

**Masterarbeit**



Technische Universität Graz

**Deskriptives dreidimensionales  
Trennflächensystemmodell  
für den Untertagebau in der Erkundungsphase,  
am Bsp. Semmering Basis Tunnel Neu,  
Trasse Pfaffensattel (91,8 -94,4 km)**

Technische Universität Graz  
Institut für Angewandte Geowissenschaften

Masterarbeit von Margit Maria PIBER

Betreuer

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Qian LIU

**Graz, Österreich, August 2010**



Für meine Familie,  
ohne die das Studium nicht möglich gewesen wäre.



# 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 entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht haben.

Graz, August 2010



# Danksagung

Ich möchte mich besonders bei meinem Betreuer Dr. Qian Liu für die Möglichkeit der Durchführung dieser Masterarbeit und seine tatkräftige Unterstützung bedanken.

Weiters danke ich der 3G (Gruppe Geotechnik Graz ZH GmbH) und der ÖBB für die zur Verfügungstellung der Daten. Besonderen Dank geht hierbei an Mag. Robert Vanek und Dr. Alfred Fasching sowie an Mag. Gudrun Pack.

Weiters möchte ich mich bei der Projektleitung Semmering (ÖBB Infrastruktur Bau AG), bei Herrn Dipl.-Ing. Oliver K. Wagner und Herrn Dipl.-Ing. Gerhard Gobiet bedanken.

Danke auch dem Institut für angewandte Geowissenschaften an der TU Graz für die zur Verfügungstellung der technischen Ausrüstung und allen jenen Personen, die mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, meinen Brüdern Franz und Michael, meiner Schwester Monika und meinen Freunden bedanken, die mich auch in schwierigen Zeiten unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt auch meiner jahrelangen Mitbewohnerin und Freundin Anna Neumayr.



# Kurzfassung

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Erstellung von dreidimensionalen Trennflächensystemmodellen, für einen Teilbereich des Semmeringbasistunnels neu, der Trasse „Pfaffensattel“ in der Erkundungsphase.

Der Vorteil von solchen Trennflächensystemmodellen ist die zusammenwirkende Charakterisierung von Diskontinuitätseigenschaften, wie Orientierung, Größe, Form, Verschneidung und Termination, welche eine realistische und genaue Charakterisierung der Trennflächen für ingenieursgeologische Analysen ermöglicht.

In dieser Arbeit wurde aus dem tektonischen Konzeptmodell und den Bohrdaten ein dreidimensionales Trennflächensystemmodell erstellt. Nach der multivarianten Zonierung der Bohrdaten wurden aus Bereichen gleicher Zerlegungsintensität Homogenbereiche identifiziert. In jedem Homogenbereich wurde eine Quantifizierung der Trennflächenorientierung abgeschätzt. Die Homogenbereiche wurden einer statistischen Analyse unterzogen und in ein Trennflächensystemmodell übergeführt. Die auftretenden Unsicherheiten des Modells wurden mit Hilfe von probabilistischen Methoden näher quantifiziert.



# Abstract

This Master Thesis deals with three-dimensional fracture system models for underground excavation in the site investigation phase. The Semmering Base Tunnel New - route Pfaffensattel is used as an example.

The advantage of such a fracture system model is the aggregate characterization of discontinuity attributes like orientation, size, shape, intersection and termination, which provides a realistic and detailed characterization of fractures for engineering analysis.

The fracture system developed in this work was built up from tectonic concept model and drilling data during the pre-subsurface exploration.

After multivariate zoning of engineering geological drilling data, the range of constant fracture intensity were identified. In each range the representative statistical parameters for the quantification of fracture geometry characteristics were estimated. Fracture system models were built in homogenous regions. The uncertainties of the models were quantified probabilistically.



# Abkürzungen

Auflistung der verwendeten Abkürzungen

N	Nord(en)
S	Süd(en)
W	West(en)
E	Ost(en)
NE	Nord Ost
ENE	Ost Nord Ost
ÖK	Österreichische Karte
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BVM	Bohrlochverlaufmessung
ÖNORM	Österreichische Norm
DIN	Deutsche Norm
SBT neu	Semmering Basis Tunnel Neu
m	Meter
NCA	Nördliche Kalkalpen
GWZ	Grauwackenzone
Bm.	Basement
Cov.	Cover
SS	Schichtfläche
SF	Schieferungsfläche
K	Kluffflächen
H	Harnisch
HS	Harnischfläche
STS	Störungen parallel zur Schieferung
ST	Störungen
Lin	Linear
Ma.	Millionen Jahre
KB	Kernbohrung
GIS	Geographisches Informations System
S Kat	S Kataklasit
C Kat	C Kataklasit
M Kat	M Kataklasit
G Kat	G Kataklasit



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>KAPITEL 1 / ALLGEMEINES</b> .....	<b>17</b>
1.1	EINLEITUNG .....	17
1.1.1	WARUM 3D-TRENNFLÄCHENSYSTEME IN DER BAUGEOLOGIE?.....	17
1.1.2	ZIELSETZUNG.....	18
1.1.3	STAND DER TECHNIK IN DER 3D GEOLOGIE.....	19
1.1.4	ALLGEMEINES ZUM SEMMERING BASISTUNNEL NEU .....	20
1.2	GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK.....	21
1.3	GEOLOGISCHER ÜBERBLICK.....	23
1.3.1	WECHSELKOMPLEX .....	26
1.3.2	SEMMERINGKOMPLEX.....	26
1.4	STÖRUNGSSYSTEME IM SEMMERINGGEBIET .....	27
<b>2</b>	<b>KAPITEL2 / DATENGRUNDLAGE</b> .....	<b>29</b>
2.1	DATENINVENTAR .....	29
2.1.1	KARTENGRUNDLAGE .....	29
2.1.2	SPEZIFISCHE DATEN.....	29
2.2	DIE RICHTLINIEN FÜR DIE DATENERHEBUNG.....	30
2.2.1	BOHRKERNAUFNAHME.....	30
2.2.2	BOHRLOCHFERNSEHEN (ABF) .....	32
2.3	DER MODELLIERUNGSBEREICH UND DAS TEKTONISCHE KONZEPTMODELL.....	33
<b>3</b>	<b>KAPITEL 3 / MODELLAUFBAU</b> .....	<b>35</b>
3.1	WORK FLOW .....	35
3.2	SOFTWARE .....	37
3.3	ALLGEMEINE MODELLPARAMETER .....	37
3.3.1	MAßSTAB.....	37
3.3.2	TUNNELACHSE.....	38
<b>4</b>	<b>KAPITEL 4 / METHODISCHE VORGEHENSWEISE</b> .....	<b>39</b>
4.1	DIE ERSTELLUNG DES GEOLOGISCHEN OBERFLÄCHENRELIEFMODELLS.....	39
4.1.1	ARC-GIS.....	39
4.1.2	TIN (TRIANGULIERENDES IRREGULARES NETZWERK) .....	43
4.2	DATENANALYSE DER BOHRUNGEN.....	44
4.2.1	DIE DREIDIMENSIONALE LAGE VON BOHRUNGEN IM RAUM.....	45
4.2.2	DIE BESCHREIBUNG DER VON DER BOHRKERNAUFNAHME ERFASSTEN INFORMATIONEN .....	53



4.2.2.1	BESCHREIBUNG DER LITHOLOGIEN IN DEN EINZELNEN KERNBOHRUNGEN .....	55
4.2.2.2	BESCHREIBUNG ALLER BOHRKERNPARAMETER ZUEINANDER.....	64
4.2.2.3	DARSTELLUNG AUSGEWÄHLTER DATEN UND IDENTIFIKATION VON HOMOGENBEREICHEN ENTLANG DER KERNBOHRUNGEN .....	71
4.3	INTERPRETATION DES STÖRUNGSSYSTEMS .....	79
4.4	KOORDINATENZUORDNUNG ALLER DATENSÄTZE .....	83
4.5	PROZESS DER 3D MODELLIERUNG .....	85
4.5.1	ZUSAMMENFÜHRUNG IN EIN GEMEINSAMES KOORDINATENSYSTEM....	85
4.5.2	MODELLIERUNG VON STÖRUNGSZONEN UND LITHOLOGISCHEN GRENZBEREICHEN.....	87
4.5.3	DAS TRENNFLÄCHENSYSTEMMODELL .....	89
<b>5</b>	<b>KAPITEL5 / ERGEBNISSE .....</b>	<b>97</b>
5.1	DIE IDENTIFIKATION VON BEREICHEN GLEICHER ZERLEGUNGSINDENSITÄT .....	97
5.1.1	DIE HOMOGENBEREICHE DER SCHIEFERUNGSFLÄCHEN.....	97
5.1.2	DIE HOMOGENBEREICHE DER HARNISCHFLÄCHEN .....	117
5.1.3	DIE HOMOGENBEREICHE DER KLUFTFLÄCHEN .....	129
5.1.4	DIE AUFTRETENTEN STÖRUNGSZONEN .....	143
5.2	MODELLIERUNG .....	151
5.2.1	MODELLPARAMETER SCHIEFERUNGSFLÄCHEN .....	152
5.2.2	MODELLPARAMETER HARNISCHFLÄCHEN .....	156
5.2.3	MODELLPARAMETER DER KLUFTFLÄCHEN .....	158
5.2.4	MODELLPARAMETER AUSGEWÄHLTER BEREICHE .....	159
5.3	DIE UNSICHERHEITEN UND DER VERTRAUENS- BEREICH DES MODELLS .....	162
<b>6</b>	<b>KAPITEL6 / SCHLUSSFOLGERUNG / DISKUSSION .....</b>	<b>163</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>165</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>169</b>



# **1 KAPITEL 1 / ALLGEMEINES**

## **1.1 EINLEITUNG**

Eines der bedeutendsten Infrastrukturprojekte in Österreich ist der Semmering Basis Tunnel Neu (SBT neu). Bisherige Sondierungen haben gezeigt, dass die Trasse über den Pfaffensattel die bevorzugte Variante ist (GOBIG 2008).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der dreidimensionalen Trennflächenmodellierung des Streckenabschnittes km 91,8- 94,4 des Projektes Semmering Basistunnel Neu. Diese Modellierung hilft bei der Charakterisierung von ingenieurgeologischen Eigenschaften, welche für das Tunneldesign notwendig sind. Dabei wird der Projektbereich dreidimensional und modellhaft abgebildet und die Art, die Zusammensetzung, die räumliche Verteilungen und Häufigkeit der auftretenden Trennflächen dreidimensional beschrieben.

Das in dieser Arbeit bearbeitete Modell zeigt die Orientierung und den Verlauf von Trennflächen und Störungen. Diese vertiefende Analyse der geologischen Strukturen und die weitere 3D Modellierung ist für eine bessere Vorhersage von Gebirgseigenschaften hilfreich.

### **1.1.1 WARUM 3D-TRENNFLÄCHENSYSTEME IN DER BAUGELOGIE?**

Die Hauptaufgabe der Ingenieurgeologie ist die Charakterisierung von geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Gebirges. Diese beiden Faktoren sind wichtig für das ingenieurgeologische Design und für die Konstruktion des Bauwerkes.

Trennflächen sind Diskontinuitätszonen, die im Gebirge auftreten. Als Trennflächensysteme bezeichnet man eine große Anzahl von einzelnen Trennflächen, die in einem hydrologischen oder mechanischen System zusammenarbeiten. 3D-Trennflächensystemmodelle charakterisieren diese gesteinsgeometrischen und mechanischen Eigenschaften des Gebirges. Mit Hilfe der 3D-Trennflächengeologie kann eine bessere Abschätzung und Simulation der Gebirgseigenschaften durchgeführt werden. Das Trennflächenmodell bildet eine dreidimensionale in sich konsistente modellhafte Abbildung des räumlichen Zusammenhanges von

Trennflächen. Sie haben einen großen Einfluss auf den Verlauf von Wässern innerhalb des Gebirges als auch bei strukturellen Interaktionen. Das Trennflächensystemmodell ist ein Teilbereich der 3D Geologie.

Hauptanwendungsgebiete der 3D-Geologie sind Darstellungen, Analysen, Synthesen, Modellierungen und Interpretationen von geologischen Daten. Durch die Verwendung von georeferenzierten Daten kann eine exakte Bestimmung der Position eines dreidimensionalen Körpers im Raum stattfinden. Die treibenden Kräfte für die Weiterentwicklung von 3D multidimensionaler Geologie sind die Erdölindustrie, Hydrogeologie und Baugeologie.

### **1.1.2 ZIELSETZUNG**

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen methodischen Weg zur besseren und realistischeren Darstellung von Trennflächen in Untertagebauprojekten auszutesten. Die Weiterentwicklung von 3D Trennflächen- oder Kluftmodelle ermöglicht Perspektiven zur detaillierten Darstellung von stark beanspruchtem Gebirge. Sie sind aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten, durch die bessere Vorhersagbarkeit und einer damit verbundenen Kostenreduktion für das Bauvorhaben, von positiver Bedeutung.

Die Durchführung dieser methodischen Modellierung wurde mit fortgeschrittenen mathematischen Methoden in einem dreidimensionalen Trennflächenmodell verwirklicht. Durch die Modellierung von Zerrüttungsbereichen ist es möglich, realistischere dreidimensionale Modelle zu erstellen. Das Trennflächenmodell zeigt die Verteilungen von Zerrüttungszonen an bestimmten Orten, die Größe, die Form, die Intensitäten, die Orientierung und den Zusammenhang zueinander. Das gesamte Modell basiert auf Basis des kartesischen Koordinatensystems. Um die baugeologischen Aspekte in das Modell einzubringen, ist es notwendig, die dreidimensionale Größe von Strukturen und ihren Zusammenhang zu verstehen. Schwierigkeiten in der Erstellung des Modells bereitet, dass das Gebirge diskontinuierlich, inhomogen und anisotrop ist. Im polymetamorphen Gebirge bereiten zusätzliche Verfaltungen, rasche Änderungen von Lithologien und Inhomogenitäten in der Vorhersagbarkeit Probleme. Um Fehlerquellen so weit wie möglich zu minimieren wird die global- als auch regionalgeologische Entstehung des Gebietes berücksichtigt. Die Ungewissheiten, die in den Daten auftreten, wurden mit statistischen Analysemethoden quantifiziert.

Ein Teil der Trasse Pfaffensattel des Semmering-Basis-Tunnels Neu wurde als Datengrundlage zur Modellierung herangezogen. Die Modellierung basiert aufgrund des geologischen Wissens- und Datenstandes des Sommers 2009.

### **1.1.3 STAND DER TECHNIK IN DER 3D GEOLOGIE**

Die folgenden kurz zusammengefassten Veröffentlichungen im Bereich der 3D-Geologie ist die Ausgangsbasis für diese Arbeit:

JONES et al. (2009) zeigt in seinem Paper neue Perspektiven in der 3D-Modellierung für die Entwicklung von multidimensionalen geologischen Modellen. Diese beinhalten die Kombination von verschiedenen Methoden, wie die digitale Datenerfassung, die 3D-Visualisierung sowie raumgeologische Analysen in verschiedenen Maßstäben. Unter Verwendung einer raumgeologischen Graphik User Interface (GUI) wurde das Modell realisiert.

DE DONATIS et al. (2009) zeigt wie man mit frei zugängigen Informationen ein besseres Verständnis für 3D strukturelle Settings erzeugen kann.

TONINI et al. und ZANCHI et al. (2009) beschäftigen sich mit der Analyse von strukturellen Problemen. Dabei zeigt TONINI et al. eine Annäherung, wie man im Feld aufgenommene geologische Strukturen in 3D durch Verwendung von 3D CAD darstellen kann. ZANCHI et al. präsentiert eine Methode zur Erstellung von komplexen geologischen Modellen, beginnend mit der topographischen Information und er berücksichtigt strukturelle Felddaten sowie auch geologische Daten.

KAUFMANN & MARTIN (2009) zeigen eine praktische Anwendung von Basisdaten (Längenschnitte und Geologische Karten) und punktuelle Daten (Bohrungsdaten und Aufschlussbeschreibungen), die dazu verwendet werden, um präzise 3D Modelle zu erstellen.

Im Tunneldesign bzw. in der Tunnelkonstruktion ist eine genaue Beschreibung der Trennflächen notwendig (SCHUBERT 1996).

Die dreidimensionale Trennflächensystembeschreibung ist in den bisherigen dreidimensionalen geologischen Modellierungen nicht ausreichend berücksichtigt. Auch die für das Design erforderliche dreidimensionale Quantifizierung der Trennflächensysteme ist bis jetzt noch nicht ausreichend untersucht.

#### **1.1.4 ALLGEMEINES ZUM SEMMERING BASISTUNNEL NEU**

Die Semmeringbahn ist seit der Errichtung von „Carl von Ghega“ eine wichtige Bahnverbindungsstrecke und stellt im transeuropäischen Schienennetz ein nicht wegzudenkendes Verbindungselement dar. Nach jahrelanger politischer Diskussion um eine Stärkung dieser wirtschaftlich wichtigen Infrastruktur, erfolgte im Frühjahr 2005 das politische Einverständnis für eine einheitliche leistungsfähige Eisenbahnstrecke im Südbahnverlauf. Damit verbunden ist das Bauvorhaben Semmering Basistunnel Neu (GOBIET 2008). Im Zuge des Trassenauswahlverfahrens wurden von insgesamt dreizehn Varianten vier Hauptvarianten mit unterschiedlicher Bahnhofsanbindung im Raum Mürzzuschlag Königsberg nach ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Kriterien bewertet. Die vier Haupttrassen sind im Norden „Preiner Gscheid“, im zentralen Planungsraum die „Ochnerhöhe“, sowie im südlichen Raum die „Kleiner Otter“ und die „Pfaffensattel“ -Trasse. Aus verkehrstechnischen, raum-, umwelt- sowie kosten- und risiko- technischen Gründen wurde der Pfaffensattel als idealste Trasse gewählt (GOBIET 2008).

## 1.2 GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK

Das Semmeringgebiet befindet sich in der Obersteiermark und markiert die geographische Grenze zwischen der Steiermark und Niederösterreich (Abb. 1). Der Semmeringpass (985 m) verbindet die Mur-Mürz Furche mit dem Alpenvorland und wird von der ältesten Gebirgsbahn Europas, der Semmeringbahn, gequert.

Das Arbeitsgebiet dieser Modellierung befindet sich im Fröschnitztal, nördlich der Falkenbauerhöhe (1300 m) und dem Wetterkreuz (1253 m). Beim Fröschnitztal handelt es sich um SE-NW streichendes Tal, welches bei Steinhaus am Semmering in das SW-NE streichende Mürztal mündet.

In dieser Arbeit wurde nur der Bereich zwischen km 91,8 und km 94,4 (Trasse Pfaffensattel) modelliert (Koordinaten des bearbeiteten Bereiches befinden sich zwischen: Hochwert -36000 bis -40000, Rechtswert 5274000 bis 5271000, GK-Österreich East MGI).

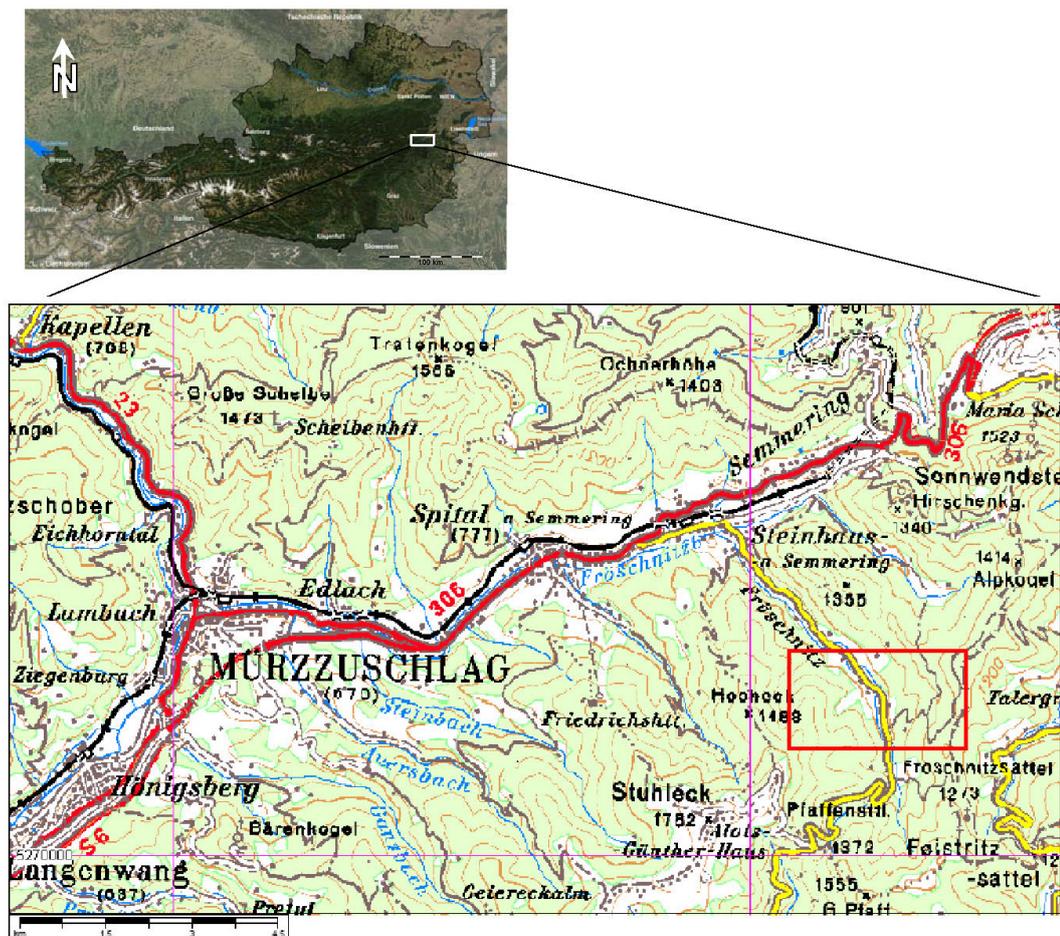


Abb. 1: BEV- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien 1999, ÖK 200-Ost (1:200 000), das rote Rechteck markiert den modellierten Bereich



### 1.3 GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Durch den Bau der Semmeringbahn begann vor ca. 150 Jahren die detaillierte geologische Untersuchung des Alpenostrandes. Im Semmeringgebiet treten sehr viele unterschiedliche geologische Einheiten auf. Eine tektonische Übersicht der Ostalpen zeigt die Abb.2.

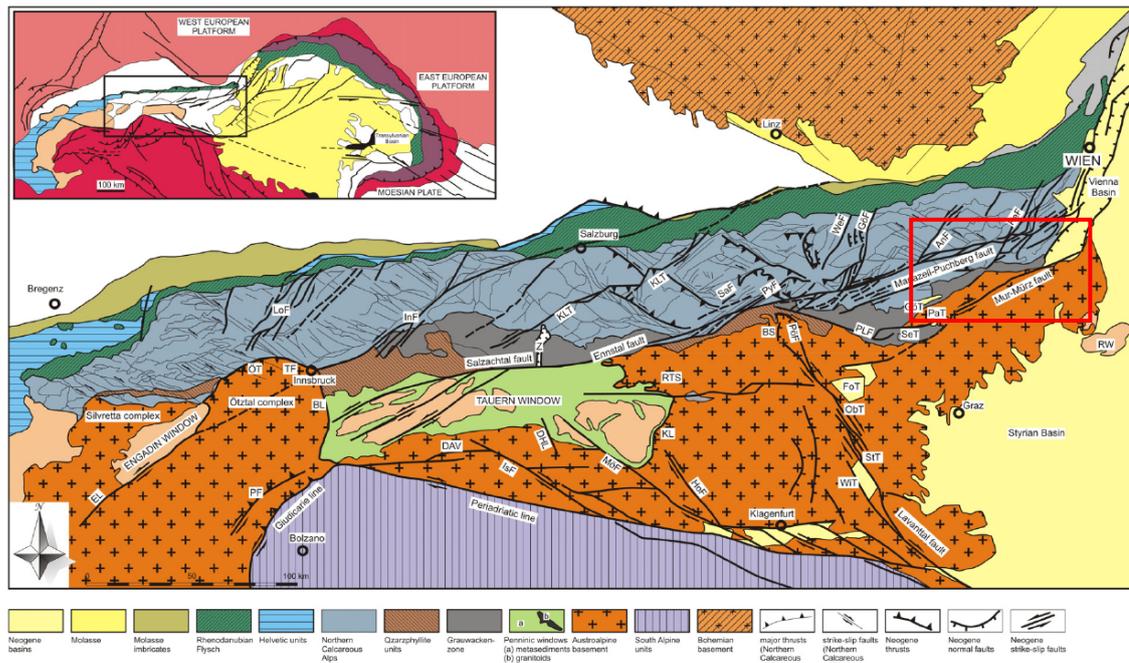


Abb. 2: Tektonische Übersichtskarte der Ostalpen, LINZER et al., 2002. Das Rechteck markiert den geologischen relevanten Bereich

Der in dieser Arbeit relevante Bereich ist in Abb. 2 rot markiert. Im nördlichen Bereich vom Untersuchungsgebiet sind paläozoische Gesteine der Grauwackenzone anzutreffen, welche der Veitscher Decke, der Norischen Decke und der Silbersberg-Gruppe zuzuordnen sind. Vorzufindende Lithologien sind Phyllite, Meta-Sedimentgesteine, Grüngesteine und Prophyroide (FASCHING & VANEK 2008).

Der zentrale Untersuchungsbereich (Zentralalpines Permomesozoikum) setzt sich aus Permomesozoischen Deckensequenzen der Kristallinkomplexe zusammen. Die hier auftretenden Hauptgesteinsarten sind Quarzphyllite, Phyllite, teils gneisige Glimmerschiefer, massig gebankte Kalke bis Kalkmarmore sowie Dolomit bis Dolomitmarmore, Rauwacken, quarzreiche Serizitschiefer, Semmeringquarzit und Keuperphyllit (FASCHING & VANEK 2008).

Im südlichen Untersuchungsgebiet sind die Kristallinkomplexe des Wechselkristallins und des Semmeringkristallins sowie das Kristallin des Trattenkogels vorzufinden. Die

im südlichen Bereich auftretenden Hauptgesteinsarten sind Albitphyllite, Paragneise des Wechselkristallins, Quarzphyllite, grobkörnige Granitgneise des Semmeringkristallins sowie Quarzphyllite des Trattenkogel Kristallins (FASCHING & VANEK 2008). Die Abb. 3 zeigt die stratigraphische Entwicklung des Gebietes.

tektonisch Einheit	Alter		Formation		
JUVAVISCH	anis	NCA	GUTENSTEINER KALK		Cov
	skyth		"Schneeberg-Decke" WERFENER FORMATION	Tonschiefer Sand- Siltstein	
TIROLIKUM	anis	NCA	RAUHWACKE		Cov
	skyth		QUARZIT (KARBONAT-)SCHIEFER		
NORISCH	l-silur	GWZ	GRÜNSCHIEFER, PHYLLIT		Bm
	u-ord		BLASSENECK PORPHYROID		
VEITSCH	m-ord	GWZ	QUARZIT-KONGLOMERAT, METASANDSTEIN GRAPHITPHYLLIT		Bm
TATTER MANN	anis	zentralalp. Permo mesozoikum	THÖRLER KALK	blauschwarze, dünnstriefige Kalke mit weißen Kalzitfäden	Cov
	skyth		SEMMERINGQUARZIT	massige- gebankte Quarzite hellgrau - weiß - grünlich feinkörnig	
	skyth		TATTERMANN SCHIEFER	"Alpiner Veruccano" bläulich, lilagrau, feine Schieferungsflächen, Phyllitisch-serizitisch Phengitschiefer	
	perm	Kristallin	"HÜLLSCHIEFER" Tratenkogel-Deckscholle	DIAPHTORISCHE GLIMMERSCHIEFER Phyllite bis Phyllonite Glimmerschiefer, Pegmatite, Amphibolite	Bm
SEMMERING	karn	zentralalp. Permo mesozoikum	KAPELLENER SCHIEFER		Cov
	anis - ladin		WETTERSTEIN FORMATION	Dolomitmarmor meist hell, teilw. dunkel, dünngebankt	
	anis		(KALK)-BÄNDERMARMOR	weiß, leicht rosa bis hellgrau, schwarz - blaugrau deutl. Bankung, bildet große Flächen, stark zerklüftet teilweise mit Dolomit	
	anis		GUTENSTEINER KALK	ingeschuppt in Kalkbändermarmor dunkel, schwarzblau mit Kalzitadern dünngeschichtet, bituminös	
	anis		Reichenhaller RAUHWACKE	massig, breckziös, zellig-porös teilweise mit Kalk und Dolomit durchsetzt	
	skyth		SEMMERINGQUARZIT	grünlich, feinkörnig, Serizitneubildungen	
	perm		Kristallin	"HÜLLSCHIEFER"	
WECHSEL	karbon	zentralalp. Permo mesozoikum	Wechselschiefer	Phyllitische Glimmerschiefer	Cov
	karbon	Kristallin	Wechselgneis	Granit-Intrusionen, Metagranite	Bm
PENNINIKUM					

Abb. 3: Zusammenfassung der lithologische Einteilung des Gebietes bezüglich der alpinen Entwicklung, Diplomarbeit (KIECHL 2007)

In Abb. 4 ist, nach SCHUSTER et al. (2001), die geologische Karte des Alpenostrandes, zu sehen.

Das Kristallin der Ostalpen setzt sich vom Liegenden ins Hangende aus dem Wechsel, Semmering-, Strallegg-, Siegraben und Troiseck-Floning-Komplex zusammen (SCHUSTER et al. 2001).

Über dem Penninikum der Rechnitzer Fenstergruppe lagert tektonisch das Unterostalpin, welches sich aus dem liegenden Wechselsystem und dem hangenden Semmeringsystem zusammensetzt. Das tektonisch höher liegende Mittelostalpin wird vom Troiseckzug (im Norden), dem Anger Kristallin (im Westen), von der Siegrabener- Schöfferner- und der Kirchschatz-Steinbach Deckscholle (im Östlichen Teil) umgeben. Die höchste tektonische Position nimmt das Oberostalpin ein, welches durch die paläozoische Grauwackenzone, das Grazer Paläozoikum und den Kalkalpen gebildet wird (SCHUSTER et al. 2001).

Das Arbeitsgebiet dieser Modellierung befindet sich genau am Übergangsbereich vom Wechselkristallin in das Semmeringkristallin. Auf diese beiden Einheiten wird im Kapitel 1.3.1 und 1.3.2 noch näher eingegangen.

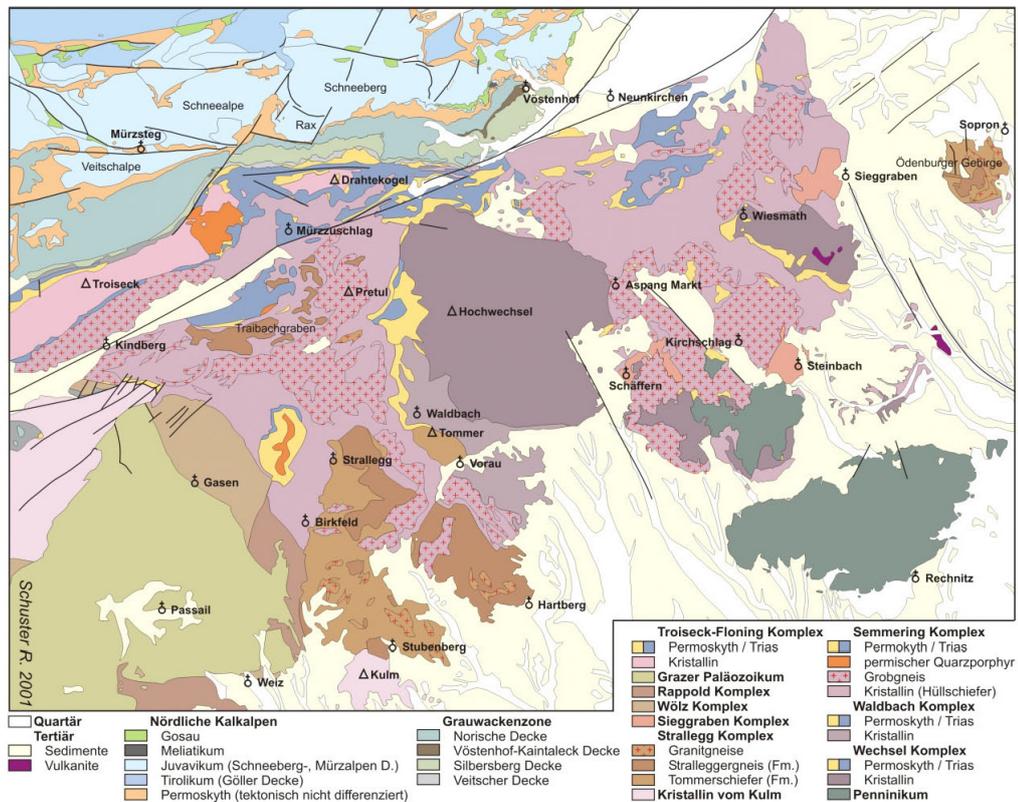


Abb. 4: Geologische Karte des Alpenostrandes, (SCHUSTER 2001)

### **1.3.1 WECHSELKOMPLEX**

Der Wechselkomplex ist die tiefste Ostalpine Decke und liegt über dem Penninikum (PAHR 1977; TOLLMANN 1977). Das Wechselkristallin tritt in mehreren Fenstern (Wechselfenster und Wiesmather Fenster, Fertöråkos Komplex) (TOLLMANN 1977) unter den höheren Ostalpinen Deckeneinheiten hervor.

Der Komplex setzt sich im Liegenden aus der Wechselgneis-Formation und der Formation der Wechselgneishülle und im Hangenden aus der Wechselschiefer-Formation zusammen (SCHUSTER et al. 2001). Teilweise ist auch eine Bedeckung des Komplexes mit permotriasischen Metasedimenten vorzufinden (FLÜGEL & NEUBAUER 1984).

Geprägt ist der Wechselgneis durch eine grünschieferfazielle Paragenese mit typischerweise überwachsenen Albitblasten mit einem Durchmesser von bis zu 3 cm. Die Schieferhülle besteht aus retrograden zum Teil chloritoidführenden Granat-Glimmerschiefern, Chlorit-Epidot-Albitblastenschiefer, Amphiboliten und Quarziten. Über graphitische Serizit-Chloritgneise ist der Wechselgneis mit dem im Hangenden liegenden Wechselschiefer verbunden. Reliktisch erhalten sind im Hangenden gradierte Schichtungen sowie detritäre Glimmer und Feldspäte. (SCHUSTER et al. 2001).

MÜLLER et al. (1999) dokumentierte den liegenden Wechselgneis mit einer druckbetonten frühvariszischen Metamorphoseprägung mit einem Alter von 360 und 375 Millionen Jahre. Der überlagernde Wechselschiefer (nach MÜLLER et al. 1999) durchlebte seine prägende Metamorphose zeitgleich mit der späteren Überprägung der Wechselgneise und weist damit ein Alter von 245 Millionen Jahre (Ma) auf.

### **1.3.2 SEMMERINGKOMPLEX**

Der Semmering-Komplex ist in mehrere Teildecken untergliedert. Diese sind vom Liegenden ins Hangende die Stuhleck-Kirchberg-Raabalpen-, die Mürz-Tachenberg- und die Roßkogel-Decke (SCHUSTER et al. 2001). TOLLMANN (1964) bezeichnet diese Decken als Faltendecken mit aufrechten und invers liegenden permomesozoischen Sedimentauflagerungen und kristallinen Faltenkernen.

Lithologisch lässt sich das Gestein (Hüllenschiefer) in feinschieferigen Glimmerschiefer und phyllitischen Glimmerschiefer und Phyllonite unterscheiden. Der Grobgneis ist ein Augengneis mit bis zu 3 cm großen Mikrokristallen.

## 1.4 STÖRUNGSSYSTEME IM SEMMERINGGEBIET

Die Störungssysteme im Semmeringgebiet sind in der Abb. 5, nach DECKER & PERESSON. (1998), dargestellt. DECKER & PERESSON (1998) unterscheidet im Semmeringgebiet die folgende Störungssysteme:

Die Kapellener Störung, die älteste Störung, ist eine WNW-ESE streichende 0,5 km breite dextrale Seitenverschiebung. Diese Störungszone bildet den Südrand der Trattenkogeldeckscholle. Im Westen wird die Kapellener Störung von der jüngeren Talhofstörung durchschnitten.

Die Talhof-Au Störung ist eine sinistrale Seitenverschiebung mit einer 1 km breiten Scherzone. Diese befindet sich zwischen Tal und der oberen Mürz und dem Bereich des südlichen Preiner Gescheid.

Das am größten ausgeprägte Störungssystem im Semmeringgebiet ist das Mur-Mürz-Semmering-Wienerbecken-Störungssystem und seine Begleitstörungen. Die sinistrale Seitenverschiebung weist einen Versatz von 30 bis 40 km auf und ist eine der bedeutendsten miozänen Blattverschiebungen der Ostalpen. DECKER & PERESSON (1998) dokumentierten diese mehrere Kilometer breite Störung. Sie verläuft von Gloggnitz über den Semmering in den Nordhang des Stuhlecks (ca. 2-3 km südlich des Fröschnitz- und Mürztales).

Das Spital-Breitenstein-Duplexsystem ist eine NE streichende Scherzone des Mur-Mürz-Semmering-Systems und streicht über Spital nach Breitenstein. Gekennzeichnet ist die Zone durch ein Netzwerk von NE und ENE streichenden Störungen, das ein System von rhombenförmigen divergenten Blattverschiebungsduplexen definiert.

Sekundäre Störungsstrukturen von Mur-Mürz und Talhof-Au Störungssystemen sind synthetische und antithetische Scherbänder sowie Abschiebungen (FASCHING & VANEK 2009).

DECKER & PERESSON (1998) unterscheidet die auftretenden Extensionsstrukturen in ein älteres E-W gerichtetes Extensionseignis (N-S- streichende Abschiebungen und Extensionsklüfte) und einer jüngeren N-S gerichteten Dehnungsphase (E-W- streichende Abschiebung und Extensionsklüfte).

