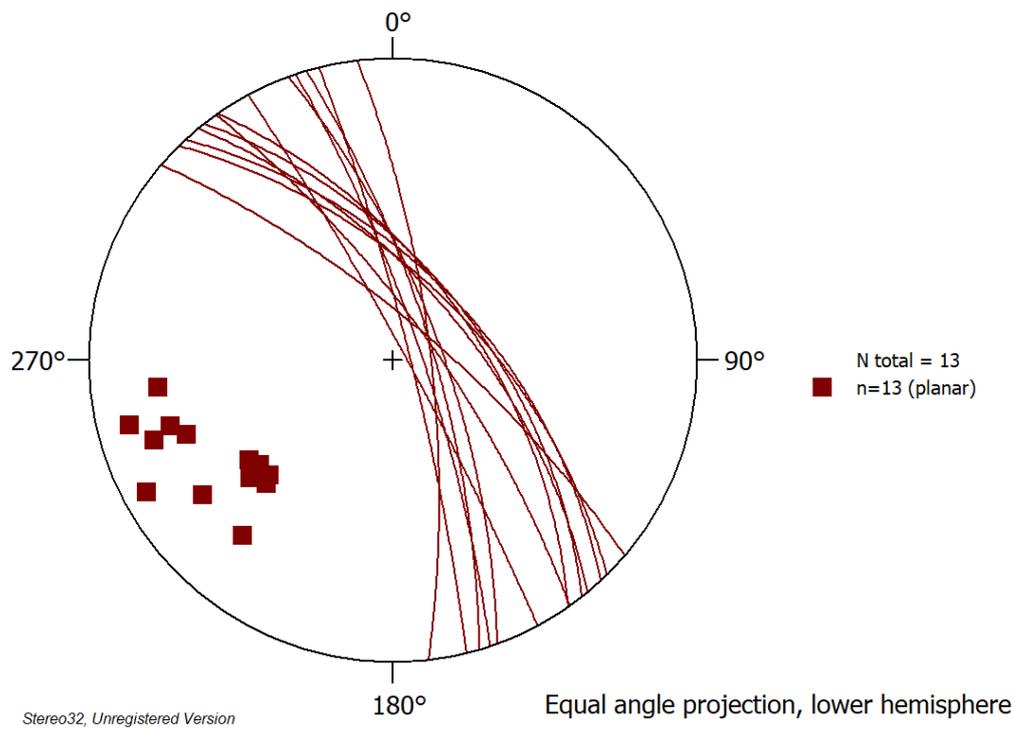


Abbildung 84: Stereogramm der Trennflächenschar KF4 (Modell 4)

## 5.) KF5

Tabelle 39: Daten der Schar KF5 (Modell 4)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
339,71	80,74
329,98	80,82
328,51	81,30
325,47	82,03
315,01	87,93
320,50	68,23
143,95	85,40
135,48	85,36

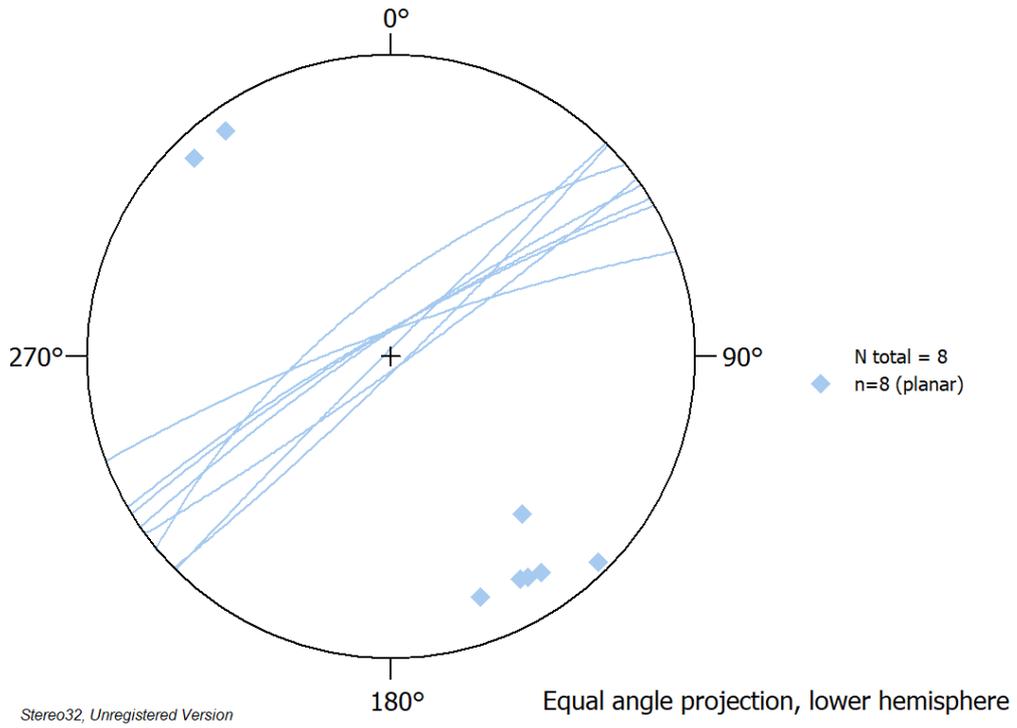


Abbildung 85: Stereogramm der Trennflächenschar KF5 (Modell 4)

6.) SF1

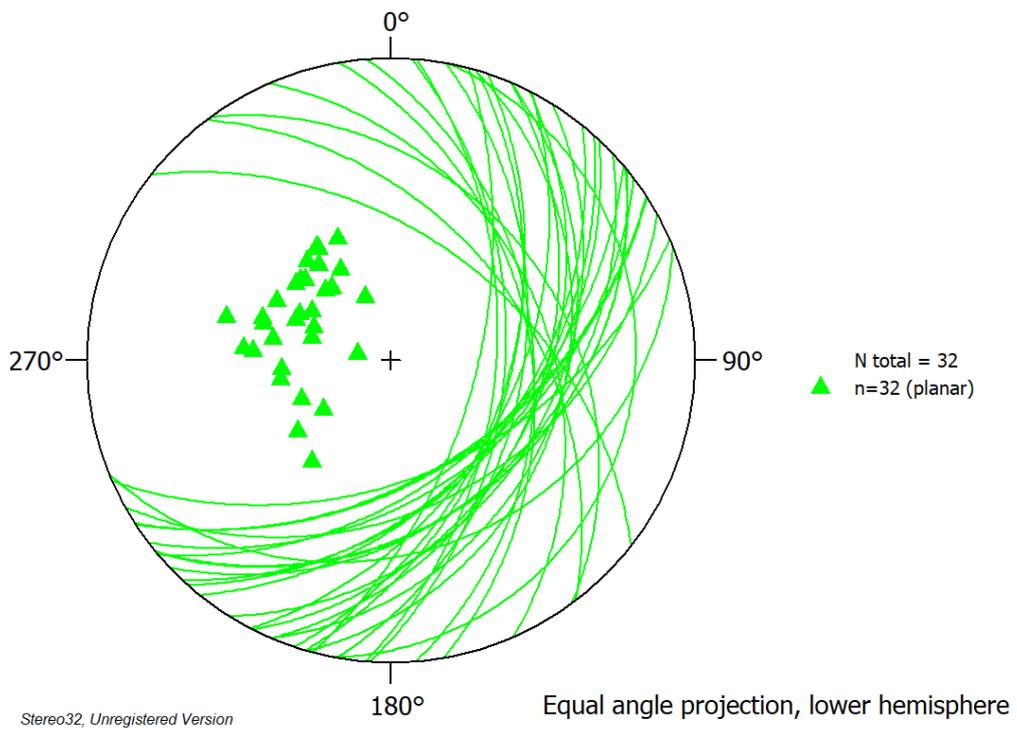


Abbildung 86: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 4)

Tabelle 40: Daten der Schar SF1 (Modell 4)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
93,91	48,72	106,02	30,31
136,78	35,07	139,90	46,41
117,52	45,89	122,09	34,10
142,93	43,25	53,52	30,75
151,04	37,85	37,82	45,92
156,42	47,50	66,36	35,60
147,33	47,46	52,61	42,26
108,54	47,92	131,90	43,46
117,02	37,30	113,25	37,67
140,86	34,37	140,51	34,20
85,36	39,71	147,09	48,15
133,28	42,18	94,79	51,72
113,19	30,96	104,92	58,54
106,38	47,07	100,75	12,54
100,28	43,03	157,91	25,29
80,12	40,52	129,04	43,87

#### 4.2.5 Modell 5

Beim fünften, und somit letzten Modell wurden 3 Trennflächenscharen digital kartiert (Abb.87 – Abb.89 und Tab.41). Aus Tabelle 42 kann der Trennflächenabstand der einzelnen Scharen entnommen werden.

Tabelle 41: Scharen aus dem ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modell 5 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallsrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung

Farbe	Bezeichnung	ER [°]	EW [°]	N	K	R[%]	$\omega$ [°]	$\vartheta$ [°]
clRed	KF1	222,0	60,7	21	14,6	86,9	21,2	8,6
clOlive	KF2	335,7	47,5	35	37,4	94,8	13,2	4,0
clLime	SF1	135,4	43,3	31	34,8	94,4	13,6	4,4

Tabelle 42: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 5

Farbe	Bezeichnung	Abstand [m]
clRed	KF1	1,26
clOlive	KF2	1,42
clLime	SF1	0,62

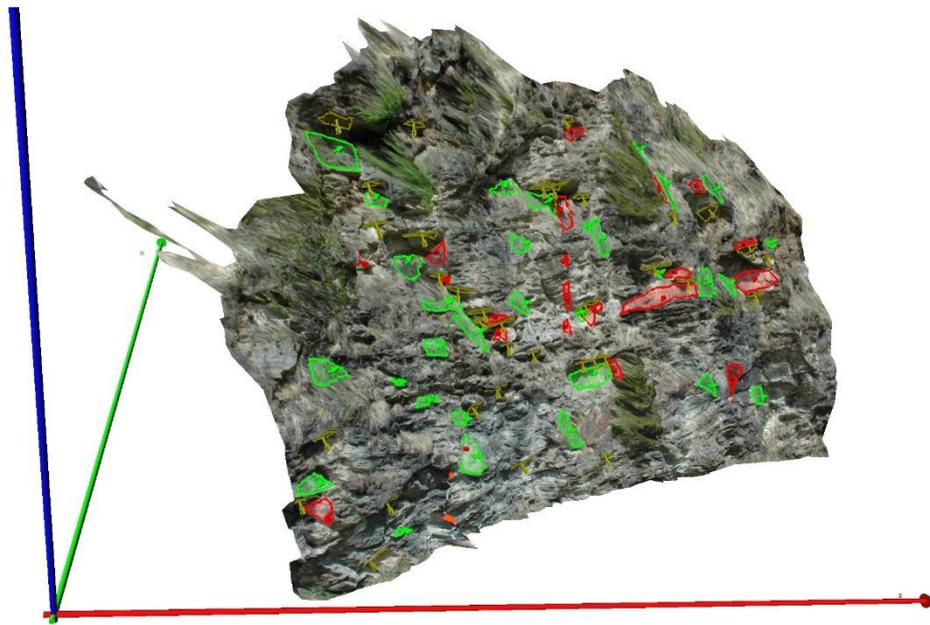


Abbildung 87: Modell 5 mit eingezeichneten Trennflächen

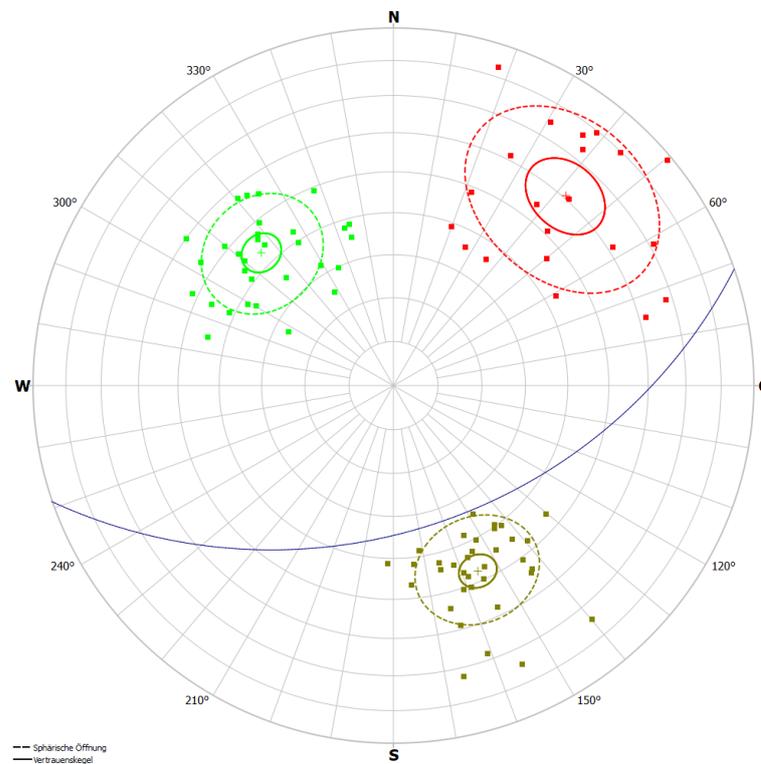


Abbildung 88: Polpunkte der Flächen aus Modell 5 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand ( $161^\circ/56,9^\circ$ ). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.41 entnommen werden



Tabelle 43: Daten der Schar KF1 (Modell 5)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
229,01	46,10
205,98	61,55
223,71	50,85
217,92	79,48
216,25	76,62
229,76	88,48
236,76	61,11
239,94	42,54
240,57	70,96
222,31	60,62
214,77	36,17
217,79	73,47
217,26	54,36
209,96	74,70
223,35	79,82
198,72	39,52
206,05	36,18
200,76	49,02
251,66	67,71
197,51	83,57
254,09	61,18

## 2.) KF2

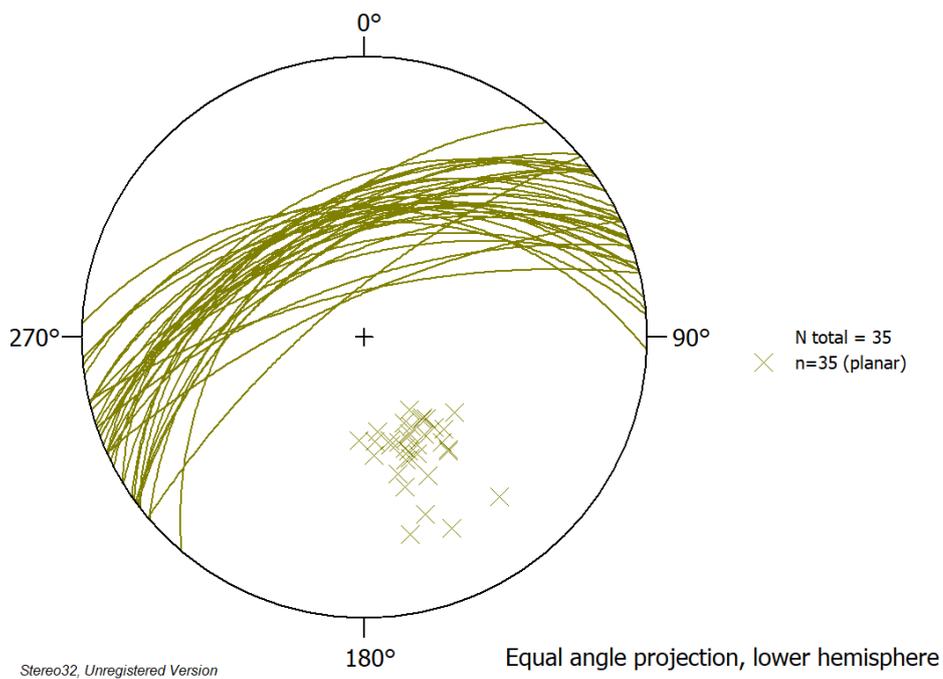


Abbildung 91: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 5)

Tabelle 44: Daten der Schar KF2 (Modell 5)

Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]	Einfallsrichtung [°]	Einfallswinkel [°]
310,21	45,25	346,28	53,28
346,29	41,57	340,03	45,77
322,59	44,17	2,70	40,54
335,18	41,57	346,36	43,30
323,28	53,03	354,21	40,94
335,38	56,95	341,10	67,33
328,76	33,86	335,65	73,64
339,29	49,66	319,42	46,83
323,74	49,78	333,85	46,34
335,45	37,37	323,97	53,52
337,33	42,49	351,99	37,78
339,06	46,90	342,11	43,12
328,47	44,12	325,21	39,47
344,91	58,04	355,55	45,88
322,79	39,96	319,92	73,18
346,90	71,55	332,49	39,62
324,36	38,78	341,55	49,65
335,59	48,96		

## 3.) SF1

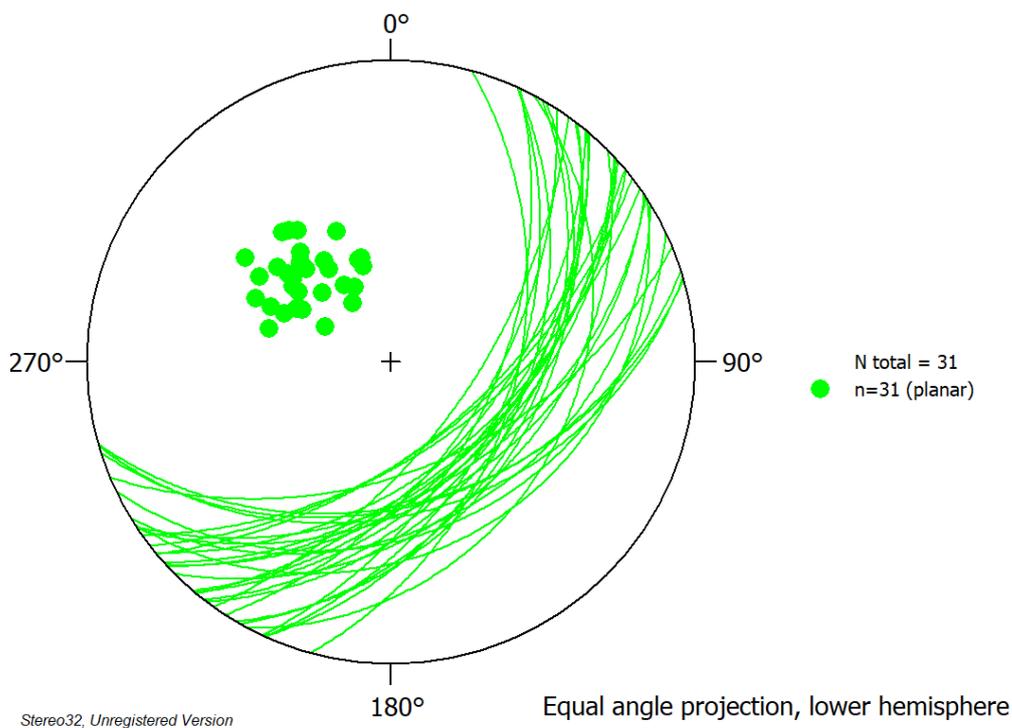


Abbildung 92: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 5)

Tabelle 45: Daten der Schar SF1 (Modell 5)

<b>Einfallsrichtung [°]</b>	<b>Einfallswinkel [°]</b>	<b>Einfallsrichtung [°]</b>	<b>Einfallswinkel [°]</b>
147,46	25,96	137,32	47,16
127,33	41,68	138,31	48,04
120,63	37,17	144,95	56,06
114,56	42,22	129,90	51,86
119,77	39,10	114,57	46,86
130,71	48,02	157,51	49,96
115,06	52,29	146,37	40,50
105,39	45,03	163,75	36,28
154,62	30,65	146,89	43,38
135,46	35,71	148,71	33,03
164,16	39,40	127,91	44,32
137,73	45,13	130,25	45,85
118,04	27,64	123,03	54,42
125,67	60,97	140,67	50,09
140,40	58,22	162,44	38,84
142,48	57,51		

### 4.3 Blockvolumen

Es wurden Kluffkörpervolumen berechnet, also die Volumen der Blöcke, die aus den ALS- bzw. ShapeMetriX<sup>3D</sup> ermittelten Trennflächenscharen gebildet werden. Die theoretische Grundlage dieses Verfahrens wurde in Kap.3.5 erläutert.

