

Sandra Petersmann, BSc

Trennflächenmodellierung aus terrestrischen LiDAR-Datensätzen

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Am Institut für angewandte Geologie

Begutachter:

Ao.Univ.-Prof. Dr. Qian LIU

Graz, November 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Graz, am

Danksagungen

Allen voran möchte ich mich hier bei Ao.Univ.-Prof. Dr. Qian Liu für die Betreuung dieser Masterarbeit bedanken. Er hatte stets einen Termin für eine Besprechung frei und hat mit konstruktiver Kritik, Geduld und viel Elan an der Umsetzung dieser Arbeit beigetragen. Sehr positiv möchte ich seine zeitnahen Feedbacks und die Bereitstellung aller notwendigen Programme hervorheben. Ein herzliches Dankeschön!

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen beiden Großmüttern Hermine Petersmann und Elisabeth Reiter sowie meinen Eltern Bettina und Markus Petersmann. Ohne ihre finanzielle als auch in menschliche Unterstützung wäre dieses Studium nicht möglich gewesen.

Weiter möchte ich mich bei meinen geschätzten Studienkolleginnen Nudzejma Mehmedovski, Marlene Sarkopanig und Julia Woitischek bedanken, für viele gemeinsame Stunden des Lernens, Berichteschreibens und all der unvergesslichen Abende. Ohne ihre Bekanntschaft wäre meine Studienzeit nicht so ein schöner Lebensabschnitt geworden.

Danke auch an Hendrik, der das Korrekturlesen dieser Arbeit übernommen hat, und mich immer mit positiven Sichtweisen und Kaffee motiviert hat.

.

Kurzfassung

Hintergrund dieser Masterarbeit ist das Problem der Ermittlung von Trennflächengrößen und Abständen im dreidimensionalen Bereich. Hier soll eine Methode entwickelt werden, welche eine detaillierte Analyse dieser beiden Parameter innerhalb einzelner Bereiche eines Aufschlusses, schar- und ortsbezogen ermöglicht. Grundlage für diese Bearbeitung bilden terrestrische Lidar Datensätze von zwei verschiedenen Aufschlüssen. Ein Steinbruch in der Weststeiermark, im Stainzer Plattengneis und der Gipfelbereich des Feldkofel in Bad Bleiberg, Kärnten, welcher aus Triaskalk aufgebaut ist.

Bearbeitet wurde der gesamte Scan und nicht nur ein kleiner Ausschnitt, welcher repräsentativ sein soll. In die Reliefmodelle der Lidar Aufnahme wurden in dem Programm RiScan Pro v1.5.2 der Firma Riegl Trennflächen eingebaut. Ermittelt wurden die Trennflächensysteme sowie Orientierung, Häufigkeit, Größe und Koordinaten einer Trennfläche.

Die weitere Bearbeitung erfolgt mit der Software FracMan 7.40. In einzelnen Bereichen und Scharen wurden in der Software virtuelle Bohrungen eingebaut, welche als lokale Scanline dienen. Für jede Bohrung wurden Schwerpunktfäche, Trennflächengröße und Trennflächenabstand einzeln ermittelt. Der Vergleich dieser Werte mit dem Gesamtergebnis eines Bereichs erfolgt mit einem Two-sample T-Test. Die Ermittlung der lokalen Spurlänge erfolgt durch die Verschneidung mit gedachten Oberflächen an verschiedenen Bereichen.

Die Ergebnisse waren sehr überraschend. Mit dieser Methode wurden auch in einem scheinbar sehr regelmäßigen Aufschluss im Plattengneis große lokale Differenzen bei der Trennflächengröße ermittelt, was nur für den Aufschluss im Karbonat erwartet wurde. Für die weiteren ermittelten Parameter wurden lokal nicht so signifikante Unterschiede festgestellt. Mit Ausnahme des Trennflächenabstandes einer Kluftschar für den Feldkofel.

Abstract

The subject of this thesis is the problem of determining the size and spacing of discontinuities in 3D. The aim is to develop a method which allows a detailed and referenced analysis of these parameters within different areas of an outcrop. Therefore laserscan data of two outcrops had been analyzed. A quarry in West Styria, which is set within the Stainzer Plattengneis and the Top of the Feldkofel, which is set in Corinthia and made up of triassic carbonate.

In this case the total scan and not just a representative part had been analyzed. Into the relief models of the lidar data, discontinuities are fitted with the software RiScan Pro v1.5.2 from Riegl. The fracture model and orientation, intensity and size of a discontinuity are determined.

Further investigations are made with the software FracMan 7.40. In different outcrop parts and discontinuity sets virtual wells are installed which serve as local scanlines. For each well the center of gravity plane, discontinuity size and spacing are calculated. Those results are compared to the total result of an outcrop part with a two-sample t-test. The determination of the local trace is made by installing traceplanes in different parts of the outcrop.

The results are surprising. In the seemingly regular quarry in the gneis significant local differences concerning the discontinuity size have been found. This was only expected for the Feldkofel within the carbonate. For the other parameters the differences were not so significant, excluding the spacing of one discontinuity set for the Feldkofel.

Inhalt

Danksagungen.....	III
Kurzfassung.....	IV
Abstract.....	V
Inhalt.....	VI
1 Einleitung.....	1
2 Trennflächen.....	3
2.1 Parameter.....	4
2.1.1 Orientierung.....	4
2.1.2 Abstand.....	4
2.1.3 Persistenz.....	5
2.1.4 Rauigkeit.....	6
2.1.5 Öffnung.....	6
2.1.6 Füllung.....	7
2.1.7 Wasserverhältnisse/Seepage.....	7
2.1.8 Anzahl der Trennflächenscharen.....	7
2.1.9 Blockgröße.....	7
3 Derzeitige Praxis.....	8
3.1 Scan Line Methode.....	8
3.2 Window Mapping.....	11
4 Arbeitsgebiete.....	12
4.1 Angenofen.....	12
4.1.1 Geographische Lage.....	12
4.1.2 Geologie.....	12
4.2 Feldkofel.....	18
4.2.1 Geographische Lage.....	18
4.2.2 Geologie.....	19
5 Methodik.....	21
5.1 Terrestrisches Laserscanning:.....	21
5.1.1 Prinzip des Laserscanning:.....	22

5.1.2	Datenaufnahme	23
5.1.3	Auswertung der Daten	24
5.1.4	Allgemeines	26
5.1.5	Lidar Hardware	28
5.2	Verwendete Programme	28
5.2.1	RiScan	28
5.2.2	FracMan	28
5.2.3	Spharia	28
5.2.4	OpenStereo	29
5.2.5	R.....	29
6	Bearbeitung	30
6.1	Bearbeitung RiScan Pro.....	30
6.2	Spharia	34
6.3	Bearbeitung in FracMan.....	34
7	Berechnung und Statistische Auswertung.....	37
7.1	Orientierung	37
7.1.1	Schwerpunkt.....	37
7.1.2	Prozentueller Regelungsgrad oder Grad der bevorzugten Orientierung R% .	38
7.1.3	Der Konzentrationsparameter k	38
7.1.4	Der sphärische Öffnungswinkel ω	39
7.1.5	Der Vertrauenskegel	39
7.2	Äquivalenzradius	40
7.3	Trennflächenabstand	40
7.4	Auswertung mit R.....	42
8	Ergebnisse	45
8.1	Angenofen	45
8.1.2	Auswertung mit R.....	55
8.2	Feldkofel	75
9	Diskussion	89
9.1	Angenofen	89

9.2	Feldkofel	90
10	Fazit	92
11	Literaturverzeichnis	93
12	Internetquellen.....	95
13	Abbildungsverzeichnis	96
14	Tabellenverzeichnis.....	100
15	Anhang.....	103
15.1	RiScan Pro Laserscanmodell Angenofen	103
15.1.1	Angenofen	103
15.1.2	Feldkofel	107
15.2	Positionen der Bohrungen in FracMan	110
15.2.1	Angenofen	110
15.2.2	Feldkofel	115
15.3	Position der Traceplanes in Fracman.....	119
15.3.1	Angenofen	119
15.3.2	Feldkofel	121
15.4	R Auswertungen	124
15.4.1	Angenofen	124
15.4.2	Feldkofel	143

1 Einleitung

Hintergrund dieser Masterarbeit ist das Problem der Ermittlung von Trennflächengrößen und Abständen im dreidimensionalen Bereich. Es geht darum, eine Trennflächengröße die meist nur in 2D sichtbar ist, dreidimensional zu ermitteln und statistisch anzunähern. Die 3D Ausdehnung und Position ist eines der am schwierigsten zu ermittelnden Parameter in der Gebirgscharakterisierung, denn nur, wenn man eine vorhandene Gesteinsmasse komplett zerlegen könnte, wäre es möglich, die komplette Ausdehnung einer Trennfläche zu erfassen (Priest 1993). Da die Gebirgscharakterisierung aber oftmals sehr zeitaufwändig und kostspielig ist, und im Gelände auch sehr unübersichtlich sein kann, soll hier eine Methode entwickelt werden um Trennflächen mittels digitaler Unterstützung genauer zu untersuchen.

Um dies so exakt wie möglich zu bewerkstelligen bilden terrestrische Lidar (Light Detection And Ranging) Datensätze von Gesteinsaufschlüssen in verschiedenen Gesteinsarten sowie tektonischen Gegebenheiten die Arbeitsgrundlage. Lidar Datensätze erlauben ein rasches Bearbeiten eines Aufschlusses in der RiScan Umgebung. Alle numerischen Parameter welche eine Fläche definieren, können sofort als Datensatz generiert und exportiert werden. Orientierung und Position sind somit leicht zu ermitteln und dies mit einer sehr hohen Genauigkeit, da Lidar Datensätze in einem Projektkoordinatennetz georeferenziert sind. In diesen Datensätzen werden Trennflächen eingebaut, klassifiziert und anschließend statistisch aufbereitet. Ermittelt werden sollen:

- Die räumliche Verteilungen von Trennflächengröße und -orientierung
- Die räumliche Abweichung der Trennflächengröße von ihrem Mittelwert
- Die räumliche Abweichung der Trennflächenorientierung von ihrer Schwerpunkfläche

Jetzige Praxis ist es, Klüfte, Schieferung et cetera mittels Scanline oder Scanwindow aufzunehmen. Dabei werden durchschnittliche, scharbezogene, geometrische Parameter wie Orientierung, Abstand, und Spurlänge erfasst um einen Mittelwert der Klufkörpergröße ermitteln zu können. Dafür ist aber nur eine eindimensionale Zugänglichkeit gegeben. Weiters nimmt man an, dass alle Flächen einer Orientierungsschar entweder parallel sind oder einer bestimmten Verteilung folgen. Die räumliche Flächengröße wird durch den sogenannten 1D Durchtrennungsgrad zum Ausdruck gebracht. Dieser ist der offene Anteil der Trennfläche in Bezug auf deren gesamte Größe. Dessen Angabe erfolgt in Prozent und umgeht die genaue Position von einzelnen Flächen. Somit werden Flächen durch vereinfachte eindimensionale Parameter ersetzt. Diese Ergebnisse sind nur für größere Bereiche gültig. Im Rahmen dieser Arbeit soll nun ermittelt werden, ob dies für ein

detailliertes Design in der Konstruktionsphase, in der Felsböschung oder während des Tunnelvortriebs für ein wirtschaftliches Vorgehen ausreichend ist.

Aufschluss eins, Angenofen, befindet sich in der Weststeiermark in Österreich. Dabei handelt es sich um einen aktiven Steinbruch im Stainzer Plattengneis. Aufschluss zwei, der Feldkofel, befindet sich in Bad Bleiberg, Kärnten. Ein sehr unwegsames Gelände, dessen Hauptgesteinsart der Triaskalk ist.

2 Trennflächen

Zu Beginn sei definiert, was man unter dem Begriff einer Trennfläche versteht, und warum deren Analyse von Bedeutung in der Ingenieurgeologie ist.

Gesteinsmassen beinhalten normalerweise Merkmale wie Schieferungsflächen, Störungen, Fissuren, Brüche, Klüfte und andere mechanische Defekte welche, obwohl sie von einer Vielfalt an geologischen Prozessen geformt wurden, die verbreitete Eigenschaft von geringer Scherfestigkeit, vernachlässigbarer Zugfestigkeit und einer höheren Konduktivität als das umgebende Gestein besitzen. Der Begriff der Trennfläche (aus dem Englischen ‚discontinuity‘) wurde in den 1960er/70er Jahren eingeführt als übergeordneter Begriff, unabhängig vom geologischen Ursprung (Priest 1993).

Trennflächeneigenschaften sind:

- Größe
- Orientierung
- Häufigkeit
- Abstand
- Geometrie
- Genese

Die Dimension von Diskontinuitäten variieren von Millimetern bis zu Kilometern, abhängig von der Ausdehnung eines Bruches. Jedoch sind die ‚makroskopischen‘ Trennflächen, mit Dimensionen größer als die Korngröße des Gesteins wichtiger für das Verhalten einer Gesteinsmasse (Hollersbacher, 2014; Mandl, 2005).

Die Trennflächen im Gestein bilden sozusagen Schwachstellen, welche die mechanischen Eigenschaften grundlegend beeinflussen. Da diese in jeder Gesteinsart und an jedem Ort eine eigene Entstehungsgeschichte vorweisen, ist auch jede Lokalität gesondert zu beurteilen. Je nach Gesteinsart, Spannungshistorie und Witterungsbedingungen bilden sich Klüfte, welche wiederum verfüllt sein können und im weiteren bestimmend für die Festigkeit einer Gebirgsmasse sind. Daher ist es essentiell, ein Modell der Trennflächen zu erstellen um mit diesem im weiteren Verlauf eine geeignete Beurteilung der IST Situation treffen zu können. Vor allem in sehr steilem Gelände, in welchem es häufig zu Steinschlägen kommt werden Trennflächenmodelle erstellt, um Blockvolumina zu berechnen und Steinschlagsimulationen erstellen zu können.

2.1 Parameter

In diesem Kapitel sollen kurz die für die Ingenieurgeologie relevanten Parameter erläutert werden, wie diese beurteilt und ermittelt werden können. Zuerst erfolgt eine Definition und in Kapitel 7 „Berechnung und statistische Auswertung“ wird die Berechnung der, für diese Masterarbeit relevanten, Parameter erläutert. Laut der International Society Of Rock Mechanics (International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field tests 1978) wurden die folgenden Parameter für Trennflächen bestimmt:

- Orientierung
- Abstand
- Persistenz
- Rauigkeit
- Öffnung
- Füllung
- Seehöhe
- Anzahl der Kluftscharen
- Blockgröße

2.1.1 Orientierung

Die Orientierung wird mit der Einfallrichtung (Azimuth) und dem Einfallen in vertikaler Richtung beschrieben. Diese werden als Winkel angegeben, und mit einem sogenannten Clar Kompass gemessen.

2.1.2 Abstand

Der scharbezogene Trennflächenabstand ist der Normalabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Trennflächen. Meist wird dieser als Mittelwert angegeben. Berechnet wird dieser aus der Trennflächenhäufigkeit. Dieser Parameter ist vor allem für die Größe individueller Blöcke im Gestein ausschlaggebend (ISRM 1978). Eine genauere Erläuterung der Berechnung erfolgt in Kapitel Trennflächenabstand. Die Terminologie gemäß der IAEG ist in Tabelle 1 gelistet.

Tabelle 1: Trennflächenabstände, IAEG - International Association for Engineering Geology and the Environment (Eichler 2007)

Abstände	Schichtung	Klüftung	IAEG-Term
Größer 200cm	Massig	Kompakt (k)	Very widely spaced
60-200cm	Dickbankig	Weitständig (ws)	Widely spaced
20-60cm	Mittelbankig	Mittelständig (ms)	Medium spaced
6-20cm	Dünnbankig	Engständig (es)	Closely spaced
2-6cm	Dickplattig	Dichtständig (ds)	Very closely spaced
0,6-2cm	Dünnplattig	Sehr dichtständig (sds)	-
Kleiner 0,6cm	Blättrig	Störungszone	-

2.1.3 Persistenz

Gibt an, wie durchgängig eine Trennfläche im Gestein zu sehen ist. Dies kann eine ungefähre Einschätzung der 3D Ausdehnung ermöglichen. Die Termination innerhalb des Gesteins oder in einer anderen Trennfläche kann die Größe verringern. Man unterscheidet dabei 3 Typen der Persistenz (Abb. 1). Impersistent ist eine Spur dann, wenn diese zwar unterbrochen ist, jedoch kein Versatz stattgefunden hat (Abb. 1 a). Typ zwei nennt man intermittierend, auch hier ist die Spur unterbrochen, zusätzlich ist ein Versatz zu sehen (Abb. 1b)). Daher kann hier nicht mehr von einer durchgehenden Trennfläche gesprochen werden (ISRM 1978). Persistent bedeutet, die Spur ist ohne Unterbrechungen im Gestein zu sehen (Abb. 1c)).



Abb. 1: Die 3 Arten der Persistenz (Mauldon 1994). a) Intermittierende Spurlängen b) Impersistent c) Persistent

2.1.4 Rauigkeit

Beschreibt die Unebenheiten der Gesteinsoberfläche. Diese wird mit der Welligkeit und der Unebenheit charakterisiert Liu (2014a). Dessen Klassifizierung ist in Tabelle 2 und in Abb. 2 zu sehen.

Tabelle 2: Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheiten (Eichler 2007)

Rauhigkeit	Ebenheit	Schichtoberflächen
Rau	Getrept	Wellig
Gestriemt	Gebogen	Wulstig
Glatt	Gewellt	Knollig
Poliert (harnischartig)	Wulstig	Eben

Eben/Flach

Das Diagramm zeigt drei Spalten von Oberflächenprofilen. Die Spalten sind von links nach rechts mit 'rau', 'glatt' und 'harnischartig' beschriftet. Die Zeilen sind von oben nach unten mit 'stufig', 'wellig' und 'eben' beschriftet. In der Mitte des Diagramms steht 'Eben/Flach'. Die Profile zeigen unterschiedliche Wellenformen und Stufenhöhen.

Abb. 2: Profile für die Oberflächenbeschreibung (Eichler 2007)

2.1.5 Öffnung

Die Distanz zwischen zwei Trennflächenwänden (Nicht zwischen zwei verschiedenen Trennflächen). Diese wird als Normalabstand gemessen. Die Definitionen sind in Abb. 3 a) bis c) zu sehen.

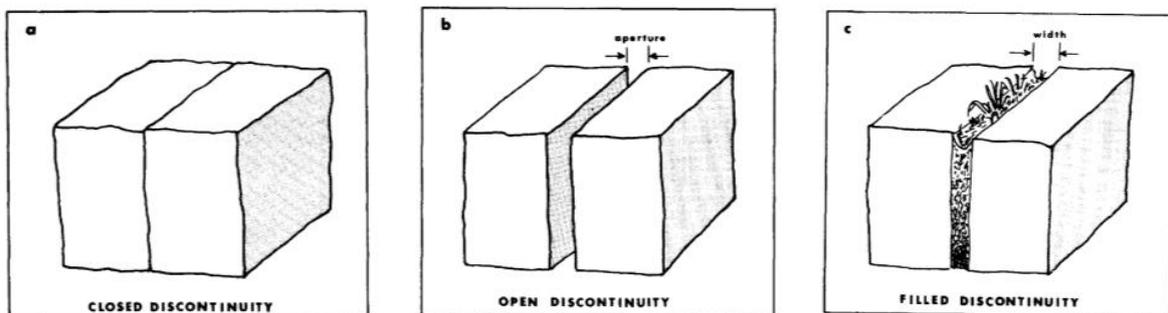


Abb. 3: Die Definition der Trennflächenöffnung (ISRM 1978). a) geschlossene Trennfläche b) geöffnete Trennfläche c) verfüllte Trennfläche

2.1.6 Füllung

Das Material, mit dem eine Klufflächenöffnung verfüllt ist, zu sehen in Abb. 3 c). Im Normalfall ist dieses schwächer als das umgebende Gestein. Typisches Füllmaterial ist Sand, Silt, Ton, Brekzien, Gänge und Mylonite. Auch Quarz und Calcitgänge werden dazugezählt. Diese beeinflussen auch maßgeblich die Durchlässigkeit und Stabilität des Gesteins. Wichtig ist die genaue Aufnahme des Füllmaterials (ISRM 1978).

2.1.7 Wasserverhältnisse/Seepage

Sichtbarer Wasserfluss und feuchte Oberflächen welche individuell pro Diskontinuität oder für die gesamte Gesteinsmasse beurteilt werden.

2.1.8 Anzahl der Trennflächenscharen

Gibt die Anzahl der Trennflächscharen an, welche das gesamte Kluftsystem bilden. Die Gesteinsmasse kann noch weiter in einzelne Diskontinuitäten unterteilt werden.

2.1.9 Blockgröße

Die Dimension welche Gesteinsblöcke annehmen, was durch die Orientierung der verschneideten Flächenscharen, und dem Abstand der einzelnen Sets abhängt.

Relevant für diese Arbeit sind die Orientierung, der Trennflächenabstand, die Häufigkeit, die Persistenz und die Klufflächensysteme, welche zur Auswertung herangezogen werden. Neben Parametern, die nur im Gelände aufgenommen werden können (Alterationszustand, Verfüllung), kann man die Rauigkeit sowie die Blockgröße auch sehr gut mittels Laserscan beurteilen (z.B. Larsen 2012; Auzinger 2014).

3 Derzeitige Praxis

Dieses Kapitel dient zur Erläuterung der in der Ingenieurgeologie üblichen Techniken zur Gebirgscharakterisierung. Leider ist es ja so, wie in Priest (1993) beschrieben, dass man nicht einfach eine komplette Gebirgsmasse zerlegen kann. Grundlage einer jeden Untersuchung sollte daher eine ausreichende Literaturrecherche sein. Geologische Karten und die Vorarbeit anderer Geologen können einem schon einiges an Information über den Untergrund, vorkommende Gesteinsarten, Falten, Bewegungsmechanismen und Genese des Geländes liefern. Danach erfolgt eine Begehung und Kartierung der Oberfläche und der Hydrogeologie, um Zusammenhänge besser zu verstehen, bisherige Informationen zu bestätigen oder diese evtl. zu widerlegen. In Folge dessen, erfolgt je nach Größe des Bauprojektes eine detaillierte Aufnahme des relevanten Bereichs, wofür es mehrere Methoden der Begutachtung gibt. Diese Beschreibung dient nur zur Erklärung für die grundsätzlichen Schritte einer geologischen Untersuchung, in der Praxis sind diese natürlich viel umfangreicher und beinhalten einige rechtliche und umwelttechnische Überprüfungen.

3.1 Scan Line Methode

Bei der Scan Line Methode wird entlang einer selbst gelegten Linie auf der Gesteinsoberfläche der Aufschluss so detailliert wie möglich aufgenommen, zu sehen in Abb. 4. Die Aufnahme erfolgt unter anderem mit Maßband/Lineal und dem Clark Kompass um die verschiedenen Parameter aufzunehmen. Wirklich akzeptierte Standards zur Scanline Aufnahme gibt es nicht. Eher muss die Technik je nach Lokalität und Beschaffenheit angepasst werden (Priest 1993).

Parameter die ermittelt werden können sind:

- Die Orientierung der Trennflächen: Klüfte, Schieferungsflächen und Harnischflächen werden aufgenommen
- Intersektion-Distanz: Distanz gemessen entlang der Scan Line vom Anfang bis zum Ende bzw. dem Schnittpunkt der jeweiligen Trennfläche
- Persistenz

- Terminationstyp: Der Terminationstyp gibt Auskunft über die Begrenzung einer Trennfläche und liefert ein Maß für die die Permeabilität (Durchlässigkeit) des Gebirges.
- Oberflächenparameter:
 - Welligkeit
 - Rauigkeit
 - Alteration

Das Problematische an dieser Methode ist, dass nur eine punktuelle Aufnahme erfolgt, welche dann das Gebirge charakterisiert. Auch können Trennflächen parallel zur Scanline nicht aufgenommen werden und erfordern eine weitere Scanline, am besten orthogonal zur ersten, um eine umfassendere Aufnahme zu ermöglichen.

Zur Bearbeitung im Gelände gibt es ein Formblatt, in welches alle Geländeparameter aufgenommen und eingetragen werden können, zu sehen in Abb. 5.



Abb. 4: Scanline Aufnahme im Gelände

3.2 Window Mapping

Alternativ zur Scanline Aufnahme gibt es das sogenannte Window Sampling. Bei diesem wird nicht entlang einer gedachten Linie ermittelt, sondern eine ganze Fläche (Fenster) des Aufschlusses (Pahl 1981). Prinzipiell werden die gleichen Parameter wie bei der Scanline Methode aufgenommen. Ideal ist es, wenn das Fenster so groß wie möglich gewählt wird, damit dieses repräsentativ für das Gebirge ist. Jede Seite des Fensters, sollte sich nach Priest (1993) mit 30 bis 100 Flächen verschneiden. Am besten ist es, sofern möglich, ein zweites Fenster aufzunehmen, welches orthogonal zum ersten steht, um wirklich alle Diskontinuitäten exakt aufzunehmen.

Heutzutage wird ein Window Mapping mit Hilfe der Geofernerkundung durchgeführt, da eine analoge Aufnahme aller Flächen in einem Fenster doch sehr mühsam ist. Meistens greift man dabei für kleinere Bereiche auf die Photogrammetrie zurück. Dabei werden zwei digitale Bilder zu einem Stereobild zusammengefügt, woraus sich ein 3D Bild ergibt, welches zur Auswertung genutzt wird. Bei der Aufnahme ist darauf zu achten, dass Objekte im Vordergrund (Vegetation) entfernt werden, damit der Aufschluss gut sichtbar ist. Mit drei Referenzpunkten in den Bildern, werden diese schließlich zu einem zusammengelegt. Durch diese einfache und schnelle Analyse, ist das Window Mapping mittels Photogrammetrie der Scan Line Methode überlegen, da diese weitaus mehr Zeit in Anspruch nimmt.

Auch bei dieser Methode wird ein kleiner Ausschnitt herangezogen, um eine ganze Gebirgsmasse zu charakterisieren. Daher geben auch sie keine exakten Werte aus, sondern einen Mittelwert aus einem repräsentativen Ausschnitt.

Bei der in dieser Arbeit vorgestellten Methode soll ein Aufschluss komplett aufgenommen werden, was ein grundlegender Unterschied zu den oben beschriebenen Methoden darstellt. Jede einzelne Trennfläche soll in RiScan beachtet und eingebaut werden. Anschließend soll ermittelt werden, ob die Ergebnisse signifikante Unterschiede an unterschiedlichen Bereichen des Gebirges aufweisen und ob sich dieser Mehraufwand wirklich lohnt. Beide der in dieser Arbeit vorgestellten Aufschlüsse wurden bereits in anderen Arbeiten bearbeitet ((Auzinger 2014; Weber 2013; Larsen 2012). Dabei sei aber auch erwähnt, dass man auch diese Methode durchaus als erweiterte Form des Window Mapping beschreiben kann, da auch der aufgenommene Scan nur einen Teilbereich des Gebirges darstellt.

4 Arbeitsgebiete

Insgesamt wurden zwei Lokalitäten in zwei verschiedenen Gesteinsarten bearbeitet.

4.1 Angenofen

4.1.1 Geographische Lage

Der hier aufgenommene U - Steinbruch befindet sich in der Steiermark, in Österreich, in der Nähe des Dorfes Angenofen, welches Teil der Gemeinde Stainz ist, zu sehen in Abb. 6. Zur Bearbeitung wurde dieser in drei Teilbereiche gegliedert (Abb. 10).

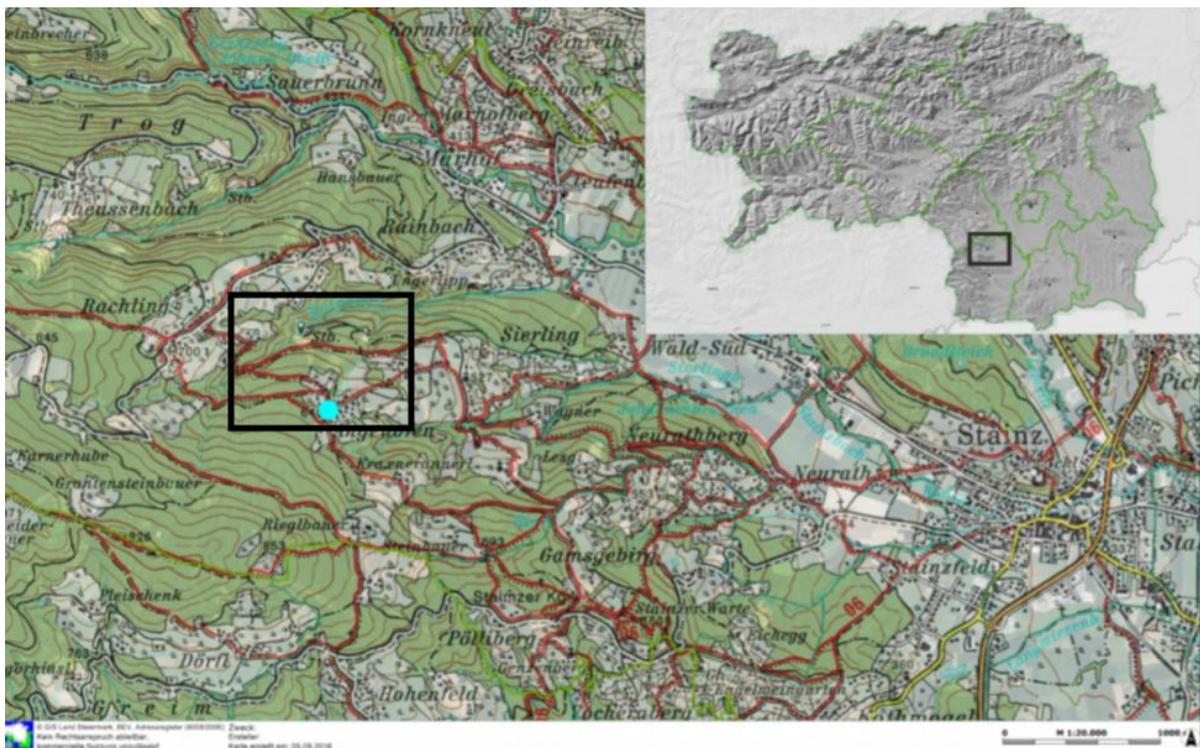


Abb. 6: Karte vom Steinbruch nördlich von Angenofen M1:50 0000 (GIS-Steiermark)

4.1.2 Geologie

Hier wird Plattengneis, genauer der ‚Stainzer Plattengneis‘ abgebaut. Dieser formt eine wichtige Scherzone innerhalb des Austroalpinen Deckenkomplex der Ostalpen und wird dem Koralm Komplex zugeordnet (Kurz et al. 2002). Ein Modell dazu findet sich in Abb. 7. Der Koralm Komplex selbst ist wiederum Teil der Koriden Einheit innerhalb des Mittel-Austroalpinen Deckenkomplex, welcher hauptsächlich innerhalb der Koralpe, der Saualpe und dem Pohorje Massiv zu Tage tritt (Frank et al. 1992). Diese Scherzone hat sich wahrscheinlich während des frühkreide Kollisionsereignisses innerhalb der Austroalpinen Einheit gebildet (Frank 1987; Krohe 1987; Stüwe und Powell 1995). Mehrere sehr wichtige Scherzonen wurden bei diesem Ereignis gebildet, wobei der Plattengneis einer der

Hauptzonen repräsentiert (Kurz et al. 2002). Abb. 8 zeigt die geologische Detailkarte des ersten Gebietes.

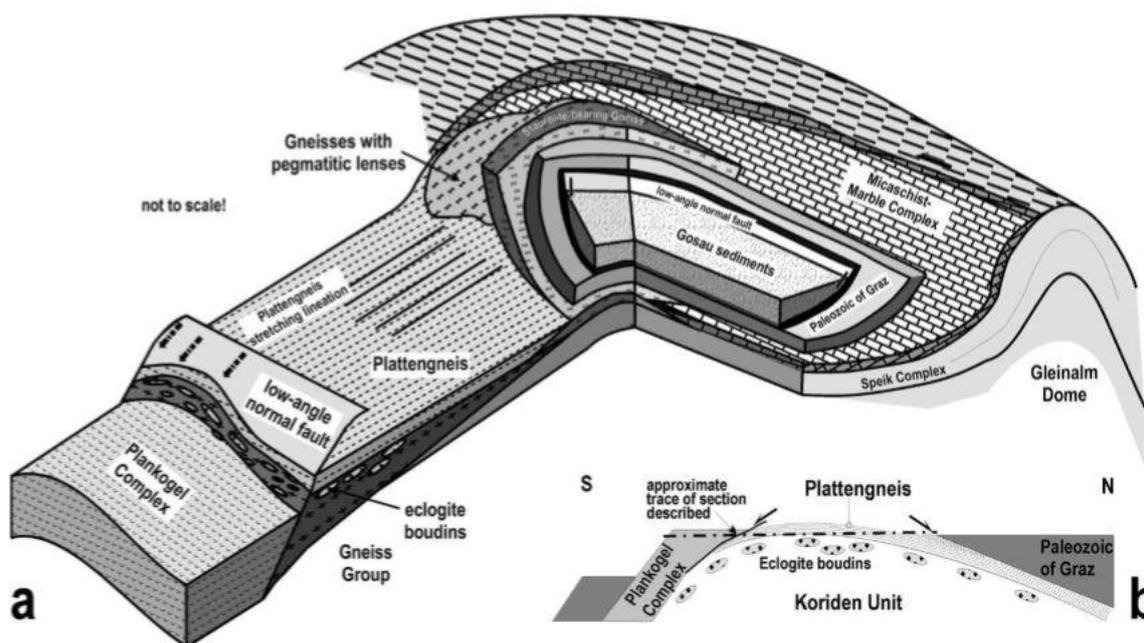


Abb. 7 a) Modell, welches die strukturelle Beziehung zwischen dem Koralm Komplex und den umgebenden tektonischen Einheiten der östlichen Zentralalpen zeigt. b) Skizze, welche die Beziehung des Koralmkomplex, des Plankogelkomplex and des Grazer Paläozoikums entlang einer SSW- NNO Achse darstellt (Kurz et al. 2002).

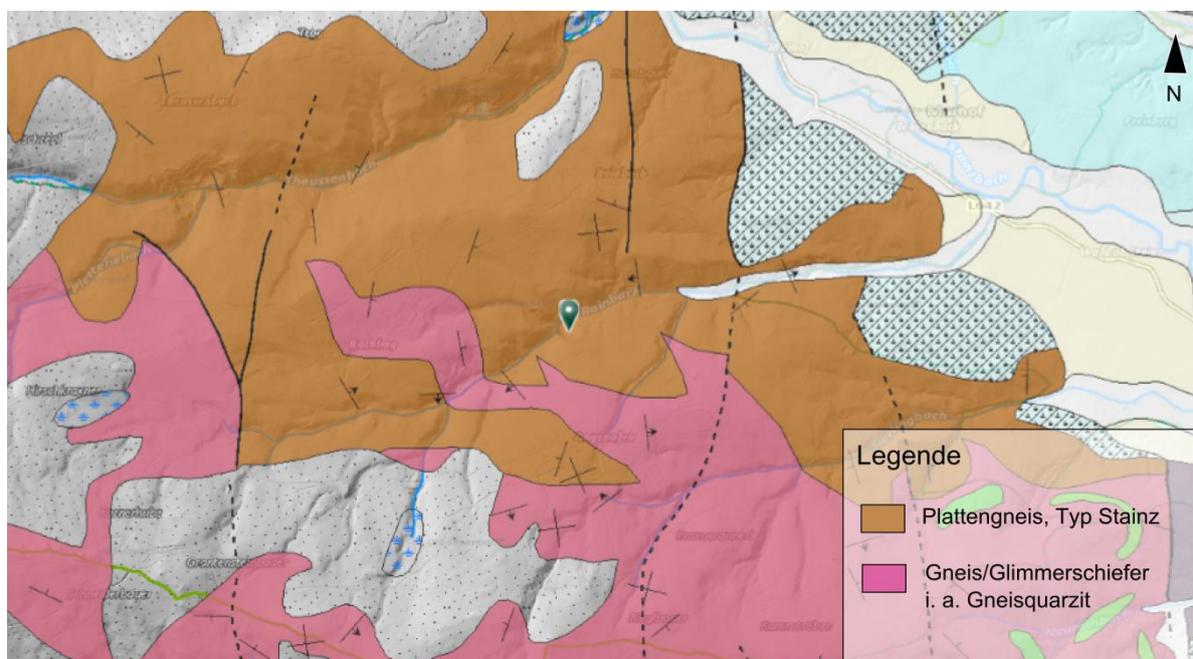


Abb. 8: Geologische Karte der ersten Lokalität, der Steinbruch befindet sich im Stainer Plattengneis. M1:20000 (Gis-Steiermark, nachbearbeitet).

4.1.2.1 Tektonische Entwicklung

Das jetzige Erscheinungsbild der Alpen ist hauptsächlich durch spät orogenes Strike-Slip und extensionales Verfallen im Miozän geprägt worden (Frisch et al. 2000). Strukturell wird die Koralm im großen Maßstab von offenen Faltstrukturen von WNW-OSO Faltachsen dominiert (Putz et al. 2006; Brosch und Pischinger 2014). Pischinger et al. (2008) , identifizierte näherungsweise 4 bzw. 6 Hauptdeformationsereignisse für die neogene tektonische Evolution im Miozän und Pleistozän. Diese sollen in der folgenden Aufzählung kurz dargestellt werden, für eine detaillierte Beschreibung sei hier auf Pischinger et al. (2008) verwiesen. Eine graphische Darstellung der tektonischen Evolution findet sich in Abb. 9.

- **D1-1: NNW-SSE Kompression im Karpatium (> 18Ma) D1-2: (N)NO-(S)SW Extension im Spätkarpatium (18-17Ma) (Abb. 9 a)**
 - Aktivierung von WNW – reichenden Brüchen im südlichen Teil der Koralm als dextrale Strike- Slip Störungen
 - WNW reichende Mulden, welche mit grobblöckigem Schuttmaterial verfüllt sind.
 - W bis WNW reichende Brüche werden als Abschiebung reaktiviert, was eine N-S Extension indiziert.
- **D2: O-W Extension im Spätkarpatium/Frühbadenum (17-16 Ma) (Abb. 9 b) und c)**
 - Es kommt zu einer O-W gerichteten Extension, welche zeitgleich mit einer Hebung des Sausalgebirge stattfindet.
 - Kippen der Krustenblöcke, was die Teilung des Steirischen Beckens in einen westlichen und einen östlichen Teil, getrennt durch die Mittelsteirische Schwelle, bewirkt.
 - Schräge Abschiebungen entlang der Lavanttal Störung.
 - Westlicher Teil des Steirischen Beckens: Grobkörniger Alluvialschutt.
 - Keine sarmatischen (12,7 – 11,6 Ma) und pannonischen (11,6 – 7,2 Ma) Sedimente während dieser Zeitspanne.

- **D3-1: NO – SW Kompression und D3-2: NW – SO Extension im Sarmatium/Pannonium (13-10 Ma) (Abb. 9 d))**
 - Post-sarmatische Hebung, zeitgleich mit einer Reaktivierung von Nordwärts gerichteten Abschiebungen (Koraln Basement und W-steirisches Basement)
 - Hebung des Koraln Komplexes , zum Teil zusammen mit dem weststeirischen Becken. Hebung um ca. 600m.
 - Assoziierend mit einer O – W Extension, N – S streichende Abschiebungen.
 - Dies zeigt sich über ein ausgeprägtes Relief, was zu einer gesteigerten Erosion und subsequenter Deposition (Grobe Klastika in benachbarten Becken) führt.
- **D4: O – W Kompression im Pliozän (9-6 Ma) (Abb. 9 e))**
 - Erosion des steirischen Beckens, zusammen mit einer Inversion des Beckens
 - Reaktivierung von Abschiebungen entlang der Ostgrenze der Koraln als Aufschiebung.
 - Zusammenhängend mit der O – W gerichteten Kontraktion indiziert von einer subhorizontalen O – W Orientierung der maximalen paläostress Axen. Daraus resultiert die Inversion des steirischen- und des Lavanttalbeckens (Pischinger et al., 2007).

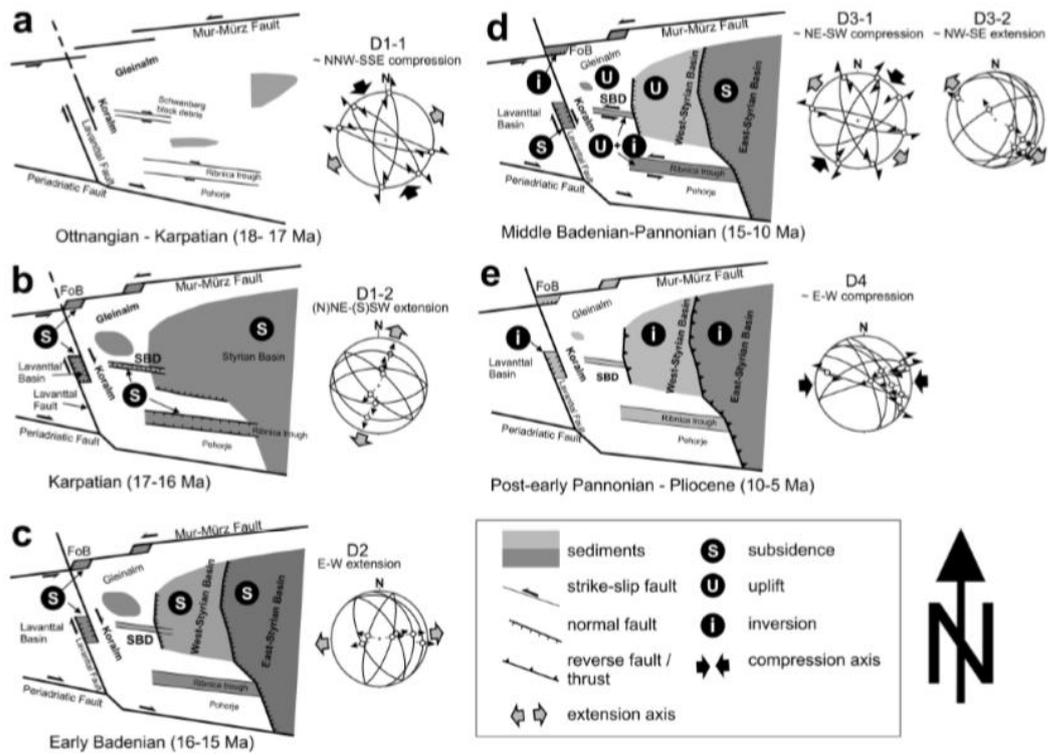


Abb. 9 Aus Pischinger et al. 2008: Schematische Darstellung der tektonischen Evolution des zentralen, südlichen Koralm Massiv und dem Steirischen Becken während des Miozän (Fob = Fohnsdorf basin; sbD = schwanberg block debris).



a)



b)



c)

Abb. 10: Bilder der drei Teilbereiche des Aufschluss Angenofen, aufgenommen am Tag der Laserscanaufnahme. a) Linker Bereich b) Mittlerer Bereich c) Rechter Bereich

4.2 Feldkofel

4.2.1 Geographische Lage

Der Feldkofel befindet sich ebenfalls in Österreich, genauer in Kärnten und ist Teil der Gemeinde Bad Bleiberg (siehe Abb. 11). Diese Lokalität ist interessant für eine Bearbeitung mittels Fernerkundung, da es hier häufig zu Steinschlägen kommt (Weber 2013). Daher wurde diese schon im Zuge mehrerer Arbeiten analysiert und beurteilt (Auzinger 2014; Weber 2013), unter anderem im Hinblick auf die Berechnung von Blockgrößen, welche aus dem Hang ausbrechen können. Wie in Abb. 12 zu sehen sind am Fuße des Feldkofels einige Einfamilienhäuser zu finden. Der Gipfel befindet sich auf einer Seehöhe von 1444m, Bad Bleiberg befindet sich auf 902m Seehöhe. Für diese Arbeit wurde der Gipfelbereich genauer bearbeitet.

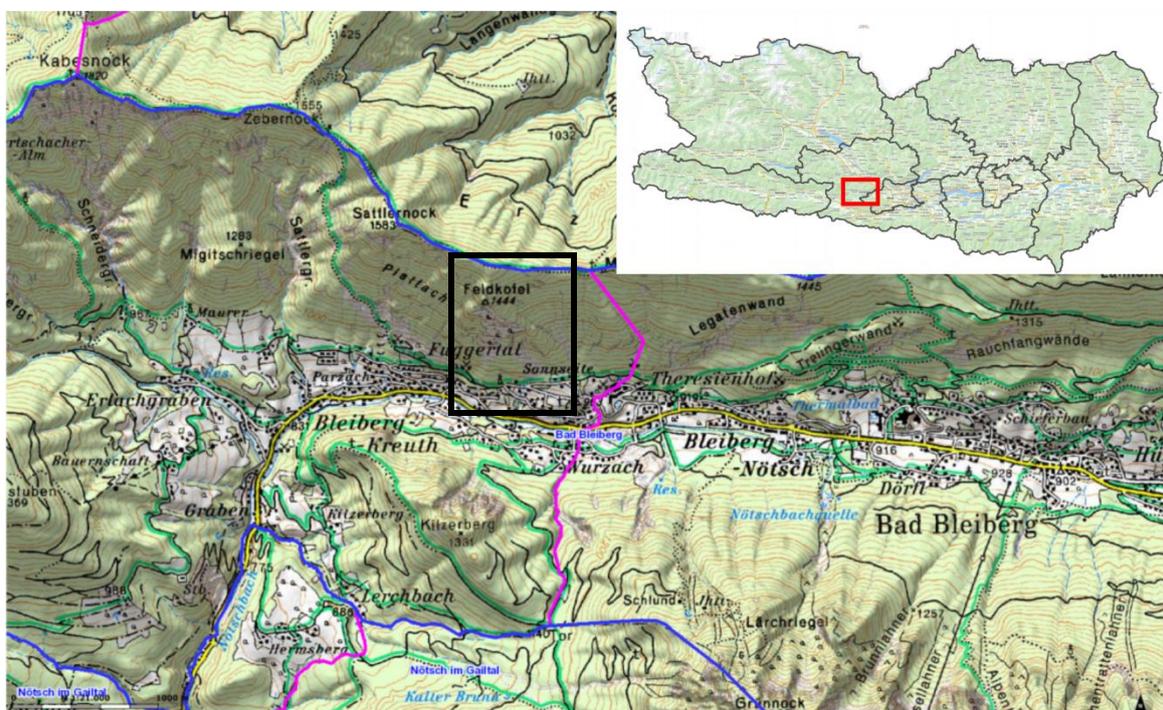


Abb. 11: Geographische Lage des zweiten Gebietes Feldkofel in Kärnten M1:21000 (KAGIS – Kärnten Atlas, nachbearbeitet).



Abb. 12: Komplettaufnahme des Feldkofel vom Tal. Oben ist der bearbeitete Gipfelbereich.

4.2.2 Geologie

Dieses Gebiet ist Teil des Drauzuges und gehört zur nordalpinen Trias des Oberostalpins. Bei dem Gestein handelt es sich um eine Wettersteinkalkformation (siehe Abb. 13 und Abb. 14 b)), welche im Ladin (~237 bis vor ~228 Mio. Jahren) entstanden ist (Anderle, 1977).

Die Mächtigkeit der Bankung variiert in unterschiedlichen Bereichen zwischen mehreren Dezimetern und Metern. Im Bereich des Gipfels ist sogar ein massiges Erscheinungsbild zu sehen. Durch Verwitterungsprozesse und Entspannung des Gebirges ist es höchstwahrscheinlich zu einer Auflockerung und damit zu einer Destabilisierung des Gesteinsverbandes gekommen. In Folge dessen Instabilitäten entstanden sind (Weber 2013). In Abb. 14 a-d) sind sowohl der Gipfelbereich im Gesamten, als auch Detailaufnahmen von Oben und dem Gestein zu sehen.

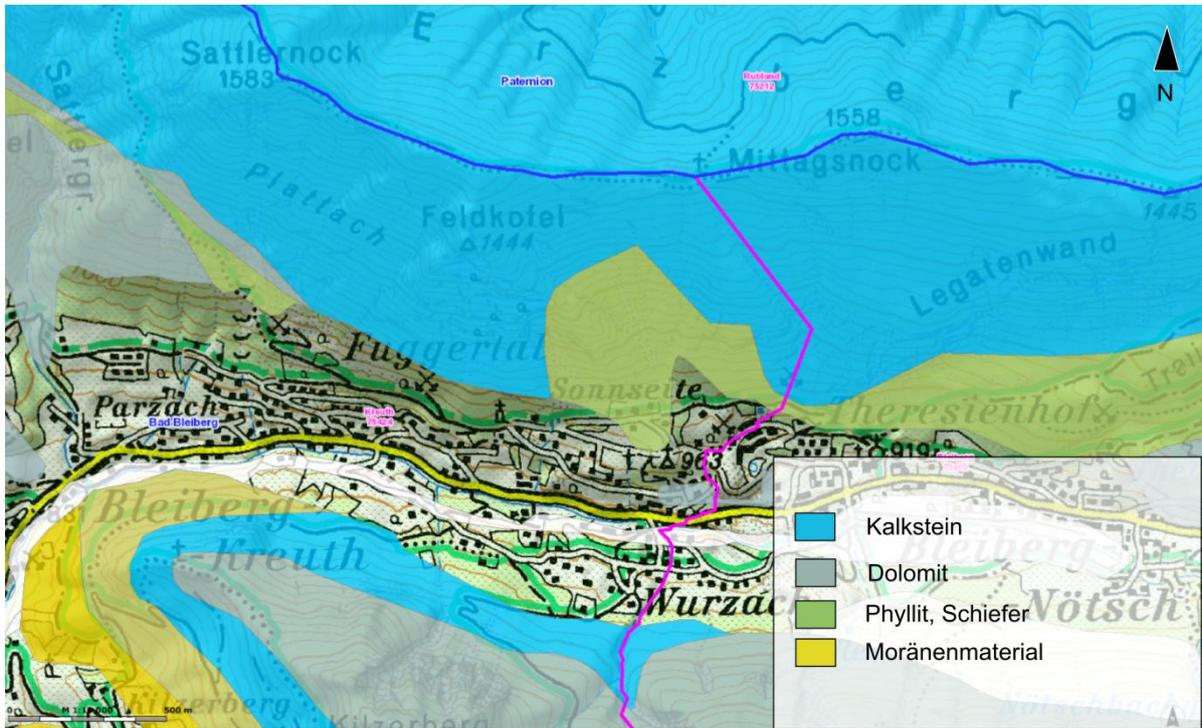


Abb. 13: Geologie Feldkofel M1:10000 (KAGIS – Kärnten Atlas; nachbearbeitet).