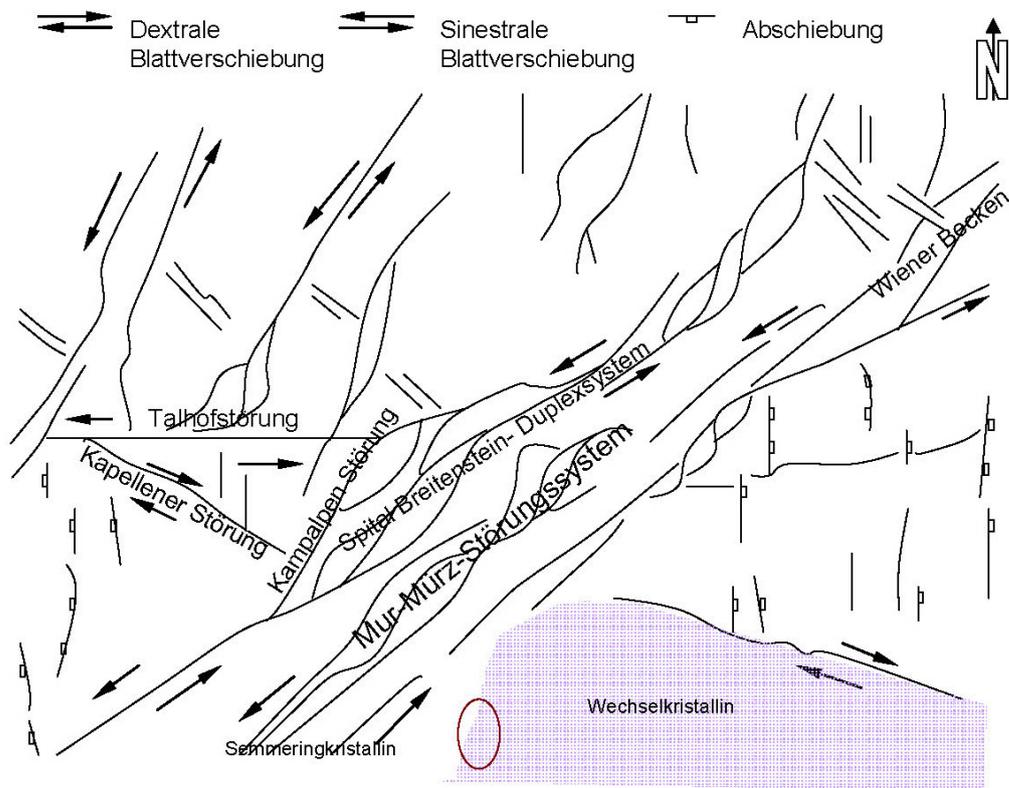


Abb. 5: Störungssysteme im Semmeringgebiet, nach DECKER & PERESSON. (1998) modifizierte Darstellung

Das in dieser Arbeit bearbeitete Gebiet befindet südöstlich der Mur-Mürz-Semmering-Hauptstörung. Es ist durch N-S streichende Abschiebungen und Extensionsklüfte geprägt. Der bearbeitete Bereich befindet sich an der Grenze Semmering- zum Wechselkristallin. Die Modellierung beschränkt sich jedoch nur auf das Wechselkristallin. Der violette Bereich in Abb. 5 spiegelt das Wechselkristallin und der rote markierte Kreis den Bereich des Arbeitsgebiets wieder.

## **2 KAPITEL2 / DATENGRUNDLAGE**

### **2.1 DATENINVENTAR**

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten wurden von der 3G „Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH“, mit Zustimmung von der ÖBB (Österreichischen Bundesbahnen), zur Verfügung gestellt. Die Datenbasis basiert auf dem Erkundungsstand vom Frühjahr 2009. Zu diesem Zeitpunkt waren alle Bohrungen in diesem Gebiet durchgeführt, aber noch nicht vollständig dokumentiert. Aus diesem Grunde sind die Bohrungen KB 41/08 und KB 42/08 nicht als Datensatz in das Modell eingeflossen.

#### **2.1.1 KARTENGRUNDLAGE**

Folgende Karten liegen dieser Arbeit zu Grunde:

- ÖK 105 Neunkirchen. 1:50 000 BMN 7813. Stand 2000. Zur Verfügung gestellt im .jpg Format.
- ÖK 104 Mürzzuschlag. 1:50 000 BMN 6816. Stand 2000, als .jpg Format.
- Digitales Geländehöhenmodell (50 m und 10 m Grid) des Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Im .dwg Format.
- Geologische Detailkarte. Vanek, Stadelmann. ÖBB, 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH und Forstinger + Stadelbauer ZT-OEG. 1:25000. Stand 26.01.2009, zur Verfügung gestellt im .dwg Format.

#### **2.1.2 SPEZIFISCHE DATEN**

Weiters liegen folgende spezifischen Daten von der 3G vor:

- Geologischer Längenschnitt in Richtung Tunnelachse, km 86 - 94,5. 3G. Juli 2009. .dwg Format.
- Bohrkernaufnahmen der KB 17/08, KB 18/08, KB 21/08, KB 22/08, KB 23/08, KB 25/08, KB 26/08. Im .xls Format als auch im .pdf Format. (Stand März 2009). Aufgenommene Parameter: Unterkante, Stratigraphie, Lithologie, SS\_SF-Abstand,

Zerlegungsgrad, Verwitterung, Gesteinsfestigkeit, Felsqualität, z.T. bereits Einteilung in Gebirgsart. Aufnahme der Daten: Vanke, Pack, Übeleis, Pischinger.

- Strukturdaten der Bohrungen von KB 22, KB 23, KB 24, KB 25 und KB 26. im .csv Format. Stand Mai 2009. Beinhaltende Parameter: Nummer des Datensatzes, Fallrichtung, Fallwinkel, Koordinate Z, Klassifikation, Name und Gruppenname.
- BLV (Bohrlochverlaufmessungen) der Bohrungen KB 22, KB 23, KB 24, KB 25 und KB 26. Im .pdf und .xls Format. Stand Mai 2009. Beinhaltende Parameter: Tiefe, Azimut, Neigung aus der Vertikalen, Wahre Tiefe, X,Y,Z.
- Gebirgsartenzuweisung der Bohrungen KB 22, KB 23, KB 24, KB 25 und KB 26. Format: .xls. Stand Mai 2009. Beinhaltende Parameter: Teufe von – bis, Geologische Einheit / Gebirgsart.
- RQD der Bohrungen KB 22, KB 23, KB 24, KB 25 und KB 26. Format: .pdf Mai 2009.

## **2.2 DIE RICHTLINIEN FÜR DIE DATENERHEBUNG**

### **2.2.1 BOHRKERNAUFNAHME**

Die Bohrkerndokumentation wird mit metrischen und visuellen Methoden durchgeführt. Die Dokumentation erfolgte von der 3G nach dem im Folgenden beschriebenen Standard bzw. der folgenden Norm (Abb. 6):

Die geologisch-petrographischen Parameter wurden anhand der ÖNORM EN ISO 14688-1 (Lockergesteine) und der ÖNORM EN ISO 14689-1 (Festgesteine) aufgenommen. Die Klassifikation der Störungsgesteine erfolgte nach RIEDMÜLLER et al. (2001), Felsbau 2001 Heft 4.

Bei der Aufnahme der Trennflächen sind nur repräsentative Trennflächen dokumentiert worden. Unterschieden werden folgende Trennflächentypen: SS Schichtung, SF Schieferung, K Kluft, H Harnischflächen, HS Harnische und Flächen, die parallel zur Schichtung auftreten.

Des Weiteren wurde der Trennflächenabstand parallel zur Schieferung gemäß ÖNORM EN ISO 14689-1 erhoben. Der Trennflächenabstand der Schieferung bzw.

Schichtung wurde mittels einer dominierenden und einer untergeordneten Klasse dokumentiert.

Die Aufnahme des RQD erfolgte nach Deer. Aufgezeichnet wurde der prozentuelle Anteil an Kernstücken mit einer Länge größer 10 cm.

Der Zerlegungsgrad ist nach der ÖNORM EN ISO 14689-1 dokumentiert. Der Zerlegungsgrad / Trennflächendichte wird abgebildet durch die durchschnittliche Größe der Bohrkernfragmente.

Der Grad der Verwitterung von Gesteinen ist nach der ÖNORM B 4401-4 eruiert. Weitere erhobene Parameter sind die Gesteinsfestigkeit und Felsqualität.

Nr.	Parameter	Definition	Klassen / Einheiten	Verweis / Standard
1	Geologisch-petrografische Beschreibung	Lithologische Bezeichnung und petrografische Beschreibung des Gesteins  (Klassifizierung der Störungsgesteine nach RIEDMÜLLER et al. 2001)	div.  G-Kataklasit S-Kataklasit M-Kataklasit C-Kataklasit	ÖNORM EN ISO 14688-1 (Lockergesteine) ÖNORM EN ISO 14689-1 (Festgesteine) RIEDMÜLLER et al., Felsbau 2001, Heft 4 (Störungsgesteine)
2	Grund-/Bergwasserspiegel	Höhe des Grund-/Bergwasserspiegels		
3	Schichtprofil	Graphische Darstellung des Schichtprofils		
4	Stratigraphie	Großtektonische bzw. tektonostratigraphische Einheit		
5	Trennflächen	Dokumentation repräsentativer Trennflächen: - Typ der Trennfläche - Einfallswinkel der Trennfläche bzw. Neigung zur Normalebene der Bohrkernachse (in 10°-Schritten)	SS Schichtung SF Schieferung K Kluft H Harnischfläche HS Harnisch parallel zu Schichtung bzw. Schieferung	
6	Trennflächenabstand // zu SF/SS	Trennflächennormalabstand der Schieferungs- bzw. Schichtflächen (tw. Dokumentation einer dominierenden und einer untergeordneten Klasse)	1 > 200 cm 2 60 - 200 cm 3 20 - 60 cm 4 6 - 20 cm 5 2 - 6 cm 6 < 2 cm	ÖNORM EN ISO 14689-1
7	RQD	prozentueller Anteil an Kernstücken mit einer Länge $\geq$ 10 cm pro Laufmeter	[%]	DEER, 1963
8a	Zerlegungsgrad	Trennflächendichte, abgebildet durch die durchschnittliche Größe (größter Durchmesser) der Bohrkernfragmente. (tw. Dokumentation einer dominierenden und einer untergeordneten Klasse)	1 > 200 cm 2 60 - 200 cm 3 20 - 60 cm 4 6 - 20 cm 5 2 - 6 cm 6 < 2 cm (schwarze und graue Balken)	ÖNORM EN ISO 14689-1
8b	Konsistenz	Konsistenz von bindigen Lockergesteinen bzw. Störungsgesteinen	1 halbfest - fest 2 steif 3 weich 4 breiig (braune Balken)	ÖNORM EN ISO 14688-1 und ÖNORM B 4401-4
9	Kernmarschgrenzen	Position der Kernmärsche		
10	Verwitterung	Verwitterungszustand des Gesteins bzw. Gebirges	1 unverwittert, frisch 2 Trennflächen angewittert 3 Verwitterung in den Kornverband eingedrungen 4 durchgehend verwittert, entfestigt	in Anlehnung an ÖNORM B 4401-4

Nr.	Parameter	Definition	Klassen / Einheiten	Verweis / Standard
11	Gesteinsfestigkeit	qualitative Beurteilung der Gesteinsfestigkeit, (durch Anschlagen des Bohrkerns mit dem Hammer)	1 hell klingend 2 dumpf klingend 3 Kern zerfällt; Hammerspitze dringt deutlich in den Kern ein; von Hand zerbrechbar	
12	Felsqualität	qualitative Beurteilung der Felsqualität in einem bauwerksrelevantem Maßstab (z.B.: gut... gering zerlegtes Gebirge, mittel... stärker zerlegtes Gebirge ; schlecht... Störungszone, Lockergestein).	1 gut 2 mittel 3 schlecht	
13	Bemerkungen, Proben etc.	div. Anmerkungen zu Bohrausführung, Versuchen, Probennahmen, Trennflächen u.ä.		
14	Bohrdurchmesser	Außendurchmesser des Bohrwerkzeugs, lt. Angaben der Bohrfirma		
15	In-situ Versuche	Durchgeführte in-situ Versuche (v. a. hydraulische Tests, Dilatometer)		

Abb. 6: 3G, Legende zum Bohrprofil Semmering Basistunnel Neu

Über die Qualität der Bohrausführung sind keine Daten vorhanden. Zusätzlich zu den Bohrkernaufnahmeparametern sind die gesamten Kernbohrungen bildlich dokumentiert.

### 2.2.2 BOHRLOCHFERNSEHEN (ABF)

Zusätzlich wurden ABF-Messungen durchgeführt, mit denen die Strukturdaten der Bohrung (Koordinaten, Fallrichtung und Fallwinkel) erhoben wurden. Die Interpretation der Daten erfolgte von Mitarbeitern der 3G.

## **2.3 DER MODELLIERUNGSBEREICH UND DAS TEKTONISCHE KONZEPTMODELL**

Das bearbeitete Gebiet befindet sich nördlich der Falkenbauerhöhe und des Wetterkreuzes im Fröschnitztal (siehe Abb. 7 und Kapitel 1.2). Der modellierte Bereich befindet sich zwischen km 91,8 und 94,4 der Eisenbahntunnelstrecke des Semmering Basistunnel Neu. Die Benennung in Kilometerabschnitte wurde von der ÖBB durchgeführt und ist in dieser Arbeit als solches übernommen worden.

Im Semmeringgebiet treten viele geologische Einheiten auf engen Raum auf. Das bearbeitete Gebiet befindet sich an der Deckengrenze von Wechsel- zum Semmeringkristallin, südöstlich der Mur-Mürz-Semmering-Hauptstörung. Die Modellierung erfolgte ausschließlich in dem über den Penninikum lagernden Wechselkristallin. Im östlichen Teil des bearbeiteten Gebietes ist der Wechselgneis vorzufinden der Richtung Westen in den Wechselschiefer übergeht. In beiden Einheiten treten immer wieder graphitische Zonen auf. Geprägt ist das Gebiet von nahezu N-S streichenden Abschiebungen und Extensionsklüften.

Fünf richtungsorientierte Kernbohrungen stehen zur weiteren Interpretation zur Verfügung. An diesen Bohrungen wurde nach statistischer Beurteilung der Parameter ein Trennflächenmodell generiert. Die in der Bohrung angetroffenen Zerrüttungsbereiche werden anhand von Bohrkernfotos überprüft und mit Hilfe der Strukturdaten aus den Bohrungen dargestellt. Bei der Darstellung wurde die Lage der Fläche im Raum, das Auftreten an der Oberfläche, als auch der Offset der Bohrungen berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung der Qualität der vorhandenen Daten wird eine Genauigkeit von 10 bis 100 Meter angestrebt.

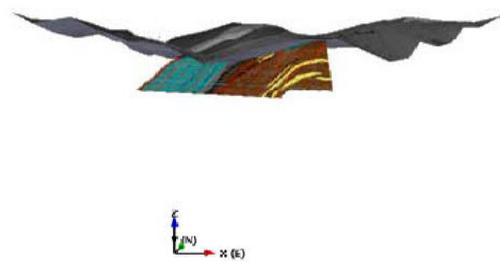
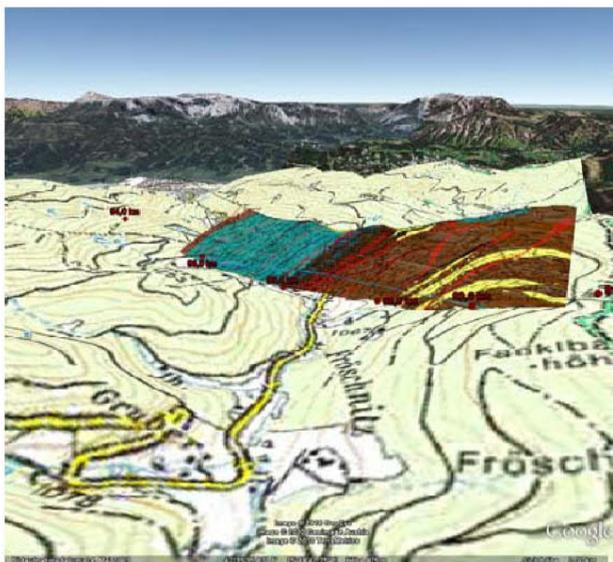
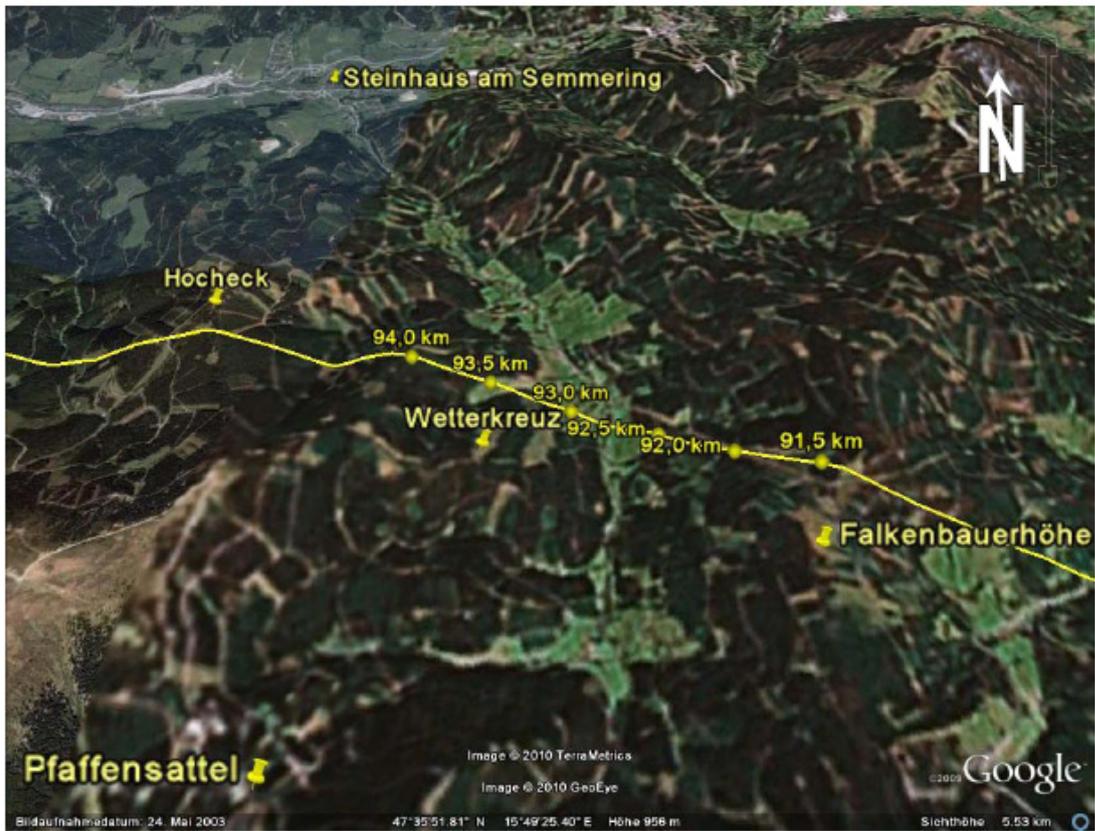


Abb. 7: Der Modellierungsbereich im Fröschnitztal (Google Earth Darstellung), geologischen Längenschnitt im modellierten Bereich

## **3 KAPITEL 3 / MODELLAUFBAU**

### **3.1 WORK FLOW**

Das folgende Kapitel zeigt die einzelnen Schritte, aus denen sich das dreidimensionale Modell aufbaut. In den Abb. 8 und Abb. 9 befinden sich zusammenfassende Flussdiagramme des Modellablaufes.

Der Aufbau dieser Arbeit ist in mehrere große Bereiche untergliedert: Dies sind die Erstellung der geologischen Oberflächenreliefkarte, die Erstellung der 2D Längenschnitte unter Berücksichtigung der vorhandenen Informationen und schlussendlich die Erstellung des dreidimensionalen Trennflächenmodells.

Die Erstellung der Oberflächenreliefkarte erfolgt mit Arc-GIS von ESRI. Im Arc-GIS wurden die von der 3G zur Verfügung gestellten Daten zuerst in das System importiert, danach erfolgte die Korrektur und die Georeferenzierung. Als separater Schritt wurde aus dem digitalen Höhenmodell, mit Hilfe von mathematischen Interpolationsverfahren ein TIN erzeugt. Die Kombination dieser zwei Schritte ergibt die geologische Oberflächenreliefkarte. Die durchgeführte Methode und das Ergebnis ist im Kapitel 4.1 beschrieben.

Die Bohrkernaufnahmedaten und die Auswertung sind im Kapitel 4.2 dargestellt. Das Kapitel beinhaltet eine Überprüfung der Bohrlochverlaufmessung, sowie Analysen der Bohrungen. Des Weiteren wurde aus der Lithologie, dem Zerlegungsgrad und den Trennflächenabständen parallel zur Schieferung Homogenbereiche identifiziert. Aus der Analyse (bzw. Interpretation) der Bohrkernaufnahmedaten mit Unterstützung des tektonischen Konzeptmodells erfolgte die Erstellung der Interpretation der Störungssysteme nördlich und südlich der Tunnelachse (Kapitel 4.3). Nach Georeferenzierung und Berechnung der Koordinaten der Störungszonen erfolgte eine Zusammenführung der geologischen Oberflächenreliefkarte und der Störungssysteme. Daraus resultiert die dreidimensionale Darstellung der Koordinatendaten und deren Attribute mit dem Softwarepaket SGeMS.

Der dritte große Arbeitsschritt lag in der Erstellung des Trennflächensystemmodells.

Nachdem alle Daten auf ein gemeinsames Koordinatensystem zusammengeführt waren, wurden die Störungszonen deterministisch modelliert. Mit Hilfe einer fortgeschrittenen mathematischen Methode, die von LIU entwickelt wurde

(unveröffentlichte Algorithmen), wurden Kontrollpunkte (Koordinatendaten und Attribute) auf Grenzflächen in 3D Flächen konvertiert. Nach der statistischen Berechnung und der Beurteilung der Zuverlässigkeit der Daten erfolgten aus den modellrelevanten Parametern die stochastischen Modellierungen der 3D-Trennflächenmodells zwischen Störungsflächen oder in den Zonen. Modelliert wurden Kluffflächen, Schieferungsflächen und Harnischflächen.

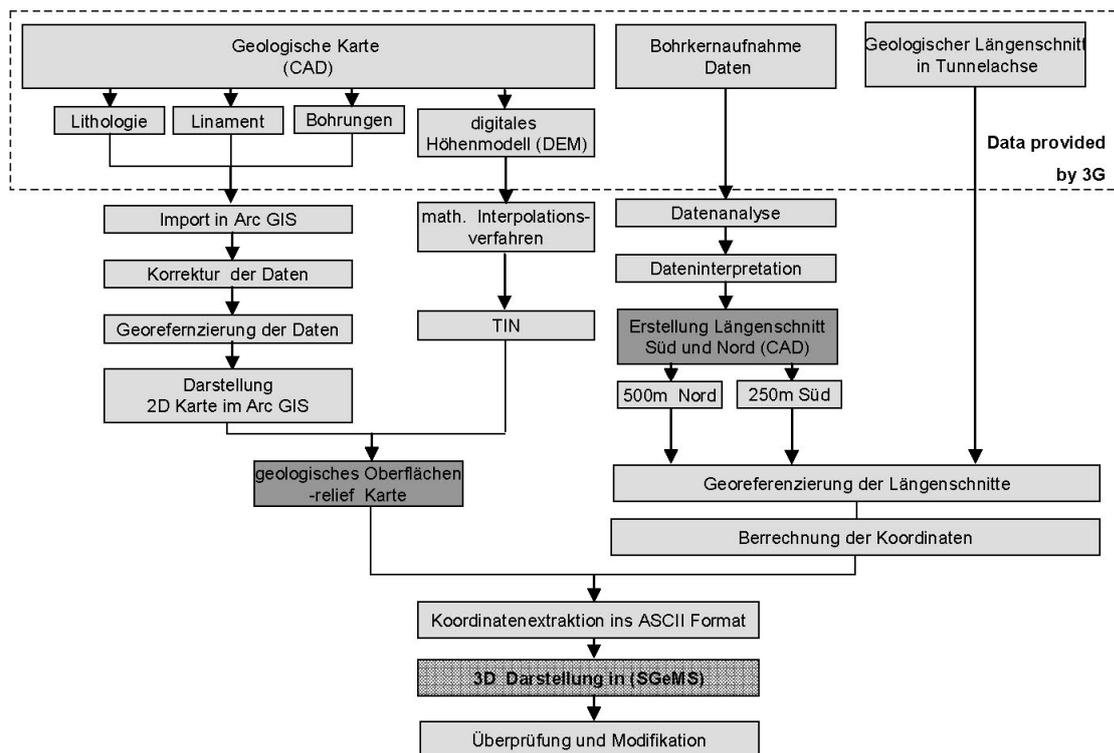


Abb. 8: Flowchart zur Erstellung der geologischen Oberflächenreliefkarte, des geologischen Längenschnittes und schlussendlich die dreidimensionale Darstellung der Daten

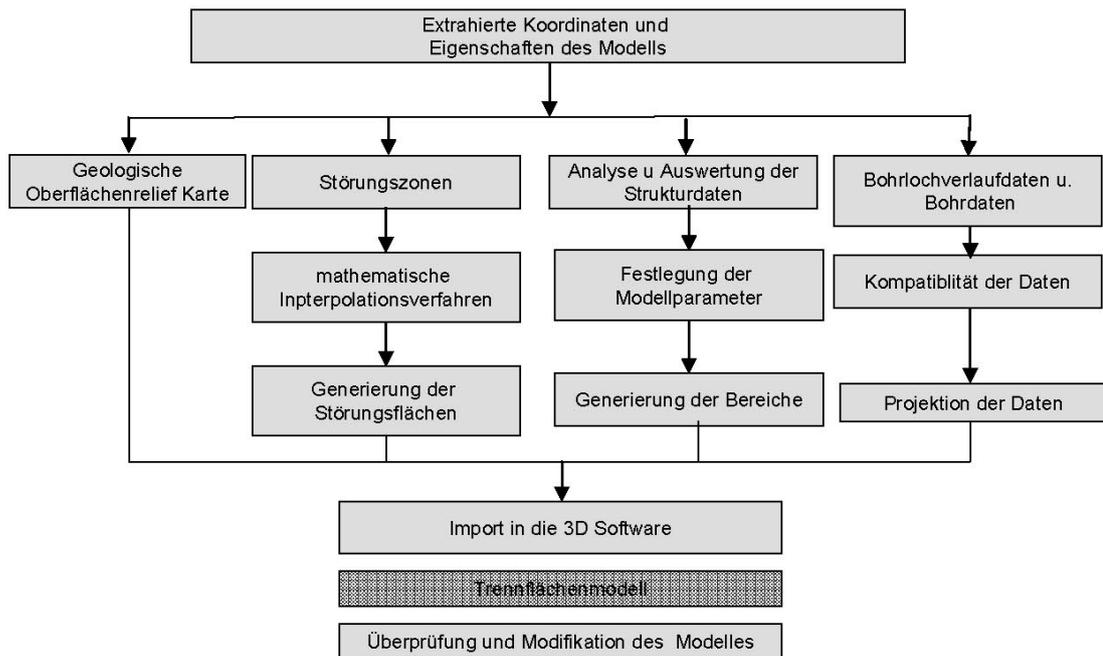


Abb. 9: Flowchart des dreidimensionalen Trennflächenmodells

## 3.2 SOFTWARE

Verschiedene Softwarepakete sind zur Anwendung gekommen, diese sind Google Earth, Google SकेchUp7, ESRI Arc-GIS, ACAD, MS Office, Matlab, SGeMS und FracMan7.

## 3.3 ALLGEMEINE MODELLPARAMETER

Die Festlegung der allgemeinen modellrelevanten Grundparameter ist eine wichtige Voraussetzung zur Erstellung von Modellen. Zu diesen Grundparametern gehören die Größe des Modells, die Orientierung im Raum sowie die darzustellenden spezifischen Informationen.

### 3.3.1 MAßSTAB

Der Maßstab ist ein wichtiger Parameter. Bei der Definition des Modellmaßstabes sind der Maßstab des geplanten Bauwerks sowie der Maßstab der aufgezeichneten Daten zu berücksichtigen.

Die Größe des Modells erstreckt sich über zwei Kilometer und beinhaltet folgende Koordinatenspannweite: Hochwert -36600 bis -39400, Rechtswert 5274000 bis 5271000. Die verwendeten Daten setzen sich aus verschiedenen Maßstäben

zusammen. Dies ist die geologische Karte im Maßstab 1:25000, die Bohrkernaufnahme mit einer Genauigkeit im Meterbereich, der geologische Längenschnitt im Maßstab 1:250 und die Höhenschichtlinien des Gebietes im 50 m und 10 m Abstand.

### 3.3.2 TUNNELACHSE

Da die Tunnelachse keine gerade Linie darstellt, sondern eine Krümmung aufweist, musste dies bei den Daten berücksichtigt werden. Um die Krümmung der Strecke und damit eine Minimierung des Berechnungsaufwandes zu erreichen, wurde eine Vereinfachung des zu modellierten Bereiches durchgeführt (siehe Abb. 10).

Von km 91,5 bis zum km 93,1 ist die Tunnelachse  $12^\circ$  SE WN orientiert. Ab dem km 93,1 bis km 93,75 verläuft die Tunnelachse exakt E-W, von km 93,75 bis km 94,5 verläuft die Tunnelachse  $8^\circ$  SW EN.

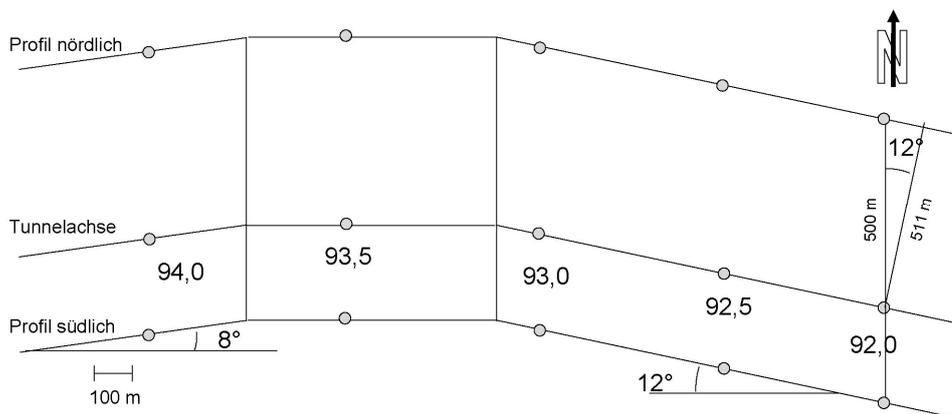


Abb. 10: Skizzierung der Tunnelachse, vereinfachtes Schema

Die Abweichung von  $12^\circ$  bzw.  $8^\circ$  ist relevant, da eine Nichtberücksichtigung einen Fehler von ca. 5% bewirkt.

Von der Tunnelachse 500 m nordwärts befindet sich das nördliche Profil. Das südliche Profil befindet sich vom ausgehenden Tunnelachsenpunkt 250 m südwärts. Die Tunnelachse parallel nach Nord verschoben ergibt daher einen Abstand von 511,17 m.

## **4 KAPITEL 4 / METHODISCHE VORGEHENSWEISE**

### **4.1 DIE ERSTELLUNG DES GEOLOGISCHEN OBERFLÄCHENRELIEFMODELLS**

Die Darstellung von geologischen Oberflächenreliefkarten ist eine Möglichkeit um geologische Strukturen besser visualisieren zu können. Der Vorteil von dieser Darstellung ist, dass der Zusammenhang zwischen topographischen Elementen, Lithologien als auch geologischen Strukturen viel besser dargestellt werden kann, als das im 2D Karte der Fall ist.

Ausgangsbasis der Karte ist die bereits bestehende geologische Karte (1:25 000 ÖBB), die in digitalisierter Form (eines .dwg File-Formates) vorliegt. Um eine zweidimensionale Karte in eine geologische Oberflächenreliefkarte umzuwandeln, können verschiedene Softwareprogramme als auch verschiedene Methoden angewendet werden.

Die Darstellung der Karte kann mit Hilfe von geographischen Informationssystemen erfolgen. BILL & FRITSCH (1994) definiert Geographische- oder Geo-Informationssysteme als Systeme mit denen raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.

In dieser Arbeit wurde das geographische Informationssystem Arc-GIS 9.3 verwendet.

#### **4.1.1 ARC-GIS**

Arc-GIS von ESRI besitzt gute Analysemöglichkeiten im 2D Bereich. Verwendet wurde dieses Programm zur Erstellung der geologischen Oberflächenreliefkarte, des triangulierenden irregularen Netzwerks (TIN) und zur genauen Ermittlung der geographischen Koordinaten von Lineament und Lithologie.

Folgendes Punkte sind im Arc-GIS System zu beachten: Der Arc-GIS Desktop besteht aus drei Modulen, dem Arc Catalog, der Arc Map und der Arc Toolbar. Im Arc-GIS Desktop ist es wichtig zwischen Punkt, Linie und Polygon zu unterscheiden. Ein Punkt besteht aus x und y Koordinaten, eine Linie setzt sich aus mehreren Punkten

zusammen. Unter Vertices versteht man Eckpunkte, Notes sind Knoten und Polygone sind Vielecke. Features können Punkte, Linien oder Flächen sein. Features gleicher Art werden als Feature Klassen zusammengefasst. Wenn mehrere Features vorkommen spricht man von Features Datasets. Shape files bestehen immer aus drei verschiedenen File Typen. In der .dbf Datei werden alle Datentabellen gespeichert, die .shp Datei beinhaltet die Geometriedaten und die .shx Datei verknüpft beide Geometrie und Attributdaten miteinander. Zusätzlich gibt es noch eine .prj Datei, diese speichert die 2D oder 3D Projektion des Shape Files.

- **Import der ACAD Dateien in das Arc-GIS System**

Beim Import von ACAD Dateien in das Arc-GIS System treten immer wieder Kompatibilitätsprobleme auf. Neuere Versionen haben bereits ein separates Tool um .dwg Files in Arc-GIS fähige Shapefiles zu konvertieren. Dennoch, bei komplizierten .dwg Files, die einen Layer- und Blockaufbau vorweisen, sind Korrekturarbeiten durchzuführen.

Bei einem direkten Import des CAD Files erhält man Annotations, Polylinien, Punkte, Polygone und Mult Patch Files. Da CAD und GIS auf verschiedener Basis agieren, sind die Dateien je nach Fragestellung in Sisyphusarbeit zu korrigieren und zu bereinigen. Dazu gehört, dass alle Polygone exakt geschlossen sein müssen und winzige überlappende Flächen beseitigt werden.

Aus den importierten Daten wird eine entsprechende Geodatabase aufgebaut. Eine Geodatabase ist so zu sagen der „topologiefähige Container“ für verschiedene Feature- Datasets, Klassen und Attributtabellen. Man unterscheidet zwischen zwei Varianten von Geodatabase, dies ist die Personal Geodatabase basiert auf Microsoft Access und die Enterprise Geodatabase. Im diesem Falle wurde eine Personal Geodatabase verwendet.

- **Georeferenzierung im kartesischen Koordinatensystem**

Die Grundlage für die Darstellung von Geobjekten stellt das kartesische Koordinatensystem dar. Um die genaue Positionsbestimmung von Punkten an der Erdoberfläche zu ermöglichen, werden unterschiedliche Ellipsoide an das Gebiet angenähert. Es kann zwischen einem lokal angepassten Ellipsoid und einem global angepassten Ellipsoid unterschieden werden (BP AMOCO 1999). Nach LANGE (2006)

sind die Abweichungen des Geoids vom Ellipsoid mit einer großen Halbachse von 6.378.137 m (WGS84) unter 50 m und überschreiten kaum 70 m (Abb. 11).



Abb. 11: Relation von Geoid, Ellipsoid und physischer Erdoberfläche zueinander LANGE (2006)

Das Gauß-Krüger-System entspricht einer transversalen konformen Zylinderprojektion mit einem längentreu abgebildeten Meridian (Mercatorprojektion). Das Bundesmeldenetz (BMN) des BEV (Bundesamt für Eich und Vermessungswesen) ist ein geodätisches Koordinatensystem mit dem Bessel-Ellipsoid (1841) und drei Meridianstreifen mit einer Breite von jeweils 3° (LANGE 2006).

Folgende geodätische Datum und Projektionen werden in Österreich verwendet (siehe Abb. 12).



EPSG code	Projection name	Base GeogCRS	Map Projection	Longitude Orig	Latitude Orig	Prime Meridian	false easting	false northing	Projection Method
neu 3416	ETRS89 / Austria Lambert	ETRS89	Austria Lambert	13d 20m	47d 30m	Greenwich	400000	400000	Lambert Conic Conformal (2SP)
neu 31251	MGI (Ferro) / Austria GK West Zone	MGI (Ferro)	Austria Gauss-Kruger West Zone	28d	0d	Ferro	0	-5000000	Transverse Mercator
neu 31252	MGI (Ferro) / Austria GK Central Zone	MGI (Ferro)	Austria Gauss-Kruger Central Zone	31d	0d	Ferro	0	-5000000	Transverse Mercator
neu 31253	MGI (Ferro) / Austria GK East Zone	MGI (Ferro)	Austria Gauss-Kruger East Zone	34d	0d	Ferro	0	-5000000	Transverse Mercator
neu 31254	MGI / Austria GK West	MGI	Austria Gauss-Kruger West	10d 20m	0d	Greenwich	0	-5000000	Transverse Mercator
neu 31255	MGI / Austria GK Central	MGI	Austria Gauss-Kruger Central	13d 20m	0d	Greenwich	0	-5000000	Transverse Mercator
neu 31256	MGI / Austria GK East	MGI	Austria Gauss-Kruger East	16d 20m	0d	Greenwich	0	-5000000	Transverse Mercator
neu 31257	MGI / Austria GK M28	MGI	Austria Gauss-Kruger M28	10d 20m	0d	Greenwich	150000	-5000000	Transverse Mercator
neu 31258	MGI / Austria GK M31	MGI	Austria Gauss-Kruger M31	13d 20m	0d	Greenwich	450000	-5000000	Transverse Mercator
neu 31259	MGI / Austria GK M34	MGI	Austria Gauss-Kruger M34	16d 20m	0d	Greenwich	750000	-5000000	Transverse Mercator
alt 31281	MGI (Ferro) / Austria West Zone	MGI (Ferro)	Austria West Zone	28d	0d	Ferro	0	0	Transverse Mercator
alt 31282	MGI (Ferro) / Austria Central Zone	MGI (Ferro)	Austria Central Zone	31d	0d	Ferro	0	0	Transverse Mercator
alt 31283	MGI (Ferro) / Austria East Zone	MGI (Ferro)	Austria East Zone	34d	0d	Ferro	0	0	Transverse Mercator
alt 31284	MGI / Austria M28	MGI	Austria M28	10d 20m	0d	Greenwich	150000	0	Transverse Mercator
alt 31285	MGI / Austria M31	MGI	Austria M31	13d 20m	0d	Greenwich	450000	0	Transverse Mercator
alt 31286	MGI / Austria M34	MGI	Austria M34	16d 20m	0d	Greenwich	750000	0	Transverse Mercator
alt 31287	MGI / Austria Lambert	MGI	Austria Lambert	13d 20m	47d 30m	Greenwich	400000	400000	Lambert Conic Conformal (2SP)
alt 31288	MGI (Ferro) / M28	MGI (Ferro)	Austria zone M28	28d	0d	Ferro	150000	0	Transverse Mercator
alt 31289	MGI (Ferro) / M31	MGI (Ferro)	Austria zone M31	31d	0d	Ferro	450000	0	Transverse Mercator
alt 31290	MGI (Ferro) / M34	MGI (Ferro)	Austria zone M34	34d	0d	Ferro	750000	0	Transverse Mercator

Abb. 12: EPSG Codes, Geodätische Datum und Projektionen in Österreich, BEV Austria

Die Georeferenzierung der Daten erfolgte an mehreren Punkten. Mit Hilfe der Koordinaten der Bohrung wurde die Überprüfung der Korrektheit der Georeferenzierung durchgeführt. Das in dieser Arbeit verwendete Koordinatensystem ist das MGI Austria GK Ost, welches auf Gauß-Krüger Koordinaten basiert.