#### 4.3.1 ALS

Die Berechnung der Blockgrößen, für die durch die ALS-Daten ermittelten Scharen, erfolgte für zwei verschiedene Bereiche (Abb.93).

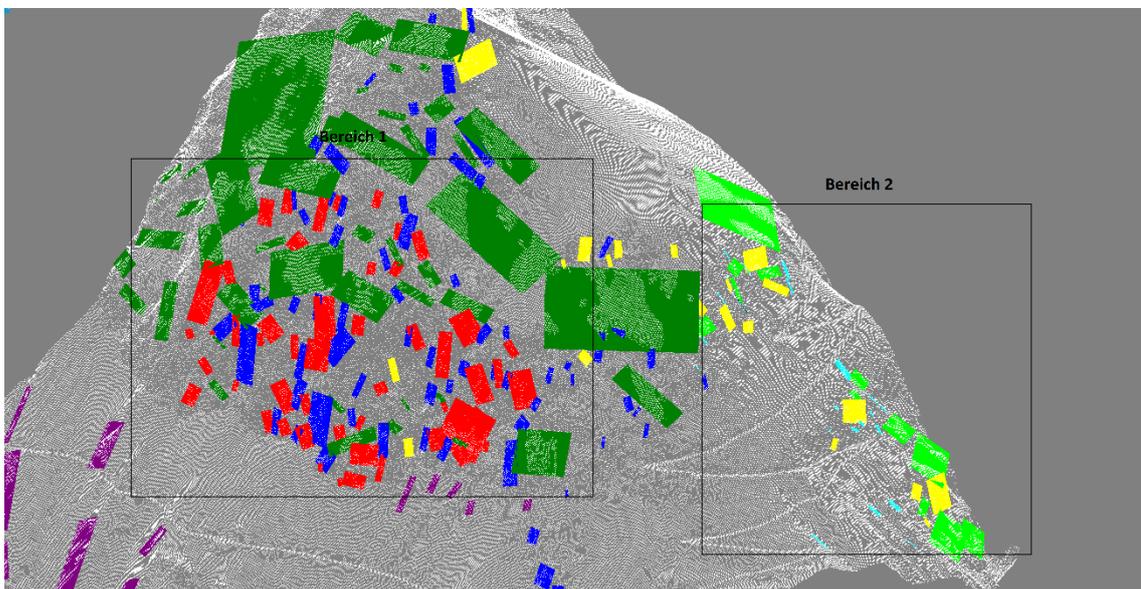


Abbildung 93: Unterteilung des ALS – Modells in zwei Bereiche

#### 1.) Bereich 1

Für die Berechnung in Bereich 1, wurden die Scharen KF1, KF2 und SF1 (Abb.94), der ALS-Daten, berücksichtigt. Der Trennflächenabstand (Tab.46), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.47) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 46: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Bereich 1 bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clRed	KF1	8,14
clBlue	KF2	7,3
clGreen	SF1	8,79

Tabelle 47: Winkel zwischen den Scharen für Bereich 1

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF1/KF2) =	25,8
$\gamma_2$ (KF1/SF1) =	29,1
$\gamma_3$ (KF2/SF1) =	26

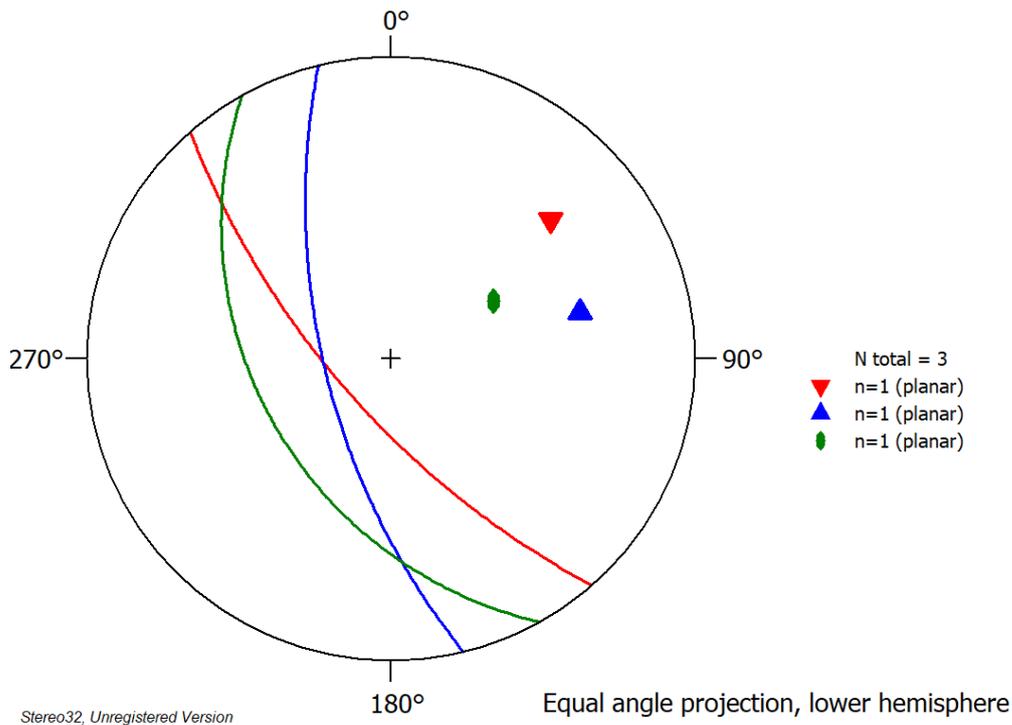


Abbildung 94: Stereogramm mit Schwerpunktsflächen, der blockbildenden Scharen in Bereich 1. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.46 entnommen werden

Mit diesen drei Scharen wurde für Bereich 1 ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 5629,09 m<sup>3</sup> berechnet.

## 2.) Bereich 2

Für die Berechnung in Bereich 2, wurden die Scharen KF3, KF4 und SF2 (Abb.95), der ALS-Daten, berücksichtigt. Der Trennflächenabstand (Tab.48), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.49) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 48: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Bereich 2 bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clYellow	KF3	7,7
clAqua	KF4	8,46
clLime	SF2	8

Tabelle 49: Winkel zwischen den Scharen für Bereich 2

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF3/KF4) =	46,9
$\gamma_2$ (KF3/SF2) =	28,2
$\gamma_3$ (KF4/SF2) =	28

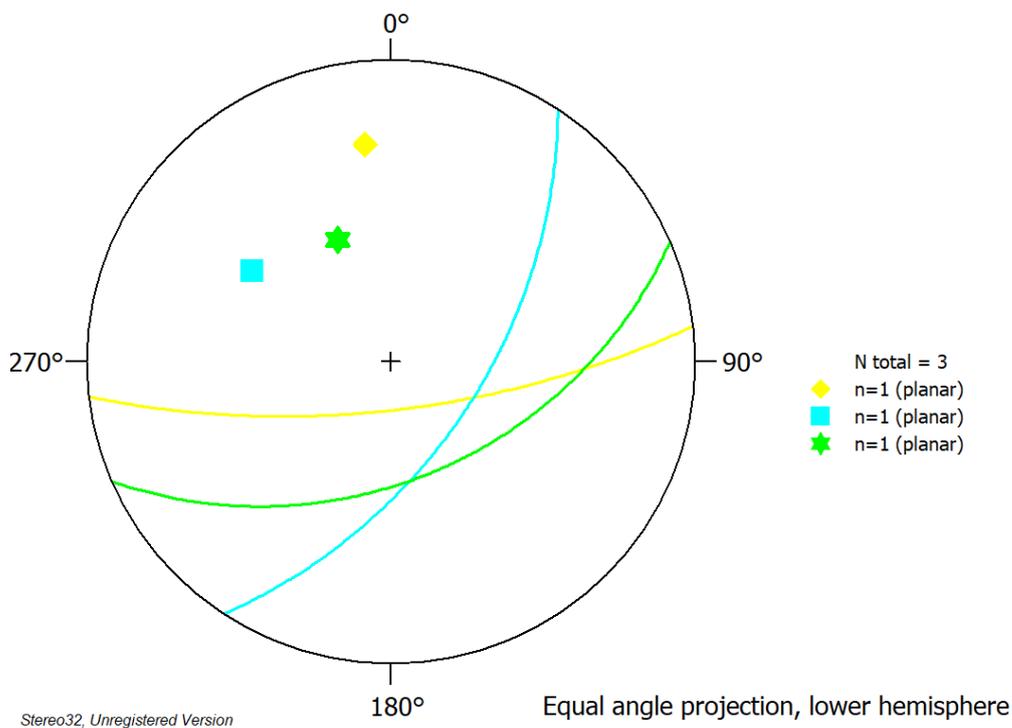


Abbildung 95: Stereogramm mit Schwerpunktlflächen, der blockbildenden Scharen in Bereich 2.  
 Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.48 entnommen werden

Es wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 3217,17 m<sup>3</sup> für Bereich 2 berechnet.

### 4.3.2 ShapeMetriX<sup>3D</sup> Modell 1

Beim ersten Modell wurden die Volumina für zwei Blöcke berechnet.

#### 1.) Block 1

Für die Berechnung des ersten Blocks im Modell 1 (Abb.96), wurden die Scharen KF1, KF3 und KF6 herangezogen (Abb.97). Der Trennflächenabstand (Tab.50), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.51) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 50: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 1 (Modell 1) bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clAqua	KF1	0,96
clFuchsia	KF3	0,87
clSkyblue	KF6	1,91

Tabelle 51: Winkel zwischen den Scharen für Block 1 (Modell 1)

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF1/KF3) =	79,9
$\gamma_2$ (KF1/KF6) =	112,3
$\gamma_3$ (KF3/KF6) =	66



Abbildung 96: In Modell 1 dargestellte Trennflächen, die Block 1 bilden

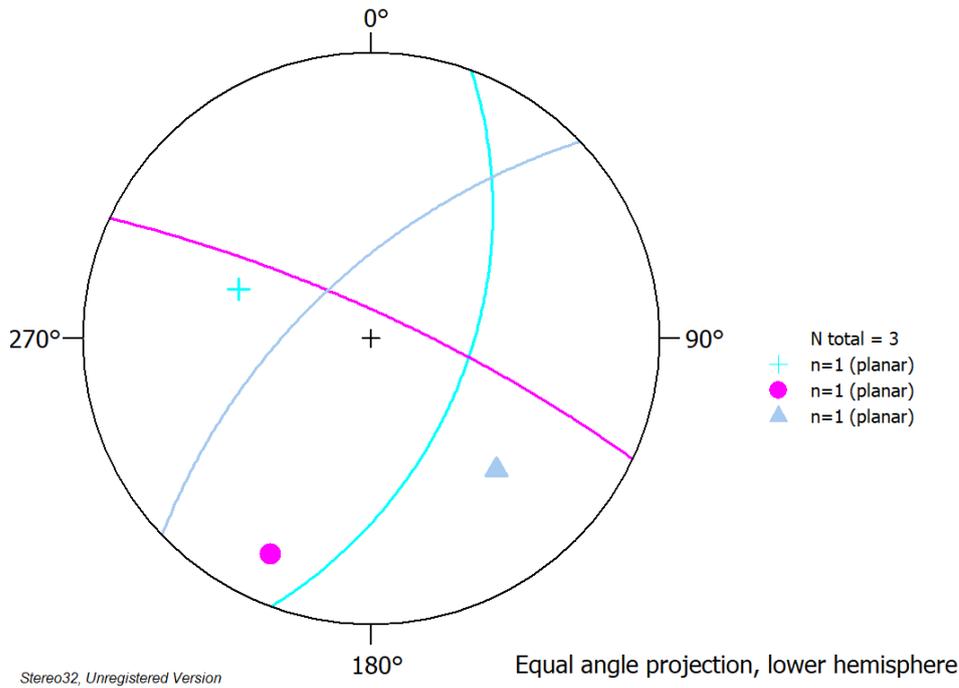


Abbildung 97: Stereogramm mit Schwerpunktsflächen, der blockbildenden Scharen von Block 1 (Modell 1). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.50 entnommen werden

Für den ersten Block wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 1,92 m<sup>3</sup> berechnet.

## 2.) Block 2

Für die Berechnung des zweiten Blocks im Modell 1 (Abb.98), wurden die Scharen KF4, KF6 und SF1 herangezogen (Abb.99). Der Trennflächenabstand (Tab.52), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.53) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 52: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 2 (Modell 1) bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clRed	KF4	1,99
clSkyblue	KF6	1,91
clLime	SF1	0,44

Tabelle 53: Winkel zwischen den Scharen für Block 2 (Modell 1)

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF4/KF6) =	84,4
$\gamma_2$ (KF4/SF1) =	63,6
$\gamma_3$ (KF6/SF1) =	97,6



Abbildung 98: In Modell 1 dargestellte Trennflächen, die Block 2 bilden

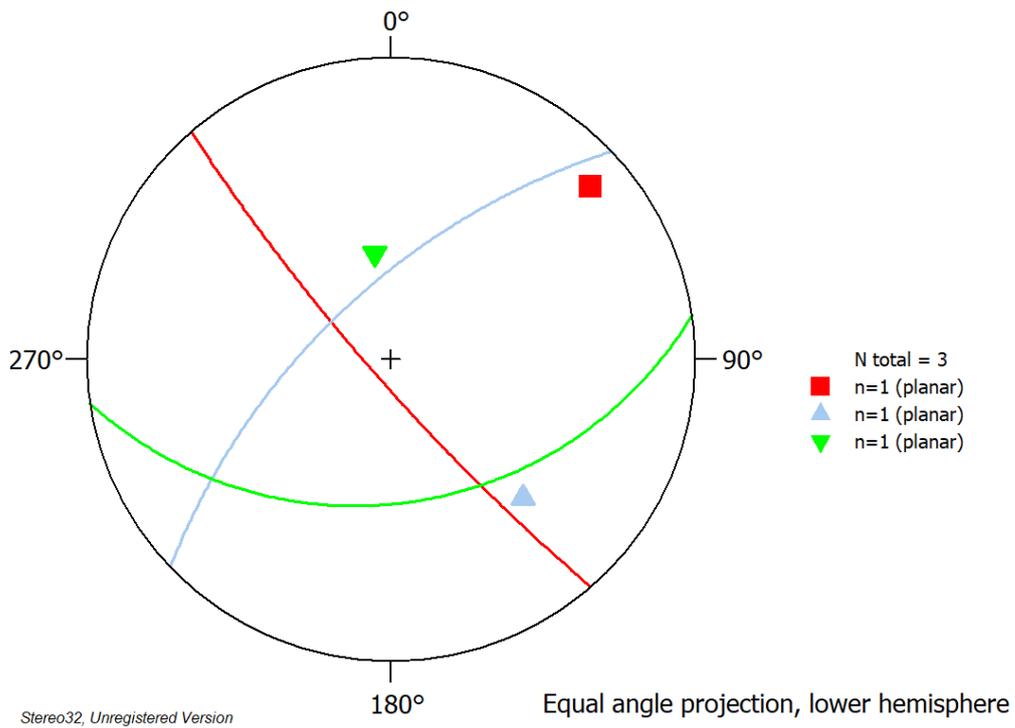


Abbildung 99: Stereogramm mit Schwerpunktflächen, der blockbildenden Scharen von Block 2 (Modell 1). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.52 entnommen werden

Für den zweiten Block wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 1,89 m<sup>3</sup> berechnet.