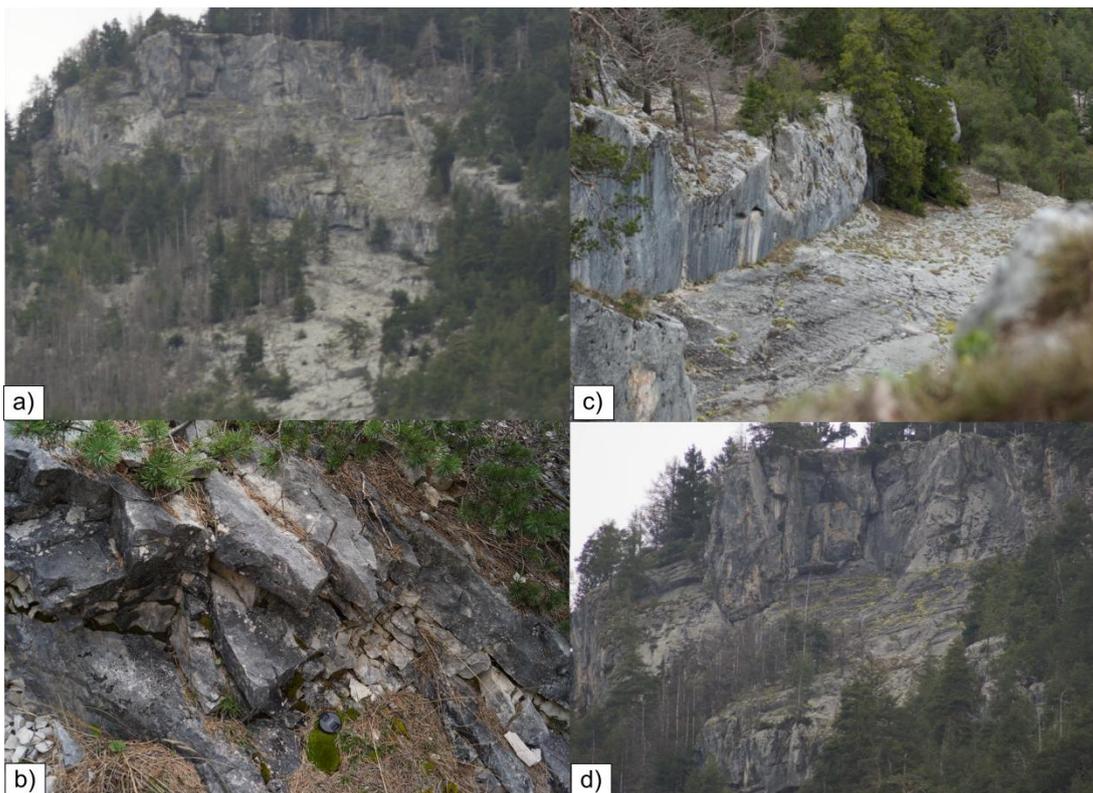


Abb. 14: Photoplatte Feldkofel. a) Überblick des Gipfelbereiches b) Detailaufnahme des Triaskalk, deutlich zu sehen sind die Bankungsflächen. c) Detailaufnahme von Oben d) Nähere Überblicksaufnahme vom Gipfel.

5 Methodik

In diesem Kapitel wird auf die Arbeitsweise sowie auf die verwendeten Programme eingegangen.

5.1 Terrestrisches Laserscanning:

Das Lidar, auch bekannt als 3D terrestrisches Laser Scanning (TLS) ist eine Technik, welche mittlerweile ein etablierter Bestandteil zur geologischen Untersuchung von Aufschlüssen geworden ist. Diese Tatsache ist u. a. mit dem technischen Fortschritt der letzten Jahre zu begründen. Einerseits wurden die Geräte kleiner und robuster für den Einsatz im Gelände, andererseits wurde es durch verbesserte Rechner möglich mit großen Datensätzen zu arbeiten, welche dieses Verfahren mit sich bringt (BUCKLEY et al. 2008). Der Begriff ‚terrestrisch‘ dient zur Differenzierung von dem ‚aerial‘ Laserscanning, bei dieser Arbeit handelt es sich um Daten eines terrestrischen Laserscans. Das TLS hat bereits eine vielseitige Anwendung im Bereich der Geologie, unter anderem in der Durchführung von Kartierungsarbeiten oder der Erosions- und Überflutungsüberwachung (Wehr und Lohr 1999).

Dieses laserbasierte Messungssystem erlaubt eine schnelle Ermittlung von detaillierten Punktdaten, welche eine Oberfläche mit den wahren Koordinaten beschreiben. Dabei kann das Lidar System mit einer kalibrierten, hochauflösenden Kamera ausgestattet werden, welche es ermöglicht Fotos aufzunehmen, um so die ‚True Color‘ Information der Lidar Punktwolke zu erfassen (Abb. 17 c)) (Liu and Kiefer 2012). Dadurch wird auch die Interpretation der Laserdaten vereinfacht.

5.1.1 Prinzip des Laserscanning:

Die folgende Erklärung orientiert sich an Haring 2003, Kapitel 2.1.

Bei einer Laserscanner-Aufnahme wird die Oberfläche des zu vermessenden Objektes durch einen Laserstrahl automatisch sukzessive abgetastet. Dabei durchläuft der Laserstrahl ein Raster, dessen Gitterweite durch vorgegebene aber jeweils konstante Winkelschrittweiten in horizontaler und vertikaler Richtung bestimmt ist (siehe Abb. 15).

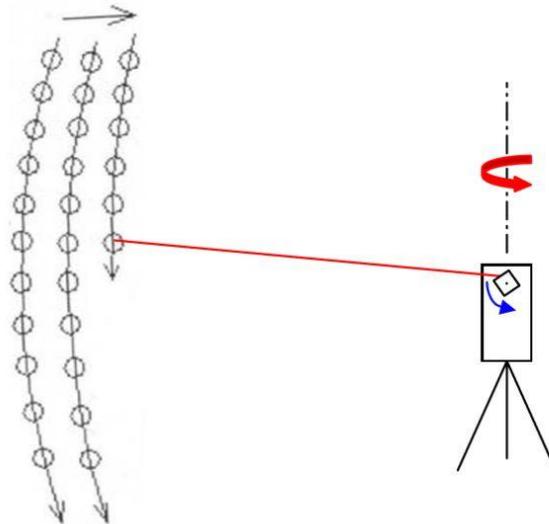


Abb. 15: Aufnahmeprinzip beim terrestrischen Laserscanning (Haring 2003)

Durch eine (i. a. optomechanische) Ablenkungseinheit erfolgt die Ausrichtung des Strahls in die einzelnen Richtungen. Entlang einer vertikalen Scan-Zeile wird der Vertikalwinkel um eine konstante Schrittweite solange erhöht, bis das Ende der Zeile (eines Vertikal-Scans) erreicht ist. Der Horizontalwinkel wird anschließend um eine konstante Schrittweite erhöht und der nächste Vertikal-Scan wird durchgeführt. Der aufzunehmende Bereich kann durch einen Horizontal- und einen Vertikalwinkelbereich vorgegeben werden (Haring 2003).

Die Distanz zur Objektoberfläche wird für jede eingestellte Strahlrichtung bestimmt, ebenso die tatsächlichen Ist-Werte der beiden Winkel, die im Allgemeinen geringfügig von den durch den Schrittweiten vorgegebenen Soll-Werten abweichen. Dadurch erhält man, im Gegensatz zu photographischen Aufnahmen, welche ein photogrammetrisches Strahlenbündel festlegen, für jeden Punkt die 3D Polarkoordinaten (Haring 2003).

Das Ergebnis einer Aufnahme ist eine 3D Punktwolke im lokalen Scanner Koordinatensystem. Zusätzlich zu den Polarkoordinaten wird für jeden Punkt ein Intensitätswert registriert. Dieser Intensitätswert ist an retroreflektierenden Folien, welche zur Signalisierung von Verknüpfungspunkten verwendet werden, um ein Vielfaches größer als an diffus reflektierenden Materialien (Haring 2003).

5.1.2 Datenaufnahme

Bei der Aufnahme der Daten ist es wichtig, schon vor dem Start der Messung festzulegen, was man im Detail erfassen will. Nur so kann man die richtigen Standorte für die Laserscans und die gewünschte Auflösung einstellen, um einen einwandfreien Scan aus verschiedenen Blickwinkeln aufnehmen zu können (Siehe Abb. 16). Störende Faktoren, wie Vegetation vor dem aufzunehmenden Objekt sollten, wenn möglich, entfernt werden da diese die Messung verfälschen oder Löcher im Scan verursachen

Der Laserscanner muss während der Messung einen festen Stand haben und darf sich nicht bewegen. Die Scanner haben das Potential enorme Datenmengen aufzunehmen, oft viel mehr, als eigentlich notwendig wäre. Daher ist es wichtig die Auflösung so einzustellen, dass es den Anforderungen und den geologischen Gegebenheiten entspricht – ‚fit for purpose‘. Die Auflösung des gescannten Grids ist benutzerdefiniert, entweder in Winkleinheiten oder in Distanzeinheiten. Distanzeinheiten sind problematischer, da sie variieren, während die anguläre Auflösung konstant bleibt. In diesem Fall muss die Größe des Rasters angegeben werden, bezogen auf einen bestimmten Bereich z.B. die Aufschlussgröße. Aus einer guten Planung entsteht ein Projekt, welches den Anforderungen entspricht und keine unnötig großen Datenmengen entstehen lässt bzw. die Aufnahmezeit unnötig in die Länge zieht (BUCKLEY et al. 2008).

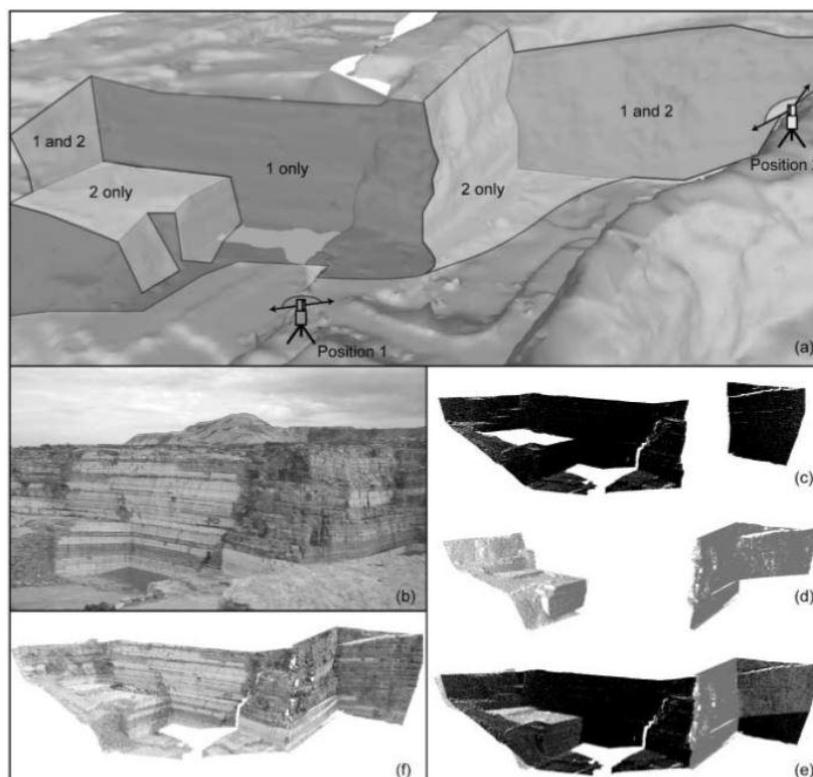


Abb. 16: Das Referenzieren von zwei verschiedenen Scanpositionen aus BUCKLEY et al. 2008. Eine optimale Oberflächenabdeckung ist das Ziel.

Für die Distanzmessung gibt es mehrere Verfahren, auf die ich hier nicht weiter eingehen werde, da Sie für die Bearbeitung dieses Themas nicht von Relevanz sind. Daher möchte ich auf die Arbeit von Auzinger 2014 verweisen, in der eine kurze Zusammenfassung der jeweiligen Verfahren der Distanzmessung aufgelistet ist.

5.1.3 Auswertung der Daten

Nun müssen die einzelnen Scans eines Projektes zusammengeführt werden. Darauf soll hier nur grob eingegangen werden, wie dies im Programm RiScan Pro erfolgt.

Für jeden Scan wurden sogenannte Verknüpfungspunkte, in der Software als ‚Tiepoint‘ bezeichnet, angelegt. Dies erfolgt bereits im Gelände mittels retroreflektierender Folien, der Verknüpfungspunkt befindet sich in dessen Zentrum. Diese Punkte sind in der sogenannten ‚Tiepoint List‘ definiert, und können in einem eigenen Projektkoordinatensystem, als auch in ein globales transferiert werden. Mit Hilfe dieser Punkte ist es nun möglich, die einzelnen Scans übereinander zu legen, um so eine flächendeckende Punktwolke zu erzeugen, wie in Abb. 16) c-e) dargestellt. Bei Angenofen wurden drei Scanpositionen aufgenommen und übereinander gelegt. Diesen Prozess bezeichnet man als ‚Registration‘ bzw. wird mit Referenzierung ins Deutsche übersetzt.

Weiter kann aus den gewonnenen 3D Daten ein sogenanntes ‚Mesh‘ erzeugt werden. Dabei wird die Punktwolke in eine geschlossene Oberfläche verwandelt, indem die einzelnen Punkte mit Dreiecken verbunden werden, was weiterführend auch bedeutet, dass vorhandene Löcher im Scan geschlossen werden, zu sehen in Abb. 17 b) und c). Problematisch ist, dass es dadurch zur Verfälschung des Scans kommen kann.

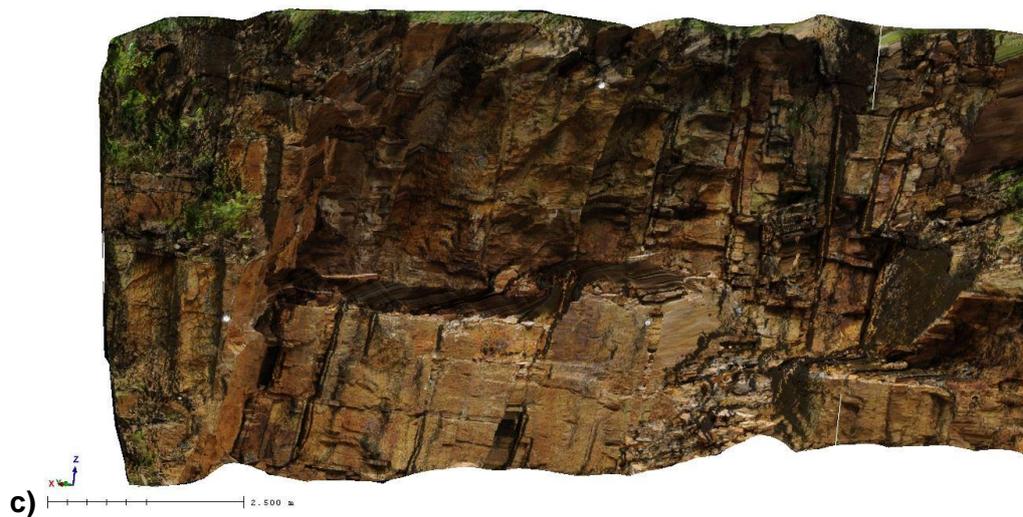


Abb. 17: Gegenüberstellung der Laserscandaten von Angenofen. a) Punktwolke der linken Seite des Aufschlusses. b) Triangulierte Version. c) Triangulierte Version mit hinterlegtem Bild des Aufschlusses.

5.1.4 Allgemeines

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Lidar Technik prinzipiell ein sehr wichtiges und unverzichtbares Element zur Untersuchung von Aufschlüssen geworden ist. Durch die exakte Aufnahme im Gelände kann man es problemlos zur digitalen Kartierung von Kluftsystemen und Störungen verwenden. Wie bei BUCKLEY et al. 2008 beschrieben, kann man die dadurch gewonnene Zeit nun dazu verwenden, um andere wichtige Parameter des Gesteins, wie den Alterationszustand, Kluftverfüllungen, die Brüchigkeit etc. genauer zu beurteilen.

Die Vorteile dieses Systems sind:

- **Lichtunabhängig**
Dass es auch ohne Beleuchtung an dunklen Orten funktioniert, da der Scanner als seine eigene Lichtquelle dient (Fekete et al. 2010). Daher ist dieses Messsystem von Umwelteinflüssen wie dem Licht der Sonne weitestgehend unabhängig.
- **Reichweite**
Die Reichweite von dem Scanner zum Aufnahmeobjekt ist natürlich von Anbieter zu Anbieter und dem Scannermodell unterschiedlich. Generell lässt sich aber sagen, dass je nach Zielreflektivität eine Reichweite von über 1000m durchaus möglich ist. Dies hängt natürlich auch mit der benötigten Auflösung für den Scan zusammen.
- **Hohe Präzision**
Die erreichbaren Genauigkeiten liegen bei 2-5 mm für den einzelnen 3D-Punkt. Für aus mehreren Punkten approximierten Normgeometrien wie z.B. Kugel-, oder Zylinderfläche können so Millimeter-Genauigkeiten erzielt werden. Genauigkeitsbegrenzend ist bei beiden Verfahren die Definitionsunschärfe und Rauigkeit der natürlichen Objektoberflächen (Kern, 2007).
- **Schnelligkeit**
Die Lidar Systeme zeichnen sich durch sehr schnelle Aufnahme einzelner Scans aus. Die Messgeschwindigkeit eines Laserscanners liegt bei weit über 1.000 Messpunkte pro Sekunde (Kern, 2007).
- **Maßstab**
Eine 3D Punktwolke wird in einem 1:1 Maßstab skaliert und kann problemlos in der dazugehörigen Software bearbeitet werden.
- **Berührungslose Vermessung**
Das Objekt kann von einem frei wählbaren Ort innerhalb der Reichweite aufgenommen werden. Dies ist vor allem in sehr unwegsamen und gefährlichem Gelände äußerst nützlich, da man nicht direkt vor dem aufzunehmenden Objekt im Hang stehen muss. Dadurch erspart sich der Zuständige Zeit, und das Betreten des gefährlichen Terrains.

Den vielen Vorteilen gegenüber, stehen nur einzelne Nachteile, aufgelistet nach Kern (2007):

- **Gerätestandort**
Das Gerät braucht während des Scannens einen festen Standort und darf sich nicht bewegen.
- **Diffus reflektierende Objekte erforderlich**
Die Qualität des Laserscans hängt von den Reflektionseigenschaften des Messobjektes ab. Am besten sind Oberflächen geeignet, welche diffus den Laserstrahl reflektieren. Sehr dunkle, wie z.B. Asphalt, oder spiegelnde Flächen, wie z.B. verchromte oder hochglanzlackierte Objekte, begrenzen den Einsatzbereich.
- **Keine multispektralen Farbinformationen**
Der Laserscanner selbst ist nicht fähig, Farbinformationen über das Objekt zu erfassen. Einzig die Information über die Stärke des reflektierten Laserlichtes (Intensitätswert) wird miterfasst. Um gleichzeitig neben den rein geometrischen Informationen auch noch Farbinformationen zu erfassen, kann eine Digitalkamera an den Scanner angebracht werden.
- **Aufwendige Nacharbeiten**
Das Ergebnis eines Scans ist eine Punktwolke von unstrukturierten Einzelpunkten. Aus dieser Punktwolke gilt es, markante Punkte oder Strukturen abzuleiten. Je nach Anwendungszweck muss ein Teil oder die gesamte Punktwolke in Idealgeometrien umgerechnet werden. Diese Art der Auswertung kann derzeit nur manuell durch einen Experten in einem aufwendigen Modellierungsprozess vorgenommen werden. Für Spezialanwendungen stehen teilautomatische Methoden zur Verfügung.

Zusätzlich sei erwähnt, dass je nach Ausdehnung des gescannten Objektes und Anzahl der Scans, ein Projekt auch einige Gigabyte an Größe erreichen kann. Somit ist es notwendig bei der Bearbeitung dieser Daten einen Computer zu verwenden, der eine entsprechende Rechenleistung besitzt, da die Arbeit sonst recht mühsam werden kann.

5.1.5 Lidar Hardware

Für die in dieser Arbeit bearbeiteten Daten wurde der statische Laserscanner von Riegl verwendet, Model LMS-Z620, dessen technische Daten aus Tabelle 3 entnommen werden können.

Tabelle 3: Technische Daten des LMS-Z620 aus Liu et al. 2012

<i>Item</i>	<i>Technical description</i>
Scanner	Riegl 3D terrestrial static laser scanner LMS-Z620
Scan method	pulse based (time of flight)
Maximum Scan distance	
- a target reflectivity of 90%	2000 m
- a target reflectivity of 10%	750 m
Field of view (°)	360 (horizontal) × 80 (vertical)
Horizontal & vertical angle resolution (°)	0.004 × 0.004
Scanning speed	11,000 measurements per second
3D scan precision	10 mm (single shot in 100 m) & 5 mm (averaged in 100 m)
Inclination sensor	integrated

5.2 Verwendete Programme

5.2.1 RiScan

RiScan ist das Software Paket der Firma Riegl, dazugehörig zu den Laserscannern des Institutes für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Graz. Gescannte Daten werden mit dieser Software visualisiert und weiterverarbeitet bzw. zu Projekten zusammengeführt. Die gesamten Daten eines Projektes werden in einem Ordner und den dazugehörigen Unterordnern strukturiert und gespeichert.

Für diese Arbeit wurde mit dem Software Paket RiScan Pro v1.5.2sp2 gearbeitet. Hier erfolgte der Trennflächeneinbau in den gescannten Aufschluss. Natürlich werden auch grundlegende Operationen wie die Referenzierung, die Triangulation etc. durchgeführt.

5.2.2 FracMan

FracMan ist ein Programm, mit dem man die Geometrie diskreter Eigenschaften modellieren kann. Hier wurde ein Trennflächenmodell erstellt, in welchem virtuelle Bohrungen in Form einer SAB Datei eingefügt wurden. Somit wurden an unterschiedlichen Punkten im Aufschluss Trennflächenabstände genau erfasst.

5.2.3 Spharia

Die Software Spharia dient dazu, Orientierungsdaten graphisch darzustellen. Es ist nützlich bei der Identifizierung verschiedener Trennflächensets, weiter berechnet es deren wichtigste statistische Orientierungsparameter.

5.2.4 OpenStereo

Bei diesem Programm handelt es sich um eine Freeware, mit der es möglich ist Stereoplots zu erstellen und grundlegende statistische Berechnungen durchzuführen. Es wurde für die graphische Darstellung der Stereoplots verwendet.

5.2.5 R

R ist eine Software zur statistischen Datenberechnung und deren graphischer Darstellung. Hierbei handelt es sich ebenso um eine Freeware. In dieser Arbeit wurde es für die Auswertung der Trennflächendaten verwendet.

6 Bearbeitung

6.1 Bearbeitung RiScan Pro

Die Bearbeitung der Aufschlüsse beginnt in dem Programm RiScan. Hier erfolgt das Einzeichnen der Trennflächen in den Laserscan. Je nach Wunsch, beziehungsweise nach Qualität des Scans nimmt man eine Punktwolke oder die bereits triangulierte Version als Grundlage (Abb. 7 a) und b)). Bei Angenofen wurden beide Datensätze übereinander gelegt, da dies aufgrund der geringen Dateigröße möglich war. Ein geglätteter und triangulierter Datensatz hat den Vorteil, dass eine geschlossene Oberfläche dargestellt wird. Gleichzeitig bedeutet dies aber auch, dass eventuelle Datenlöcher im Scan gefüllt werden, was zu verfälschten Ergebnissen führen kann. Weiter verlangt die Darstellung von triangulierten Daten eine höhere Rechenleistung und ist daher bei sehr großen Datensätzen nicht ratsam. Die Punktwolke zeigt die Aufschlussoberfläche detailliert an. Jedoch ist die Bearbeitung mit dieser Datengrundlage oft sehr mühsam im kleineren Maßstab, da man im 3D Raum Oberflächen oft nicht eindeutig identifizieren kann.

Zuerst wird der zu sehende ‚Ausbiss‘ ausgewählt und markiert mit dem Selection Tool. Die nun markierte Fläche dient dem Programm als Grundlage um die Trennfläche zu erstellen. Dazu klickt man auf das Feld ‚Create Plane‘ und wählt ‚From selected Area (limited)‘ (Abb. 18). Diese Option erstellt eine Fläche, welche aus der markierten Oberfläche die am besten angepasste Fläche (Best-fit plane) berechnet.

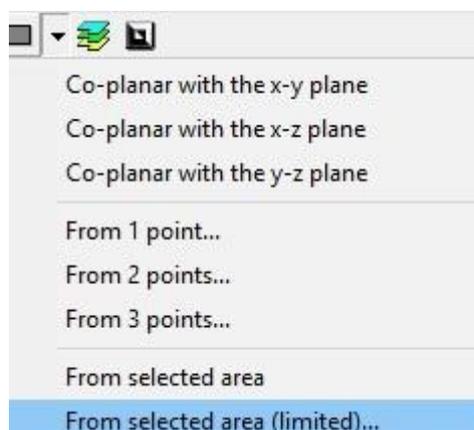


Abb. 18: Auswahlfeld zum Erstellen einer Fläche in RiScan.

Nun wählt man die gewünschte Distanz indem man mit gedrückter Shift Taste zwei Punkte, am besten Randpunkte, auf der Fläche markiert (Abb. 19). Das Programm erstellt daraufhin die ‚Best-Fit Plane‘ für diesen Bereich, was bedeutet, dass alle Unebenheiten der markierten Oberfläche gemittelt werden, was in Abb. 20 zu sehen ist. Weitere Einstellungen wie die Größe kann in dem Feld ‚Properties‘ vorgenommen werden. Um die Orientierung und die Position zu verändern muss man mittels Rechtsklick auf die Fläche im

Object Inspector ‚Modify Orientation and Position‘ auswählen. Die Orientierung wurde hier natürlich nie angepasst, da so die Ergebnisse verfälscht worden wären.

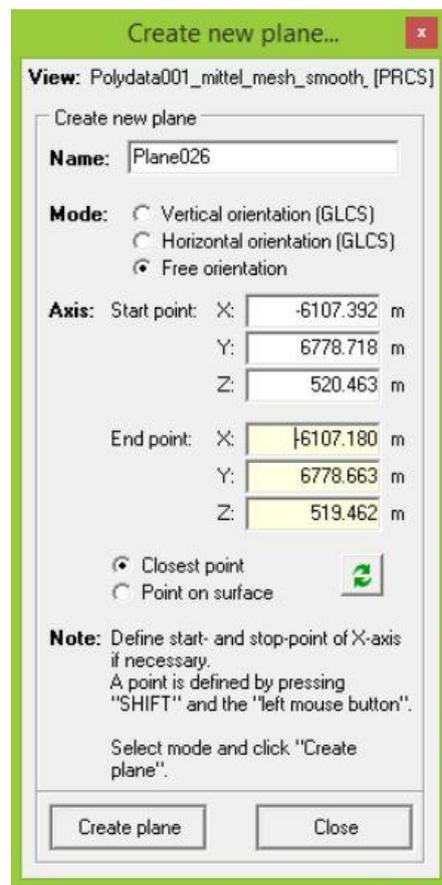


Abb. 19: Auswahlfeld um die Punkte der Trennfläche auf dem ausgewählten Bereich zu definieren.

Zuerst gezeichnete Flächen wurden nach logischer Überlegung zusammengelegt und an die Größe des Scans angepasst. Die verschiedenen Kluftscharen wurden unterschiedlich eingefärbt.

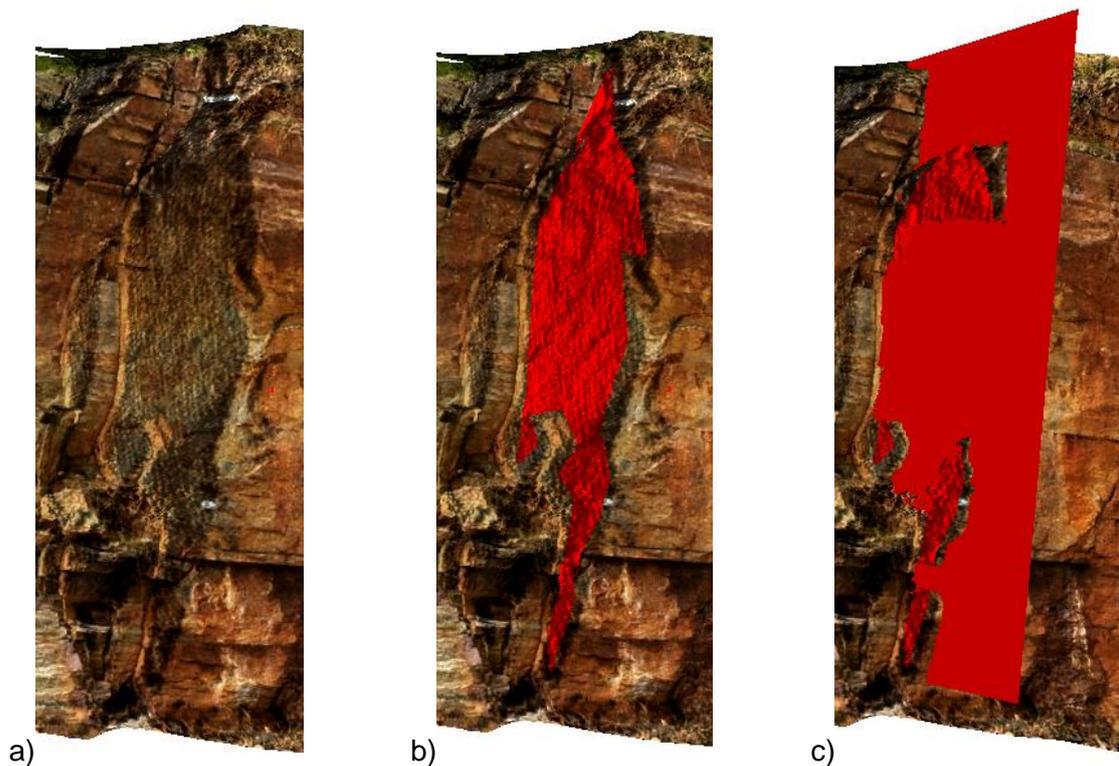
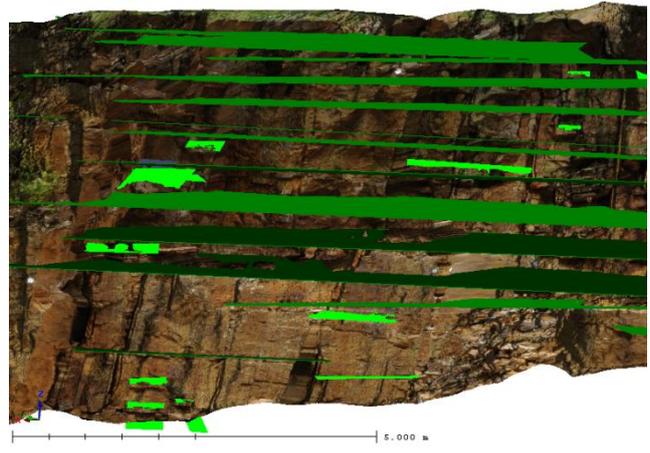


Abb. 20: Erstellen einer Trennfläche in RiScan a) Zeigt die Trennflächenoberfläche b) Ausgewählter Bereich c) Best-fit plane des ausgewählten Bereichs

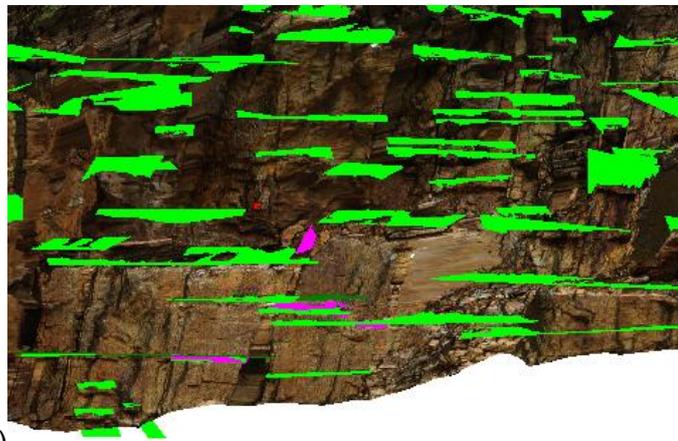
Bei der Bearbeitung wurde darauf geachtet, dass so gut wie alle Trennflächen aufgenommen wurden. Harnischflächen, sowie Lösungsflächen wurden dabei nicht miteinbezogen, da es sich um oberflächliche Eigenschaften handelt. Sehr wichtig ist es hier zu erwähnen, dass bei Angenofen Schieferungsflächen zusammengefügt würden, die man nach Regel der Persistenz nicht mehr als zusammenhängende Trennfläche klassifizieren darf, zu sehen in Abb. 21 a) und b). Wieso? Man muss sich in Erinnerung rufen, dass ein Lidar Datensatz extrem genau ist. Daher kommt es oft vor, dass der zu sehende Ausbiss eine hohe Rauigkeit aufweist und somit sehr uneben ist. Wie in den Abb. 10 zu sehen, sind die Schieferungsflächen zwar durchgehend, aber dazwischen sind kleine Bereiche durch Kluftchar 1 und 2 versetzt worden. Im ersten Modell wurde versucht, diese Flächen wahrheitsgemäß einzubauen, zu sehen in Abb. 21 c). Die Orientierung der Daten wurde dadurch aber so verfälscht, dass diese als zusammenhängende Fläche eingebaut wurden. Bei den Ausbissen von Angenofen, handelt es sich um sehr schmale Flächen, welche sehr uneben waren. Auch im Gelände ist dies unter Umständen der Grund für große Variationen der Orientierungsdaten, da man nur begrenzte Möglichkeiten hat wo ein Clar Kompass angelegt werden kann. Der Untergrund ist oft so uneben, dass man keine eindeutige Messung vonehmen kann, und mit einem Hilfsmittel (Geländebuch) eine Ebene simuliert.



a)



b)



c)

Abb. 21: a) Ausschnitt des bearbeiteten Gebietes im Feld. b) Ausschnitt in RiScanPro mit eingefügten Schieferungsflächen. c) Ausschnitt mit nicht zusammenhängenden Schieferungsflächen, hier ist die Variation der Orientierungsdaten erheblich größer und verfälscht aufgrund der Trennflächenoberfläche.

Auch bei dem Gipfelbereich des Feldkofel, war die Identifizierung der einzelnen Kluftscharen nicht ganz eindeutig.

Die erstellten Trennflächenmodelle sind im Kapitel 8 „Ergebnisse“ zu sehen. Nachdem die Modelle nun in RiScan fertig gestellt und die einzelnen Kluftscharen identifiziert wurden, wurden die Daten als Dxf und als Ascii File exportiert. Das Dxf beinhaltet alle nötigen Attribute um das Modell mit den exakten Koordinaten in Fracman zu importieren und das Ascii kann für weitere Auswertungen problemlos in Excel importiert und formatiert werden.

6.2 Spharia

Hier wurden die Orientierungsdaten der einzelnen Trennflächen eingelesen. Es berechnet automatisch die im Kapitel 7 „Berechnung und Statistische Auswertung“ vorgestellten Kennwerte nach der Fischer Verteilung (Abb. 22). Die daraus resultierenden Orientierungsdaten wurden teilweise zur Erstellung der Bohrungen in FracMan verwendet.

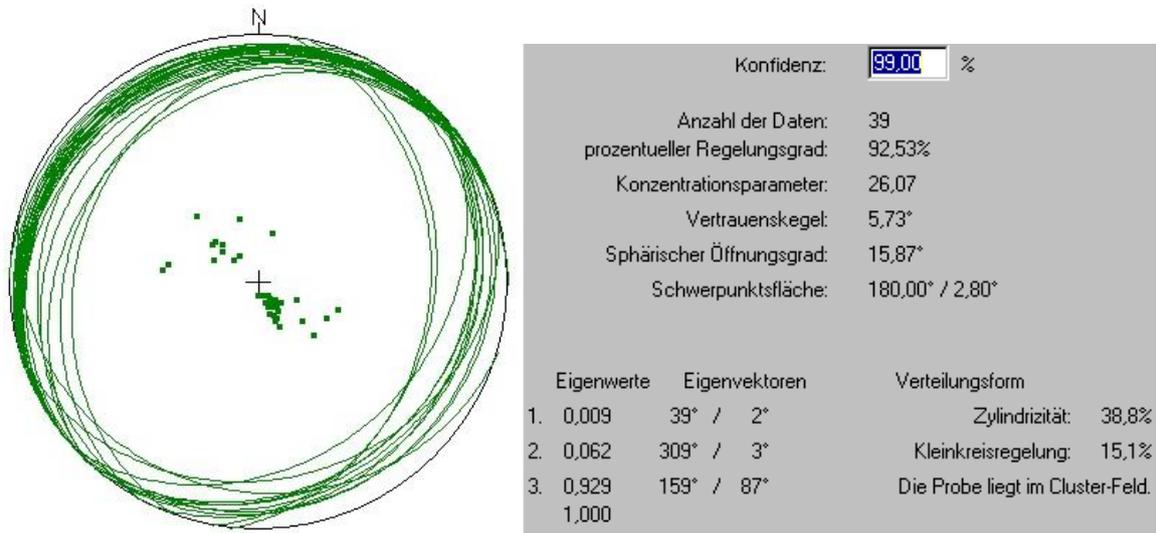


Abb. 22: Links: Stereoplot von Spharia der Schieferungsflächen des linken Teil Angenofen. Rechts: Ausgabe der Orientierungsdaten, berechnet mit Spharia.

6.3 Bearbeitung in FracMan

Hauptanliegen war es, den wahren Trennflächenabstand mit virtuellen Bohrungen, an mehreren Positionen in einem Aufschluss zu ermitteln. So soll festgestellt werden, ob innerhalb einer Trennflächenschar große Unterschiede in den einzelnen Abständen und den mit der Bohrung verschnittenen Flächengrößen existieren. In jedem Modell, für jede Trennflächenschar gesondert, wurden Bohrungen erstellt. Deren Orientierung hängt von der Flächennormale und von der Raumlage der Trennflächen ab. Desto mehr Trennflächen geschnitten wurden, desto aussagekräftiger ist das Ergebnis. Doch nicht in allen Bereichen konnten diese erstellt werden. Wenn die Trennflächen im 3D Raum keine Ausdehnung besitzen bzw. nur parallel zur jeweiligen Oberfläche vorhanden sind (siehe Abb. 24).

Sobald die Daten importiert wurden, bilden die Flächen einer Kluftschär eine sogenannte ‚Region Box‘. Die Größe dieser hängt somit von der Position und Ausdehnung aller Flächen ab. Die exakten Startpunkte und Längen wurden aus RiScan herausgemessen und orientieren sich an der wahren Oberfläche des Aufschlusses.

Die Spurlänge wurde, neben der in RiScan eingebauten Flächen, ebenso mit FracMan ermittelt. Dazu wurden ‚virtuelle Oberflächen‘ (Traceplane) erstellt, welche mit den Trennflächen verschnitten wurden und so eine ‚Tracemap‘ bilden (siehe Abb. 25). Diese

Oberflächen wurden bei Feldkofel und Angenofen, entlang der wahren Oberfläche erstellt. Einzige Ausnahme bildet die Bankung bei Feldkofel selbst (die als Traceplane für alle weiteren Klufscharen verwendet wurde). Hier wurde eine andere Orientierung gewählt, um die maximale Erstreckung zu erfassen. Die drei Klufscharen des Aufschlusses Angenofen bildeten je eine Oberfläche eines Bereiches. Hier wurde kein Verschnitt ermittelt, da man auch nicht wirklich eine Spurlänge erfassen konnte, da es sich dabei um die gesamte Oberfläche handelt, dies ist in Abb. 25 dargestellt.

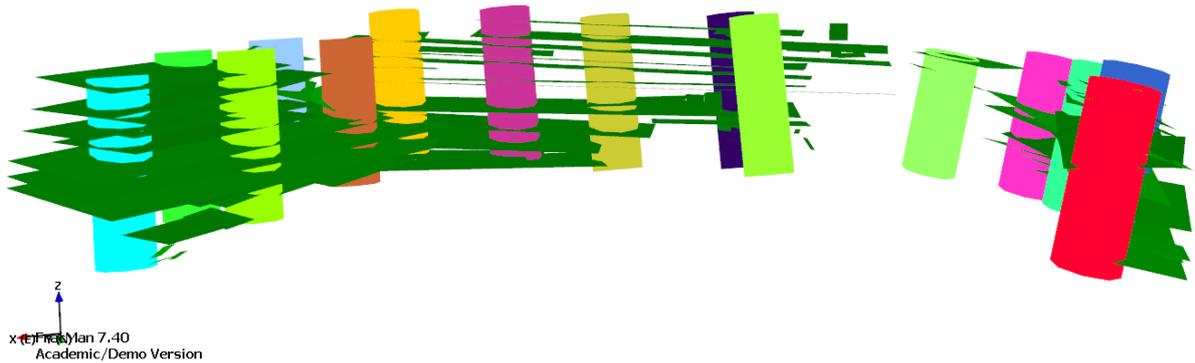


Abb. 23: Zu sehen sind die Schieferungsflächen des gesamten Angenofen Aufschlusses mitsamt aller virtuellen Bohrungen. Die schiefe Neigung ergibt sich dadurch, dass die Bohrungen normal zur Schwerpunkfläche für einen Bereich eindringen. Dadurch erhält man gleich den gemittelten Trennflächenabstand für einen Bereich.

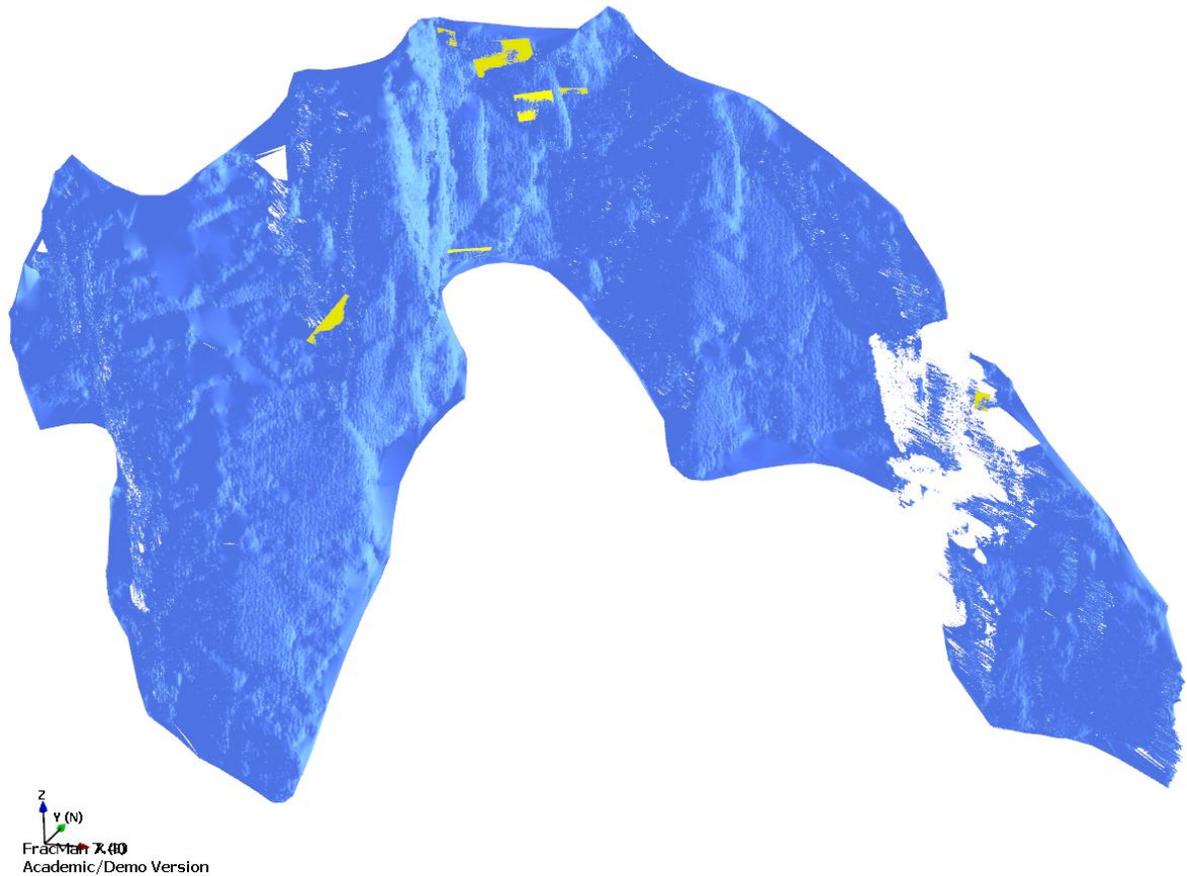


Abb. 24: Zeigt Kluftschar 5 des Gipfelbereichs am Feldkofel. Aufgrund der sehr geringen Trennflächenanzahl und deren Raumlage zueinander wäre maximal ein Bohrkern möglich, um eine Vorstellung des Trennflächenabstandes zu bekommen. Dies wäre jedoch nicht repräsentativ.

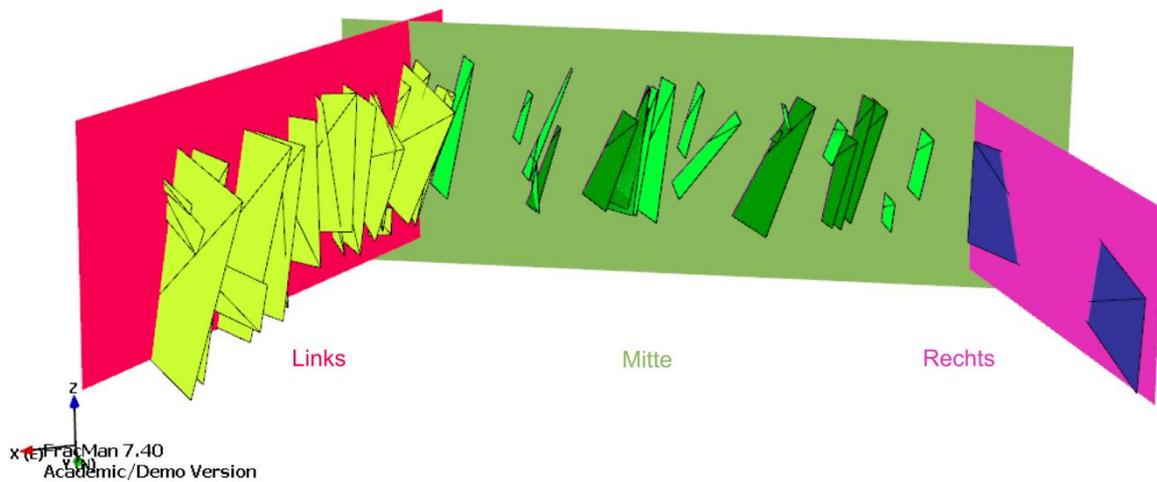


Abb. 25: Zeigt Kluftschar 1 verschnitten mit den Traceplanes; der Bereich Rechts wurde jedoch nicht in die Auswertung miteinbezogen, da hier K1 parallel zur Oberfläche ist und man daher nicht wirklich von einer Spurlänge reden kann.

7 Berechnung und Statistische Auswertung

Hier sollen nun die mathematischen Grundlagen der Auswertungen dieser Arbeit erläutert werden.

7.1 Orientierung

Hier werden die Grundlagen der Berechnung der Orientierungsdaten erklärt. Die einzelnen Werte wurden mit den Programmen Spharia und Stereo ausgewertet. Genauer berechnet man einerseits die Schwerpunkfläche für ein Trennflächenset und andererseits werden weitere Parameter ausgewertet, welche die Streuung der gemessenen Datensätze beschreibt. Für jede Trennflächenschar und den dort vorgenommenen Bohrungen wurden Stereoplots mit der Setschwerpunkfläche erstellt um die unterschiedlichen Orientierungen graphisch darzustellen. Die Formeln sind aus Liu (2014a) entnommen. Ergänzungen aus anderen Quellen werden gekennzeichnet. Um diese Parameter berechnen zu können erfolgt zuerst eine Konvertierung in Vektordaten.

$$x_i = \cos \alpha_i \cdot \cos \varphi_i$$

$$y_i = \sin \alpha_i \cdot \cos \varphi_i$$

$$z_i = \sin \varphi_i$$

Formel 1: Konvertierung von Fallrichtung und Fallwinkel in karthesische Koordinaten nach Liu 2014a

α_i ...Azimuth/Fallrichtung
 φ_i ...Fallwinkel

Mit diesen Koordinaten kann nun die Vektorsumme ermittelt werden:

$$|\vec{R}| = \sqrt{\left(\sum_1^n x_i\right)^2 + \left(\sum_1^n y_i\right)^2 + \left(\sum_1^n z_i\right)^2}$$

Formel 2: Berechnung der Vektorsumme aus Liu 2014a

Diese wird benötigt, um die weiteren Parameter zu ermitteln.

7.1.1 Schwerpunkt

Der Schwerpunkvektor ergibt sich aus folgender Berechnung:

$$\vec{S} = \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|}$$

Formel 3: Berechnung des Set Schwerpunkvektor

$|\vec{R}|$...Vektorsumme

\vec{R} ...resultierender Längenvektor

So ist dieser mit den arithmetischen Mittel der linearen Statistik vergleichbar, seine Koordinaten werden in Formel 4 berechnet:

$$x_R = \frac{1}{|\vec{R}|} \sum_{i=1}^n x_i; \quad y_R = \frac{1}{|\vec{R}|} \sum_{i=1}^n y_i; \quad z_R = \frac{1}{|\vec{R}|} \sum_{i=1}^n z_i.$$

Formel 4: Berechnung der Schwerpunktkoordinaten

Daraus ergibt sich wiederum mit Formel 5 die Fallrichtung und der Fallwinkel der Schwerpunkfläche:

$$A_R = \arctan \frac{y_R}{x_R} \quad \text{und} \quad \phi_R = \arcsin z_R.$$

Formel 5: Berechnung von A_R (Fallrichtung) und ϕ_R (Fallwinkel)

7.1.2 Prozentueller Regelungsgrad oder Grad der bevorzugten Orientierung $R\%$

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

Formel 6: Ermittlung des prozentuellen Regelungsgrades (Liu 2014a).

n....Anzahl der Orientierungsdatensätze

$|\vec{R}|$Vektorsumme

7.1.3 Der Konzentrationsparameter k

Für eine sphärische Normalverteilung, dieser gibt an, wie konzentriert die gemessenen Orientierungsdaten sind. Je kleiner k ist, desto größer ist die Streuung. Die Berechnung funktioniert wie folgt:

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

Formel 7 : Berechnung des Konzentrationsparameter k

n...Trennflächenanzahl

$|\vec{R}|$Vektorsumme

7.1.4 Der sphärische Öffnungswinkel ω

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

Formel 8: Berechnung des sphärischen Öffnungswinkels

n....Anzahl der Orientierungsdatensätze
k....Konzentrationsparameter

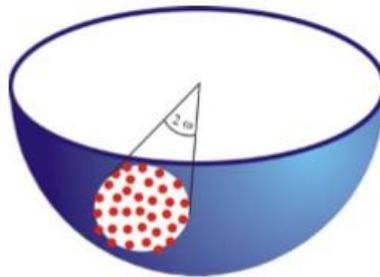


Abb. 26: Darstellung des sphärischen Öffnungswinkels auf der unteren Halbkugel

Dieser sphärische Öffnungswinkel ist das geometrische Äquivalent zum Konzentrationsparameter (Kurz 2010).