Die Darstellung der geologischen Oberflächenreliefkarte im Arc-GIS erfolgte durch die Überlagerung von Lithologie, Lineament und Bohrlochdaten über das Höhenmodell (siehe Karte in der Abb. 13 und im Anhang).

### Geologische Karte Fröschnitztal

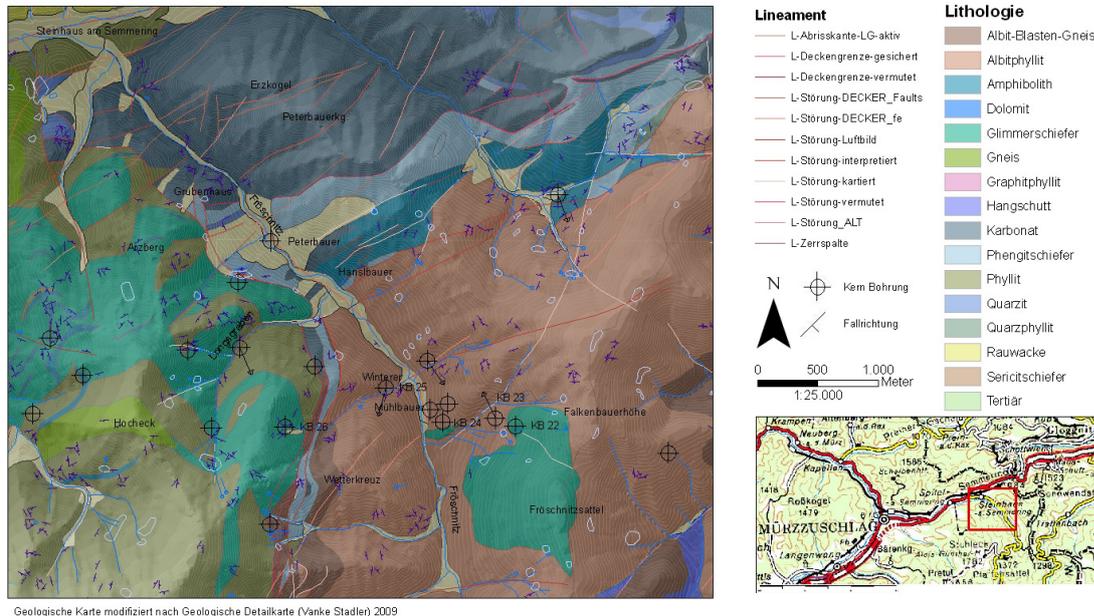


Abb. 13: Modifizierte geologische Detailkarte Vanek Stadler, 2009, Maßstab 1:25000

Der in der Karte (Abb. 13) gezeigte Ausschnitt zeigt im Osten den Albitblastengneis der dem Wechselkristallin zuzuordnen ist. Dieser umschließt einen Bereich von Glimmerschiefer (grün). Im Norden sind Teile des permomesozoischen Karbonatgesteines anzutreffen. Westlich vom Fröschnitztal geht der Albitblastengneis in die Einheit des Semmeringkristallines über. Die Karte zeigt auch das Lineament, die Fallrichtungen und die Bohrungen im bearbeiteten Gebiet.

- **DEM (Digitales Höhen Modell)**

Ein digitales Höhenmodell setzt sich aus Isohypsen in verschiedener Höhe zusammen. Wenn Digitale Höhenmodelle mit geologischen Daten kombiniert werden, kann die Beziehung zwischen komplexen geologischen Strukturen und topographischen Reliefs visualisiert werden. Die Qualität des DEM ist abhängig vom Typ der Daten (Punkte oder Linien) und von den verwendeten Interpolationsalgorithmen.

Die Höhengichtlinien wurden in einem eigenen CAD File abgespeichert und in die Arc Map geladen. Mit Abfrageoptionen wurden die BEV 50 und BEV 10 in Shape File konvertiert. Im Arc Scene wurde daraus ein TIN Modell erzeugt.

Wenn Daten in 3D interpretiert werden, gewinnen Oberflächenreliefkarten große Bedeutung. Zwei Prozeduren können angewendet werden, um Oberflächenreliefe darzustellen. Das ist einerseits das Triangulierende Irregulare Netzwerk (TIN) und andererseits das Gridding.

#### 4.1.2 TIN (TRIANGULIERENDES IRREGULARES NETZWERK)

Ein Triangulierende Irregulare Netzwerk (TIN) (siehe Abb. 14) oder unregelmäßiges Dreiecksnetz ist eine Möglichkeit, um die nächsten Nachbarnpunkte (Notes) miteinander zu verbinden und damit Reliefe darzustellen. Wenn das Dreiecknetzwerk eine farbliche Abstufung hat, kann der dreidimensionale Charakter der Oberfläche dargestellt werden (GROSHONG 1999).

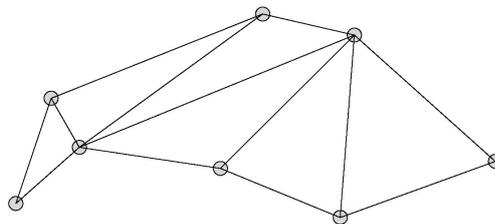


Abb. 14: Beispiel eines Triangulierende Irregulare Netzwerk (TIN)

Je nach angewendeten Interpolationsverfahren entstehen unterschiedliche TINs. Zwei Arten von TINs werden unterschieden, diese sind Delauney Trinages und Greedy Triangulation (GROSHONG 1999).

In der Abb. 15 ist das TIN mit Linament, Bohrungen und Fallrichtungen und die in diesem Gebiet auftretenden Entwässerungssysteme dargestellt.

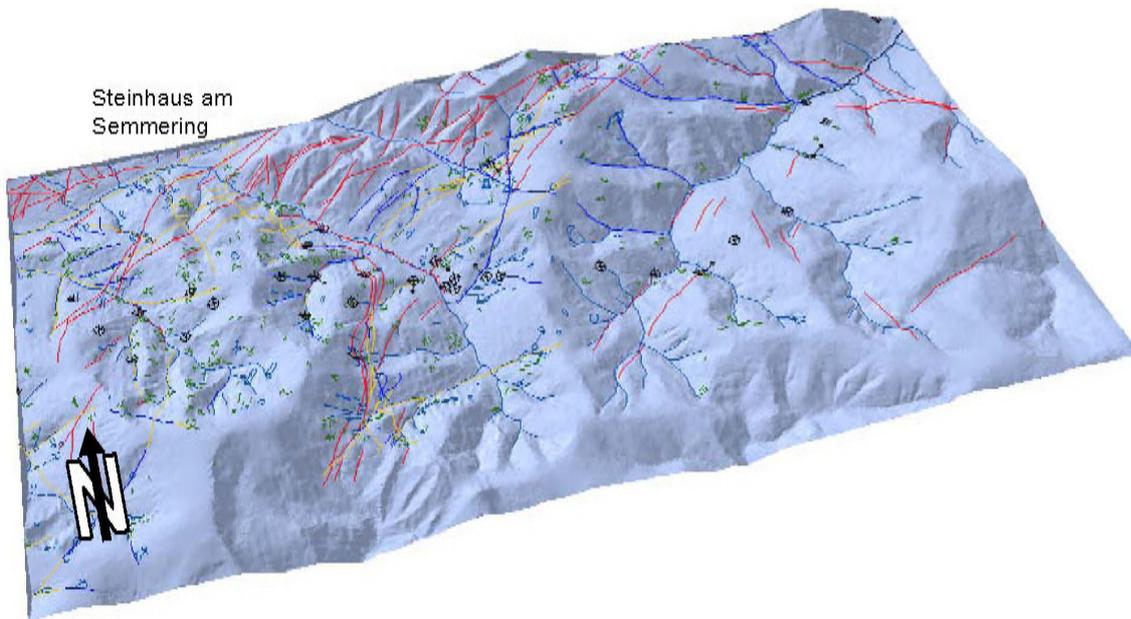


Abb. 15: Triangulierendes Irreguläres Netzwerk (TIN) 1:50 000 des Gebietes

Obwohl TIN eine größere Ungenauigkeit aufweist als Grids, sind diese für strukturgeologische Fragestellungen ausreichend.

Die Abweichungen von der „realen“ Oberfläche sind so gering, dass dieser Aspekt vernachlässigt werden kann. Viel mehr überwiegt der Vorteil, dass ein TIN relativ schnell und unkompliziert, sogar händisch, erzeugt werden kann.

## 4.2 DATENANALYSE DER BOHRUNGEN

Die von der 3G zur Verfügung gestellten Bohrkernaufnahmedaten, wurden verschiedenen Analysemethoden unterzogen, um in einem weiteren Schritt die Daten im Längenschnitt und im Modell weiterverwenden zu können (siehe Flowchart Abb. 8).

Für die genauere Untersuchung der Tunneltrasse wurde entlang der Strecke mit richtungsorientierten Kernbohrungen durchgeführt. Fünf Kernbohrungen sind zur näheren Untersuchung und Bearbeitung herangezogen worden. Diese Kernbohrungen KB 22 bis KB 26 befinden sich zwischen der Falkenbauerhöhe und dem Hocheck (siehe Abb. 16).

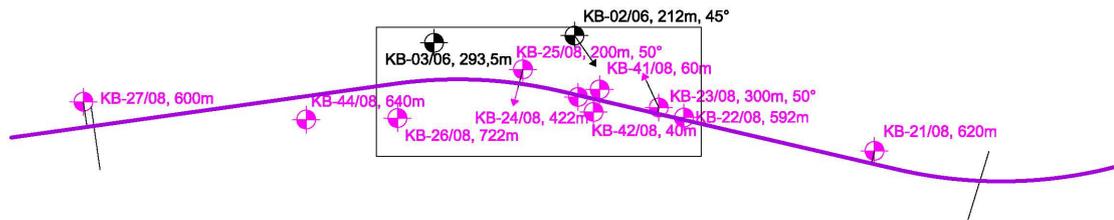


Abb. 16: Trasse, modellierter Bereich, Abbildung 3G

Die fünf Bohrungen weisen unterschiedliche Offsets der Tunnelachse auf. In der Tab. 1 sind die Koordinaten und der Offset der Tunnelachse aufgelistet.

Tab. 1: Koordinaten der Bohrungen sowie die Abweichung von der Tunnelachse.

Kernbohrung	x Hochwert	y Rechtswert	z Meereshöhe	Offset vom Tunnelachsenprofil
KB22	-37008,00	272542,40	1143,48	15 m N
KB23	-37175,79	272609,57	1086,79	40 m N
KB24	-37712,88	272680,28	984,45	10 m S
KB25	-38080,04	272864,10	995,93	100 m N
KB26	-38915,24	272538,94	1251,48	230 m S

Koordinatensystem: MGI Austria GK East

#### 4.2.1 DIE DREIDIMENSIONALE LAGE VON BOHRUNGEN IM RAUM

Richtungsorientierte Kernbohrungen sind wichtige Informationslieferanten, um Lithologiewechsel, auftretende Störungs-, Trennflächensysteme und andere auftretende Inhomogenitäten zu dokumentieren. Um diese Inhomogenitäten im kartesischen Koordinatensystem mit der richtigen (exakten) Position festzulegen, ist es wichtig die Abweichungen der Bohrungen zu berücksichtigen. Daher ist bei richtungsorientierten Kernbohrungen zwischen MD (Measured Depth), der gemessenen Tiefe, und der TVD (True Vertical Depth), der wahren vertikalen Tiefe, zu unterscheiden. Unter MD (Measured Depth) versteht man die Teufe entlang des Bohrlochpfades, die TVD (True Vertical Depth) ist die Tiefe vom Startpunkt der Bohrung vertikal nach unten.

Die Informationen, die man von Bohrlochabweichungsmessungen erhält, sind der Azimuth und die Inklination des Bohrloches sowie die Bohrlochposition in x, y und z Koordinaten, gemessen in verschiedenen Tiefen.

Mit Hilfe von Glättungskalkulationen in x, y, z kann diese Informationen in reale Koordinaten umgerechnet werden. In der z-Achse (die vertikale Achse) ist bei den TVD Daten die Höhe des Startpunktes zu berücksichtigen.

Eine beliebte Darstellungsmethode von richtungsorientierten Bohrungen sind horizontale und vertikale Längenschnitte, die durch das Zentrum des Rotationstisches und des Zielortes führt (MITCHELL 1995). Die horizontale Ansicht stellt die Nord-Süd und Ost-West Achse dar. Die Vertikalansicht zeigt den Verlauf der Bohrung in der Tiefe (Abb. 17).

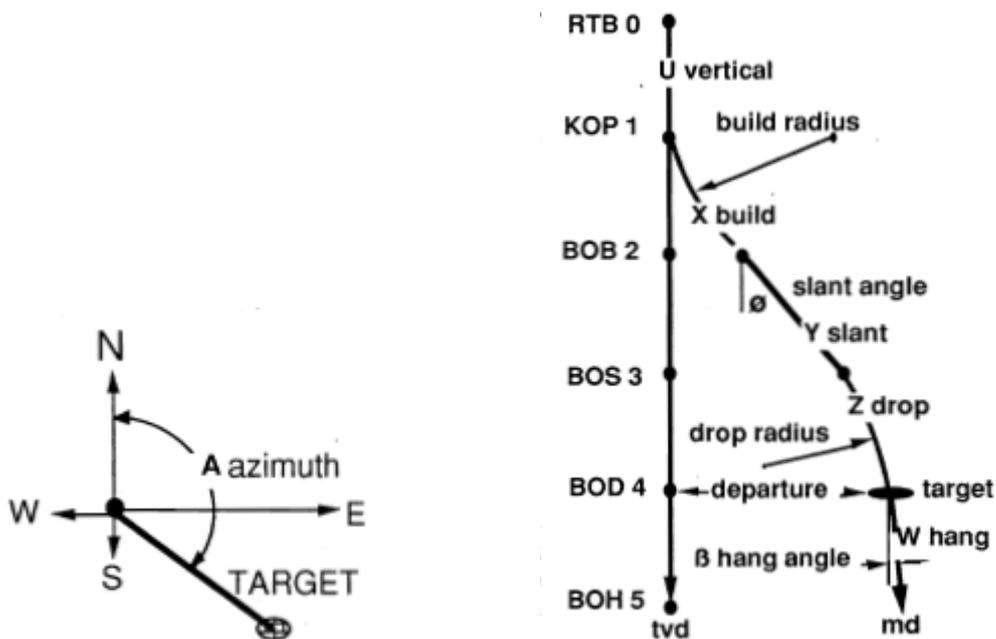


Abb. 17: MITCHELL (1995), Oilwell drilling Engineering (Advanced Oil well drilling engineering, Richtungsorientiertes Bohren, links Vertikalansicht, rechts Horizontalansicht einer Bohrung

Die in der Bohrlochverlaufmessung gemessenen Daten wurden im Meterabstand dokumentiert, daher ist eine ausreichende Genauigkeit der Daten gegeben.

Im Folgenden werden die Horizontalansichten und die Vertikalansichten der einzelnen Bohrungen dargestellt.

- **KB22**

Die Bohrung KB 22 (siehe Abb. 18) ist bis zur Teufe von 300 m nahezu vertikal orientiert. Bei der Tiefe von ca. 600 m weist sie ein Offset von etwa 28 m Richtung Osten auf. Die Abbildung zeigt eine wirklichkeitsgetreue Darstellung der Bohrung im Maßstabsverhältnis 1:1.

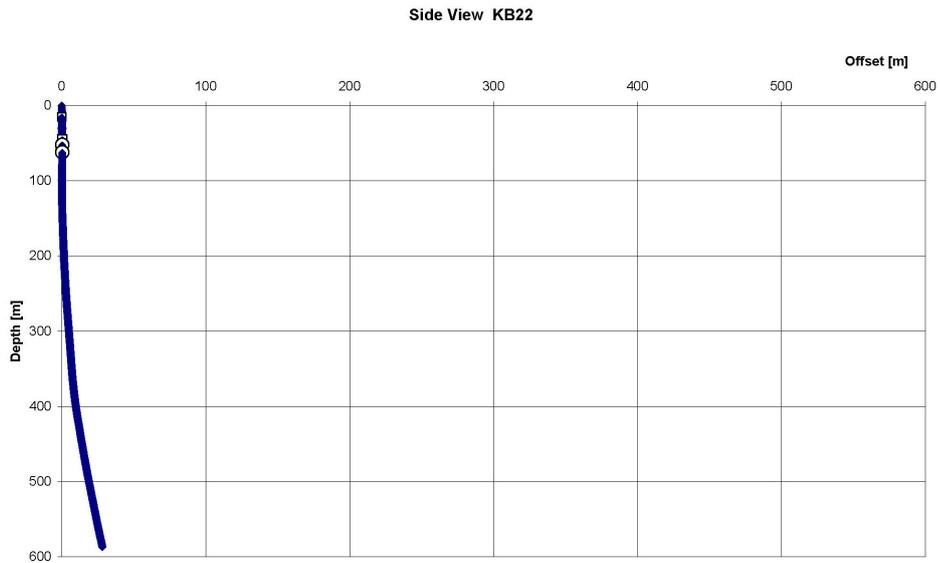


Abb. 18: Seitenansicht der Bohrung KB 22

Die Frontalansicht (siehe Abb. 19) der Bohrung zeigt, dass die Bohrung vom ausgehenden Nullpunkt nach Südost orientiert ist. Die Bohrung verläuft am Anfang bei einer Neigung von 45 Grad nach S-E, nach etwa 2 m verläuft die Bohrung in einem flacheren Winkel zur E-W Achse.

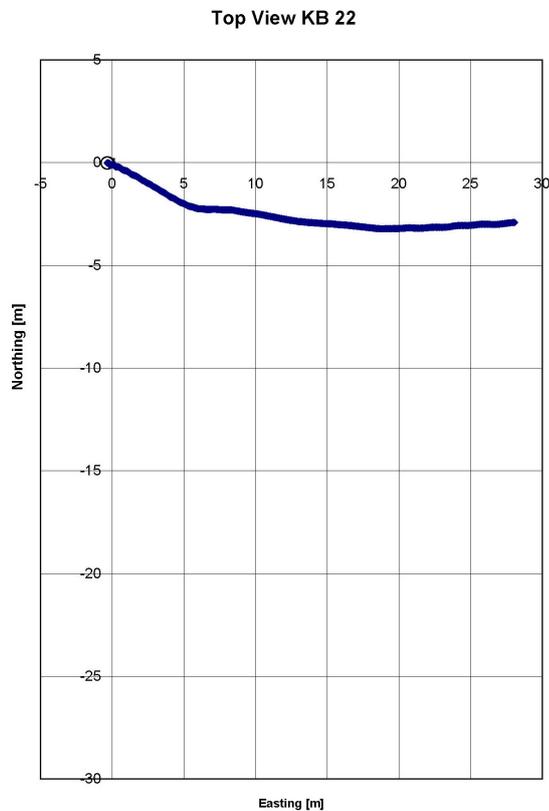


Abb. 19: Frontalansicht der Bohrung KB 22

- **KB 23**

Die Bohrung KB 23 (siehe Abb. 20) verläuft etwa im 45 Gradwinkel in die Tiefe. Die Bohrung hat ihre Endteufe bei 200 m und erreicht am tiefsten Punkt eine Abweichung von 180 m, bezogen auf den Ausgangspunkt an der Erdoberfläche.



Abb. 20 Seitenansicht der Kernbohrung KB 23

Von der Oberfläche aus betrachtet (siehe Abb. 21) verläuft die Bohrung Nord-West und endet 80 m westlich und 178 m nördlich vom Ausgangspunkt.

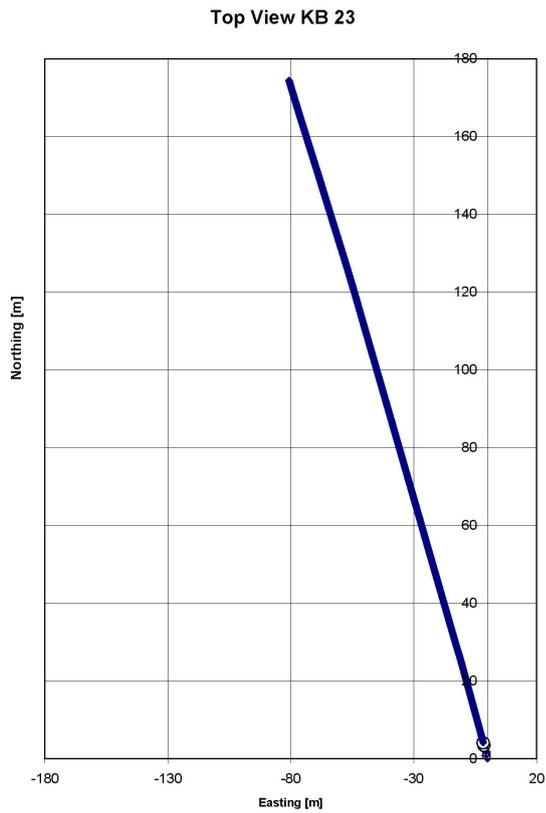


Abb. 21: Frontalansicht der KB 23

- **KB 24**

Die Kernbohrung 24 (siehe Abb. 22) verläuft bis zu einer Teufe von 150 m vertikal in die Tiefe. Danach ist die Bohrung leicht geneigt und erreicht bei der Entteufe von 422 m ihre maximale Abweichung von 38 m.

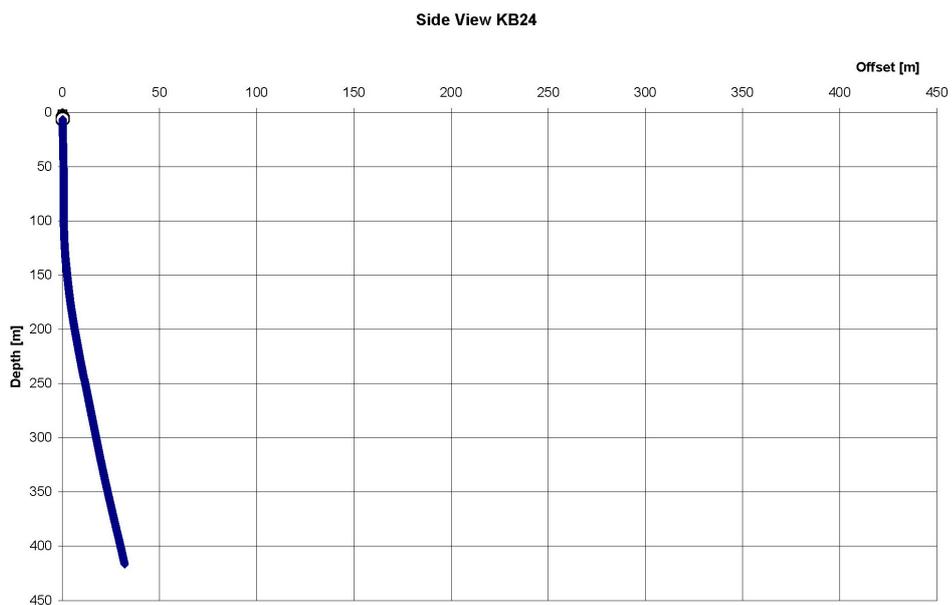


Abb. 22: Seitenansicht der KB 24

In der Frontalansicht (siehe Abb. 23) ist die N-E Ausrichtung der Bohrung zu erkennen. Die Bohrung verläuft 4,5 m Richtung Norden und 32 m Richtung Osten.

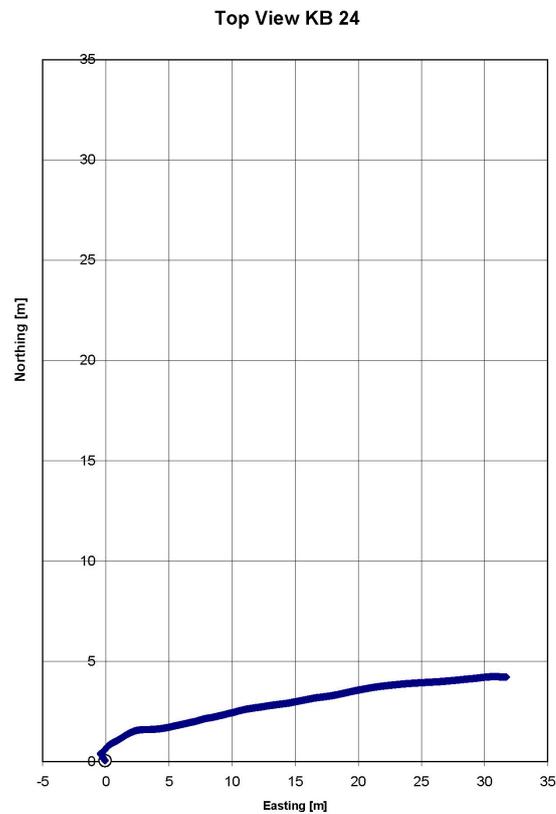


Abb. 23: Frontalansicht der Bohrung KB 24

- **KB 25**

Bei der Kernbohrung KB 25 handelt es sich um eine um 45 Grad geneigte Bohrung, die im unteren Bereich eine minimale Steigerung der Steilheit der Kurve zeigt (siehe Abb. 24).



Abb. 24: Seitenansicht der Kernbohrung KB 25

Die Süd-West orientierte Bohrung hat ihre Endteufe in 32 m Richtung Westen und 122 m Richtung Süden (siehe Abb. 25).

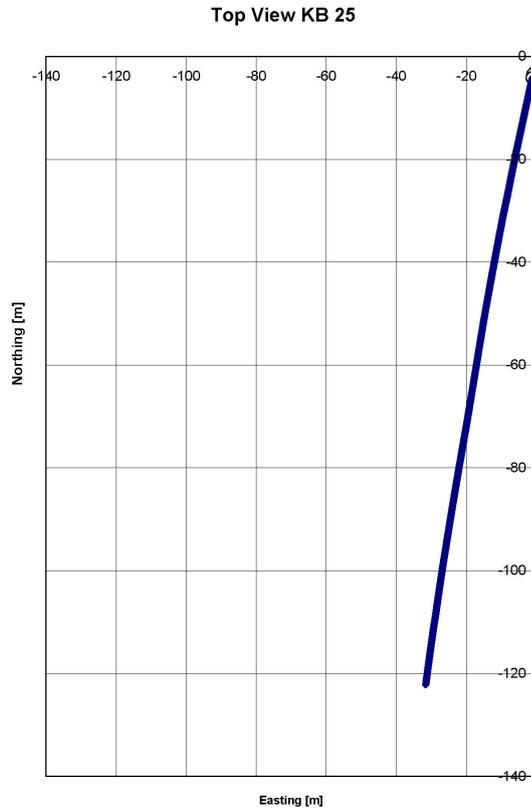


Abb. 25: Frontalansicht der Kernbohrung 25

- **KB 26**

Die Bohrung 26 ist bis zur Tiefe von 100 m vertikal orientiert (siehe Abb. 26), bei einer Tiefe von ca. 700 m weist sie ein Offset von etwa 65 m auf.

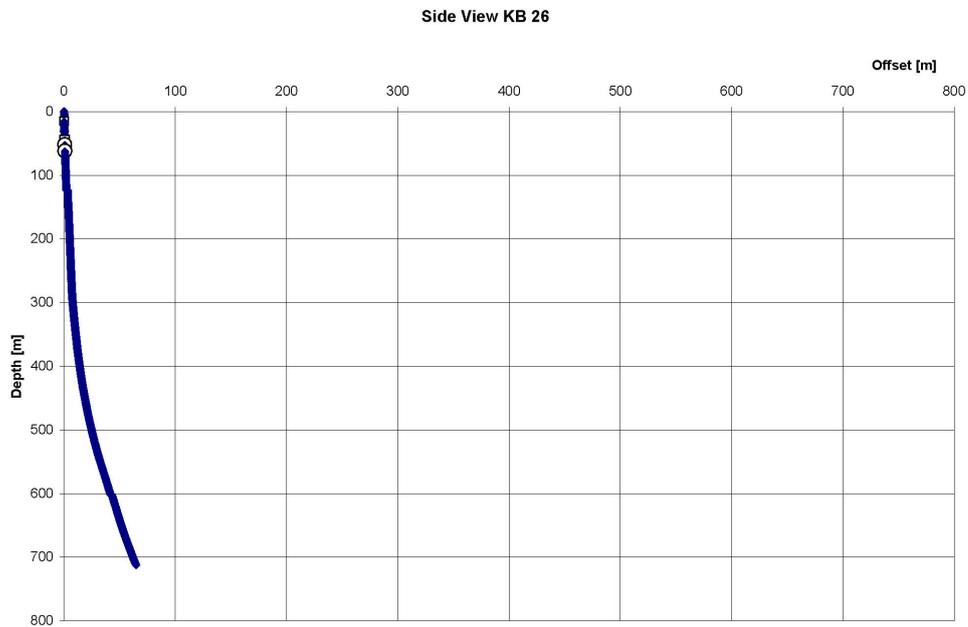


Abb. 26: Seitenansicht der Kernbohrung KB 26

Die Kernbohrung KB 26 ist in Form einer S-förmigen Kurve E-N orientiert (siehe Abb. 27). Die Endteufe befindet sich im Osten bei 65 m und Richtung Norden bei 5 m.

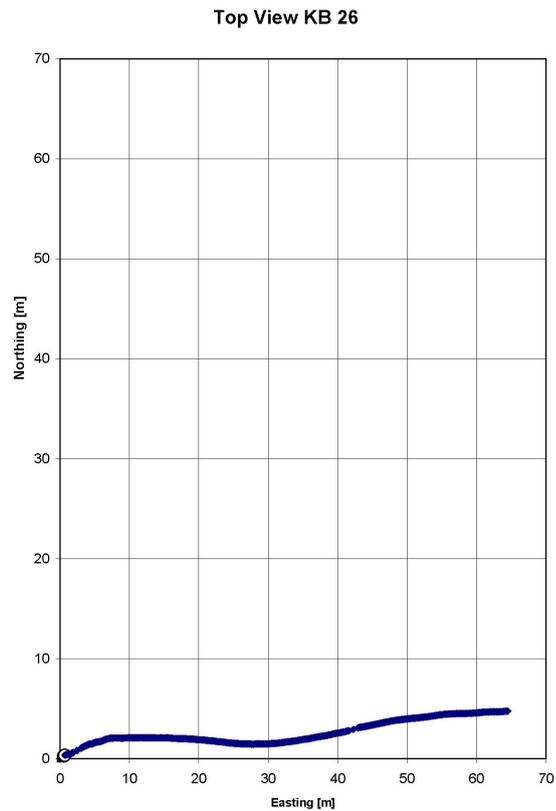


Abb. 27: Frontalansicht der Kernbohrung 26

#### 4.2.2 DIE BESCHREIBUNG DER VON DER BOHRKERNAUFNAHME ERFASSTEN INFORMATIONEN

Die folgende Beschreibung der Bohrungen erfolgt auf Datenbasis der Kernbohrungsaufnahmen, die von Mitarbeitern der 3G durchgeführt wurden. Die Daten wurden mit einer für die Bohrkernaufnahme üblichen Genauigkeit dokumentiert. Die Richtlinien und Normen nach denen die in folgenden dargestellten Parameter aufgenommen wurden, sind im Kapitel 2.1 beschrieben.

Für die ingenieurgeologische Bewertung und für die Erstellung des Modells sind die folgenden Punkte ausschlaggebend:

Die auftretenden Gesteinstypen, der Grad der Zerlegung, der Grad der Verwitterung, die Unterteilung der Diskontinuitäten in Schieferungsflächen, Klüfte, Harnischflächen und Störungszonen als auch die Orientierung der auftretenden Diskontinuitäten sowie die Trennflächenposition im Bohrloch. Bei der Orientierung der Diskontinuitäten in Richtung Bohrkernachse ist zu beachten, dass die Erfassung dieser Daten nur schwer möglich ist.



#### 4.2.2.1 BESCHREIBUNG DER LITHOLOGIEN IN DEN EINZELNEN KERNBOHRUNGEN

- **KB 22**

Die Bohrung befindet sich im Wechselkristallin und ist die östlichste der fünf Bohrungen. Die Kernbohrung KB 22 wurde 2008 durchgeführt und hat eine Länge von 592 m und ist an folgenden Koordinaten X -37008,00 [m], Y 272542,40 [m] und Z 1143,48 [m] durchgeführt worden. Die Abweichung an der Oberfläche ist 15 m nördlich von der Tunnelachse.

Im oberen Teil der Bohrung treten Albitgneis und untergeordnet Albitschiefer auf, die in ca. 290 m Tiefe in eine Albitschiefer- Gneis-Serizit-Chlorit-Wechselagerung übergehen. Vier markante große Zerrüttungszonen, die die Bohrung durchschneiden, wurden extra herausgenommen. Diese befindet sich in der Teufe von 23 m, 111 m, 345 m und 475 m.

Die Abb. 28 und Abb. 29 zeigen zwei Beispiele für die Kernbohrung 22.



Abb. 28: Albitgneis, KB 22, in 198-199 m Tiefe



Abb. 29: Serizit Chlorit-Qtz Schiefer bis Phyllit, KB 22, in 490-491 m Tiefe

Die Lithologie der KB 22 ist in Abb. 30 sowie in der Tab. 2 dargestellt. In der gesamten KB 22 dominiert das Auftreten von Albitgneis mit 44% in der gesamten Bohrung. Weitere auftretenden Gesteinstypen sind gneisige Quarzite mit 21% und Serizit-Chlorit-Quarz-Phyllite mit 17%. Alle anderen auftreten Gesteinstypen sind aufgrund ihres geringen Antreffens in der Bohrung von keiner signifikanten Relevants.

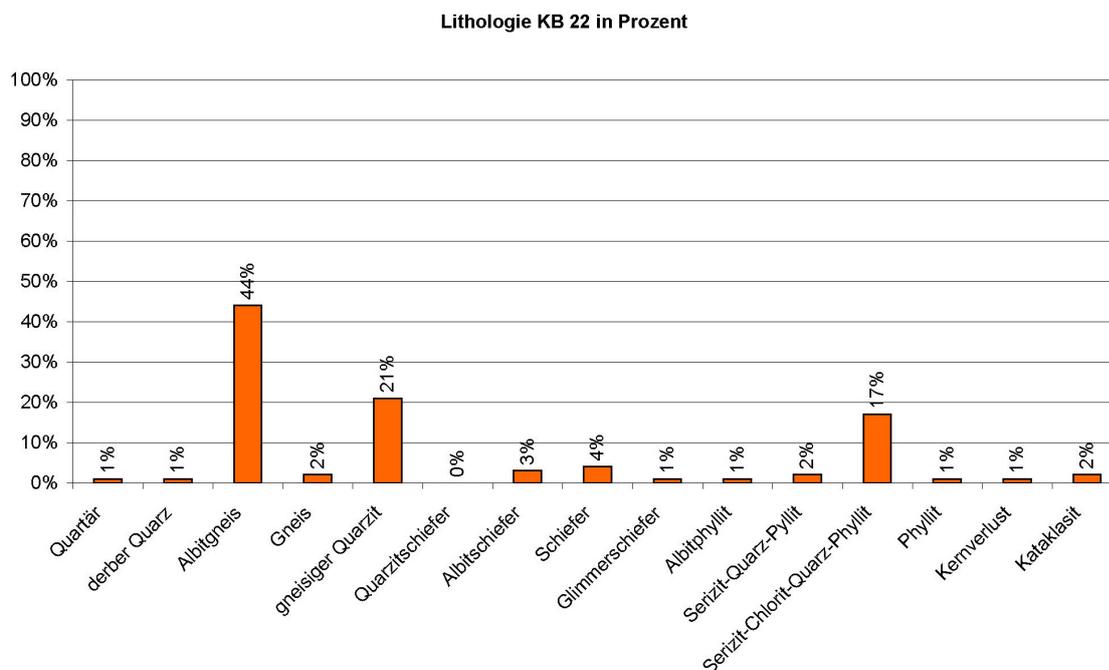


Abb. 30: Lithologie der KB 22

Tab. 2: Lithologie der KB 22 (in %)

Lithologie	Prozent
Albitgneis	44%
gneisiger Quarzit	21%
Serizit-Chlorit-Quarz-Phyllit	17%
Schiefer	4%
Albitschiefer	3%
Kataklasit	2%
Serizit-Quarz-Pyllit	2%
Gneis	2%
derber Quarz	1%
Kernverlust	1%
Quartär	1%
Albitphyllit	1%
Phyllit	1%
Glimmerschiefer	1%
Quarzitschiefer	0%

- **KB 23**

Die Kernbohrung KB 23 ist ebenfalls zur Gänze im Wechselkristallin anzutreffen und befindet sich westlich von der KB 22. Die Bohrung wurde 2008 durchgeführt und hat eine Länge von 300 m und ist an folgenden Oberflächenkoordinaten X -37175,79 [m], Y 272609,57 [m] und Z 1086,79 [m] durchgeführt worden. Bei der Bohrung handelt es sich um eine Schrägbohrung im Winkel von etwa 45 Grad (siehe Kapitel 4.2.1). Der Offset an der Erdoberfläche von der Tunnelachse zur Bohrung beträgt 40 Meter nach Norden. Im oberen Bereich der Bohrung dominieren Albitgneis mit quarzitischen Bereichen sowie Glimmerschiefer. In etw. 80 m Tiefe folgt ein albitphyllitischer Bereich, der bei 100 m Teufe in einen Albitschiefer übergeht. In ca. 110 m Tiefe bis zum Ende der Bohrung ist Albitgneis dominierend vorzufinden, der immer wieder von eingeschuppten Albitschiefer unterbrochen wird. In etwa 100 m Tiefe befindet sich ein markanter Zerrüttungsbereich. Der untere Bereich in dieser Kernbohrung ist in der KB 22 bei 23 m wiederzufinden.

Die Abb. 31 und Abb. 32 zeigen zwei Beispiele für auftretende Lithologien in der Kernbohrung KB 23.



Abb. 31: Albitschiefer Bereich der KB 23, in 80 - 81 m Tiefe

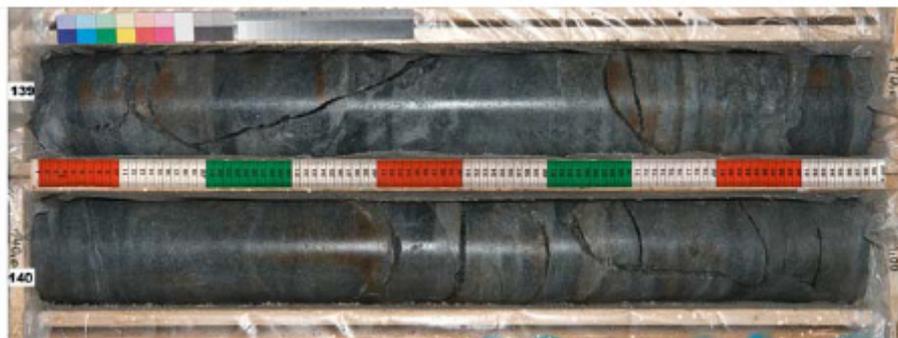


Abb. 32: Albitgneis KB 23, in 139-140 m Tiefe

Die Lithologie der Bohrung 23 ist in der Abb. 33 sowie in Tab. 3 dargestellt. Nach der statistischen Auswertung setzt sich die Bohrung KB 23 zu 44% aus Albitgneis zusammen. 20% davon sind Albitschiefer und 16% besteht aus Quarzit. Untergeordnet kommen noch Glimmerschiefer und Albitphyllit vor.