### 4.3.3 ShapeMetriX<sup>3D</sup> Modell 2

Für Modell 2 wurde das Volumen des Blocks (Abb.100), der von den Scharen KF1, KF2 und KF3 gebildet wird (Abb.101), berechnet. Der Trennflächenabstand (Tab.54), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.55) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 54: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Modell 2 bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clRed	KF1	0,9
clTeal	KF2	0,92
clFuchsia	KF3	1,2

Tabelle 55: Winkel zwischen den Scharen für den Block in Modell 2

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF1/KF2) =	70,5
$\gamma_2$ (KF1/KF3) =	109,7
$\gamma_3$ (KF2/KF3) =	113,4

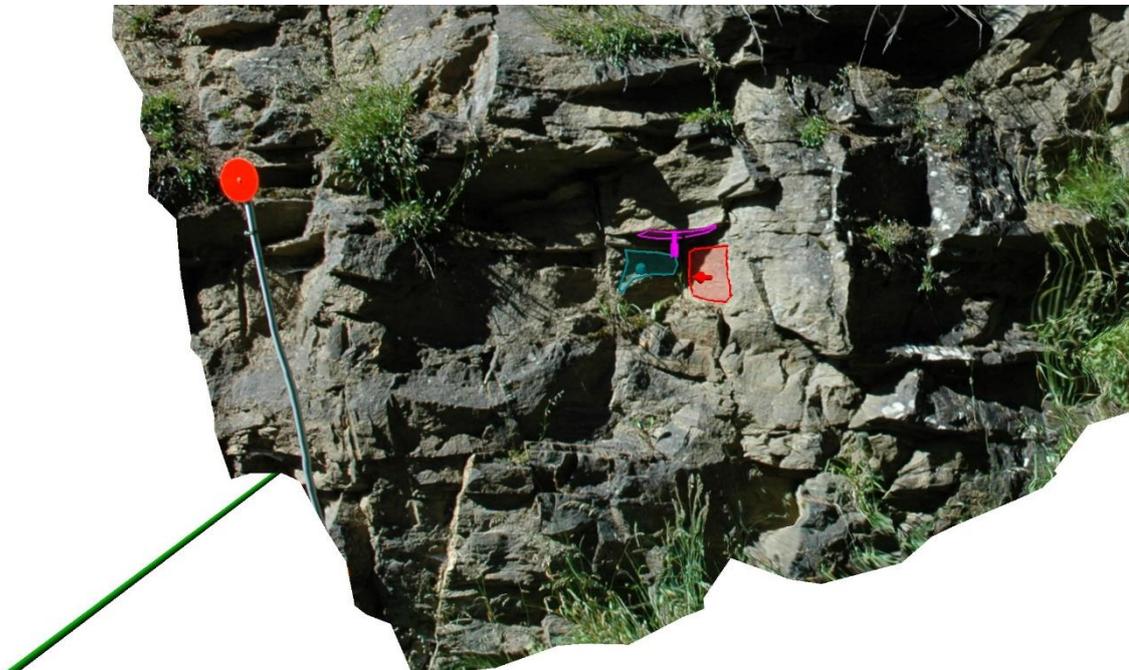


Abbildung 100: In Modell 2 dargestellte Trennflächen, die den Block bilden

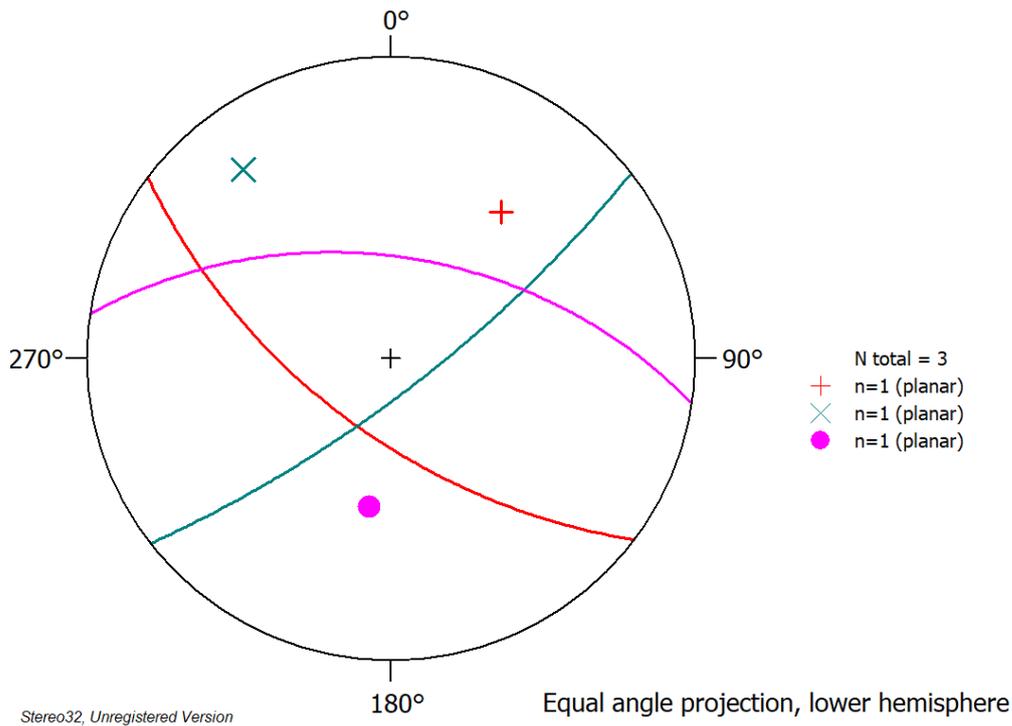


Abbildung 101: Stereogramm mit Schwerpunktfächen, der blockbildenden Scharen in Modell 2. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.54 entnommen werden

Für den Block aus Modell 2 wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 1,22 m<sup>3</sup> berechnet.

#### 4.3.4 ShapeMetriX<sup>3D</sup> Modell 3

Für Modell 3 wurde das Volumen des Blocks (Abb.102), der von den Scharen KF1, KF2 und SF1 gebildet wird (Abb.103), berechnet. Der Trennflächenabstand (Tab.56), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.57) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 56: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Modell 3 bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clBlue	KF1	0,9
clYellow	KF2	3,24
clGreen	SF1	0,87

Tabelle 57: Winkel zwischen den Scharen für den Block in Modell 3

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF1/KF2) =	70,7
$\gamma_2$ (KF1/SF1) =	98,3
$\gamma_3$ (KF2/SF1) =	88,8



Abbildung 102: In Modell 3 dargestellte Trennflächen, die den Block bilden

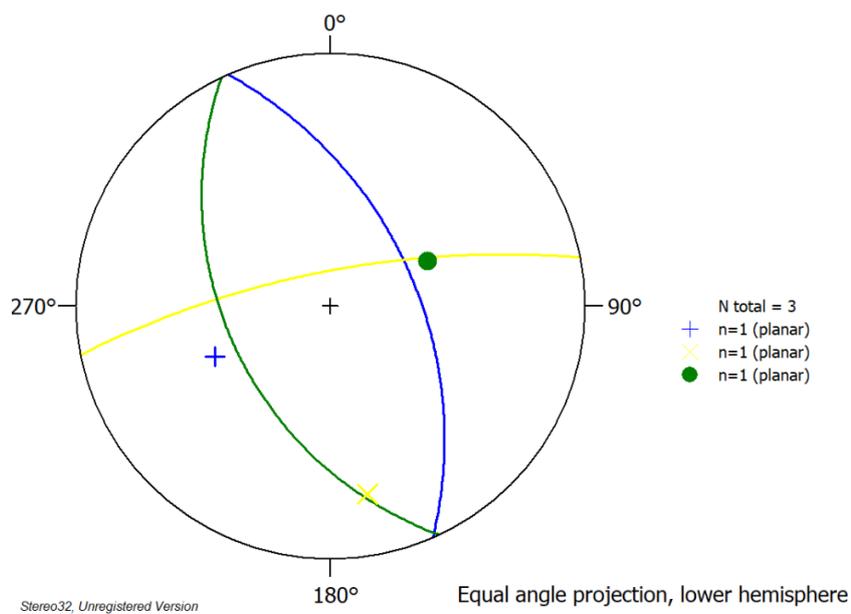


Abbildung 103: Stereogramm mit Schwerpunktfächen, der blockbildenden Scharen in Modell 3. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.56 entnommen werden

Für den Block aus Modell 3 wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 2,72 m<sup>3</sup> berechnet.

#### 4.3.5 ShapeMetriX<sup>3D</sup> Modell 4

Beim vierten Modell wurden die Volumina für drei Blöcke berechnet.

##### 1.) Block 1

Für die Berechnung des ersten Blocks im Modell 4 (Abb.104), wurden die Scharen KF1, KF2 und SF1 herangezogen (Abb.105). Der Trennflächenabstand (Tab.58), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.59) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 58: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 1 (Modell 4) bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
cOlive	KF1	2,03
cRed	KF2	1
cLime	SF1	2,03

Tabelle 59: Winkel zwischen den Scharen für Block 1 (Modell 4)

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF1/KF2) =	82,1
$\gamma_2$ (KF1/SF1) =	77,5
$\gamma_3$ (KF2/SF1) =	85



Abbildung 104: In Modell 4 dargestellte Trennflächen, die Block 1 bilden

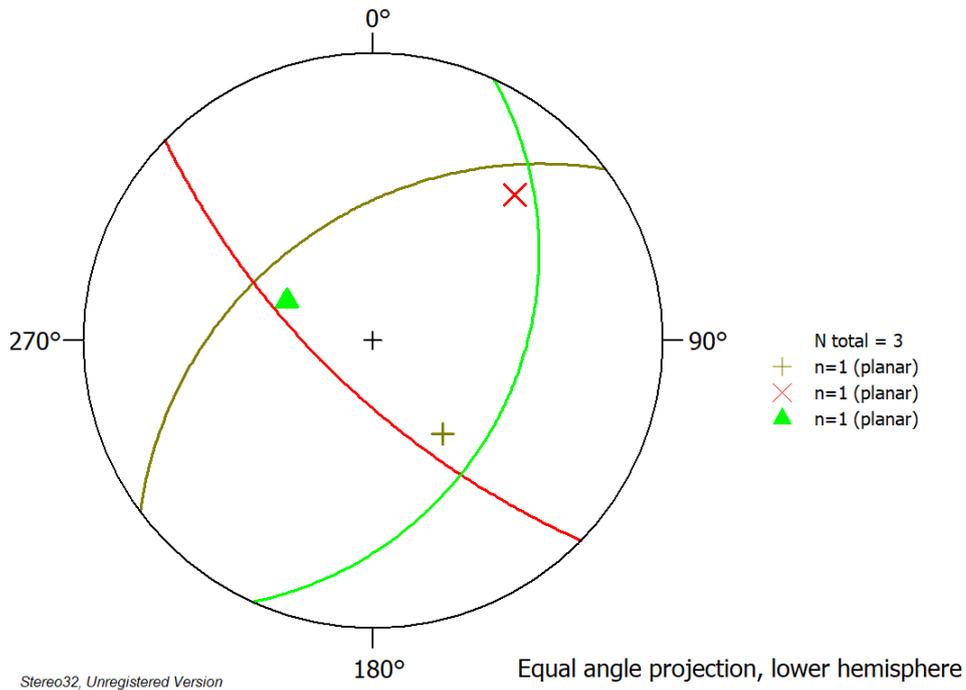


Abbildung 105: Stereogramm mit Schwerpunktfächen, der blockbildenden Scharen von Block 1 (Modell 4). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.58 entnommen werden

Für den ersten Block wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 4,28 m<sup>3</sup> berechnet.

## 2.) Block 2

Für die Berechnung des zweiten Blocks im Modell 4 (Abb.106), wurden die Scharen KF2, KF5 und SF1 herangezogen (Abb.107). Der Trennflächenabstand (Tab.60), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.61) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 60: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 2 (Modell 4) bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clRed	KF2	1
clSkyblue	KF5	0,24
clLime	SF1	2,03

Tabelle 61: Winkel zwischen den Scharen für Block 2 (Modell 4)

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF2/KF5) =	97,8
$\gamma_2$ (KF2/SF1) =	85
$\gamma_3$ (KF5/SF1) =	114,8



Abbildung 106: In Modell 4 dargestellte Trennflächen, die Block 2 bilden

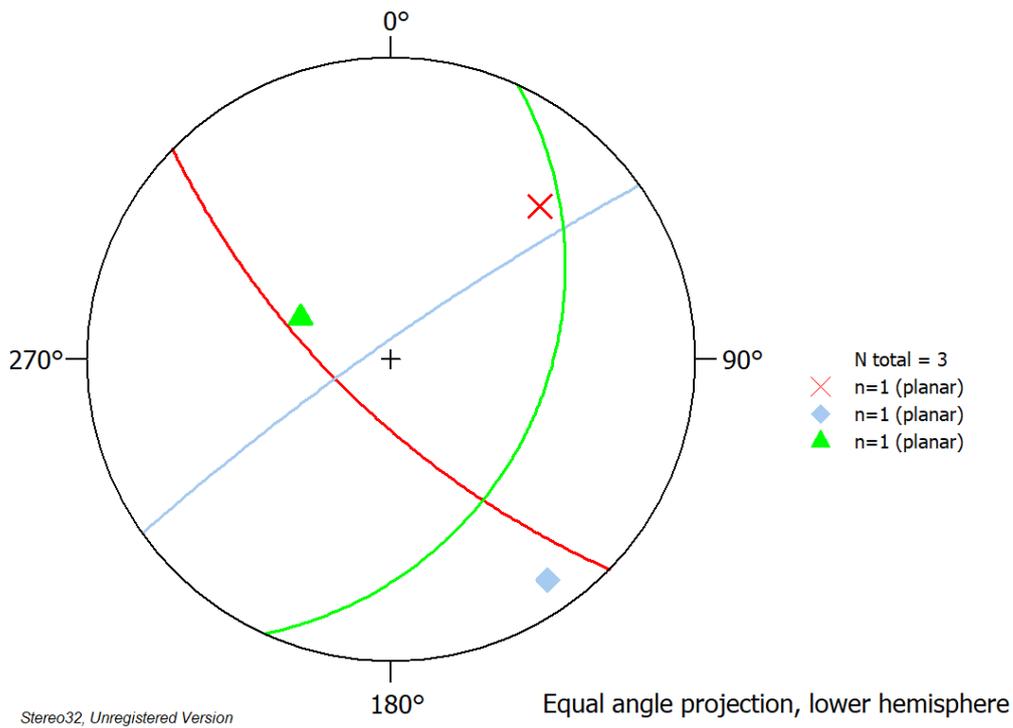


Abbildung 107: Stereogramm mit Schwerpunktflächen, der blockbildenden Scharen von Block 2 (Modell 4). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.60 entnommen werden

Für den zweiten Block wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von  $0,54 \text{ m}^3$  berechnet.

## 3.) Block 3

Für die Berechnung des dritten Blocks im Modell 4 (Abb.108), wurden die Scharen KF4, KF5 und SF1 herangezogen (Abb.109). Der Trennflächenabstand (Tab.62), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.63) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 62: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 3 (Modell 4) bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
clMaroon	KF4	1,27
clSkyblue	KF5	0,24
clLime	SF1	2,03

Tabelle 63: Winkel zwischen den Scharen für Block 3 (Modell 4)

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF4/KF5) =	93,1
$\gamma_2$ (KF4/SF1) =	53,3
$\gamma_3$ (KF5/SF1) =	114,8



Abbildung 108: In Modell 4 dargestellte Trennflächen, die Block 3 bilden

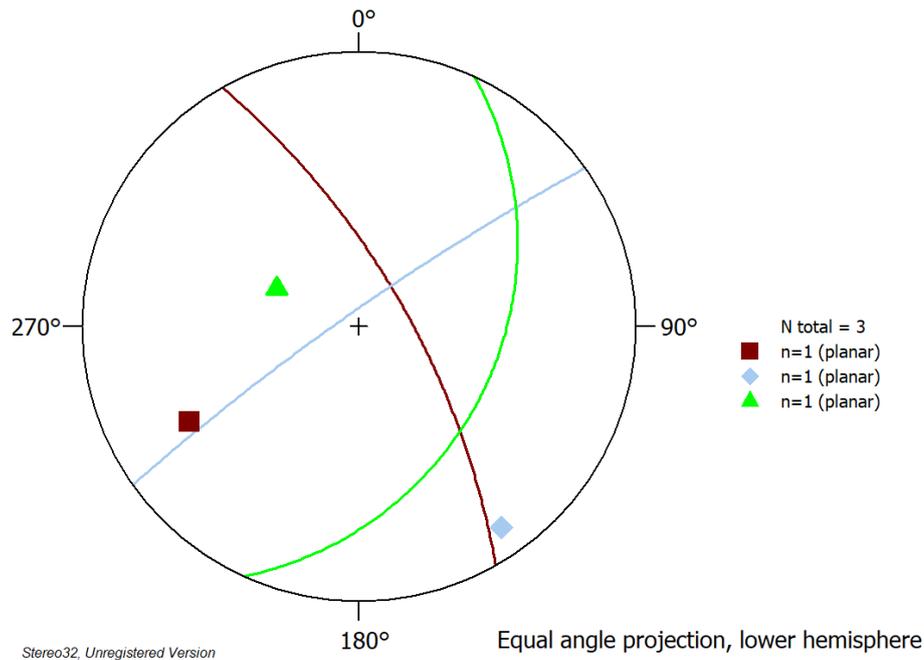


Abbildung 109: Stereogramm mit Schwerpunktsflächen, der blockbildenden Scharen von Block 3 (Modell 4). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.62 entnommen werden

Für den dritten Block wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 0,85 m<sup>3</sup> berechnet.

#### 4.3.6 ShapeMetriX<sup>3D</sup> Modell 5

Für Modell 5 wurde das Volumen des Blocks (Abb.110), der von den Scharen KF1, KF2 und SF1 gebildet wird (Abb.111), berechnet. Der Trennflächenabstand (Tab.64), sowie der Winkel zwischen den Scharen (Tab.65) wurden für die Kalkulation benötigt.