7.1.5 Der Vertrauenskegel

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

Formel 9: Berechnung des Vertrauenskegels

n....Anzahl der Orientierungssätze
p...Überschreitungswahrscheinlichkeit

7.2 Äquivalentradius

Der Äquivalentradius ist eine Möglichkeit, um die Größe einer Fläche anzugeben. Berechnet wird dieser über die Trennflächengröße, wie in Formel 10 gezeigt. Dem zu Grunde liegt ein flaches Polygon, dessen Flächengröße mit dem eines Kreises mit Radius R_e flächendeckend ist.

$$R_e = \sqrt{\frac{A_f}{\pi}}$$

Formel 10: Ermittlung des Äquivalentradius über die Flächengröße (Liu 2014b)

Af...Trennflächengröße

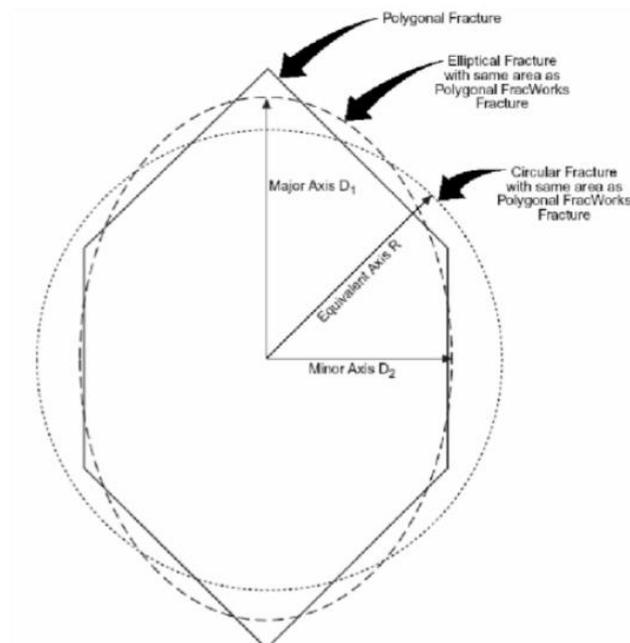


Abb. 27: Die Darstellung des Äquivalentradius (Liu 2014b)

7.3 Trennflächenabstand

Der Trennflächenabstand ist einer der Hauptparameter für diese Arbeit. Durch die in FracMan eingebauten virtuellen Bohrkerne, wurde dieser innerhalb der gleichen Kluftschar an vielen verschiedenen Lokalisationen ermittelt. Zuerst wurde dafür die eindimensionale Intensität P_{10} von Fracman ermittelt, damit wird die Anzahl der Flächen pro Längeneinheit angegeben. Dabei können diese Bohrkerne als eine Art Scanline durch das Gestein verstanden werden. Ist seine Orientierung nicht entlang der Trennflächennormale, so ist nur ein scheinbarer Flächenabstand ersichtlich. Dieser muss über Formel 14 berechnet werden.

$$P_{10} = \frac{n}{L}$$

Formel 11: Berechnung der eindimensionalen Flächenintensität P₁₀

Dessen Kehrwert ergibt den scheinbaren Abstand d_s . Um nun den wahren Abstand berechnen zu können, muss der Winkel zwischen der Orientierung, der Bohrung und der Trennflächennormalen δ ermittelt werden. Die Trennflächennormale berechnet man über die Einfallrichtung und den Einfallwinkel der Schwerpunktläche.

$$\alpha_n = A_R \pm 180^\circ$$

$$\beta_n = 90^\circ - \Phi$$

Formel 12: Berechnung der Flächennormalen

α_n ...Einfallrichtung der Normalfläche

β_n ...Einfallwinkel der Normalfläche

A_R ...Einfallrichtung der Schwerpunktläche

Φ ...Einfallwinkel der Schwerpunktläche

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

Formel 13: Berechnung des Winkels zwischen der Bohrungsorientierung und der Flächennormalen

α_n ...Einfallrichtung der Normalfläche

β_n ...Einfallwinkel der Normalfläche

α_s ...Einfallrichtung der Bohrung

β_s ...Einfallwinkel der Bohrung

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

Formel 14: Berechnung des wahren Trennflächenabstandes

d_s ...Scheinbarer Trennflächenabstand

d_n ...Echter Trennflächenabstand

7.4 Auswertung mit R

Mit dem Programm R wurde die statistische Auswertung vorgenommen. Dabei wurden jeweils die ermittelten Trennflächengrößen, die Äquivalentradien, sowie der wahre Trennflächenabstand eingelesen. Ausgewertet wurden die statistischen Eckdaten wie Maximalwert (Max.), Minimalwert (Min.), Median, Durchschnittswert (Mean), 1st Quartile (25%) und 3rd Quartile (75%). Weiter wurden die Streuungsmaße mit Hilfe der Standardabweichung, der Varianz, der „Interquartile Range“ berechnet.

Um die empirische Verteilungsform zu erhalten wurden Schiefe wie Exzess ausgewertet. Die Schiefe gibt an, wie die Daten verteilt sind, sie ist ein Maß für die Assymetrie eines Datensatzes. Ist sie positiv, so spricht man von einer rechtsschiefen Verteilung. Das bedeutet, dass die rechte Seite steiler ist, als die linke. Bei einem negativem Wert ist dies umgekehrt (Liu 2011).

Exzess gibt die Wölbung der Verteilung an. Ist dieser Wert positiv, so spricht man von einer stärkeren Zentrierung des Datensatzes, der Verlauf des Diagramms ist steil. Bei einem negativem Wert handelt es sich um eine geringere Zentrierung, der Verlauf ist flacher (Liu 2011).

Um die Daten graphisch darzustellen, wurden Histogramme mit relativer Häufigkeit ausgewertet. Die relative Häufigkeit beschreibt, wie groß der Anteil der absoluten Häufigkeit an der Gesamtzahl der Versuche ist (serlo.org). Somit definiert sich die relative Häufigkeit über die absolute Häufigkeit und wird wie in Formel 15 berechnet. Diese Darstellungen sind im Anhang zu finden, da die Darstellung als Boxplot für die Interpretation der Ergebnisse nützlicher sind.

$$\text{relative Häufigkeit } h_n = \frac{\text{absolute Häufigkeit } H}{\text{Anzahl der Versuche } n}$$

Formel 15: Berechnung der relativen Häufigkeit (serlo.org)

Des Weiteren wurden die Datensätze als Boxplot dargestellt, an Hand diesem sind vor allem Ausreißer in den Daten gut zu lesen. Eine Erläuterung, wie ein Boxplot Diagramm zu lesen ist, ist in Abb. 28 zu sehen.

Die Trennflächenabstände wurden als Gesamtes ausgewertet. Das bedeutet, dass diese gemeinsam für jede Trennflächenschar eingelesen wurden, auch bei den drei Teilbereichen von Angenofen. Grund dafür ist, dass man hier diesen Parameter als Gesamtes betrachten muss, und eine gemeinsame Auswertung mehr Überblick verschafft. Oft wurden nur zwei Bohrungen pro Bereich erstellt, deren Auswertung wäre nicht sehr aussagekräftig gewesen, da jede Bohrung nur einen Wert ausgibt und damit ist kein T-Test möglich. Bei den

Parametern der Trennflächengröße, sowie des Äquivalenzradius sind natürlich viel mehr Messungen vorhanden gewesen. Hier gilt es zu unterscheiden, jede Schar und jede Bohrung wurde extra ausgewertet. Dabei wurde zum einen der gemittelte Trennflächenabstand mit dem Normalwinkel für den Bereich und die Schar ermittelt und zum anderen der genaue Abstand, bei dem jede Bohrung extra ausgewertet wurde, berechnet.

Für die Parameter der Flächengröße, des Äquivalenzradius und für den Trennflächenabstand wurde auch ein sogenannter „Two-sample student t-Test“, für die einzelnen Bereiche, als auch für die Bohrungen in diesen durchgeführt. Bei der Orientierung kann man diesen nicht durchführen. Mit dem T-Test wird anhand der Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben überprüft, wie sich die Mittelwerte zweier Grundgesamtheiten zueinander verhalten (wikipedia.org). Die Ergebnisse dieses Tests finden sich immer unter den jeweiligen Boxplots. Hier wird der Welch T-Test durchgeführt, welcher keine gleiche Varianz für die beiden Stichproben voraussetzt. Getestet wird die Hypothese H_0 , welche besagt, dass der Unterschied zwischen zwei Mittelwerten null, somit nicht signifikant, ist. Entscheidend dafür ist der sogenannte p-Wert (Liu 2011):

- Ist der p-Wert < 0.05 wird H_0 widerlegt, der Unterschied ist signifikant.
- Ist der p-Wert > 0.05 gilt H_0 , somit ist der Unterschied nicht signifikant.

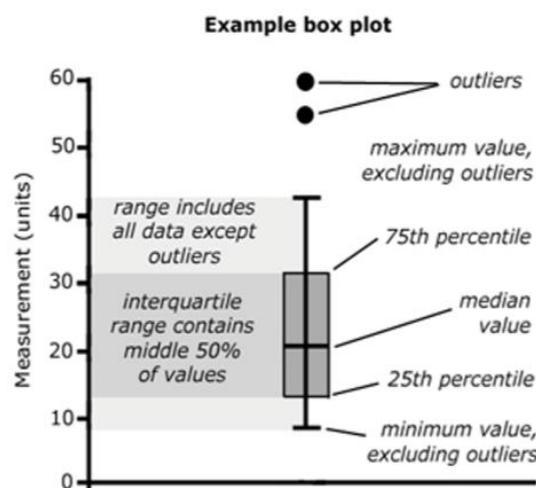


Abb. 28: Ordnung und Einteilung eines Boxplot (Hawkins et al. 2014)

Der selbst entwickelte R Code ist in Abb. 29 zu sehen und repräsentiert das reine Skript ohne Auswertungen. Dieses wurde je nach Parameter modifiziert und angepasst. Die ausgegebenen Werte sowie Diagramme sind im Kapitel 8 „Ergebnisse“ zu finden.

```

cat("Masterthesis: Trennflächenabstände")
#einlesen: K3
library(e1071)
space <- read.table("K3.txt", header = TRUE)
cat("\nMesswertedarstellung:", "\n")

print(space)
cat("\nStatistische Maßzahlen:", "\n")
cat("\nZusammenfassende Auswertung mit der 'summary()' ", "\n")
print(summary(space))
cat("\nStreuungsmaße mit 'sd()', 'var()' u. 'IQR()':")
cat("\n", "Standardabweichung(space) =", sd(space$ds))
cat("\n", "Varianz(space) =", var(space$ds))
cat("\n", "IQR(space) =", IQR(space$ds), "\n")
cat("\nEmpirische Verteilungsform: die Schiefe u. der Exzess:")
cat("\n", "Schiefe(space) =", skewness(space$ds))
cat("\n", "Exzess(space) =", kurtosis(space$ds), "\n")

cat("\nStreuungsmaße mit 'sd()', 'var()' u. 'IQR()':")
cat("\n", "Standardabweichung(space) =", sd(space$dn))
cat("\n", "Varianz(space) =", var(space$dn))
cat("\n", "IQR(space) =", IQR(space$dn), "\n")
cat("\nEmpirische Verteilungsform: die Schiefe u. der Exzess:")
cat("\n", "Schiefe(space) =", skewness(space$dn))
cat("\n", "Exzess(space) =", kurtosis(space$dn), "\n")

#t test
cat("\n", "t.test(): application to compare means(locations):", "\n")
print(t.test(space$ds, space$dn, var.equal = FALSE))
cat("\n", "To display distributions of the areas:", "\n")
op<-par(mfrow=c(2,2),pty="s")

#boxplot des Trennflächenabstand
boxplot(space$ds, space$dn, names=c("Abstand", "Abstand_exakt"), border=c("black"),
col=c("red"), horizontal = FALSE)
title("Boxplot der Trennflächenabstände", ylab="Abstand, m")

hist(space$ds, xlab = "Abstand, m", xlim = c(0,6), ylim = c(0, 2), ylab= "rel.Häufigkeit",
col = "red", border = "black", main = "Abstand", probability=TRUE)
hist(space$dn, xlab = "Abstand, m", xlim = c(0,6), ylim = c(0, 2), ylab= "rel.Häufigkeit",
col = "red", border = "black", main = "Abstand Exakt", probability=TRUE)
par(op)

```

Abb. 29: Eingelesener R Code für die Auswertung der Daten

8 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden alle ermittelten Ergebnisse in Tabellen und als Graphiken dargestellt. Die dazugehörige Diskussion und Erläuterung dieser finden sich im darauffolgenden Kapitel „Diskussion“. Dieses Kapitel wird unterteilt in die beiden bearbeiteten Aufschlüsse. Zuerst werden die Orientierungsdaten vorgestellt. Danach jeweils die Auswertung der Trennflächengröße und des Äquivalentradius. Dem folgen die ermittelten Trennflächenabstände und zum Schluss werden die Spurlängen gezeigt. Fast alle Ergebnisse werden als zusammengefasste Boxplots präsentiert, die dazugehörigen Histogramme finden sich im Anhang.

8.1 Angenofen

Bei Aufschluss eins in der Steiermark wurden neben der Schieferung (SF) drei Klufflächenscharen identifiziert, in Abb. 31 ist das komplette RiScan Modell zu sehen. Die Stereoplots dieser sind in Abb. 32 zu sehen. Kluffschar 1 (K1) streicht beinahe NNW-SSO, Kluffschar 2 (K2) WNW-OSO und Kluffschar 3 (K3) NW- SO. Im Folgenden finden sich die Auswertungen für alle Kluffscharen in den jeweiligen Bereichen und den einzelnen Bohrungen. Um dieses noch einmal darzustellen ist in Abb. 30 der linke Aufschlussbereich Angenofen zu sehen. Alle Ergebnisse für Größe, Äquivalentradius und Trennflächenabstand wurden jeweils für einen Bereich und für die einzelnen Bohrungen ermittelt.

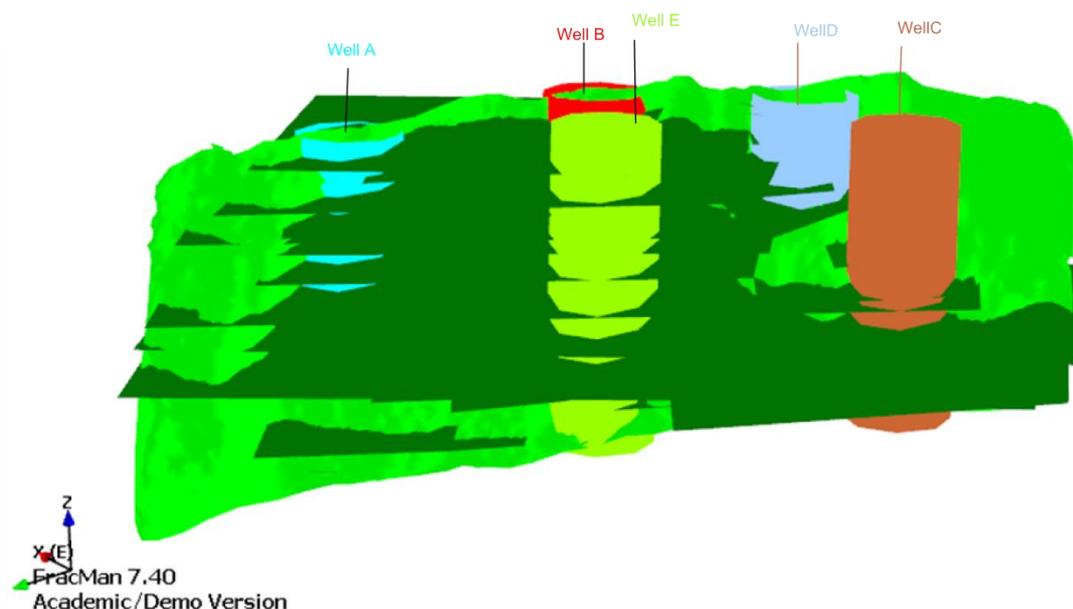
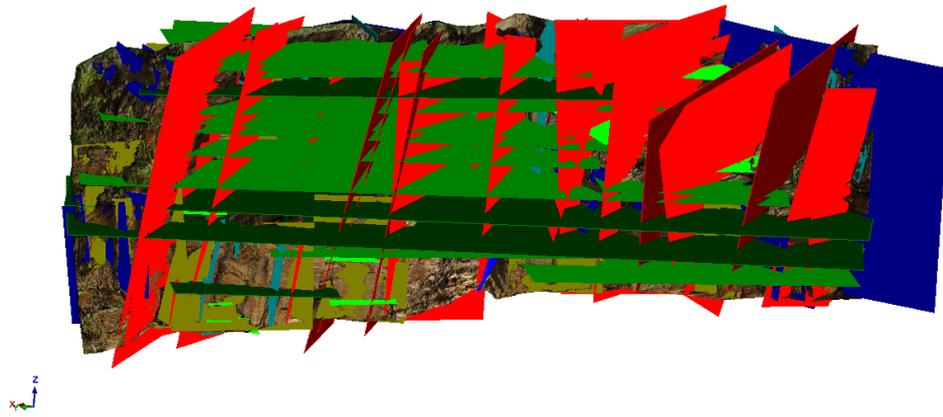
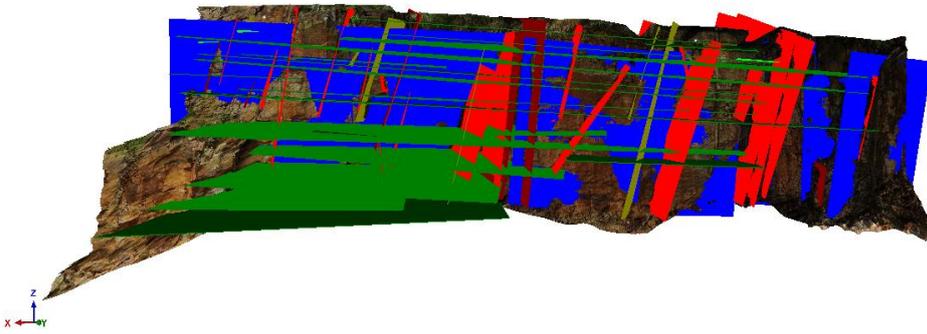


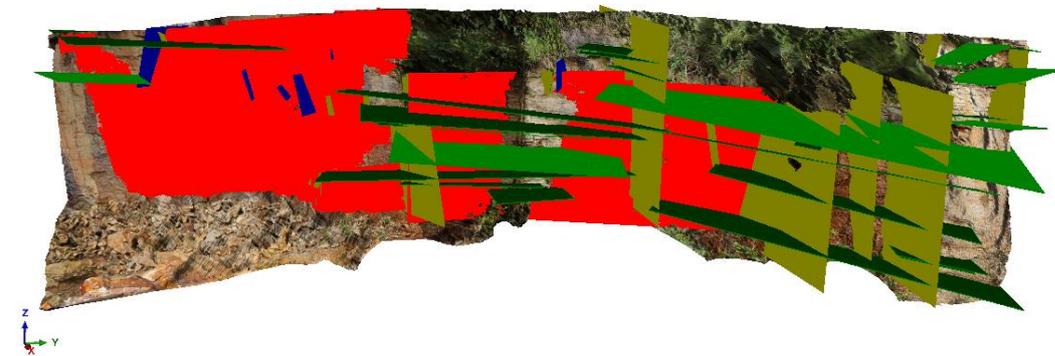
Abb. 30: FracMan Modell des linken Aufschlussbereich Angenofen mit den dort erstellten virtuellen Bohrungen.



a)



b)



c)

Abb. 31: Das fertige RiScan Pro Modell von Angenofen. Rot: K1. Blau: K2. Oliv: K3. Grün: SF. a) Linker Bereich, die Oberfläche wird durch K3 gebildet b) Mittlerer Bereich, die Oberfläche wird durch K2 gebildet c) Rechter Bereich, K1 bildet die Oberfläche

8.1.1.1 Orientierung

In Abb. 32 sind alle Trennflächenscharen, unterteilt in die einzelnen Bereiche zu sehen. Danach werden zuerst in einer Tabelle die ermittelten Orientierungsparameter einer Schar, deren Bereiche und den Bohrungen vorgestellt. Darauf folgen die dazugehörigen Stereoplots.

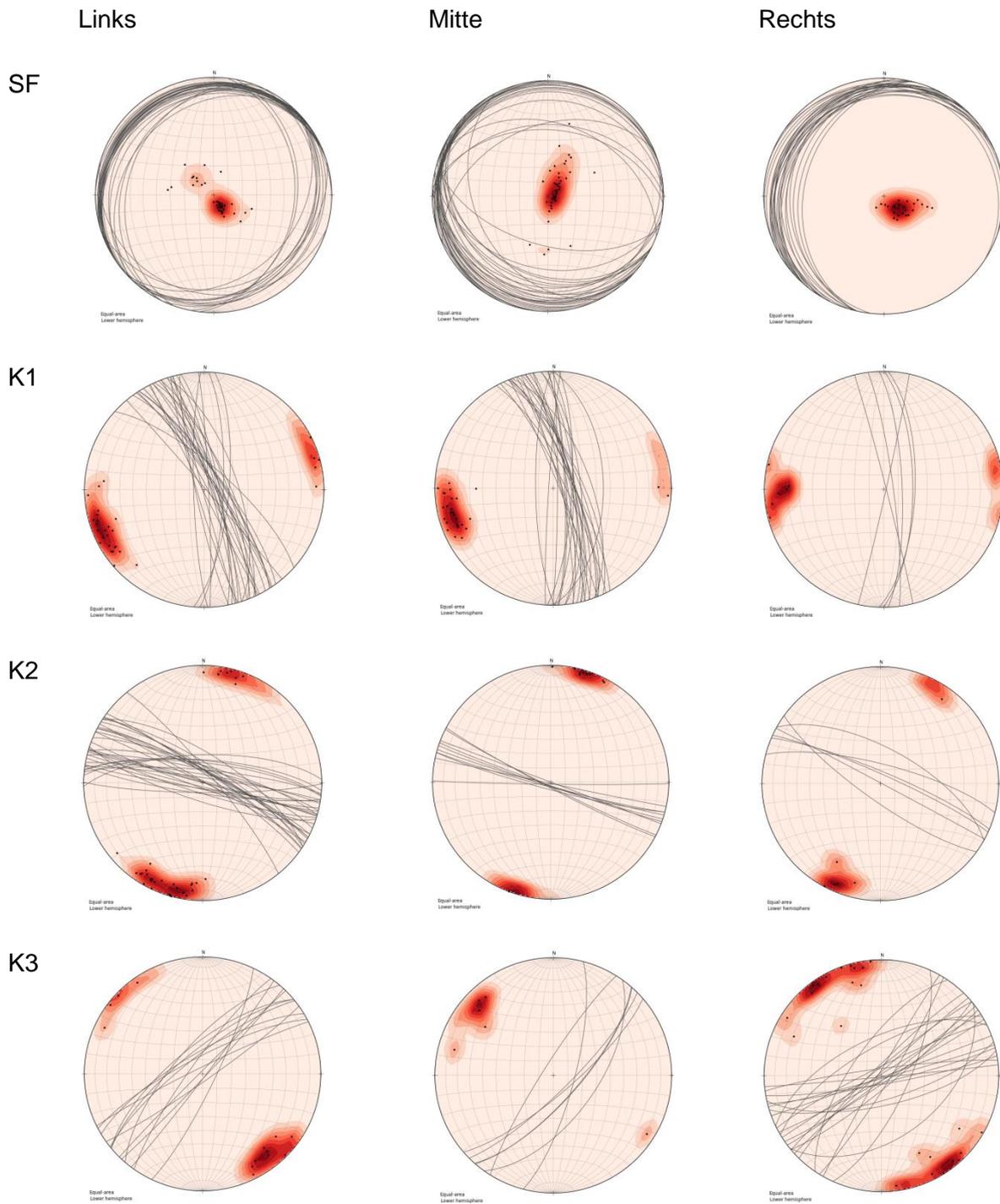


Abb. 32: Die Stereoplots aller Kluftscharen in jedem Bereich vom Aufschluss Angenofen. Rechts steht die jeweilige Kluftchar und oben der dazugehörige Bereich.

Tabelle 4: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Schieferungsfläche

SF	n	R[%]	κ	ϑ [°]	ω [°]	Schwerpunktfläche
Links	39	92.53	26.07	5.73	15.87	180/2.8
Well A	11	96.54	52.5	8.23	10.73	180/5.75
Well B	11	97.65	77.42	6.76	8.82	180/3.31
Well C	8	99.69	566.22	3.08	3.19	180/7.99
Well D	10	96.91	58.34	8.3	10.12	180/7.01
Well E	13	99.74	717.29	1.99	2.19	331/8.32
Mitte	43	88.22	16.58	6.91	20.08	180/7.45
Well F	18	93.37	28.51	8.37	14.92	180/6.37
Well G	16	98.8	156.12	3.78	6.29	180/5
Well H	11	99.12	207.63	4.11	5.37	180/4.42
Well I	7	99.6	425.69	3.91	3.64	180/4.66
Rechts	28	97.38	73.54	4.03	9.32	304.68/14.7
Well K	2	98.71	77.58	69.04	6.52	284.42/17.08
Well L	6	97.65	70.98	10.88	8.81	303.73/14.43
Well M	8	98.19	96.94	7.47	7.72	319.09/11.03
Well N	5	98.31	94.68	11.02	7.47	326.81/ 11.64
Well O	10	96.79	56.05	8.47	10.32	306.46/16.93

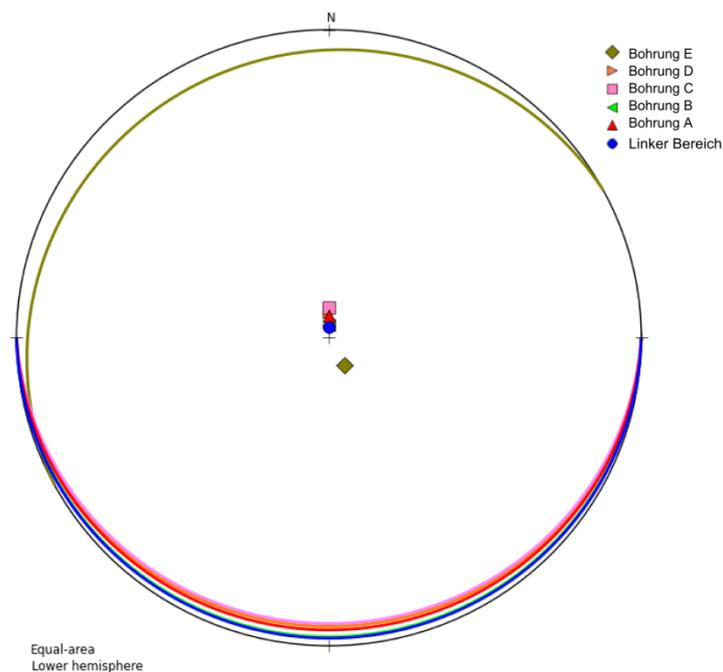


Abb. 33: Stereoplot der Schieferung im linken Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

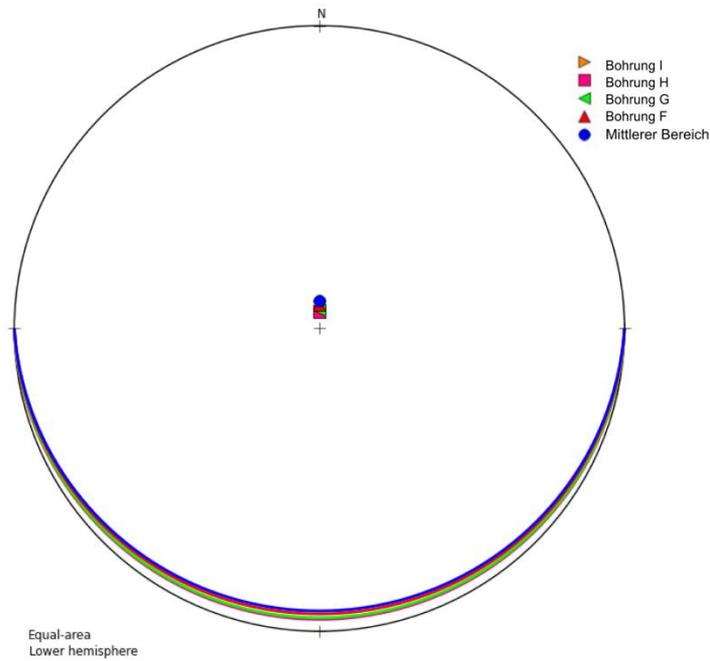


Abb. 34: Stereoplot der Schieferung im mittleren Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

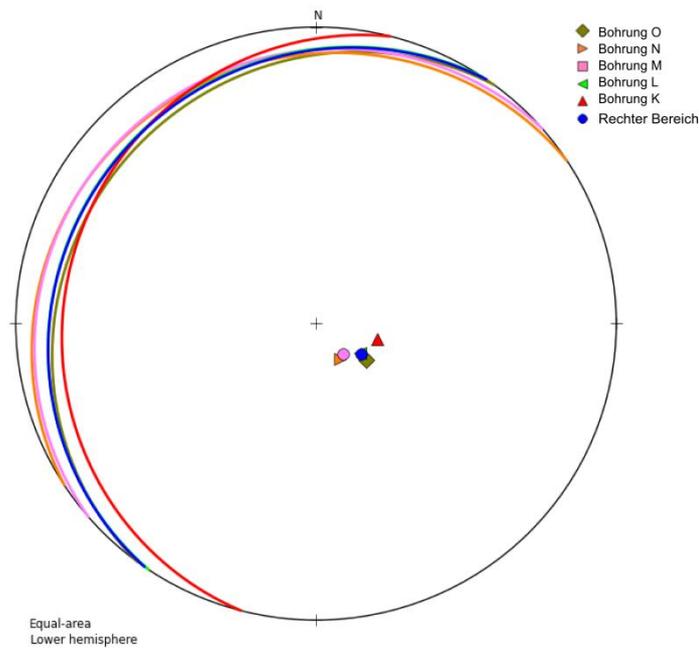


Abb. 35: Stereoplot der Schieferung im rechten Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

Die drei Stereoplots der Schieferung zeigen in allen Bereichen einen relativ hohen Regelungsgrad an. Am homogensten ist der mittlere Bereich in Abb. 34. Ausnahme ist Bohrung E im linken Bereich des Aufschlusses, dessen Werte aber gut mit den Ergebnissen des rechten Bereich zusammenpassen (Abb. 42). Größere Schwankungen finden sich im rechten Bereich, zu sehen in Abb. 35. Erkennbar ist, dass hier die einzelnen

Bohrungen durchaus in einem Bereich konzentriert sind. Auch die entsprechenden Schwerpunktfächen, welche in Tabelle 4 dargestellt sind zeigen im rechten Bereich unterschiedliche Orientierungen. Besonders Bohrung K fällt hier aus dem Rahmen. Das liegt daran, dass im rechten Bereich die Oberfläche des Aufschlusses von K1 gebildet wird und relativ plan ist. In allen Bereichen ist der prozentuelle Regelungsgrad aber über 87%.

Tabelle 5: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Klufschar 1

K1	n	R[%]	κ	ϑ [°]	ω [°]	Schwerpunktfäche
Links	29	93.84	31.36	6.11	14.37	68.66/82.17
Well A	12	93.72	29.21	10.53	14.51	68.51/82.6
Well B	17	94.95	37.3	7.53	12.98	65.36/81.41
Well C	10	95.97	44.68	9.51	11.58	67.45/84.25
Mitte	28	95.16	39.86	5.5	12.71	77.65/78.19
Well D	19	95.42	41.38	6.7	12.36	78.51/78.55
Well E	17	96.48	53.45	6.27	10.82	78.83/77.63
Well F	15	95.55	41.9	7.64	12.18	78.41/79.26
Rechts	6	96.05	42.18	14.18	11.47	88.42/79.26

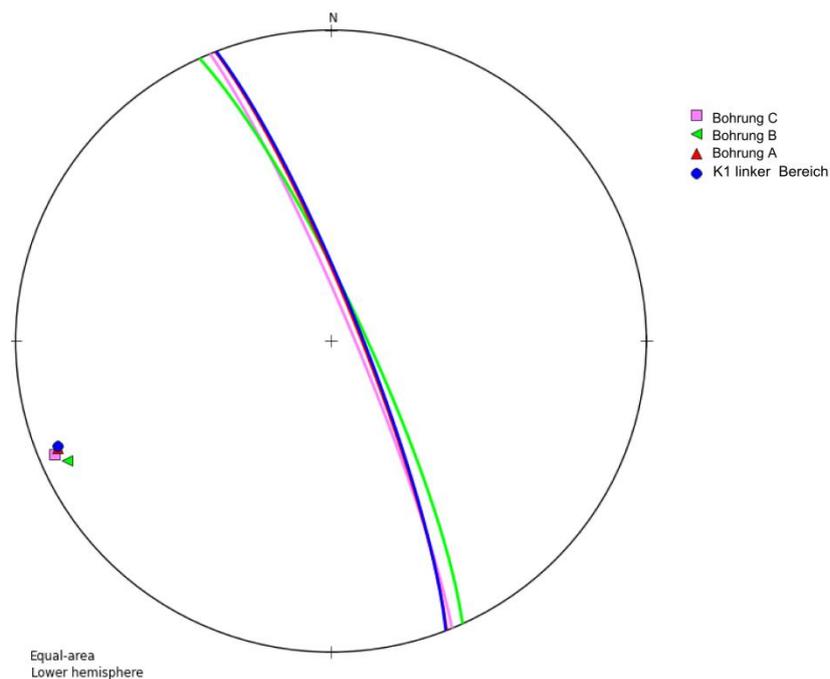


Abb. 36: Stereoplot der Klufschar 1 im linken Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktfäche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

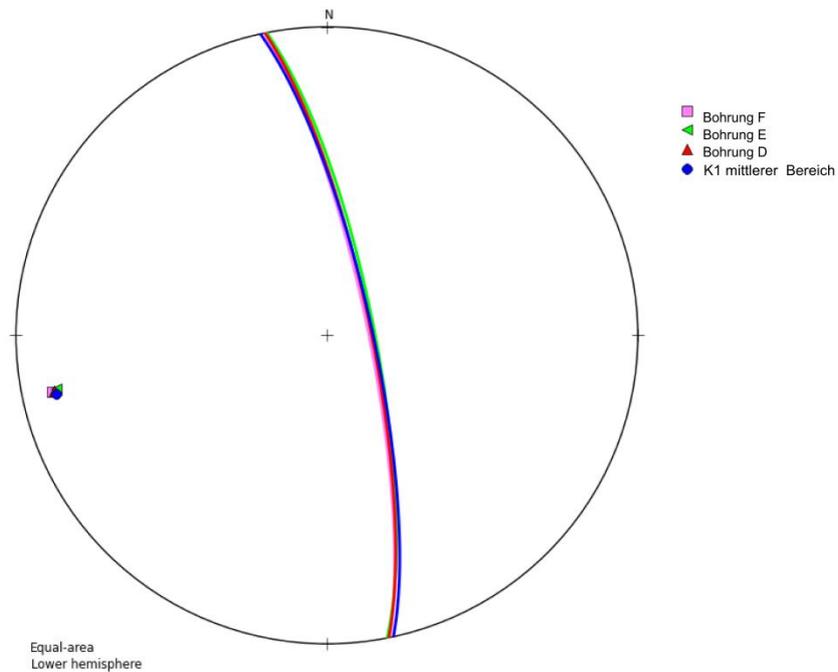


Abb. 37: Stereoplot der Kluftchar 1 im mittleren Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

Bei K1 sind sowohl im linken (Abb. 36) wie auch im mittleren (Abb. 37) Bereich die Orientierungen recht homogen in den einzelnen Bohrungen. Betrachtet man Tabelle 5, so sieht man bei der Richtung des Fallwinkels eine Bandbreite von rund 65° bis 79° , beim Einfallen liegt die höchste Differenz bei rund 7° . Auch hier ist im rechten Bereich ein Durchschnitt von $88,4^\circ$ für den Azimuth der Schwerpunkfläche zu sehen, was sich deutlich von den anderen beiden Bereichen unterscheidet. Bohrungen für K1 wurden rechts aufgrund der Oberflächenorientierung nicht gesetzt. Die Regelung ist in den Bereichen sowie deren Bohrungen sehr hoch, mit Werten über 93%.

Tabelle 6: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Klufschar 2

K2	n	R[%]	κ	ϑ [°]	ω [°]	Schwerpunktfläche
Links	34	93.93	32	5.55	14.26	19.22/84.73
Well A	5	94.57	29.49	20	13.47	15.32/87.12
Well B	7	95.66	39.49	13	12.03	19.76/84.82
Well C	8	90.73	18.87	17.3	17.73	18.62/82.66
Mitte	10	98.31	106.39	6.12	7.74	197.13/87.49
Rechts	6	95	33.3	16.01	12.93	25.74/82.98
Well D	3	97.11	46.07	29.79	9.79	208.91/89.04
Well E	4	96.73	45.81	20.05	10.43	23.59/78.17

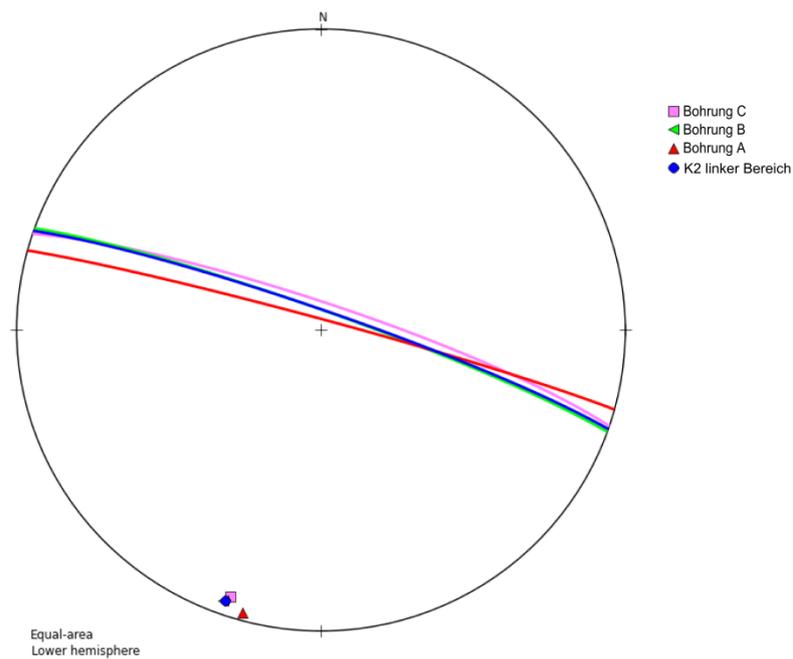


Abb. 38: Stereoplot der Klufschar 2 im linken Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

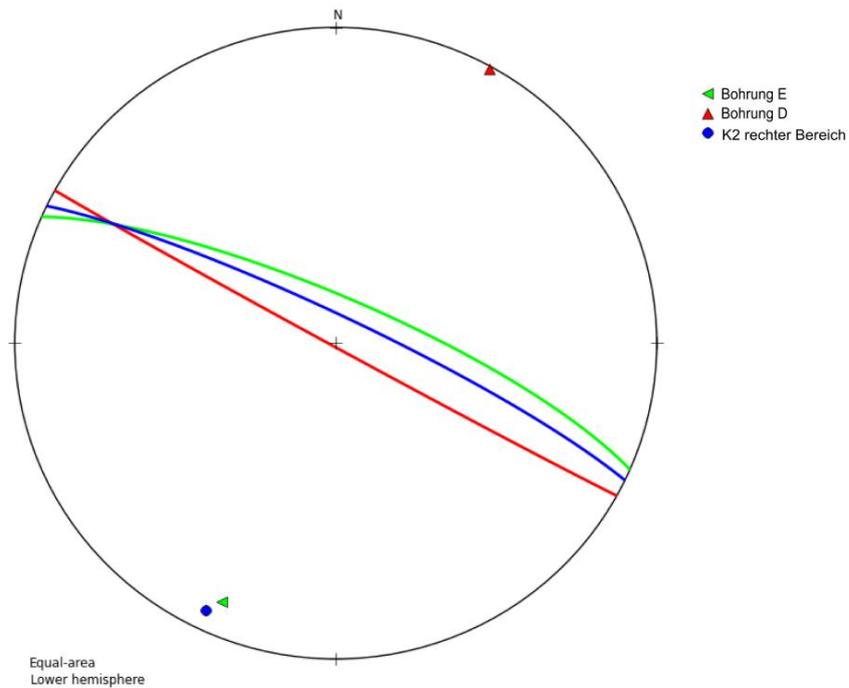


Abb. 39: Stereoplot der Kluftchar 2 im rechten Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

Bei K2 sind, obwohl der Regelungsgrad wieder hoch ist, die Schwankungen der Schwerpunkflächen etwas größer als bei der SF und K1 (siehe Tabelle 6). Der Bereich links, dessen Stereoplot in Abb. 38 zu sehen ist, ist am geregeltsten. Hier wurde im mittleren Bereich keine Bohrung gesetzt. Bei Bereich Rechts, wurden aufgrund der geringen Flächenanzahl nur 2 Bohrungen vorgenommen. Ihre Schwerpunkte sind um fast 180° gedreht.

Tabelle 7: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Kluftchar 3

K3	n	R[%]	κ	ϑ [°]	ω [°]	Schwerpunkfläche
Links	13	94.01	30.82	9.75	14.17	317.56/83
Mitte	8	94.23	30.35	13.5	13.89	128.19/75.54
Well A	5	95.61	36.44	17.92	12.1	128.58/74.87
Well B	5	95.12	32.82	18.92	12.76	126.62/71.11
Well C	4	94.44	27	26.37	13.63	128.68/75.62
Rechts	24	85.69	13.4	10.6	22.23	148.4/88.07
Well D	4	94.69	28.23	25.76	13.33	156.35/89.37
Well E	6	93.95	27.56	17.66	14.24	148.94/88.79
Well F	2	93.14	14.57	-	15.19	337.81/88.98
Well G	4	88.22	12.74	39.45	20.07	147.78/75.99

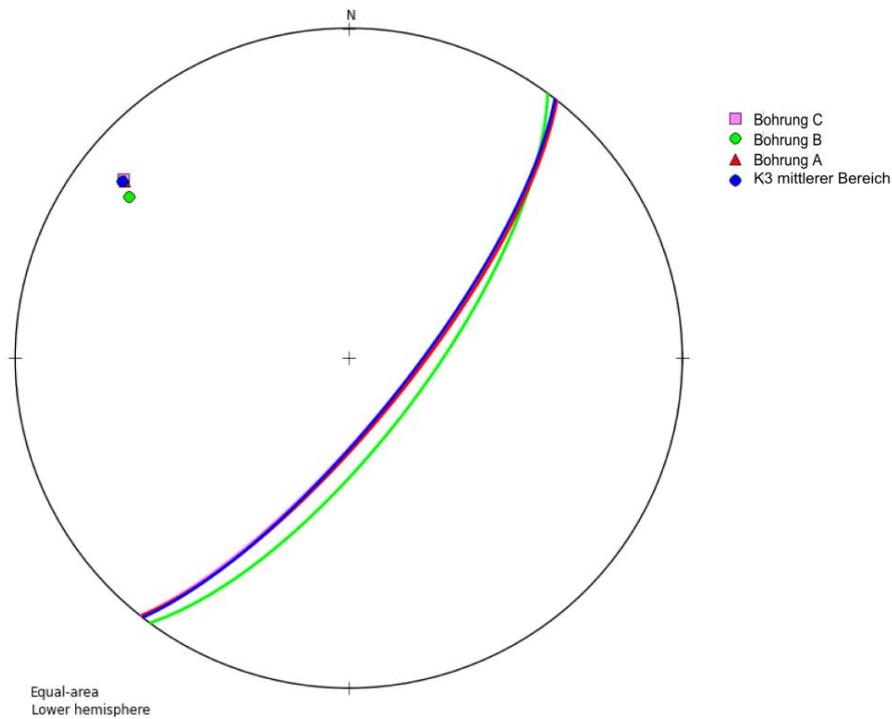


Abb. 40: Stereoplot der Klufschar 3 im mittleren Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

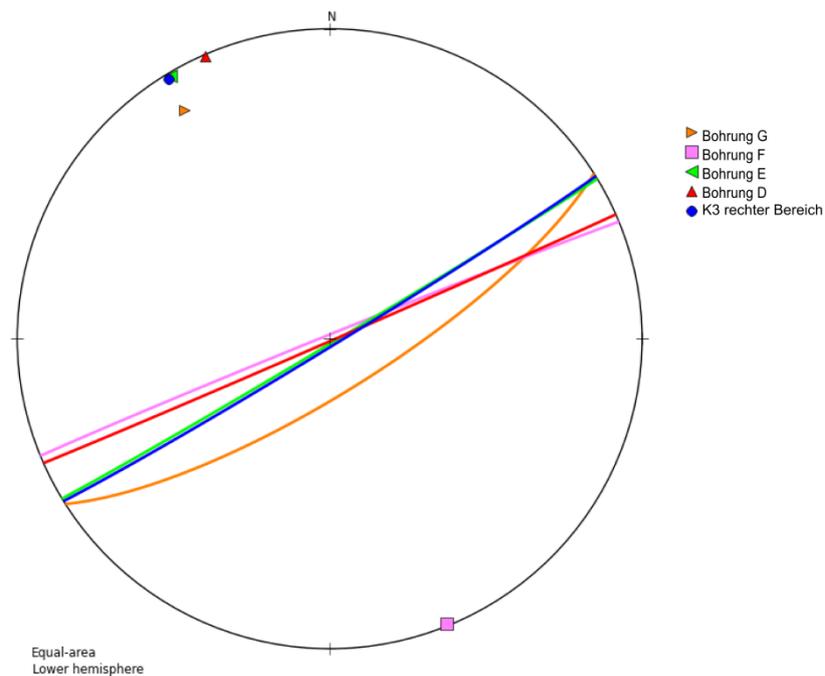


Abb. 41: Stereoplot der Klufschar 3 im rechten Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

Bei Klufschar 3 sind die höchsten Schwankungen ebenfalls im rechten Bereich zu sehen. Wie aus Tabelle 7 zu entnehmen, ist der mittlere Bereich sehr konzentriert was in Abb. 40 schön zu sehen ist. Dagegen ist im rechten Bereich, abgebildet in Abb. 41, in welchem der Azimuth der Schwerpunktlächen um ca. 20° höher ist die Regelung mit rund 85% um 10%

geringer als in den anderen zwei Bereichen. Für Kluftchar 3 wurde im linken Bereich keine Bohrung gesetzt.

8.1.2 Auswertung mit R

Hier sind nun alle mit R ausgewerteten statistischen Ergebnisse gelistet und graphisch dargestellt.

8.1.2.1 Trennflächengröße und Äquivalentradius

Zuerst werden zum Überblick die Ergebnisse der R Auswertung für die einzelnen Bereiche von Angenofen mit dem Gesamtergebnis einer Trennflächenschar für den ganzen Steinbruch verglichen. Daraufhin erfolgt die Präsentation der Boxplots für alle Bereiche und den dort erstellten Bohrungen. Unter den Plots sind die Ergebnisse der T-Tests für den präsentierten Bereich zu sehen, um das Dargestellte besser zu verstehen.

Tabelle 8: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächengrößen Angenofen

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
SF_L	0.25	1.58	5.17	15.04	21.00	84.00	20.10	404.15	19.43	1.76	2.65
SF_M	0.20	0.68	4.03	12.24	22.50	51.00	15.03	225.86	21.83	1.03	-0.34
SF_R	0.80	3.45	4.80	8.38	14.40	24.00	7.19	51.76	10.95	0.74	-1.02
K1_L	0.40	3.19	8.25	13.23	24.76	35.00	11.80	139.18	21.58	0.45	-1.50
K1_M	0.50	2.30	6.30	7.45	11.44	16.50	5.53	30.63	9.14	0.29	-1.45
K1_R	0.48	1.55	2.84	9.53	18.32	26.40	11.92	142.08	16.77	0.54	-1.91
K2_L	0.05	0.81	2.30	2.96	4.70	11.25	2.63	6.93	3.89	1.09	0.93
K2_M	11.00	16.30	21.20	28.78	30.90	66.00	19.27	371.42	14.60	0.94	-0.76
K2_R	0.45	0.70	0.92	0.96	1.13	1.65	0.43	0.18	0.43	0.37	-1.43
K3_L	0.30	0.53	2.60	3.40	3.43	16.20	4.35	18.89	2.90	1.89	2.90
K3_M	0.15	3.80	8.70	8.26	11.70	18.00	6.51	42.42	7.90	0.12	-1.61
K3_R	0.09	0.30	0.65	3.16	4.65	12.60	4.54	20.57	4.35	1.16	-0.45

Tabelle 9: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Schieferungsflächen.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	12.247
SF_L	-0.785	55.374	0.435	15.037
SF_M	-0.514	69.54	0.608	13.866
SF_R	1.911	97.068	0.058	8.378

Tabelle 10: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Kluftchar 1.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	10.440
K1_L	-1.155	52.798	0.253	13.230
K1_M	1.865	84.949	0.065	7.447
K1_R	0.182	5.643	0.861	9.526

Tabelle 11: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Kluftchar 2.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	7.885
K2_L	2.133	61.554	0.036	3.516
K2_M	-3.270	10.86	0.007	28.782
K2_R	3.587	49.771	7*10 ⁻⁵	0.961

Tabelle 12: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Kluftchar 3.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	4.0457
K3_L	0.451	22.548	0.655	3.401
K3_M	-1.456	8.6725	0.180	7.518
K3_R	0.734	52.048	0.466	3.164

Tabelle 8 gibt einen Gesamteindruck der statistischen Auswertungen für die Trennflächengrößen in den drei Bereiche. Sowohl bei der Schieferung (Tabelle 9), als auch bei Kluftchar 1 (Tabelle 10) gilt H_0 . Jedoch liegt der p-Wert im rechten Bereich des Steinbruch nur sehr knapp über 0.05. Bei Kluftchar 2, dessen T-Test Auswertung in Tabelle 11 zu sehen ist, ist ein signifikanter Unterschied für den Mittelwert in allen drei Bereichen gegeben. Betrachtet man die einzelnen Minimal und Maximalwerte aus Tabelle 8 ist dies auch nicht sehr überraschend. Kluftchar 3 weist in keinem der drei Bereiche einen signifikanten Unterschied zum Gesamtergebnis für den Steinbruch auf.