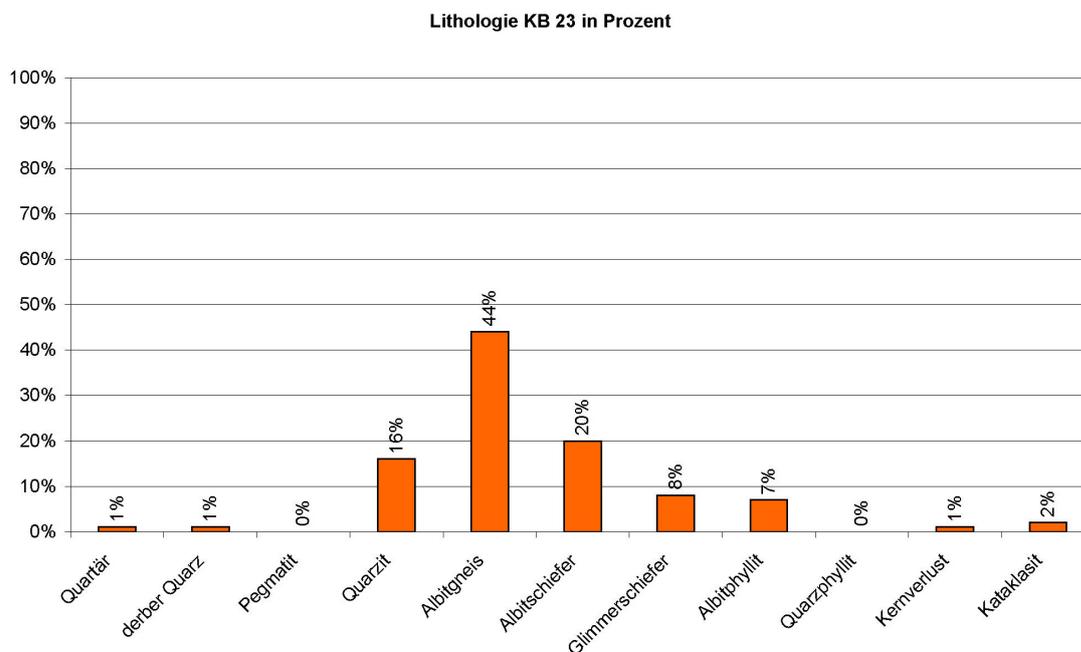


Abb. 33: Lithologie der KB 23 (in %)

Tab. 3: Lithologie der KB 23 (in %)

Lithologie	Prozent
Albitgneis	44%
Albitschiefer	20%
Quarzit	16%
Glimmerschiefer	8%
Albitphyllit	7%
Kataklasit	2%
derber Quarz	1%
Kernverlust	1%
Quartär	1%
Pegmatit	0%
Quarzphyllit	0%

- **KB 24**

Die im Wechselkristallin liegende Bohrung 24 befindet sich direkt auf der Wiese leicht östlich von der Talsohle des Fröschnitztales. Sie wurde 2008 durchgeführt und weist

eine Teufe von 422 m auf. Die Koordinaten der Bohrung sind X -37712,88 [m], Y 272680,28 [m] und Z 984,45 [m]. Die Bohrung befindet sich (an der Oberfläche) 10 m südlich der Tunnelachse. Im oberen Bereich der Bohrung dominieren Albitphyllite und Albitschiefer, die untergeordnet Bereiche von derben Quarz und Chloritschiefer enthalten. In etwa 300 m Tiefe geht die Lithologie in den in der KB 22 und KB 23 auftretenden Albitgneis über.

Vier markante Zerrüttungszonen sind in der Bohrung vorzufinden. Diese befinden sich in der Tiefe von 40 m, 248 m, 315 m und 362 m.

Die Abb. 34, Abb. 35 und Abb. 36 zeigen Bohrkernfotos der KB 24.



Abb. 34: Albitphyllit, Wechselschiefer nahe Wechselgneis, KB 24 in 51-52 m Tiefe



Abb. 35: graphitischer Albitphyllit, KB 24 in 72-73 m Tiefe



Abb. 36: Albitgneis, KB 24, 329 – 330 m Tiefe

Die lithologische Verteilung und die prozentuelle Aufschlüsselung ist in Abb. 37 und in der Tab. 4 aufgelistet. Dominierende Lithologie ist nicht mehr der Albitgneis wie in den vergangen 2 Bohrungen, sondern der Albitschiefer mit 41%. Der Albitgneis ist dennoch im unter Teil der Bohrung anzutreffen, jedoch macht er nur mehr 24% der gesamten Kernbohrung aus. Weiters treten 16% Albitphyllit und 10% kataklastisches Gestein auf.

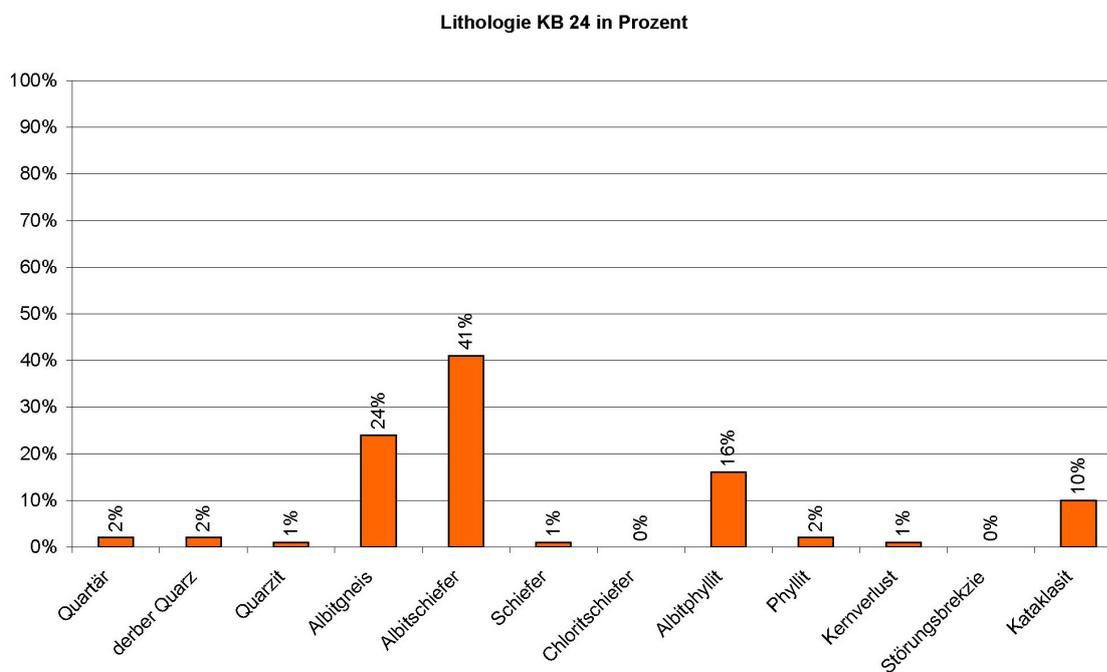


Abb. 37: Lithologieverteilung der Bohrung KB 24

Tab. 4: Lithologie der KB 24 (in %)

Lithologie	Prozent
Albitschiefer	41%
Albitgneis	24%
Albitphyllit	16%
Kataklasit	10%
Quartär	2%
Phyllit	2%
derber Quarz	2%
Quarzit	1%
Schiefer	1%
Kernverlust	1%
Chloritschiefer	0%
Störungsbrekzie	0%

- **KB 25**

Die Bohrung KB 25 ist wie die KB 23 eine 45° geneigte Bohrung (siehe Kapitel 4.2.1) und befindet sich zwischen der Bohrung KB 26 und KB 24. Sie ist mit 200 m die kürzeste der 5 Bohrungen und wurde 2008 durchgeführt. Die Koordinaten der Bohrung sind X -38080,04 [m], Y 272864,10 [m] und Z 995,93 [m]. Die im Wechselkristallin vorzufindende Kernbohrung weist einen Offset von 100 m Richtung Nord auf. Über die gesamte Länge der Bohrung treten Albitphyllite auf. Untergeordnet ist Phyllit und Chloritschiefer vorzufinden. In dieser Bohrung befindet sich in 90 m Tiefe der Zerrüttungsbereich.

In den Abb. 38 und Abb. 39 befinden sich beispielhafte Bohrkernfotos der KB 24.



Abb. 38: Albitphyllit graphitisch, KB 24 in 58–59 m Tiefe



Abb. 39: Albitphyllit, KB 24 in 165 – 166 m Tiefe

Die Lithologie ist in Abb. 40 sowie in Tab. 5 zusammengefasst. Die statistische Auswertung ergibt, dass die KB 25 durch einen Anteil von 70% Albitphyllit dominiert wird. Daneben auftretende Gesteinstypen sind Chloritschiefer (10%), kataklastische Gesteine (10%) und ein relative hoher Anteil an quartären Gesteinskomponenten (5%).

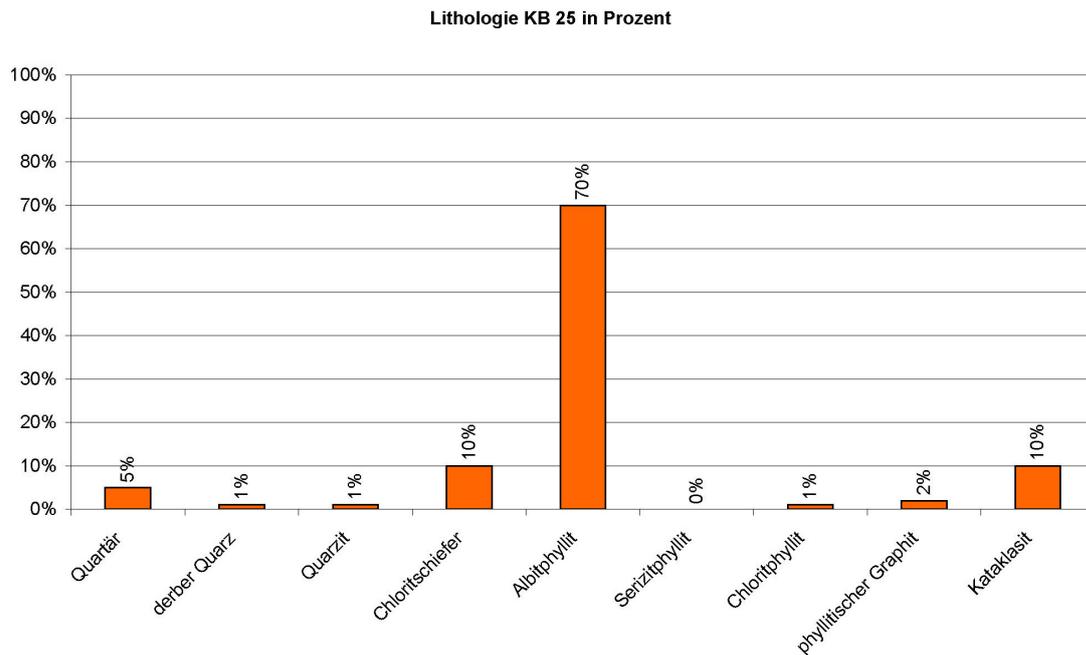


Abb. 40: Lithologieverteilung der Bohrung KB 25

Tab. 5: Lithologie der KB 25 (in %)

Lithologie	Prozent
Albitphyllit	70%
Chloritschiefer	10%
Kataklasit	10%
Quartär	5%
phyllitischer Graphit	2%
Chloritphyllit	1%
derber Quarz	1%
Quarzit	1%
Serizitphyllit	0%

- **KB 26**

Die Bohrung befindet sich zu zwei Drittel im Semmeringkristallin und zu einem Drittel im Wechselkristallin und ist die westlichste der Bohrungen. Sie wurde 2008 durchgeführt und hat ihre Endteufe in 722 m. Für die Auswertung und für die Darstellung des Modells wurden nur die unteren 200 m der Bohrung (488 bis 722 m) herangezogen, da sich dieser Bereich noch im Wechselkristallin befindet. Die Koordinaten an der Oberfläche sind X -38915,24 [m], Y 272538,94 [m] und Z 1251,48 [m]. Die Bohrung befindet sich 230 m südlich der geplanten Tunnelachse.

Bei 488 m Tiefe geht der Serizit-Quarz-Phyllit in einen Albitphyllit über, der sich bis zu einer Tiefe von 581 m erstreckt. Danach folgt Albitphyllit mit eingeschuppten Serizit-Chlorit-Phyllit.

Die Abb. 40 zeigt ein Beispiel für auftretende Lithologien in der Kernbohrung KB 26.



Abb. 41: Albitphyllit, KB 26 in 712 – 713 m Tiefe

Eine Zusammenfassung und eine prozentuelle Verteilung der Lithologie der KB 26 zeigen die Abb. 42 sowie die Tab. 6. Die Hauptkomponenten im modellrelevanten Bereich sind Albitphyllite, die sehr massiv auftreten. Untergeordnet tritt noch Seriziphyllit, Serizitquarzphyllit, Kataklastite und Quarzphyllit auf.

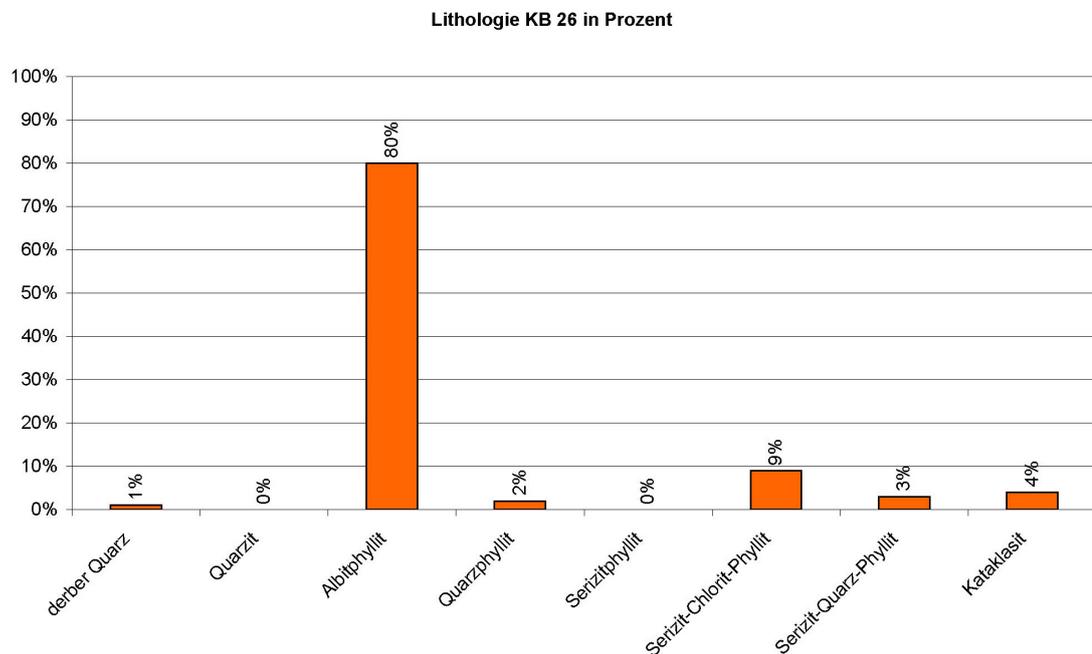


Abb. 42: Lithologieverteilung der Bohrung KB 26

Tab. 6: Lithologie der KB 26 (in %)

Lithologie	Prozent
Albitphyllit	80%
Serizit-Chlorit-Phyllit	9%
Kataklasit	4%
Serizit-Quarz-Pyllit	3%
Quarzphyllit	2%
derber Quarz	1%
Quarzit	0%
Serizitphyllit	0%

#### **4.2.2.2 BESCHREIBUNG ALLER BOHRKERNPARAMETER ZUEINANDER**

Im Folgenden werden alle fünf Bohrungen zusammen dargestellt, um einen Überblick über die Veränderungen der Bohrungen zueinander zu geben. Dazu werden die Kernbohrungen hinsichtlich Lithologie, Trennflächenabstand, Verwitterung, Zerlegungsgrad, Gesteinsfestigkeit und Felsqualität dargestellt.

- **Lithologie**

Die östlich liegenden Bohrungen unterscheiden sich von den westlich liegenden Bohrungen durch eine andere lithologische Zusammensetzung (Abb. 43). Während in den Bohrungen KB 22 Albitgneise und gneisige Quarzite vorliegen, ist in der Kernbohrung KB 25 und KB 26 Albitphyllit dominierend. KB 23 und KB 24 befinden sich im Übergangsbereich der beiden Gesteine, was sich im Auftreten von Albitschiefer zeigt.

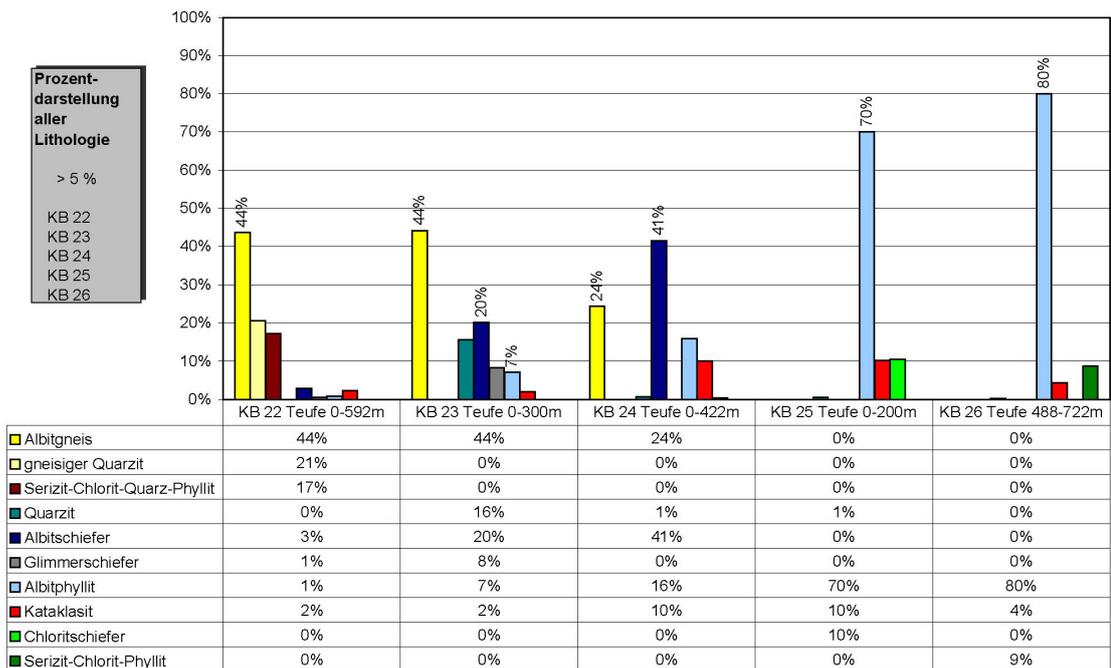


Abb. 43: Vergleich der Lithologie aller Kernbohrung

- Trennflächenabstand

Mit 30 – 40% Maximalausschlag des Trennflächenabstandes (Abb. 44) hat keine Bohrung übermäßige Dominanz eines bestimmten Trennflächenabstandes.

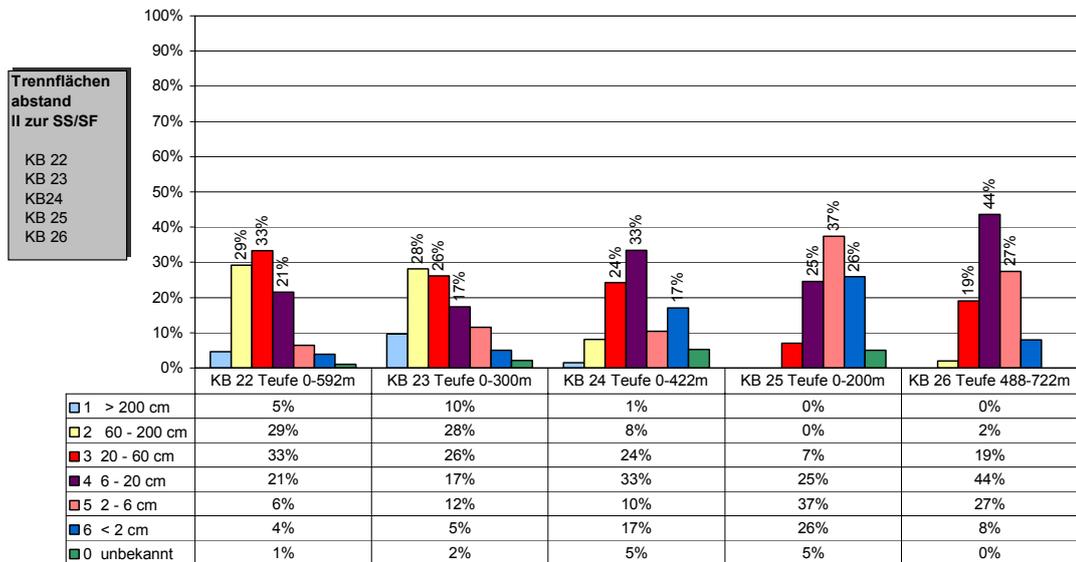


Abb. 44: Vergleich des Trennflächenabstandes aller Kernbohrungen

Der Bereich, in dem 83% der Trennflächenabstände in KB 22 liegen ist 200 und 20 cm. Von der Bohrung KB 22 Richtung Westen ist die Abnahme des Abstandes 60 bis 200 cm zu erkennen. Die Abstandslänge 20-60 cm, 60-200 cm erreicht ihr Minimum bei der KB 25. Dominant in diesem Bereich sind relativ kurze Trennflächenabstände zwischen 2 - 6 cm und kleinere Abstände, was auf eine starke Zerlegtheit des Gebirges hinweist. In der Kernbohrung KB 26 dominiert ein durchschnittlicher Trennflächenabstand mit einer Länge von 6 bis 20 cm.

Im Osten sind weiterer Trennflächenabstände zu erkennen. Dieser Abstand reduziert sich Richtung Westen. Diese Tatsache ist auf die Deckenüberschiebungsgrenze Wechselkristallin zum Semmeringkristallin zurückzuführen.

- **Diskontinuitätsorientierung**

Die Trennflächenorientierungen, die bei der Bohrkernaufnahme aufgenommen wurden, sind für Orientierungsauswertungen von Diskontinuitätsorientierungen nicht von ausreichender Genauigkeit. Aus diesem Grund wurde auf die gemessenen Insituwerte entlang des Bohrlochpfades zurückgegriffen.

Die gemessenen Orientierungen der Diskontinuitäten werden im Kapitel 5.1.4 dargestellt.

- **Verwitterung**

Die Bohrungen KB 22, KB 24, KB 25 und KB 26 zeigen mit einem zwischen 90 und 100% liegenden Verwitterungsgrad bei 1, kaum Verwitterungen (siehe Abb. 45). Ein markanter Ausreißer ist in dem Fall die Kernbohrung KB 23 in der der Verwitterungsgrad bei 74% liegt. Neben der Trennflächenanwitterung mit 7% ist auch eine markante Verwitterung des Kornverbandes (mit 18%) zu beobachten.

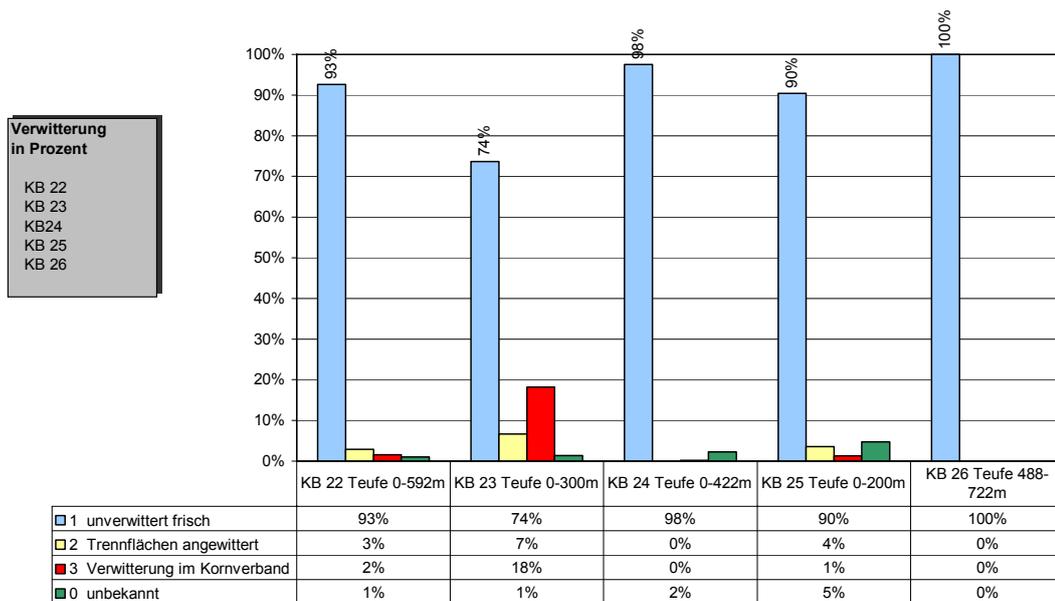


Abb. 45: Vergleich der Verwitterung aller Kernbohrungen

- Zerlegungsgrad**

Der Zerlegungsgrad gibt Auskunft über die Trennflächendichte. Er liegt in der KB 22 zwischen der Klasse 3 und 4 (Abb. 46), wobei der Abstand zwischen 20 und 60 cm (Klasse 3) leicht dominiert. In den Bohrungen KB 25 und KB 26 hingegen dominiert stärker der Trennflächenabstand von 6-20 cm.

Verglichen mit dem Trennflächenabstand ist eine Korrelation zu erkennen. Daher sind die Bohrungen im Westen generell stärker zerlegt als die Bohrungen im Osten.

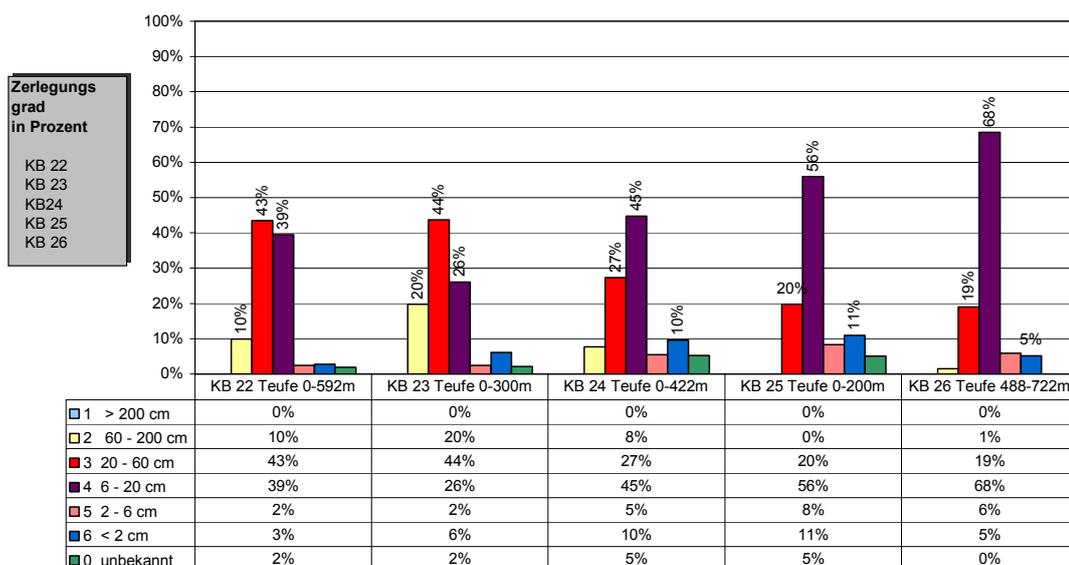


Abb. 46: Vergleich des Zerlegungsgrades aller Kernbohrungen

- **Gesteinsfestigkeit**

Die Gesteinsfestigkeit ist ein mit Hammeranschlag erhobener Parameter. Während in den Kernbohrungen 22, 23, und 24 die Gesteinsfestigkeit mit 71-73% als gut bewertet wird (Abb. 47), liegt dieser Wert in den Bohrungen 25 und 26 nur mehr zwischen 51 und 49 Prozent. Als schlecht bewertet sind in der KB 24 12% und in der KB 25 13%. Da in diesen Bohrungen auch der unbekannte Faktor bei 5% liegt, kann dieser Wert nach oben oder unten schwanken.

Generell ist ein ähnlicher Trend wie beim Zerlegungsgrad zu beobachten. Ganz im Osten ist die Gesteinsqualität am besten und diese nimmt sukzessive nach Westen hin ab und nimmt bei der Bohrung KB 26 wieder leicht zu.

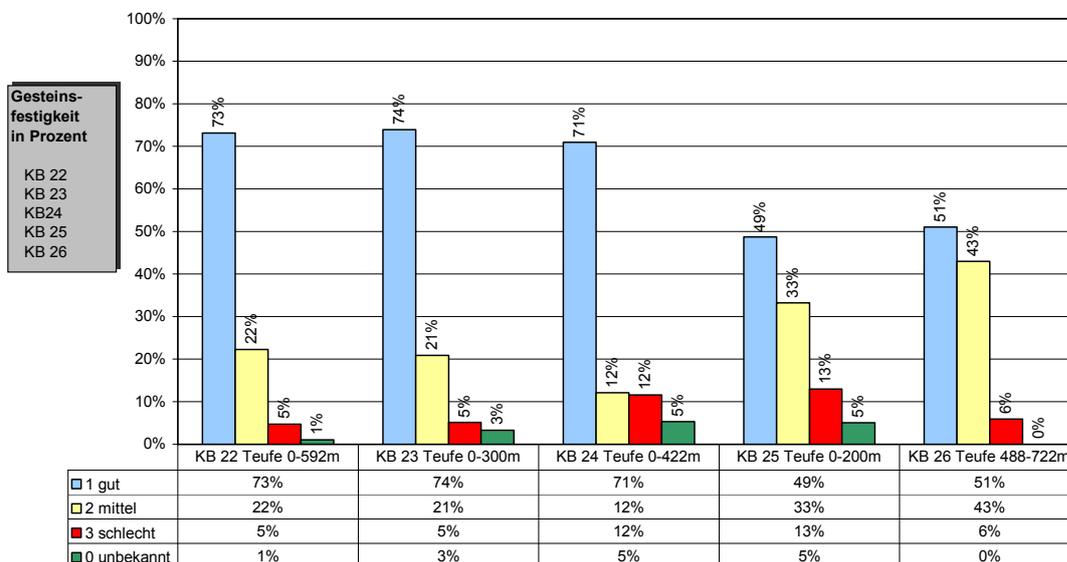


Abb. 47: Vergleich der Gesteinsfestigkeit aller Kernbohrungen

- **Felsqualität**

Im bauwerksrelevanten Maßstab ist die Felsqualität in 3 Klassen unterteilt (siehe Abb. 48). In der Kernbohrung KB 23 und KB 24 sind 49 % der Kernbohrungen als gut bewertet. Die Bewertung in der Klasse 2 hat in der KB 26 mit 90% ihr Maximum erreicht.

Die schlechteste Felsqualität für das Bauwerk tritt in der KB 25 mit 36% auf.

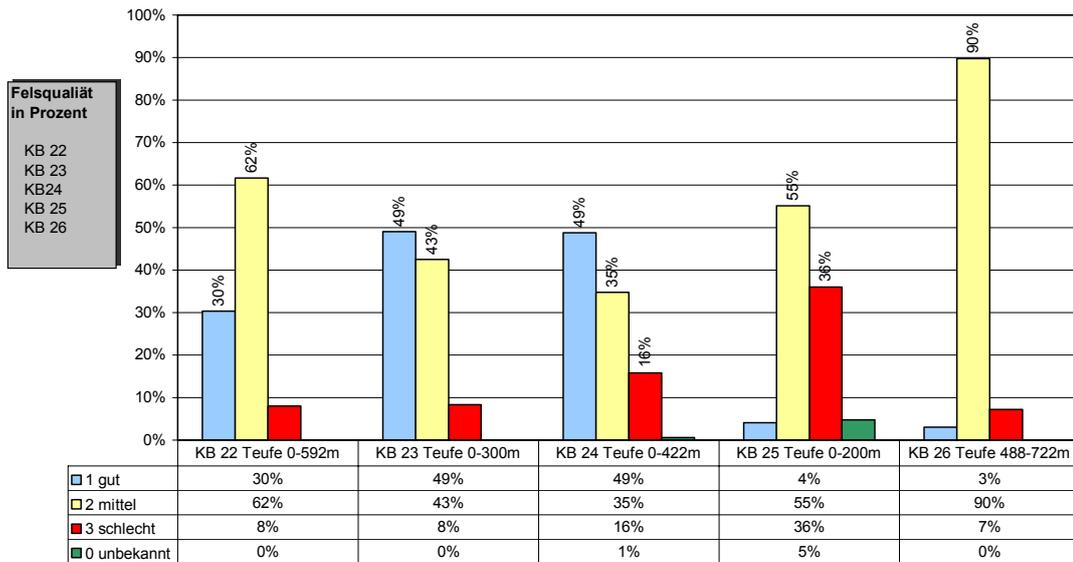


Abb. 48: Vergleich der Felsqualität aller Kernbohrungen

- Auftretende kataklastische Gesteine**

RIEDMÜLLER et al. (2001) unterscheidet vier Typen von kataklastischen Gesteinen. In der Kernbohrung KB 22 sind 62% der auftretenden kataklastischen Gesteine S-Kataklasite (siehe Abb.49). Die KB 25 hat mit einem auftreten von 83% einen höheren Anteil an S-Kataklasiten. Die Kernbohrung KB 23 ist die einzige Bohrung in der mehr C-Kataklasite auftreten als S-Kataklasite. Weiters weist die Kernbohrung 26 einen erhöhten Anteil an M-Kataklasiten auf.

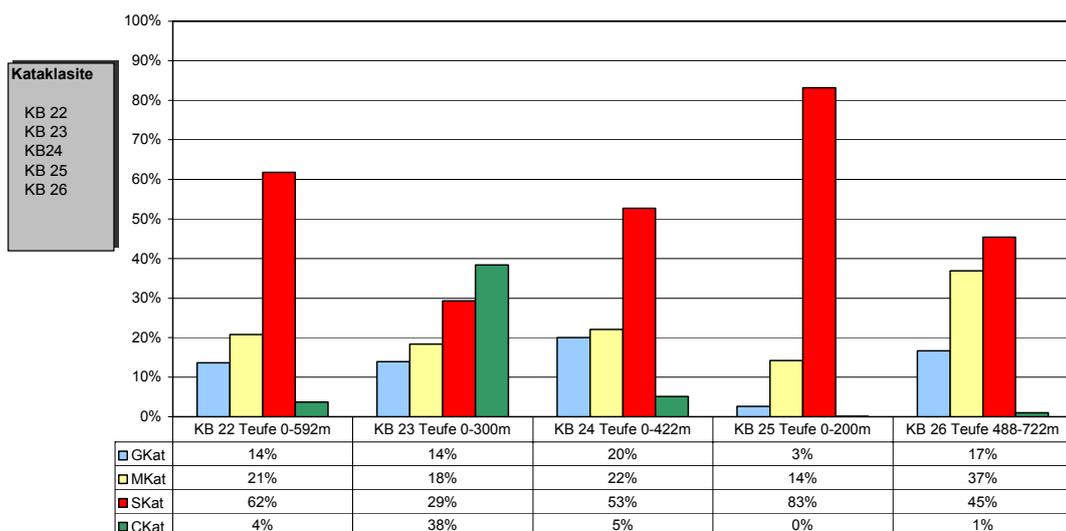


Abb. 49: Vergleich der verschiedenen Kataklasite aller Kernbohrungen



#### **4.2.2.3 DARSTELLUNG AUSGEWÄHLTER DATEN UND IDENTIFIKATION VON HOMOGENBEREICHEN ENTLANG DER KERNBOHRUNGEN**

Mit Hilfe der Lithologie, dem Zerlegungsgrad und dem Trennflächenabstand parallel (II) zur Schieferungsfläche (SF) wurde mit statistischen Methoden eine Identifikation der Homogenbereiche entlang der Kernbohrungen durchgeführt. Diese erfolgte mit einem von RIEDMÜLLER et al. (1998) entwickelten Datenevaluierungssystem für Bohrkernaufnahmen.

Das Ziel der Auswertung ist es, Homogenbereiche zu identifizieren. Dies erfolgt mit Hilfe des reduzierten Varianzverfahrens. Eine optimale Einteilung der Homogenbereiche ist erreicht, wenn die gesamte Varianzreduzierung durch die Homogenbereichseinteilung weniger als 1% ergibt. Die Zonierung der einzelnen Bohrkernaufnahmeparameter erfolgte mit einer univariaten Zonierungsmethode.

Die Berechnung wurde nach folgenden Kriterien durchgeführt: Die maximale mögliche Anzahl der Homogenbereiche innerhalb der Bohrungen wurde bei 50 Stück definiert. Im Anhang befindet sich eine Auflistung aller identifizierten Homogenbereiche. Die Grenzpositionen wurden auf die minimal möglichste Grenzposition gewählt. Die Mindestanzahl der Punktdaten zur Ermittlung von fünf Grenzpositionen liegt bei 400 Punkten.

Die Berechnung der Homogenbereiche erfolgt entlang der gesamten Länge der Kernbohrung. Eine höhere Genauigkeit der Kernbohrung kann durch gezielte Unterteilung der lithologisch unterschiedlichen Bereiche erzielt werden. Je nach Länge der Bohrung ist die Anzahl der Homogenbereiche definiert worden (etwa mit einer Genauigkeit im 12 m Abstand).

Die aus der Auswertung resultierenden Homogenbereiche wurden zusammen mit den Ergebnissen der 3G dargestellt und verglichen.

Im Folgenden werden die fünf Kernbohrungen, ihren Verlauf in die Tiefe und die daraus identifizierten Homogenbereiche dargestellt:

In den Abb. 50, 51, 52, 53 sind die Kernbohrungen 22, 23, 24 und 25, die sich ändernden Lithologien, der Zerlegungsgrad, der Trennflächenabstand parallel zur Schieferung und die identifizierten Homogenbereiche dargestellt. Die Spalte 0 und 1 zeigt die stratigraphische Unterteilung in Quartär und Wechselkristallin. Der sich auf der x-Achse befindende Bereich zwischen Spalte 2 bis 7 zeigt die auftretende Lithologie. Die Datenreihe 7,5 stellt die identifizierten lithologischen Homogenbereiche dar. Der Bereich 8 bis 12 entlang der x-Achse zeigt den mit der Tiefe variierenden Zerlegungsgrad. Die Spalte 13 zeigt die identifizierten Homogenbereiche des Zerlegungsgrades. Die maximale Anzahl der identifizierten Homogenbereiche beträgt 50 bzw. 20. Die minimale Anzahl an der eine Grenzposition möglich ist, liegt bei jedem fünften bzw. zweiten Datenpunkt. Die Spalte 14 stellt dieselbe Datenreihe bei einer anderen Anzahl von identifizierten Homogenbereichen dar.