Tabelle 64: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Modell 5 bilden

Farbe	Bezeichnung	Trennflächenabstand [m]
cRed	KF1	1,26
cOlive	KF2	1,42
cLime	SF1	0,62

Tabelle 65: Winkel zwischen den Scharen für den Block in Modell 5

Bezeichnung	Winkel [°]
$\gamma_1$ (KF1/KF2) =	85,9
$\gamma_2$ (KF1/SF1) =	66,9
$\gamma_3$ (KF2/SF1) =	89



Abbildung 110: In Modell 5 dargestellte Trennflächen, die den Block bilden

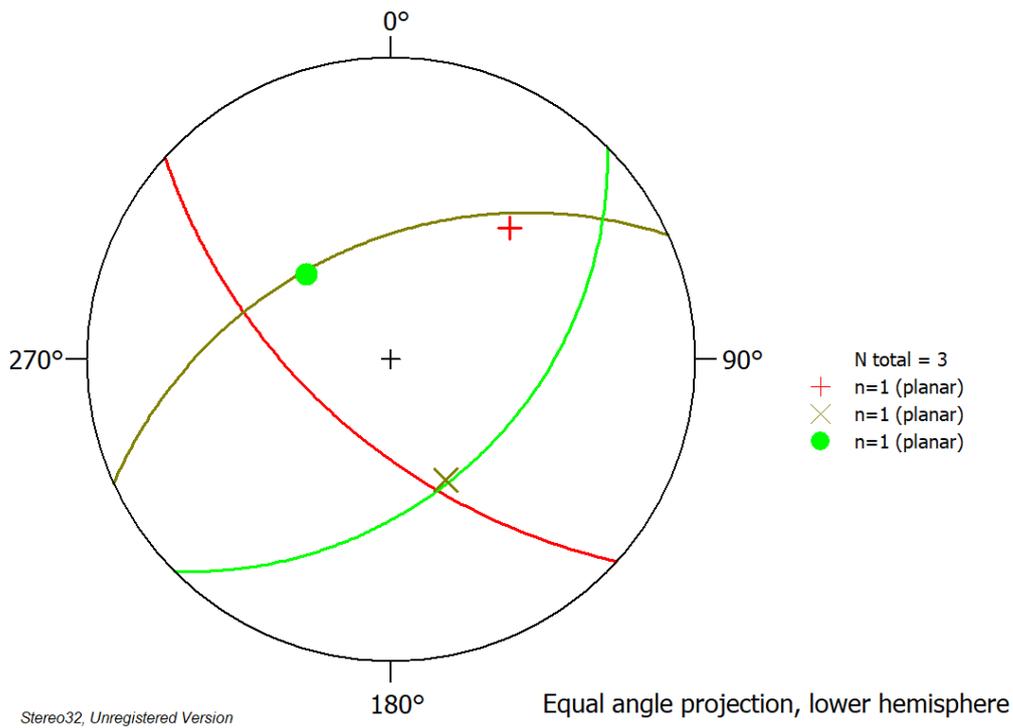


Abbildung 111: Stereogramm mit Schwerpunktsflächen, der blockbildenden Scharen in Modell 5. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.64 entnommen werden

Für den Block aus Modell 5 wurde ein Blockvolumen  $V_b^0$  von 1,21 m<sup>3</sup> berechnet.

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Vergleicht man die Ergebnisse der ALS- und ShapeMetriX<sup>3D</sup>-Daten Auswertung, lassen sich Schlüsse ziehen über die Datenqualität der verwendeten Messmethoden und deren Auswirkung auf das Erfassen des Trennflächengefüges.

Betrachtet man zunächst alle digital erfassten Trennflächenscharen, lässt sich feststellen, dass jede der ALS Scharen in mindestens einem ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modell auftaucht (Abb.112). Schar „KF1“ und „SF2“ konnte man sogar in vier der fünf ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modelle identifizieren.

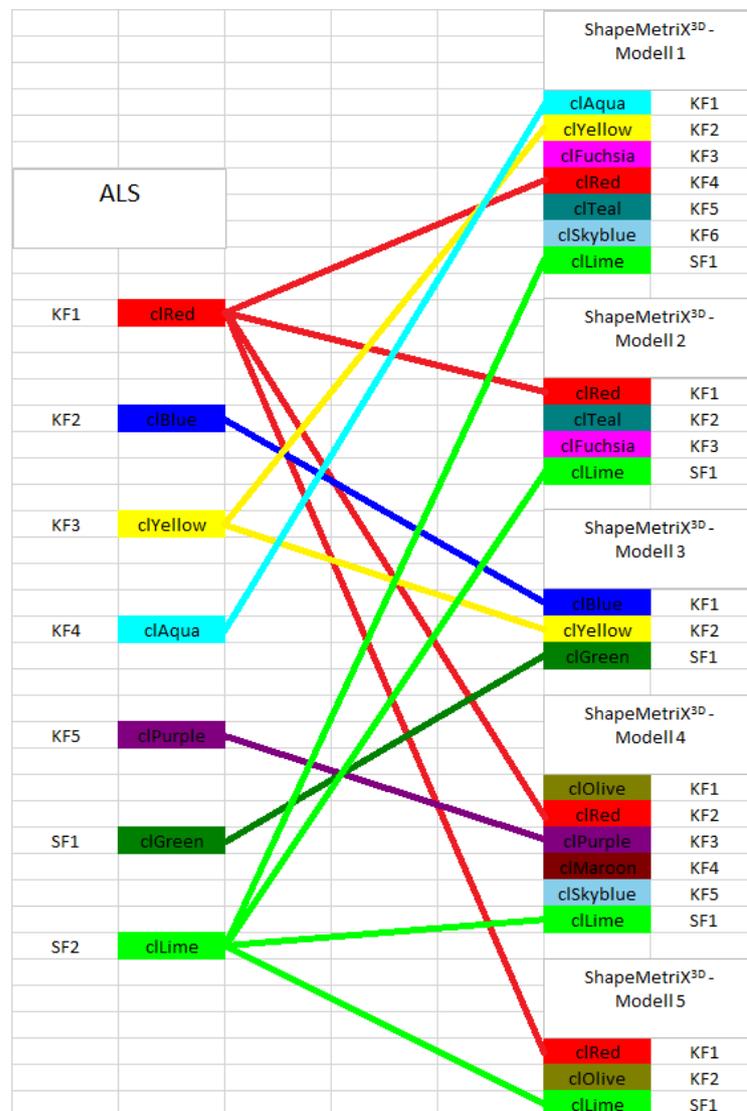


Abbildung 112: Gegenüberstellung der mit ALS und ShapeMetriX<sup>3D</sup> gemessenen Trennflächenscharen. Mittels den der Schar entsprechenden farbigen Linien, wird das Vorkommen der ALS Scharen in den fünf Modellen verdeutlicht.

Andererseits wurden auch Trennflächenscharen kartiert, die innerhalb der ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modelle auftreten, jedoch vom ALS nicht erfasst wurden (z.B. Schar mit der Farbe „cIFuchsia“ oder „cIOlive“)

Unterschiede zwischen den beiden Messsystemen spiegeln sich auch im Trennflächenabstand wieder. Die ALS gemessenen Abstände sind dabei wesentlich höher als beim ShapeMetriX<sup>3D</sup>. Da der Trennflächenabstand ein bestimmender Parameter für die Blockgröße ist, unterscheiden sich die errechneten Blockvolumen enorm (Tab. 66). Vergleicht man diese, mit Blockgrößen, die mittels TLS-Daten aus dem Arbeitsgebiet kalkuliert wurden (Weiss 2017) (Tab.67), so stellt man fest, dass die ShapeMetriX<sup>3D</sup>- und TLS-Blockvolumen einen ähnlichen Wertebereich abdecken. Diese Werte stimmen in etwa mit den Größen der im Gelände beobachteten und während den Steinschlagereignissen dokumentierten Gesteinsbrocken überein. Auch die durch die geotechnischen Eigenschaften der GTL-Klassen abgeschätzten Blockgrößen (siehe Kap.2.3.4, Tab.2), korrespondieren mit diesem Wertebereich. Die ALS-Blockvolumen hingegen sind um das ungefähr 1000-fache größer (Tab.66).

*Tabelle 66: Übersicht der berechneten ALS- und ShapeMetriX<sup>3D</sup> - Blockvolumen*

<b>Blockbezeichnung</b>	<b>ALS - Blockvolumen [m<sup>3</sup>]</b>
Block-Bereich 1	5629,09
Block-Bereich 2	3217,17
<b>Blockbezeichnung</b>	<b>ShapeMetriX<sup>3D</sup> - Blockvolumen [m<sup>3</sup>]</b>
Block 1 - Modell 1	1,92
Block 2 - Modell 1	1,89
Block - Modell 2	1,22
Block - Modell 3	2,72
Block 1 - Modell 4	4,28
Block 2 - Modell 4	0,54
Block 3 - Modell 4	0,85
Block - Modell 5	1,21

*Tabelle 67: Übersicht der berechneten TLS-Blockvolumen (Daten aus Weiss 2017)*

<b>Blockbezeichnung</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>
Block 2	3,10
Block 9	3,40
Block 10	22,00
Block 13	2,30
Block 20	2,10
Block 26	2,30

Die Tatsache der unvollständigen Erfassung des Trennflächengefüges, sowie der stark abweichenden Trennflächenabstände durch die ALS-Daten, lässt sich vor allem auf zwei Eigenschaften der Messmethode zurückführen.

Zum einen ist dies die Auflösung der gemessenen Daten, zum anderen der Blickwinkel auf die Messobjekte, welcher durch die flugzeuggestützte Ausführung entsteht. Diese zwei Merkmale bestimmen also im Wesentlichen die Datenqualität, hinsichtlich der Erfassung des Trennflächengefüges und der damit verbundenen Einschätzung der Steinschlaggefährdung.

Vor allem wenn die Hangmorphologie steil ist, und das Gebirge von mehreren Trennflächenscharen geprägt wird, kann die Gesamtheit der Trennflächen, wegen der unzureichenden Qualität der Daten, mittels ALS nicht mehr realitätsgetreu erfasst werden.

Dieser Effekt kann gut veranschaulicht werden, indem ein Bereich aus dem 3D-Punktwolkemodell (Abb.114), wo nahezu vertikale Felswände auftreten, verglichen wird mit in-situ Fotoaufnahmen desselben Bereichs (Abb.113).



Abbildung 113: Aufschluss an der Westseite des Mörtschachbergs

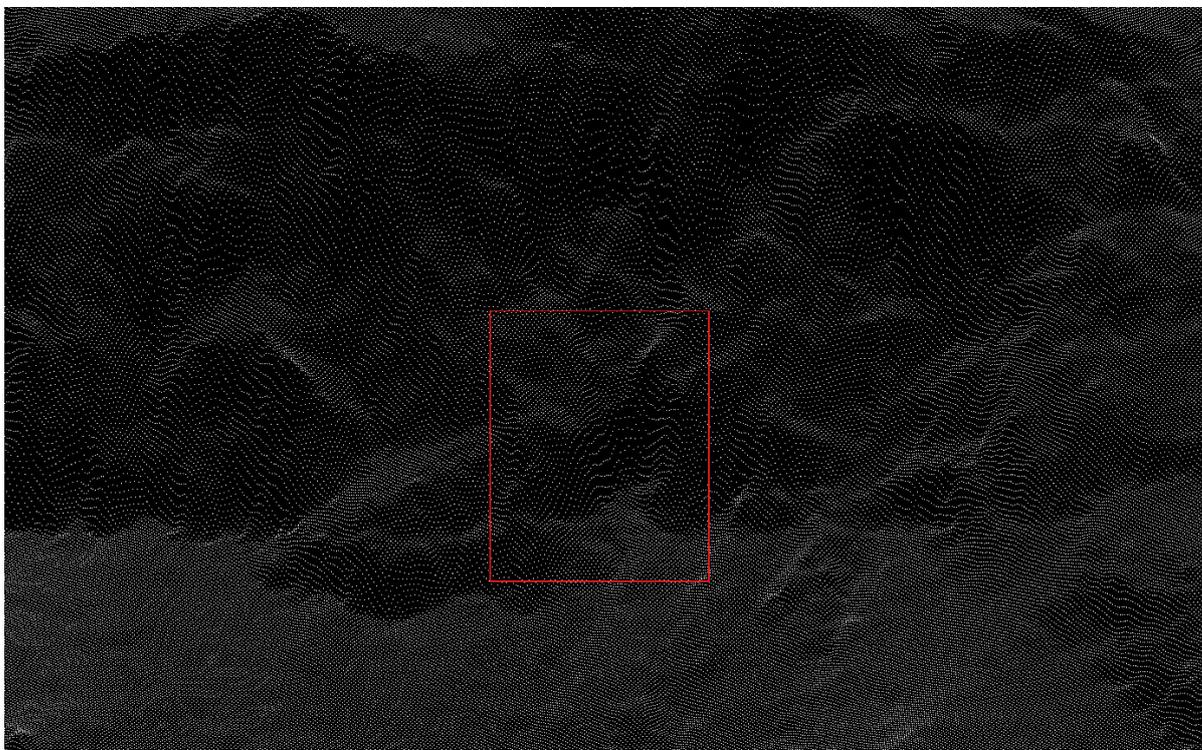


Abbildung 114: Foto des ALS-Modells, mit in Rot eingezeichneter Position des Aufschlusses aus Abb.113. Man sieht, dass die in Abb. 113 sichtbaren Trennflächen, die das Gebirge in diesem Bereich zersetzen, im Modell nicht bzw. nur zum Teil realitätsgetreu dargestellt sind

Abschließend lässt sich sagen, dass die Auswahl der Messmethode abhängig von der Fragestellung der Untersuchung ist. Mittel ALS lässt sich die Hangmorphologie flächendeckend erfassen. Anhand der daraus ersichtlichen Neigungswinkel können Gefahrenbereiche, bezüglich Steinschlag, eingeschätzt und in weiterer Folge Gefahrenkarten erstellt werden.

Beim „MassMove – Project 1381“ (Dorren et. al 2011) beispielweise, wurden durch die Verwendung von ALS-Daten mit 1m-Auflösung, Neigungswinkel des Mölltals analysiert. In Kombination mit „COLTOP-3D“, einem Programm für morphologische und strukturelle Analysen von Felswänden, wurden dabei Suszeptibilitätskarten (Abb.115) erstellt (Dorren et. al 2011).

In dieser Arbeit wurden mit ALS – Daten großräumig Trennflächenscharen digital kartiert. Teilweise konnten diese Scharen in Verbindung gebracht werden mit regionalen bzw. lokalen tektonischen Strukturen. Will man jedoch präzise, ortsbezogene Beurteilungen bezüglich Steinschlag durchführen, stößt man an die Grenzen des ALS – Systems, da das Erfassen des Trennflächengefüges von der Datenqualität abhängig ist. Für eine möglichst genaue Einschätzung der Gefährdung von Steinschlag muss also die Gesamtheit der Trennflächen hochauflösend erfasst werden. Dafür eignet sich erwiesenermaßen beispielsweise das auf terrestrische Photogrammetrie basierende Messsystem ShapeMetriX<sup>3D</sup>, sowie das Terrestrische Laserscanning.

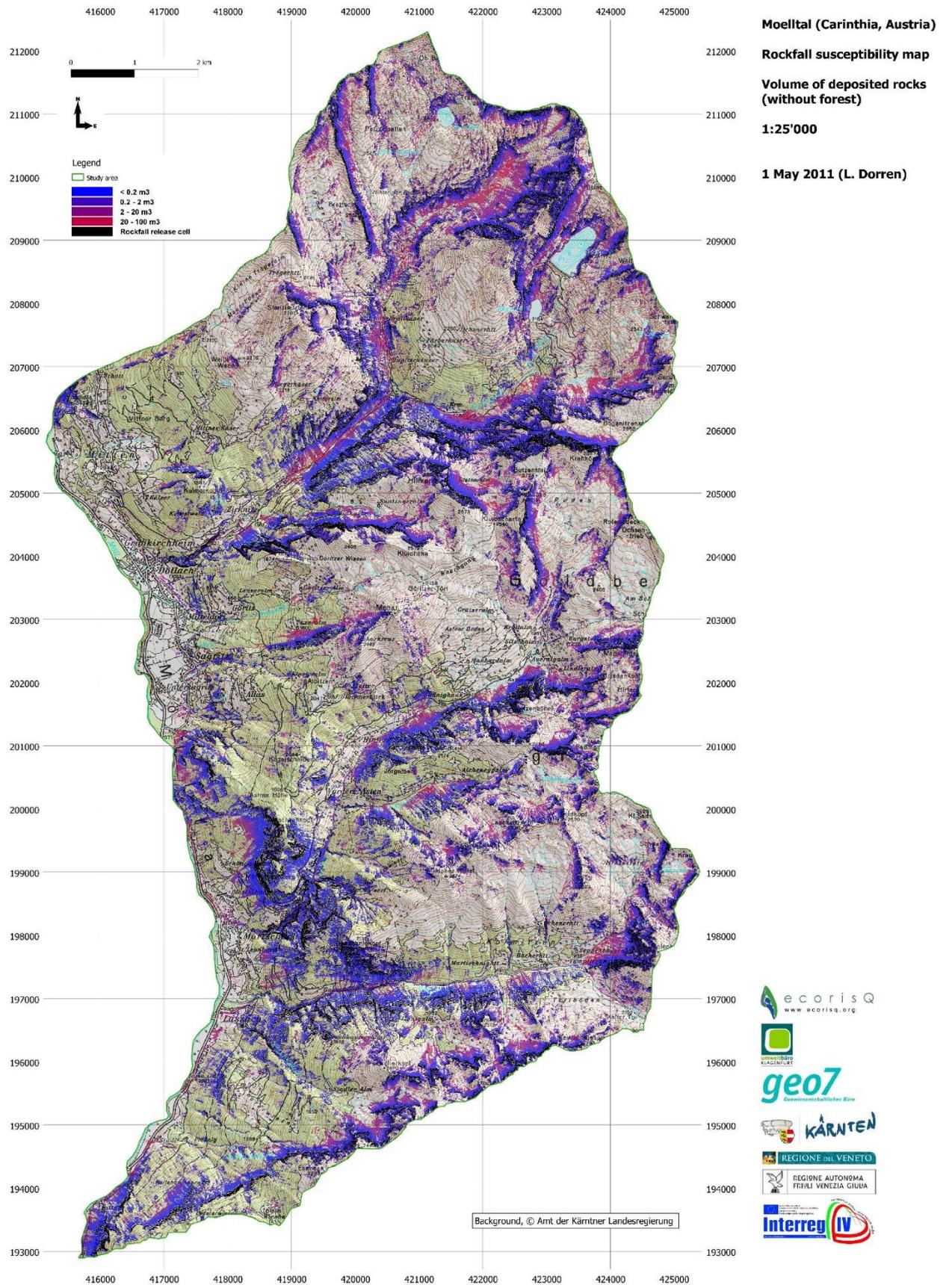


Abbildung 115: Steinschlag Suszeptibilitätskarte des Mölltals (Dorren 2011)

## 6. Literaturverzeichnis

3G SOFTWARE & MEASUREMENT (2010): ShapeMetriX<sup>3D</sup>-3D imaging for measuring and assessing rock and terrain surfaces; User Manual for Version 3.5 -December 2010

3G SOFTWARE & MEASUREMENT (2010): SMX ModelMerger ;BMX ModelMerger; Benutzerhandbuch für Version 2.0-Dezember 2010

BITENC, M. (2015): Vorlesungsunterlagen zu GEO.708/221.451 Engineering Geologic Investigations; Institute of Applied Geosciences; TU Graz

DORREN L.K.A., 2011: „12\_02\_Moelltal\_Rvol\_Deposited\_D2m\_ohneWald.pdf“ aus „MassMove – Project 1381“

DORREN L.K.A., LIENER S., HÖSLE B., 2011: Producing susceptibility maps using 3D rock fall simulations and shallow landslide modelling in the Moelltal and Auental (Carinthia, Austria). Massmove report 2011: 39 p.