Tabelle 13: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Äquivalentradien Angenofen

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
SF_L	0.28	0.71	1.28	1.75	2.59	5.17	1.33	1.76	1.88	0.83	-0.33
SF_M	0.25	0.46	1.13	1.56	2.67	4.03	1.22	1.50	2.21	0.55	-1.24
SF_R	0.50	1.05	1.24	1.48	2.14	2.76	0.70	0.48	1.09	0.39	-1.31
K1_L	0.36	1.00	1.62	1.81	2.81	3.34	0.99	0.98	1.80	0.11	-1.57
K1_M	0.40	0.86	1.41	1.41	1.91	2.29	0.63	0.39	1.05	-0.08	-1.48
K1_R	0.39	0.70	0.94	1.43	2.31	2.90	1.10	1.20	1.61	0.45	-1.94
K2_L	0.13	0.50	0.86	0.86	1.22	1.89	0.45	0.20	0.72	0.16	-0.81
K2_M	1.87	2.27	2.60	2.89	3.14	4.58	0.93	0.87	0.86	0.70	-1.03
K2_R	0.38	0.47	0.54	0.54	0.60	0.72	0.12	0.01	0.13	0.13	-1.55
K3_L	0.31	0.41	0.91	0.89	1.05	2.27	0.56	0.31	0.63	0.99	0.25
K3_M	0.22	1.01	1.66	1.45	1.92	2.39	0.79	0.63	0.91	-0.38	-1.58
K3_R	0.17	0.31	0.45	0.77	1.21	2.00	0.65	0.43	0.90	0.93	-0.91

Tabelle 14: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Schieferungsflächen.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	1.608
F_L	-0.606	59.512	0.546	1.753
F_M	-0.142	70.218	0.887	1.641
F_R	0.732	69.329	0.466	1.483

Tabelle 15: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 1.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	1.603
K1_L	-0.982	55.025	0.330	1.805
K1_M	1.204	70.07	0.232	1.411
K1_R	0.387	5.592	0.712	1.425

Tabelle 16: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 2.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	1.231
K2_L	1.869	78.275	0.065	0.916
K2_M	-5.066	13.523	1.9*10 ⁻⁴	2.893
K2_R	4.574	53.819	2*10 ⁻⁵	0.541

Tabelle 17: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Kluftchar 3.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Gesamt	t	df	p Wert	0.914
K3_L	0.126	23.511	0.900	0.891
K3_M	-1.584	9.128	0.147	1.372
K3_R	0.844	48.94	0.402	0.772

Für die Äquivalentradien zeigt Tabelle 13 die Gesamtauswertung der statistischen Parameter. Die Ergebnisse sind ähnlich zu denen der Flächengrößen. Wieder wurden für die Schieferung (Tabelle 14), als auch für Kluftchar 1 (Tabelle 15) keine Unterschiede in den Mittelwerten des Steinbruch zu den einzelnen Bereichen ermittelt. Für Kluftchar 2 konnte nur für den linken Bereich kein signifikanter Unterschied gefunden werden (Tabelle 16). Für Kluftchar 3, welche in Tabelle 17 dargestellt ist, wurden auch keine Unterschiede festgestellt.

Nun folgt die Darstellung der einzelnen Bereiche von Angenofen und die Detailergebnisse für die Trennflächengrößen und den Äquivalentradien innerhalb dieser. „All“ im Boxplot steht für den gesamten Bereich. Unterhalb der Boxplots finden sich die T-Test Ergebnisse für den relevanten Bereich und eine Beschreibung dazu. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 9 „Diskussion“.

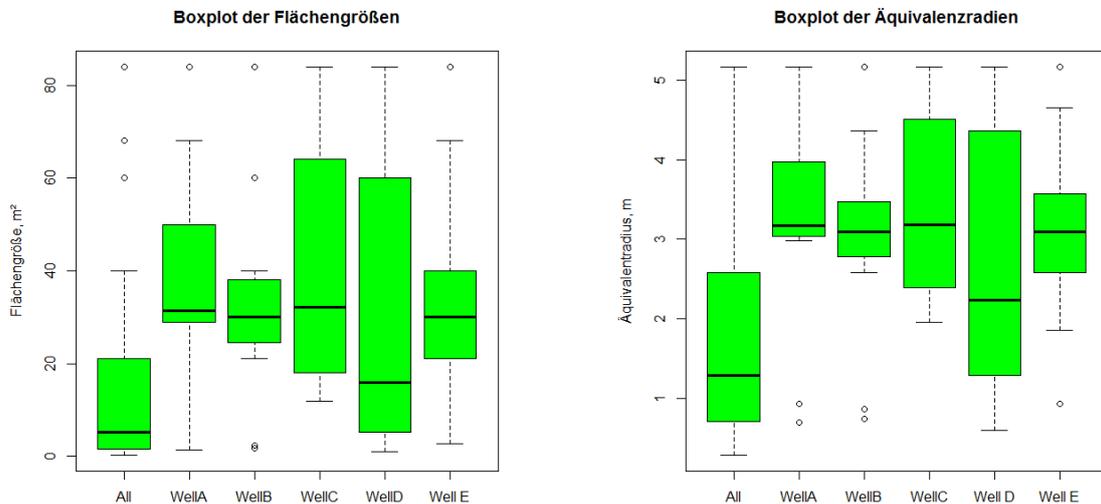


Abb. 42: Schieferung; Bereich Links (SF_L). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius

Tabelle 18: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_L .

SF_L	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
All				15.037
Well A	-2.712	13.794	0.017	37.427
Well B	-2.331	14.416	0.034	33.142
Well C	-2.527	8.653	0.033	40.552
Well D	-1.354	11.064	0.202	28.870
Well E	-2.733	18.233	0.013	34.9

Tabelle 19: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für SF_L .

SF_L	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
All				1.753
Well A	-3.075	15.595	0.007	3.190
Well B	-2.795	16.331	0.012	3.001
Well C	-3.464	10.741	0.005	3.409
Well D	-1.478	12.108	0.164	2.590
Well E	-3.559	23.059	0.001	3.136

Was sofort ins Auge sticht, wenn man Abb. 42 betrachtet ist, dass sowohl für die Trennflächengrößen, als auch für die Äquivalentradien die Ergebnisse der einzelnen Bohrungen sehr unterschiedlich sind. Der T-Test bestätigt dies und zeigt nur für Bohrung D keinen signifikanten Unterschied für beide Parameter (siehe Tabelle 18 und Tabelle 19). Der mögliche Grund für diese erheblichen Unterschiede wird in Kapitel 9.1 „Diskussion Angenofen“ erläutert.

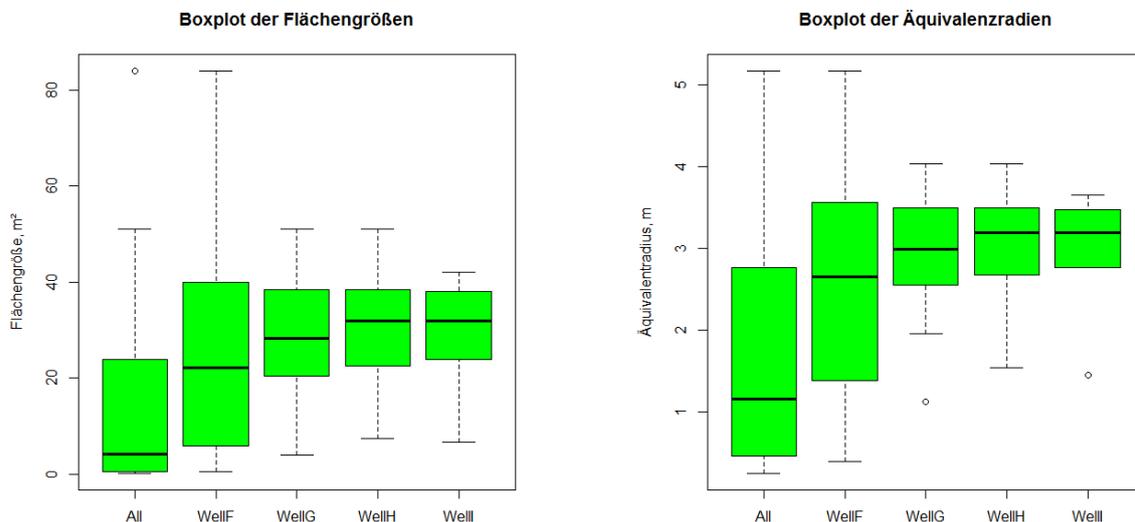


Abb. 43: Schieferung; Mittlerer Bereich (SF_M). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius

Tabelle 20: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_M

F_M	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
All				13.866
Well F	-2.078	25.996	0.047	26.697
Well G	-3.446	38.47	0.001	28.436
Well H	-3.516	22.491	0.001	30.204
Well I	-2.826	10.758	0.016	29.24

Tabelle 21: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_M

F_M	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
All				1.641
Well F	-2.455	30.377	0.02	2.583
Well G	-4.635	46.823	2.8*10⁻⁵	2.917
Well H	-4.812	30.896	3.7*10⁻⁵	3.030
Well I	-3.792	12.812	0.002	2.968

Im mittleren Bereich zeigt sich bei Abb. 43 auch wieder, dass die Ergebnisse der Bohrungen im Vergleich zum Gesamtbereich unterschiedlich sind. Auch in Tabelle 20 und Tabelle 21 ist dies mit den T-Test, aufgrund der kleinen p-Werte, belegt.

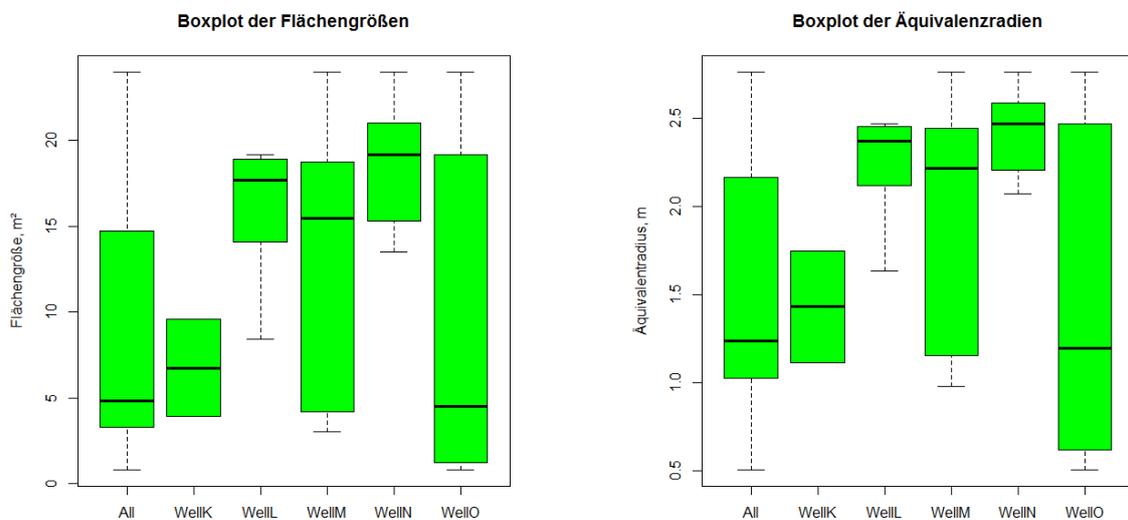


Abb. 44: Schieferung, Bereich Rechts (SF_R). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius

Tabelle 22: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_R

F_R	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
All				8.378143
Well K	0.515	1.504	0.671	6.75
Well L	-3.492	12.437	0.004	15.998
Well M	-1.451	10.381	0.176	12.975
Well N	-4.374	8.806	0.001	18.597
Well O	-0.356	13.105	0.727	9.528

Tabelle 23: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für SF_R

F_R	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
All				1.483
Well K	0.152	1.372	0.898	1.431
Well L	-4.048	16.793	8*10⁻⁴	2.237
Well M	-1.542	11.144	0.150	1.920
Well N	-5.157	14.955	1*10⁻⁴	2.420
Well O	-0.114	13.073	0.910	1.519

Die Trennflächengrößen und Äquivalentradien, ermittelt mit Bohrungen an verschiedenen Stellen ergibt auch für den rechten Bereich in Abb. 44, dass die Ergebnisse unterschiedlich wirken. Tabelle 22 und Tabelle 23 zeigen jedoch, dass diesmal für drei Bohrungen kein

signifikanter Unterschied in den Mittelwerten besteht. Dies sind Bohrung K, M und Bohrung O.

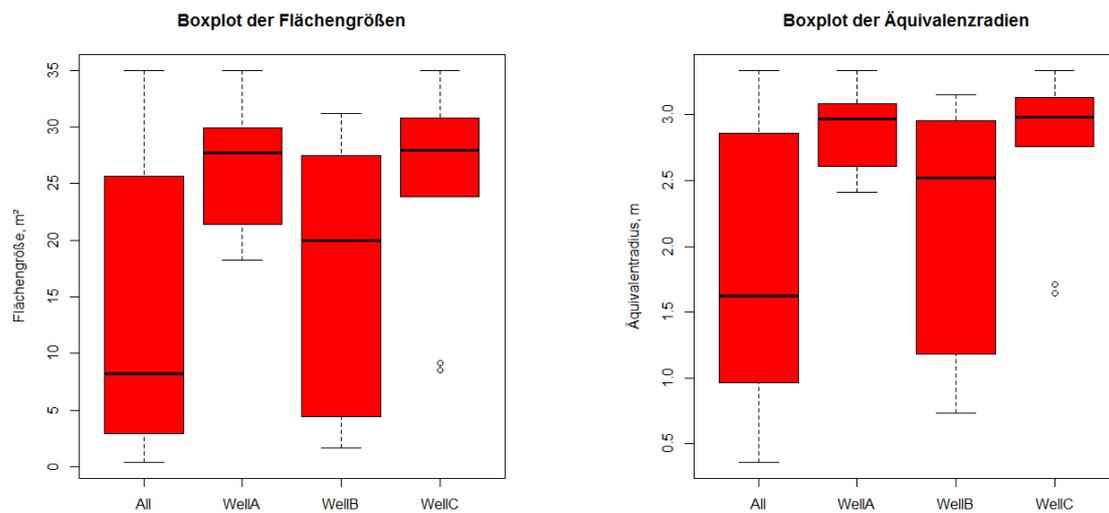


Abb. 45: Kluftchar 1; Bereich Links (K1_L). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalenzradius

Tabelle 24: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K1_L.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K1_L	t	df	p Wert	13.230
Well A	-5.055	40.786	$9.4 \cdot 10^{-6}$	26.187
Well B	-0.701	33.389	0.487	15.679
Well C	-3.354	19.538	0.003	25.095

Tabelle 25: T_Test Ergebnisse für die Äquivalenzradien für K1_L.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K1_L	t	df	p Wert	1.805
Well A	5.512	40.704	$2.1 \cdot 10^{-6}$	2.874
Well B	-0.839	34.706	0.406	2.045
Well C	-3.750	25.751	$9 \cdot 10^{-4}$	2.769

Abb. 45 zeigt, dass nur Bohrung B keinen signifikanten Unterschied zum gesamten linken Bereich aufweist für Kluftchar 1. Sowohl Tabelle 24 als auch Tabelle 25 belegen dies, wenn man die entsprechenden p-Werte betrachtet.

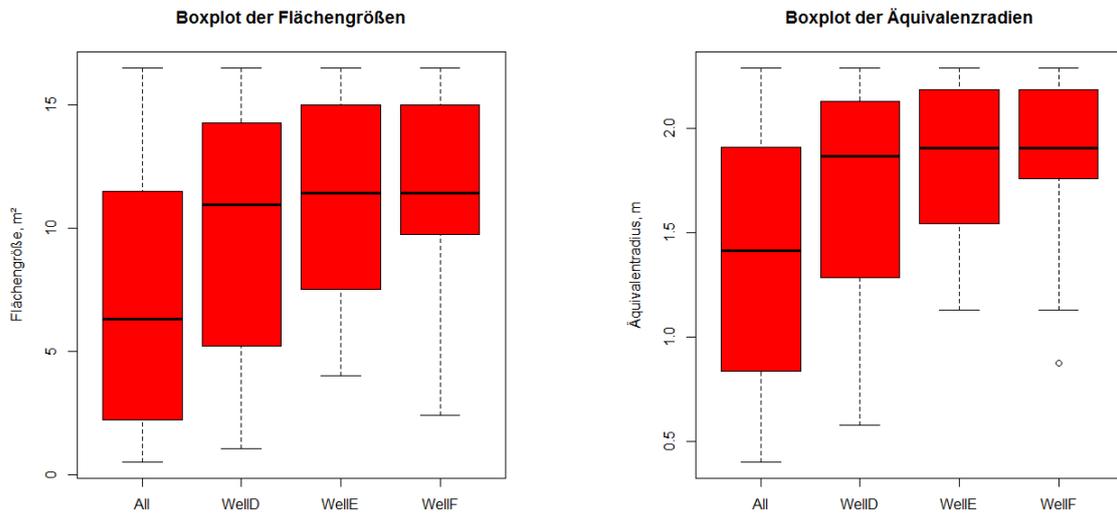


Abb. 46: Kluftchar1 ; Bereich Mitte (K1_M). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalenzradius

Tabelle 26: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K1_M.

K1_M	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well D	-1.496	40.93	0.142	9.791
Well E	-2.424	40.961	0.019	10.963
Well F	-2.566	35.042	0.014	11.392

Tabelle 27: T_Test Ergebnisse für die Äquivalenzradien für K1_M.

K1_M	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well D	-1.647	42.874	0.107	1.689
Well E	-2.820	43	0.007	1.832
Well F	-2.797	38.731	0.007	1.860

Betrachtet man Abb. 46, so ist nicht wirklich ein eindeutiges Ergebnis zu sehen. Erst wenn man einen Blick auf Tabelle 26 und Tabelle 27 wirft steht fest, dass für den mittleren Bereich nur für eine Bohrung kein signifikanter Unterschied für die Trennflächengröße und den Äquivalenzradius gefunden wurde.

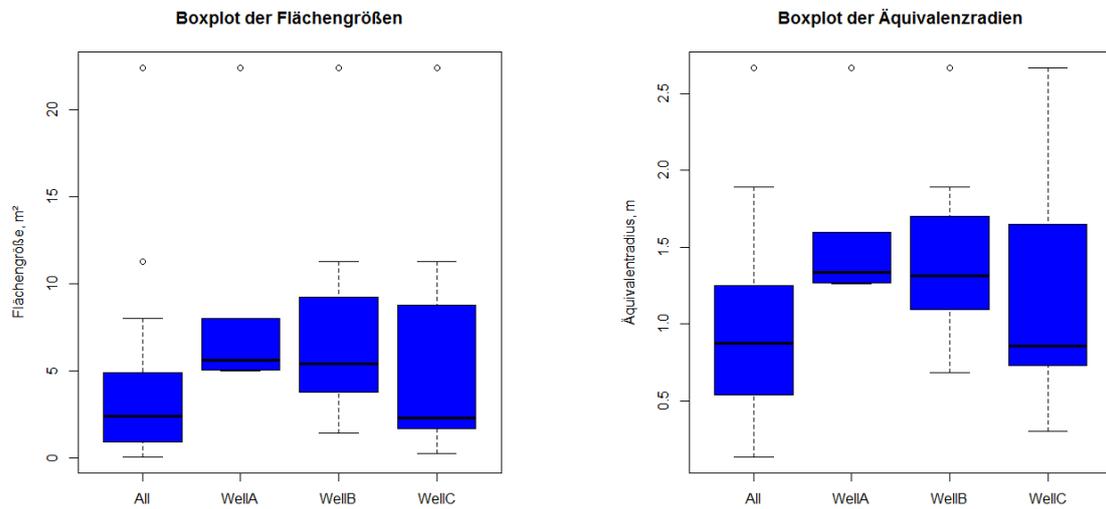


Abb. 47: Kluftchar 2; Bereich Links (K2_L). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalenzradius

Tabelle 28: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K2_L.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K2_L	t	df	p Wert	3.516
Well A	-1.667	4.365	0.165	9.212
Well B	-1.572	6.851	0.160	7.893
Well C	-0.910	8.022	0.388	6.017

Tabelle 29: T_Test Ergebnisse für die Äquivalenzradien für K2_L.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K2_L	t	df	p Wert	0.916
Well A	-2.510	4.961	0.054	1.626
Well B	-2.081	7.696	0.072	1.464
Well C	-0.914	8.603	0.385	1.179

Bei Kluftchar 2 im linken Bereich ist das erste Mal für keine Bohrung die Nullhypothese H_0 in Bezug auf die Flächengröße widerlegt worden (siehe Tabelle 28). Für den Äquivalenzradius ist das Ergebnis in Abb. 47 nicht ganz eindeutig und wenn man Tabelle 29 betrachtet, ist der p-Wert für die Bohrung A auch nur gering größer als 0.05.

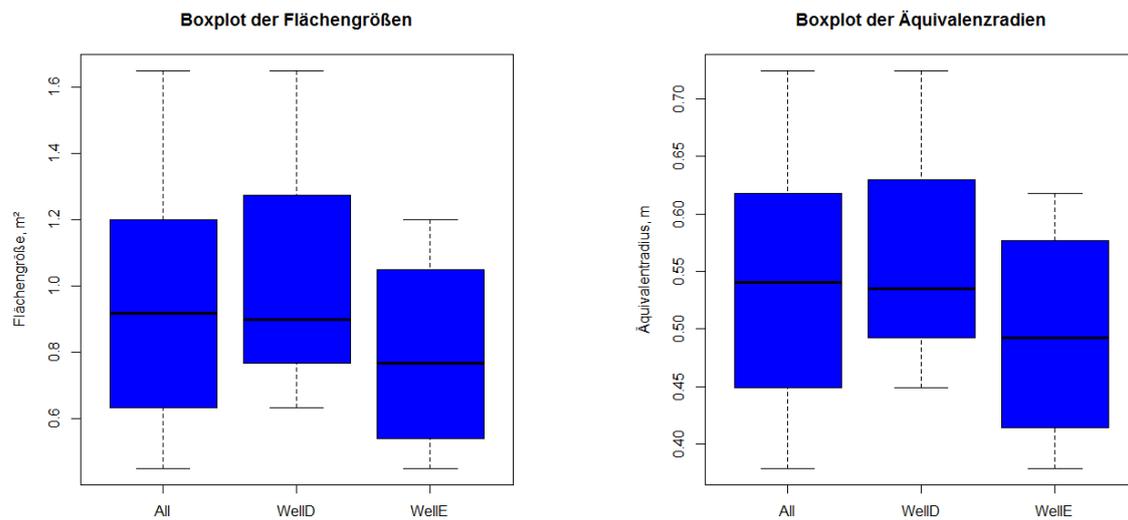


Abb. 48: Kluftchar 2; Bereich Rechts. Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalenzradius

Tabelle 30: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K2_R.

K2_R	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well D	-0.283	3.371	0.793	1.061
Well E	0.695	7.706	0.507	0.795

Tabelle 31: T_Test Ergebnisse für die Äquivalenzradien für K2_R.

K2_R	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well D	-0.290	3.579	0.788	0.569
Well E	0.648	7.333	0.537	0.495

So groß die Unterschiede im Vergleich von den einzelnen Bereichen zum gesamten Steinbruch für Kluftchar 2 auch sind, innerhalb des linken und rechten Bereichs können weder für die Flächengrößen, noch für die Äquivalenzradien in Abb. 48 Unterschiede festgestellt werden. Die T-Tests für die Mittelwerte in Tabelle 30 und Tabelle 31 bestätigen dies.

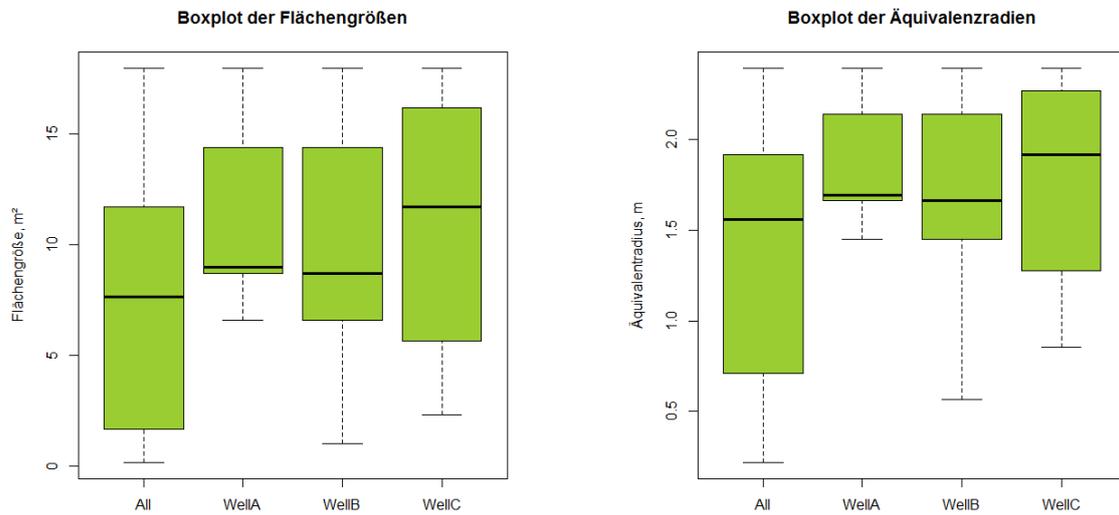


Abb. 49: Kluftchar 3; Bereich Mitte. Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalenzradius

Tabelle 32: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K3_M.

K3_M	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well A	-1.237	10.534	0.243	11.34
Well B	-0.594	8.349	0.567	9.74
Well C	-0.830	5.722	0.439	10.923

Tabelle 33: T_Test Ergebnisse für die Äquivalenzradien für K3_M.

K3_M	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well A	-1.546	10.755	0.151	1.868
Well B	-0.648	9.147	0.533	1.642
Well C	-0.920	6.852	0.389	1.770

Für Kluftchar 3 sind im mittleren Bereich in Abb. 49 für die Parameter der Trennflächengröße und des Äquivalenzradius nur geringe Unterschiede zu sehen. Die Ergebnisse der T-Tests in Tabelle 32 und Tabelle 33 belegen dies auch hier.

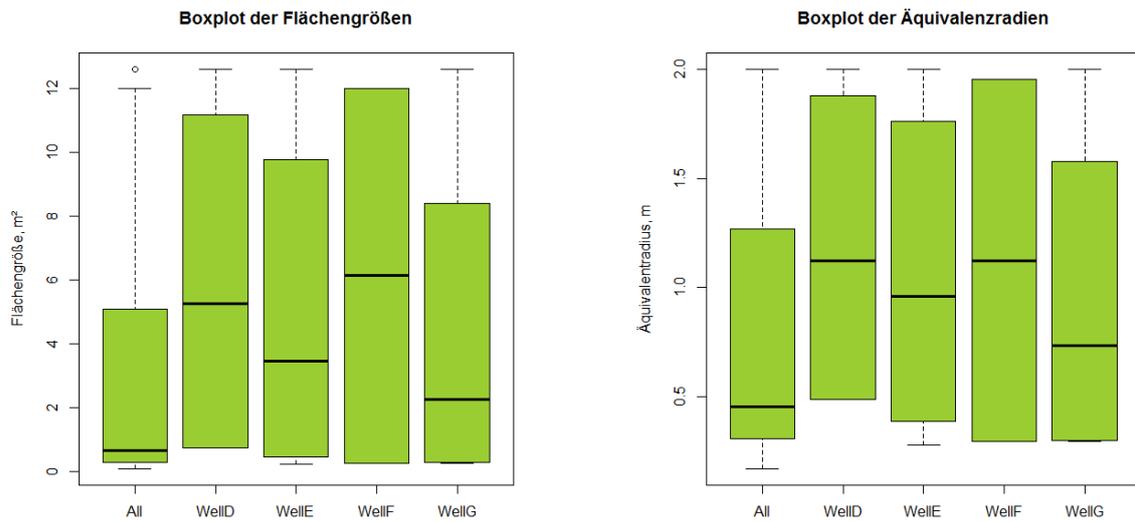


Abb. 50: Kluftchar 3; Bereich Rechts. Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius

Tabelle 34: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K3_R

K3_R	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well D	-0.874	3.568	0.431	5.963
Well E	-0.775	6.935	0.463	4.994
Well F	-0.500	1.050	0.701	6.135
Well G	-0.386	3.636	0.720	4.342

Tabelle 35: T_Test Ergebnisse für die Äquivalenzradien für K3_R.

K3_R	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Well D	-0.967	3.681	0.393	1.185
Well E	-0.852	7.019	0.422	1.057
Well F	-0.417	1.052	0.746	1.123
Well G	-0.390	3.673	0.717	0.940

Im rechten Bereich der dritten Kluftchar sind die Ergebnisse der einzelnen Bohrungen wieder deckend mit dem Gesamtergebnis des rechten Bereichs.

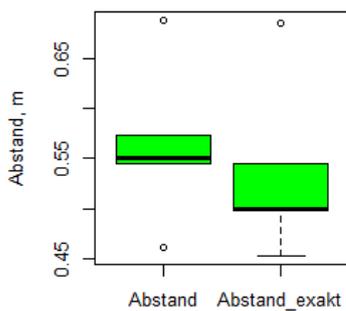
8.1.2.2 Trennflächenabstand

Nun werden die Ergebnisse für die Trennflächenabstände präsentiert, beginnend wieder bei der Schieferung Angenofen. Die Kürzel beziehen sich wieder auf die jeweilige Schar und den Bereich. Der Zusatz ‚exakt‘ steht für den wahren Trennflächenabstand der sich ergibt, wenn man für jede Bohrung die dazugehörige Normalfläche zur Berechnung von δ verwendet.

Tabelle 36: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Schieferung, Angenofen

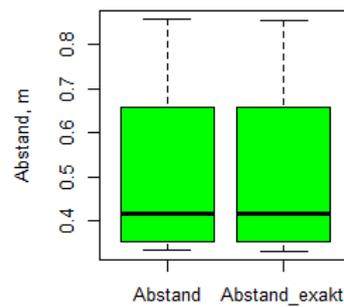
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
SF_L	0.46	0.54	0.55	0.56	0.57	0.69	0.081	0.006	0.027	0.32	1.41
SF_L_exakt	0.45	0.49	0.50	0.54	0.55	0.68	0.089	0.008	0.047	0.73	1.30
SF_M	0.33	0.36	0.42	0.51	0.56	0.86	0.24	0.057	0.20	0.64	-1.77
SF_M_exakt	0.33	0.36	0.42	0.51	0.56	0.86	0.24	0.057	0.20	0.64	-1.77
SF_R	0.54	0.60	0.80	1.054	1.08	2.250	0.70	0.49	0.48	0.85	-1.21
SF_R_exakt	0.50	0.60	0.80	1.03	1.03	2.24	0.703	0.49	0.43	0.87	-1.18

Boxplot der Trennflächenabstände



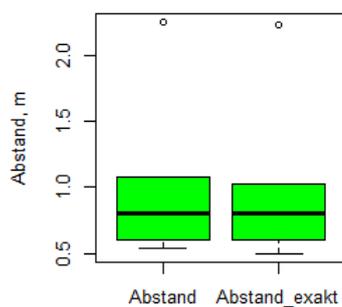
Links

Boxplot der Trennflächenabstände



Mitte

Boxplot der Trennflächenabstände



Rechts

Abb. 51: Trennflächenabstände der Schieferung. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.

Tabelle 37: T-Test Ergebnisse für die einzelnen Bereiche der Schieferung.

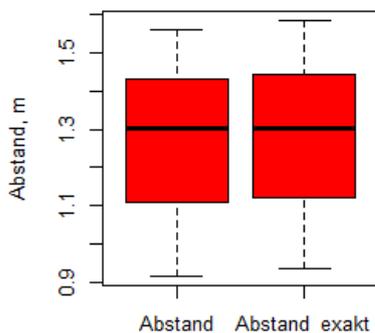
	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
SF_L	t	df	p Wert	0.563
SF_L_exakt	0.503	7.931	0.628	0.536
SF_M				0.506
SF_M_exakt	0.003	6	0.997	0.506
SF_R				1.054
SF_R_exakt	0.049	7.999	0.962	1.032

Abb. 51 zeigt, dass die Mittelwerte der Trennflächenabstände für den mittleren Bereich und rechts ziemlich gleich sind. Nur für den linken Bereich ist das graphische Ergebnis nicht eindeutig, Tabelle 37 zeigt jedoch keinen signifikanten Unterschied auf. Zu beachten sind auch der in Tabelle 36 ermittelten Maximal- und Minimalwerte für den Abstand, welche von 30cm bis zu 2,2m reichen. Diese Werteunterschiede sind sehr groß.

Tabelle 38: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Klufschar 1, Angenofen

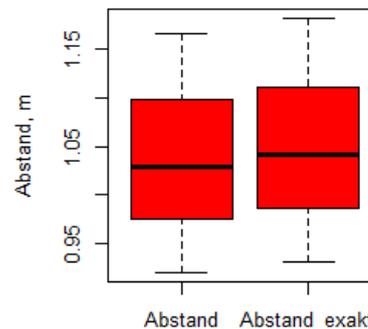
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
K1_L	0.91	1.10	1.30	1.25	1.43	1.56	0.32	0.10	0.32	-0.12	-2.33
K1_L_exakt	0.93	1.12	1.30	1.27	1.44	1.58	0.32	0.10	0.32	-0.08	-2.33
K1_M	0.92	0.97	1.02	1.03	1.09	1.16	0.12	0.015	0.12	0.07	-2.33
K1_M_exakt	0.93	0.98	1.04	1.05	1.11	1.18	0.12	0.015	0.12	0.08	-2.33

Boxplot der Trennflächenabstände



Links

Boxplot der Trennflächenabstände



Mitte

Abb. 52: Trennflächenabstände der Klufschar 1. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.

Tabelle 39: T-Test Ergebnisse für die Bereiche der Schieferung. dn: Exakter Abstand ermittelt durch die einzelnen Bohrungen

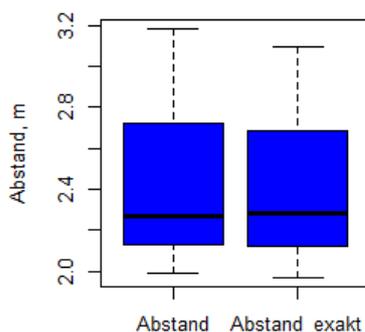
	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K1_L	T	df	p Wert	1.259
dn	-0.055	4	0.958	1.274
K1_M				1.038
dn	-0.119	3.998	0.911	1.050

Die in Tabelle 38 berechnete Auswertung der statistischen Kennwerte zeigt eine wesentlich geringere Differenz zwischen dem minimalen Wert und dem maximalen, welche auch sehr ident sind für beide Bereiche. Abb. 52 zeigt ebenfalls, dass die Abstände annähernd gleich sind, was die T-Tests in Tabelle 39 belegen.

Tabelle 40: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Kuftschar 2, Angenofen

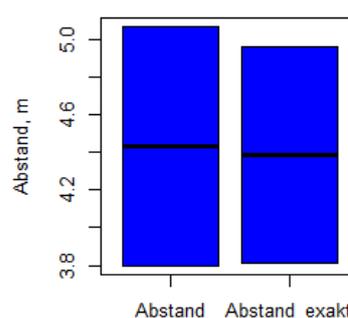
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
K2_L	1.98	2.13	2.27	2.48	2.72	3.18	0.62	0.38	0.59	0.29	-2.33
K2_L_exakt	1.97	2.12	2.28	2.45	2.68	3.09	0.58	0.33	0.56	0.26	-2.33
K2_R	3.8	4.11	4.43	4.43	4.74	5.06	0.89	0.80	0.63	-0.00	-2.75
K2_R_exakt	3.81	4.09	4.38	4.38	4.67	4.96	0.81	0.65	0.57	-0.00	-2.75

Boxplot der Trennflächenabstände



Links

Boxplot der Trennflächenabstände



Rechts

Abb. 53: Trennflächenabstände der Kluftschar 2. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.

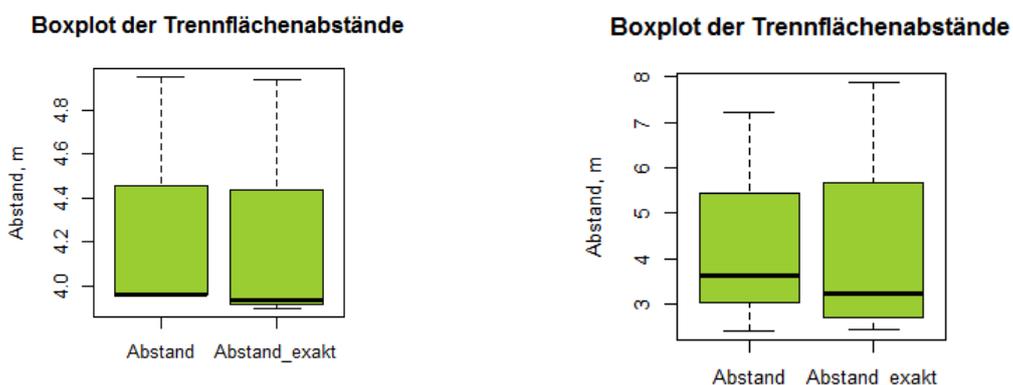
Tabelle 41: T-Test Ergebnisse für die Bereiche der Trennflächenschar. dn: Exakter Abstand ermittelt durch die einzelnen Bohrungen

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K2_L	T	df	p Wert	2.480
dn	0.062	3.980	0.953	2.449
K2_R				4.432
dn	0.054	1.980	0.961	4.385

Der Trennflächenabstand im rechten Bereich der Kluftschar 2 ist bis zu 2m größer als der Maximalwert im linken Bereich, was aus Tabelle 40 zu lesen ist. Betrachtet man Abb. 53 sind die Balken des rechten Bereich auch sehr lang und weisen keine Ausreißer auf. Dies ist ein Indiz für die geringe Anzahl der ermittelten Flächen im rechten Bereich. Innerhalb der einzelnen Bereiche sind die Trennflächenabstände aber beinahe ident, was der T-Test bestätigt (Tabelle 41).

Tabelle 42: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Kluftschar 3, Angenofen

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
K3_M	3.59	3.95	3.95	4.28	4.45	4.94	0.57	0.32	0.49	0.38	-2.33
K3_M_exakt	3.9	3.91	3.93	4.25	4.43	4.93	0.58	0.34	0.51	0.38	-2.33
K3_R	2.41	3.31	3.61	4.22	4.52	7.23	2.08	4.36	1.20	0.57	-1.77
K3_R_exakt	2.42	2.84	3.23	4.19	4.58	7.86	2.48	6.19	1.73	0.68	-1.73



Mitte

Rechts

Abb. 54: Trennflächenabstände der Kluftschar 3. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.

Tabelle 43: T-Test Ergebnisse für die Bereiche der Trennflächenschar. dn: Exakter Abstand ermittelt durch die einzelnen Bohrungen

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K3_M	T	df	p Wert	4.289
dn	0.064	3.996	0.951	4.258
K3_R				4.220
dn	0.017	5.824	0.986	4.192

Die T-Tests bestätigen auch hier, dass innerhalb eines Bereiches die Trennflächenabstände annähernd gleich sind (Tabelle 43). Doch aus Abb. 54 und Tabelle 42 ist zu entnehmen, dass hier im rechten Bereich der Trennflächenabstand mit bis zu 8m um einiges größer ist als im mittleren Bereich.

8.1.2.3 Spurlänge

Die Spurlänge wurde für die einzelnen Bereiche, unabhängig von den Bohrungen, ermittelt. Tabelle 44 zeigt die Ergebnisse des RiScan Modells, welches in R ausgewertet wurde. In Tabelle 45 sind die Mittelwerte, welche aus FracMan ermittelt wurden zu sehen. Abb. 55 zeigt zusammenfassend die ermittelten Graphiken der R Auswertung.

Tabelle 44: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Spurlängen Angenofen

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
SF_L	0.25	1.05	3.45	4.66	7.08	17.00	4.64	21.51	6.03	1.17	0.51
SF_M	0.20	0.63	3.00	5.73	9.60	21.00	6.46	41.77	8.98	1.01	-0.34
SF_R	0.50	1.28	1.60	3.03	5.03	8.00	2.32	5.38	3.75	0.66	-1.15
SF_all	0.20	0.95	1.60	4.35	6.30	21.00	5.01	25.08	5.35	1.64	2.02
K1_L	0.40	1.15	3.31	3.46	5.35	7.00	2.21	4.88	4.20	0.15	-1.45
K1_M	0.50	1.50	2.65	2.97	4.80	5.50	1.75	3.05	3.30	0.15	-1.58
K1_all	0.40	1.20	3.07	3.23	5.00	7.00	2.00	4.02	3.80	0.23	-1.29
K2_L	0.21	0.70	1.05	1.32	1.58	4.50	0.92	0.92	0.88	1.45	2.03
K2_R	0.30	0.61	0.72	0.73	0.90	1.10	0.28	0.08	0.29	-0.16	-1.54
K2_all	0.21	0.62	1.00	1.23	1.50	4.50	0.91	0.83	0.88	1.65	2.84
K3_M	0.30	1.70	3.00	2.97	4.05	6.00	2.08	4.31	2.35	0.00	-1.59
K3_R	0.12	0.30	0.50	1.36	2.20	4.20	1.43	2.04	1.90	0.94	-0.83
K3_all	0.12	0.35	0.70	1.72	3.13	6.00	1.70	2.90	2.78	0.81	-0.69

Tabelle 45: FracMan Ergebnisse der die Spurlängen Angenofen

	Mean	sd
SF_L	4.7919	4.3931
SF_M	6.7803	6.3127
SF_R1	2.4031	2.1660
SF_R2	2.9018	1.9230
K1_L	3.3303	2.4670
K1_M	3.1787	1.8193
K2_L_vorne	1.9920	1.7310
K2_L_hinten	1.7814	1.4927
K2_R	0.6410	0.3326
K3_M	3.0646	2.0203
K3_R1	0.9099	1.2012
K3_R2	2.2640	1.6081

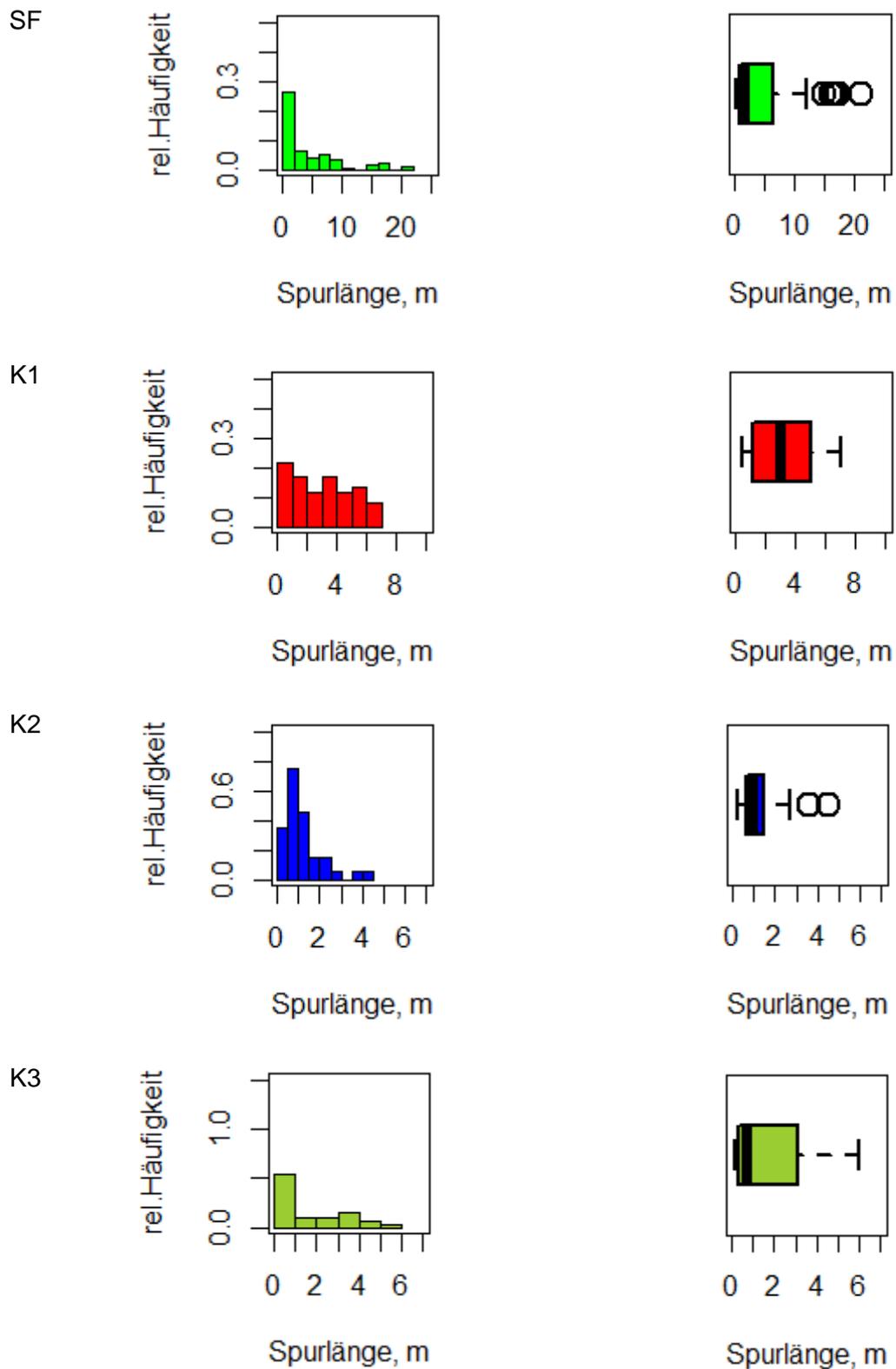


Abb. 55: Histogramme und Boxplots der Spurlängen von Angenofen

8.2 Feldkofel

Bei Feldkofel sind im Topbereich neben der Bankung des Gesteins, welche nach SO bis S einfällt, fünf weitere Klufscharen identifiziert. Das gesamte Modell ist in Abb. 56 zu sehen. Wenn man die in Abb. 57 geplotteten Stereographiken betrachtet, wäre es evtl. sinnvoller gewesen, noch weitere, kleinere Klufscharsysteme in Erwägung zu ziehen. Klufschar 1 (K1) streicht NW-SO, Klufschar 2 (K2) streicht N-S, Klufschar 3 (K3) streicht ONO-WSW, Klufschar 4 (K4) streicht WNW-OSO und Klufschar 5 (K5) streicht tendenziell in Richtung NO-SW.

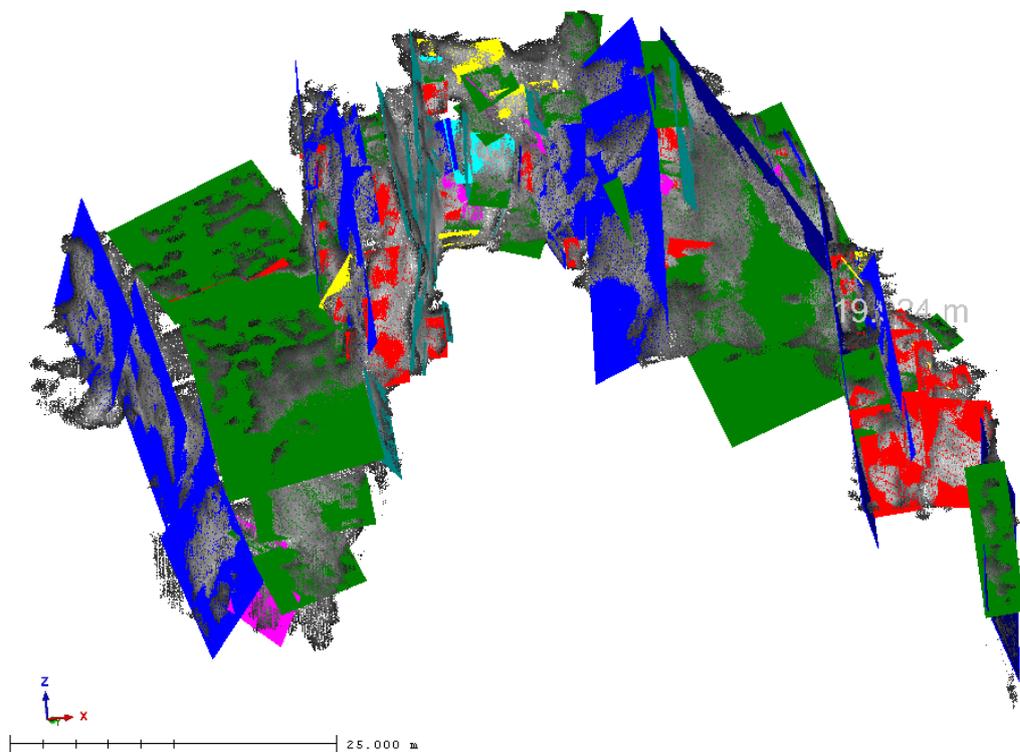


Abb. 56: Fertiges RiScan Pro Modell des Feldkofel Gipfelbereiches

8.2.1.1 Orientierung

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt hier nach dem gleichen Schema, wie bei Angenofen. Unterschied ist, dass der Gipfelbereich nicht weiter in einzelne Bereiche unterteilt wurde. Somit gilt die Auswertung immer für eine gesamte Trennflächenschar.

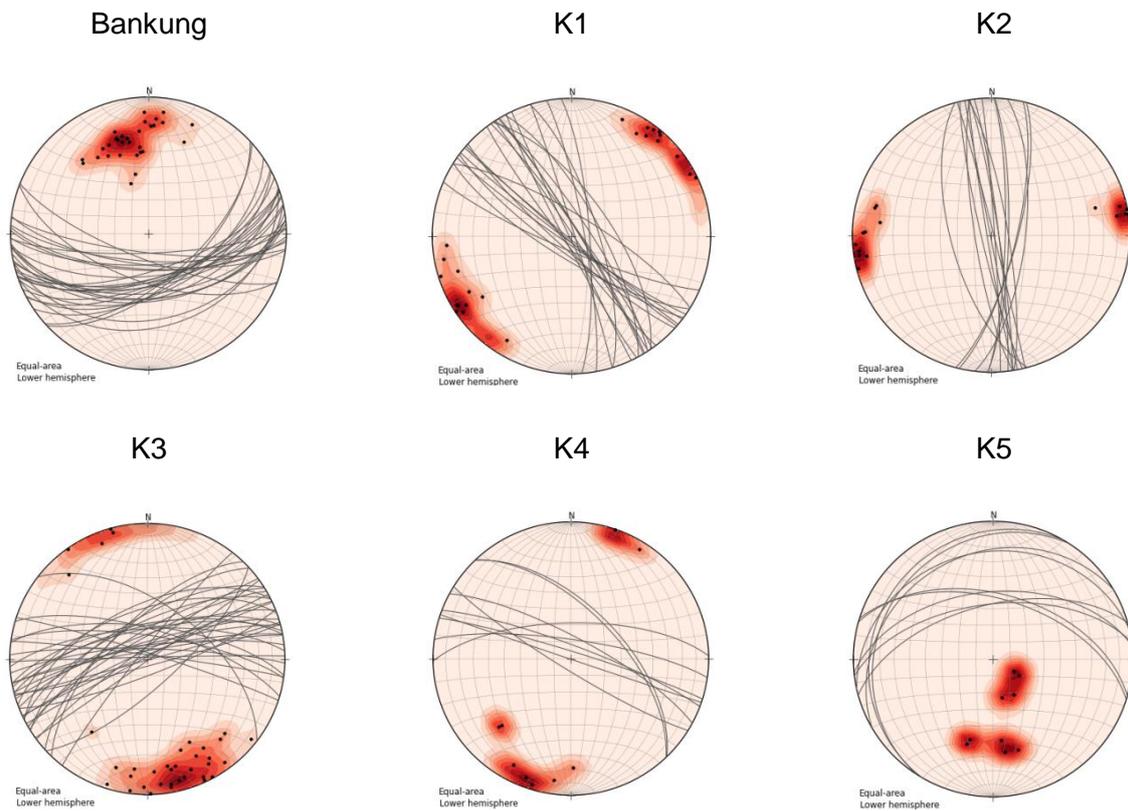


Abb. 57: Stereoplots aller Klufscharen des Gipfelbereich Feldkofel.