Die Spalten 15 bis 20 zeigen die Änderungen des Trennflächenabstandes parallel zur Schieferung, bezogen auf die Tiefe. In den Spalte 21 und 22 sind verschiedene identifiziertet Homogenbereiche dargestellt.

Die maximale Anzahl der identifizierten Homogenbereiche beträgt 50. Die minimale Anzahl an den eine Grenzposition möglich ist, liegt bei jedem fünften Datenpunkt.

In der Spalte 23 sind die von der 3G identifizierten Gebirgsarten dargestellt, um eine Vergleichsmöglichkeit der eruierten Homogenbereiche mit den von der 3G ermittelten Homogenbereichen zu ermöglichen.

## KERNBOHRUNG 22

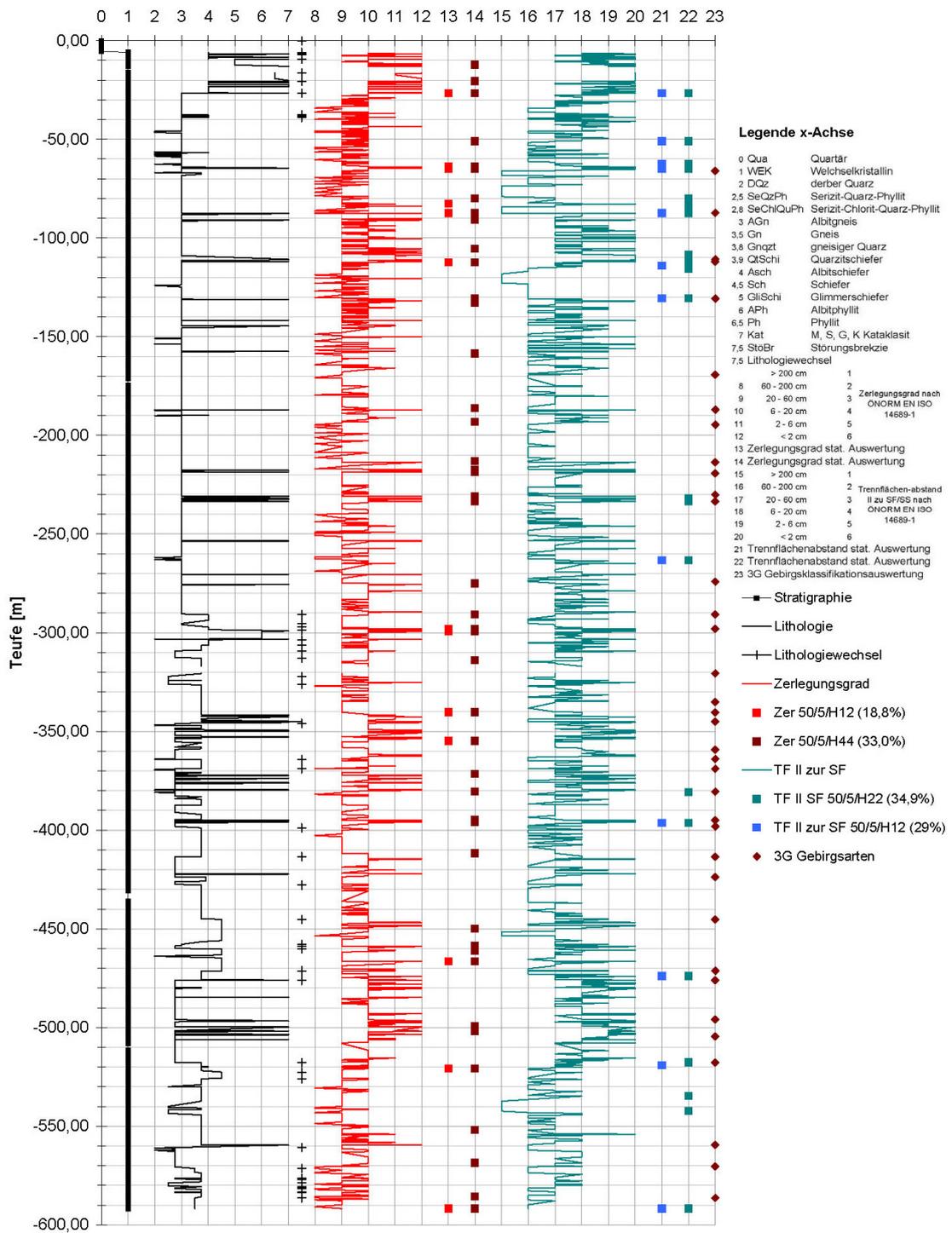


Abb. 50: Darstellung ausgewählter Daten und identifizierte Homogenbereiche der KB 22

## KERNBOHRUNG 23

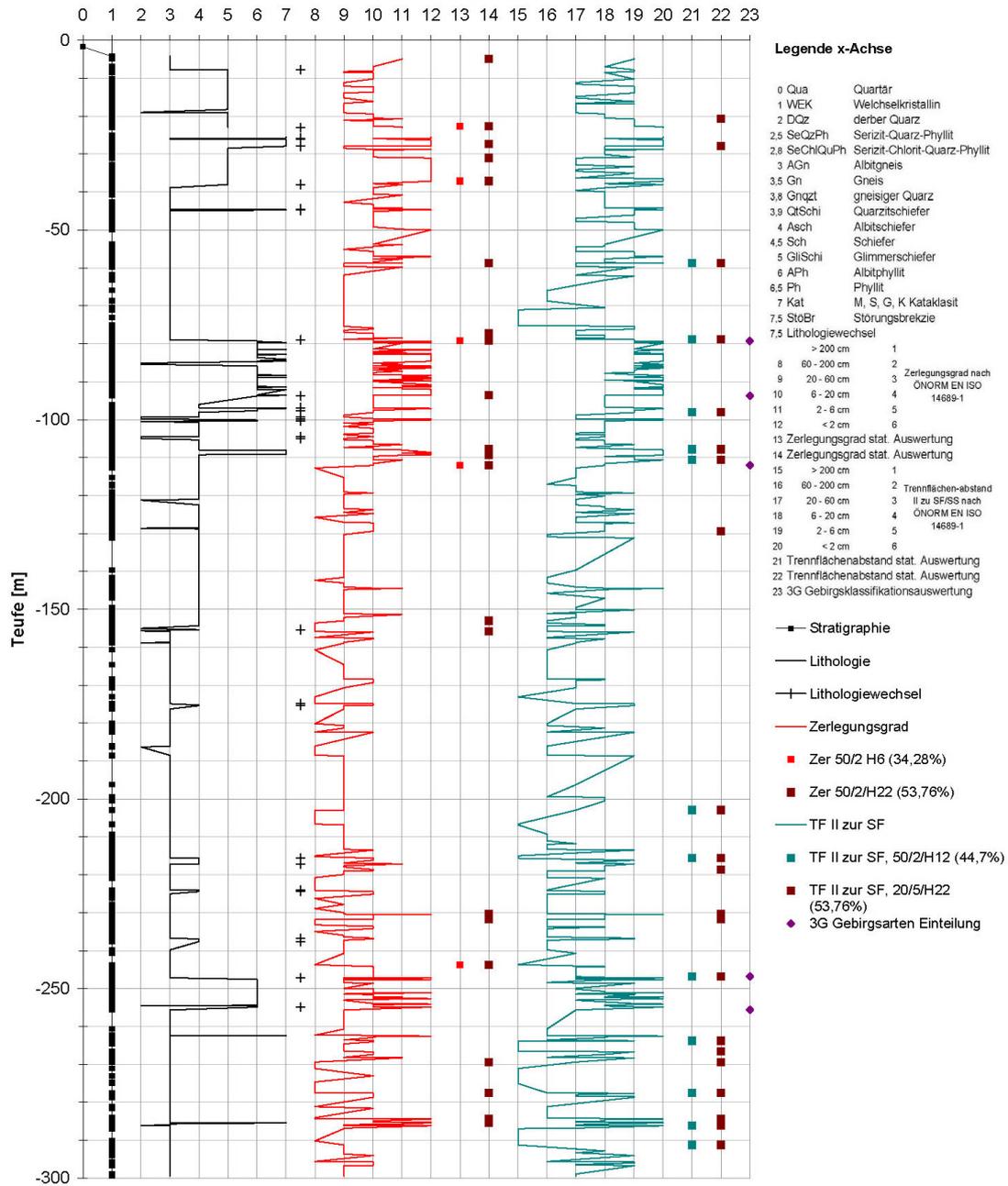


Abb. 51: Darstellung ausgewählter Daten und identifizierte Homogenbereiche der KB 23

# KERNBOHRUNG 24

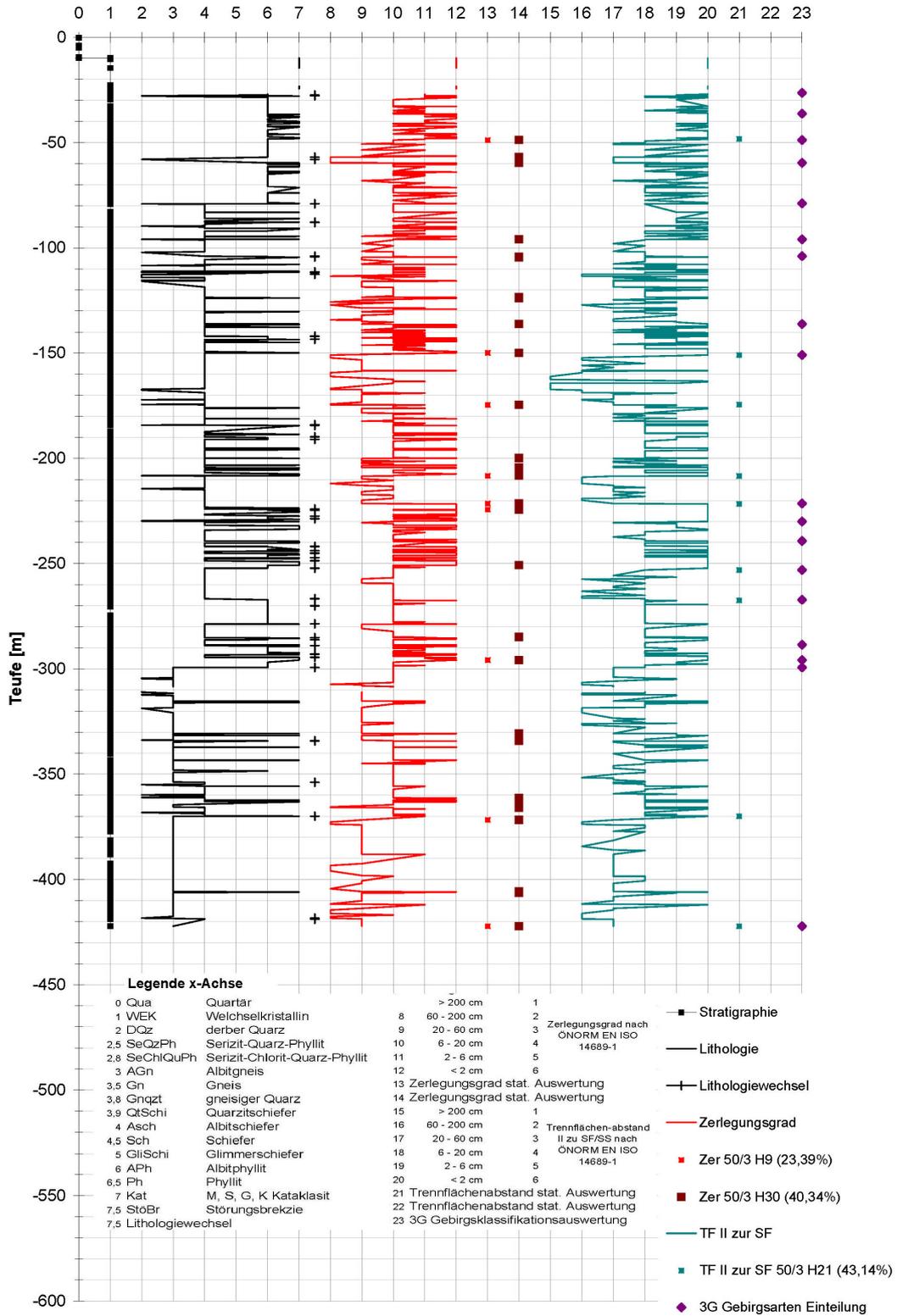


Abb. 52: Darstellung ausgewählter Daten und identifizierte Homogenbereiche der KB 24

## KERNBOHRUNG 25

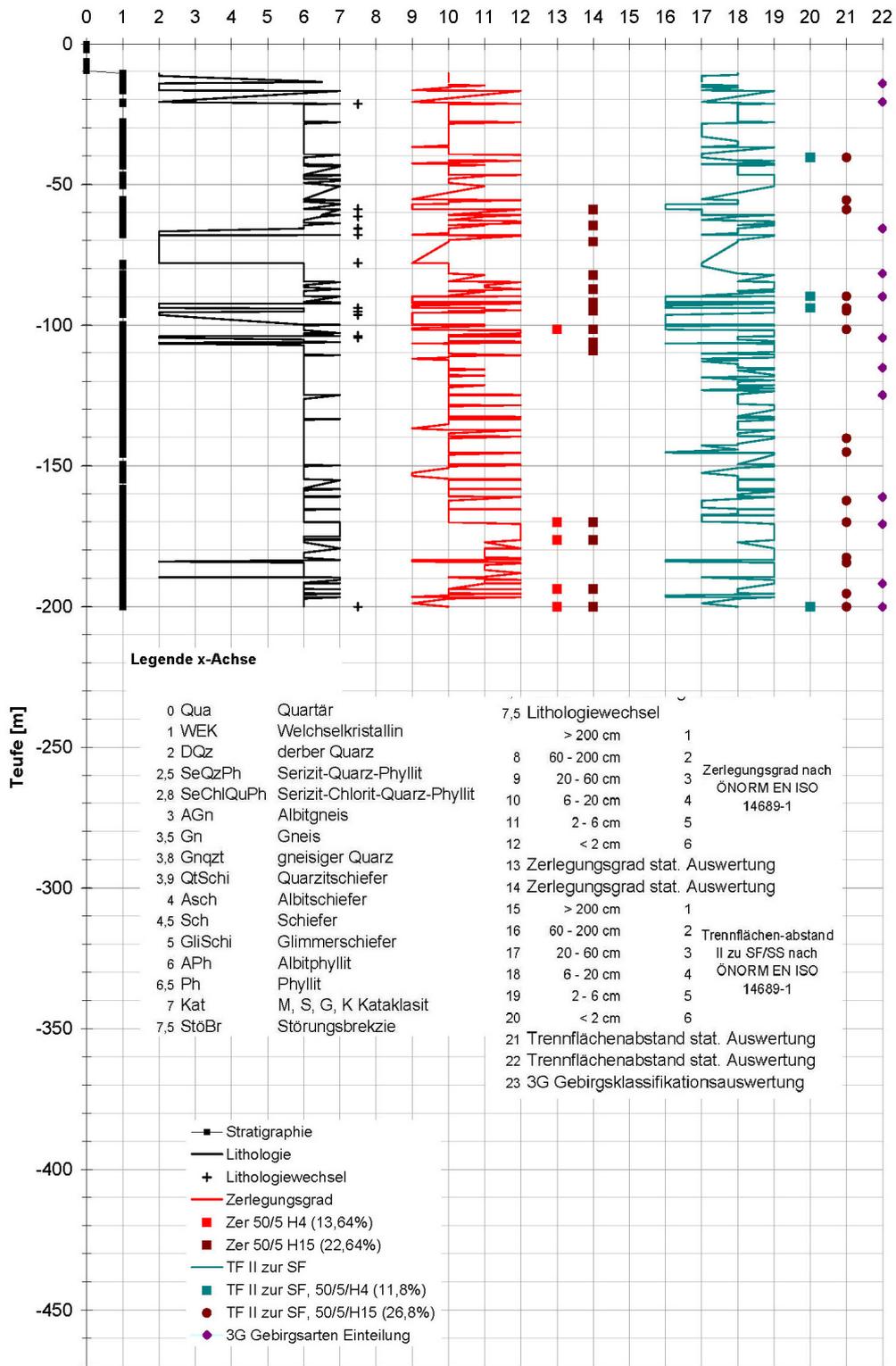


Abb. 53: Darstellung ausgewählter Daten und identifizierte Homogenbereiche der KB 25

In der Abbildung 54 sind die in der Kernbohrung 26 identifizierten Homogenbereiche dargestellt. Die Spalte 0, 0,5 und 1 zeigen die stratigraphische Unterteilung des Bereiches in Quartär, Semmeringkristallin und Wechselkristallin. Der sich auf der x-Achse befindende Bereich zwischen der Spalte 2 bis 7 zeigt die auftretende Lithologie. Der Bereich 8 bis 12 entlang der x-Achse zeigt den mit der Tiefe variierenden Zerlegungsgrad. Die Spalte 13 zeigt die fünf identifizierten Homogenbereiche des Zerlegungsgrades. Die maximale Anzahl der identifizierten Homogenbereiche beträgt 50. Die minimale Anzahl, an der eine Grenzposition möglich ist, liegt bei jedem zweiten Datenpunkt bei 400 Daten. Die Spalte 14 stellt dieselbe Datenreihe bei 17 identifizierten Homogenbereichen dar. Die beiden Spalten zeigen nur Homogenbereiche im Wechselkristallin. Das Semmeringkristallin wurde hier nicht ausgewertet.

Die Spalten 15 bis 20 zeigen die Änderungen des Trennflächenabstandes  $l$  zur Schieferung, bezogen auf die Tiefe. In den Spalten 21 und 22 sind die 17 bzw. 5 identifizierte Homogenbereiche dargestellt.

Die maximale Anzahl des identifizierten Homogenbereiches beträgt 50. Die minimale Anzahl, an der eine Grenzposition möglich ist, liegt bei jedem zweiten Datenpunkt.

In der Spalte 23 sind die von der 3G identifizierten Gebirgsarten dargestellt, um eine Vergleichsmöglichkeit der eruierten Homogenbereiche mit den von der 3G ermittelten Homogenbereichen zu ermöglichen.

# KERNBOHRUNG 26

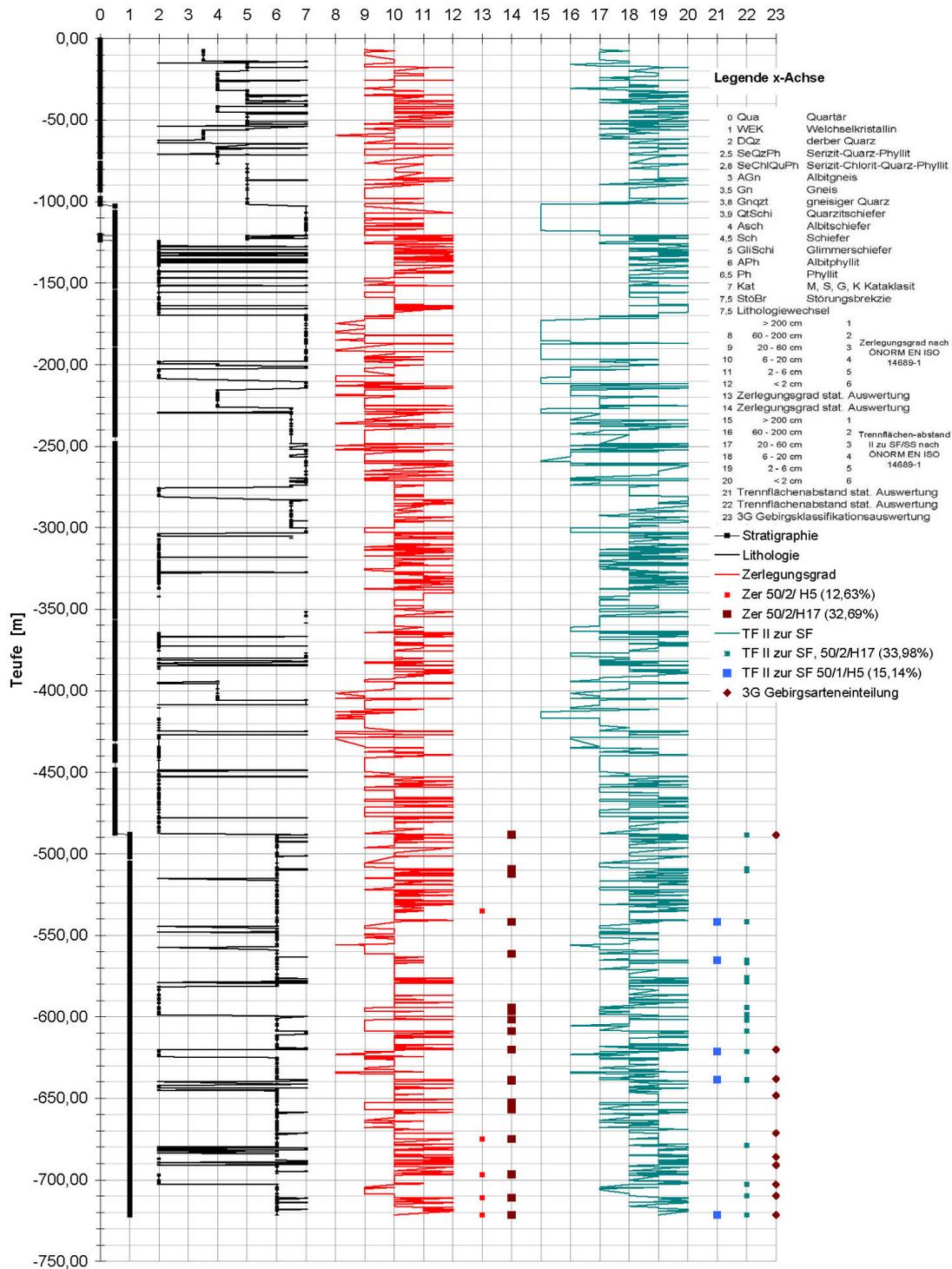


Abb. 54: Darstellung ausgewählter Daten und identifizierte Homogenbereiche der KB 26

## 4.3 INTERPRETATION DES STÖRUNGSSYSTEMS

### Störungssysteme in Längenschnitten

Längenschnitte geben einen Einblick in den dreidimensionalen Aufbau des Gebirges und zeigen die Beziehungen zwischen verschiedenen baugelologischen Einheiten. Sie stellen ein wichtiges Werkzeug zur Verbesserung der strukturellen Interpretation von geologischen Karten dar.

Um eine möglichst gute Genauigkeit der dreidimensionalen Interpretation zu erreichen, ist es notwendig, folgende geometrische Relationen zu berücksichtigen.

- 1) die vertikale Überhöhung des topographischen Geländereiefs
- 2) die Richtung des Profils
- 3) die Position des Profils innerhalb der Struktur
- 4) die Einfallsrichtung der geschnittenen Fläche

Vom vorhandenen Längenschnitt in Tunnelachse wurden 500 m nördlich und 250 m südlich zwei Profile erstellt (siehe Abb. 55). Diese basieren auf regionalgeologischen, großtektonischen und punktuellen Informationen. Die Tunnelachse weicht im östlichen Abschnitt  $12^\circ$  von E-W ab, daher muss die Orientierung  $102^\circ$  berücksichtigt werden. Im westlichen Abschnitt wurden die  $8^\circ$  ( $82^\circ$ ) berücksichtigt.

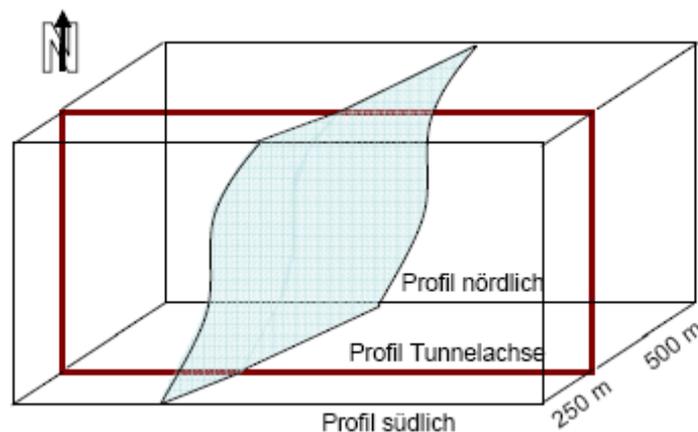


Abb. 55: Schematische Darstellung Profil N und Profil S

Im ersten Schritt wurde durch den Verschnitt der Profilrichtung mit den Höhenschichtlinien ein topographisches Geländeprofil erzeugt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es zu keiner Überhöhung des Geländeprofiles kommt.

Die Daten, welche ein Modell im Kopf entstehen ließen, wurden in zwei Längenschnitten dargestellt. Um die Daten richtig zu projizieren, ist die Richtung des Profils ausschlaggebend. Üblicherweise ist die anzustrebende Darstellung von Flächen in einem Querprofil senkrecht zur Streichrichtung. In dem Fall kann die Fläche mit dem wahren Fallwinkel in das Profil gezeichnet werden (WALLBRECHER 1986). Wenn das Profil aber schief zur Fallrichtung ist, ist es wichtig, den scheinbaren Fallwinkel zu kennen. Die Ermittlung des scheinbaren Fallwinkels kann sowohl mit Hilfe von trigonometrischen Funktionen als auch auf geometrischen Weg erfolgen.

Um eine korrekte Projektion zu erhalten, ist neben der Umrechnung von wahren in scheinbaren Fallwinkel zusätzlich der Offset der Bohrungen zum Profil zu berücksichtigen. Da hier das Problem der Dreidimensionalität zu greifen beginnt, ist vorausgesetzt, dass die Projektion in einer Ebene passiert, daher auf gleichbleibender Meereshöhe (Abb. 56). Da es sich um richtungsorientierte Bohrungen handelt, ist zu beachten, dass sich auch der Offset der Bohrung mit der Tiefe ändert.

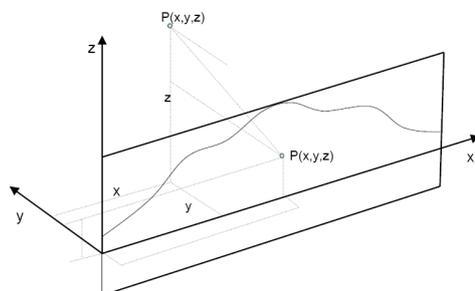


Abb. 56: Längenschnitt Projektion in einer Ebene nach Nord und Süden

Aus diesen berücksichtigten Faktoren ergibt sich ein Punkt im nördlichen bzw. im südlichen Profil. Die Kartierung des Lineaments an der Oberfläche wurde als übergeordneter Faktor miteinbezogen.

Unschärfen im Modell sind kaum zu verhindern, da nur wenige Daten zur Verfügung stehen und die erhobenen Daten mit Unsicherheiten behaftet sind. Durch gezielte Analysemethoden wurde versucht, die Unschärfe der Störungen auf ein Minimum zu reduzieren. Dabei fanden die Oberflächendaten sowie die gemessenen

Orientierungswerte der Kernbohrung Einfluss. Die lithologische Interpretation erfolgte aufgrund der in der Bohrung auftretenden Lithologien und Orientierungen. Die Lithologie ist in drei unterschiedliche lithologische Bereiche untergliedert und wurde nach Süden und Norden projiziert.

Der Längenschnitt in Tunnelachse ist von der 3G erstellt worden (siehe Anhang). Im Folgenden ist die ingenieurgeologische Charakterisierung des geologischen Längenschnittes in Tunnelachse (Interpretation 3G) dargestellt.

Der ganz im Osten auftretende Albitgneis und Serizit-Chlorit-Quarz-Schiefer ist mit quarzischen Gneis in Wechsellagerung anzutreffen und zeigt eine Wechselfolge von anisotropen, kompetenten Lagen. Der Gebirgsabschnitt ist blockig zerlegt sowie anisotrop schiefrig und teilweise mürb geschert. Der Bereich erstreckt sich von km 91,7 bis 92,3.

Der Albitgneis, von km 92,3 bis 92,8, weist eine geringe bis mäßige Zerlegung auf. Es treten Abschnitte von dick bankiger Ausbildung mit geringer Zerlegung sowie dünnbankige Ausbildungen mit starker Zerlegung auf. Vereinzelt sind gescherte graphitische Zonen mit Mächtigkeiten im oberen Meterbereich vorzufinden.

Die Schieferungsflächen in den beiden zuvor beschriebenen Bereichen folgen einem Faltenbau mit einer nach WSW (30°) abtauchender Faltenachse. Es dominiert flaches bis mittelsteiles Einfallen nach W bis NW. Die Störungszonen verlaufen parallel bis spitzwinkelig zur Schieferung mit meist mittelsteilen Einfallen nach Westen.

Der Albitphyllit, zwischen km 93,0 und 94,0, mit Zwischenlagerung aus graphitreichem Phyllit ist stark anisotrop, meist bankig bis plattig, teilweise mit blättriger Ausbildung. Gescherte Gebirgsabschnitte sowie kataklastische Störungszonen erreichen Mächtigkeiten bis in den unteren Zehnermeterbereich. Die Schieferungsflächen fallen vor allem mittelsteil nach W bis NW ein. Die Störungszonen verlaufen parallel bis spitzwinkelig zur Schieferung mit meist mittelsteilem Einfallen nach West.

Der von der 3G erstellte Längenschnitt wurde als Referenzobjekt für den N- und S-Längenschnitt verwendet. Die Interpretation der Zerrüttungsbereiche erfolgte mit den Daten aus den Kernbohrungen. Sie wurden mit Nummern versehen und im Folgenden werden die einzelnen Zerrüttungsbereiche näher beschrieben.

Die Störung S0 gehört zu den SW-NE streichenden Störungsbereichen die aus der Deckenüberschiebung von Wechsel- auf Semmeringkristallin resultieren. Die 290/37

orientierte und 0,9 m mächtige Störung ist die westlichste der modellierten Störungen und ist nicht an der Oberfläche wiederzufinden.

Die Störung S1 ist in der KB 26 mit einer ähnlichen Orientierung wie S0 anzutreffen. Sie verläuft an der Oberfläche nahezu SW-NE. Die Mächtigkeit in der Bohrung KB 26 erreicht 0,5 m.

Die Störung S2 hat die Orientierungswerte 340/30 und verschneidet sich im nördlichen Profil mit der Fröschnitztalstörung (S5). Die Mächtigkeit, die die Störung in der Bohrung erreicht, ist 1,2 m.

Die Störung S3 befindet sich in der KB 25 in 91 m Tiefe und hat die Orientierungsdaten 305/51. Sie ist an der Oberflächen nicht erkennbar. Die Berechnung des scheinbaren Einfallswinkels ergab  $49^\circ$ .

Die Störung 4 schneidet die KB 25 gerade noch im unteren Bereich. Sie befindet sich in 169 m Tiefe und hat die Orientierung 307/38 und ist eine an der Oberfläche kartierte Störung.

Der Zerrüttungsbereich S5 befindet sich östlich der KB 24 in einer Tiefe von 35 bis 40 m. Hier wurde aus drei auftretenden Störungen ein Durchschnittswert von 272/52 ermittelt. Der gesamte Bereich weist eine starke Zerrüttung auf. Diese Störung verläuft entlang der Talsohle des Fröschnitztales.

Die Störung S6 ist in der KB 24 in 248 m Tiefe mit einer Orientierung von 307/40 anzutreffen. Westlich der KB 23 ist die Störungszone an der Erdoberfläche wiederzufinden. Der errechnete scheinbare Einfallswinkel ergab  $37^\circ$ .

Die Störung S7 ist in der KB 22 in 111 m Tiefe wiederzufinden. Sie ist im Vergleich zu den restlichen auftretenden Störungen relativ steil verlaufend. Die Orientierung der Störung ist 253/66. Der daraus errechnete scheinbare Fallwinkel ergibt  $51^\circ$ .

Die Störung 8 verläuft in der KB 22 nahezu parallel zu SF. Mit 300/20 ist sie in der KB 22 nahe der Oberfläche (in 23 m Tiefe), in der KB 23 in 83,4 m Tiefe und in der KB 24 in 295 m Tiefe wiederzufinden. Zuerst weist sie ein steileres Einfallen auf, das sich später ein wenig abflacht.

Die Störung 8\_1 hat eine Orientierung von 289/34 und läuft im oberen Bereich mit dem Zerrüttungsbereich S8 zusammen.

Die Störung 9 ist in der KB 22 in 345 m Tiefe mit der Orientierung 280/50 anzutreffen und ist nicht an der Erdoberfläche wiederzufinden.

Die Störung 10 ist ein in der KB22 in 448 m Tiefe vorzufindender Zerrüttungsbereich und weist eine Orientierung von 200/38 auf.

Aus den vorhandenen Daten ist die Berechnung durchgeführt worden. Im Anhang befindet sich eine detaillierte Auflistung der errechneten Werte der Störungen. Die Ergebnisse wurden in einem geologischen Längenschnitt zusammengeführt.

Im Anhang werden alle drei Längenschnitte dargestellt. Die erste Abbildung zeigt den Längenschnitt, der von der 3G erstellt wurde. Danach folgen der südliche und der nördliche Längenschnitt.

#### **4.4 KOORDINATENZUORDNUNG ALLER DATENSÄTZE**

Die richtige Koordinatenzuordnung der Bohrkernaufnahmen erfolgte mit dem Bezugssystem des BVM. Dafür wurde ein eigens dafür geschriebene Makro im Excel erstellt. Alle erhobenen Daten wurden der wirklichen Tiefe zugeteilt (also der Tiefe, in der sie wirklich anzutreffen sind). Um exakte Werte zwischen zwei BVM-Daten zu erhalten, wurde ein lineares Interpolationsverfahren angewendet.

Die große Anzahl der zur Verfügung stehenden Softwarepakete macht es notwendig, geospezifische Daten in transferierbare Formate zu bringen. Die große Anzahl von verschiedenen Datenformaten war und ist noch immer einer der größten Hindernisse, um effiziente mulitdimensionale Analysen durchführen zu können.

Um die Daten in ein einheitliches Format zu bringen, wurden die Daten in ein ASCII-Text-Format konvertiert.



## 4.5 PROZESS DER 3D MODELLIERUNG

### 4.5.1 ZUSAMMENFÜHRUNG IN EIN GEMEINSAMES KOORDINATENSYSTEM

Das Koordinatensystem der Bohrungen ist mit dem EPSG Code 31256 des MGI Austria-Gauß-Krüger-Koordinatensystem East gegeben. Aus diesem Grund wurden alle weiteren Daten in dieses Koordinatensystem transferiert.

Die Erhebung der Koordinaten der Tunnelachse, des Profils Nord und Süd an der Erdoberfläche erfolgte mit Zuhilfenahme von Arc-GIS. Exportiert wurden die Daten im ASCII Text Format, um eine Weiterverarbeitung zu ermöglichen. Der Export der Arc-GIS Koordinaten der Tunnelachse erfolgte in einem Abstand von 100 m, die dazwischen liegenden Koordinaten wurden mit Hilfe eines Interpolationsverfahrens ermittelt.

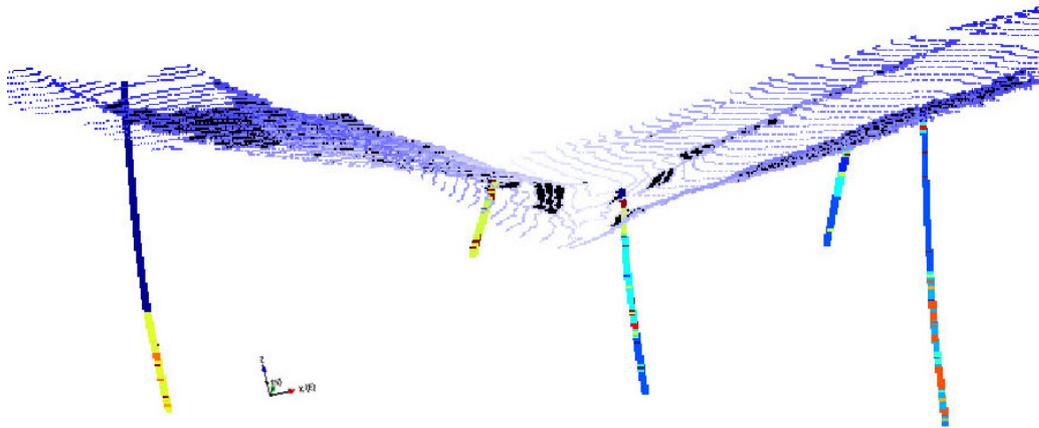
Der Längenschnitt wurde nun im ACAD mit den x und z Koordinaten definiert. Die Grundkoordinaten wurden aus dem ACAD File generiert. Für das Profil nördlich und südlich der Tunnelachse sind die Koordinaten in einer eigenen Excel-Datei berechnet und dementsprechenden Attributen zugeteilt worden.

Um die Krümmung der Tunnelachse nicht zu vernachlässigen und inkorrekte Koordinaten zu vermeiden, sind für die Abweichungen von 8°, 12° und 0° Korrekturfaktore eingeführt worden (siehe Tab. 7).

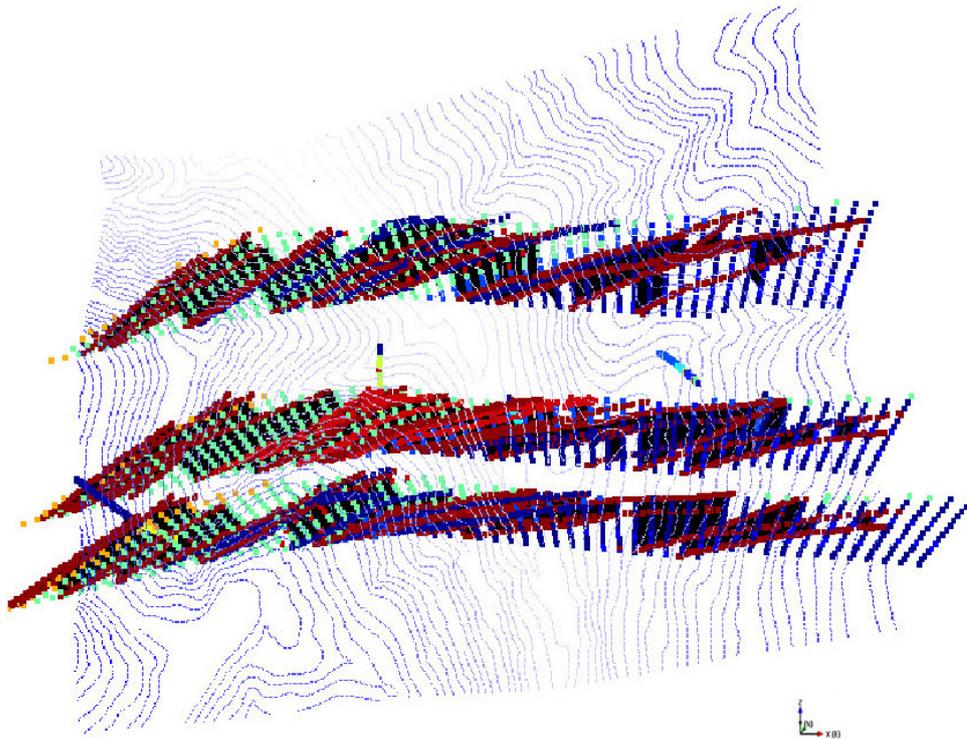
Tab. 7: Korrekturfaktoren der Koordinatenberechnung

Koordinaten	Korrekturfaktor [m]	Abweichung [Grad]
X	49.5	8° Korrekektur
	50.0	waagrechter Korrekturfaktor
	48.9	12° Korrekturfaktor
Y	5	8° Korrekektur
	0	waagrechter Korrekturfaktor
	10	12° Korrekturfaktor

Nach Errechnung der Koordinaten wurden diese zusammen mit den dazugehörigen Attributen in einem .gslib Fileformat konvertiert, um die Daten in einer 3D fähigen Software (SGeMS) visualisieren zu können (Abb. 57 und Abb. 58).