EICHLER, K., BAUDENDISTEL, T., FLOHRER, C., HÖHNE, U., HÖLTERHOFF, J., KLAPPERICH, V., KOCH, D., MÜLLER, W., PLINNINGER, R. J., THURO, K., (2007): Fels und Tunnelbau II

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT: Multifunktionale geologische Karte; <http://geolba.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=0e19d373a13d4eb19da3544ce15f35ec> (01.12.2017)

INSTITUT FÜR ERDWISSENSCHAFTEN (2014): Berichte des Institutes für Erdwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz, Band 20/2

ISRM (1978): International Society for Rock Mechanics comission on standardization of laboratory and field tests; suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses

KAGIS (2017): Amt der Kärntner Landesregierung; Kärnten Atlas: <https://gis.ktn.gv.at/> (01.12.2017)

KLEINEZEITUNG: Zeitungsartikel von Camilla Kleinsasser (2014): [http://www.kleinezeitung.at/kaernten/oberkaernten/4612613/Moertschach\\_Felsbrocken-donnerte-bis-ins-Tal](http://www.kleinezeitung.at/kaernten/oberkaernten/4612613/Moertschach_Felsbrocken-donnerte-bis-ins-Tal) (01.12.2017)

LINNER, M., FUCHS, G. (2005): Das Ostalpine Kristallin der Sadnig-Gruppe – mit einem Fragment einer unterostalpinen Decke am Südrand des Tauernfensters

LINNER, M., HABLER, G., GRASEMANN, B. (2008): Vom Deferegggen-Antholz-Vals- (DAV) zum Pustertal-Gailtal-Störungssystem: Mehrphasige spröde Deformation im Ostalpinen Kristallin; PANGEO AUSTRIA 2008;

LINNER, M., HABLER, G., GRASEMANN, B. (2009): Switch of kinematics in the Austroalpine basement between the Deferegggen-Antholz-Vals (DAV) and the Pustertal-Gailtal fault – Eastern Alps; Alpine Workshop 2009, Cogne/Italy

LIU, Q. (2014): Vorlesungsunterlagen zu GEO.605, SS 2014, Ingenieurgeologie - eine Zusammenfassung aus Begriffen u. Prinzipien mit Beispielen; TU Graz

LIU, Q. (2015): Vorlesungsunterlagen zu GEO.840 / 221.415, SS 2015 – Rock Mass Characterization; TU Graz

LIU, Q. (2017): Vorlesungsunterlagen zu GEO.840 / 221.415, SS 2017 - Rock Mass Characterization; TU Graz

MELZNER, S., DORREN, L., KOCIU, A., BÄK, R. (2010): Regionale Ausweisung potentieller Ablöse- und Wirkungsbereiche von Sturzprozessen im Oberen Mölltal/Kärnten

MELZNER, S., LOTTER, M., TILCH, N., KOCIU, A. (2011): Rockfall susceptibility assessment at the regional and local scales as basis for planning site-specific studies in the Upper Moelltal (Carinthia, Austria). – Ber. Geol. B.-A., 91, 105 p, Vienna

PFEIFER, N., BRIESE, C. (2007): Laser Scanning- Principles and Applications

PFEIFER, N., MÜCKE, W., I.P.F.-TEAM (2008): Geodaten aus Airborne Laserscanning

SCHÄBITZ, M. (2012): Gebirgscharakterisierung, Vergleich der Ergebnisse klassischer Methoden mit Methoden der berührungslosen Messung

SCHUBERT, W. (2007): Skriptum Felsmechanik und Tunnelbau; TU Graz

TILCH, N., SCHWARZ, L. (2010): Erstellung von Dispostionskarten für Massenbewegungen

VAN GENECHTEN, B., QUINTERO, M. S. (2008): Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning, Training material based on practical applications; Prepared by the Learning tools for advanced three-dimensional surveying in risk awareness project (3DRiskMapping); Version 4 June 2008

WAGNER, W., ULLRICH, A., BRIESE, C. (2003): Der Laserstrahl und seine Interaktion mit der Erdoberfläche; VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation 91 (4), S.223–235

WEISS, M. (2017): Mörtschach Felssturz 2014 des Ostbereiches – Ingenieurgeologische Untersuchungen mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden

WIKIPEDIA (2017): [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/FPM\\_compass\\_with\\_annotation.svg/1521px-FPM\\_compass\\_with\\_annotation.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/FPM_compass_with_annotation.svg/1521px-FPM_compass_with_annotation.svg.png) (01.12.2017)

ZEINER, R. (2012): Der Einsatz von Airborne Laserscanning Daten im forstbetrieblichen Informationssystem

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesteinsbrocken, der die Astenstraße blockiert (kleinezeitung.at 2014).....	1
Abbildung 2: Karten Kärntens im Maßstab 1:500000 bzw. 1:50000 mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (Quelle: <a href="http://gis.ktn.gv.at">http://gis.ktn.gv.at</a> ) .....	4
Abbildung 3: Mörtschachberg und Astenstraße sowie ihre Begrenzungen (Melzner et al. 2011).....	5
Abbildung 4: Steile Felswand Mörtschachberg (Bild: Ramic & Weiss 2015).....	6
Abbildung 5: Hangneigungen der Region (Quelle: Melzner et al. 2011) mit in grün eingezeichnetem Arbeitsgebiet.....	7
Abbildung 6: Übersicht der Deckensysteme in der Region mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (Quelle: Geologische Bundesanstalt: Multifunktionale geologische Karte).....	8
Abbildung 7: Übersicht der Decken- und Störungssysteme des südlichen Tauernfensters mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (LINNER et al. 2009)....	9
Abbildung 8: Tektonik der Sadnig-Gruppe mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (Fuchs & Linner 2005) .....	11
Abbildung 9: Geologische Karte (Geologie 200.000) mit eingezeichnetem Arbeitsgebiet (Quelle: <a href="https://gis.ktn.gv.at">https://gis.ktn.gv.at</a> ) .....	12
Abbildung 10: Hauptstörungen, die das Arbeitsgebiet durchziehen (bearbeitet nach Melzner et al. 2011; Quelle: KAGIS 2017) .....	15
Abbildung 11: Blick auf die steile Felswand, die sich auf der Westseite des Mörtschachbergs befindet (Bild: Ramic & Weiss 2015) .....	16
Abbildung 12: Steile Felswand auf der Westseite des Mörtschachbergs in näherer Aufnahme (Bild: Ramic & Weiss 2015).....	17
Abbildung 13: Sicherheitsbaumaßnahme entlang der Astenstraße, östlich des Mörtschachbergs (Bild: Liu 2016) .....	17
Abbildung 14: Sichtbare Beschädigungen, die durch Steinschläge verursacht worden sind (Bild: Liu 2016) .....	18

Abbildung 15: Sichtbare Schäden an Bäume die auf Steinschlag zurückzuführen sind (Bild: Liu 2016) .....	18
Abbildung 16: Errichteter Schutzzaun entlang der Straße (Bild: Ramic & Weiss 2017).....	19
Abbildung 17: Schutzzaun (Bild: Ramic & Weiss 2017) .....	19
Abbildung 18: Schematische Darstellung eines Laserscanners mit seinen Hauptkomponenten (Quelle: Wagner et al. 2003).....	20
Abbildung 19: Darstellung der verschiedenen Impulse beim Airborne Laserscanning (Quelle: Bitenc 2015).....	21
Abbildung 20: Übersicht der Komponenten einer ALS Messung (Quelle: Pfeifer et al. 2008).....	22
Abbildung 21: Foto eines Aufschlusses mit davor aufgestellten Referenztafeln (Bild: Ramic 2016) .....	24
Abbildung 22: Hinweise zur Aufnahme des stereoskopischen Bildpaars (Quelle: 3G Software & Measurement 2010) .....	25
Abbildung 23: Karte mit eingezeichneten Positionen der ShapeMetriX <sup>3D</sup> Modelle (Quelle: <a href="http://gis.ktn.gv.at">http://gis.ktn.gv.at</a> ) .....	26
Abbildung 24: Der Geologenkompass (Quelle: Wikipedia, 2017).....	27
Abbildung 25: Wichtigsten geometrischen Eigenschaften von Trennflächen (Quelle: Felsmechanik und Tunnelbau TU Graz 2007).....	30
Abbildung 26: Darstellung der Parameter für die Blockvolumenberechnung (Quelle: Liu 2017) .....	32
Abbildung 27: Benutzeroberfläche im Programm „RiSCAN PRO“ .....	33
Abbildung 28: Markieren eines Bereichs mit Hilfe der "selection mode" Funktion .....	34
Abbildung 29: Erzeugung einer Fläche in "RiSCAN PRO" .....	34
Abbildung 30: "Info window" mit angezeigten Gefügedaten .....	35
Abbildung 31: Zentralfenster des Programms „ShapeMetriX <sup>3D</sup> “ .....	36
Abbildung 32: Import der Bilder im "SMX ReconstructionAssistant" .....	37

Abbildung 33: Überlagerung der Bilder im "SMX ReconstructionAssistant" .....	37
Abbildung 34: Markieren der Punkte im „SMX Normalizer“ .....	38
Abbildung 35: Fenster im "SMX Normalizer" zur Richtungsangabe .....	38
Abbildung 36: Benutzeroberfläche des „JMX Analyst“ .....	39
Abbildung 37: Eingabe der Daten in Stereo32 .....	40
Abbildung 38: Ändern der Ansicht um die Daten als Stereogramm darzustellen .....	40
Abbildung 39: ALS-Daten 3D Punktwolkemodell mit eingezeichneten Trennflächen.....	41
Abbildung 40: Stereogramm der Schwerpunktsflächen, von den in Tab.4 aufgelisteten Scharen .....	42
Abbildung 41: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (ALS) .....	43
Abbildung 42: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF1 (ALS).....	43
Abbildung 43: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (ALS) .....	45
Abbildung 44: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF2 (ALS).....	47
Abbildung 45: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (ALS) .....	48
Abbildung 46: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF3 (ALS).....	48
Abbildung 47: Stereogramm der Trennflächenschar KF4 (ALS) .....	50
Abbildung 48: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF4 (ALS).....	50
Abbildung 49: Stereogramm der Trennflächenschar KF5 (ALS) .....	52
Abbildung 50: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar KF5 (ALS).....	52
Abbildung 51: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (ALS) .....	54
Abbildung 52: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar SF1 (ALS).....	54
Abbildung 53: Stereogramm der Trennflächenschar SF2 (ALS) .....	56
Abbildung 54: In „RiSCAN PRO“ eingezeichnete Schar SF2 (ALS).....	56
Abbildung 55: Modell 1 mit eingezeichneten Trennflächen .....	58

Abbildung 56: Polpunkte der Flächen aus Modell 1 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand (169,3°/72,1°). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.13 entnommen werden.....	59
Abbildung 57: Stereogramm der Schwerpunktflächen aus Modell 1. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.13 entnommen werden.....	60
Abbildung 58: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 1) .....	61
Abbildung 59: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 1) .....	62
Abbildung 60: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (Modell 1) .....	63
Abbildung 61: Stereogramm der Trennflächenschar KF4 (Modell 1) .....	64
Abbildung 62: Stereogramm der Trennflächenschar KF5 (Modell 1) .....	64
Abbildung 63: Stereogramm der Trennflächenschar KF6 (Modell 1) .....	66
Abbildung 64: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 1) .....	67
Abbildung 65: Modell 2 mit eingezeichneten Trennflächen .....	67
Abbildung 66: Polpunkte der Flächen aus Modell 2 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand (167,4°/65,3°). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.22 entnommen werden.....	68
Abbildung 67: Stereogramm der Schwerpunktflächen aus Modell 2. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.22 entnommen werden.....	69
Abbildung 68: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 2) .....	69
Abbildung 69: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 2) .....	72
Abbildung 70: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (Modell 2) .....	73
Abbildung 71: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 2) .....	74
Abbildung 72: Modell 3 mit eingezeichneten Trennflächen .....	74
Abbildung 73: Polpunkte der Flächen aus Modell 3 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand (233,6°/77°). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.28 entnommen werden .....	75

Abbildung 74: Stereogramm der Schwerpunktfächen aus Modell 3. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.28 entnommen werden.....	76
Abbildung 75: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 3) .....	76
Abbildung 76: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 3) .....	77
Abbildung 77: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 3) .....	78
Abbildung 78: Modell 4 mit eingezeichneten Trennflächen .....	80
Abbildung 79: Polpunkte der Flächen aus Modell 4 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand (93,7°/77,4°). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.33 entnommen werden .....	81
Abbildung 80: Stereogramm der Schwerpunktfächen aus Modell 4. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.33 entnommen werden.....	81
Abbildung 81: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 4) .....	83
Abbildung 82: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 4) .....	84
Abbildung 83: Stereogramm der Trennflächenschar KF3 (Modell 4) .....	85
Abbildung 84: Stereogramm der Trennflächenschar KF4 (Modell 4) .....	86
Abbildung 85: Stereogramm der Trennflächenschar KF5 (Modell 4) .....	87
Abbildung 86: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 4) .....	87
Abbildung 87: Modell 5 mit eingezeichneten Trennflächen .....	89
Abbildung 88: Polpunkte der Flächen aus Modell 5 auf der unteren Halbkugel. Die blaue Linie repräsentiert den Großkreis der Aufschlusswand (161°/56,9°). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.41 entnommen werden .....	89
Abbildung 89: Stereogramm der Schwerpunktfächen aus Modell 5. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.41 entnommen werden.....	90
Abbildung 90: Stereogramm der Trennflächenschar KF1 (Modell 5) .....	90
Abbildung 91: Stereogramm der Trennflächenschar KF2 (Modell 5) .....	91
Abbildung 92: Stereogramm der Trennflächenschar SF1 (Modell 5) .....	92
Abbildung 93: Unterteilung des ALS – Modells in zwei Bereiche .....	94

Abbildung 94: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen in Bereich 1. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.46 entnommen werden .....	95
Abbildung 95: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen in Bereich 2. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.48 entnommen werden .....	96
Abbildung 96: In Modell 1 dargestellte Trennflachen, die Block 1 bilden .....	97
Abbildung 97: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen von Block 1(Modell 1). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.50 entnommen werden .....	98
Abbildung 98: In Modell 1 dargestellte Trennflachen, die Block 2 bilden .....	99
Abbildung 99: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen von Block 2 (Modell 1). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.52 entnommen werden .....	99
Abbildung 100: In Modell 2 dargestellte Trennflachen, die den Block bilden .	100
Abbildung 101: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen in Modell 2. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.54 entnommen werden .....	101
Abbildung 102: In Modell 3 dargestellte Trennflachen, die den Block bilden .	102
Abbildung 103: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen in Modell 3. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.56 entnommen werden .....	102
Abbildung 104: In Modell 4 dargestellte Trennflachen, die Block 1 bilden .....	103
Abbildung 105: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen von Block 1(Modell 4). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.58 entnommen werden .....	104
Abbildung 106: In Modell 4 dargestellte Trennflachen, die Block 2 bilden .....	105
Abbildung 107: Stereogramm mit Schwerpunktfleichen, der blockbildenden Scharen von Block 2(Modell 4). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.60 entnommen werden .....	105

Abbildung 108: In Modell 4 dargestellte Trennflächen, die Block 3 bilden .....	106
Abbildung 109: Stereogramm mit Schwerpunktfächen, der blockbildenden Scharen von Block 3 (Modell 4). Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.62 entnommen werden .....	107
Abbildung 110: In Modell 5 dargestellte Trennflächen, die den Block bilden .	108
Abbildung 111: Stereogramm mit Schwerpunktfächen, der blockbildenden Scharen in Modell 5. Die Zuordnung der Farben kann aus Tab.64 entnommen werden .....	108
Abbildung 112: Gegenüberstellung der mit ALS und ShapeMetriX <sup>3D</sup> gemessenen Trennflächenscharen. Mittels den der Schar entsprechenden farbigen Linien, wird das Vorkommen der ALS Scharen in den fünf Modellen verdeutlicht.	109
Abbildung 113: Aufschluss an der Westseite des Mörtschachbergs .....	112
Abbildung 114: Foto des ALS-Modells, mit in Rot eingezeichneter Position des Aufschlusses aus Abb.113. Man sieht, dass die in Abb. 113 sichtbaren Trennflächen, die das Gebirge in diesem Bereich zersetzen, im Modell nicht bzw. nur zum Teil realitätsgetreu dargestellt sind .....	112
Abbildung 115: Steinschlag Suszeptibilitätskarte des Mölltals (Dorren 2011)	114

## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tabelle zur Einschätzung des GTL-Codes. In Rot eingerahmt sind die zwei Codes die für den Prijakt-Polinik-Komplex relevant sind (Quelle: Tilch & Schwarz,2010).....	13
Tabelle 2: Geotechnische Eigenschaften der GTL-Klassen. In Rot eingerahmt sind die für den Prijakt Polinik-Komplex relevanten Daten (Quelle: Melzner et al., 2011).....	14
Tabelle 3: Zehn Kategorien zur Beschreibung von Trennflächen (Quelle: Eichler et al. 2007).....	29
Tabelle 4: Scharen der ALS-Daten mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad; $\omega$ = sphärische Öffnung; $\vartheta$ = Vertrauenskegel.....	42
Tabelle 5: In „RiSCAN PRO“ gemessener durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen.....	42
Tabelle 6: Daten der Schar KF1 (ALS).....	44
Tabelle 7: Daten der Schar KF2 (ALS).....	46
Tabelle 8: Daten der Schar KF3 (ALS).....	49
Tabelle 9: Daten der Schar KF4 (ALS).....	51
Tabelle 10: Daten der Schar KF5 (ALS).....	53
Tabelle 11: Daten der Schar SF1 (ALS).....	55
Tabelle 12: Daten der Schar SF2 (ALS).....	57
Tabelle 13: Scharen aus dem ShapeMetriX <sup>3D</sup> – Modell 1 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad; $\omega$ = sphärische Öffnung; $\vartheta$ = Vertrauenskegel.....	58
Tabelle 14: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 1 .....	59

Tabelle 15: Daten der Schar KF1 (Modell 1) .....	60
Tabelle 16: Daten der Schar KF2 (Modell 1) .....	61
Tabelle 17: Daten der Schar KF3 (Modell 1) .....	62
Tabelle 18: Daten der Schar KF4 (Modell 1) .....	63
Tabelle 19: Daten der Schar KF5 (Modell 1) .....	65
Tabelle 20: Daten der Schar KF6 (Modell 1) .....	65
Tabelle 21: Daten der Schar SF1 (Modell 1) .....	66
Tabelle 22: Scharen aus dem ShapeMetriX <sup>3D</sup> – Modell 2 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallsrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad; $\omega$ = sphärische Öffnung ...	68
Tabelle 23: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 2 .....	68
Tabelle 24: Daten der Schar KF1 (Modell 2) .....	70
Tabelle 25: Daten der Schar KF2 (Modell 2) .....	71
Tabelle 26: Daten der Schar KF3 (Modell 2) .....	72
Tabelle 27: Daten der Schar SF1 (Modell 2) .....	73
Tabelle 28: Scharen aus dem ShapeMetriX <sup>3D</sup> – Modell 3 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallsrichtung; EW = durchschnittlicher Einfallswinkel; N = Anzahl der Flächen; K = Konzentrationsparameter; R = Regelungsgrad; $\omega$ = sphärische Öffnung ...	75
Tabelle 29: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 3 .....	75
Tabelle 30: Daten der Schar KF1 (Modell 3) .....	77
Tabelle 31: Daten der Schar KF2 (Modell 3) .....	78
Tabelle 32: Daten der Schar SF1 (Modell 3) .....	79
Tabelle 33: Scharen aus dem ShapeMetriX <sup>3D</sup> – Modell 4 mit Werten der Richtungsstatistik. ER = durchschnittliche Einfallsrichtung; EW =	

durchschnittlicher Einfallswinkel;  $N$  = Anzahl der Flächen;  $K$  = Konzentrationsparameter;  $R$  = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung... 80

Tabelle 34: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 4 ..... 80

Tabelle 35: Daten der Schar KF1 (Modell 4) ..... 82

Tabelle 36: Daten der Schar KF2 (Modell 4) ..... 83

Tabelle 37: Daten der Schar KF3 (Modell 4) ..... 84

Tabelle 38: Daten der Schar KF4 (Modell 4) ..... 85

Tabelle 39: Daten der Schar KF5 (Modell 4) ..... 86

Tabelle 40: Daten der Schar SF1 (Modell 4) ..... 88

Tabelle 41: Scharen aus dem ShapeMetriX<sup>3D</sup> – Modell 5 mit Werten der Richtungsstatistik.  $ER$  = durchschnittliche Einfallrichtung;  $EW$  = durchschnittlicher Einfallswinkel;  $N$  = Anzahl der Flächen;  $K$  = Konzentrationsparameter;  $R$  = Regelungsgrad;  $\omega$  = sphärische Öffnung... 88

Tabelle 42: Durchschnittlicher Trennflächenabstand der Scharen aus Modell 5 ..... 88

Tabelle 43: Daten der Schar KF1 (Modell 5) ..... 91

Tabelle 44: Daten der Schar KF2 (Modell 5) ..... 92

Tabelle 45: Daten der Schar SF1 (Modell 5) ..... 93

Tabelle 46: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Bereich 1 bilden ..... 94

Tabelle 47: Winkel zwischen den Scharen für Bereich 1 ..... 95

Tabelle 48: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Bereich 2 bilden ..... 96

Tabelle 49: Winkel zwischen den Scharen für Bereich 2 ..... 96

Tabelle 50: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 1 (Modell 1) bilden ..... 97

Tabelle 51: Winkel zwischen den Scharen für Block 1 (Modell 1) ..... 97

Tabelle 52: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 2 (Modell 1) bilden .....	98
Tabelle 53: Winkel zwischen den Scharen für Block 2 (Modell 1) .....	98
Tabelle 54: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Modell 2 bilden .....	100
Tabelle 55: Winkel zwischen den Scharen für den Block in Modell 2.....	100
Tabelle 56: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Modell 3 bilden .....	101
Tabelle 57: Winkel zwischen den Scharen für den Block in Modell 3.....	102
Tabelle 58: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 1 (Modell 4) bilden .....	103
Tabelle 59: Winkel zwischen den Scharen für Block 1 (Modell 4) .....	103
Tabelle 60: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 2 (Modell 4) bilden .....	104
Tabelle 61: Winkel zwischen den Scharen für Block 2 (Modell 4) .....	104
Tabelle 62: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block 3 (Modell 4) bilden .....	106
Tabelle 63: Winkel zwischen den Scharen für Block 3 (Modell 4) .....	106
Tabelle 64: Trennflächenabstände der Scharen, die den Block in Modell 5 bilden .....	107
Tabelle 65: Winkel zwischen den Scharen für den Block in Modell 5.....	107
Tabelle 66: Übersicht der berechneten ALS- und ShapeMetriX <sup>3D</sup> - Blockvolumen .....	110
Tabelle 67: Übersicht der berechneten TLS-Blockvolumen (Daten aus Weiss 2017).....	111

## 9. Anhang

Im Anhang befinden sich:

### A.) Originalfotos (links und rechts) - ShapeMetriX<sup>3D</sup>

- 1.) Modell 1
- 2.) Modell 2
- 3.) Modell 3
- 4.) Modell 4
- 5.) Modell 5

### B.) Auswertungsberichte aus ShapeMetriX<sup>3D</sup>

- 1.) Modell 1
- 2.) Modell 2
- 3.) Modell 3
- 4.) Modell 4
- 5.) Modell 5

A.) Originalfotos (links und rechts) - ShapeMetriX<sup>3D</sup>

## 1.) Bilderpaar Modell 1 (Foto oben = links, Foto unten = rechts)



## 2.) Bilderpaar Modell 2 (Foto oben = links, Foto unten = rechts)



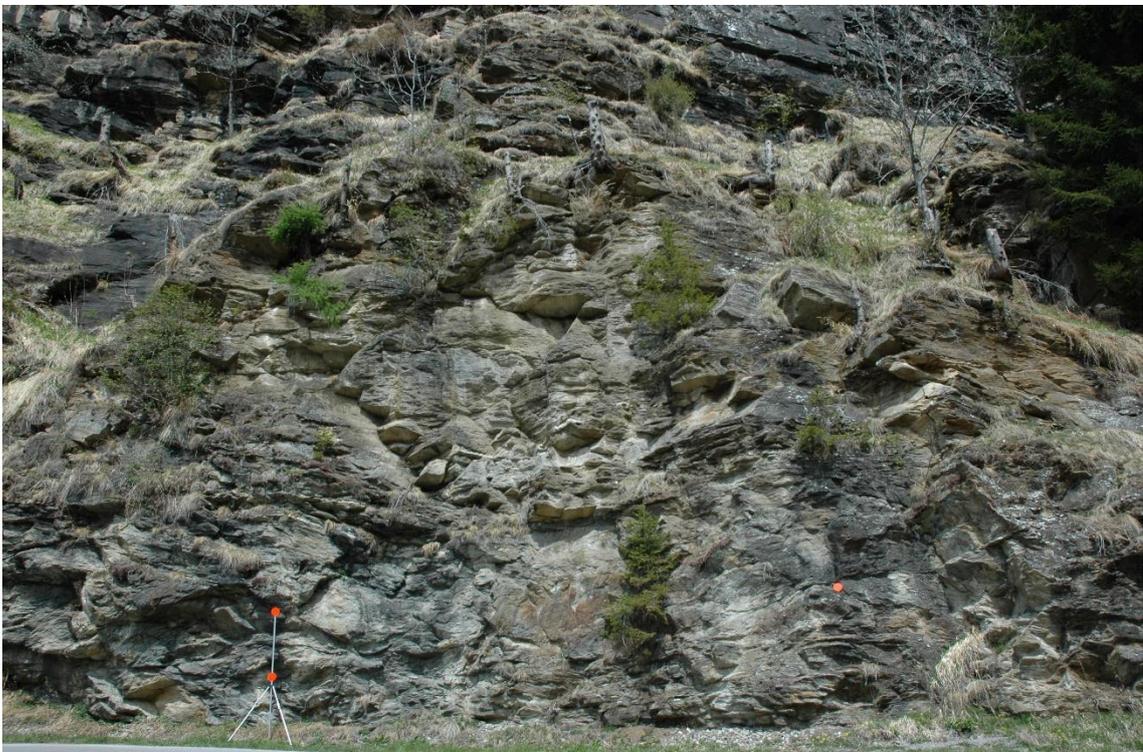
## 3.) Bilderpaar Modell 3 (Foto oben = links, Foto unten = rechts)



## 4.) Bilderpaar Modell 4 (Foto oben = links, Foto unten = rechts)



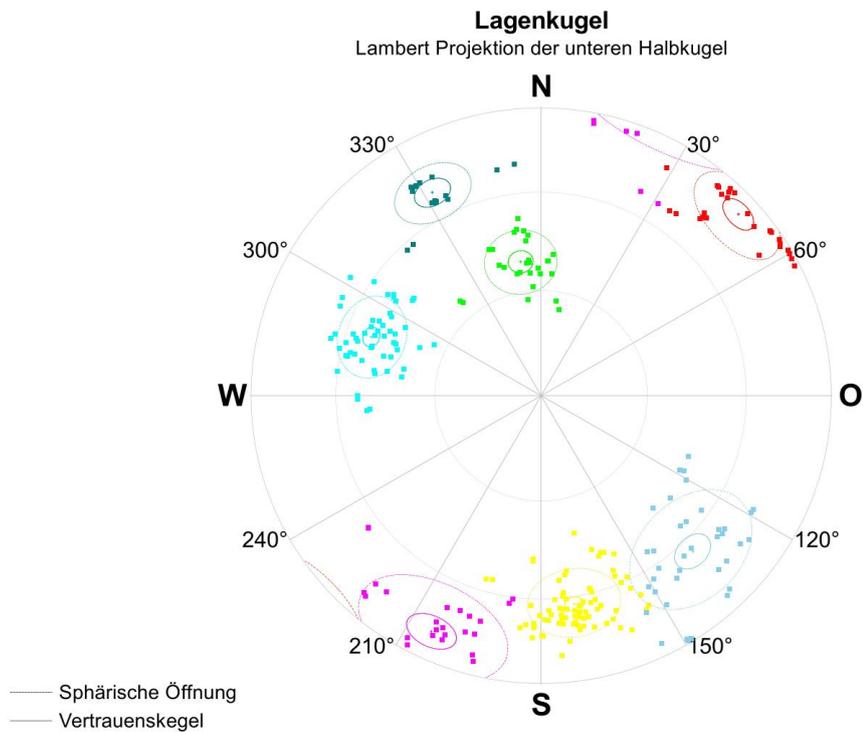
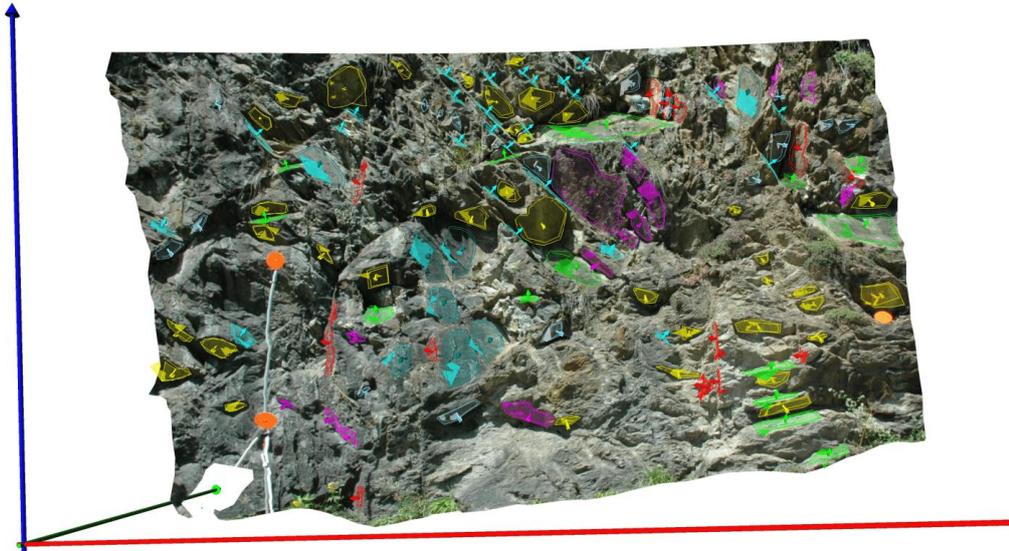
5.) Bilderpaar Modell 5 (Foto oben = links, Foto unten = rechts)



B.) Auswertungsberichte aus ShapeMetriX<sup>3D</sup>

1.) Modell 1

So 3. Sep 18:45:02 2017



Licensed: Technische Universität Graz Institut für Angewandte Geowissenschaften Rochbauer Straße 12 8010 Graz

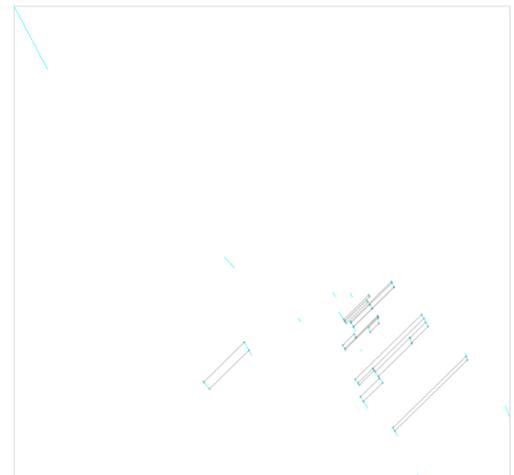
## KF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	109.23°	
Fallwinkel	52.03°	
Sphärische Öffnung	10.57°	
Konzentration	58.30	
Orientierungsgrad	96.63 %	
Vertrauenskegel	2.56°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	54 / 54	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	27	
Trennflächenfrequenz	1.0368	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.96	m
Standardabweichung	0.59	m
Minimum	0.30	m
Maximum	2.47	m
Länge der Trennflächenspuren	4.72	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.17	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.10	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



## KF2

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	351.03°	
Fallwinkel	62.40°	
Sphärische Öffnung	11.25°	
Konzentration	51.90	
Orientierungsgrad	96.20 %	
Vertrauenskegel	2.28°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	76 / 76	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	38	
Trennflächenfrequenz	1.2765	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.78	m
Standardabweichung	0.79	m
Minimum	0.01	m
Maximum	2.94	m
Länge der Trennflächenspuren	6.07	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.16	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.11	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



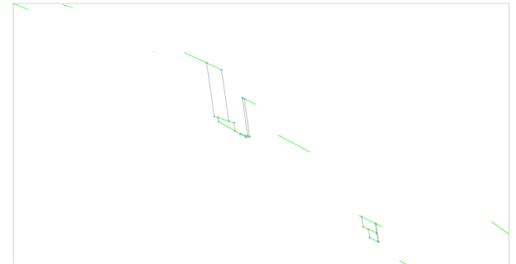
## SF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	171.40°	
Fallwinkel	38.90°	
Sphärische Öffnung	9.61°	
Konzentration	69.19	
Orientierungsgrad	97.21 %	
Vertrauenskegel	3.30°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	28 / 28	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	14	
Trennflächenfrequenz	2.2686	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.44	m
Standardabweichung	0.44	m
Minimum	0.01	m
Maximum	1.23	m
Länge der Trennflächenspuren	4.66	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.33	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.22	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