Abb. 57 zeigt alle Stereoplots der Trennflächenscharen mit den Polpunkten und den dazugehörigen Trennflächenscharen. Die Streuung scheint viel größer als jene der bei Angenofen ermittelten Scharen. Für K3 sind die Orientierungen sehr heterogen und scheinen nicht wirklich derselben Klufscharen anzugehören. Dasselbe kann man für K4 und K5 sagen, die Flächenanzahl für die unterschiedlichen Orientierungen ist jedoch sehr gering.

Tabelle 46: Spharia Auswertung der Orientierungsdaten Feldkofel.

	n	R[%]	κ	ϑ [°]	ω [°]	Schwerpunktfläche
Bankung	30	91.17	21.91	7.23	17.28	169.58/59.68
Well A	2	90.13	10.13	-	18.31	175/64.16
Well B	3	92.61	18.04	49.1	15.77	171.29/62.32
K1	23	89.62	18.43	9.16	18.79	52.55/87.77
Well A	5	92.4	21.04	23.68	16.01	56.02/85.95
Well B	4	95.52	33.47	23.57	12.22	62.34/80.32
Well C	6	93.65	26.26	18.11	14.59	55.78/85.83
Well E	4	91.09	16.84	33.87	17.36	234.93/84.62
Well F	4	92.23	19.31	31.48	16.81	55.05/83.28
K2	15	94.04	31.3	8.87	14.13	85.7/86.6
Well A	5	96.05	40.54	16.97	11.46	85.86/83.07
Well B	6	95.17	34.48	15.73	12.7	89.9/82.93
Well C	3	99.04	139.45	16.91	5.61	84.34/81.74
K3	36	86.16	14.05	8.29	21.84	343.75/78.4
Well A	5	95.22	33.47	18.37	12.63	7.13/74.62
Well B	6	96.5	47.66	13.32	10.78	352.11/78.21
Well C	4	93.03	21.51	29.73	15.31	326.08/79.28
K4	9	89.63	17.14	16.78	18.79	23.5/77.45
K5	9	85.79	12.51	19.87	22.14	351.75/36.88

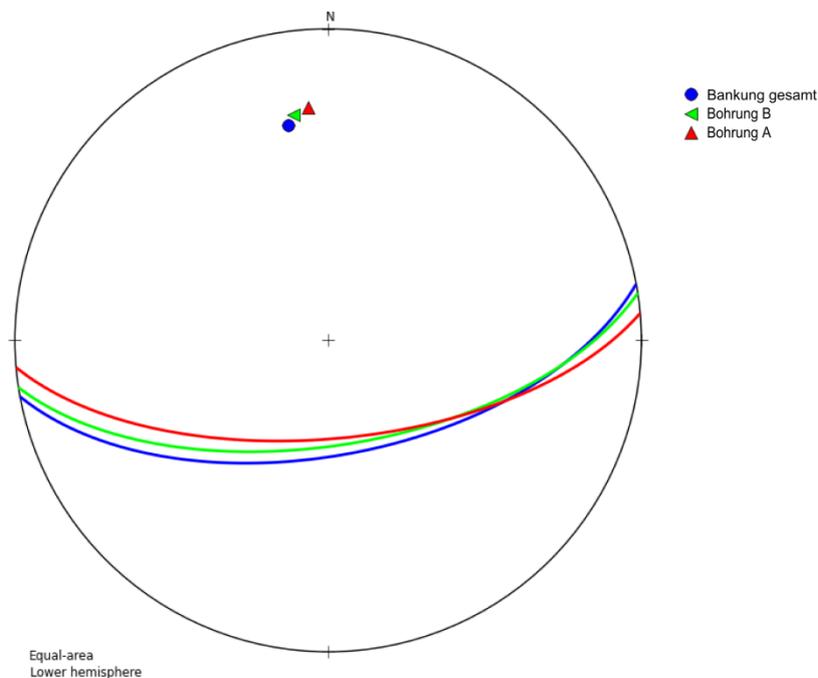


Abb. 58: Stereoplot der Bankung des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

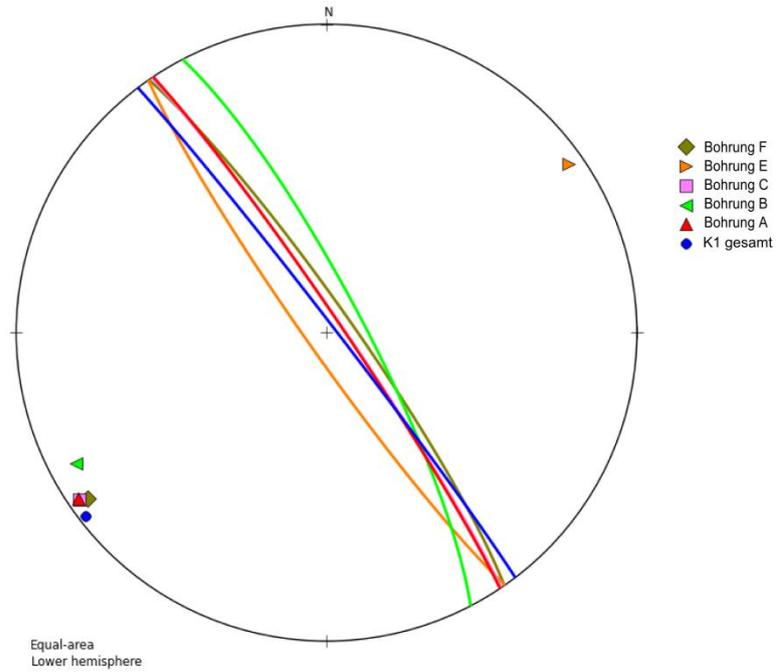


Abb. 59: Stereoplot der Klufschar 1 des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

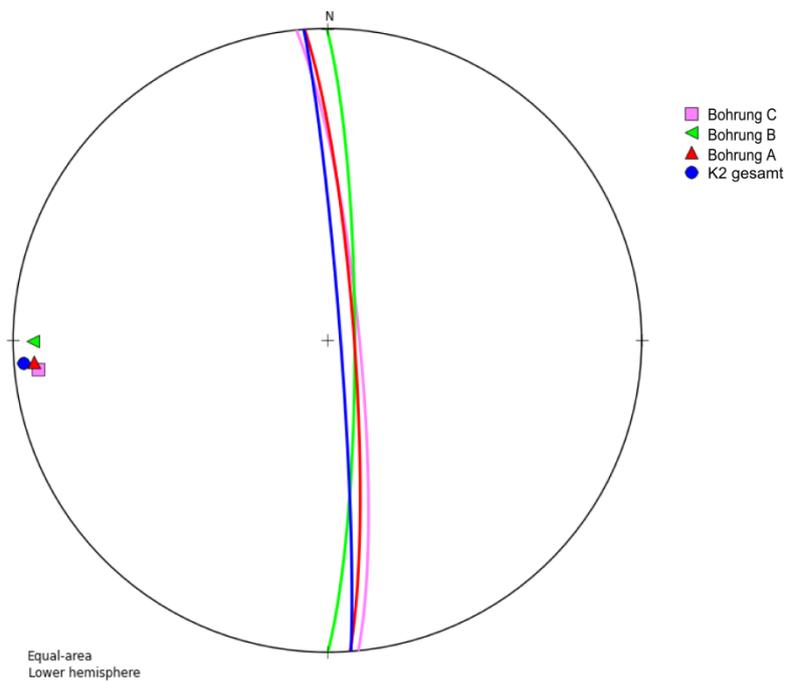


Abb. 60: Stereoplot der Klufschar 2 des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

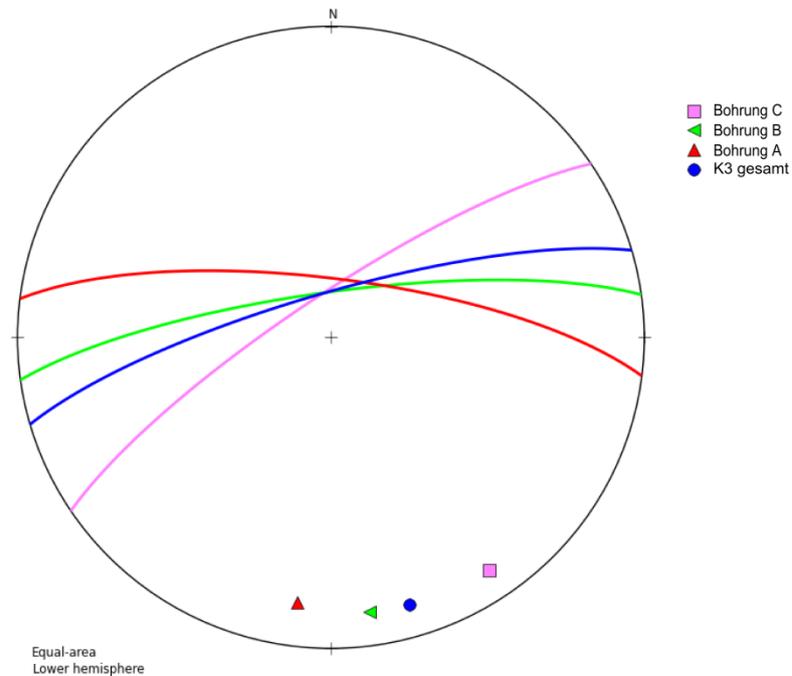


Abb. 61: Stereoplot der Kluftchar 3 des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.

Tabelle 46 zeigt die Spharia Auswertung der Orientierungsdaten aller Trennflächenscharen des Gipfelbereichs, bei den Bankungsflächen, K1, K2 und K3 wurden Bohrungen an unterschiedlichen Stellen des Gipfels gesetzt. Abb. 58, Abb. 59 und Abb. 60 zeigen für die gesamte, jeweilige Schar und den Bohrungen keinen großen Unterschied in der Orientierung der Schwerpunktlächen. Bei K3, dessen Stereoplot in Abb. 61 dargestellt ist schwanken diese jedoch ziemlich zwischen den einzelnen Bohrungen als auch in deren Beziehung zur Gesamtschwerpunktläche.

8.2.1.2 Trennflächengröße und Äquivalentradius

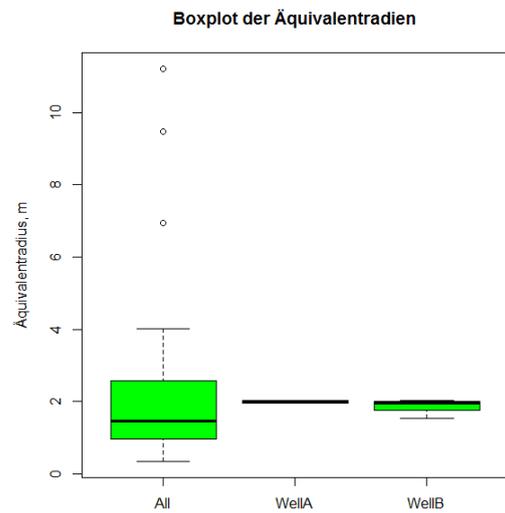
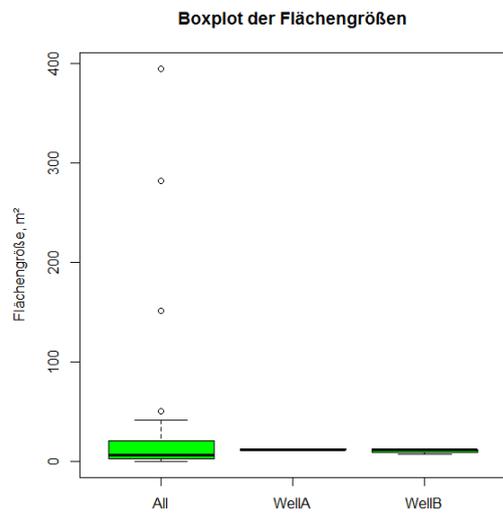
In Tabelle 47 und Tabelle 48 finden sich die einzelnen Auswertungen gegliedert nach den Trennflächensets.

Tabelle 47: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächengrößen.

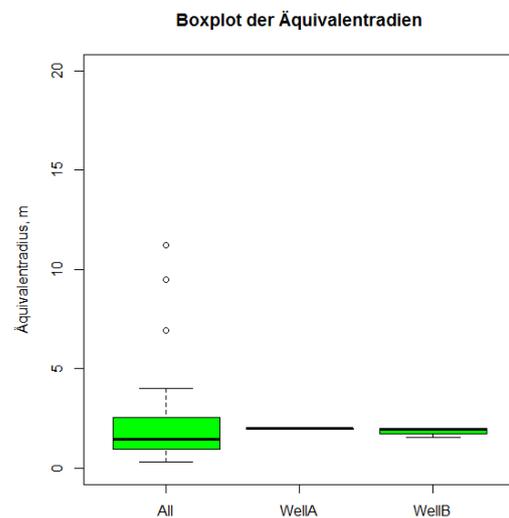
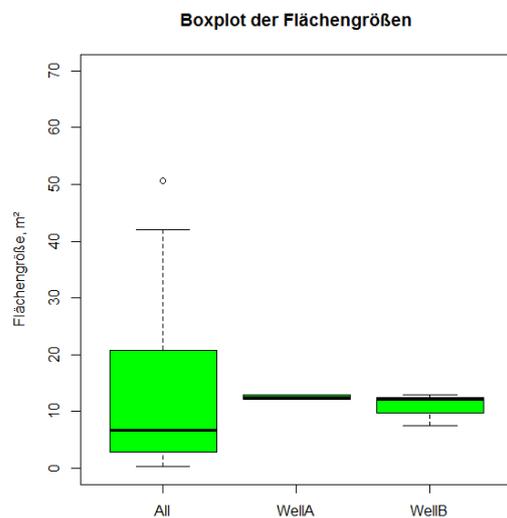
	Min.	1st Qu.	Med	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
Bankung	0.37	2.98	6.72	37.90	19.76	394.94	87.80	7708.01	16.79	2.99	8.21
K1	1.79	9.79	63.04	90.31	180.77	282.57	88.77	7880.36	170.98	0.52	-1.23
K2	2.35	12.41	27.00	46.49	58.94	153.13	45.52	2072.47	46.53	1.02	-0.22
K3	0.69	1.81	4.98	7.16	7.81	53.23	9.48	89.89	5.99	3.35	12.93
K4	0.65	2.44	4.51	6.69	5.86	30.58	9.18	84.22	3.41	1.89	2.14
K5	1.73	2.06	3.14	4.85	6.25	14.47	4.07	16.58	4.19	1.31	0.58

Tabelle 48: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Äquivalentradien.

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
Bankung	0.34	0.97	1.46	2.41	2.51	11.21	2.55	6.49	1.53	2.19	4.14
K1	0.75	1.76	4.48	4.54	7.59	9.48	2.91	8.48	5.82	0.14	-1.66
K2	0.86	1.98	2.93	3.42	4.33	6.98	1.83	3.34	2.35	0.46	-1.07
K3	0.47	0.76	1.26	1.32	1.58	4.12	0.73	0.54	0.82	1.67	3.74
K4	0.46	0.88	1.20	1.27	1.37	3.12	0.77	0.59	0.48	1.35	0.95
K5	0.74	0.81	1.00	1.16	1.41	2.15	0.46	0.21	0.60	0.88	-0.46



a)



b)

Abb. 62: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Bankung a) Gesamte Darstellung mit Ausreißern. b) Detaillierte Darstellung, bei der die Grenzwerte nicht dargestellt werden

Tabelle 49: T-Test für die Flächengrößen der Bankung und den eingefügten Bohrungen

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
	t	df	p Wert	
Bankung				37.900
Well A	1.582	29.041	0.124	12.524
Well B	1.678	29.598	0.103	10.847

Tabelle 50: T-Test für die Äquivalentradien der Bankung und den eingefügten Bohrungen

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Bankung	t	df	p Wert	2.406
Well A	0.8791	29.286	0.385	1.996
Well B	1.145	30.487	0.260	1.845

Für die Bankung ist zu bemerken, dass der Unterschied zwischen der kleinsten ermittelten Fläche und der größten gewaltig ist, sowohl für die Flächengröße, als auch für den Äquivalentradius. Diese Werte sind aus Tabelle 47 und Tabelle 48 zu entnehmen. Bei den beiden Bohrungen konzentrieren sich die Werte auf einen sehr kleinen Bereich. Daher ist Abb. 62 a) noch detaillierter in Abb. 62 b) dargestellt. Im Vergleich zum Gesamtergebnis für Flächengrößen und Äquivalentradien, zeigen Tabelle 48 und Tabelle 50, dass die Differenz der Mittelwerte nicht signifikant sind.

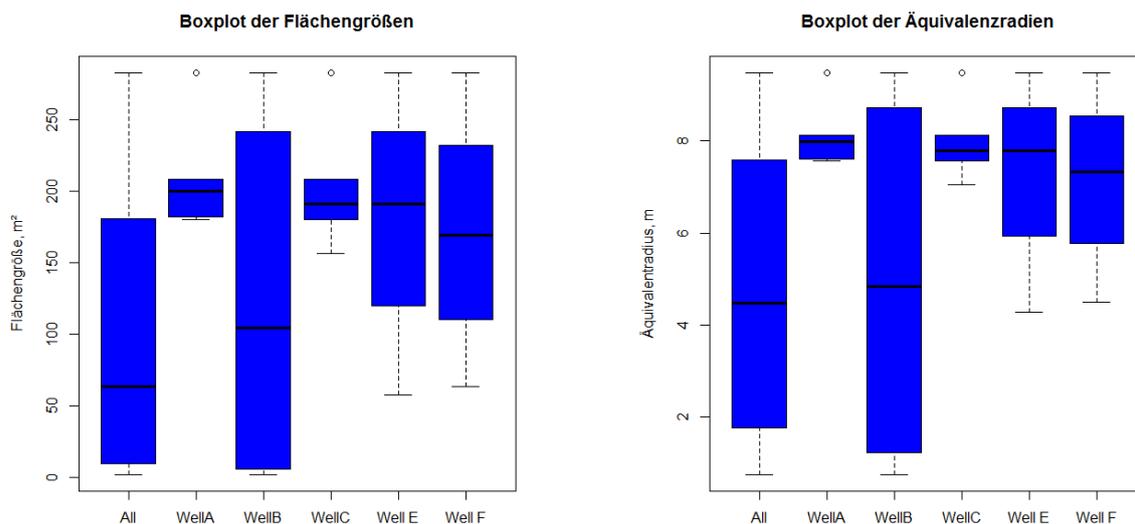


Abb. 63: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Kluftchar 1

Tabelle 51: T-Test für die Flächengrößen der Kluftchar 1 und den eingefügten Bohrungen

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K1	t	df	p Wert	90.305
Well A	-4.549	13.235	$5 \cdot 10^{-4}$	210.383
Well B	-0.455	3.430	0.675	123.384
Well C	-4.318	17.068	$4 \cdot 10^{-4}$	201.319
Well E	-1.8	4.012	0.146	180.386
Well F	-1.656	4.084	0.171	170.936

Tabelle 52: T-Test für die Äquivalentradien der Kluftchar 1 und den eingefügten Bohrungen.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K1	t	df	p Wert	
Well A	-5.152	24.306	$2.72 \cdot 10^{-5}$	8.153
Well B	-0.192	3.473	0.857	4.981
Well C	-4.923	26.499	$3.92 \cdot 10^{-5}$	7.968
Well E	-2.226	5.052	0.075	7.335
Well F	-2.191	5.370	0.076	7.158

Für K1 konnten 5 verschiedene Bohrungen eingefügt werden. Betrachtet man Abb. 63, so lässt sich erkennen, dass besonders Bohrung A und C für beide Parameter sehr unterschiedliche Werte aufzeigen. Bei den verbliebenen Bohrungen, ist die Trennflächenanzahl mit jeweils vier Flächen sehr gering. Tabelle 51 und Tabelle 52 bestätigen, dass die Mittelwerte für Bohrung A und C sich signifikant unterscheiden.

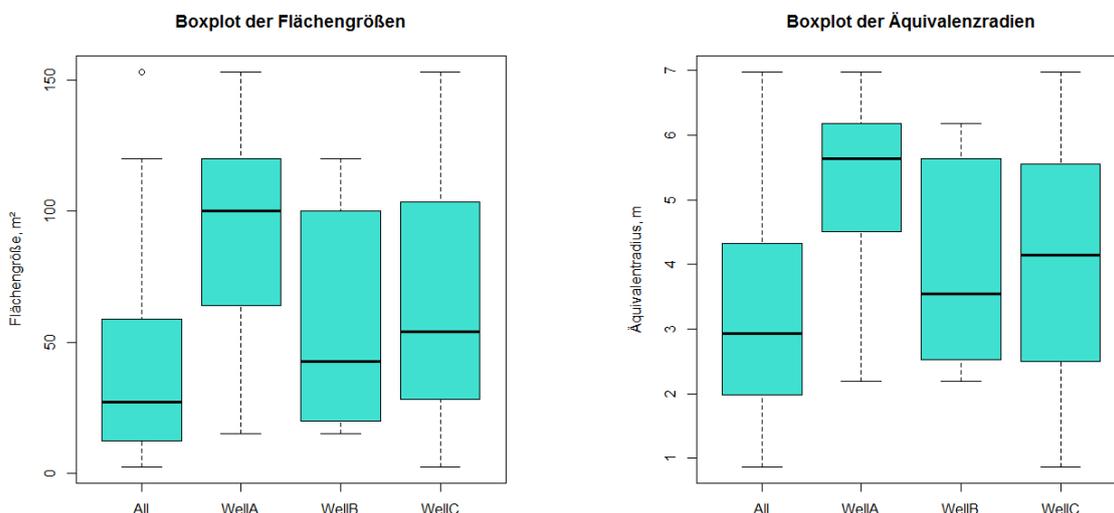


Abb. 64: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Kluftchar 2

Tabelle 53: T-Test für die Flächengrößen der Kluftchar 2 und den eingefügten Bohrungen

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K2	t	df	p Wert	
Well A	-1.657	6.094	0.147	90.426
Well B	-0.463	9.298	0.653	56.666
Well C	-0.508	2.290	0.655	69.786

Tabelle 54: T-Test für die Äquivalentradien der Kluftschar 2 und den eingefügten Bohrungen.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K2	t	df	p Wert	3.417
Well A	-1.759	6.786	0.123	5.100
Well B	-0.609	9.701	0.556	3.938
WellC	-0.315	2.293	0.778	3.995

In Kluftschar 2 wurden drei Bohrungen eingefügt. Abb. 64 zeigt einerseits, dass die Unterschiede der Bohrungen für Trennflächengröße und Äquivalentradius gemessen an der Gesamtauswertung gering sind. Jedoch ist die Differenz zwischen der kleinsten und der größten Fläche auch hier gewaltig. Da die Bohrungen aber Flächen aller Größen schneiden, sind die Unterschiede für keine der Bohrungen signifikant (siehe Tabelle 53 und Tabelle 54).

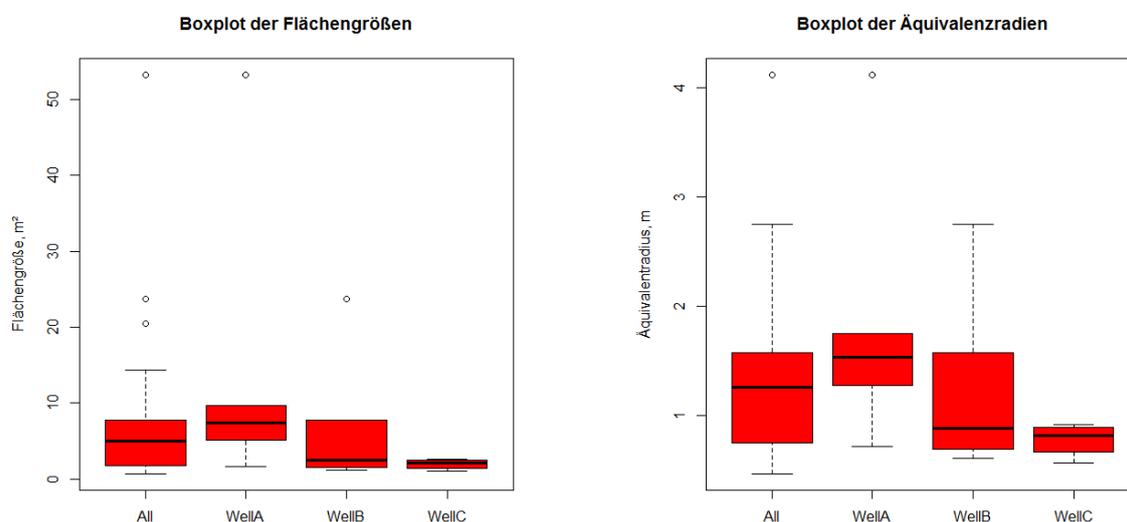


Abb. 65: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Kluftschar 3

Tabelle 55: T-Test für die Flächengrößen der Kluftschar 3 und den eingefügten Bohrungen

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K3	T	df	p Wert	7.155
Well A	-0.852	4.221	0.439	15.407
Well B	0.151	7.089	0.883	6.560
WellC	3.199	37.51	0.002	1.973

Tabelle 56: T-Test für die Äquivalentradien der Kluftchar 3 und den eingefügten Bohrungen.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
K3	T	df	p Wert	1.324
Well A	-0.929	4.356	0.401	1.879
Well B	0.253	6.391	0.807	1.233
WellC	3.767	24.435	$9.2 \cdot 10^{-4}$	0.781

Abb. 65 zeigt einerseits, dass die ermittelten Flächengrößen und Äquivalentradien hohe Ausreißer aufweisen, andererseits scheinen mit Ausnahme von Bohrung A die Ergebnisse homogen zu sein. Ein Blick jedoch auf Tabelle 55 und Tabelle 56 zeigt, dass Bohrung C signifikante Unterschiede aufweist.

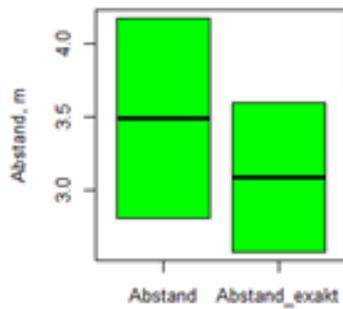
8.2.1.3 Trennflächenabstände

In Tabelle 57 findet sich die Auswertung des Trennflächenabstandes, gegliedert nach den einzelnen Sets. Zuerst wird der gemittelte, danach der genaue Wert unter Berücksichtigung der einzelnen Schwerpunktflächen der jeweiligen Bohrung dargestellt. Auch hier wurde ein T-Test durchgeführt.

Tabelle 57: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände. Die erste Reihe einer Schar repräsentiert den gemittelten Wert, die zweite den Exakten. Zusammengehörige Scharen sind farblich gekennzeichnet.

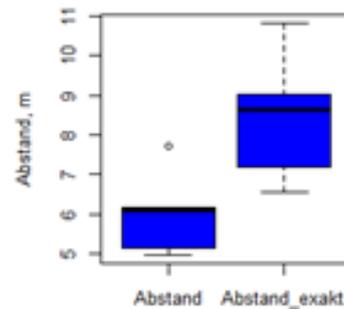
	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
Bankung	2.810	3.149	3.488	3.488	3.826	4.165	0.957	0.917	0.677	0.00	-2.75
B_Exakt	2.586	3.091	3.091	3.091	3.343	3.596	0.714	0.509	0.504	0	-2.75
K1	4.98	5.141	6.105	6.021	6.169	7.712	1.089	1.186	1.028	0.467	-1.587
K1_Exakt	6.563	7.179	8.627	8.440	9.033	10.801	1.663	2.768	1.853	0.205	-1.796
K2	2.50	4.00	5.50	4.87	6.05	6.60	2.12	4.50	2.05	-0.27	-2.33
K2_Exakt	2.490	4.530	6.569	5.216	6.578	6.587	2.360	5.570	2.048	-0.38	-2.33
K3	2.16	2.60	3.05	2.75	3.05	3.05	0.51	0.26	0.45	-0.38	-2.33
K3_Exakt	2.08	2.24	2.39	2.51	2.73	3.07	0.50	0.25	0.49	0.23	-2.33

Boxplot der Trennflächenabstände



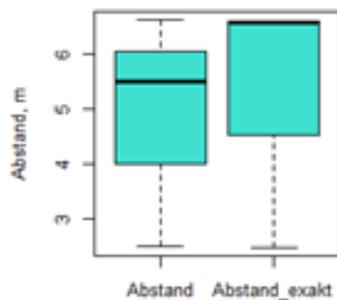
Bankung

Boxplot der Trennflächenabstände



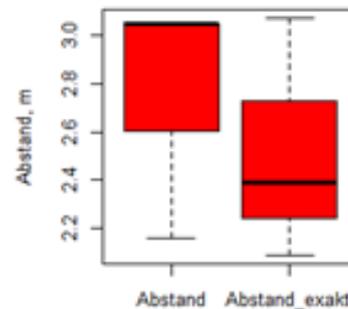
K1

Boxplot der Trennflächenabstände



K2

Boxplot der Trennflächenabstände



K3

Abb. 66: Trennflächenabstände der aller Klufscharen, bei denen Bohrungen gesetzt wurden (Bankung, K1, K2 und K3). Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.

Tabelle 58: T-Test Ergebnisse für die einzelnen Trennflächenabstände der Trennflächenscharen für den Gipfelbereich

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			Mittelwert
Bankung	T	df	p Wert	3.48
B_exakt	0.46	1.849	0.688	3.09
K1				6.02
K1_exakt	-2.7	6.896	0.030	8.44
K2				4.86
K2_exakt	-0.19	3.955	0.858	5.21
K3				2.75
K3_exakt	0.56	3.998	0.602	2.51

In Abb. 60 sind die Boxplots für alle vier Trennflächenscharen zu sehen, bei welchen die Trennflächenabstände ermittelt werden konnten. Die meisten Bohrungen wurden für K1 gesetzt. Dies ist auch die Klufschar, für die der Unterschied in den Trennflächenabständen signifikant ist, dargestellt in Tabelle 58.

8.2.1.4 Spurlängen

Die Spurlänge wurde für die einzelnen Bereiche, unabhängig von den Bohrungen ermittelt. Tabelle 59 zeigt die Ergebnisse des RiScan Modells, welches in R ausgewertet wurde. In Tabelle 60 sind die Mittelwerte, welche aus FracMan ermittelt wurden zu sehen. Abb. 67 zeigt zusammenfassend die ermittelten Graphiken der R Auswertung.

Tabelle 59: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Spurlängen

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	sd	Var	IQR	Schiefe	Exzess
Bankung	0.69	2.06	4.05	5.65	5.34	26.33	6.19	38.32	3.28	2.09	3.64
K1	1.36	4.58	7.10	11.47	17.29	30.67	8.68	75.26	12.71	0.75	-0.77
K2	1.98	3.50	7.00	7.46	9.26	20.00	4.87	23.68	5.76	0.96	0.41
K3	0.83	1.49	1.71	2.20	2.91	6.16	1.26	1.59	1.42	1.33	1.47
K4	0.92	1.90	2.55	3.05	3.12	7.23	2.02	4.08	1.22	0.94	-0.56
K5	1.34	1.58	2.26	2.51	3.03	5.32	1.26	1.58	1.45	1.08	-0.03

Tabelle 60: Die von FracMan ermittelten Werte für die durchschnittliche Spurlänge und der Standardabweichung der einzelnen Traceplanes (TP). Abbildungen zu den Positionen der TPs finden sich im Anhang.

	Mean	sd
Bankung TP_links	8.25	8.893
Bankung TP_mitte	2.38	1.876
Bankung TP_rechts	10.3	15.725
K1_TP_Oben	12.6	8.363
K1_TP_Unten	12	7.846
K2_TP_Oben	6.18	4.652
K2_TP_Unten	6.6	4.610
K3_TP_Oben	2.69	1.813
K3_TP_Mitte	2.28	1.895
K3_TP_Unten	2.78	1.049
K4_TP_Oben	4.42	2.775
K4_TP_Unten	1.86	1.208
K5	2.1	1.256

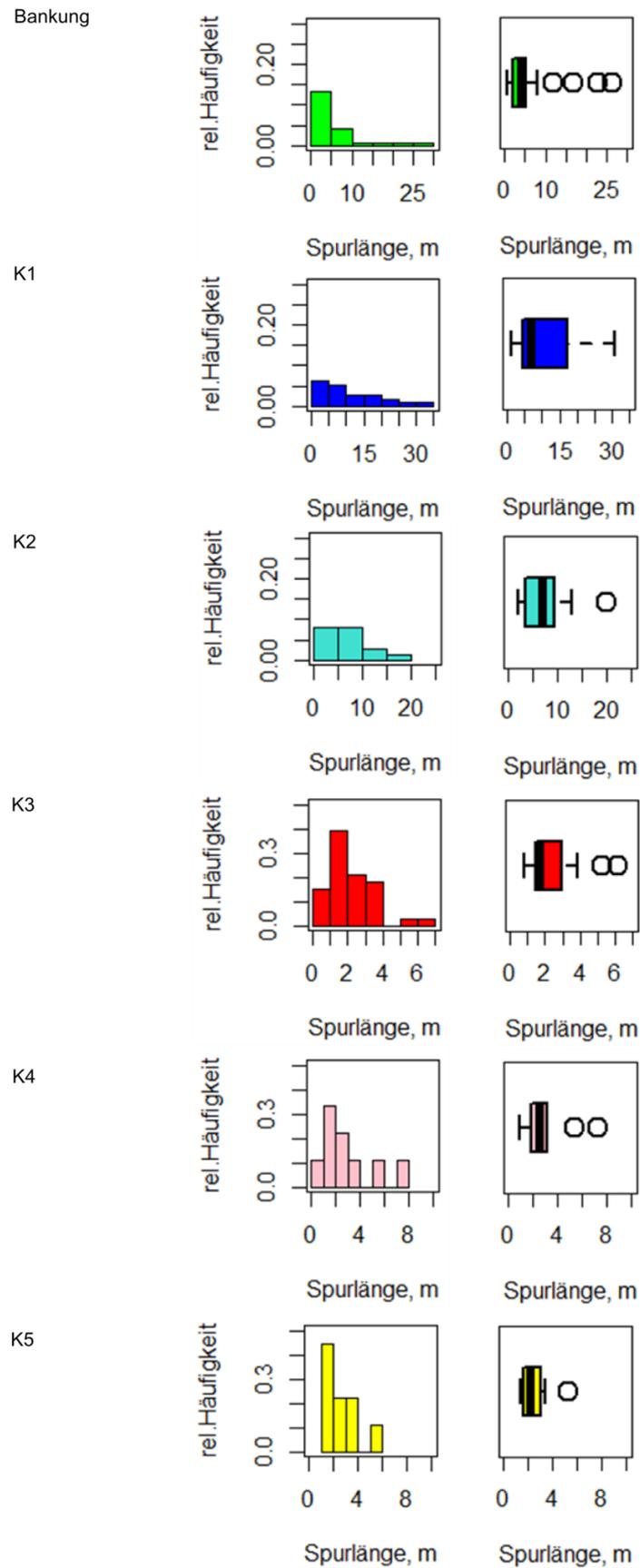


Abb. 67: Histogramme und Boxplots aller Spurlängen des Gipfelbereiches

9 Diskussion

9.1 Angenofen

Generell lässt sich sagen, dass Angenofen auf den ersten Blick ein sehr regelmäßiger Aufschluss in Bezug auf die Orientierung ist, bei dem sowohl bei der Zuordnung der Trennflächenscharen, sowie bei der Setzung der Bohrkerne nur wenige Probleme aufgetreten sind. K3 scheint das älteste Kluftscharsystem zu sein, während K1 das jüngste repräsentiert und evtl. mit dem Extensionsereignis in der Sarmatisch/Pannonischen Grenze zusammenhängt. Es streicht N-S und ist eindeutig am besten ausgeprägt.

Die Auswertung der Orientierungsdaten zeigt einen hohen Regelungsgrad für die Bereiche Links und Mitte. Einzig im rechten Bereich gestaltete sich die Bearbeitung schwieriger, da dieser aufgrund seiner Orientierung sehr ungünstig nach N-S streicht. Da die Oberfläche aber durch die zuletzt gebildete Kluftchar entstand, ist diese sehr eben und war daher für eine Analyse mittels Lidar Daten nicht sehr gut geeignet. Dies ist auch generell in allen analysierten Werten zu erkennen.

Doch sowohl für die ermittelten Trennflächengrößen, als auch für die wahren Äquivalentradien sind die Ergebnisse nicht homogen. Vor allem bei der Schieferung sind die Unterschiede enorm. Grund dafür ist wahrscheinlich die Problematik der Persistenz. Neben den großen, durchgehenden Schieferungsflächen sind auch viele Kleinflächen identifiziert worden. Bei der Setzung der Bohrungen wirken sich diese stark auf die Mittelwerte aus, was wiederum die Ergebnisse der T-Tests erklärt. Betrachtet man die Histogramme der einzelnen Bereiche und Bohrungen sind die erheblichen Unterschiede in den Größen zu sehen. In den Boxplots jedoch, ist sehr schön zu erkennen, dass es sich bei größeren Werten um einzelne Ausreißer handelt. Für K2 scheint die Orientierung der Oberfläche eine ganz entscheidende Rolle für die Trennflächengröße zu spielen. Beim Äquivalentradius korrelieren Ergebnisse stark mit jenen der Flächengrößen in allen Scharen und Bereichen, da diese auch im Zusammenhang aufgrund der Berechnung stehen ist dies auch nicht verwunderlich.

Der wahre Trennflächenabstand ist bei Angenofen, trotz teils erheblicher Unterschiede zwischen Minimal- und Maximalwert nicht signifikant für die einzelnen Bereiche. Betrachtet man die Boxplots aller Parameter, so kann man sehen das die Balken oft sehr lang sind. Dies ergibt sich aus der geringen Anzahl von Werten. Angenofen könnte für so eine detaillierte Analyse einfach zu klein sein.

Bei der Spurlänge ist generell zu sagen, dass hier Schwankungen ausbleiben, mit Ausnahme von K1. Dies ist u. a. der Tatsache geschuldet, dass je nach Orientierung der

Oberfläche einzelne Kluftscharen schwerer zu sehen sind. Die von FracMan ausgewerteten Spurlängen sind den Längen welche mit den RiScan Daten berechnet wurden sehr ähnlich.

9.2 Feldkofel

Die Bearbeitung des Feldkofels war aber in Bezug auf Trennflächenermittlung und Einteilung eine andere Sache. In einem massigen Karbonat ist die Identifizierung einzelner Trennflächenscharen schon wesentlich schwerer. Unter anderem auch Aufgrund der Tatsache, dass das Gestein selbst etwas brüchig ist und destabilisiert wurde. Bei der Einteilung der einzelnen Scharen bin ich mir nicht sicher, ob diese wirklich korrekt sind. Bei K3 ist ein Ausreißer zu sehen, welcher zu K4 zugeordnet werden sollte. Leider ist es oft nicht eindeutig, zu welcher Kluftchar bestimmte Flächen zuzuordnen sind, da man trotz Fotos und des Scans keine eindeutigen Entscheidungen treffen kann. Dadurch ist leider anzunehmen, dass die Ergebnisse diesbezüglich etwas verfälscht wurden. Außer bei K3 zeigen die Orientierungsdaten im Vergleich mit den einzelnen Bohrungen keine großen Abweichungen.

Des Weiteren wurden vier Flächen, welche jedoch in keinerlei Zusammenhang standen identifiziert. Diese wurden für diese Auswertung nicht miteinbezogen, da einzelne Flächen keine statistische Berechnung erlaubt hätten. Auch Weber 2013 konnte neben der Bankung 5 Kluftscharen identifizieren, während Auzinger 2014 durchaus 6 Kluftscharen identifizierte. Hier ist wieder erkennbar, dass die Geologie keine eindeutige Wissenschaft ist und auch von subjektiven Beurteilungen abhängt. Die Setzung der Bohrungen sind im Anhang 15.2.2 zu sehen. Hier wurde angenommen, dass der Gipfelbereich über sein ‚Loch‘ in der Mitte auf beiden Seiten des Gipfels gleich verläuft.

Bei den Trennflächengrößen lässt sich sagen, dass die Bandbreite der ermittelten Größen viel weiter ist als bei Angenofen. Anzumerken ist, dass die Ausdehnung der Bankung wahrscheinlich viel größer ist, aber leider ist dies nicht im Gipfelbereich nicht eindeutig sichtbar. Hier macht sich auch die große Aufnahmedistanz bemerkbar, bei der Details doch verlorengehen. Innerhalb der Bankung, Kluftchar 1 und Kluftchar 2 zeigen die Boxplots eindeutig sehr signifikante Unterschiede in den einzelnen Bohrungen. In Zusammenhang dazu sind auch die Äquivalentradien verschiedenen Größen sehr häufig.

Die Trennflächenabstände weisen zu meiner Überraschung keine wesentlichen Unterschiede zwischen dem gemittelten Wert für die gesamte Schar und den für jede Bohrung einzeln berechneten auf. Jedoch war hier ja leider nicht in allen ermittelten Scharen die Setzung einer Bohrung möglich. Bei jener, die die meisten Bohrungen ermöglichte wurde auch ein signifikanter Unterschied der Trennflächenabstände ermittelt.

Die Spurlängen variieren in ihrer Länge doch stärker als bei Angenofen, und treten in größeren Häufigkeiten auf, was bedeutet, dass die Mittelwerte nicht ausreichend sind. Die FracMan Auswertung zeigt auch sehr verschiedene Längen, abhängig von der Position der Traceplane.

10 Fazit

Das Fazit ist, dass diese Methode doch einen sehr interessanten Ansatz der geologischen Bearbeitung darstellt. Die Ergebnisse wurden aufgrund verschiedener Problematiken bei der Modellerstellung verfälscht. Daher sollte eine geologische Bearbeitung immer mit Unterstützung einer Geländebegehung erfolgen. Die Methode ist aber in der Datenbearbeitung sehr Zeitintensiv und verlangt nach einer entsprechenden Hardware. Die Auswertung von einzelnen Bereichen und dort gesetzten Bohrungen ist ein eleganter Weg um aufzuzeigen, wie sehr der zur Aufnahme gewählte Ort die Resultate beeinflusst.

Für einen Aufschluss wie Angenofen ist eine Aufnahme nach den bisherigen Methoden einer Scan Window, aufgrund der Ausreißer, mittels Photogrammetrie wahrscheinlich ausreichend und stellt eine wesentlich schnellere Methode der Gebirgscharakterisierung dar. Aufgrund der oft großen Schwankungen zwischen Minimal und Maximalwert und geringem Stichprobenumfang in manchen Bereichen muss man sagen, dass Angenofen für diese Art der Bearbeitung wahrscheinlich zu klein ist. Man kann nicht eindeutig davon ausgehen, dass die großen Differenzen in der Trennflächengröße u. A. aufgrund der Bearbeitung mittels Lidar, ohne einer Geländebegehung entstanden sind. Bei Plattengneis handelt es sich nämlich um Gestein, welches in Bruch und Deformationsverhalten keine so großen Differenzen hervorbringen sollte, und eher regelmäßige Strukturen aufweist.

Im Gipfelbereich des Feldkofels jedoch scheint sie durchaus angebracht, allein schon aufgrund der Tatsache, dass die Aufnahme einer Scan Line in diesem Gelände einfach nicht möglich ist. Jedoch ist diese Bearbeitung dann nicht für das gesamte Gebirge repräsentativ, da sich wie Weber 2013 schon schreibt, das Erscheinungsbild des Gesteins vom Fuß bis zum Gipfel ändert. Hier wäre es angebracht, in allen Bereichen des Feldkofel mit Lidar Datensätzen diese Methode auszutesten. Sollten die Ergebnisse keine hohen Unterschiede aufweisen, würde es sich anbieten, ein Window Mapping in verschiedenen Bereichen durchzuführen, um repräsentative Ergebnisse zu erzielen.

11 Literaturverzeichnis

- Auzinger, T. (2014): Dreidimensionale Visualisierung und Stabilitätsanalyse von potentiell instabilen Blöcken mittels Fernerkundungsdaten am Beispiel Feldkogel, Kärnten. Masterarbeit. TU Graz, Graz. Angewandte Geowissenschaften.
- Brosch, F. J.; Pischinger, G.: Small to meso- scale brittle rock structures and the estimation of 'Paleostress' axes - a case study from the Koralm region. In: *Austrian Journal of Earth Sciences*, 107/2, S. 37–59.
- BUCKLEY, S. J.; HOWELL, J. A.; ENGE, H. D.; KURZ, T. H. (2008): Terrestrial laser scanning in geology. Data acquisition, processing and accuracy considerations. In: *Journal of the Geological Society* 165 (3), S. 625–638. DOI: 10.1144/0016-76492007-100.
- Eichler, K. (2007): Fels- und Tunnelbau. Renningen: expert-Verl. (Kontakt & Studium, 684). Online verfügbar unter http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=2855121&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.
- Fekete, S.; Diederichs; Lato, M. (2010): Geotechnical and operational applications for 3-dimensional laser scanning in drill and blast tunnels. In: *Tunnelling and Underground Space Technology* 25 (5), S. 614–628. DOI: 10.1016/j.tust.2010.04.008.
- Frank, W., Genser, J., Neubauer, F., (1992). Overview of the Eastern Alps. ALPACA Field Guide, IGP/KFU Graz, pp. 7-16.
- Frank, W., (1987). Evolution of the Austroalpine elements in the Cretaceous. In: Flügel, H. W., Faupl, P. (Eds.). *Geodynamics of the Eastern Alps*. Deuticke, Vienna, pp. 379-406.
- Frisch, W.; Dunkl, I.; Kuhlemann, J. (2000): Post-collisional orogen-parallel large-scale extension in the Eastern Alps. In: *Tectonophysics* 327 (3-4), S. 239–265. DOI: 10.1016/S0040-1951(00)00204-3.
- Haring (2003): Modellierung terrestrischer Laserscanner-Daten. Technische Universität Wien, Wien. Photogrammetrie und Fernerkundung.
- Hawkins, D., Carter, T., & McCary, J. (2014). NuMBerS - numerical methods for biosciences students. Retrieved: September 2014 from <http://web.anglia.ac.uk/numbers/project.html>
- Hollersbacher, K. (2014): 3D Fracture system models based on acoustical and optical borehole measurements for tunneling - Examples of Koralm Complex. Masterarbeit. TU Graz, Graz. Angewandte Geowissenschaften.
- International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field tests (1978). In: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 15 (6), S. 319–368.

Kern F.; Terrestrisches Laserscanning kurz & bündig; i3mainz – Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik; FH Mainz. 2007.

Kurz, W., Strukturgeologie, Institut für Geologie, Karl Franzens Universität Graz.

Krohe, A., (1987). Kinematics of Cretaceous nappe tectonics in the Austroalpine basement of the Koralpe region (eastern Austria). *Tectonophysics* 136, 171-196.

Kurz, Walter; Fritz, Harald; Tenczer, Veronika; Unzog, Wolfgang (2002): Tectonometamorphic evolution of the Koralm Complex (Eastern Alps). Constraints from microstructures and textures of the 'Plattengneis' shear zone. In: *Journal of Structural Geology* 24 (12), S. 1957–1970. DOI: 10.1016/S0191-8141(02)00008-1.

Larsen, B. (2012): A primary applicability study of terrestrial laser scanning on engineering rock mass characterization. Masterarbeit. TU Graz, Graz.

Liu, Q., (2011): Grundlagen der Statistik für Studierende der Erdwissenschaften, Institut für angewandte Geowissenschaften; University of Technology, Graz.

Liu, Q.(2014a),: Rock Mass Characterization, Institute of Applied Geosciences, University of Technology, Graz.

Liu, Q., Kieffer, D. S.(2012); Digital tunnel mapping using terrestrial LiDAR - a case study. - in: International Society for Rock Mechanics EUROCK2012 Stockholm: Rock Engineering & Technology for Sustainable Underground Construction, S. 135 – 145.

Mandl, G. (2005). Rock Joints-The Mechanical Genesis. Feldkirch, Austria: Springer.

Mauldon, M. (1994): Intersection probabilities of impersistent joints. In: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 31 (2), S. 107–115. DOI: 10.1016/0148-9062(94)92800-2.

Pahl, P. J. (1981): Estimating the mean length of discontinuity traces. In: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 18 (3), S. 221–228. DOI: 10.1016/0148-9062(81)90976-1.

Pischinger, Gerald; Kurz, Walter; Übleis, Martin; Egger, Magdalena; Fritz, Harald; Brosch, Franz Josef; Stingl, Karl (2008): Fault slip analysis in the Koralm Massif (Eastern Alps) and consequences for the final uplift of “cold spots” in Miocene times. In: *Swiss J. Geosci.* 101 (S1), S. 235–254. DOI: 10.1007/s00015-008-1277-x.

Priest, Stephen D. (1993): Discontinuity Analysis for Rock Engineering. Dordrecht: Springer Netherlands; Imprint; Springer.

Putz, Martin; Stüwe, Kurt; Jessell, Mark; Calcagno, Philippe (2006): Three-dimensional model and late stage warping of the Plattengneis Shear Zone in the Eastern Alps. In: *Tectonophysics* 412 (1-2), S. 87–103. DOI: 10.1016/j.tecto.2005.10.003.

Stüwe, Kurt; Powell, Roger (1995): PT Paths from modal proportions. Application to the Koralm Complex, Eastern Alps. In: *Contr. Mineral. and Petrol.* 119 (1), S. 83–93. DOI: 10.1007/BF00310719.

Weber, S. (2013): Stabilitätsanalyse mittels terrestrischem Laserscan am Feldkofel in Bad Bleiberg, Kärnten. Masterarbeit. TU Graz, Graz. Angewandte Geowissenschaften.

Wehr, A. & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 68–82.