Seitenansicht des Modellbereiches



Frontalansicht der drei Profile

Abb. 57: Dreidimensionale Darstellung der Profile und der Bohrungen

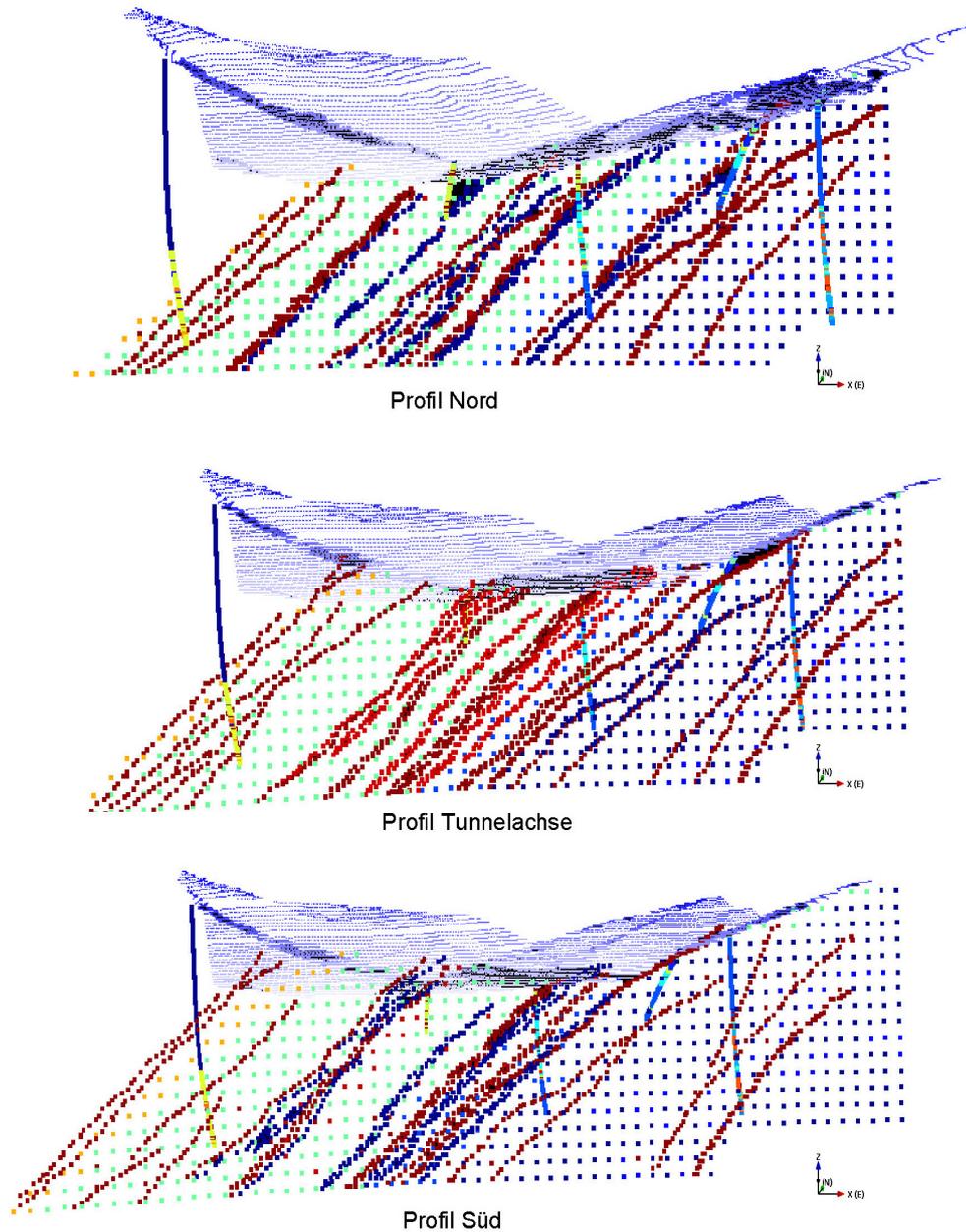


Abb. 58: Profil nördlich, südlich und in Tunnelachse

#### 4.5.2 MODELLIERUNG VON STÖRUNGSZONEN UND LITHOLOGISCHEN GRENZBEREICHEN

Die Grenzbereiche von Störungszonen sowie Grenzbereiche von Lithologien wurden separat modelliert. Dies erfolgte mit Hilfe von weiterführenden mathematischen Modellierungs- Algorithmen die, LIU (2008, unveröffentlicht) entwickelte.

Diese Methode generiert aus den Kontrollpunkten der Grenzfläche, dem geologisch tektonischen Konzeptmodell nördlich, südlich und in Tunnelachse eine dreidimensionale Fläche. Die Abb. 59 zeigt die modellierten Störungszonen.

Die Richtung und Lagen der modellierten Störungen und der modellierten lithologischen Grenzen wurden durch die gemeinsamen Darstellungen mit echten Bohrlochlogs im MGI-Koordinatensystem überprüft. Der Vergleich der Störungen mit den in der Bohrung gemessenen Werten hilft die Richtigkeit der Flächen zu überprüfen. Die Übereinstimmung der modellierten Algorithmen mit den in der Bohrung auftretenden Flächen zeigt, dass diese Algorithmen gut für die Modellierung von Störungszonen geeignet sind.

Die Abb. 60 zeigt die Übereinstimmungen der modellierten Störungszonen in echter dreidimensionaler Lage. Dargestellt sind die Zonen als plane Flächen mit den in Kernbohrungen identifizierten echten Störungen.

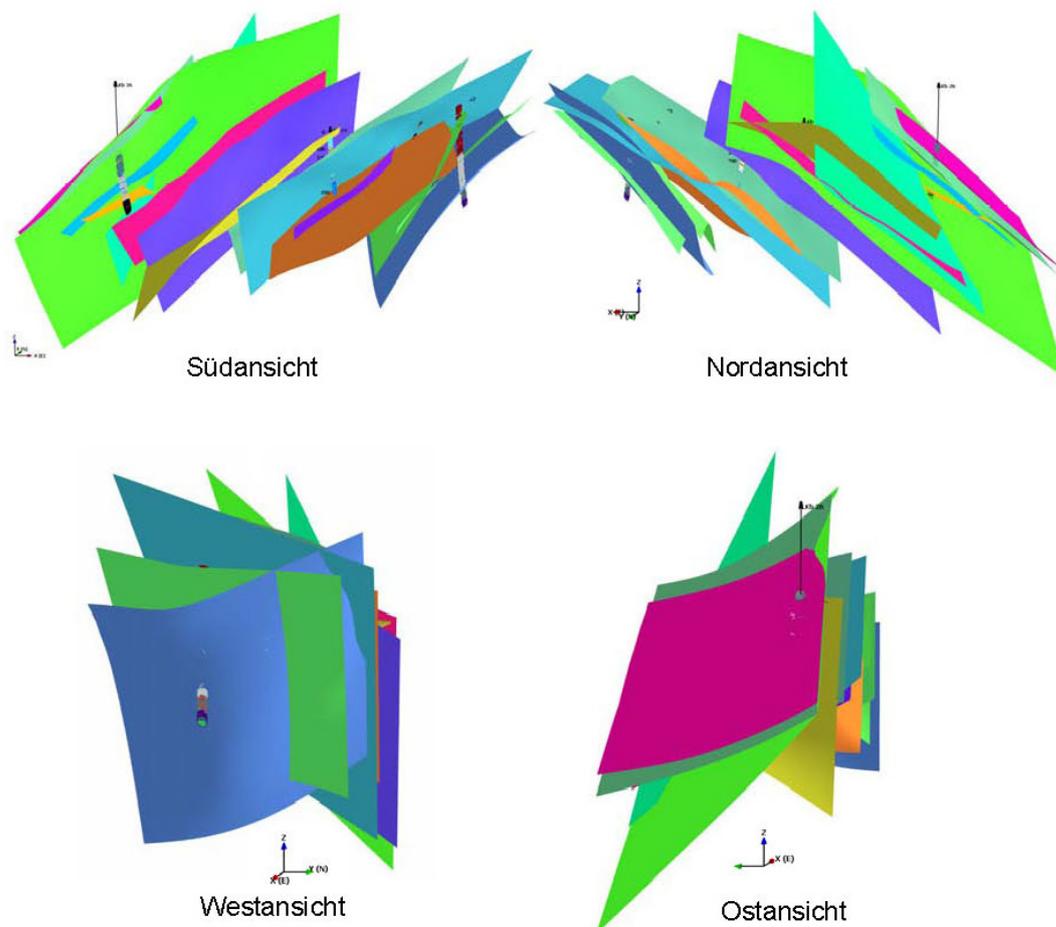


Abb. 59: Modellierte Störungszonen erstellt mit weiterführenden mathematischen Algorithmen

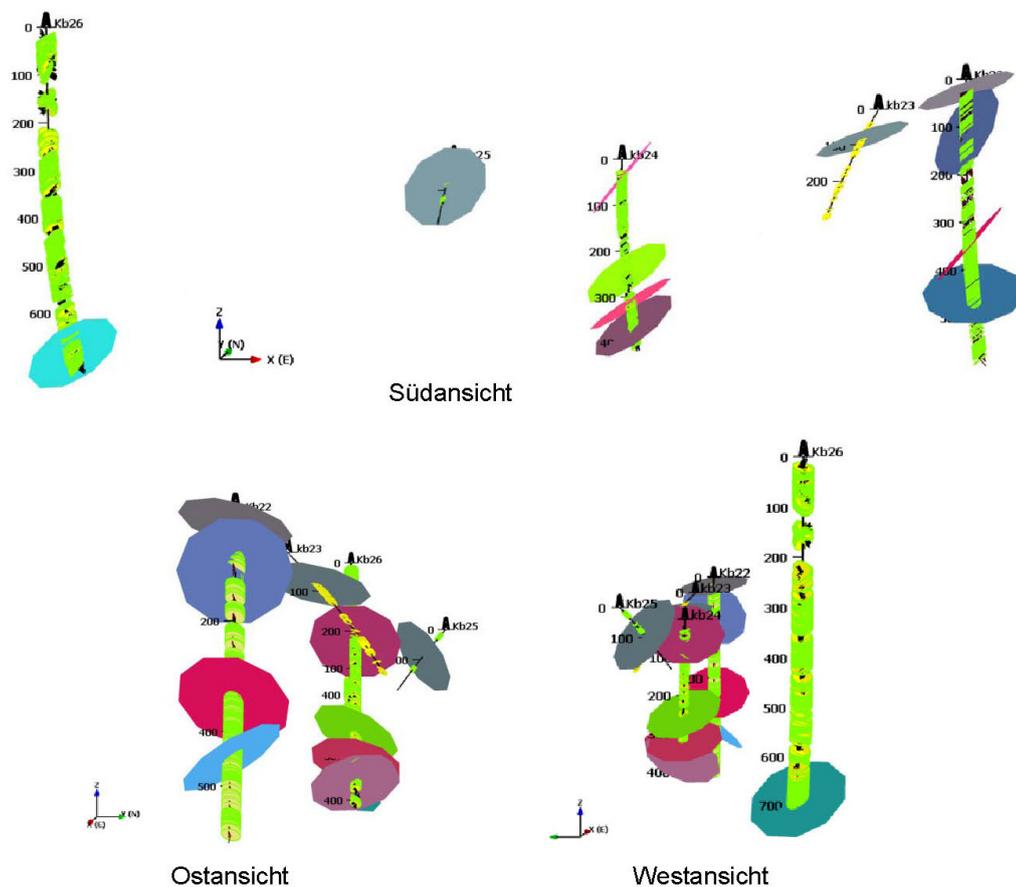


Abb. 60: Darstellung der Bohrungen mit den modellierten Störungszonen, in Süd-, Ost- und Westansicht

### 4.5.3 DAS TRENNFLÄCHENSYSTEMMODELL

Die Erstellung des Trennflächensystemmodells erfolgte in Anlehnung an das Skript „Modeling in Engineering Geology“ von LIU (2010).

Das Kluft-, Fracture- oder Trennflächensystemmodell, ist ein Modell, mit welchem realistische Zerlegungsmuster dargestellt werden. Die kombinierte Anwendung des Trennflächensystemmodells mit der Keyblock Theorie von Goodman & Shi ermöglicht realistische ingenieurgeologische Analysen für den Tunnelbau.

Die im Modell relevanten stochastischen Parameter sind die Lokalisierung und das Auftreten der Trennflächen im Raum, die Intensität, die Orientierung, die Größe, die Form und andere Attribute (LIU 2010).

Um Trennflächensystemmodelle generieren zu können, ist es notwendig, eine Analyse der Strukturdaten durchzuführen. Dies erfolgte mit dem kumulativen Fracture-Intensitätsplot in Kombination mit der Orientierungsstatistik und der räumlichen Anordnung von Trennflächen.

- **Cumulative Fracture Intensity Plot (CFI Plot)**

Ziel der Auswertung ist es, aus einzelnen Bohrungen Zerlegungsintensitäten (P10 - Intensitäten) und durchschnittliche Polorientierungen herauszufiltern. Dies geschah mit dem Programmen FracMan7 und MS Excel. In einem weiteren Schritt wurden die Zerlegungsintensitäten dazu verwendet, um volumsmäßige Trennflächenintensitäten zu bestimmen und daraus die Modellparameter festzulegen. Die dafür verwendeten Daten sind die Strukturdaten der Bohrungen. Sie beinhalten Informationen über das Auftreten von Schieferung (SF), Klufffläche (K), Harnischfläche (HS), Harnisch (H) und Trennfläche (TF) in unterschiedlichen Tiefen.

Mit Hilfe von kumulativen Fracture-Intensitäts-(CFI) Plots wurden konstante Intervalle gleichen Zerlegungsgrades identifiziert. Der CFI Plot zeigt die Prozentzahl der Trennflächen als Funktion der gemessenen Tiefe entlang einer Bohrung. Die in den Plots identifizierten Bereiche korrelieren mit dem geologischen Aufbau. Eine konstante Steigung zeigt eine Zone von konstanter Trennflächenintensität. Ein flacher Verlauf der Kurve zeigt eine große Anzahl von identifizierten Trennflächen. Steil verlaufende Kurven zeigen Bereiche, in denen weniger Strukturen aufgezeichnet wurden. Aus dieser Tatsache folgt der Rückschluss, dass in diesem Bereich weniger Zerlegung auftritt. Eine flach verlaufende Kurve ist ein Indikator für viele aufgezeichnete Datensätze. Ungünstiges Einfallen von Diskontinuität kann bewirken, dass die Daten bei der Messung nicht erfasst wurden. Die folgenden Punkte beschreiben Parameter, die zur Erstellung des Modells notwendig sind:

- **Orientierungen**

Mit Stereoplots (Schmidtsche Equal- Area Projektion in der unteren Hemisphäre) wurden die Orientungsverteilungen in verschiedenen Trennflächenintensitätsbereichen dargestellt. Bei dieser Darstellung plotten horizontale Pole im Zentrum des Stereoplots, vertikale Pole plotten am Rand.

Verschiedene Methoden für die Berechnungen der theoretischen Orientierungsverteilungen kamen zur Anwendung. Diese sind die univariante Fischer Verteilung, die bivariate Fischer Verteilung, die bivariate Normalverteilung sowie die bivariate Bingham Verteilung. Theoretische Orientierungsverteilungen sind wichtige Werkzeuge um auftretende Unsicherheiten zu quantifizieren und realitätsnahe Prognosen zu erstellen.

Tab. 8: Zusammenfassung der Verteilungsarten mit den beschreibenden Parametern

Verteilungsart	beschreibende Parameter	Verteilung über die Fläche
Fischer	durchschnittliche Orientierung	sphärisch
bivariate Fischer	durchschnittliche Orientierung	sphärisch
bivariant Normal	durchschnittliche Orientierung und Standardabweichung	linear
bivariant Bingham	durchschnittliche Orientierung als auch Konzentrationsparameter	sphärische Fläche

Wenn die Polpunkte sphärisch um den Durchschnittspol orientiert sind, kann die Fischer-Verteilung zur Beschreibung der Orientierungen verwendet werden.

Die Fischer-Verteilung ist definiert durch die Durchschnittspolorientierung und dem Streuparameter  $K$ , welcher zwischen 0 und  $\infty$  liegt. Werte um 0 bedeuten, dass kein aussagekräftiger Durchschnittspol vorhanden ist, und  $\infty$  zeigt, dass alle Orientierungen genau gleich sind. Typische  $K$ -Werte liegen zwischen 5 und 50 (Abb. 61).

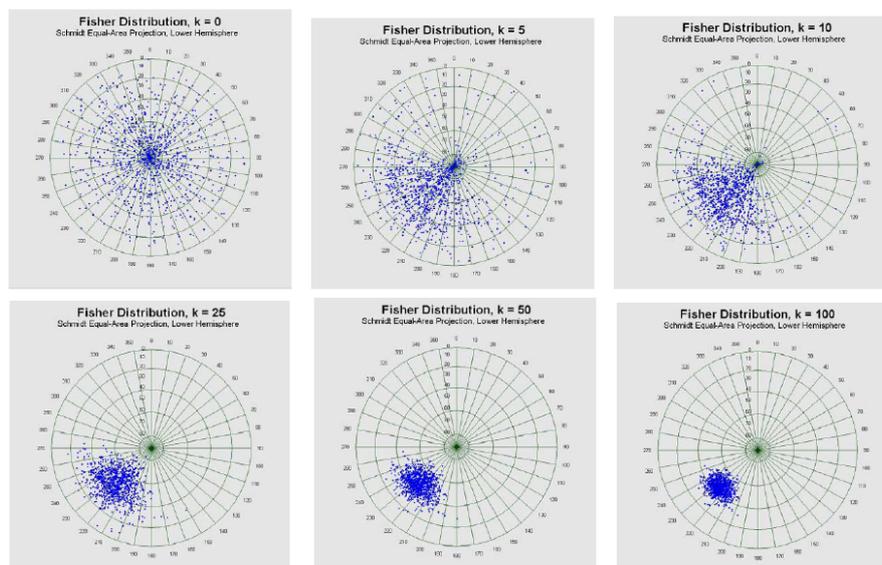


Abb. 61: Univariante Fischerverteilung mit Durchschnittsvektor  $45^\circ/45^\circ$  and  $K$ , LIU (2010)

Die bivariate Fischerverteilung wird durch die Durchschnittsorientierung und den Fischer Parameter  $K_1$  und  $K_2$  definiert.

Wenn  $K_1$  gleich  $K_2$  ist, dann spricht man von einer univariaten Verteilung. Wenn  $K_1$  größer als  $K_2$  ist, konzentrieren die Orientierungen eher in der Richtung  $0^\circ$  oder  $180^\circ$ . Wenn  $K_1$  kleiner als  $K_2$  ist konzentrieren sich die Orientierungen eher in der Richtung  $90^\circ$  oder  $270^\circ$  (Abb. 62).

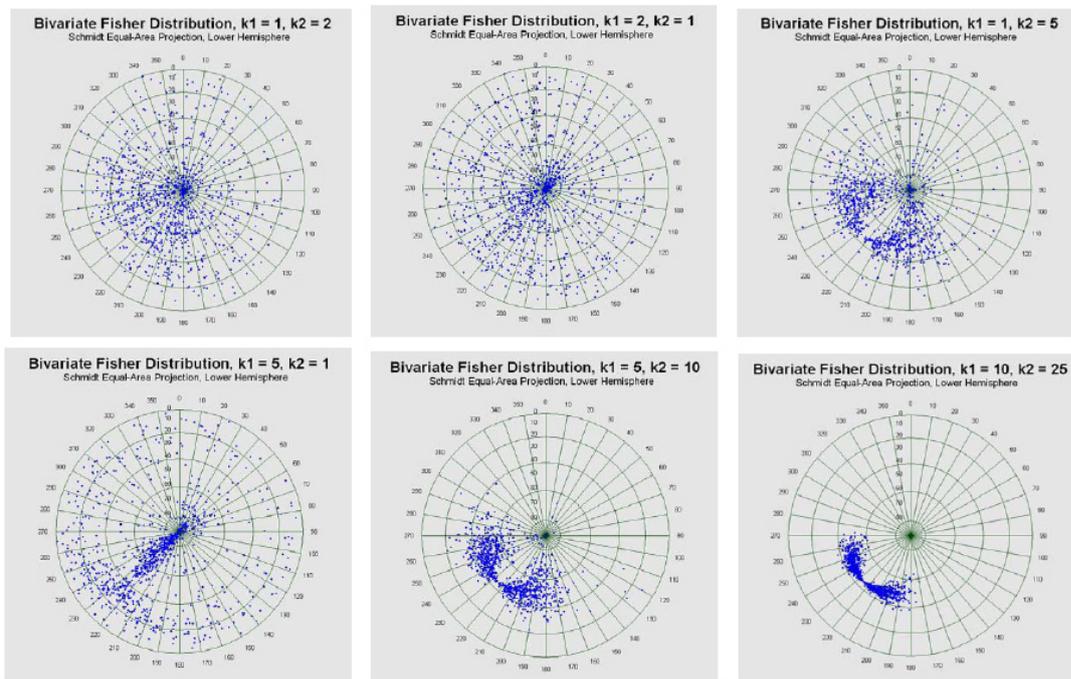


Abb. 62: Bivariate Fischerverteilung mit Durchschnittsvektor  $45^\circ/45^\circ$  and  $K$ , LIU (2010)

Die bivariate Normalverteilung (Abb. 63) definiert sich durch fünf Parameter. Diese sind die Durchschnittsorientierung, die Standardabweichung der Fallrichtung und Fallwinkel, von Streuungsparameter 1 und Streuungsparameter 2 und dem Korrelationskoeffizient  $K_{12}$ .

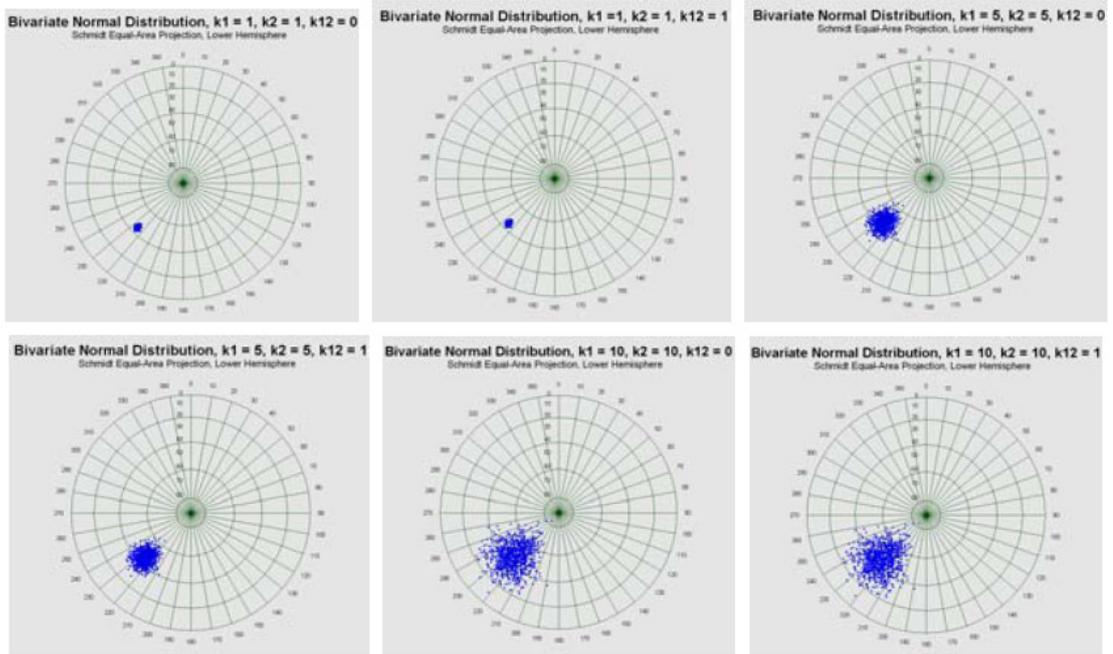


Abb. 63: Bivariant Normalverteilung mit  $45^\circ/45^\circ$  mit unterschiedlichen  $k_1, k_2$  und  $k_{12}$ , LIU (2010)

Die bivariate Binghamverteilung (Abb. 64) definiert sich durch die Durchschnittsorientierung als auch durch den Korrelationskoeffizient  $K_1$  und  $K_2$ .

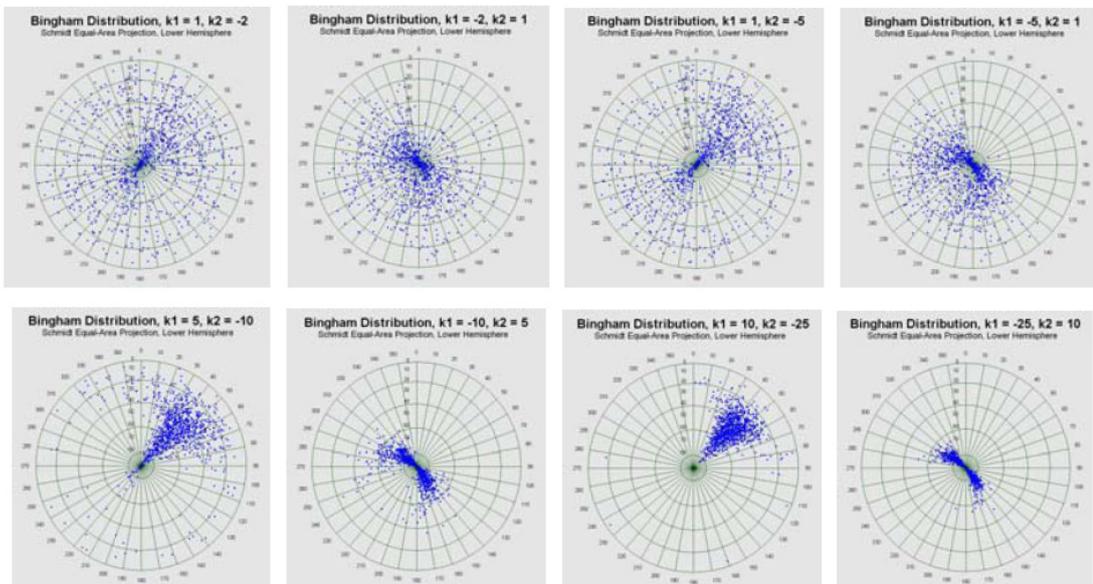


Abb. 64: Bivariant Binghamverteilung mit Durchschnittsvektor  $45^\circ/45^\circ$  und  $k_1, k_2$

- **K-S-Test (Kolmogoroff – Smirnof Test)**

Um zuverlässige Wahrscheinlichkeitsaussagen über Ungewissheiten und Unsicherheiten machen zu können, wurde der K-S-Test (Kolmogoroff – Smirnof Test) angewendet. Der Test prüft sowohl die Anpassung einer beobachteten an eine theoretisch erwartete Verteilung als auch die Homogenität von zwei unabhängigen Stichproben, d.h. ob die Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen. Hier bedeutet die gleiche Grundgesamtheit z.B. eine gleiche tektonische Einheit, ein gleich zerlegter Bereich usw.. Der K-S-Test gilt als der schärfste von allen Homogenitätstest, da er Unterschiede aller Arten von Verteilungsformen berücksichtigt (LIU 2005). Der K-S-Test unterscheidet sich vom  $\chi^2$  Anpassungstest durch die Verteilungsunabhängigkeit. Es gibt keine Mindestanzahl an Stichproben und Abweichungen von Verteilungsformen sind mit diesem Test besser nachzuweisen (LIU 2010).

- **Intensität**

Die Intensität gibt die Anzahl der Trennflächen pro Einheit Längen, Fläche oder Volumen an. Beschrieben kann die Trennflächenintensität mit dem Wert  $P_{ba}$  werden. P steht für die Intensität, der b-Wert zeigt die Dimension der Probenregion und der Wert a steht für die Dimension der Zerrüttungseigenschaft (Abb. 65).

P10 bedeutet, dass die Intensität linear entlang der Bohrung gemessen wurde. Im P32-Wert ist zusätzlich das Volumen miteinbezogen.

Sampling region b		Fracture dimension a	
point	0	number	0
linear	1	length	1
area	2	area	2
volume	3	volume	3

Abb. 65: Dimension der Probenregion und Dimension der Zerrüttungseigenschaft (LIU 2010)

Die Abb. 66 zeigt die Beziehung der Trennflächendimensionen.

A cross table for the complete descriptions of fracture intensity

			Dimension of the fracture property, a			
			0	1	2	3
Dimension of the sampling region, b	Point measures	0	$P_{00}$ [length] <sup>0</sup> <sub>(1)</sub>			
	Linear measures	1	$P_{10}$ [length] <sup>-1</sup> <sub>(2)</sub>	$P_{11}$ [length] <sup>0</sup> <sub>(1)</sub>		
	Areal measures	2	$P_{20}$ [length] <sup>-2</sup> <sub>(3)</sub>	$P_{21}$ [length] <sup>-1</sup> <sub>(2)</sub>	$P_{22}$ [length] <sup>0</sup> <sub>(1)</sub>	
	Volumetric measures	3	$P_{30}$ [length] <sup>-3</sup> <sub>(3)</sub>	$P_{31}$ [length] <sup>-2</sup> <sub>(3)</sub>	$P_{32}$ [length] <sup>-1</sup> <sub>(2)</sub>	$P_{33}$ [length] <sup>0</sup> <sub>(1)</sub>

<sup>(1)</sup> porosity; <sup>(2)</sup> intensity; <sup>(3)</sup> density

Abb. 66: Tabelle der gesamten Beschreibung von Bruchintensität, nach LIU (2010)

Der P10 Wert spiegelt die Zerlegungsintensität in Bohrrichtung wieder. Bereiche gleicher Intensität werden zusammengefasst und aus der Anzahl der gemessenen Daten, über eine bestimmte Länge, werden Zerlegungsintensitätswerte generiert.

Der P32-Wert gibt die volumsmässige Trennflächenintensität an und ist ein dimensionsloser und maßstabsunabhängiger Wert. Weiters wird dieser Wert von keinen Orientierungsrichtungseffekten beeinflusst. Der Nachteil ist, dass er nicht direkt von den Messungen ermittelt werden kann (LIU 2010). Nach DERSHOWITZ & HERDA (1992) steht der P10-Wert in einer linearen Beziehung zum P32-Wert.

Er errechnet sich wie folgt:

$$P32 = P10 \frac{P32^*}{P10^*}$$

wobei P10 die gemessene Intensität in eine bestimmte Richtung, abhängig von der Bohrung, P10\* die simulierte lineare Intensität in eine bestimmte Richtung, P32\* ein angenommener Wert bei 0,05 ist.

- **Position und Anordnung im Raum**

Mit einer gleichen Orientierungsverteilung und einer gleichen Intensität könne Trennflächen im Raum unterschiedlich angeordnet sein. Die Anordnung im Raum muss bei der Modellierung berücksichtigt werden.

Bei der Anordnung der Trennflächen im Raum kann eines von drei Konzeptmodellen verwendet werden. Dies ist entweder das Enhanced-Baecher-Modell, das Nearest-Neighbor-Modell oder das Levy-Lee-Fractale-Fracture-Modell.

Im Enhanced-Baecher-Modell ist das Bruchzentrum gleichmäßig im Raum verteilt unter Anwendung des Poission-Prozesses.

Beim Nearest Neighbor Modell handelt es sich um ein nichtstationäres Modell bei dem die Bruchintensität exponentiell mit der Intensität und dem Abstand zum Hauptbruch zunimmt.

Das Levy-Lee-Fractal-Modell ist topologisch gleich mit unterschiedlicher Größe oder topologisch ähnlich, aber anisotrop unsortiert in verschiedenen Größen.

Die Abb. 67 zeigt eine Gegenüberstellung von Enhanced Baecher Modell und Levy Lee Fractal Modell bei gleicher Orientierung, gleicher Trennflächengröße und gleichem P32 Wert (bei 0,05). Die Generierung mittels dem Nearest Neighbor Modell ergibt keine Trennfläche im unten angeführten Bereich.

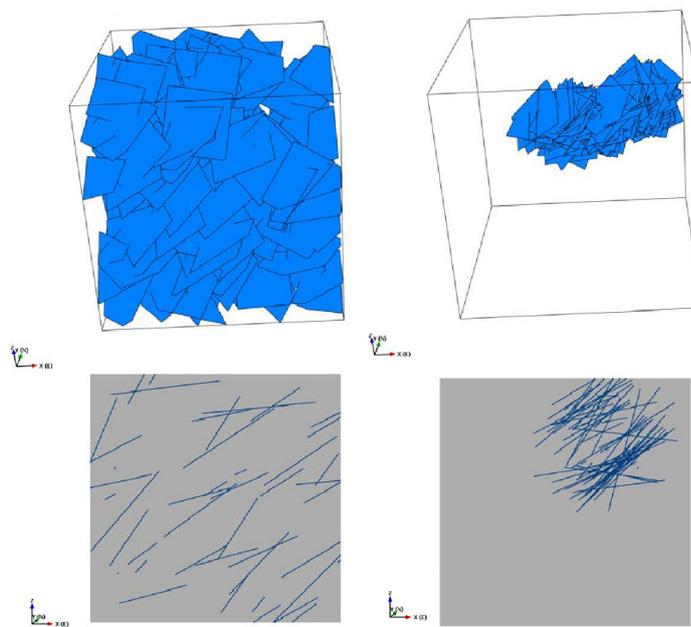


Abb. 67: Darstellung links Enhanced Baecher Modell, rechts Levy Lee Fractal Modell bei gleicher Orientierung 45/45, gleichem P32 Wert und gleicher Trennflächengröße.

## 5 KAPITEL5 / ERGEBNISSE

### 5.1 DIE IDENTIFIKATION VON BEREICHEN GLEICHER ZERLEGUNGSINDENSITÄT

Der folgende Abschnitt zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Strukturdaten. Im den Kapiteln 5.1.1, 5.1.2 und 5.1.3 werden die Homogenbereichszonen der Schieferungsflächen, der Harnischflächen und Harnische, der Kluffflächen sowie die auftretenden Störungen dargestellt. Zur Identifikation der Homogenbereiche der unterschiedlichen Trennflächenintensitäten erfolgte die Erstellung der CFI (Cumulative Fracture Indensity) Plots. Die daraus resultierenden Homogenbereiche wurden auf die Orientierung im Raum und die Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit der ermittelten Werte mittels des Kolmogoroff-Smirnoff-Testes überprüft. Schlussendlich wurden die Zonen der Homogenbereiche mit den Polorientierungen der gemessenen Werte entlang der Bohrungen dargestellt. Im Anhang befindet sich eine vollständige Auflistung der statistischen Auswertung der Homogenbereiche.

#### 5.1.1 DIE HOMOGENBEREICHE DER SCHIEFERUNGSFLÄCHEN

Die Abb. 68 zeigt alle gemessenen Schieferungsflächen der fünf Kernbohrungen.

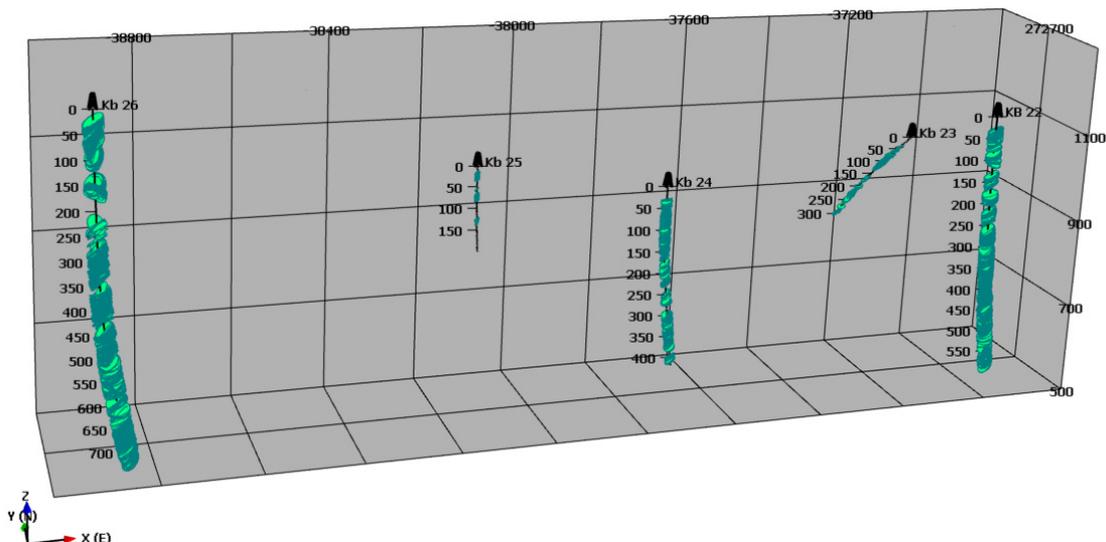


Abb. 68: Darstellung aller gemessenen Schieferungsflächen aller Kernbohrungen

- **Schieferungsflächen (SF) der Kernbohrung 22**

In der Kernbohrung 22 wurden 665 Schieferungsflächen auf einer Länge von 592 m ermittelt. Durch die große Anzahl der Messungen kann die gesamte Kernbohrung als signifikant bewertet werden. Die Abb. 69 zeigt alle in der KB 22 aufgenommenen Schieferungsflächen. Die statistische Auswertung aller Schieferungsflächen unter Verwendung der Fischerverteilung ergab, dass mit 50%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol um 98/55 liegt. Bei Verwendung der bivarianten Binghamverteilung befindet sich die durchschnittliche Polorientierung mit 99,9%iger Wahrscheinlichkeit bei 99/54.