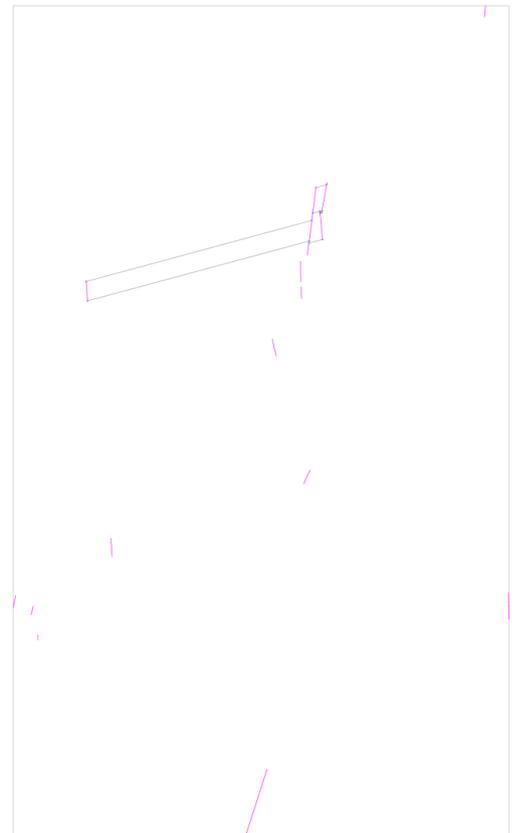
## KF3

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	24.78	°
Fallwinkel	79.40	°
Sphärische Öffnung	17.12	°
Konzentration	22.32	
Orientierungsgrad	91.34	%
Vertrauenskegel	5.69	°
Konfidenz	95.0	%
Anzahl an Orientierungsmessungen	30 / 30	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	15	
Trennflächenfrequenz	1.1544	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.87	m
Standardabweichung	1.33	m
Minimum	0.02	m
Maximum	2.83	m
Länge der Trennflächenspuren	2.55	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.17	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.14	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



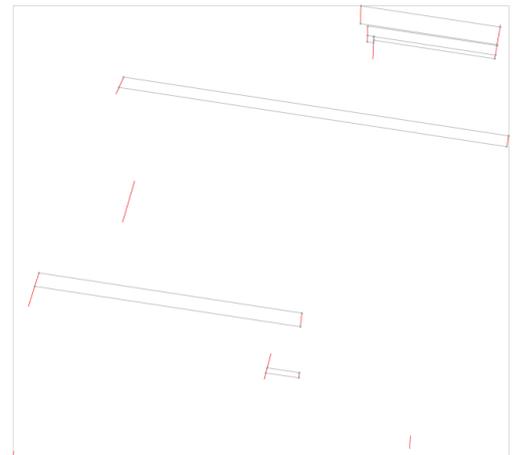
## KF4

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	227.15°	
Fallwinkel	81.99°	
Sphärische Öffnung	11.36°	
Konzentration	49.61	
Orientierungsgrad	96.12 %	
Vertrauenskegel	4.07°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	26 / 26	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	13	
Trennflächenfrequenz	0.5028	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	1.99	m
Standardabweichung	1.68	m
Minimum	0.08	m
Maximum	4.95	m
Länge der Trennflächenspuren	2.61	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.20	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.10	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



## KF5

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	152.03°	
Fallwinkel	68.87°	
Sphärische Öffnung	9.39°	
Konzentration	70.37	
Orientierungsgrad	97.34 %	
Vertrauenskegel	4.43°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	16 / 16	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	8	
Trennflächenfrequenz	7.7366	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.13	m
Standardabweichung	0.14	m
Minimum	0.02	m
Maximum	0.37	m
Länge der Trennflächenspuren	4.03	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.50	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.11	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



## KF6

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	316.04°	
Fallwinkel	64.31°	
Sphärische Öffnung	16.60°	
Konzentration	23.87	
Orientierungsgrad	91.84 %	
Vertrauenskegel	4.85°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	38 / 38	

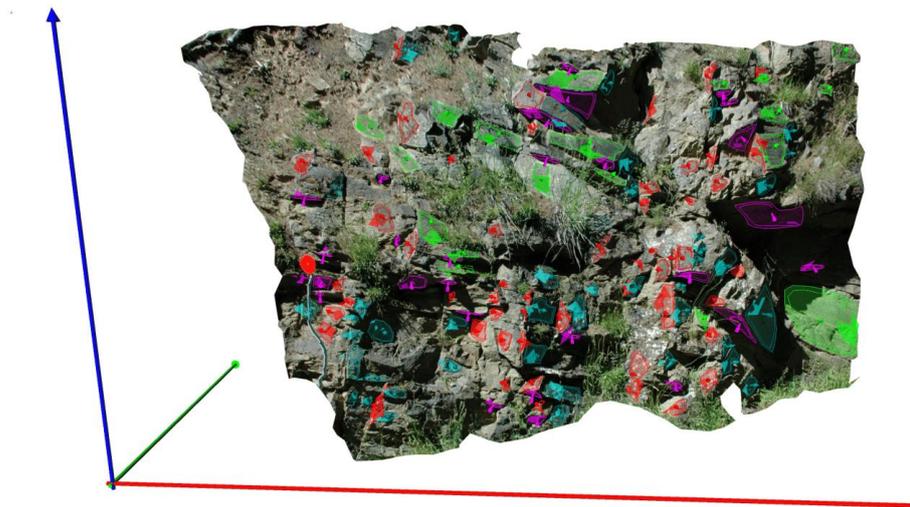
## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	19	
Trennflächenfrequenz	0.5233	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	1.91	m
Standardabweichung	1.55	m
Minimum	0.07	m
Maximum	4.24	m
Länge der Trennflächenspuren	2.62	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.14	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.08	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



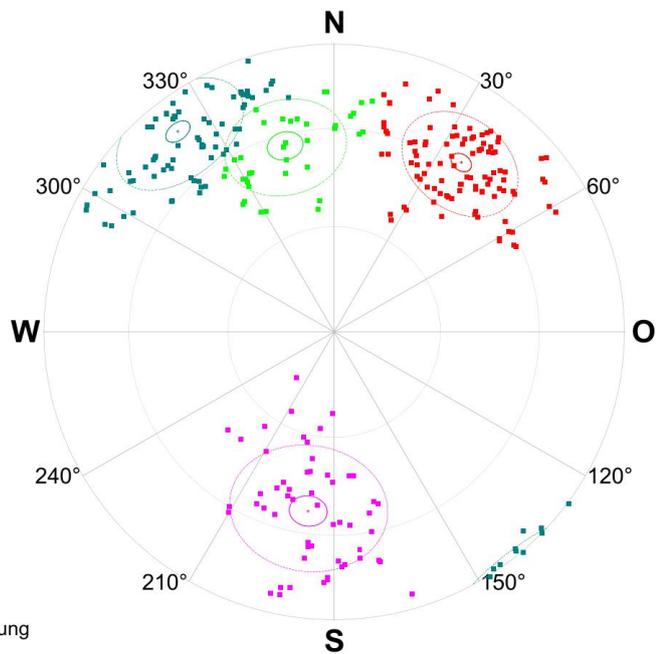
2.) Modell 2

So 3. Sep 19:11:33 2017



**Lagenkugel**

Lambert Projektion der unteren Halbkugel



- Sphärische Öffnung
- Vertrauenskegel

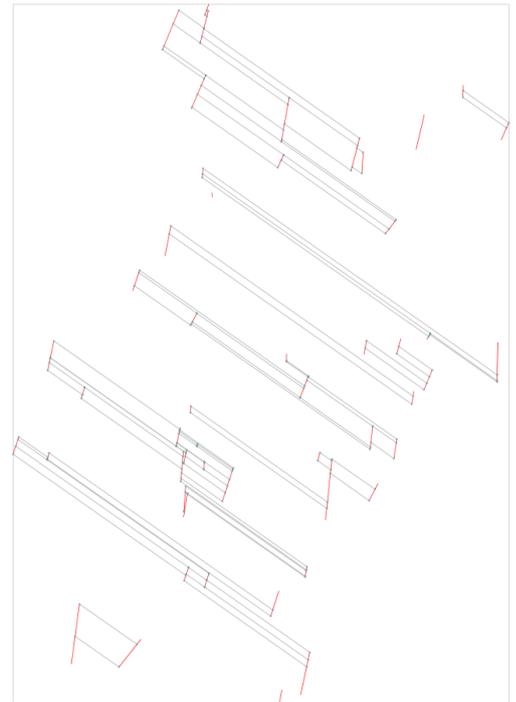
## KF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	216.65	°
Fallwinkel	62.56	°
Sphärische Öffnung	15.23	°
Konzentration	28.70	
Orientierungsgrad	93.10	%
Vertrauenskegel	2.66	°
Konfidenz	95.0	%
Anzahl an Orientierungsmessungen	102 / 102	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächen Spuren	51	
Trennflächenfrequenz	1.1054	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.90	m
Standardabweichung	0.76	m
Minimum	0.01	m
Maximum	3.40	m
Länge der Trennflächenspuren	8.46	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.17	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.10	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



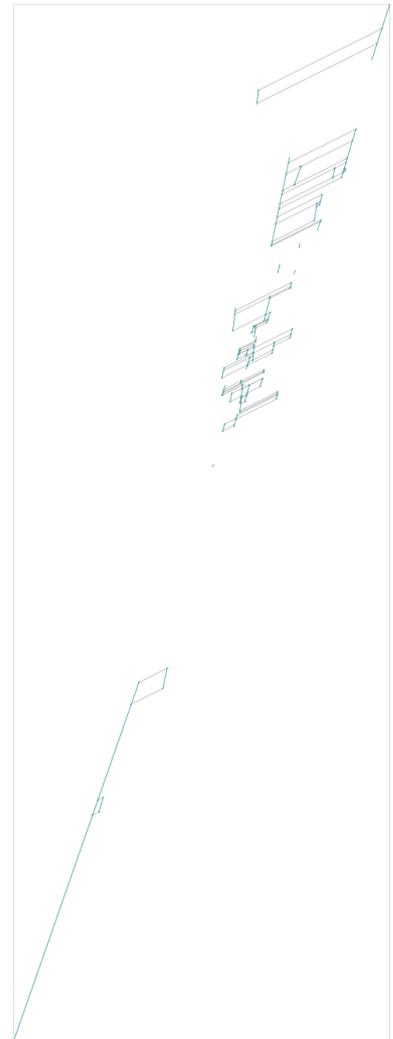
## KF2

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	142.28°	
Fallwinkel	77.02°	
Sphärische Öffnung	15.92°	
Konzentration	26.28	
Orientierungsgrad	92.48 %	
Vertrauenskegel	3.03°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	86 / 86	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	43	
Trennflächenfrequenz	1.0829	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.92	m
Standardabweichung	0.93	m
Minimum	0.00	m
Maximum	5.00	m
Länge der Trennflächenspuren	8.13	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.19	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.12	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



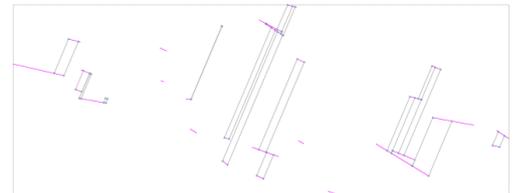
## KF3

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	8.16	°
Fallwinkel	52.85	°
Sphärische Öffnung	19.94	°
Konzentration	16.88	
Orientierungsgrad	88.37	%
Vertrauenskegel	4.77	°
Konfidenz	95.0	%
Anzahl an Orientierungsmessungen	56 / 56	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	28	
Trennflächenfrequenz	0.8357	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	1.20	m
Standardabweichung	1.01	m
Minimum	0.01	m
Maximum	3.52	m
Länge der Trennflächenspuren	4.26	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.15	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.13	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



## SF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	165.36°	
Fallwinkel	56.44 °	
Sphärische Öffnung	15.23 °	
Konzentration	28.21	
Orientierungsgrad	93.10 %	
Vertrauenskegel	4.45 °	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	38 / 38	

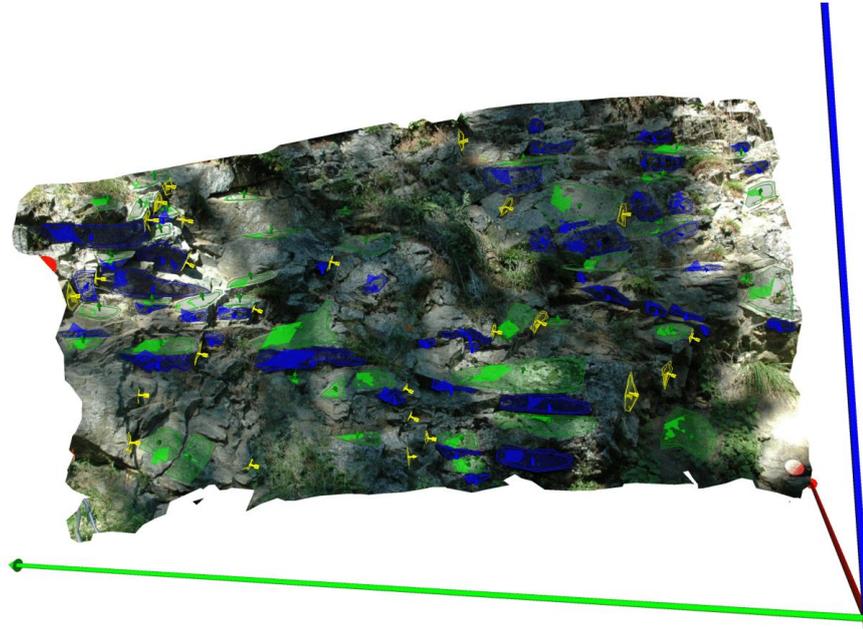
## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	19	
Trennflächenfrequenz	3.0717	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.33	m
Standardabweichung	0.27	m
Minimum	0.00	m
Maximum	0.88	m
Länge der Trennflächenspuren	5.59	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.29	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.18	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



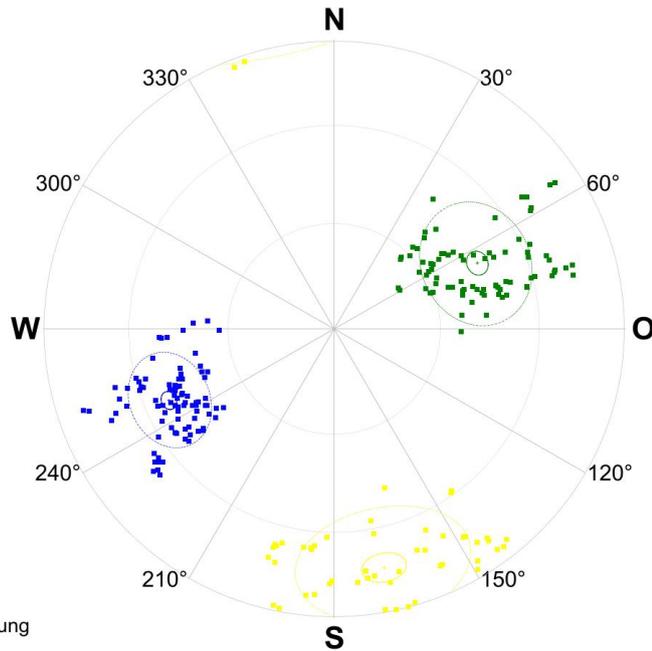
3.) Modell 3

So 21. Mai 18:03:33 2017



**Lagenkugel**

Lambert Projektion der unteren Halbkugel



— Sphärische Öffnung  
— Vertrauenskegel

License: Technische Universität Graz Institut für Angewandte Geowissenschaften Rechbauer Straße 12 8010 Graz

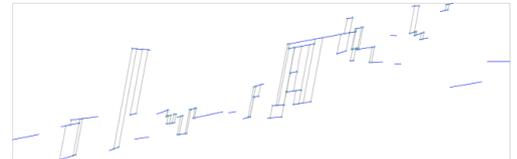
## KF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	66.40	°
Fallwinkel	52.15	°
Sphärische Öffnung	12.46	°
Konzentration	42.46	
Orientierungsgrad	95.34	%
Vertrauenskegel	2.34	°
Konfidenz	95.0	%
Anzahl an Orientierungsmessungen	88 / 88	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	44	
Trennflächenfrequenz	1.1132	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.90	m
Standardabweichung	0.88	m
Minimum	0.05	m
Maximum	4.13	m
Länge der Trennflächenspuren	9.61	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.22	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.14	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



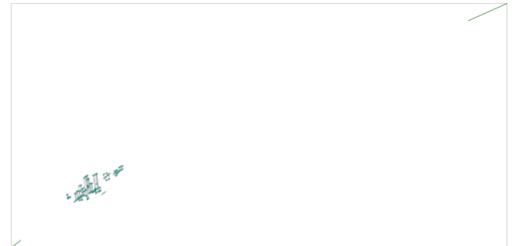
## SF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	245.14°	
Fallwinkel	45.27°	
Sphärische Öffnung	16.55°	
Konzentration	24.34	
Orientierungsgrad	91.88 %	
Vertrauenskegel	3.20°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	84 / 84	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	42	
Trennflächenfrequenz	1.1439	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.87	m
Standardabweichung	0.67	m
Minimum	0.07	m
Maximum	3.48	m
Länge der Trennflächenspuren	13.27	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.32	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.17	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



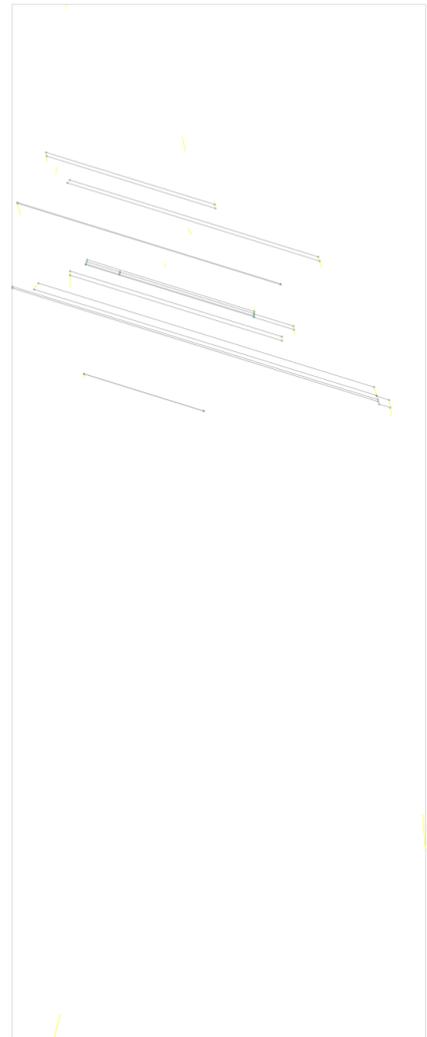
## KF2

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	348.28°	
Fallwinkel	73.65°	
Sphärische Öffnung	19.96°	
Konzentration	16.81	
Orientierungsgrad	88.34 %	
Vertrauenskegel	5.06°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	50 / 50	