12 Internetquellen

<http://gis.ktn.gv.at/> [Stand 5.9.2016]

<http://www.gis.steiermark.at/> [Stand 5.9.2016]

<https://de.serlo.org/mathe/stochastik/relative-haeufigkeit-wahrscheinlichkeit/relative-haeufigkeit> [Stand 10.10.2016]

<https://de.wikipedia.org/wiki/T-Test> [Stand: 26.10.2016]

13 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die 3 Arten der Persistenz (Mauldon 1994). a) Intermittierende Spurlängen b) Impersistent c) Persistent.....	5
Abb. 2: Profile für die Oberflächenbeschreibung (Eichler 2007)	6
Abb. 3: Die Definition der Trennflächenöffnung (ISRM 1978). a) geschlossene Trennfläche b) geöffnete Trennfläche c) verfüllte Trennfläche	6
Abb. 4: Scanline Aufnahme im Gelände.....	9
Abb. 5: Scanline; Formblatt zur Geländeaufnahme	10
Abb. 6: Karte vom Steinbruch nördlich von Angenofen M1:50 0000 (GIS-Steiermark)	12
Abb. 7 a) Modell, welches die strukturelle Beziehung zwischen dem Koralm Komplex und den umgebenden tektonischen Einheiten der östlichen Zentralalpen zeigt. b) Skizze, welche die Beziehung des Koralmkomplex, des Plankogelkomplex and des Grazer Paläozoikums entlang einer SSW- NNO Achse darstellt (Kurz et al. 2002).	13
Abb. 8: Geologische Karte der ersten Lokalität, der Steinbruch befindet sich im Stainzer Plattengneis. M1:20000 (Gis-Steiermark, nachbearbeitet).	13
Abb. 9 Aus Pischinger et al. 2008: Schematische Darstellung der tektonischen Evolution des zentralen, südlichen Koralm Massiv und dem Steirischen Becken während des Miozän (Fob = Fohnsdorf basin; sbD = schwanberg block debris).....	16
Abb. 10: Bilder der drei Teilbereiche des Aufschluss Angenofen, aufgenommen am Tag der Laserscanaufnahme. a) Linker Bereich b) Mittlerer Bereich c) Rechter Bereich	17
Abb. 11: Geographische Lage des zweiten Gebietes Feldkofel in Kärnten M1:21000 (KAGIS – Kärnten Atlas, nachbearbeitet).	18
Abb. 12: Komplettaufnahme des Feldkofel vom Tal. Oben ist der bearbeitete Gipfelbereich.	19
Abb. 13: Geologie Feldkofel M1:10000 (KAGIS – Kärnten Atlas; nachbearbeitet).	20
Abb. 14: Photoplatte Feldkofel. a)Überblick des Gipfelbereiches b)Detailaufnahme des Triaskalk, deutlich zu sehen sind die Bankungsflächen. c)Detailaufnahme von Oben d)Nähere Überblicksaufnahme vom Gipfel.....	20
Abb. 15: Aufnahmeprinzip beim terrestrischen Laserscanning (Haring 2003).....	22
Abb. 16: Das Referenzieren von zwei verschiedenen Scanpositionen aus BUCKLEY et al. 2008. Eine optimale Oberflächenabdeckung ist das Ziel.	23
Abb. 17: Gegenüberstellung der Laserscandaten von Angenofen. a) Punktwolke der linken Seite des Aufschlusses. b) Triangulierte Version. c) Triangulierte Version mit hinterlegtem Bild des Aufschlusses.	25
Abb. 18: Auswahlfeld zum Erstellen einer Fläche in RiScan.....	30
Abb. 19: Auswahlfeld um die Punkte der Trennfläche auf dem ausgewählten Bereich zu definieren.	31

Abb. 20: Erstellen einer Trennfläche in RiScan a) Zeigt die Trennflächenoberfläche b) Ausgewählter Bereich c) Best-fit plane des ausgewählten Bereichs.....	32
Abb. 21: a) Ausschnitt des bearbeiteten Gebietes im Feld.b) Ausschnitt in RiScanPro mit eingefügten Schieferungsflächen. C) Ausschnitt mit nicht zusammenhängenden Schieferungsflächen, hier ist die Variation der Orientierungsdaten erheblich größer und verfälscht aufgrund der Trennflächenoberfläche.	33
Abb. 22: Links: Stereoplot von Spharia der Schieferungsflächen des linken Teil Angenofen. Rechts: Ausgabe der Orientierungsdaten, berechnet mit Spharia.	34
Abb. 23: Zu sehen sind die Schieferungsflächen des gesamten Angenofen Aufschlusses mitsamt aller virtuellen Bohrungen. Die schiefe Neigung ergibt sich dadurch, dass die Bohrungen normal zur Schwerpunktläche für einen Bereich eindringen. Dadurch erhält man gleich den gemittelten Trennflächenabstand für einen Bereich.....	35
Abb. 24: Zeigt Kluftchar 5 des Gipfelbereichs am Feldkofel. Aufgrund der sehr geringen Trennflächenanzahl und deren Raumlage zueinander wäre maximal ein Bohrkern möglich, um eine Vorstellung des Trennflächenabstandes zu bekommen. Dies wäre jedoch nicht repräsentativ.	36
Abb. 25: Zeigt Kluftchar 1 verschnitten mit den Traceplanes; der Bereich Rechts wurde jedoch nicht in die Auswertung miteinbezogen, da hier K1 parallel zur Oberfläche ist und man daher nicht wirklich von einer Spurlänge reden kann.....	36
Abb. 26: Darstellung des sphärischen Öffnungswinkels auf der unteren Halbkugel.....	39
Abb. 27: Die Darstellung des Äquivalentradius (Liu 2014b).....	40
Abb. 28: Ordnung und Einteilung eines Boxplot (Hawkins et al. 2014)	43
Abb. 29: Eingelesener R Code für die Auswertung der Daten	44
Abb. 30: FracMan Modell des linken Aufschlussbereich Angenofen mit den dort erstellten virtuellen Bohrungen.	45
Abb. 31: Das fertige RiScan Pro Modell von Angenofen. Rot: K1. Blau: K2. Oliv: K3. Grün: SF. a) Linker Bereich, die Oberfläche wird durch K3 gebildet b) Mittlerer Bereich, die Oberfläche wird durch K2 gebildet c)Rechter Bereich, K1 bildet die Oberfläche.....	46
Abb. 32: Die Stereoplots aller Kluftscharen in jedem Bereich vom Aufschluss Angenofen. Rechts steht die jeweilige Kluftchar und oben der dazugehörige Bereich.	47
Abb. 33: Stereoplot der Schieferung im linken Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	48
Abb. 34: Stereoplot der Schieferung im mittleren Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunktläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	49

Abb. 35: Stereoplot der Schieferung im rechten Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	49
Abb. 36: Stereoplot der Kluftschar 1 im linken Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	50
Abb. 37: Stereoplot der Kluftschar 1 im mittleren Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	51
Abb. 38: Stereoplot der Kluftschar 2 im linken Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	52
Abb. 39: Stereoplot der Kluftschar 2 im rechten Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	53
Abb. 40: Stereoplot der Kluftschar 3 im mittleren Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	54
Abb. 41: Stereoplot der Kluftschar 3 im rechten Bereich Angenofen. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	54
Abb. 42: Schieferung; Bereich Links (SF_L). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius	59
Abb. 43: Schieferung; Mittlerer Bereich (SF_M). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius.....	60
Abb. 44: Schieferung, Bereich Rechts (SF_R). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius.....	61
Abb. 45: Kluftschar 1; Bereich Links (K1_L). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius	62
Abb. 46: Kluftschar1 ; Bereich Mitte (K1_M). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius.....	63
Abb. 47: Kluftschar 2; Bereich Links (K2_L). Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius.....	64
Abb. 48: Kluftschar 2; Bereich Rechts. Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius	65
Abb. 49: Kluftschar 3; Bereich Mitte. Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius	66

Abb. 50: Kluftschar 3; Bereich Rechts. Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius	67
Abb. 51: Trennflächenabstände der Schieferung. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.	68
Abb. 52: Trennflächenabstände der Kluftschar 1. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.	69
Abb. 53: Trennflächenabstände der Kluftschar 2. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.	70
Abb. 54: Trennflächenabstände der Kluftschar 3. Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.	71
Abb. 55: Histogramme und Boxplots der Spurlängen von Angenofen	74
Abb. 56: Fertiges RiScan Pro Modell des Feldkofel Gipfelbereiches	75
Abb. 57: Stereoplots aller Kluftscharen des Gipfelbereich Feldkofel.....	76
Abb. 58: Stereoplot der Bankung des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	77
Abb. 59: Stereoplot der Kluftschar 1 des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	78
Abb. 60: Stereoplot der Kluftschar 2 des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	78
Abb. 61: Stereoplot der Kluftschar 3 des Gipfelbereichs. Der blaue Punkt repräsentiert die Schwerpunkfläche des jeweiligen Bereich, der Legende sind die Bohrungen zu entnehmen.....	79
Abb. 62: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Bankung a) Gesamte Darstellung mit Ausreißern. b) Detaillierte Darstellung, bei der die Grenzwerte nicht dargestellt werden	81
Abb. 63: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Kluftschar 1	82
Abb. 64: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Kluftschar 2	83
Abb. 65: Boxplotauswertung der Flächengröße und des Äquivalentradius der Kluftschar 3	84
Abb. 66: Trennflächenabstände der aller Kluftscharen, bei denen Bohrungen gesetzt wurden (Bankung, K1, K2 und K3). Links im Diagramm ist der gemittelte Wert und Rechts der Exakte zu sehen.	86
Abb. 67: Histogramme und Boxplots aller Spurlängen des Gipfelbereiches	88

14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Trennflächenabstände, IAEG - International Association for Engineering Geology and the Environment (Eichler 2007)	5
Tabelle 2: Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheiten (Eichler 2007)	6
Tabelle 3: Technische Daten des LMS-Z620 aus Liu et al. 2012.....	28
Tabelle 4: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Schieferungsfläche	48
Tabelle 5: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Kluftschar 1	50
Tabelle 6: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Kluftschar 2	52
Tabelle 7: Spharia Auswertung der Orientierungsdatensätze der Kluftschar 3	53
Tabelle 8: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächengrößen Angenofen..	55
Tabelle 9: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Schieferungsflächen.....	55
Tabelle 10: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 1.....	56
Tabelle 11: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 2.....	56
Tabelle 12: T_Test Ergebnisse für die Trennflächengröße der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 3.....	56
Tabelle 13: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Äquivalentradien Angenofen	57
Tabelle 14: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Schieferungsflächen.....	57
Tabelle 15: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 1.....	57
Tabelle 16: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 2.....	57
Tabelle 17: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien der drei Aufschlussbereiche der Kluftschar 3.....	58
Tabelle 18: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_L	59
Tabelle 19: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für SF_L	59
Tabelle 20: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_M.....	60
Tabelle 21: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_M.....	60
Tabelle 22: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für SF_R.....	61
Tabelle 23: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für SF_R	61
Tabelle 24: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K1_L.....	62
Tabelle 25: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für K1_L.....	62
Tabelle 26: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K1_M.....	63
Tabelle 27: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für K1_M.....	63
Tabelle 28: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K2_L.....	64

Tabelle 29: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für K2_L.	64
Tabelle 30: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K2_R.	65
Tabelle 31: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für K2_R.	65
Tabelle 32: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K3_M.	66
Tabelle 33: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für K3_M.	66
Tabelle 34: T_Test Ergebnisse für die Flächengrößen für K3_R.	67
Tabelle 35: T_Test Ergebnisse für die Äquivalentradien für K3_R.	67
Tabelle 36: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Schieferung, Angenofen.	68
Tabelle 37: T-Test Ergebnisse für die einzelnen Bereiche der Schieferung.	69
Tabelle 38: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Kluftschar 1, Angenofen.	69
Tabelle 39: T-Test Ergebnisse für die Bereiche der Schieferung. dn: Exakter Abstand ermittelt durch die einzelnen Bohrungen.	70
Tabelle 40: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Kluftschar 2, Angenofen.	70
Tabelle 41: T-Test Ergebnisse für die Bereiche der Trennflächenschar. dn: Exakter Abstand ermittelt durch die einzelnen Bohrungen.	71
Tabelle 42: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände für die Kluftschar 3, Angenofen.	71
Tabelle 43: T-Test Ergebnisse für die Bereiche der Trennflächenschar. dn: Exakter Abstand ermittelt durch die einzelnen Bohrungen.	72
Tabelle 44: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Spurlängen Angenofen.	72
Tabelle 45: FracMan Ergebnisse der die Spurlängen Angenofen.	73
Tabelle 46: Spharia Auswertung der Orientierungsdaten Feldkofel.	77
Tabelle 47: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächengrößen.	80
Tabelle 48: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Äquivalentradien.	80
Tabelle 49: T-Test für die Flächengrößen der Bankung und den eingefügten Bohrungen.	81
Tabelle 50: T-Test für die Äquivalentradien der Bankung und den eingefügten Bohrungen.	82
Tabelle 51: T-Test für die Flächengrößen der Kluftschar 1 und den eingefügten Bohrungen.	82
Tabelle 52: T-Test für die Äquivalentradien der Kluftschar 1 und den eingefügten Bohrungen.	83
Tabelle 53: T-Test für die Flächengrößen der Kluftschar 2 und den eingefügten Bohrungen.	83
Tabelle 54: T-Test für die Äquivalentradien der Kluftschar 2 und den eingefügten Bohrungen.	84

Tabelle 55: T-Test für die Flächengrößen der Kluftchar 3 und den eingefügten Bohrungen	84
Tabelle 56: T-Test für die Äquivalentradien der Kluftchar 3 und den eingefügten Bohrungen.	85
Tabelle 57: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Trennflächenabstände. Die erste Reihe einer Schar repräsentiert den gemittelten Wert, die zweite den Exakten. Zusammengehörige Scharen sind farblich gekennzeichnet.....	85
Tabelle 58: T-Test Ergebnisse für die einzelnen Trennflächenabstände der Trennflächenscharen für den Gipfelbereich.....	86
Tabelle 59: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Spurlängen	87
Tabelle 60: Die von FracMan ermittelten Werte für die durchschnittliche Spurlänge und der Standardverteilung der einzelnen Traceplanes (TP). Abbildungen zu den Positionen der TPs finden sich im Anhang.....	87

15 Anhang

Der Anhang wird wie folgt gegliedert:

- 15.1 RiScan Pro Laserscanmodell
- 15.2 Positionen der Bohrungen in FracMan
- 15.3 Position der Traceplanes
- 15.4 R Auswertungen

15.1 RiScan Pro Laserscanmodell Angenofen

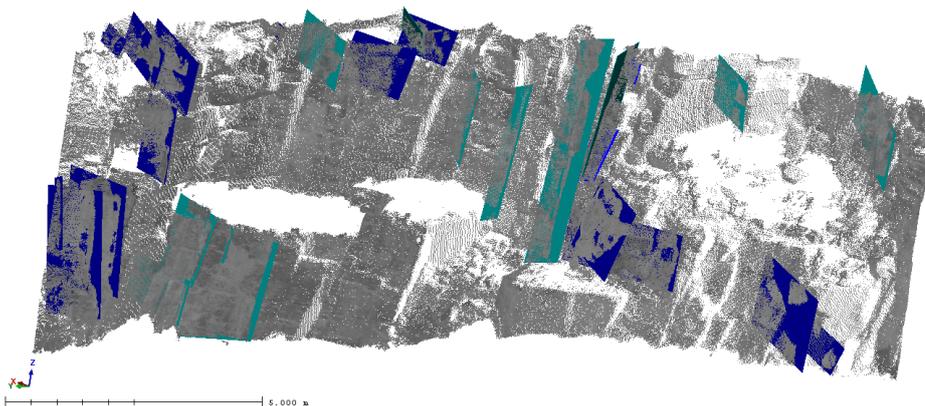
15.1.1 Angenofen

Bereich Links

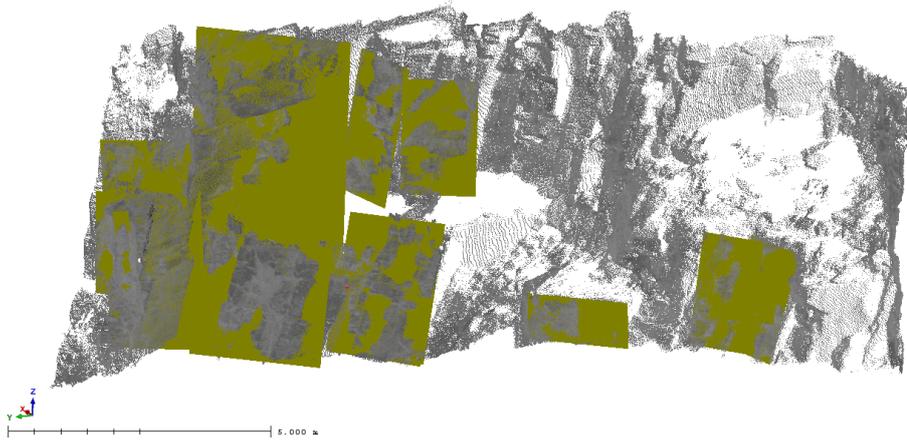
K1



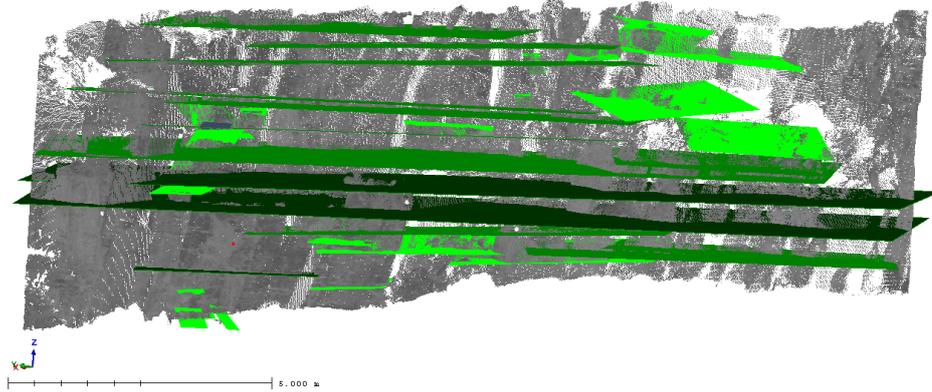
K2



K3



SF

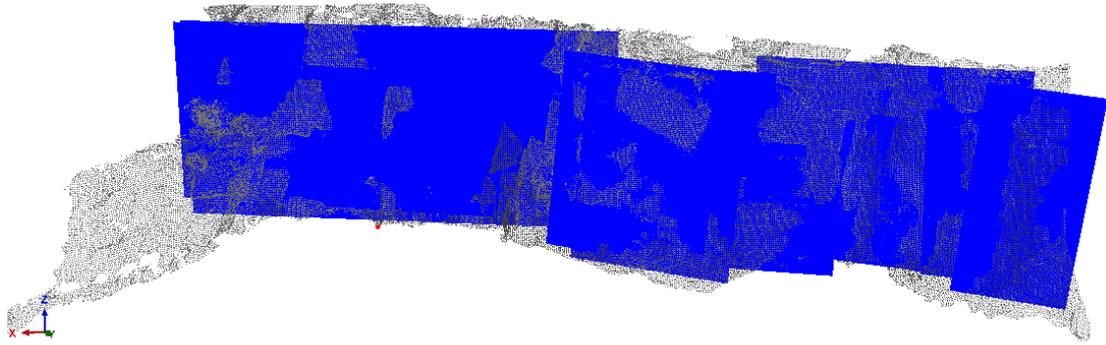


Bereich Mitte

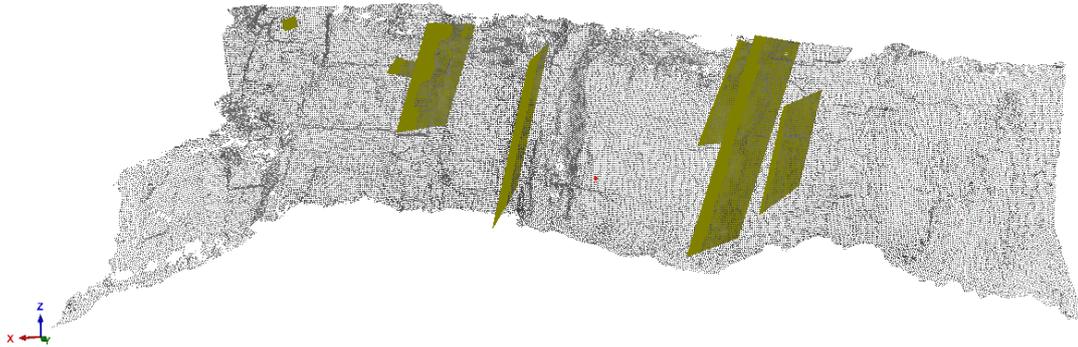
K1



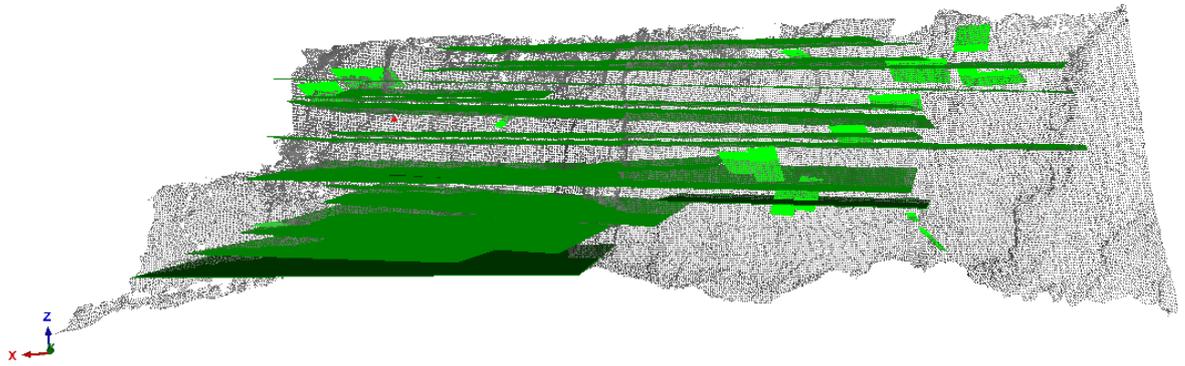
K2



K3

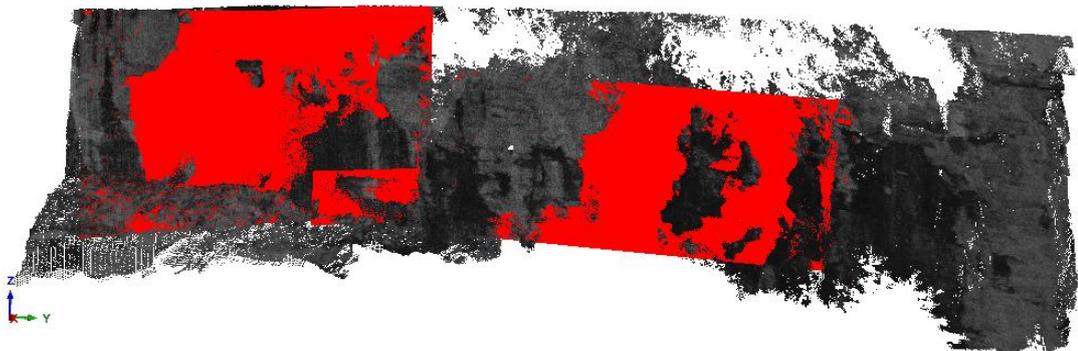


SF

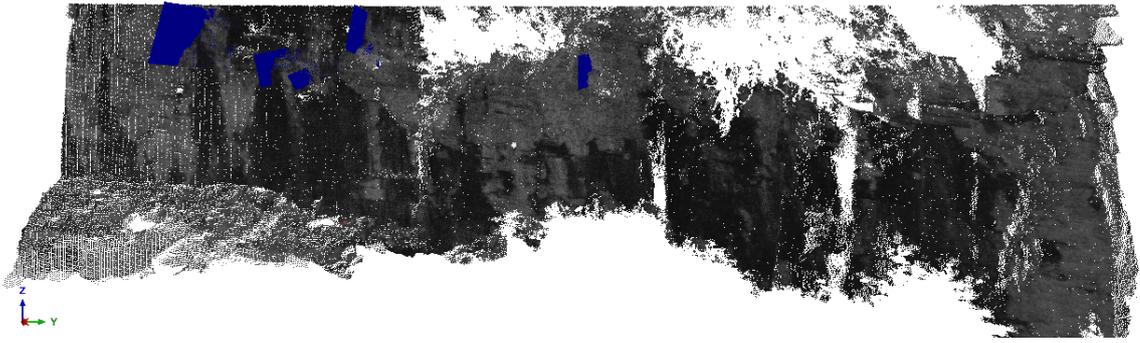


Bereich Rechts

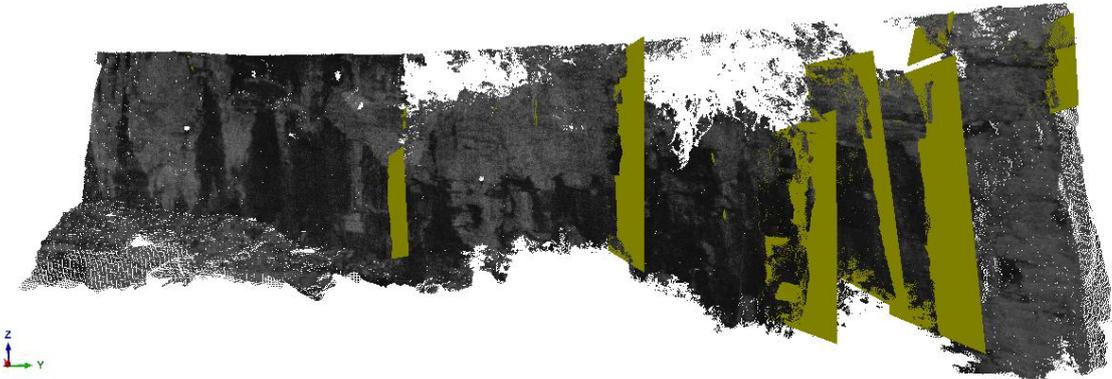
K1



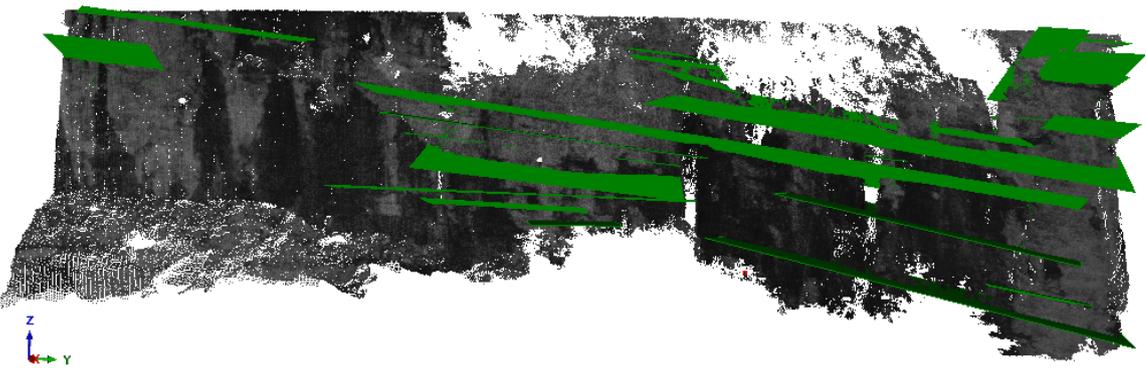
K2



K3

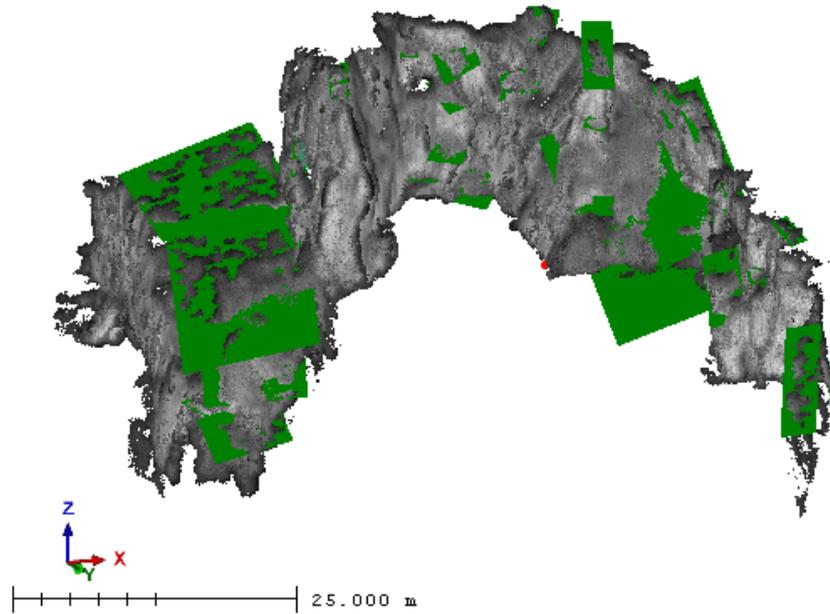


SF



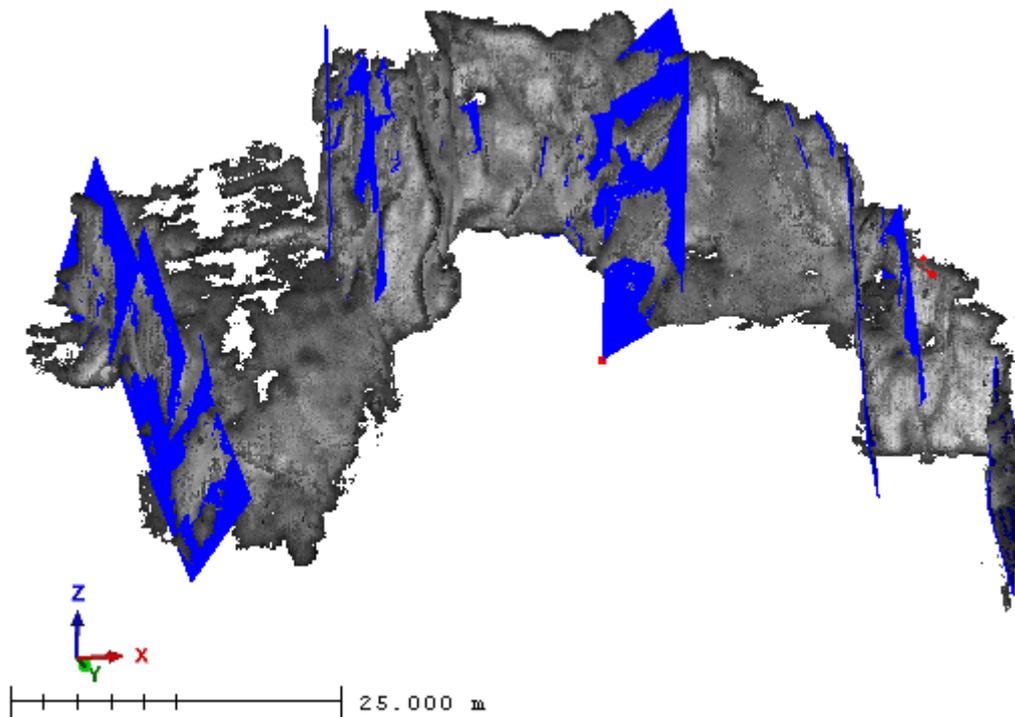
15.1.2 Feldkofel

Bankung

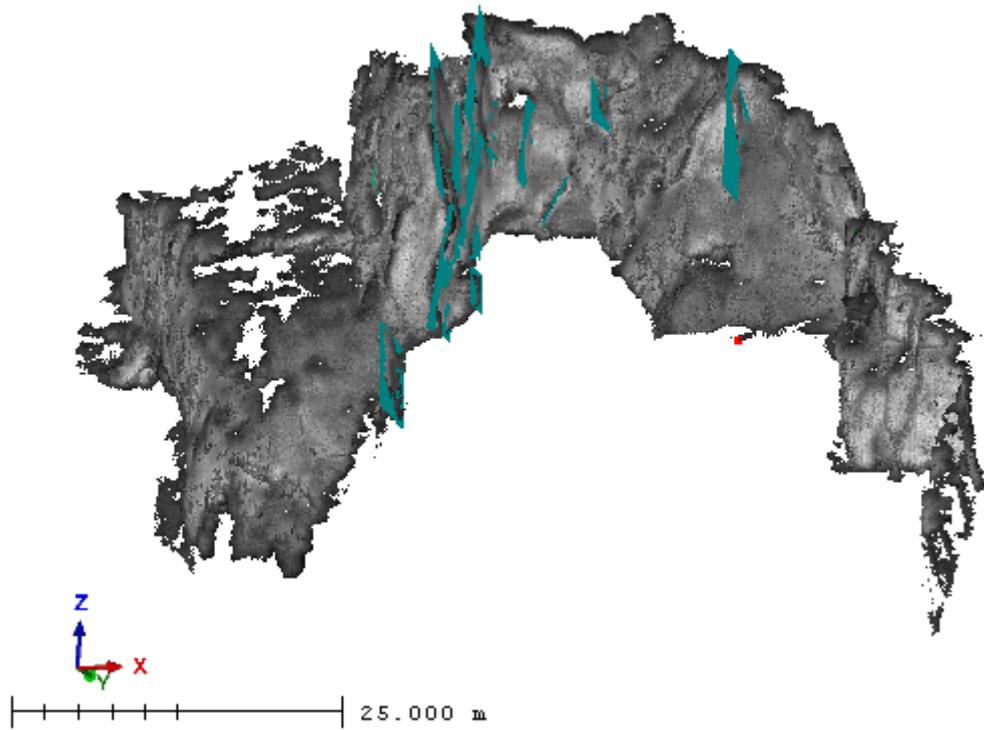


Kluftschar

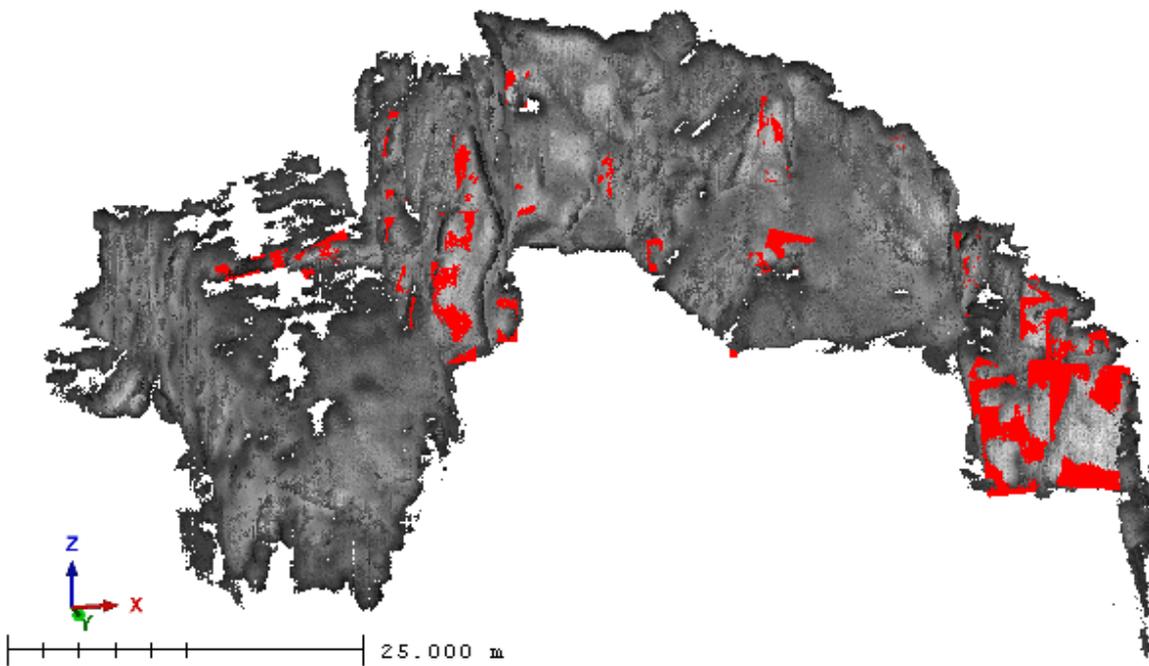
1



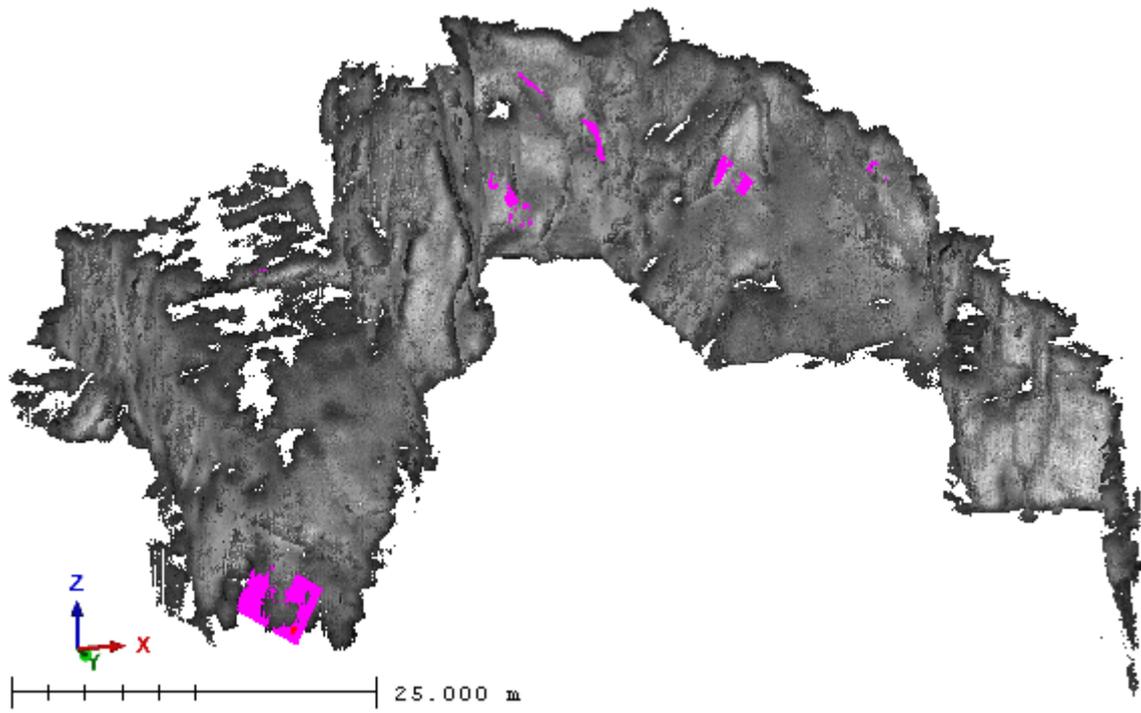
Kluftschar 2



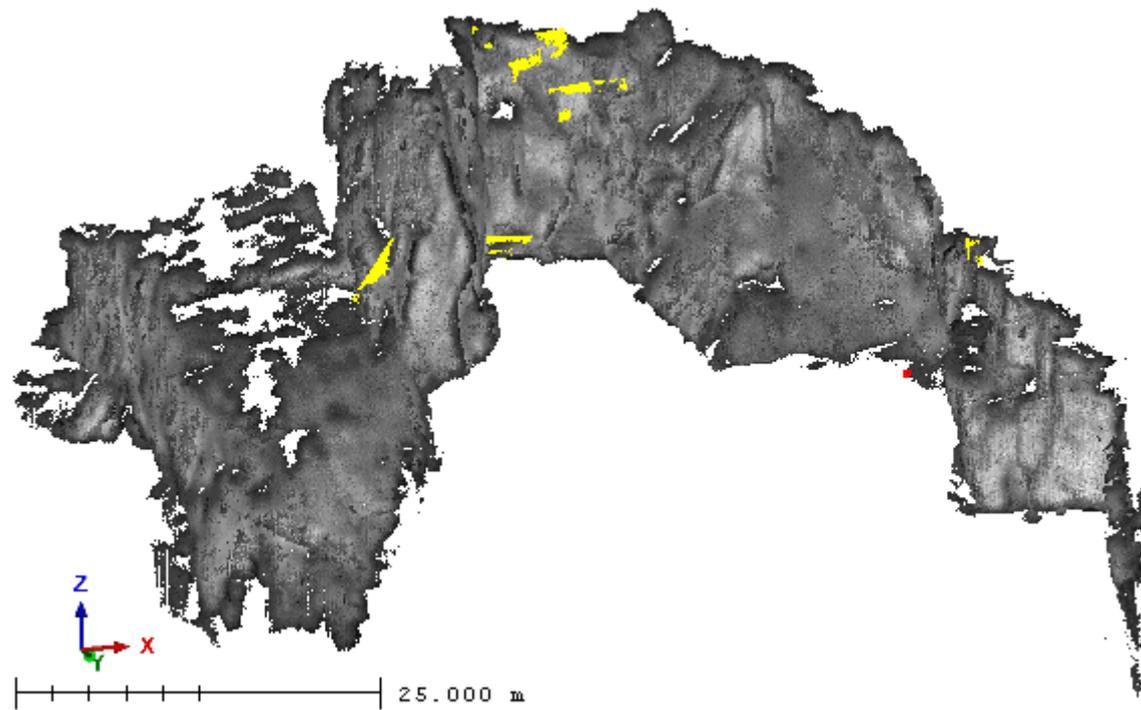
Kluftschar 3



Kluftschar4



Kluftschar 5

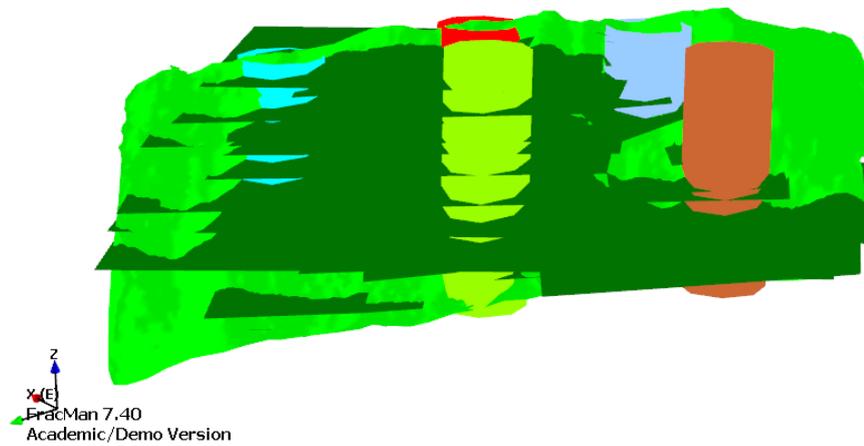


15.2 Positionen der Bohrungen in FracMan

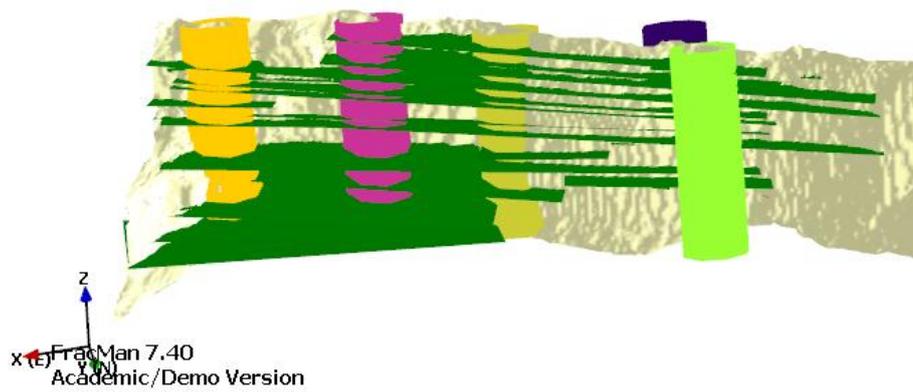
15.2.1 Angenofen

Schieferung

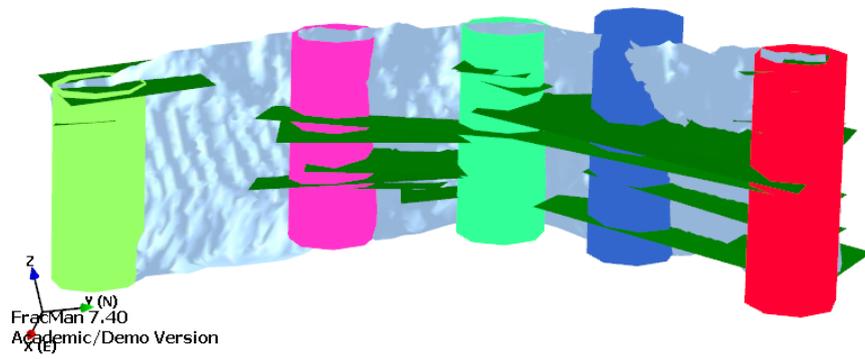
Links



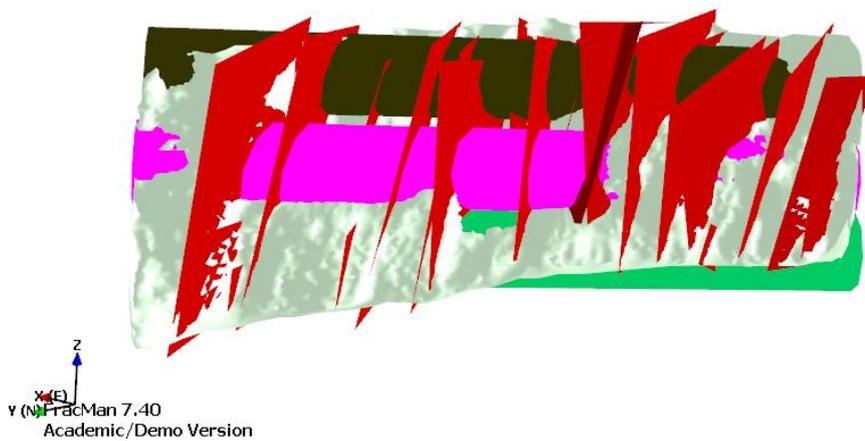
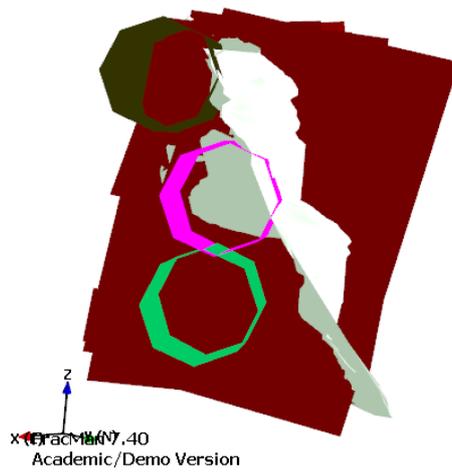
Mitte



Rechts

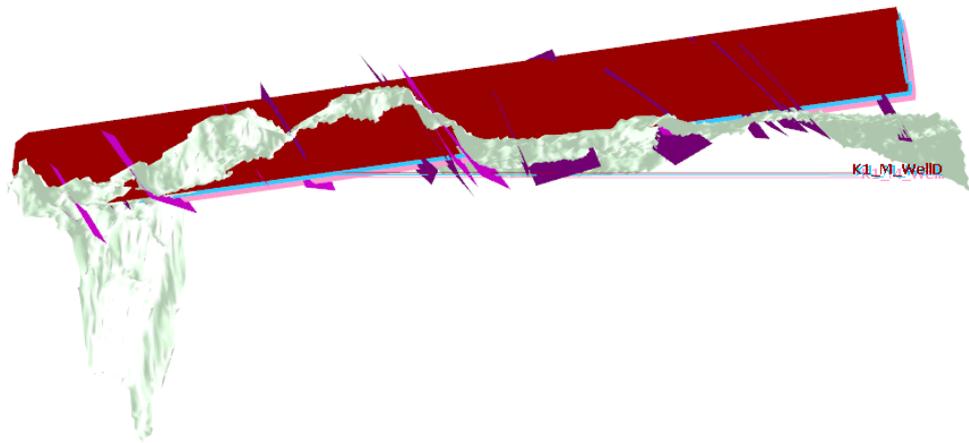


K1_Querschnitt Links



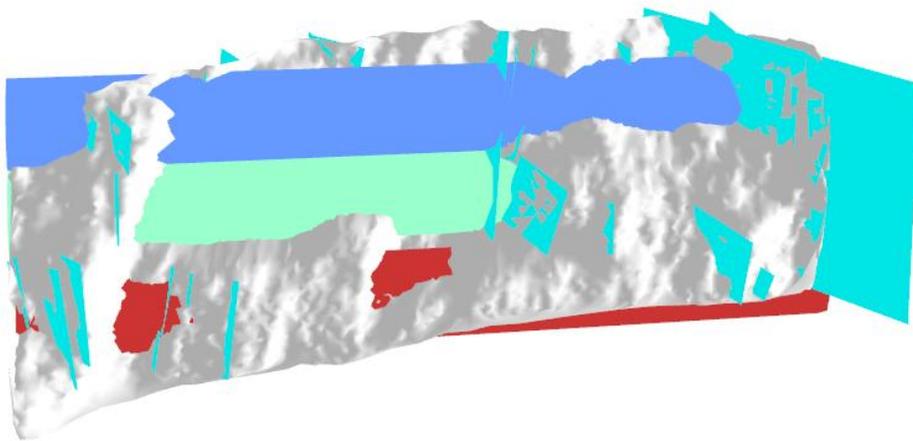
K1_Links

K1_Mitte von Oben



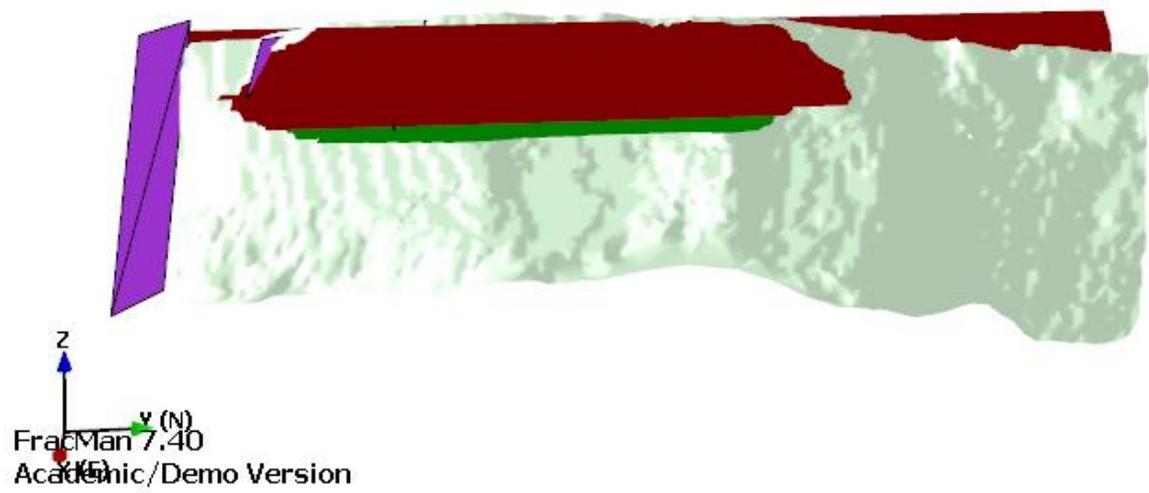
EricMan 7.40
Academic/Demo Version
x (E)
y (N)