**SF Alle Pole Orientation, KB 22**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

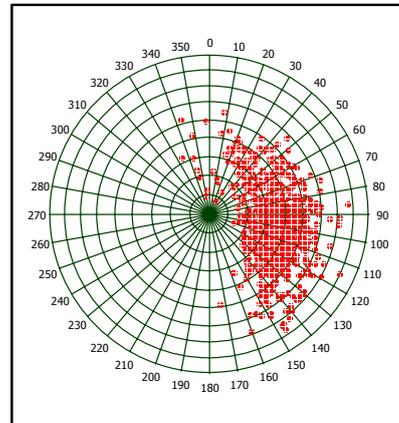


Abb. 69: Darstellung aller Schieferungsflächen der KB 22

Die 592 m lange Bohrung wurde mit Hilfe des Cumulativen Fracture Intensity (CFI) Plots ausgewertet und unter Berücksichtigung der auftretenden Lithologie in vier Homogenbereiche untergliedert. In relativen Tiefen erstrecken sich der Bereich A von 24 bis 307 m, der Bereich B von 307 bis 499 m und der Bereich D von 551 bis 558 m (Abb. 70).

**CFI Plot SF KB 22**

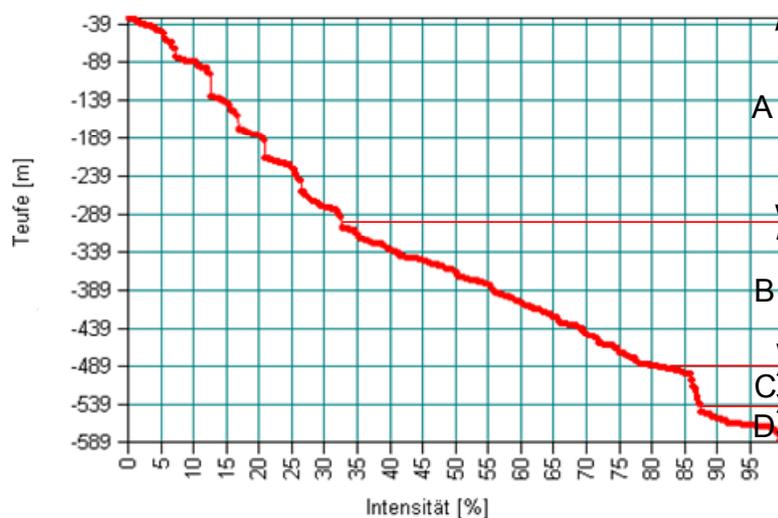


Abb. 70: Zerlegungsintensität der SF KB 22

Der Zerlegungsintensitätswert (P10) des Bereichs A und des Bereichs C liegen um  $0,5 \text{ m}^{-1}$  und  $0,9 \text{ m}^{-1}$  (Tab. 9). Daher liegt in diesem Bereich eine niedrigere Zerlegung vor als im Bereich B und im Bereich D.

Tab. 9: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensität der identifizierten Bereiche

Bereich	Relativer Wert Top [m]	Relativer Wert Bottom [m]	Absoluter Wert Top [m]	Absoluter Wert Bottom[m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [ $\text{m}^{-1}$ ]
KB 22 SF A	34	307	1109	836	273	248	0,90
KB 22 SF B	307	499	836	644	192	407	2,11
KB 22 SF C	499	551	644	592	52	26	0,5
KB 22 SF D	551	588	592	585	37	89	2,42

Die wahrscheinlichsten Werte der einzelnen Bereiche wurden im Bereich A, B und D mit der bivariaten Normalverteilung und im Bereich C mit der Fischerverteilung ermittelt (Tab. 10).

Tab. 10: Statistisch signifikanteste Werte der einzelnen Bereiche

Datenquelle	SF 34-307	SF 307-499	SF 499-551	SF 551-588
Bereich	A	B	C	D
Verteilung	bivariant Normal	bivariant Normal	bivariant Bingham	bivariant Bingham
Fracture Count	248	407	26	86
Relative Intensity	100%	100%	100%	100%
Mean Pole	95/56	95/46	100/52	106/43
Major Axis	279/28	277/38	239/30	242/36
Minor Axis	189/0	187/0	341/20	351/24
K1	36,171	31,976	-16,600	-37,330
K2	8,162	10,061	-5,7355	-9,734
K12	-0,238	-0,358		
Kolmogoroff-Smirnoff	0,0459	0,0380	0,068	0,080
K_S Probability	98,0%	99,3%	99,9%	84,03%

Die Abb. 71 und Abb. 72 zeigen die Polorientierungen der einzelnen Bereiche im Schmidt'schen Netz. Anhand der farbigen Isolinien lassen sich Schwerpunkte der Polorientierung erkennen.

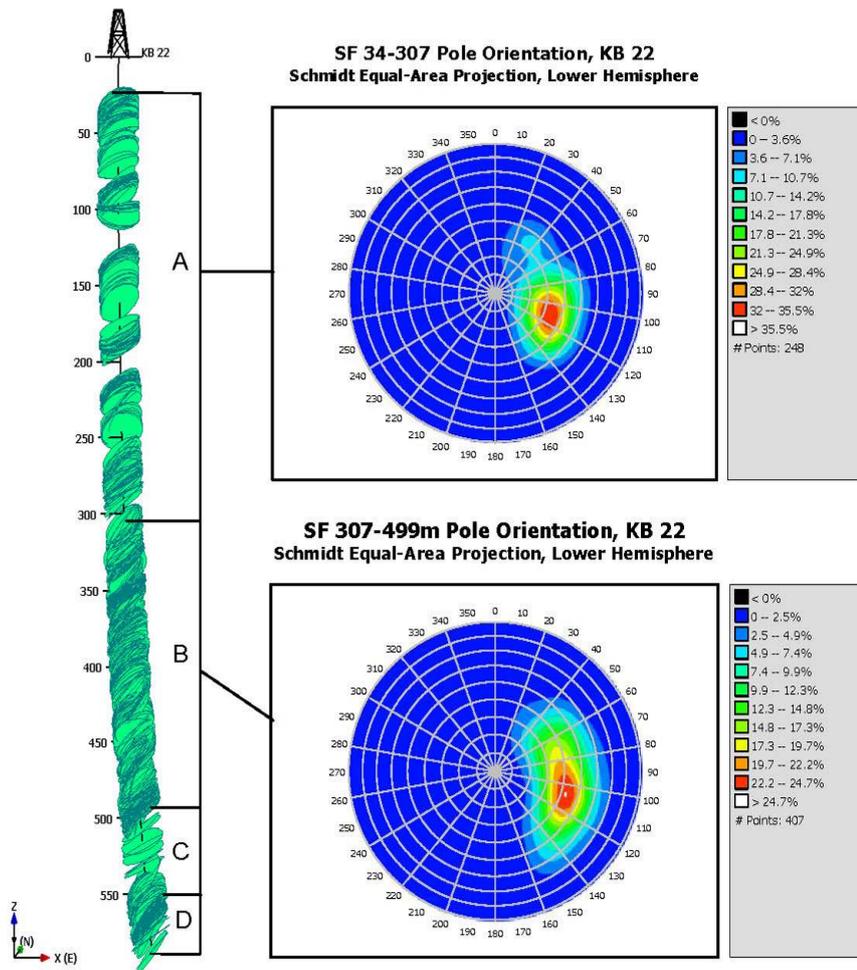


Abb. 71: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches A und B der KB 22 im Schmidt'schen Netz

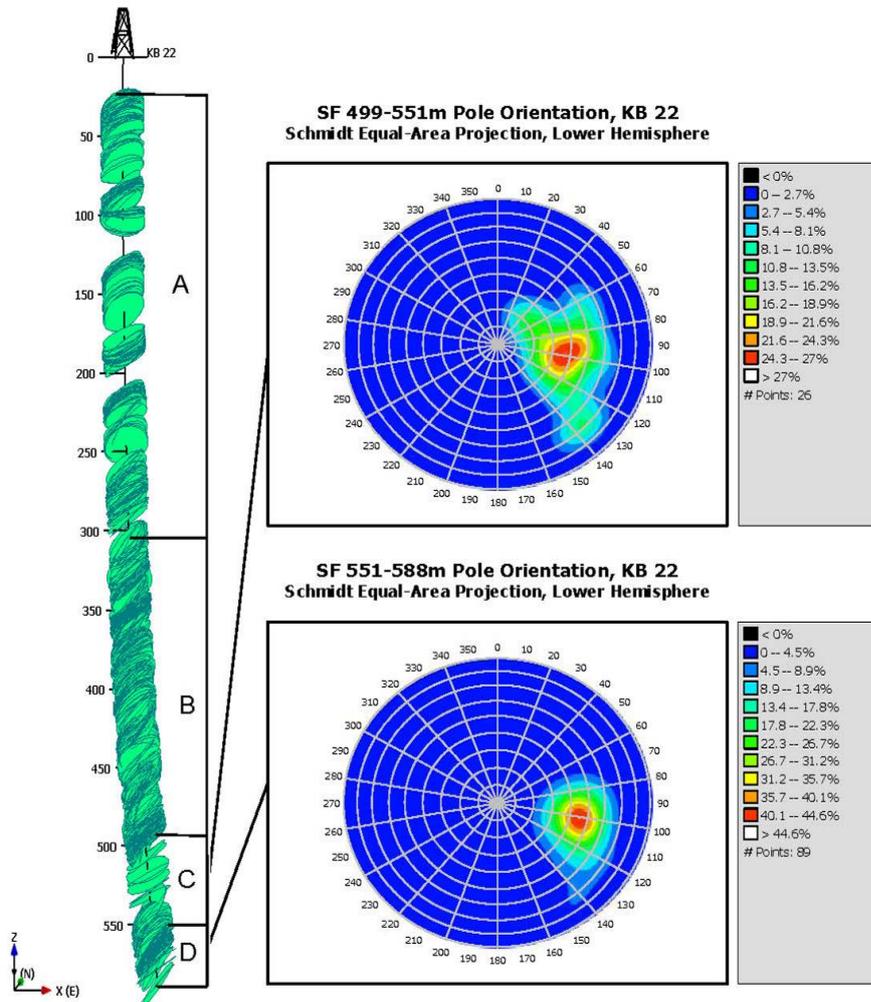


Abb. 72: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches C und D der KB 22 im Schmidt'schen Netz

- **Schieferungsflächen (SF) der Kernbohrung 23**

In der KB 23 wurden 226 Schieferungsflächen auf einer Länge von 301 Meter gemessen. Die SF der KB 23 können daher als signifikant bewertet werden. Die Abb. 73 zeigt alle in der KB 23 gemessenen Schieferungsflächen. Die Berechnung mit Hilfe der Fischerverteilung ergab, dass mit 99,9%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol um 127/73 liegt. Die Verteilung der gemessenen Schieferungsflächen konzentriert sich stark um diesen Punkt.

**SF Alle Pole Orientation, KB 23**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

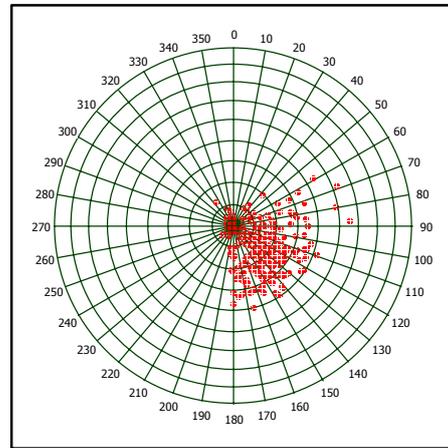


Abb. 73: Darstellung aller Schieferungsflächen der KB 23

Der kumulative Fracture Intensitäts (CFI) Plot zeigt vier Zonen von gleicher Intensitäten (siehe Abb. 74). Die Zone A erstreckt sich von der Teufe 41 m bis zur Teufe 97 m. Die Zone B geht von 97 bis 131 m. Zone C von 131 bis 298 m und die Zone D von 289 bis 200 m. Die Unterteilung der Zonen A und B erfolgte aufgrund von lithologischen Gesichtspunkten. Der Bereich D hat die geringste Anzahl an Messungen (19 Stück).

**CFI Plot SF KB 23**

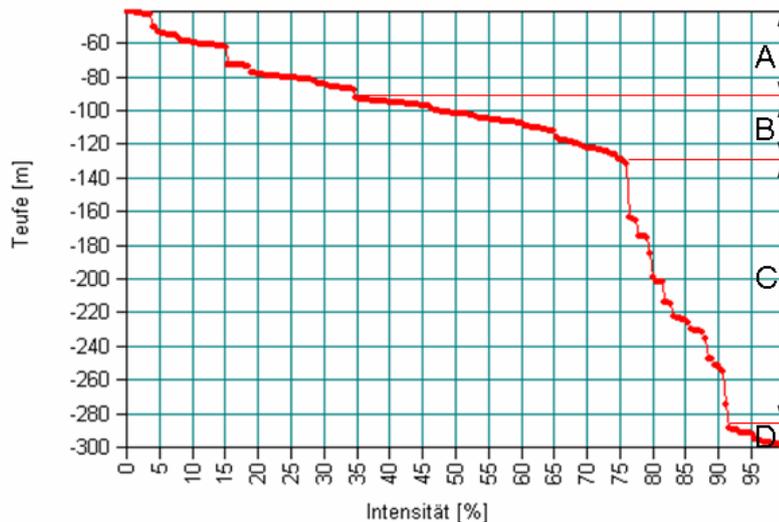


Abb. 74: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Schieferungsflächen der Bohrung KB 23

Die Zerlegungsintensität (P10) im Abschnitt A beträgt  $1,83 \text{ m}^{-1}$  und im Bereich B beträgt sie  $2,0 \text{ m}^{-1}$ . Der Bereich C, der wesentlich steiler ist als die Bereiche A und B, hat einen Zerlegungsgrad von  $0,22 \text{ m}^{-1}$ . Der kurze Bereich von 11 m des Sektors D ist ähnlich wie A und B und liegt bei  $1,72 \text{ m}^{-1}$ . Weiters zeigt die Tab. 11, dass die Schieferungsintensität invers zur Mächtigkeit der Schieferungsflächen ist.

Tab. 11: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensität der identifizierten Bereiche

Bereich	Relativer Wert Top [m]	Relativer Wert Bottom [m]	Absoluter Wert Top [m]	Absoluter Wert Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [ $\text{m}^{-1}$ ]
KB 23 SF A	41	97	1045	989	56	103	1,83
KB 23 SF B	97	131	989	955	34	68	2,0
KB 23 SF C	131	289	955	797	158	36	0,22
KB 23 SF D	289	300	797	786	11	19	1,72

Die Werte mit der höchsten Wahrscheinlichkeit wurden im Bereich A, B und C mit der Fischerverteilung erreicht. Im Abschnitt D wurde die bivariate Normalverteilung als wahrscheinlichster Wert ermittelt (Tab. 12).

Tab. 12: statistische signifikanteste Werte der einzelnen Bereiche

Datenquelle	SF 41-97	SF 97-131	SF 131-289	SF 289-300
Bereich	A	B	C	D
Verteilung	Fischer	Fischer	Fischer	bivariant Normal
Fracture Count	103	68	36	19
Relative Intensity	100%	100%	100%	100%
Mean Pole	135/75	118/75	104/64	158/60
Major Axis	314/15	298/14	284/25	336/29
Minor Axis	44/0	208/0	194/0	246/0
K1	37,709	44,180	15,480	16,815
K2				5,533
K12				0,554
Kolmogoroff-Smirnoff	0,0450	0,0894	0,0891	0,0751
K_S Probability	99,9%	82,5%	97,0%	99,9%

Die Abb. 75 und Abb. 76 zeigen die Polorientierungen der einzelnen Bereiche im Schmidt'schen Netz.

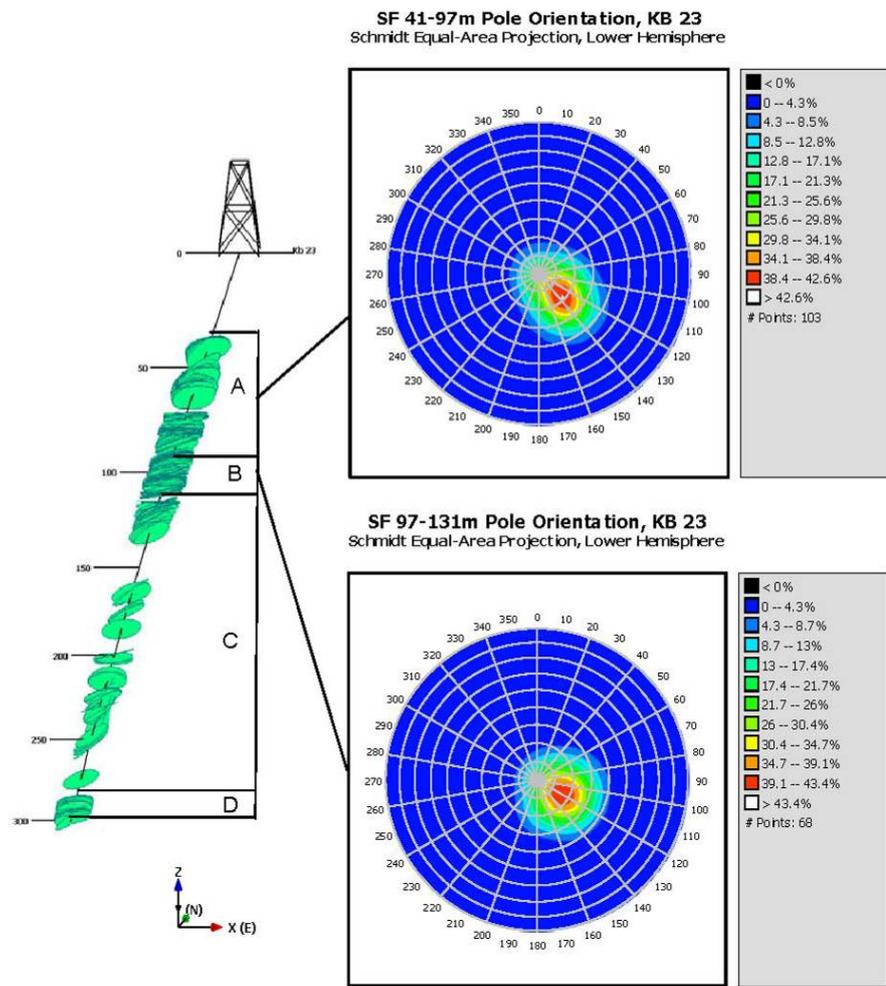


Abb. 75: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches A und B der KB 23 im Schmidt'schen Netz

**SF 131-289m Pole Orientation, KB23**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

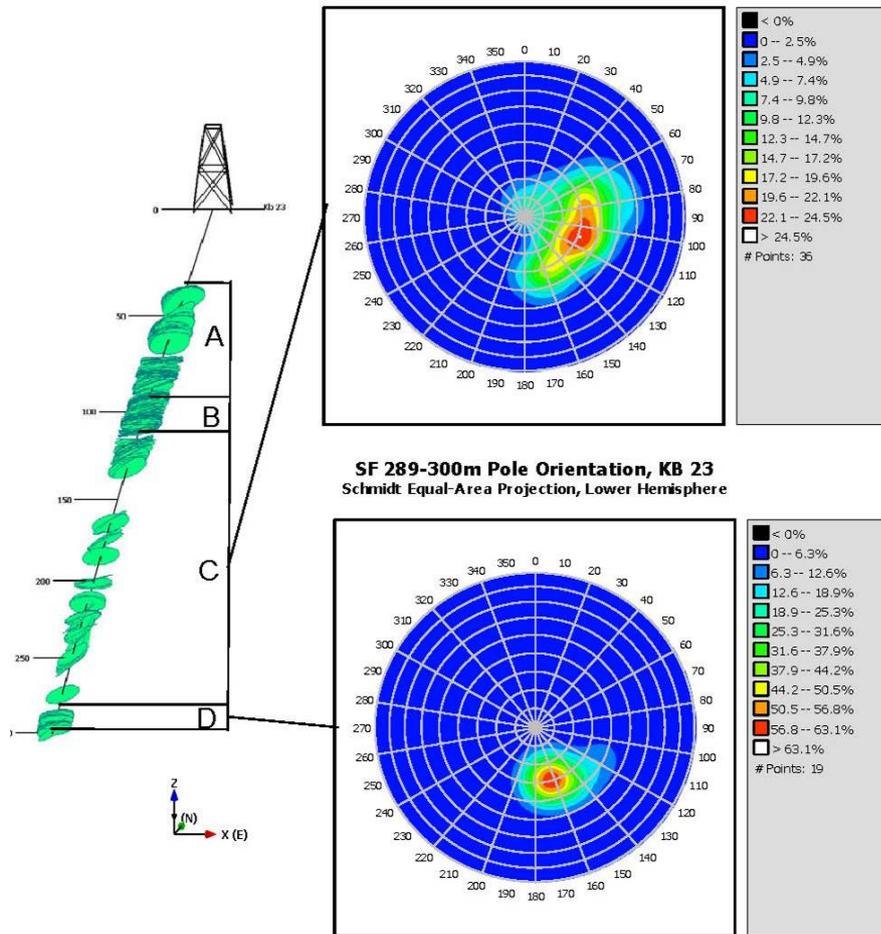


Abb. 76: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches C und D der KB 23 im Schmidt'schen Netz

- **Schieferungsflächen (SF) der Kernbohrung 24**

In der Kernbohrung 24 wurden insgesamt 500 Schieferungsflächen auf einer Länge von 422 m gemessen. Die Abb. 77 zeigt alle in der KB 24 gemessenen Schieferungsflächen. Die Berechnung aller Schieferungsflächen ergab, dass mit 60%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol bei 104/51 liegt.

Die Analyse des CFI-Plots ergab die Identifikation von vier Homogenzonen (siehe Abb. 78). Dies sind die stark zerlegte Zone A von 31 bis 90 m, danach folgt die 133 m lange Zone B von 90 bis 223 m mit einem P10-Wert von  $1,0 \text{ m}^{-1}$  (Tab. 13). Die Zone C erstreckt sich über den kurzen Bereich von 21 m mit einer geringen Zerlegung.

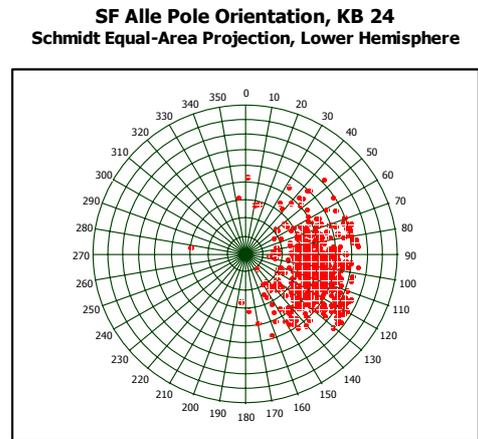


Abb. 77: Darstellung aller Schieferungsflächen der KB 24

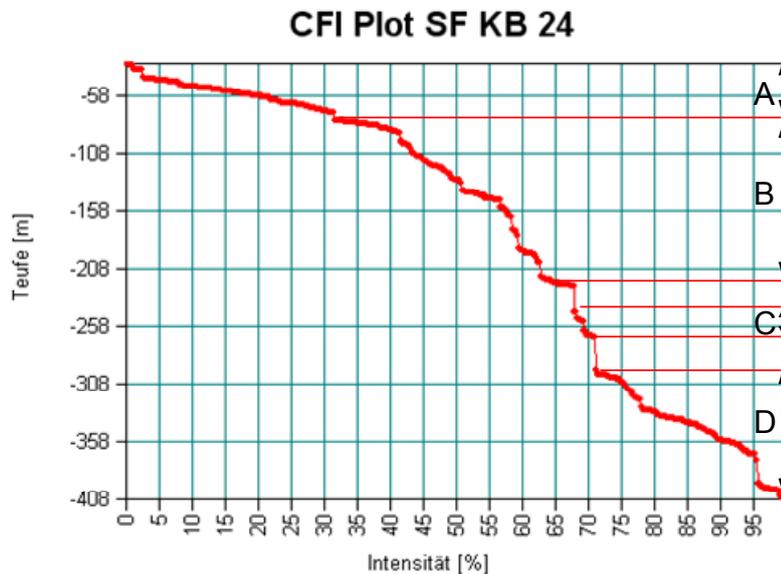


Abb. 78: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Schieferungsflächen der Bohrung KB 24

Tab. 13: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensität der identifizierten Bereiche

Name	Relativer Wert Top [m]	Relativer Wert Bottom [m]	Absoluter Wert Top [m]	Absoluter Wert Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m <sup>-1</sup> ]
KB 24 SF A	31	90	953	894	59	201	3,4
KB 24 SF B	90	223	894	761	133	134	1,01
KB 24 SF C	223	300	761	684	77	21	0,27
KB 24 SF D	300	407	684	577	107	137	1,28

Der wahrscheinlichste Wert des Bereiches A und D wurde mit der bivarianten Normalverteilung ermittelt. Der Bereich B zeigt mit 1,8% eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit (Tab. 14).

Tab. 14: Statistisch signifikanteste Werte der einzelnen Bereiche

Datenquelle	SF 31-90	SF 90-223	SF 223-300	SF 300-407
Bereich	A	B	C	D
Verteilung	bivariant Bingham	bivariant Bingham	bivariant Bingham	bivariant Normal
Fracture Count	201	134	13	137
Relative Intensity	100%	100%	100%	100%
Mean Pole	99/50	111/53	108/41	102/45
Major Axis	221/24	253/30	301/48	283/42
Minor Axis	326/29	355/18	204/6	193/0
K1	-13,182	-15,925	-42,911	27,015
K2	-9,397	-9,287	-11,139	8,683
K12				-0,0088
Kolmogoroff-Smirnoff	0,0593	0,1234	0,1485	0,0355
K_S Probability	89,1%	19,1%	95,1%	99,9%

Die Abb. 79 und Abb. 80 zeigen die Polorientierungen der einzelnen Bereiche im Schmidt'schen Netz. Anhand der farbigen Isolinien lassen sich Schwerpunkte der Polorientierung erkennen.

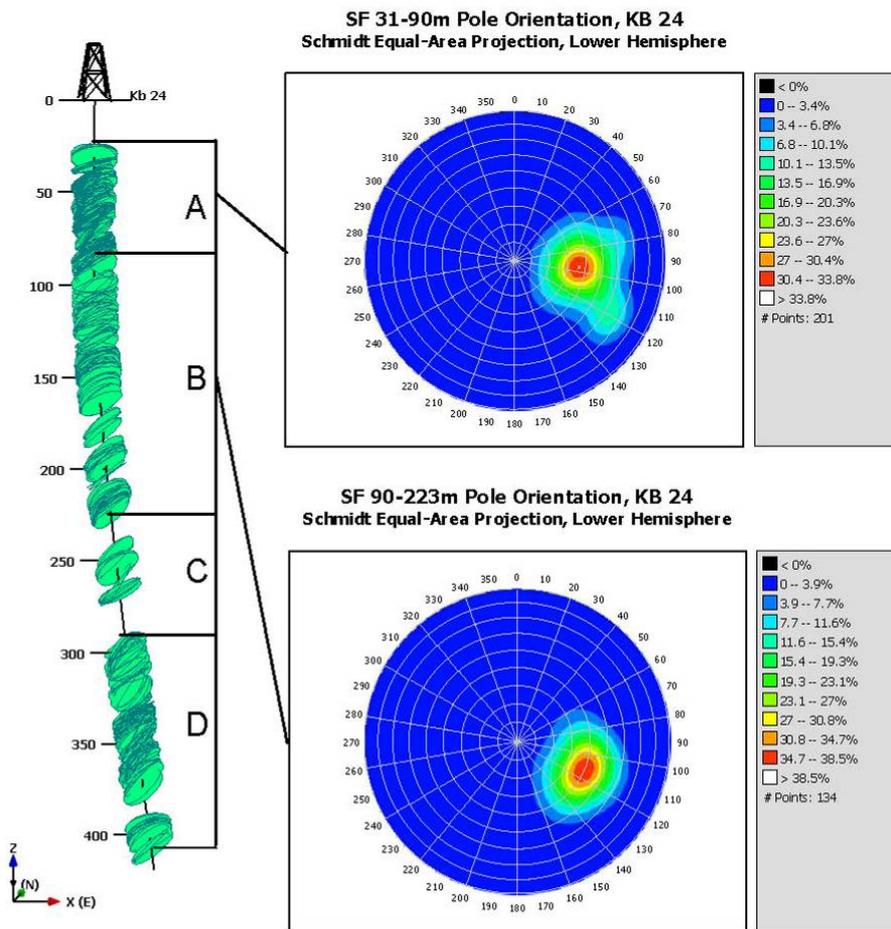


Abb. 79: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches A und B der KB 24 im Schmidt'schen Netz

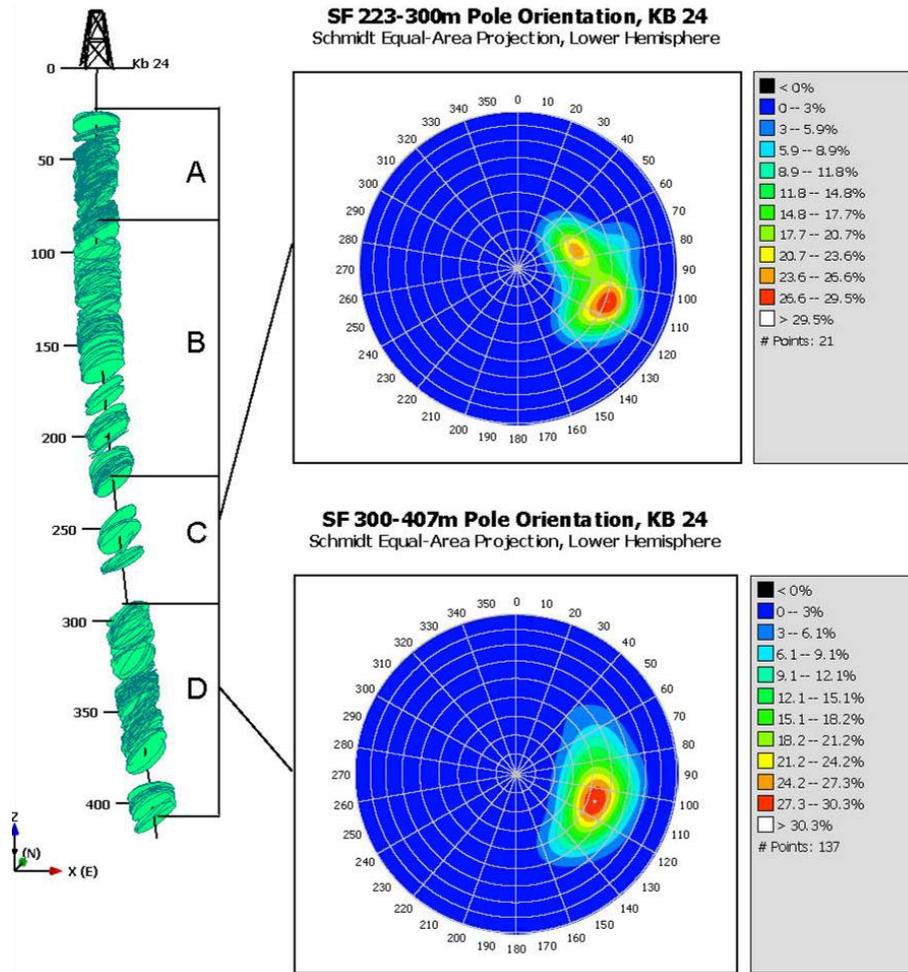


Abb. 80: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches C und D der KB 24 im Schmidt'schen Netz

- **Schieferungsflächen (SF) der Kernbohrung 25**

In der Kernbohrung 25, wurden 133 Schieferungsflächen auf eine Länge von 33 m aufgezeichnet. Die Abb. 81 zeigt eine Darstellung aller in der KB 25 gemessenen Schieferungsflächen. Die statistische Auswertung aller Schieferungsflächen mit dem K-S-Test ergab, dass mit 85%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol um 138/50 liegt.

**SF Alle Pole Orientation, KB 25**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

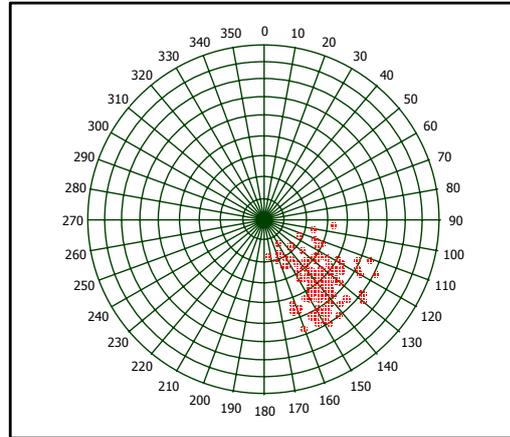


Abb. 81 Darstellung aller Schieferungsflächen der KB 25

Die Unterteilung der Kernbohrung KB 25 erfolgte in drei Bereiche. Der Bereich A erstreckt sich von 16 bis 34 m Tiefe. Danach folgt ein Bereich von 33 m, in dem nur drei Aufzeichnungen festgestellt werden konnten (Abb. 82). Da in dem Bereich keine Informationen vorliegen, wurde dieser Bereich vernachlässigt. Der Bereich B mit einer ähnlichen Zerlegungsintensität wie der Bereich A ( $3,3 \text{ m}^{-1}$ ) erstreckt sich von 67 m bis 82 m Tiefe (Tab. 15). Danach folgt ein Bereich von 42 m ohne Aufzeichnungen. Der Bereich C erstreckt sich von 124 bis 134 m und weist eine Zerlegungsintensität von  $1,45 \text{ m}^{-1}$  auf.

Da in dem Bereich keine Informationen vorliegen, wurde dieser Bereich vernachlässigt. Der Bereich B mit einer ähnlichen Zerlegungsintensität wie der Bereich A ( $3,3 \text{ m}^{-1}$ ) erstreckt sich von 67 m bis 82 m Tiefe (Tab. 15). Danach folgt ein Bereich von 42 m ohne Aufzeichnungen. Der Bereich C erstreckt sich von 124 bis 134 m und weist eine Zerlegungsintensität von  $1,45 \text{ m}^{-1}$  auf.

**CFI Plot SF KB 25**

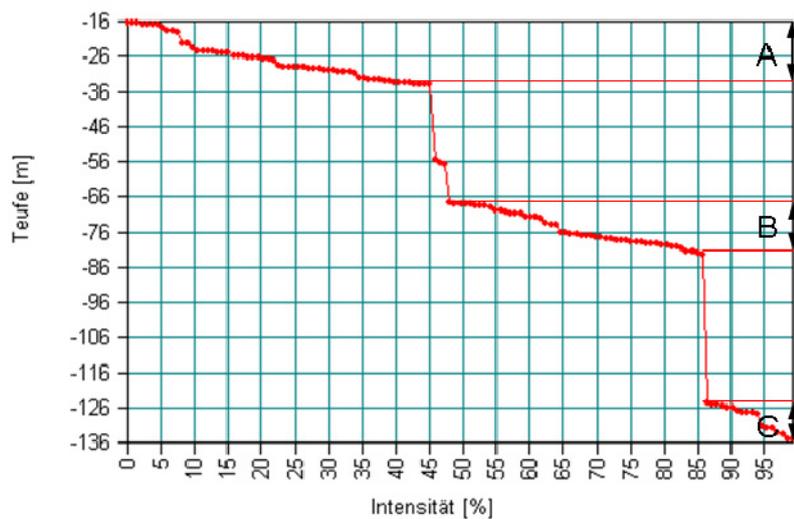


Abb. 82: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Schieferungsflächen der Bohrung KB 25

Tab. 15: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensität der identifizierten Bereiche

Bereich	Relativer Wert Top [m]	Relativer Wert Bottom [m]	Absoluter Wert Top [m]	Absoluter Wert Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m <sup>-1</sup> ]
KB 25 SF A	16	34	980	962	18	60	3,3
KB 25 SF B	67	82	929	914	15	49	3,2
KB 25 SF C	124	135	872	861	11	16	1,45

Der wahrscheinlichste Wert der einzelnen Bereiche wurde im Bereich A und C mit der Fischerverteilung und im Bereich B mit der bivarianten Normalverteilung ermittelt (Tab. 16).

Tab. 16: Die statistisch signifikantesten Werte der einzelnen Bereiche

Datenquelle	SF 16-34	SF 67-82	SF 124-135
Bereich	A	B	C
Verteilung	Fischer	bivariant Normal	bivariant Bingham
Fracture Count	60	49	16
Relative Intensity	100%	100%	100%
Mean Pole	143/54	139/47	125/43
Major Axis	323/36	320/41	242/226
Minor Axis	233/0	50/0	353/35
K1	35,13	9,11	-28,249
K2		9,26	-13,814
K12		-0,62	
Kolmogoroff-Smirnoff	0,058	0,100	0,112
K_S Probability	99,8%	82,7%	99,2%

Die Abb. 83 zeigt die Polorientierungen der einzelnen Bereiche im Schmidt'schen Netz.

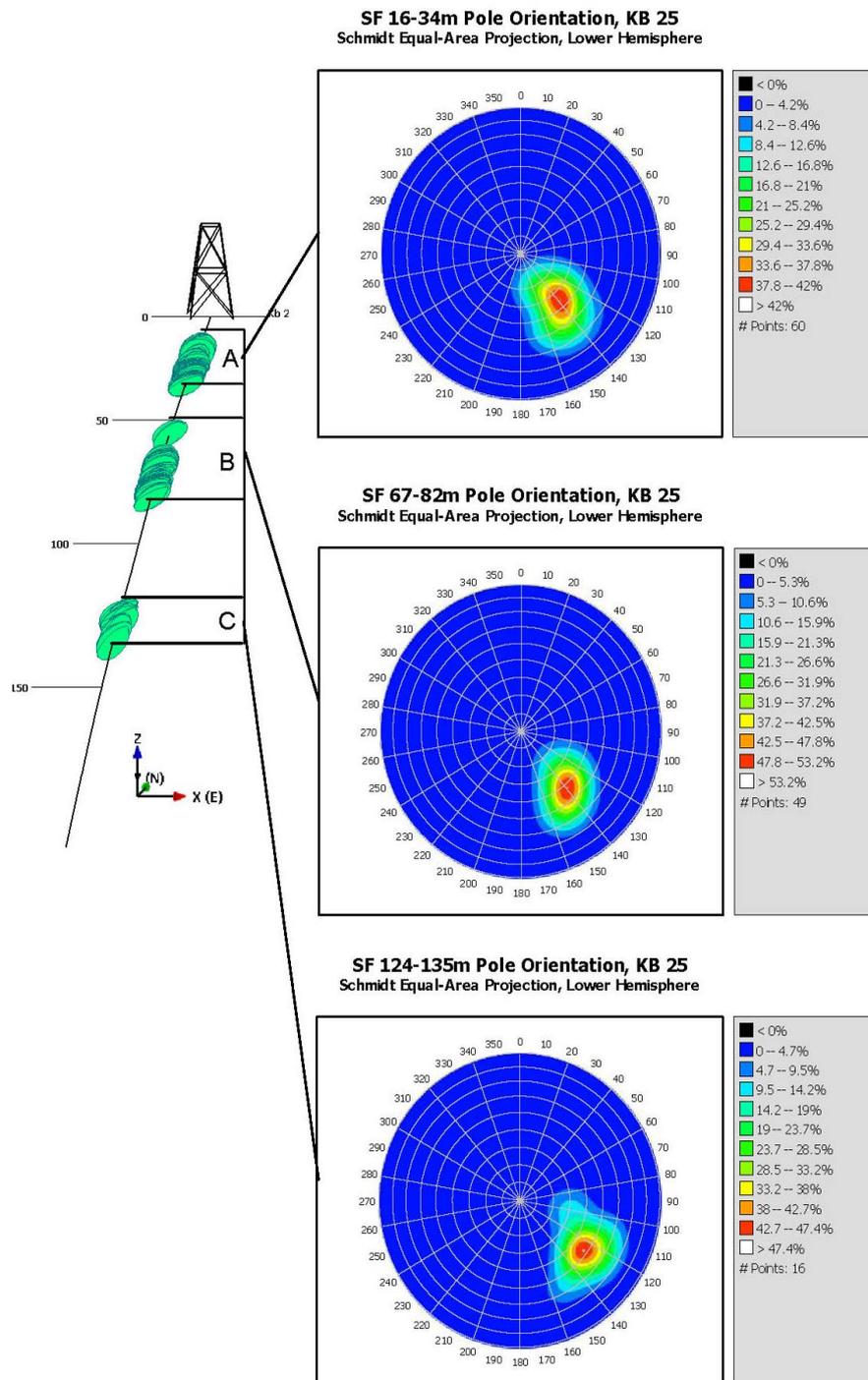


Abb. 83: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches A, B und C der KB 25 im Schmidt'schen Netz

- **Schieferungsflächen (SF) der Kernbohrung 26**

Der obere Bereich der Bohrung KB 26 gehört nicht mehr zum Modellbereich. Daher wurde in diesem Bereich die Schieferungsflächenauswertung nicht berücksichtigt. Über den restlichen Bereich wurden auf einer Länge von 277 m 740 Schieferungsflächen gemessen. Die Abb. 84 zeigt alle in der KB 26 gemessenen Schieferungsflächen.