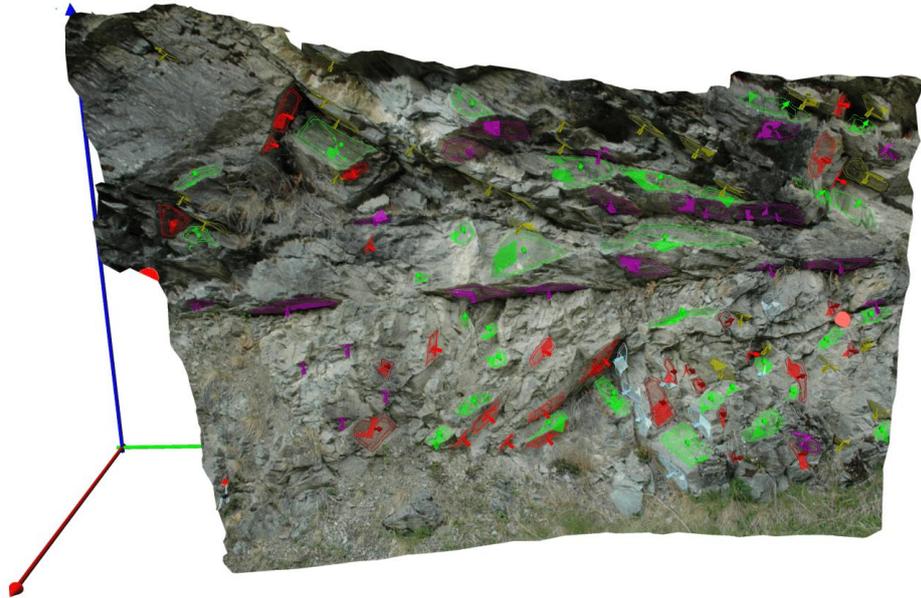
## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	25	
Trennflächenfrequenz	0.3088	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	3.24	m
Standardabweichung	2.09	m
Minimum	0.21	m
Maximum	6.76	m
Länge der Trennflächenspuren	3.09	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.12	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.09	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



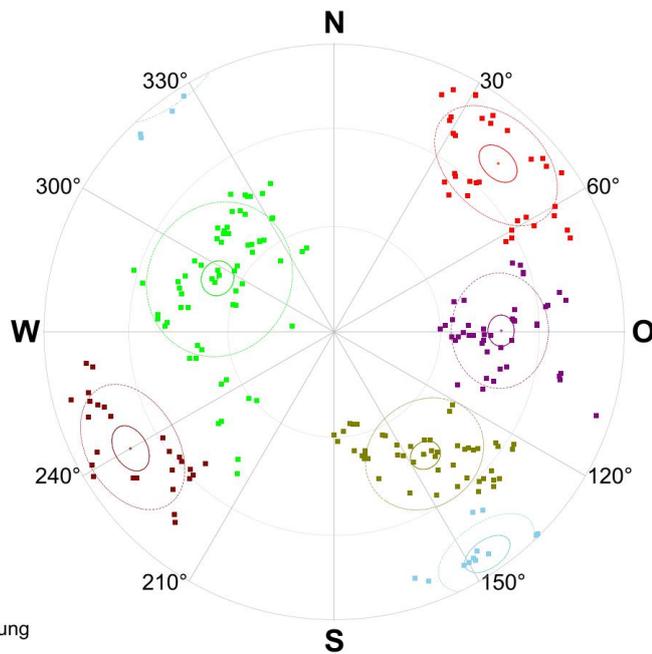
4.) Modell 4

So 3. Sep 21:27:32 2017



**Lagenkugel**

Lambert Projektion der unteren Halbkugel



License: Technische Universität Graz Institut für Angewandte Geowissenschaften Rechbauer Straße 12 8010 Graz

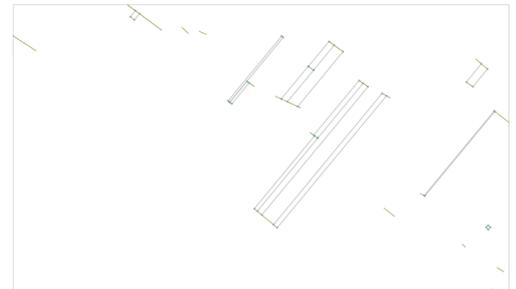
## KF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	323.69°	
Fallwinkel	44.18°	
Sphärische Öffnung	16.11°	
Konzentration	25.46	
Orientierungsgrad	92.30 %	
Vertrauenskegel	4.07°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	50 / 50	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	25	
Trennflächenfrequenz	0.4930	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	2.03	m
Standardabweichung	1.62	m
Minimum	0.09	m
Maximum	5.32	m
Länge der Trennflächenspuren	6.24	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.25	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.16	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



## KF2

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	224.01°	
Fallwinkel	70.29°	
Sphärische Öffnung	16.43°	
Konzentration	24.27	
Orientierungsgrad	92.00 %	
Vertrauenskegel	5.10°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	34 / 34	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	17	
Trennflächenfrequenz	0.9965	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	1.00	m
Standardabweichung	0.89	m
Minimum	0.03	m
Maximum	2.91	m
Länge der Trennflächenspuren	5.24	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.31	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.15	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



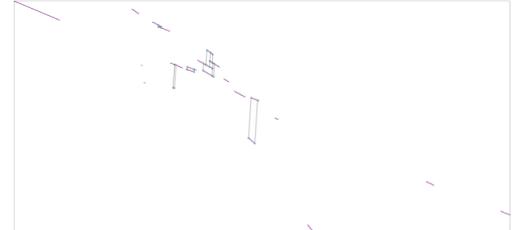
## KF3

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	269.57°	
Fallwinkel	48.07°	
Sphärische Öffnung	14.89°	
Konzentration	29.59	
Orientierungsgrad	93.39 %	
Vertrauenskegel	4.02°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	44 / 44	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	22	
Trennflächenfrequenz	1.1709	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.85	m
Standardabweichung	0.86	m
Minimum	0.09	m
Maximum	2.84	m
Länge der Trennflächenspuren	8.14	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.37	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.27	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



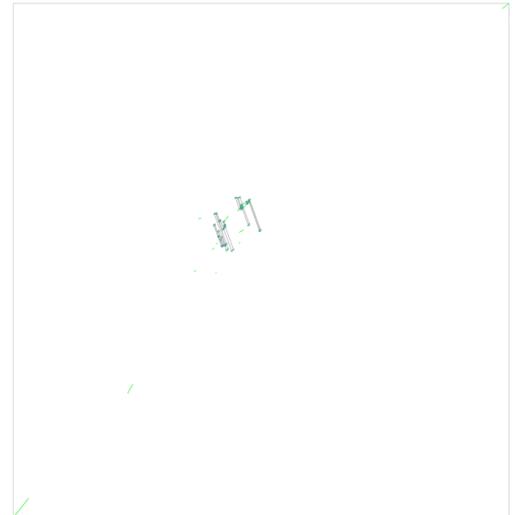
## SF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	114.88	°
Fallwinkel	36.52	°
Sphärische Öffnung	21.17	°
Konzentration	15.09	
Orientierungsgrad	86.95	%
Vertrauenskegel	4.72	°
Konfidenz	95.0	%
Anzahl an Orientierungsmessungen	64 / 64	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	32	
Trennflächenfrequenz	0.4934	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	2.03	m
Standardabweichung	1.84	m
Minimum	0.00	m
Maximum	5.94	m
Länge der Trennflächenspuren	10.74	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.34	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.22	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



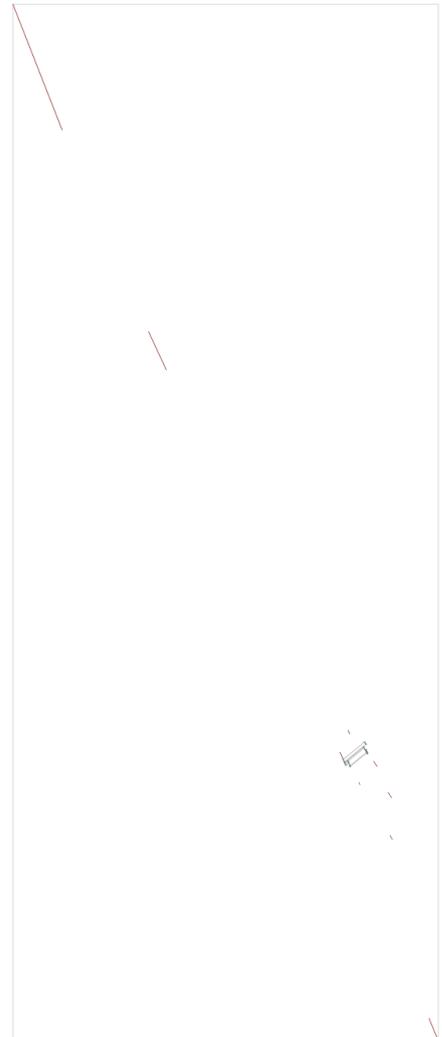
## KF4

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	60.01	°
Fallwinkel	69.99	°
Sphärische Öffnung	15.62	°
Konzentration	26.54	
Orientierungsgrad	92.75	%
Vertrauenskegel	5.61	°
Konfidenz	95.0	%
Anzahl an Orientierungsmessungen	26 / 26	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	13	
Trennflächenfrequenz	0.7863	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	1.27	m
Standardabweichung	1.10	m
Minimum	0.00	m
Maximum	2.57	m
Länge der Trennflächenspuren	3.32	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.26	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.18	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



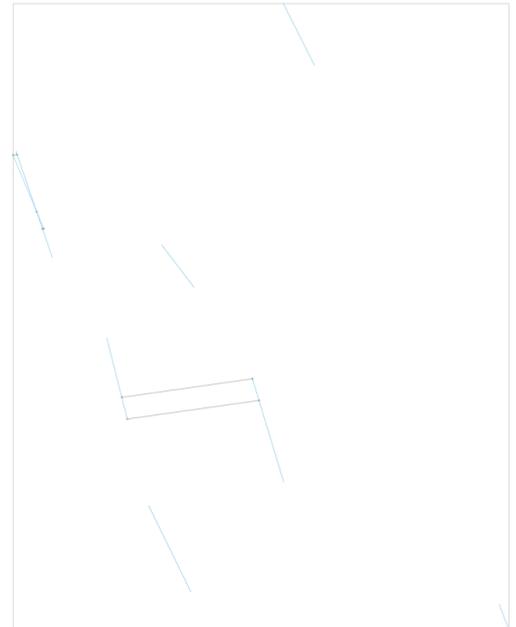
## KF5

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	325.61°	
Fallwinkel	82.97°	
Sphärische Öffnung	11.36°	
Konzentration	48.32	
Orientierungsgrad	96.12 %	
Vertrauenskegel	5.36°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	16 / 16	

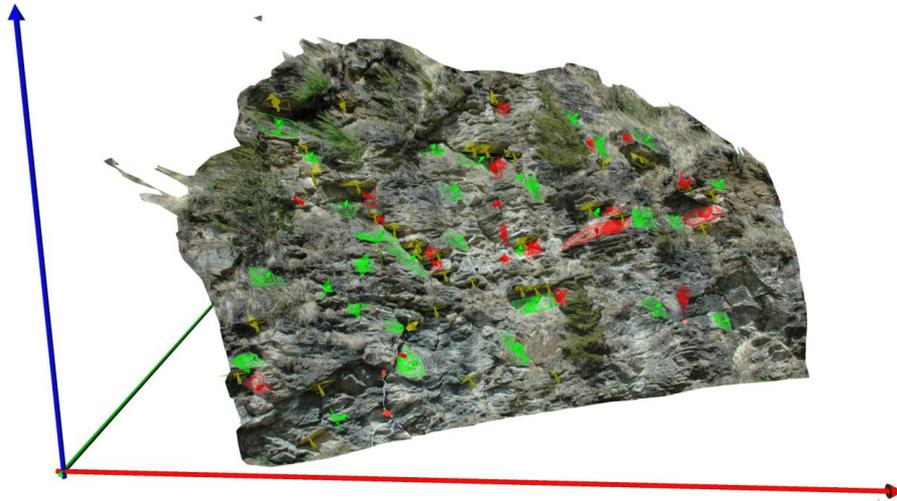
## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	8	
Trennflächenfrequenz	4.2199	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.24	m
Standardabweichung	0.31	m
Minimum	0.00	m
Maximum	0.58	m
Länge der Trennflächenspuren	2.48	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.31	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.13	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



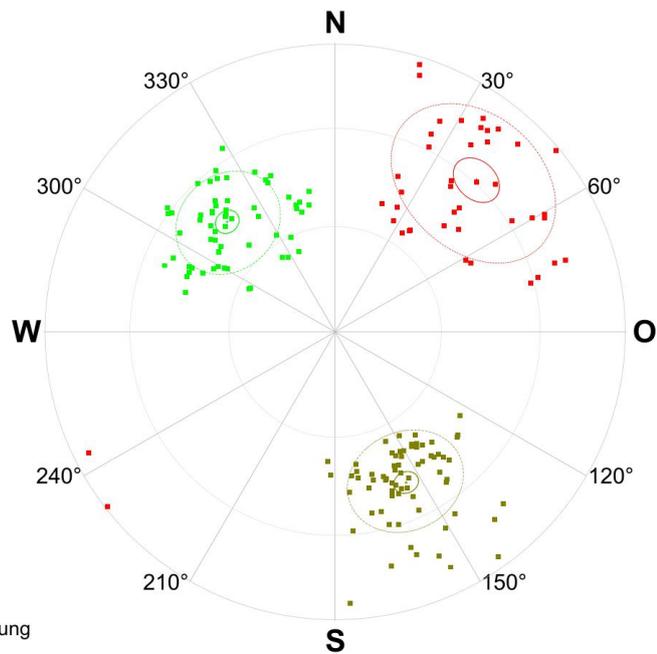
5.) Modell 5

So 21. Mai 21:10:09 2017



**Lagenkugel**

Lambert Projektion der unteren Halbkugel



License: Technische Universität Graz Institut für Angewandte Geowissenschaften Rechbauer Straße 12 8010 Graz

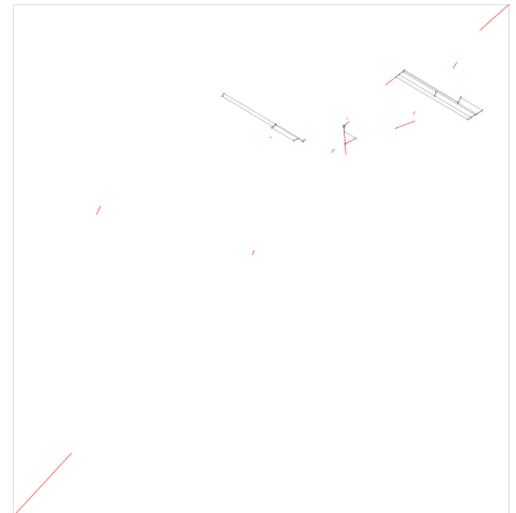
## KF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	222.72°	
Fallwinkel	61.13°	
Sphärische Öffnung	22.35°	
Konzentration	13.51	
Orientierungsgrad	85.55 %	
Vertrauenskegel	6.23°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	42 / 42	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	21	
Trennflächenfrequenz	0.7967	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	1.26	m
Standardabweichung	1.00	m
Minimum	0.00	m
Maximum	3.36	m
Länge der Trennflächenspuren	5.67	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.27	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.19	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



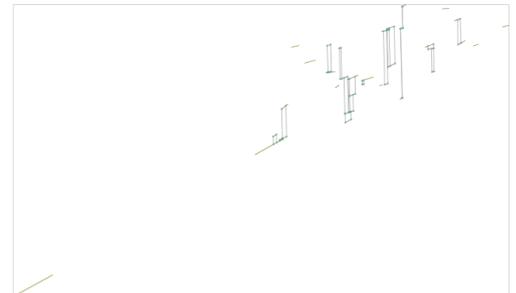
## KF2

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	334.95°	
Fallwinkel	48.23°	
Sphärische Öffnung	15.26°	
Konzentration	28.44	
Orientierungsgrad	93.07 %	
Vertrauenskegel	3.23°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	70 / 70	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	35	
Trennflächenfrequenz	0.7040	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	1.42	m
Standardabweichung	1.16	m
Minimum	0.00	m
Maximum	4.41	m
Länge der Trennflächenspuren	7.85	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.22	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.10	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m



## SF1

## Lagenkugelparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Fallrichtung	135.81°	
Fallwinkel	44.36°	
Sphärische Öffnung	14.53°	
Konzentration	31.24	
Orientierungsgrad	93.70 %	
Vertrauenskegel	3.28°	
Konfidenz	95.0 %	
Anzahl an Orientierungsmessungen	62 / 62	

## Trennflächenabstandsparameter

Beschreibung	Wert	Einheit
Anzahl an Trennflächenspuren	31	
Trennflächenfrequenz	1.6185	Trennflächenspuren/m
Mittelwert	0.62	m
Standardabweichung	0.61	m
Minimum	0.00	m
Maximum	2.75	m
Länge der Trennflächenspuren	13.36	m
Mittlere Länge der Trennflächenspuren	0.43	m
Standardabweichung der Länge der Trennflächenspuren	0.21	m
Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Mittlere Länge der Kluffbrücken	0.00	m
Standardabweichung der Länge der Kluffbrücken	0.00	m