K2_Links

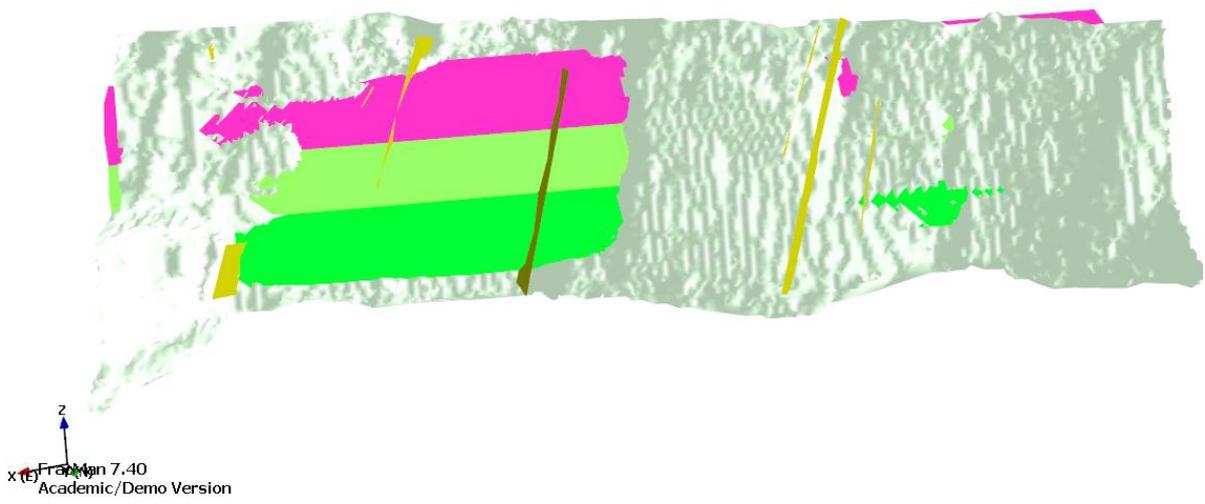


z
x (E)
y (N)
EricMan 7.40
Academic/Demo Version

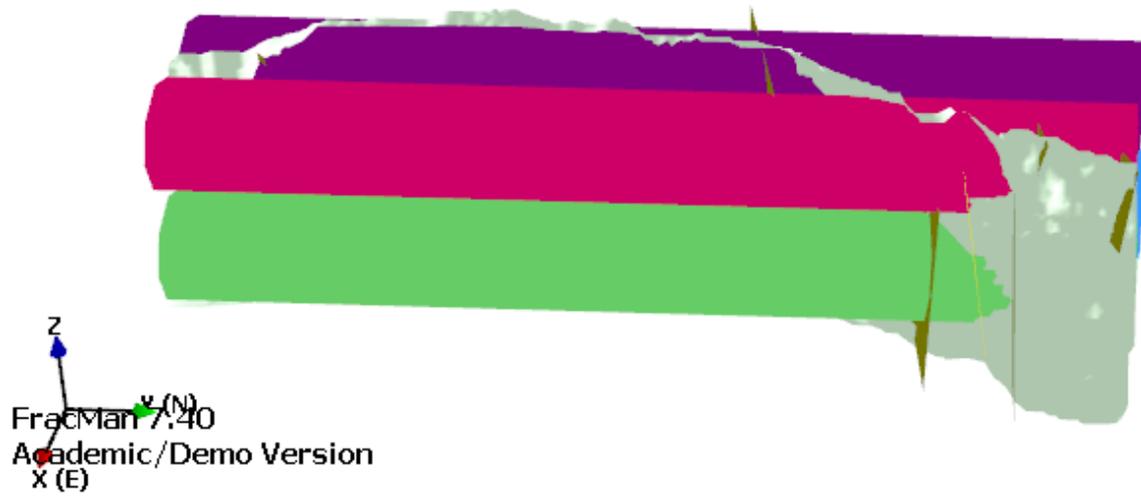
K2_Rechts



K3_Mitte

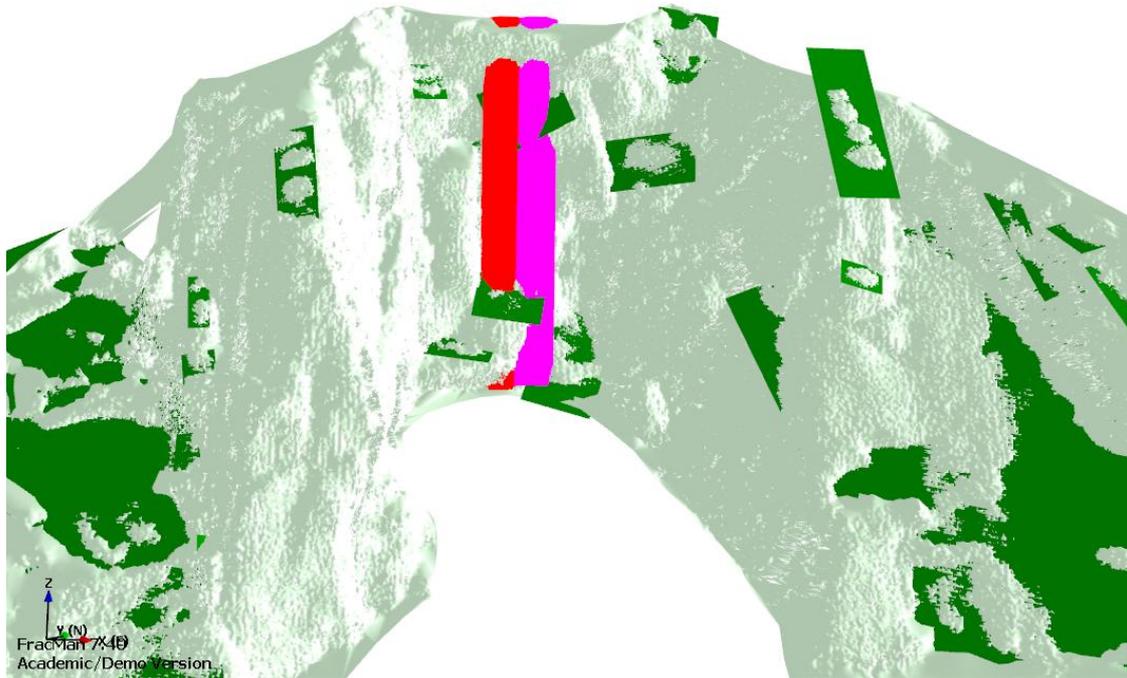
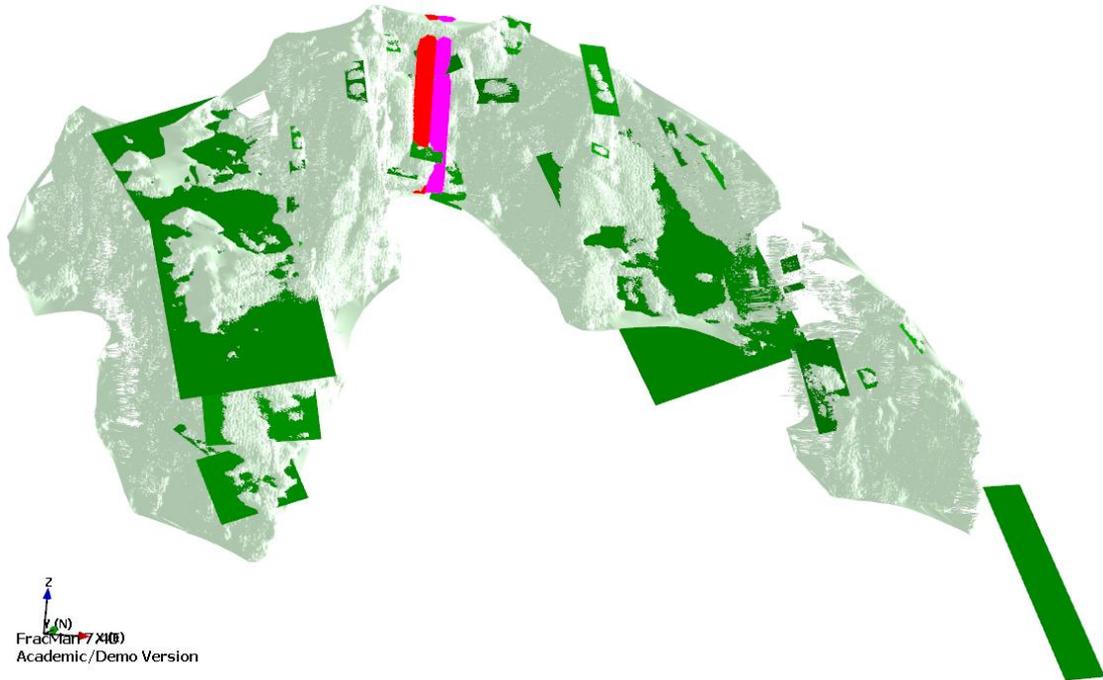


K3_Rechts

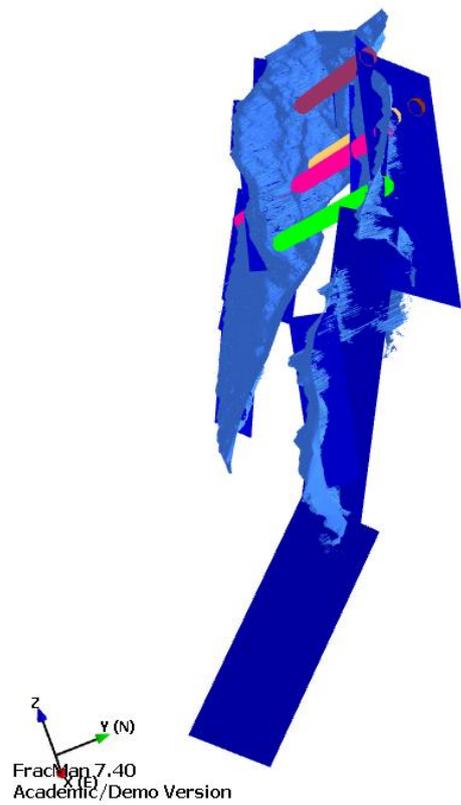


15.2.2 Feldkofel

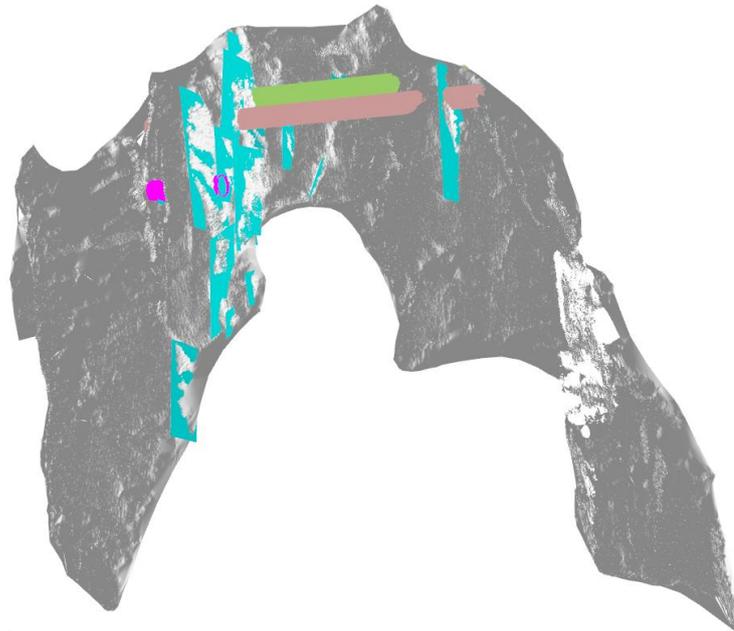
Bankung



Kluftschar 1



Kluftschar 2

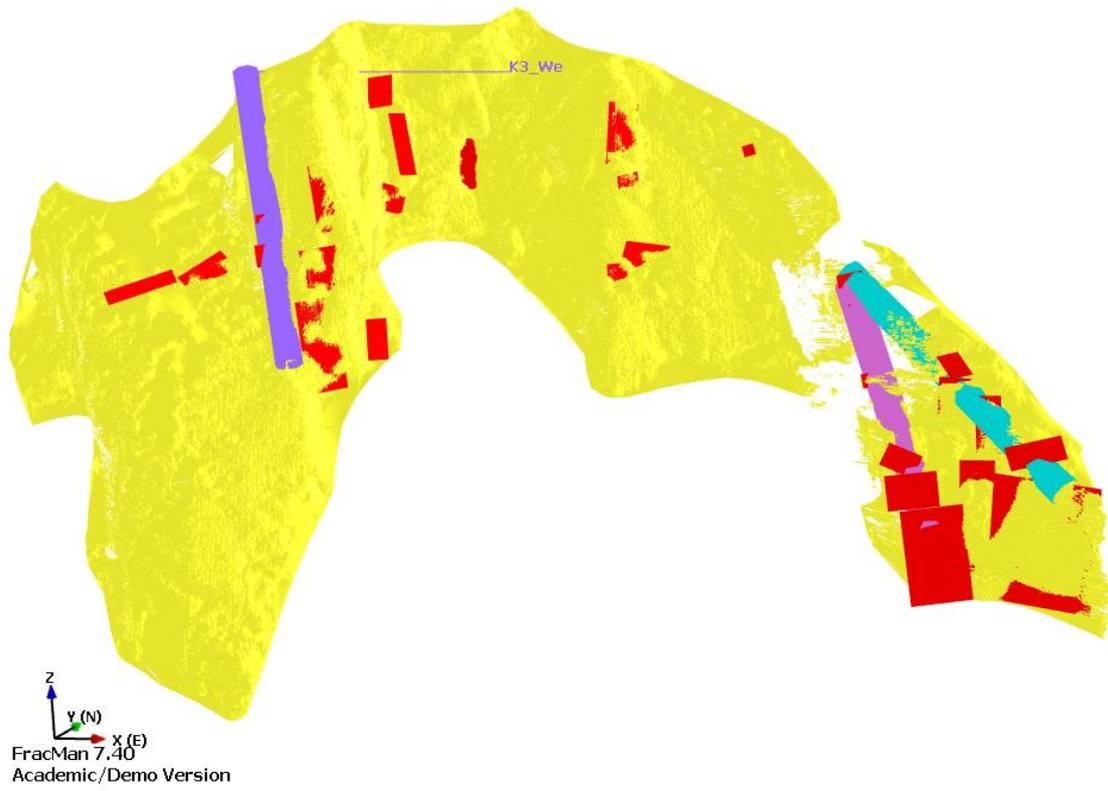


z
y (N)
FractMan 7.40
Academic/Demo Version



z
y (N)
FractMan 7.40
Academic/Demo Version

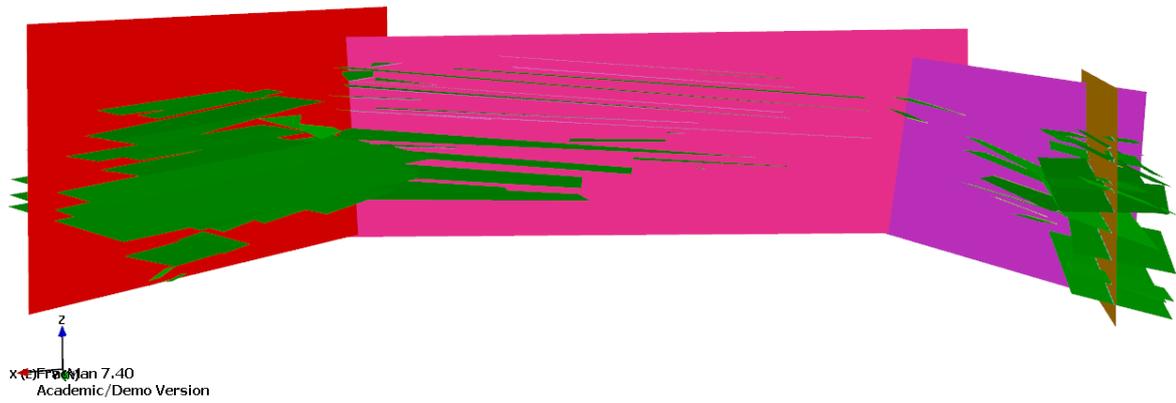
Kluftschar 3



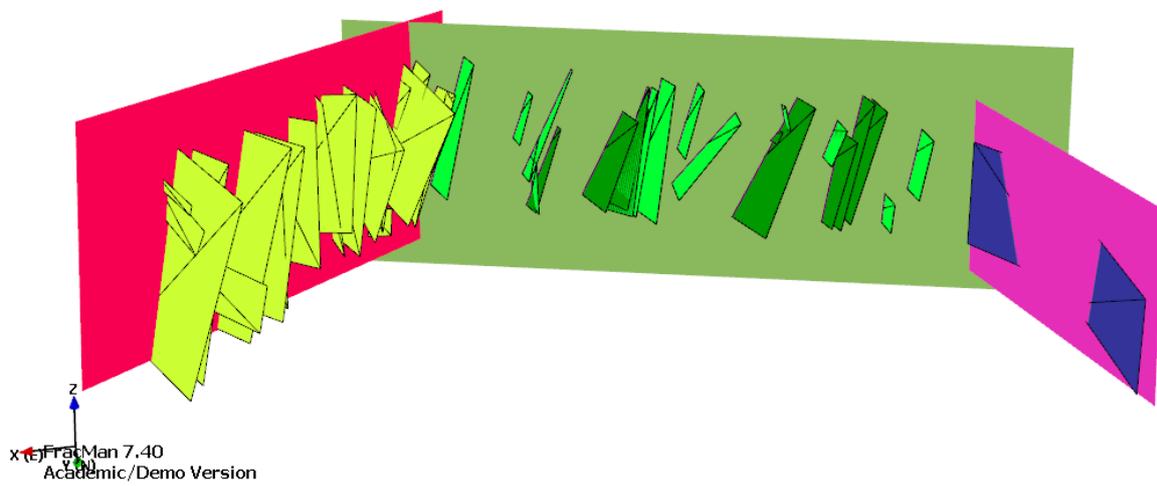
15.3 Position der Traceplanes in Fracman

15.3.1 Angenofen

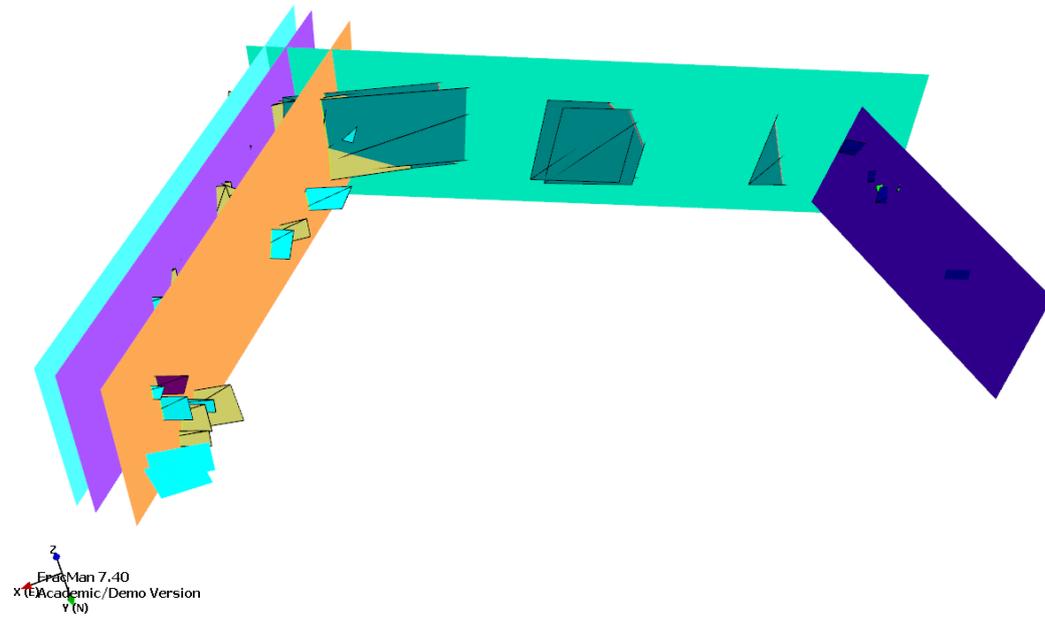
Schieferung



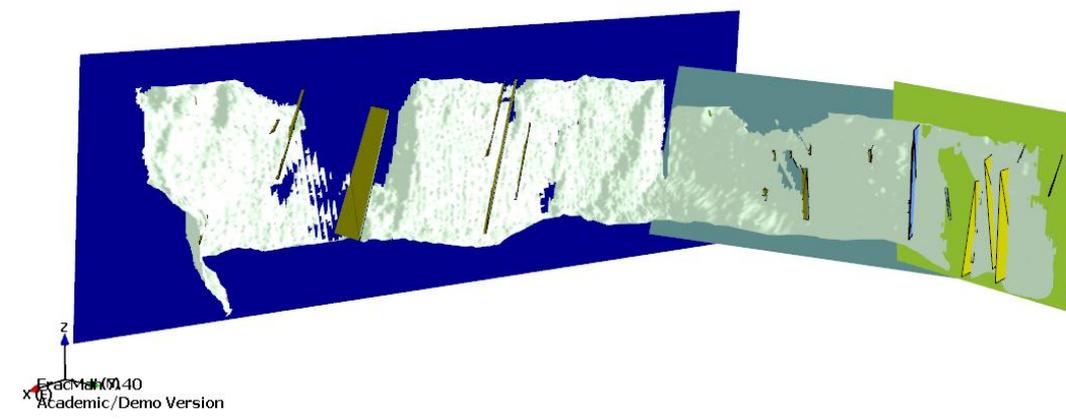
K1



K2

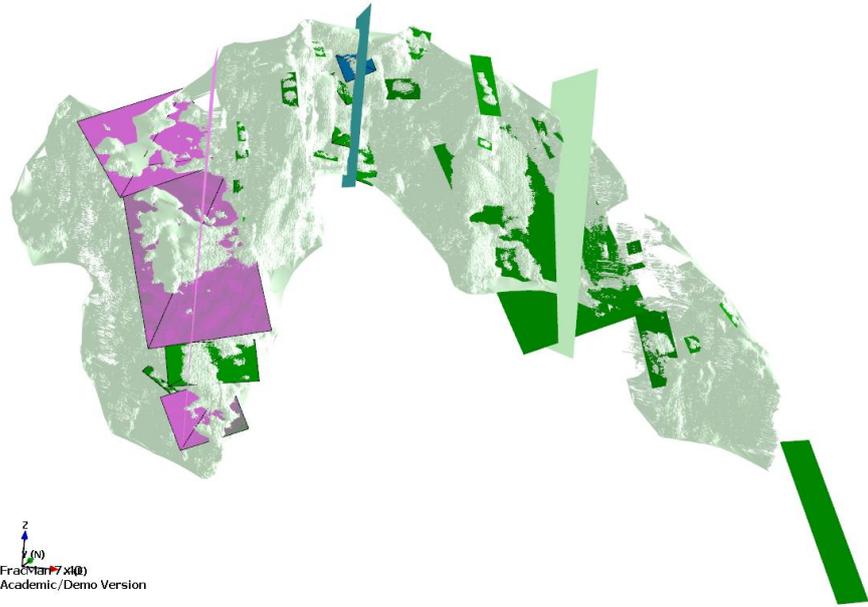


K3

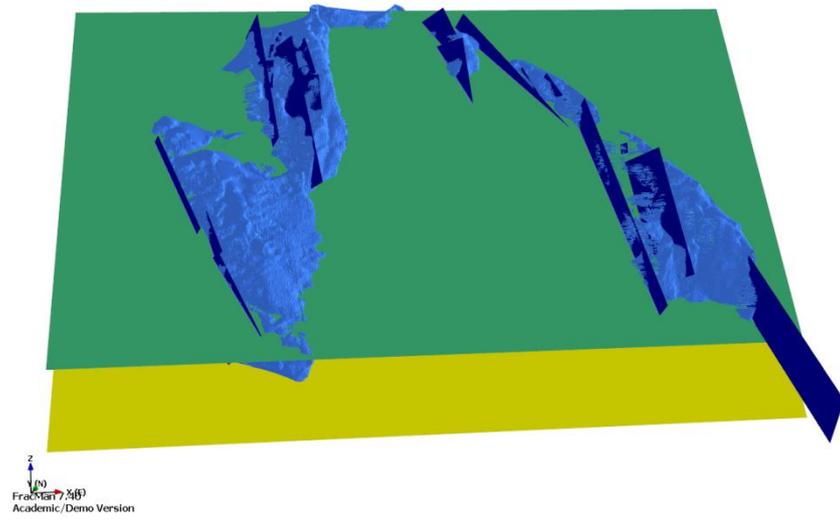


15.3.2 Feldkofel

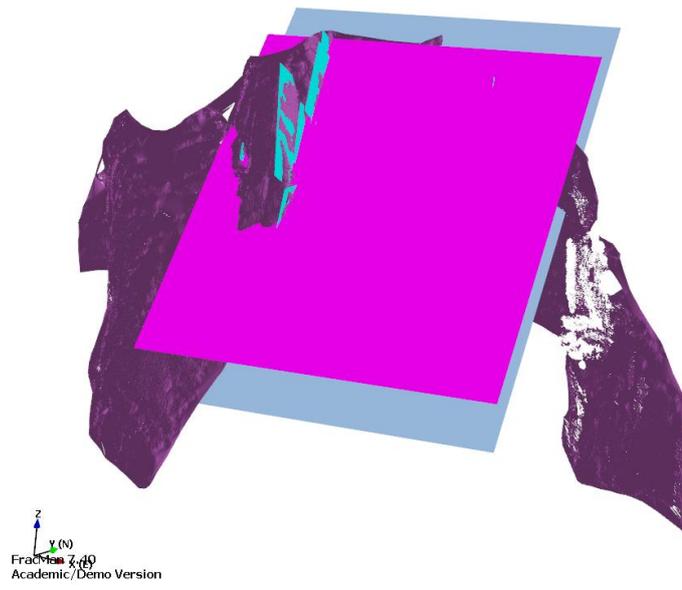
Bankung



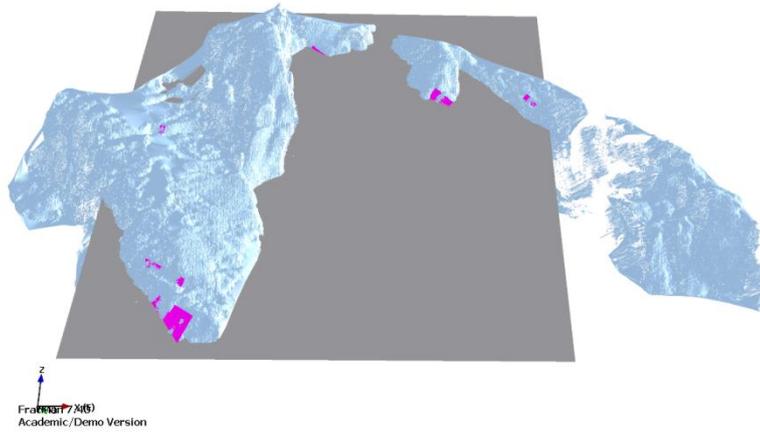
K1



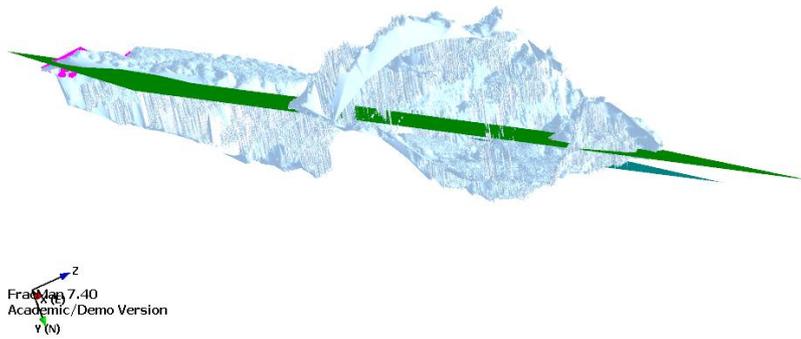
K2



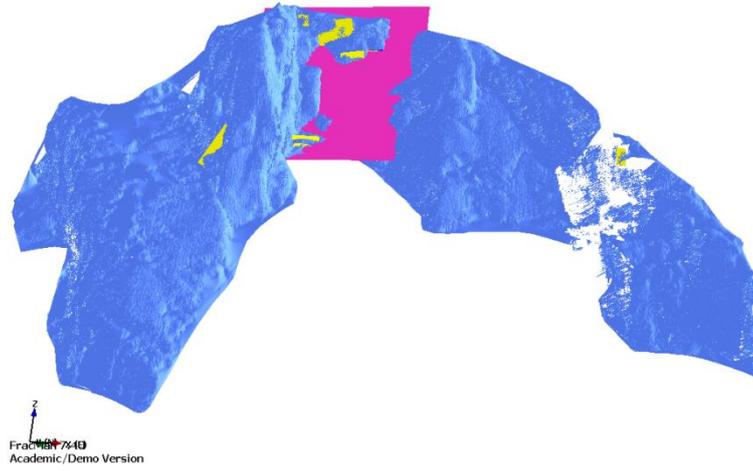
K4



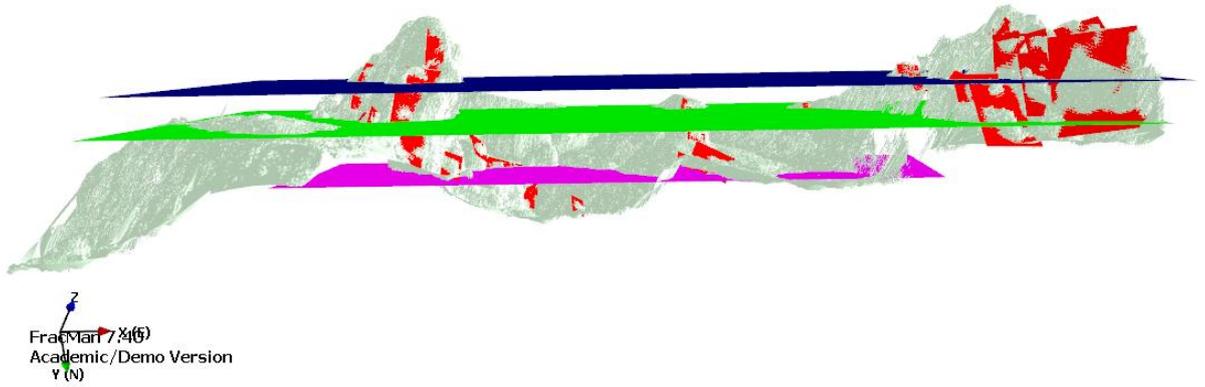
K4_Quer



K5



K3

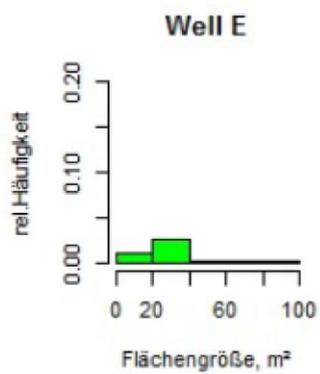
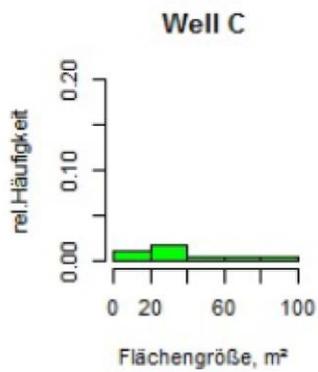
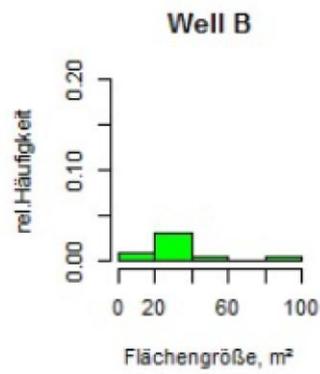
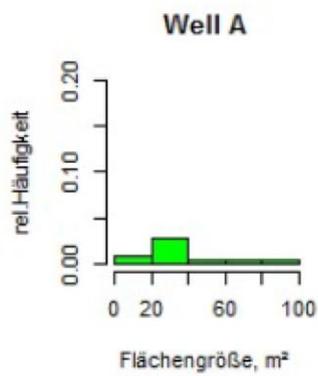
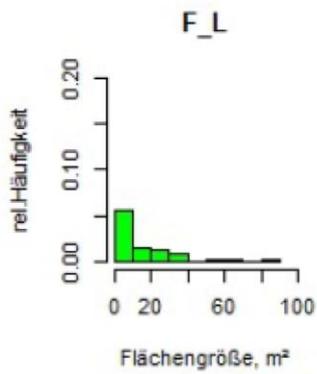


15.4 R Auswertungen

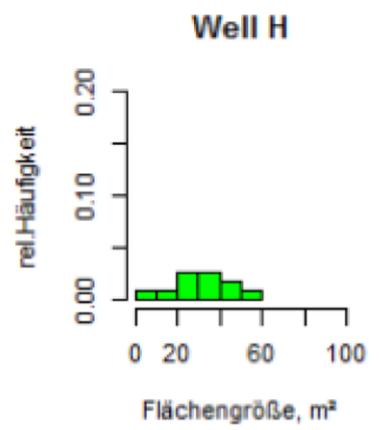
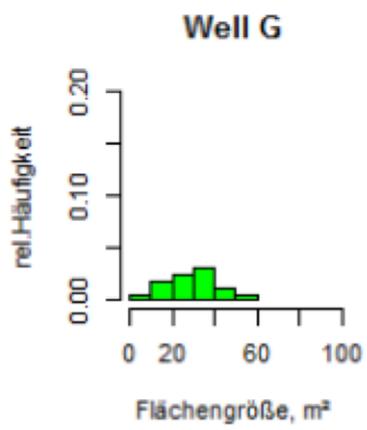
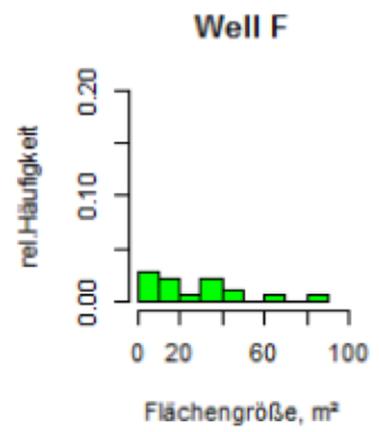
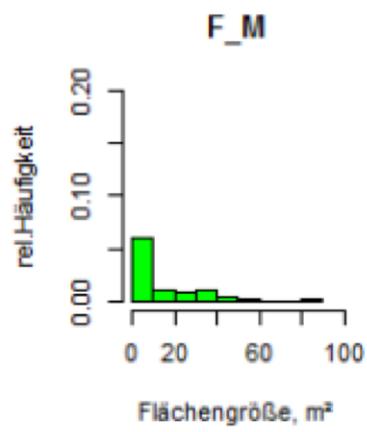
15.4.1 Angenofen

15.4.1.1 Trennflächengrößen

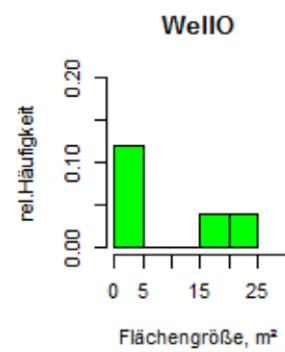
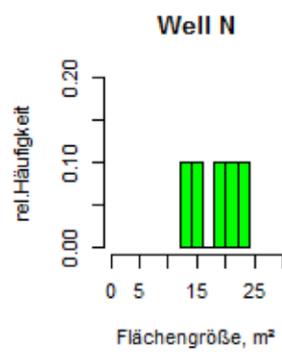
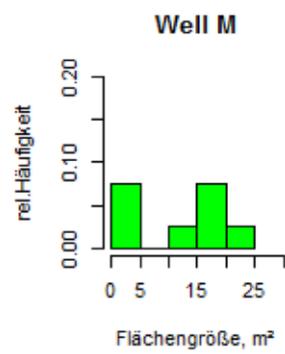
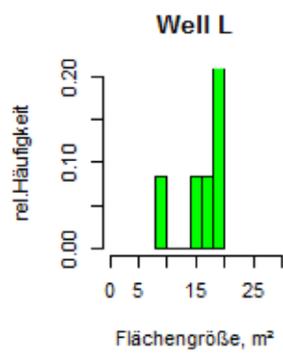
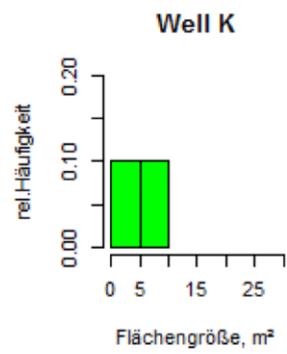
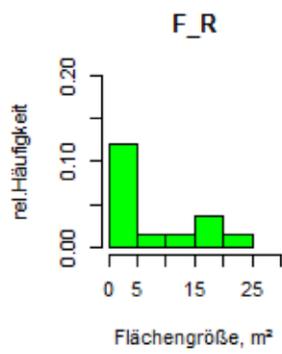
Schieferung Links



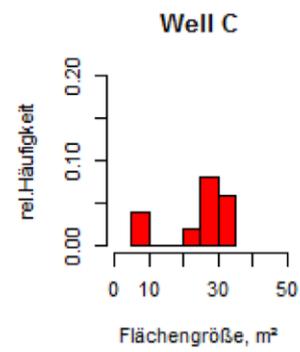
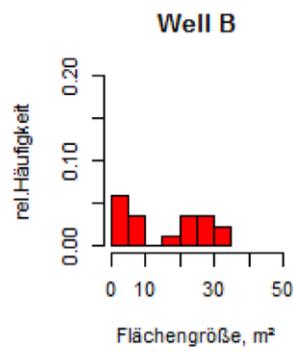
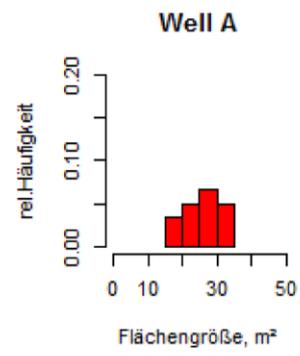
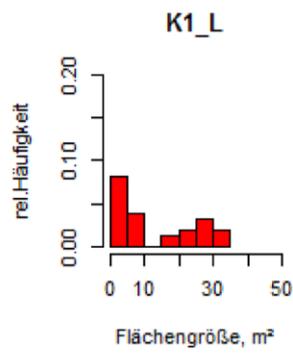
Schieferung Mitte



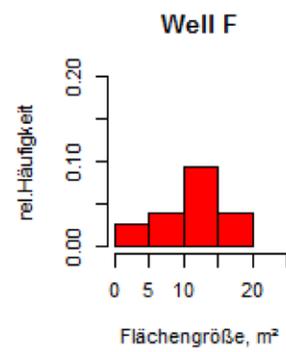
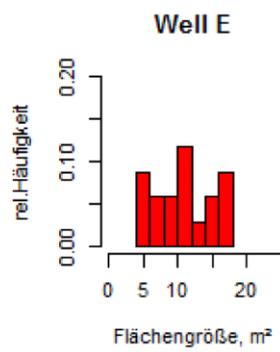
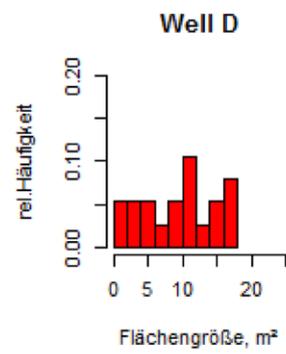
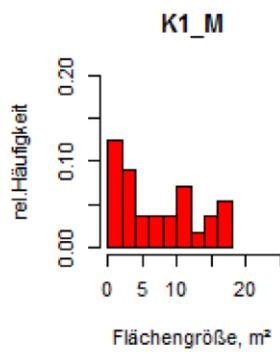
Schieferung Rechts



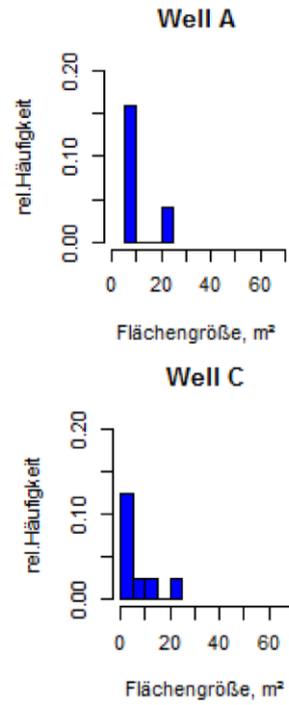
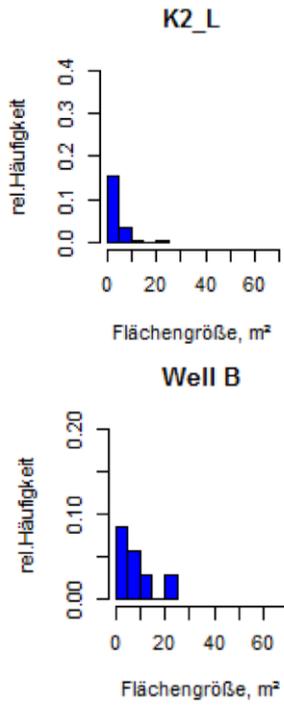
K1_L



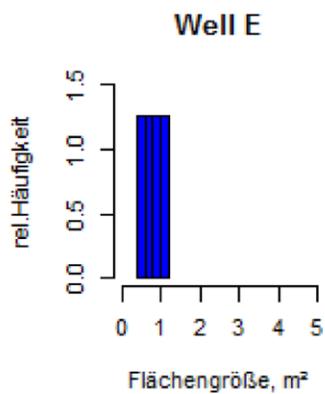
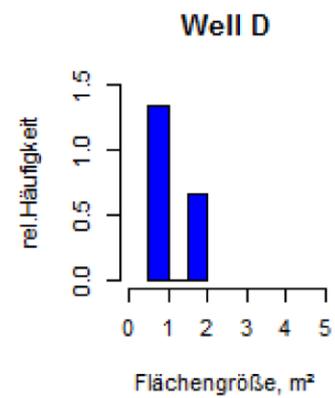
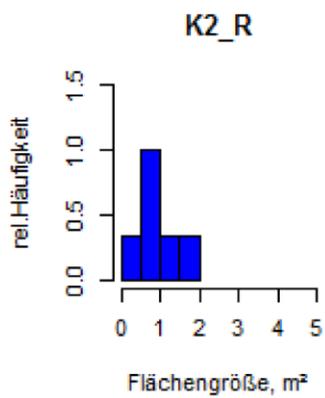
K1_M



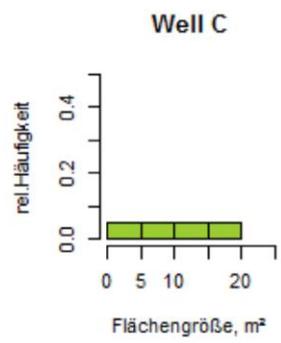
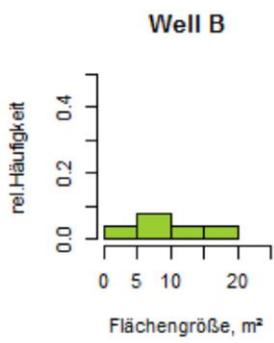
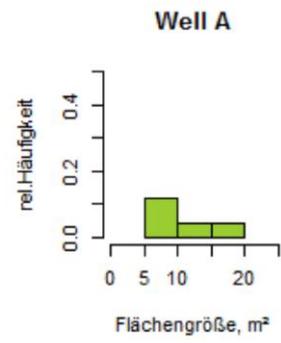
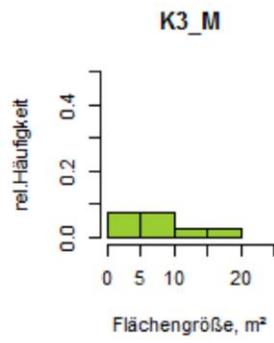
K2_L



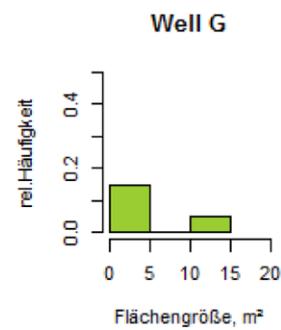
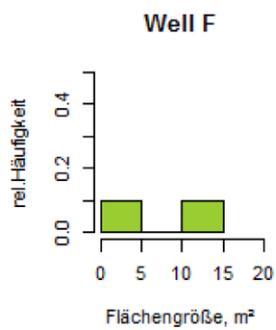
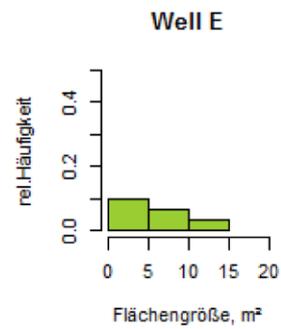
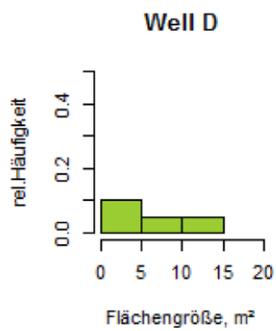
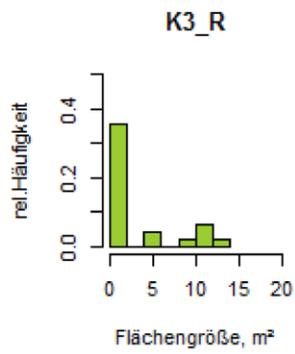
K2_R



K3_M

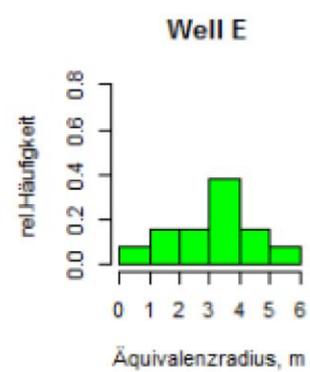
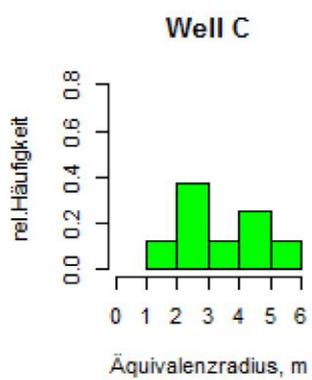
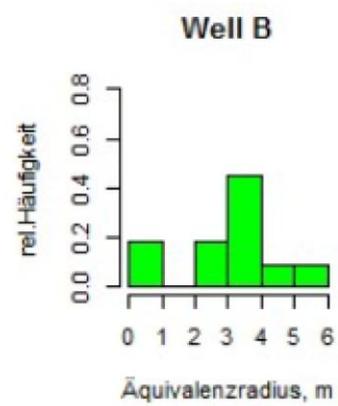
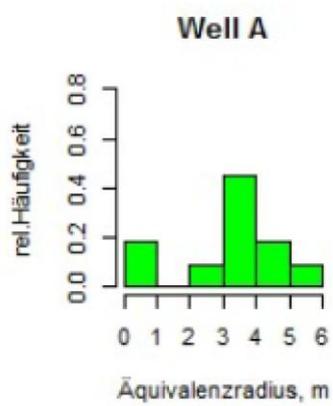
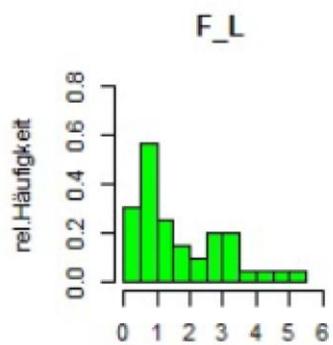


K3_R

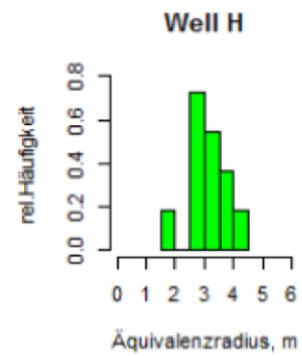
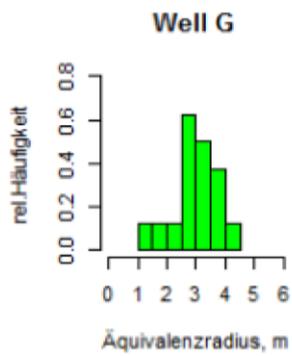
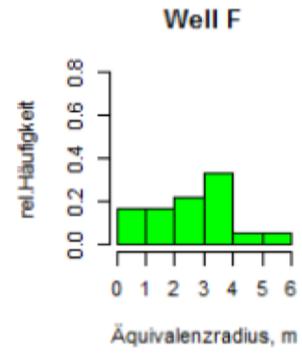
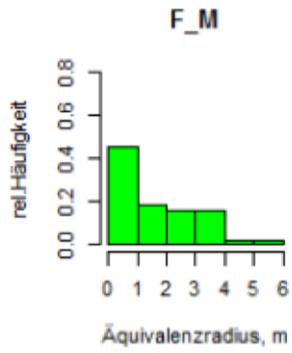


15.4.1.2 Äquivalenzradius

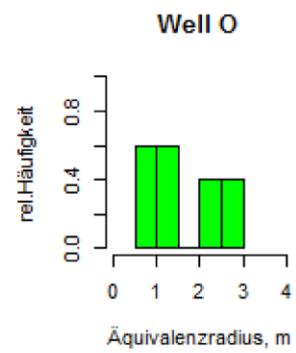
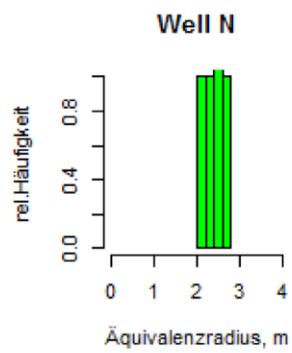
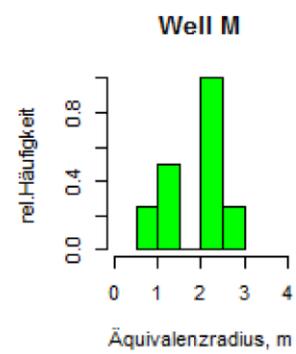
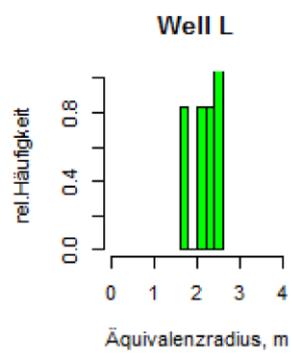
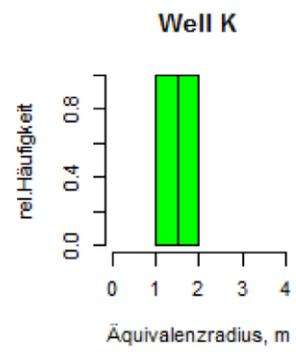
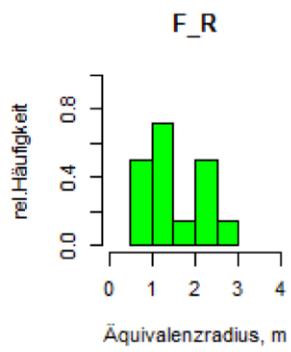
Schieferung Links



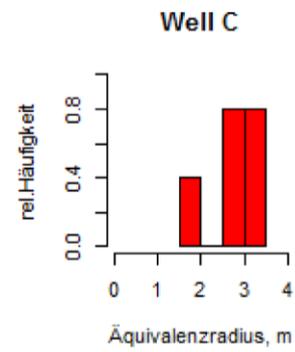
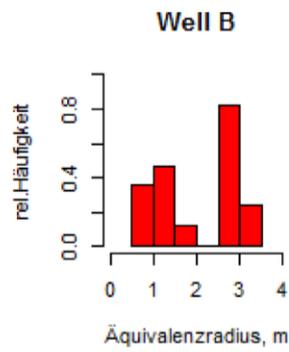
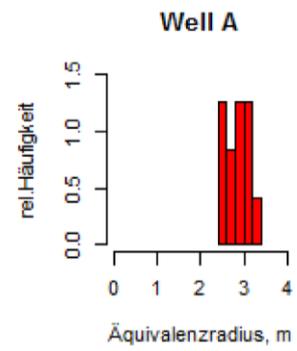
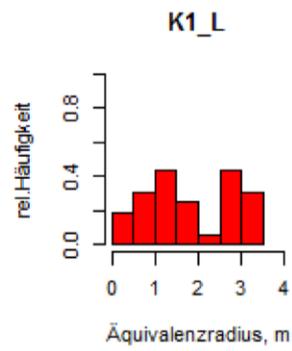
Schieferung Mitte



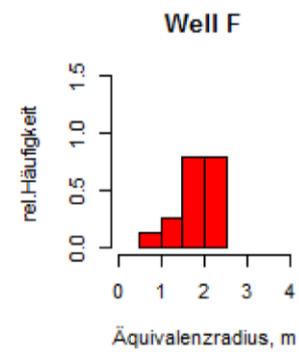
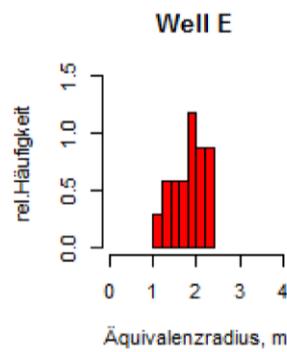
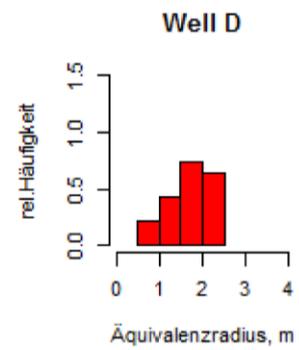
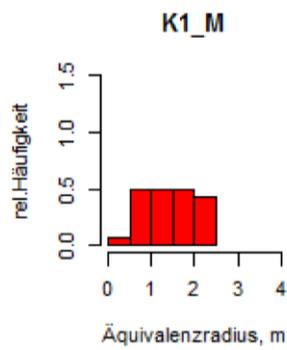
Schieferung Rechts



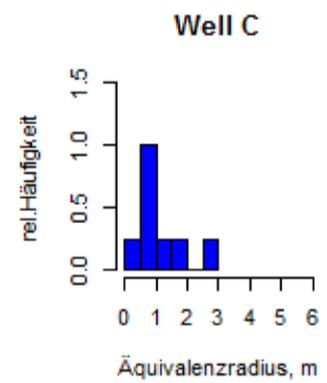
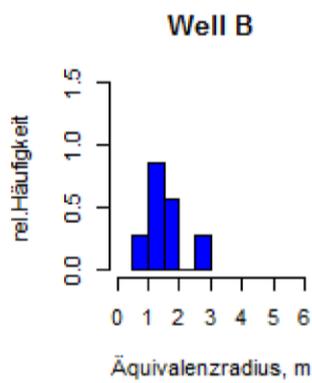
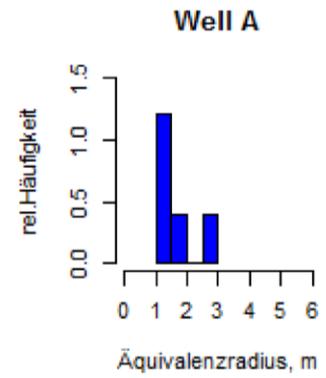
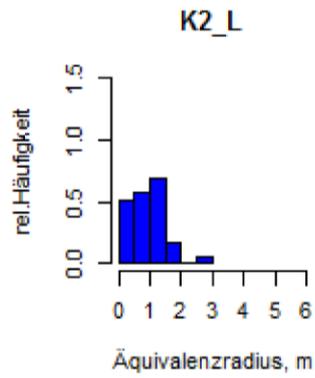
Kluftschar 1 Links



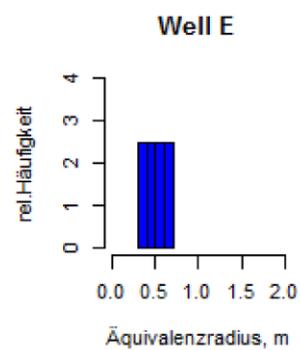
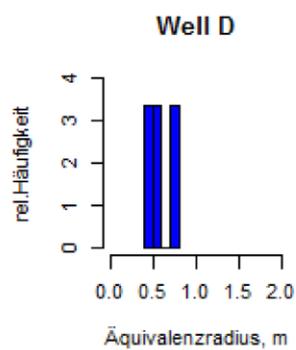
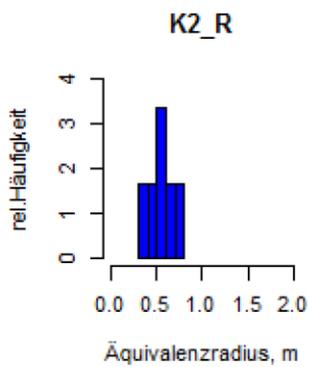
Kluftschar 1 Mitte



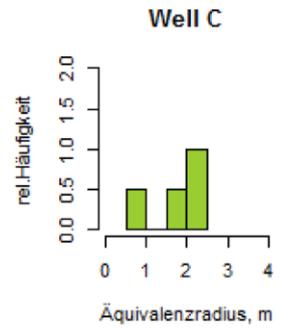
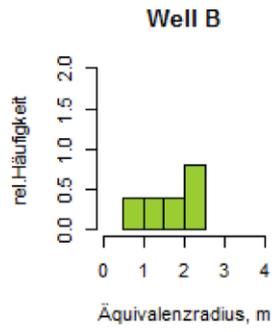
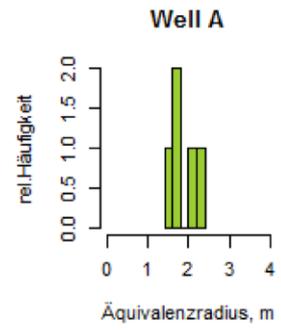
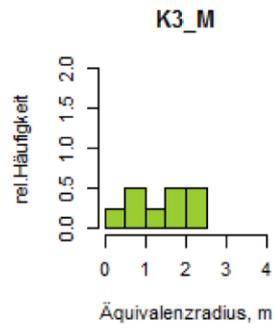
Kluftschar 2 Links



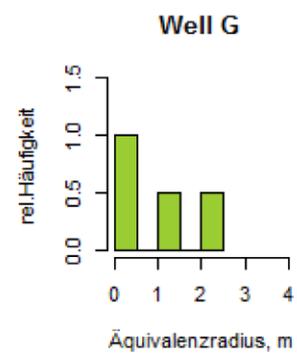
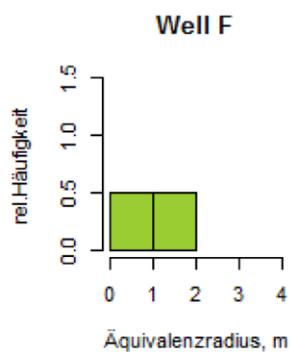
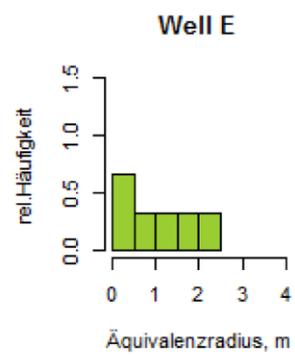
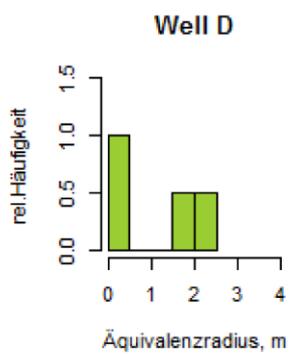
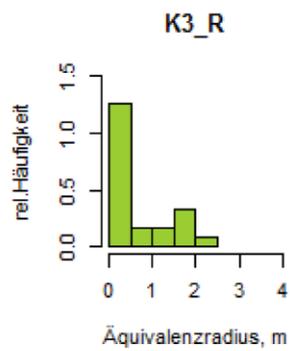
Kluftschar 2 Rechts



Kluftschar 3 Mitte

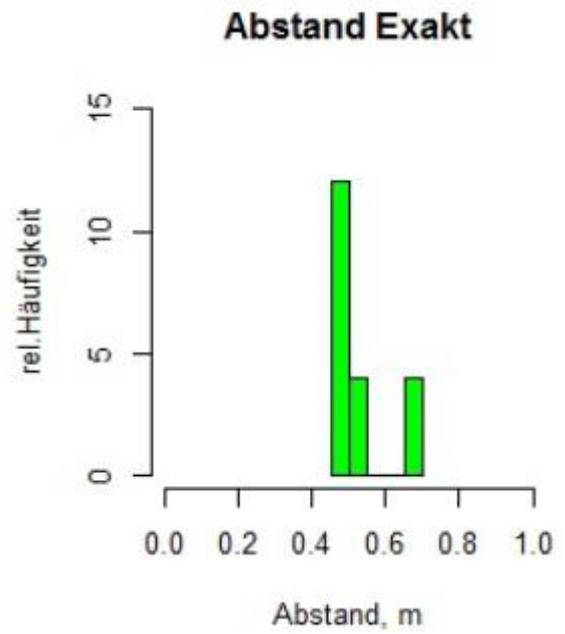
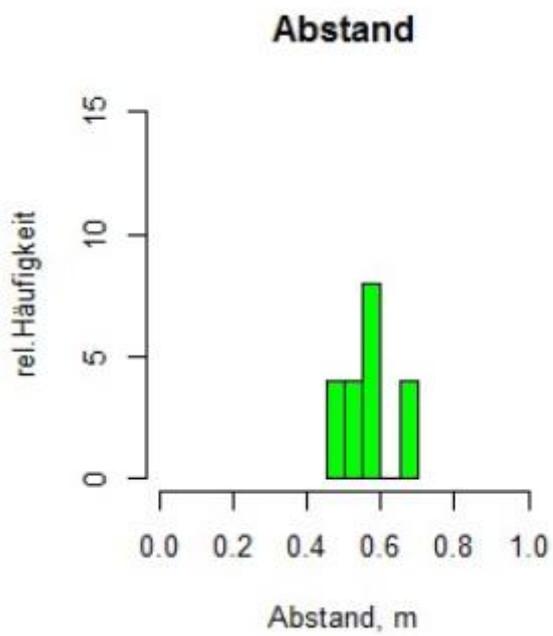


Kluftschar 3 Rechts

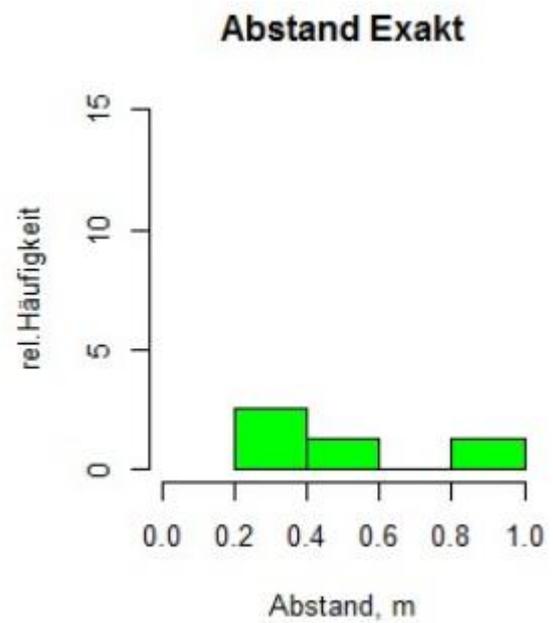
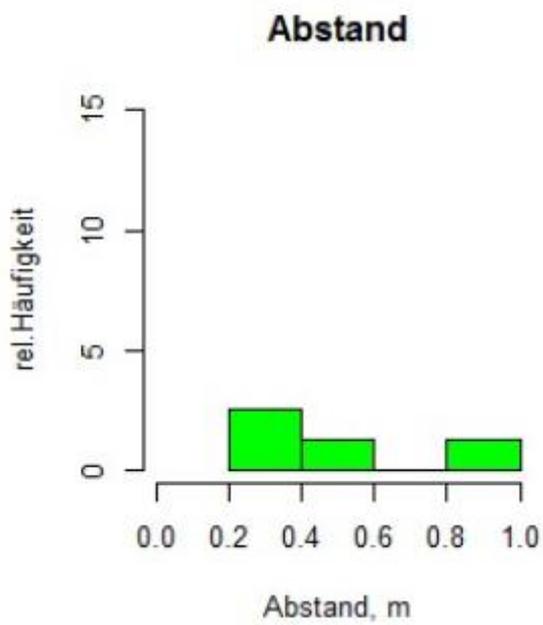


15.4.1.3 Trennflächenabstand

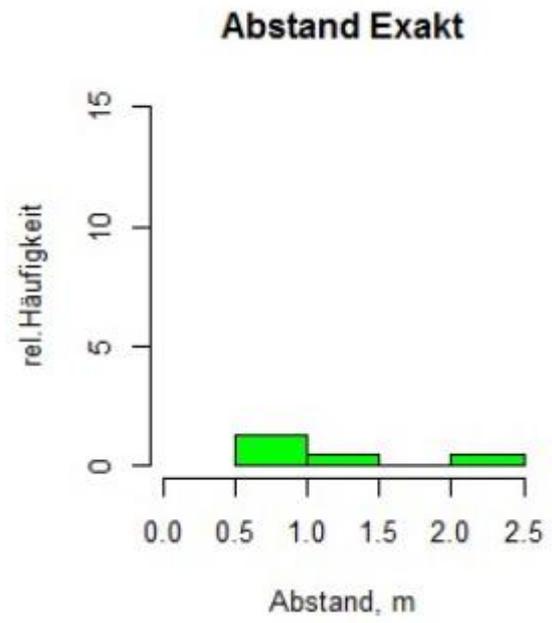
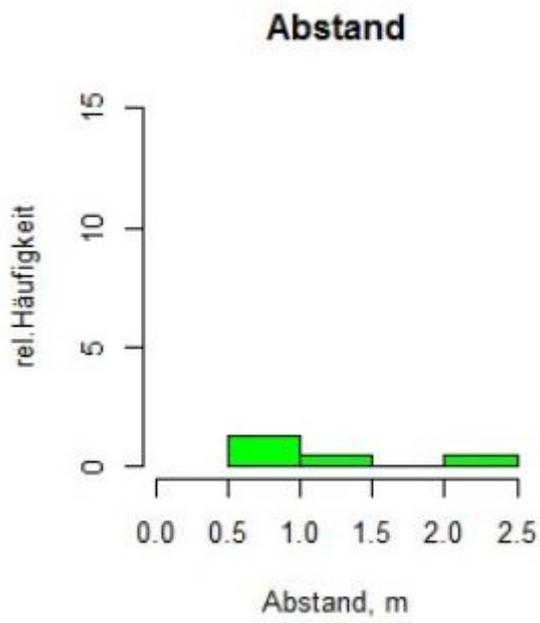
Schieferung Links



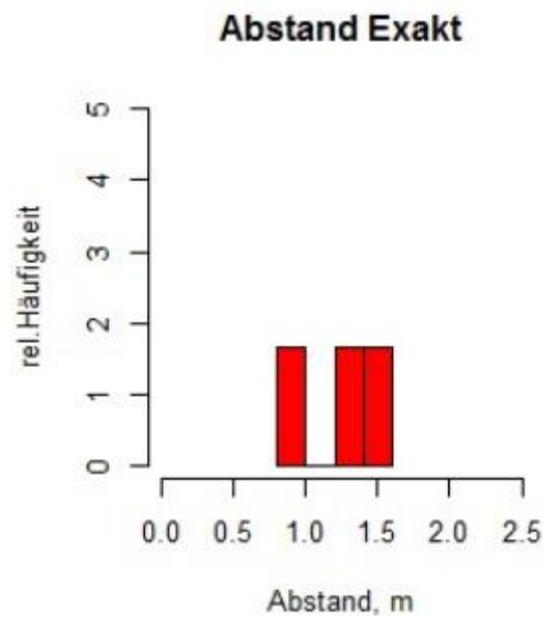
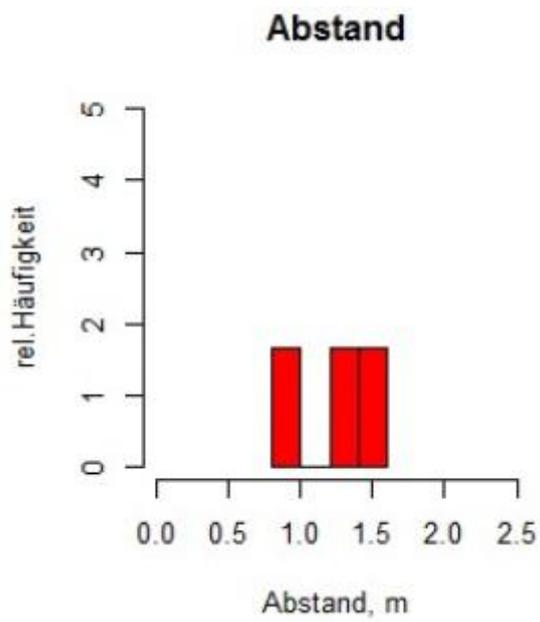
Schieferung Mitte



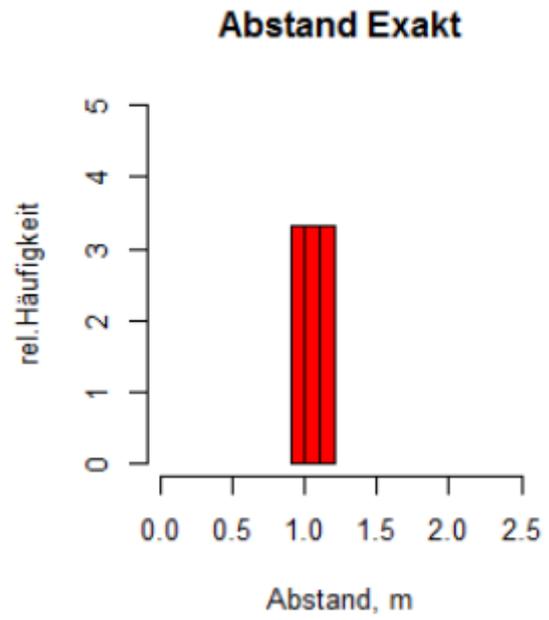
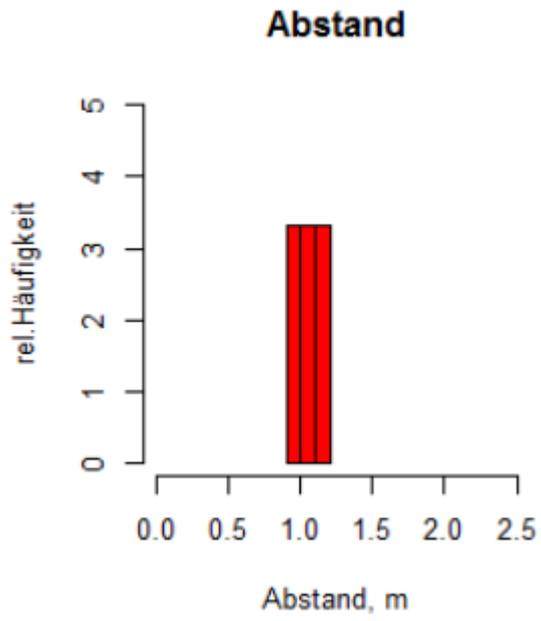
Schieferung Rechts



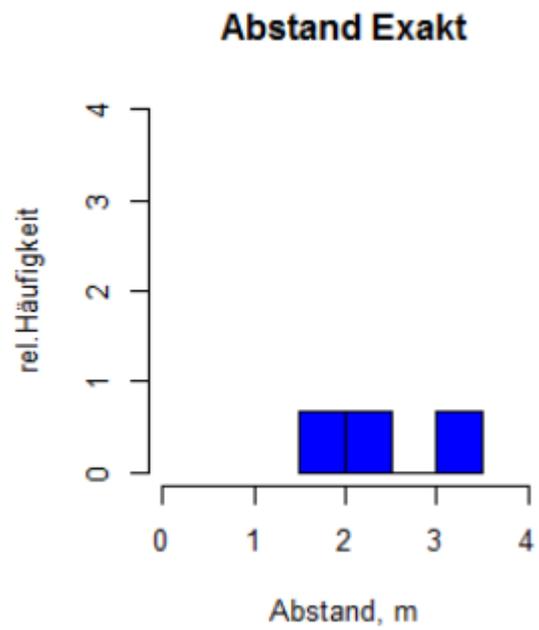
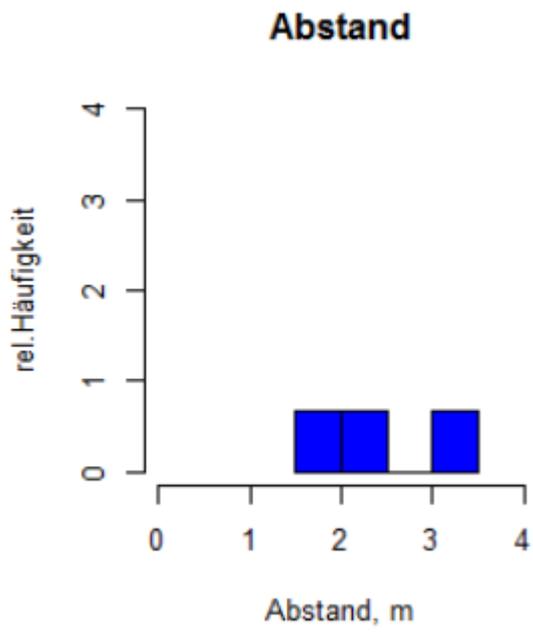
K1_Links



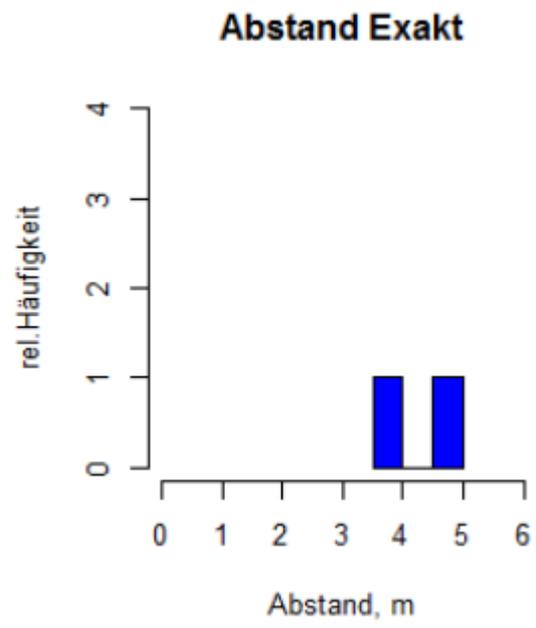
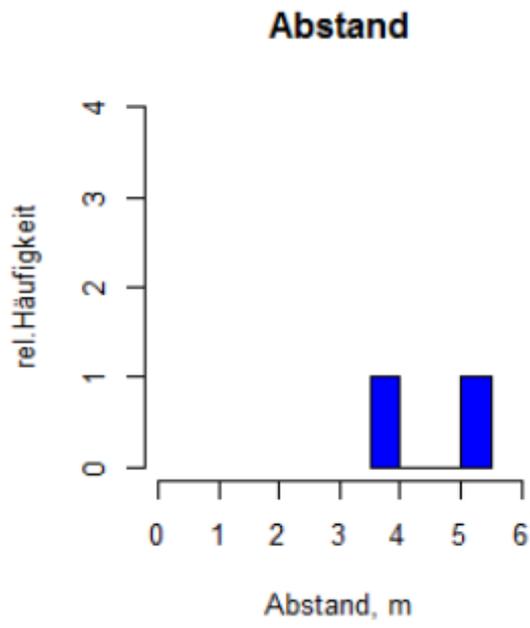
K1_Mitte



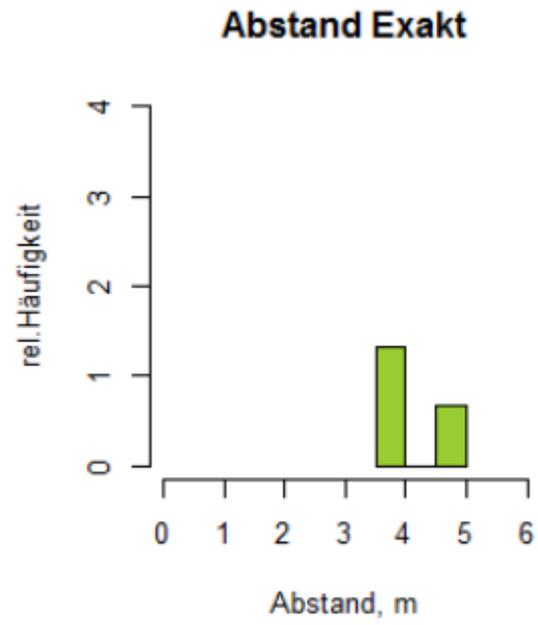
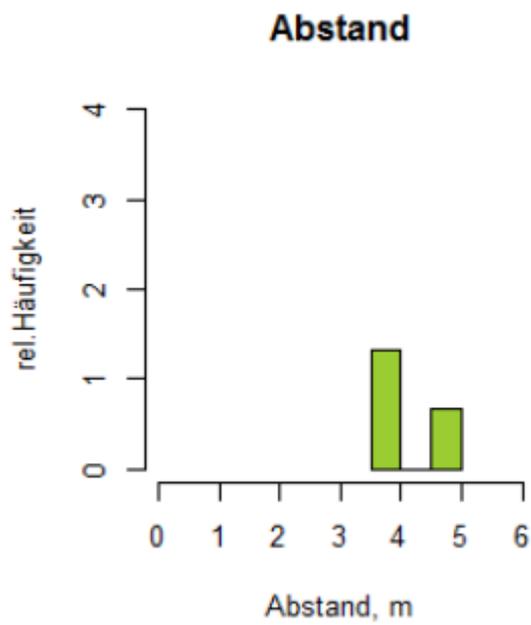
K2_Links

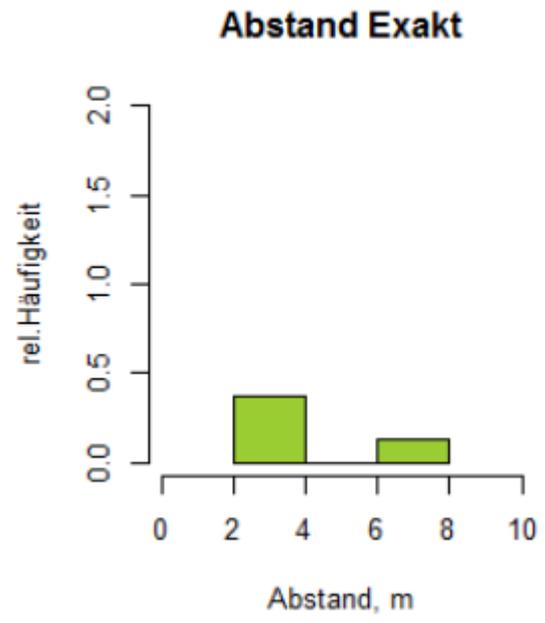
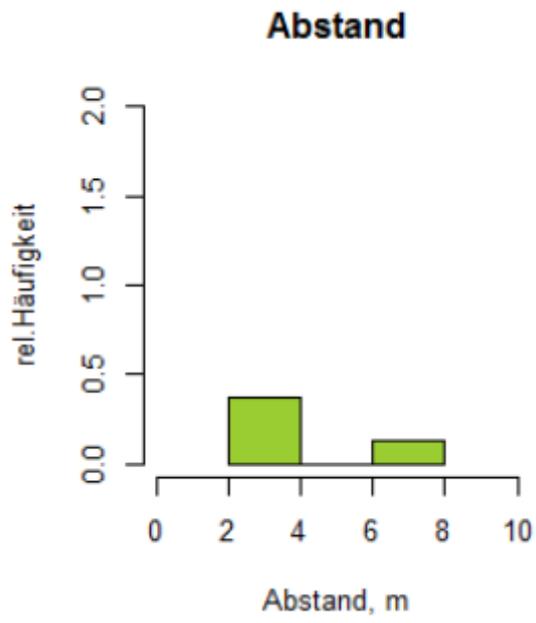


K2_Rechts



K3_Mitte

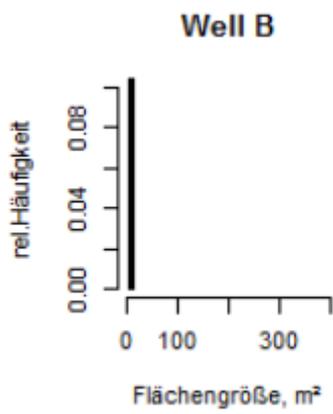
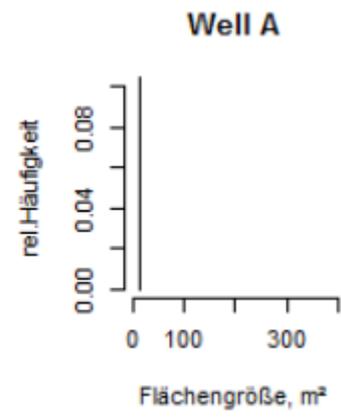
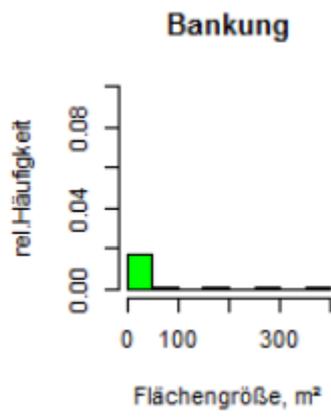




15.4.2 Feldkofel

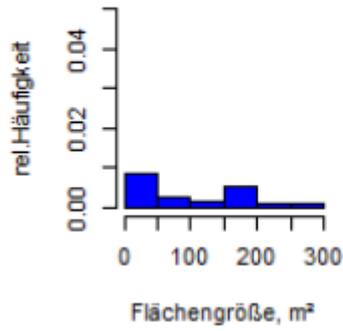
15.4.2.1 Trennflächengröße

Bankung

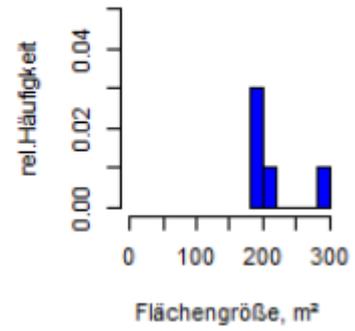


Kluftschar 1

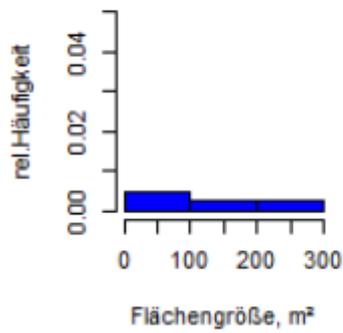
K1



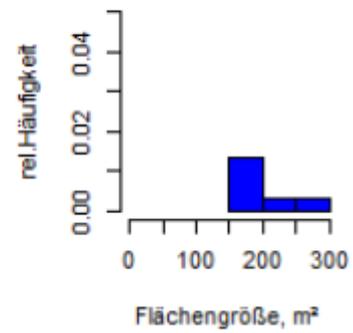
Well A



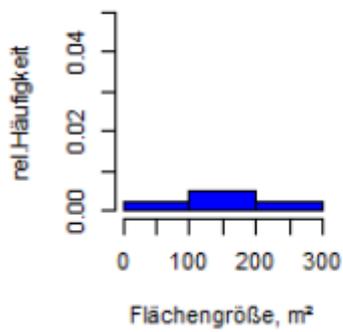
Well B



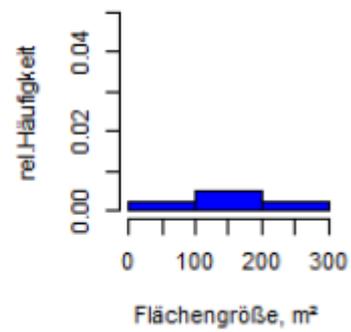
Well C



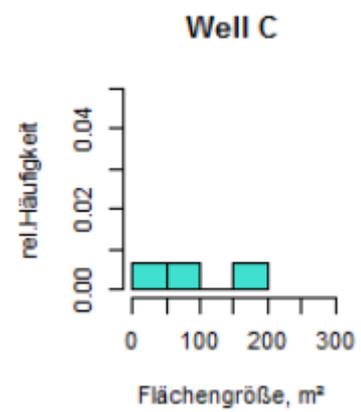
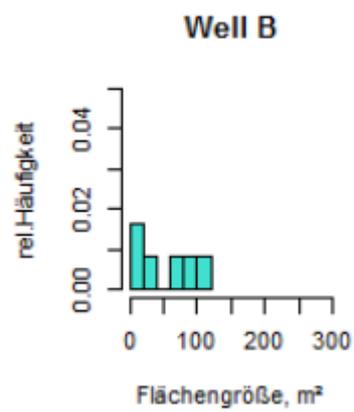
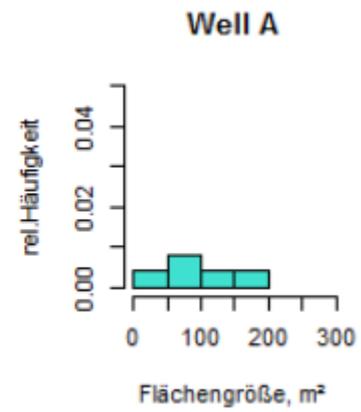
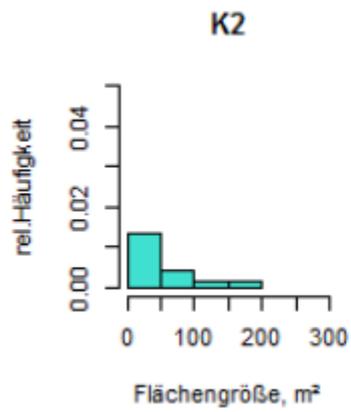
Well E



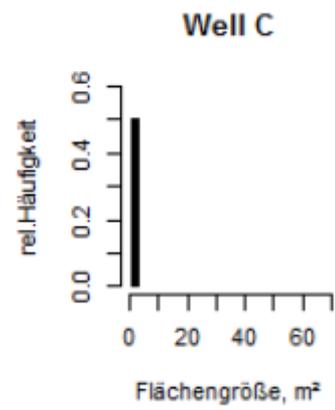
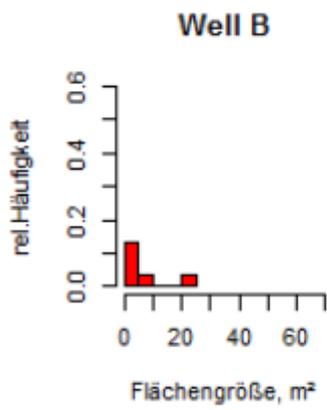
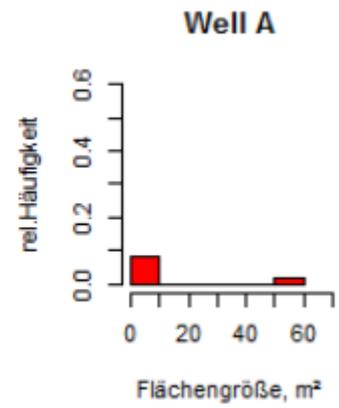
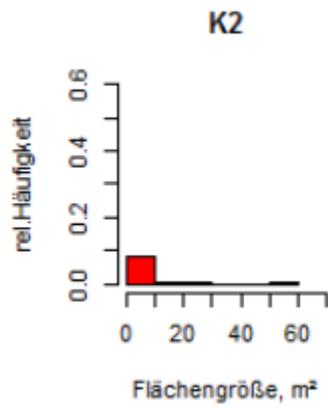
Well F



Kluftschar 2

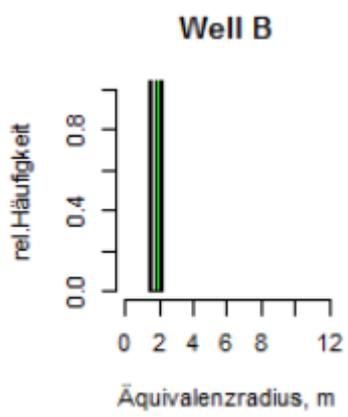
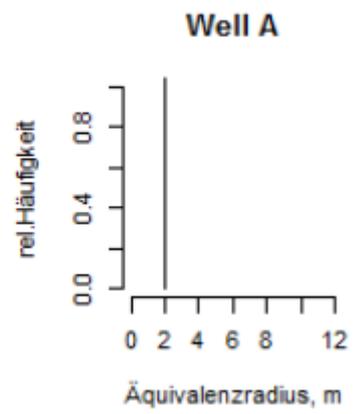
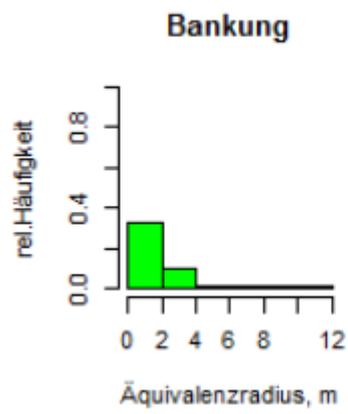


Kluftechar 3

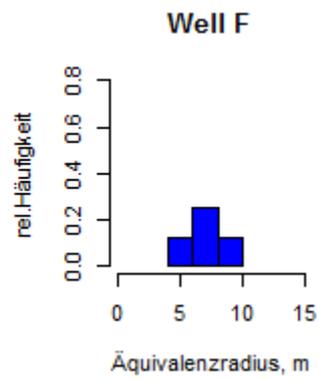
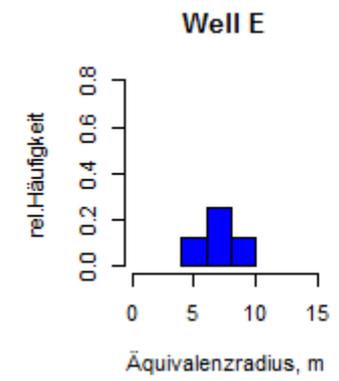
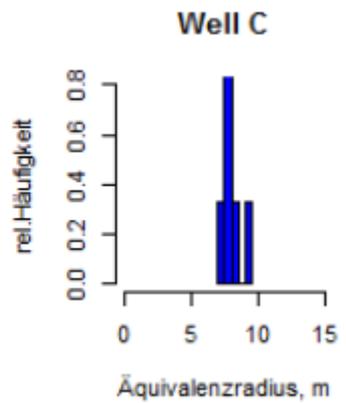
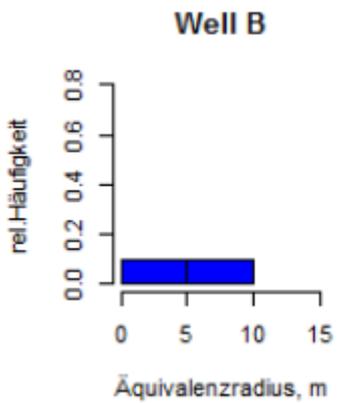
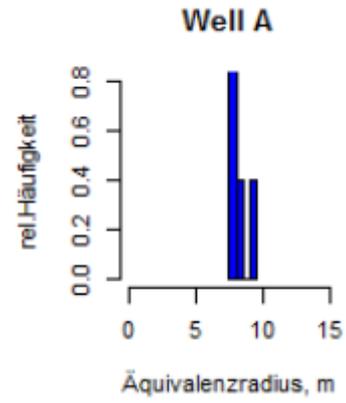
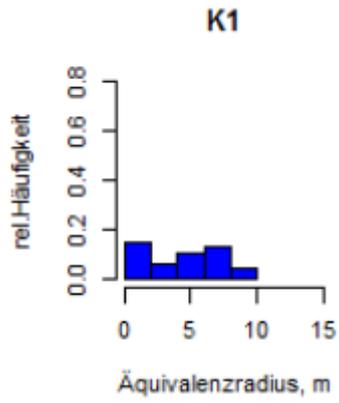


15.4.2.2 Äquivalentradius

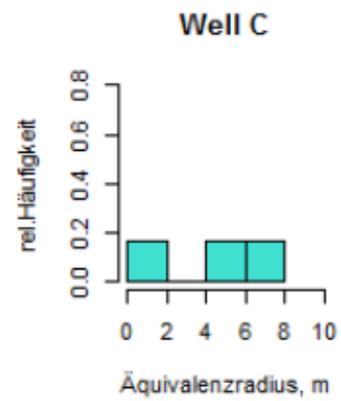
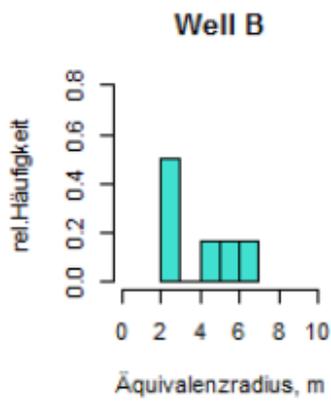
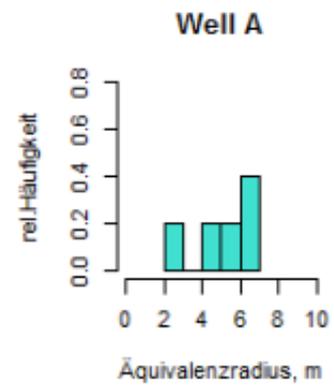
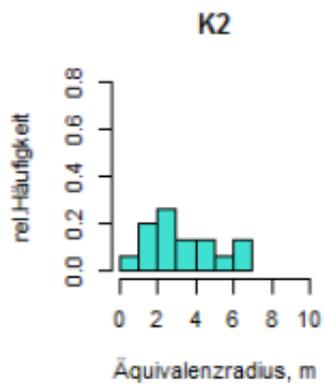
Bankung



Kluftschar 2

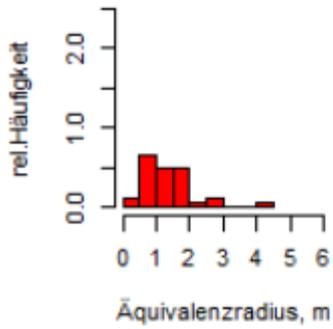


Kluftschar 2

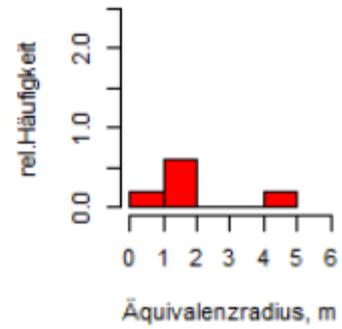


Kluftschar 3

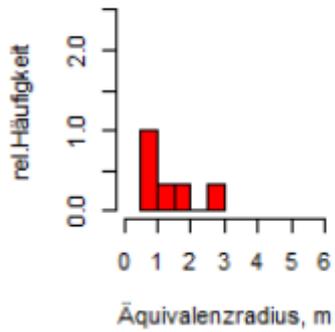
K2



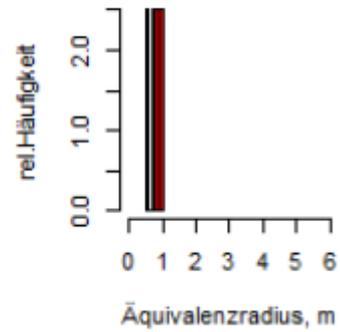
Well A



Well B

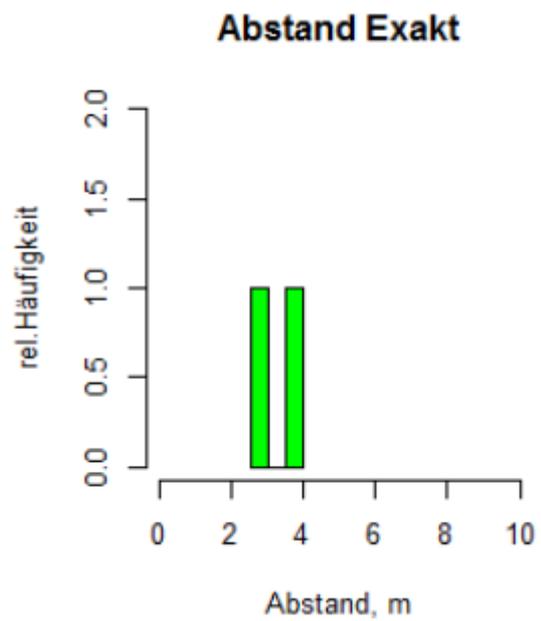
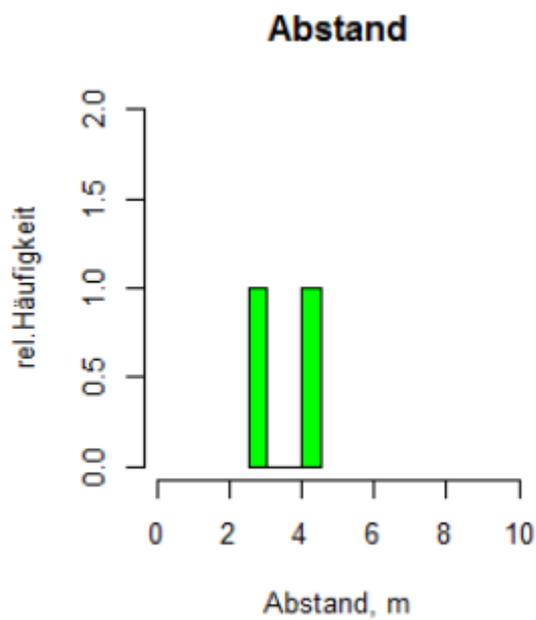


Well C

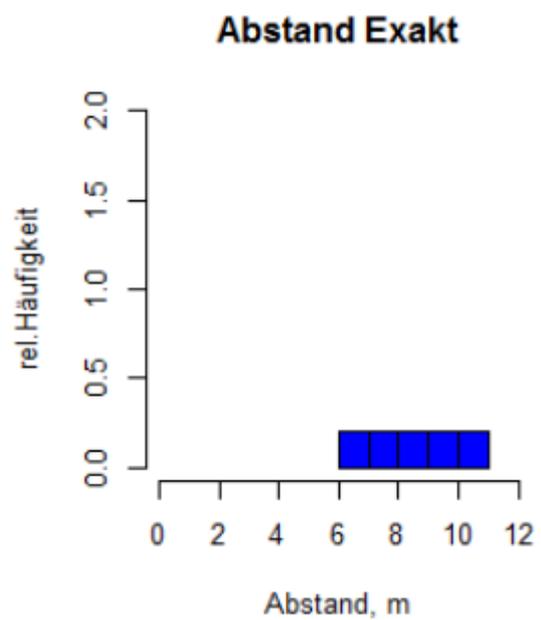
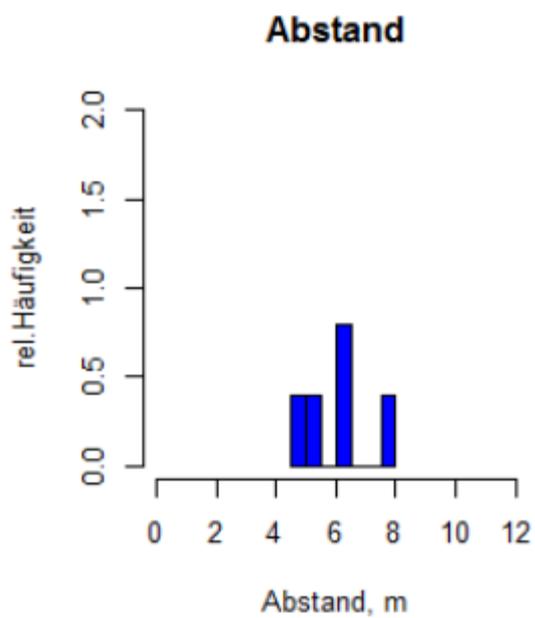


15.4.2.3 Trennflächenabstand

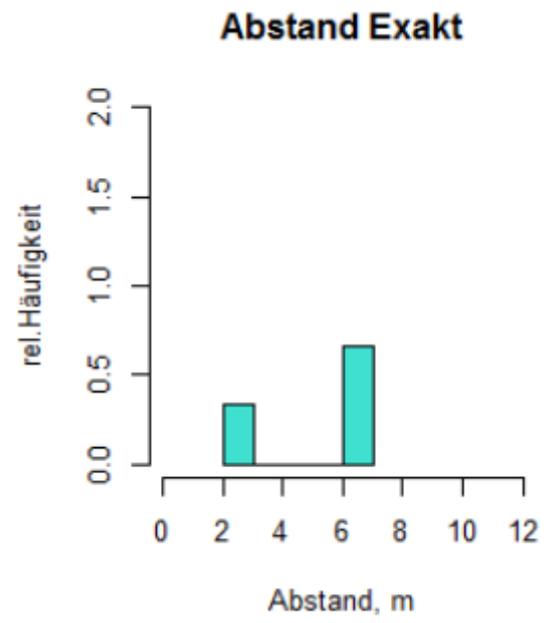
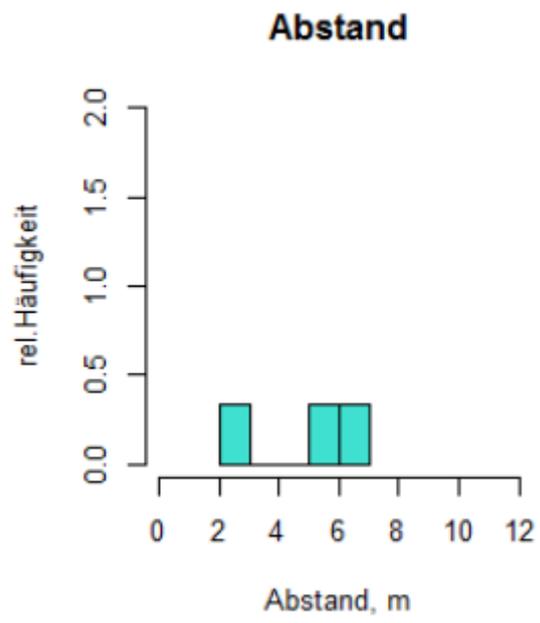
Bankung



K1



K2



K3