Im berücksichtigten Bereich wurde in drei Homogenbereiche unterteilt. Diese Bereiche sind der Bereich A von 439 bis 495 m, der Bereich B von 495 bis 648 m und der Bereich C von 648 bis 716 m (Abb. 85).

**SF Alle Pole Orientation, KB 26**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

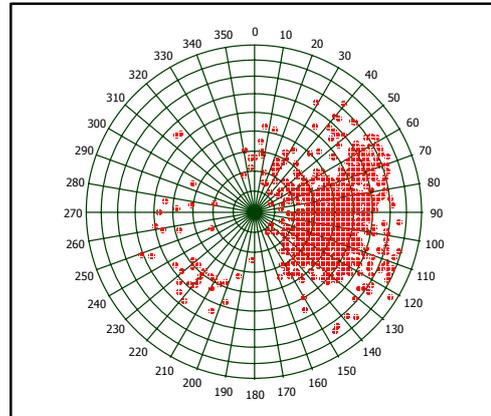


Abb. 84 Darstellung aller Schieferungsflächen der KB 26

**CFI Plot SF KB 26**

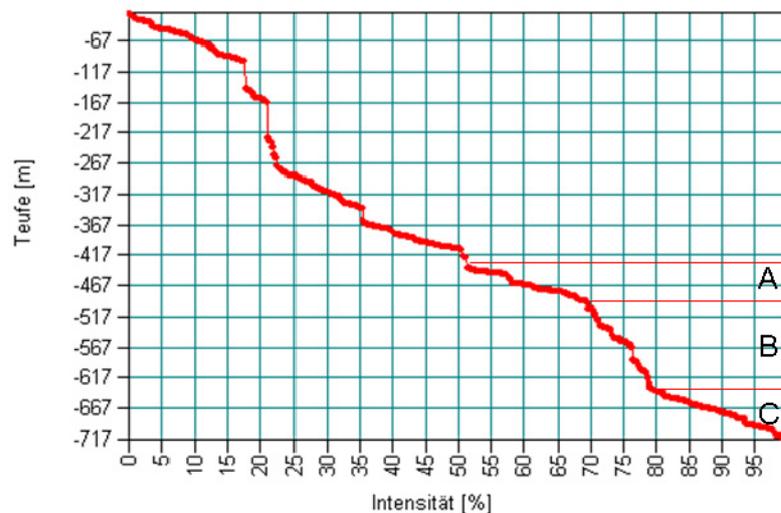


Abb. 85: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Schieferungsflächen der Bohrung KB 26

Der Bereich A erstreckt sich über eine Länge von 56 m und weist einen starken Zerlegungsgrad auf. Der Bereich B erstreckt sich von 409 bis 648 m und hat einen Zerlegungsintensitätswert (P10) von  $0,9 \text{ m}^{-1}$ . Der Bereich C weist mit  $3,1 \text{ m}^{-1}$  einen ähnlichen Zerlegungsgrad wie der Bereich A auf (siehe Tab. 17).

Tab. 17: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensität der identifizierten Bereiche

Bereich	Relativer Wert Top [m]	Absoluter Wert Bottom [m]	Absoluter Wert Top [m]	Absoluter Wert Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m <sup>-1</sup> ]
KB 26 SF A	439	495	812	756	56	206	3,67
KB 26 SF B	495	648	756	603	153	138	0,9
KB 26 SF C	648	716	603	535	68	211	3,1

Der wahrscheinlichste Wert der einzelnen Bereiche wurde im Bereich A und B mit der Fischerverteilung und im Bereich C mit der bivarianten Normalverteilung ermittelt (Tab. 18).

Tab. 18: Die statistisch signifikantesten Werte der einzelnen Bereiche

Data Quelle	SF 439-495	SF 495-648	SF 648-716
Bereich	A	B	C
Verteilung	Fischer	bivariant Bingham	bivariant Normal
Fracture Count	206	138	211
Relative Intensity	100%	100%	100%
Mean Pole	92/48	81/65	94/47
Major Axis	271/42	216/18	273/42
Minor Axis	182/0	311/16	183/0
K1	26,44	-13,18	13,46
K2		-4,62	9,024
K12			0,360
Kolmogoroff-Smirnoff	0,036	0,075	0,076
K_S Probability	99,9%	76,01%	61,6%

Die Abb. 86 zeigt die Polorientierungen der einzelnen Bereiche im Schmidt'schen Netz. Anhand der farbigen Isolinien lassen sich Schwerpunkte der Polorientierung erkennen.

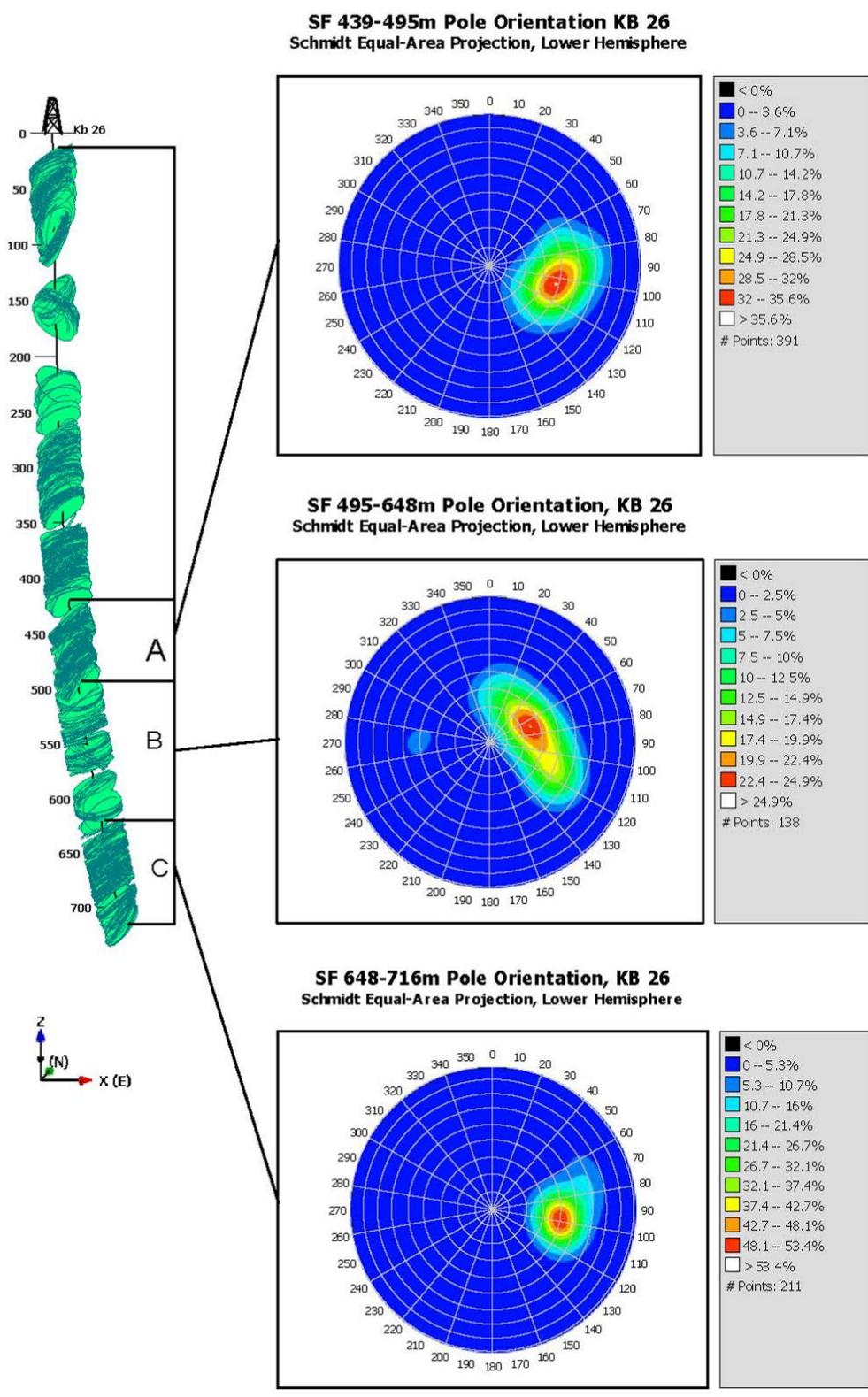


Abb. 86: Darstellung der Polpunktorientierungen der SF des Bereiches A, B und C der KB 26 im Schmidt'schen Netz



## 5.1.2 DIE HOMOGENBEREICHE DER HARNISCHFLÄCHEN

Die Abb. 87 zeigt alle fünf Kernbohrungen mit den auftretenden Harnische und Harnischflächen. Die graublauen Flächen zeigen die Harnischflächen und die blauen Flächen stellen die Harnische dar.

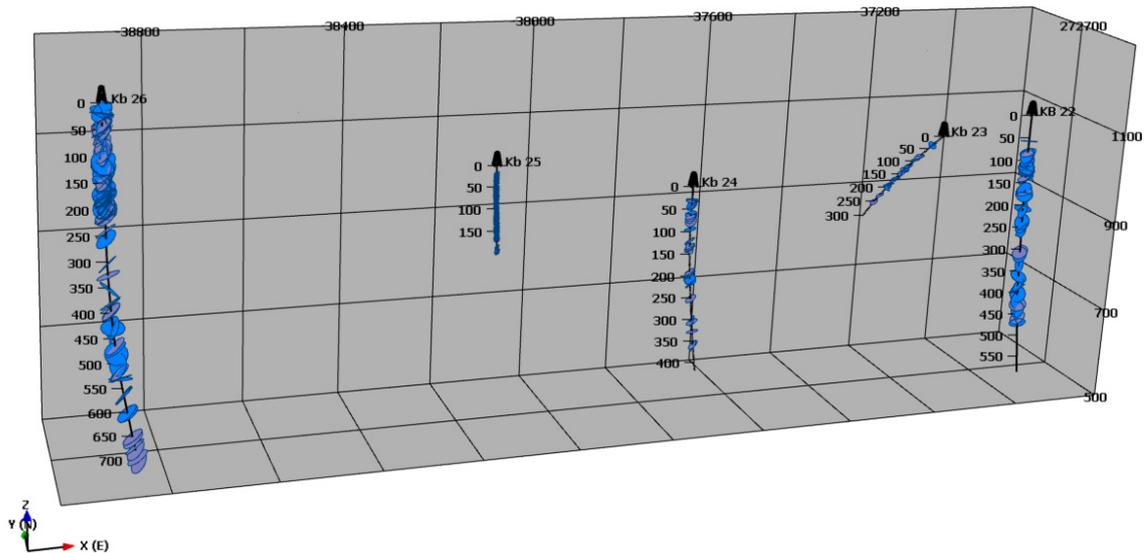


Abb. 87: Darstellung aller Harnische und Harnischflächen entlang der Bohrungen

- **H & HS KB 22**

Die Auswertung aller 41 Daten der Bohrung ergab, dass mit 98,8%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol um 92/54 liegt.

Bei der Analyse der H&HS in der KB 22 konnten zwei Homogenbereichszonen identifiziert werden. Der Bereich A erstreckt sich von 0 bis 255 m und der Bereich B erstreckt sich von 255 bis 470 Meter (Abb. 88).

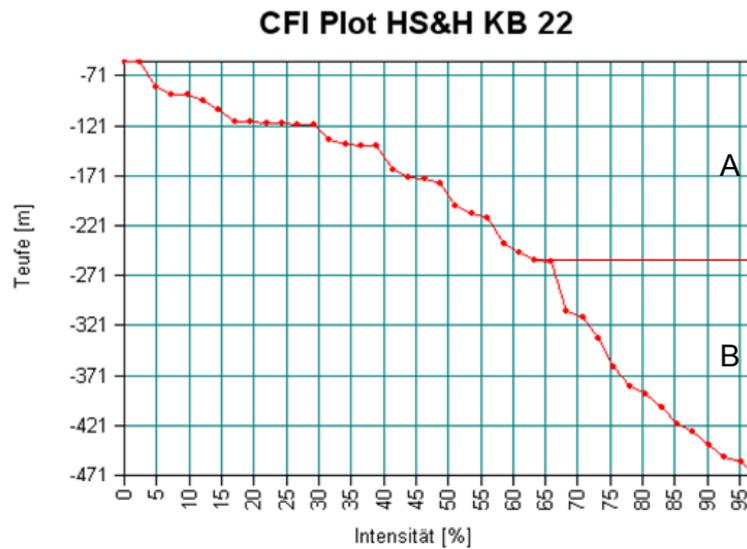


Abb. 88: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Harnische und Harnischflächen der Bohrung KB 22

Die Anzahl der gemessenen Harnischflächen ist wesentlich geringer als die Anzahl der gemessenen Schieferungs- und Kluffflächen. In dem Bereich A wurden 26 Flächen und im Bereich B 14 Flächen aufgenommen. Auch die Streuung der Daten ist weit größer als dies bei den gemessenen Schieferungsflächen der Fall ist. Weiters weisen die Messungen eine nicht so konzentrierte Verteilung auf wie dies bei den Schieferungsflächen der Fall ist. Die Tab. 19 zeigt, dass im Bereich A mit 98,4%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol um 92/56 und im Bereich B mit 84,8%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol um 90/36 liegt.

Tab. 19: Die statistisch signifikantesten Werte der einzelnen Bereiche

Datenquelle	KB 22 0-255	KB 22 255-470
Bereich	A	B
Verteilung	bivariant Bingham	bivariant Bingham
Fracture Count	26	14
Relative Intensity	100%	100%
Mean Pole	92/56	90/36
Major Axis	334/17	231/46
Minor Axis	234/27	344/19
K1	-3,27	-6,25
K2	-1,459	-2,129
K12		
Kolmogoroff-Smirnoff	0,096	0,169
K_S Probability	98,4%	84,8%

Die Abb. 89 zeigt die Polorientierungen der zwei Bereiche im Schmidt'schen Netz. Anhand der farbigen Isolinien lassen sich Schwerpunkte der Polorientierung erkennen.

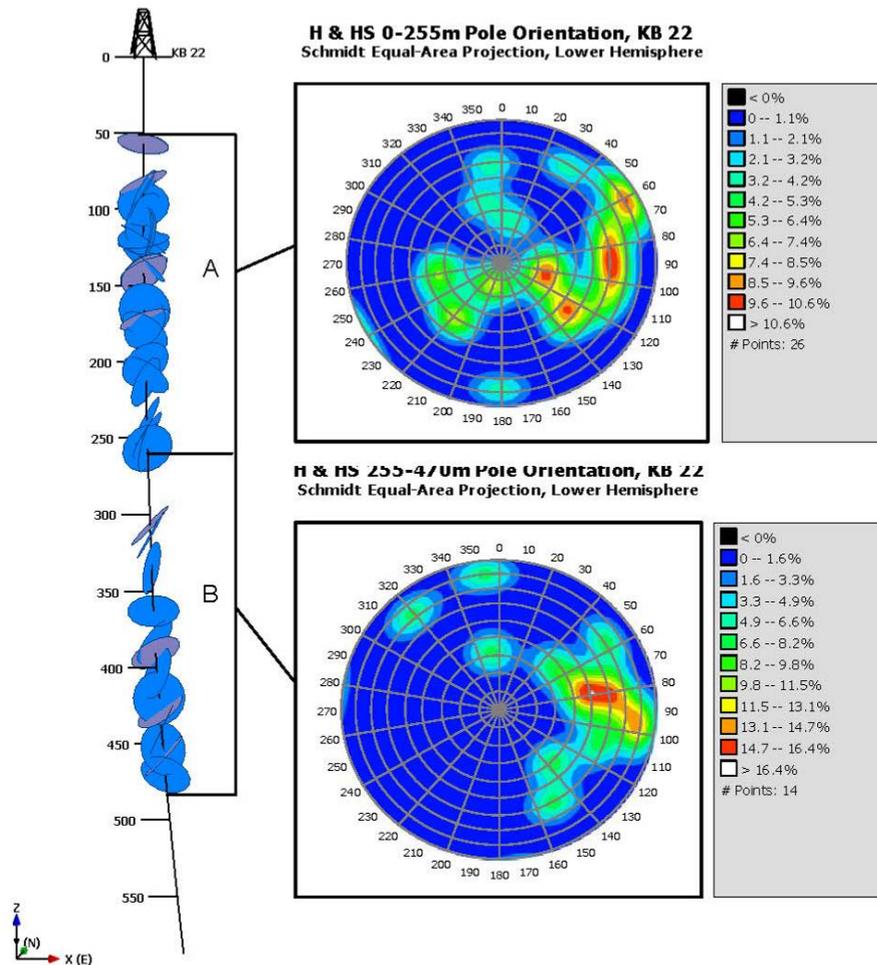


Abb. 89: Darstellung der Polpunktorientierungen der H & HS des Bereiches A und B der KB 22 im Schmidt'schen Netz

- **HS& H KB 23**

Die Analyse der HS&H der KB 23 ergab kein eindeutiges Ergebnis für die Identifikation von Homogenbereichen. Daher werden alle Daten als ein Homogenbereich betrachtet (Abb. 90).

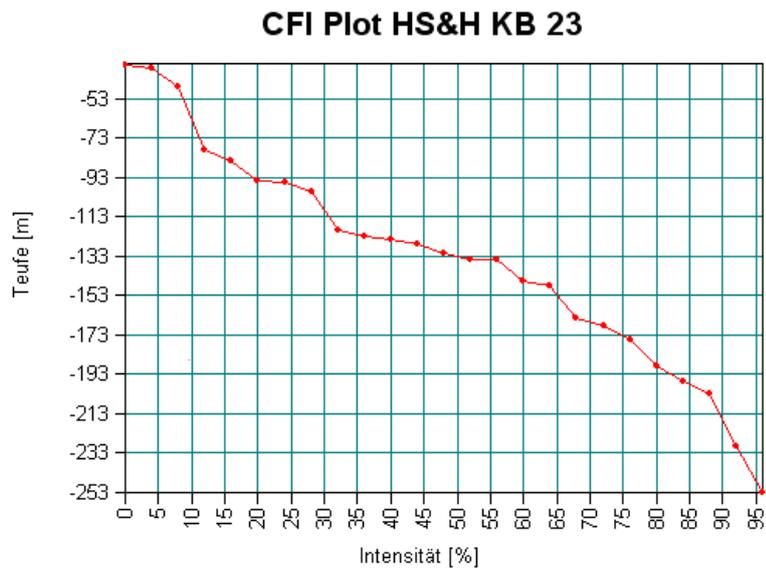


Abb. 90: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Harnisch und Harnischflächen der Bohrung KB 23

Die Anzahl der gemessenen H&HS in der KB 23 beträgt 25 Stück (Tab. 20). Die Auswertung der Daten ergab, dass mit 30,1%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol bei 116/68 liegt. Generell liegt eine stärkere Streuung der Daten vor.

Tab. 20: Der statistisch signifikanteste Wert des Bereiches

Datenquelle	KB 23
Bereich	alle
Verteilung	bivariant Bingham
Fracture Count	25
Relative Intensity	100%
Mean Pole	116/68
Major Axis	226/7
Minor Axis	319/20
K1	-7,699
K2	-5,158
K12	
Kolmogoroff-Smirnoff	0,207
K_S Probability	30,1%

Die Abb. 91 zeigt die Verteilung die H&HS entlang der Bohrung KB 23, dargestellt im Schmidt'schen Netz.

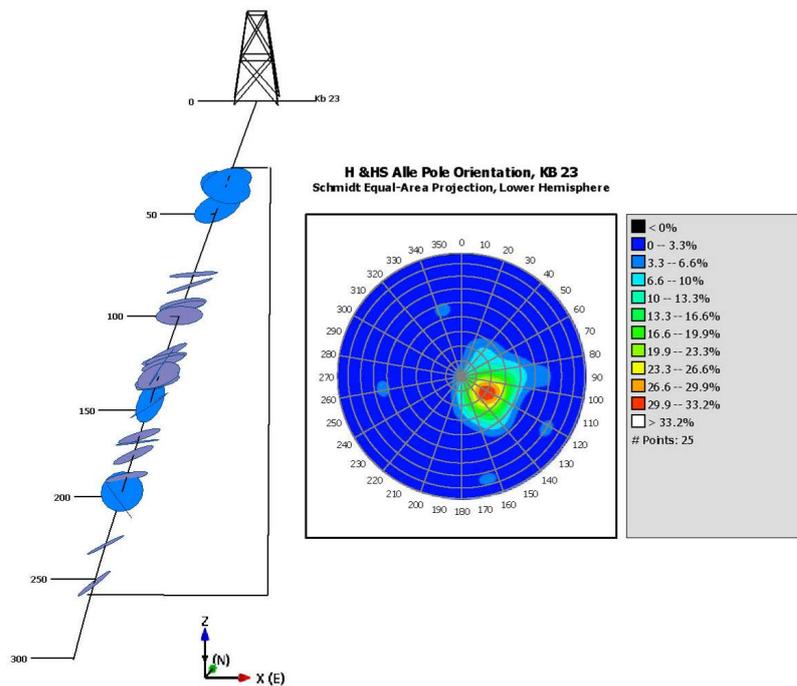


Abb. 91: Darstellung der Polpunktorientierungen der H & HS der KB 23 im Schmidt'schen Netz

- **HS&H KB 24**

Die Analyse der HS&H der KB 24 ergab, wie bei der KB 23, kein eindeutiges Ergebnis der Zonierung der Homogenbereiche. Daher werden alle Daten als ein Homogenbereich betrachtet (Abb. 92).

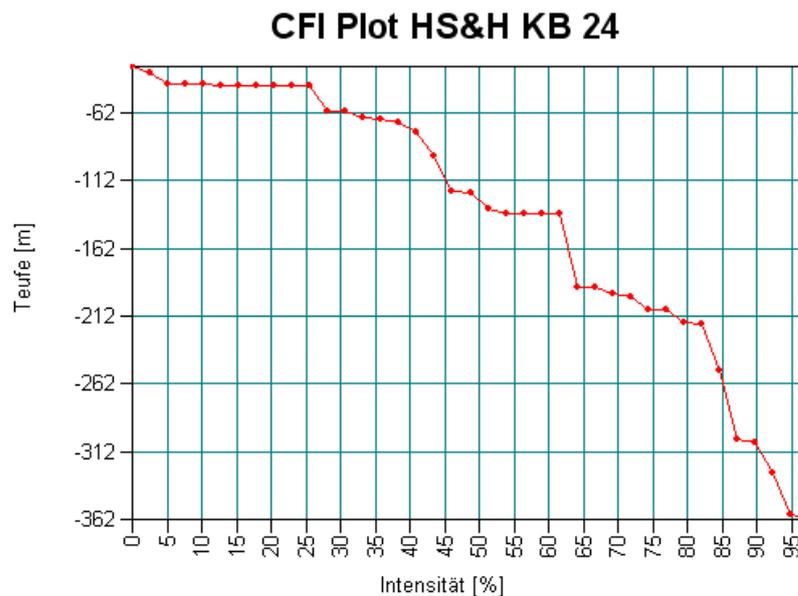


Abb. 92: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Harnisch und Harnischflächen der Bohrung KB 24

Die Anzahl der gemessenen H&HS in der KB 24 beträgt 39 Stück (Tab. 21). Die Auswertung der Daten ergab, dass mit 17%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol bei 101/53 liegt. Die Auswertung der Daten zeigt wie in KB 23 eine starke Streuung der Daten.

Tab. 21: Der statistisch signifikanteste Wert des Bereiches

Daten Quelle	KB 24
Bereich	alle
Verteilung	bivariant Bingham
Fracture Count	39
Relative Intensity	100%
Mean Pole	101/53
Major Axis	245/30
Minor Axis	346/17
K1	-6,92
K2	-6,02
K12	
Kolmogoroff-Smirnoff	0,195
K_S Probability	17,19%

Die Abb. 93 zeigt die Verteilung der H&HS entlang der Bohrung KB 24.

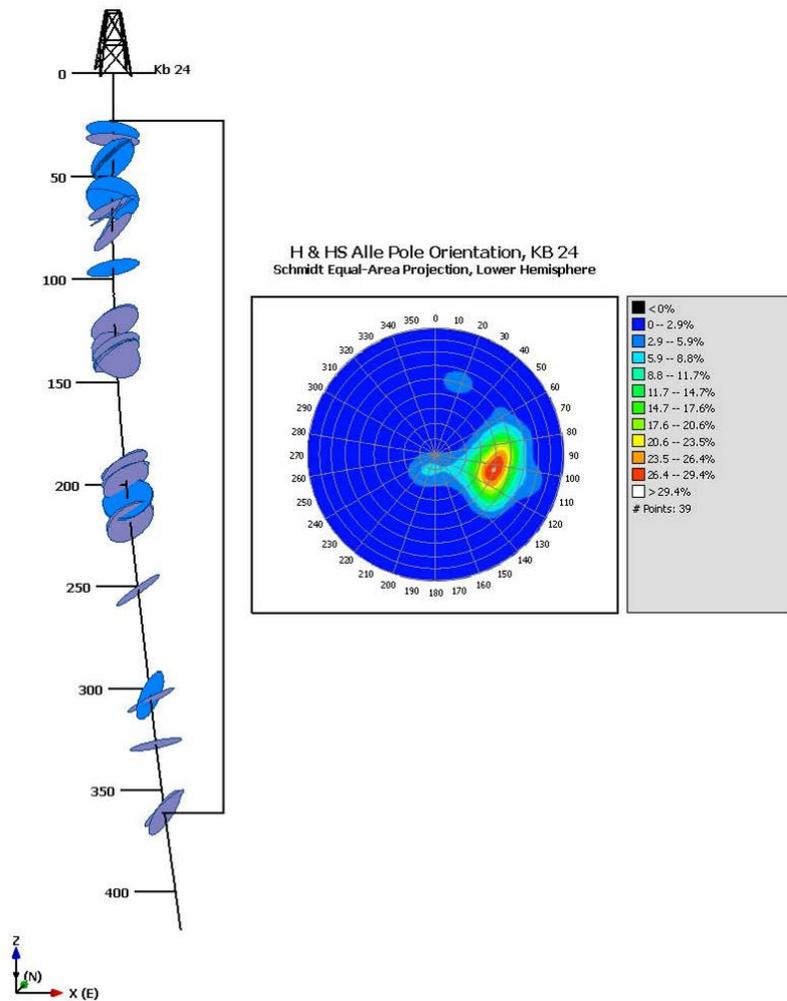


Abb. 93: Darstellung der Polpunktorientierungen der H & HS der KB 24 im Schmidt'schen Netz

- **HS& H KB 25**

Die Analyse der HS&H der KB 25 ergab die Identifikation von zwei Homogenbereichen. (Abb. 94). Diese erstrecken sich von 19 bis 169 m und von 184 bis 196 m.

Markant in der Bohrung KB 25 ist die große Anzahl der aufgezeichneten Harnische. Harnische wurden hingegen nur 18 Stück dokumentiert.

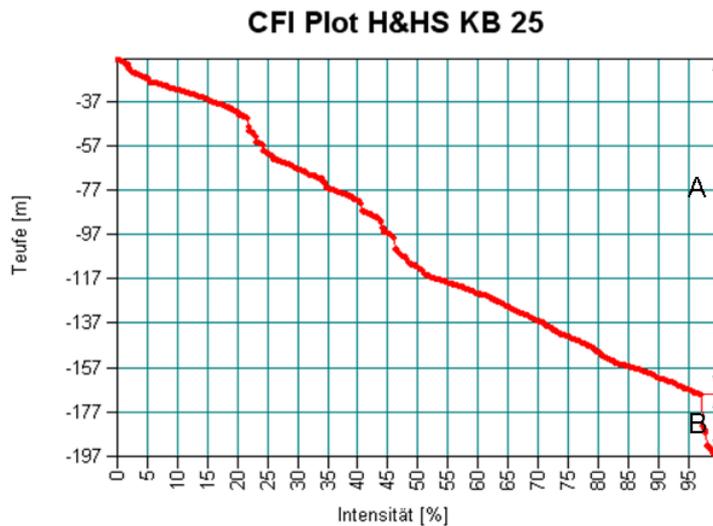


Abb. 94: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Harnisch und Harnischflächen der Bohrung KB 25

Die Anzahl der gemessenen H&HS in der KB 25 beträgt 564 Stück (Tab. 22). Die Auswertung der Daten ergab, dass im Bereich A mit unzureichend genauer Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol bei 130/48 und im Bereich B mit ausreichender Wahrscheinlichkeit von 73,9%, bei 93/45 anzutreffen ist.

Tab. 22: Die statistisch signifikantesten Werte der einzelnen Bereiche

Datenquelle	KB 25 19-169	KB 22 184-196
Bereich	A	B
Verteilung	bivariant Normal	Fischer
Fracture Count	554	10
Relative Intensity	100%	100%
Mean Pole	130/48	93/45
Major Axis	310/41	273/45
Minor Axis	40/0	183/0
K1	31,51	45,78
K2	16,23	
K12	-0,124	
Kolmogoroff-Smirnoff	0,267	0,221
K_S Probability	7,66121e007%	73,9%

Die Abb. 95 zeigt die Verteilung der H & HS entlang der Bohrung KB.

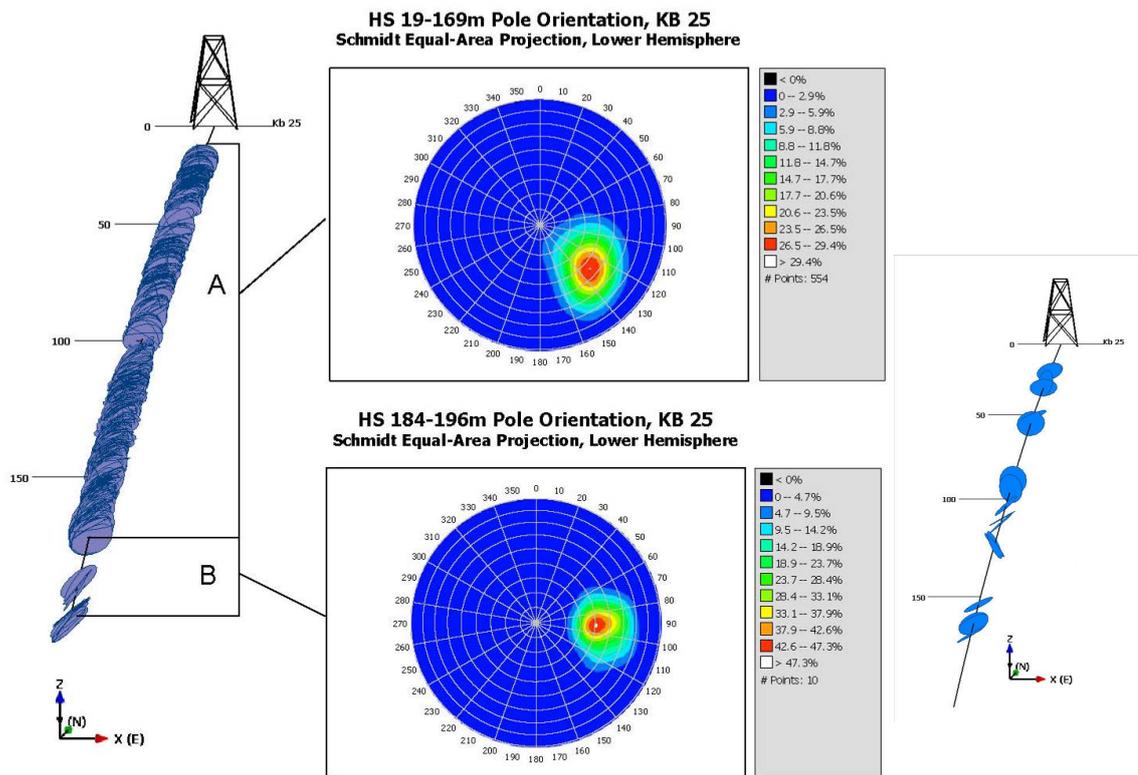


Abb. 95: Darstellung der Polpunktorientierungen der H & HS des Bereiches A und B der KB 25 im Schmidt'schen Netz

- **HS& H KB 26**

Die Analyse der HS&H der KB 26 ergab die Identifikation von zwei Homogenbereichen. (Abb. 96). Diese erstrecken sich von 17 bis 213 m und von 213 bis 705 m. Bei der Tiefe von 213 m ist eine markante Abnahme der Intensität der gemessenen Harnische und Harnischflächen zu erkennen.

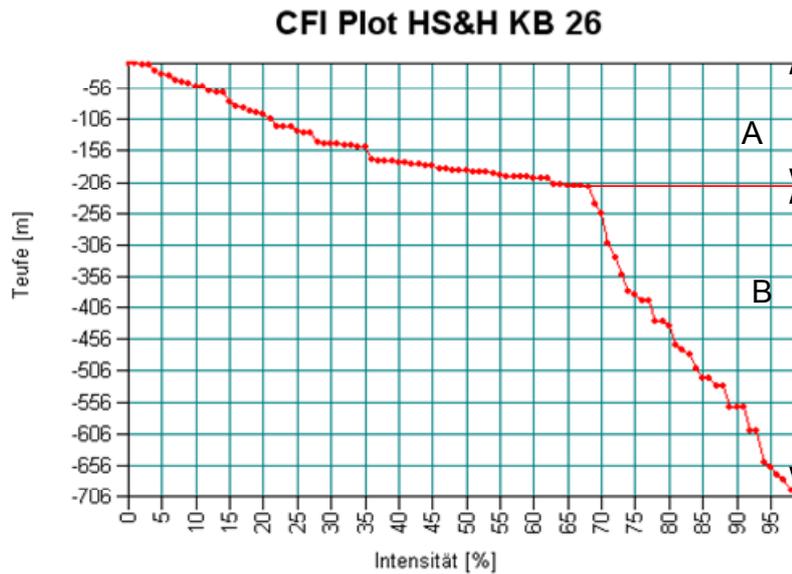


Abb. 96: CFI Plot (Kumulativer Fractures Intensity Plot) der Harnische und Harnischflächen der Bohrung KB 26

Die Anzahl der gemessenen H&HS in der KB 26 beträgt 98 Stück (Tab. 23). Die Auswertung der Daten ergab, dass im Bereich A mit 20,7%iger Wahrscheinlichkeit um der Durchschnittspol bei 86/41 liegt und der Bereich B mit 25%iger Wahrscheinlichkeit der 101/50 anzutreffen ist.

Tab. 23: Die statistisch signifikantesten Werte der einzelnen Bereiche

Datenquelle	KB 26 17-21	KB 26 213-705
Bereich	A	B
Verteilung	bivariant Bingham	bivariant Bingham
Fracture Count	67	31
Relative Intensity	100%	100%
Mean Pole	86/41	101/50
Major Axis	341/16	203/10
Minor Axis	234/44	301/37
K1	-4,116	-7,25
K2	-3,331	-5,49
K12		
Kolmogoroff-Smirnoff	0,152	0,198
K_S Probability	20,7%	25,0%

Die Abb. 97 zeigt die Verteilung der H&HS entlang der Bohrung KB 26.

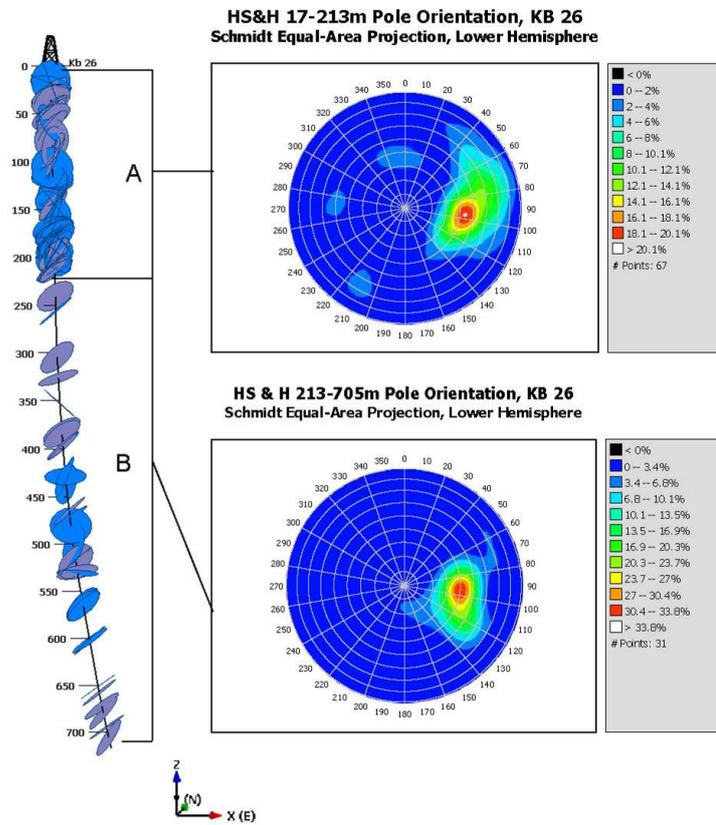


Abb. 97: Darstellung der Polpunktorientierungen der H & HS des Bereiches A und B der KB 26 im Schmidt'schen Netz



### 5.1.3 DIE HOMOGENBEREICHE DER KLUFFTLÄCHEN

Die Abb. 98 zeigt alle fünf Kernbohrungen und die in den Bohrungen auftretenden Klufflächen.

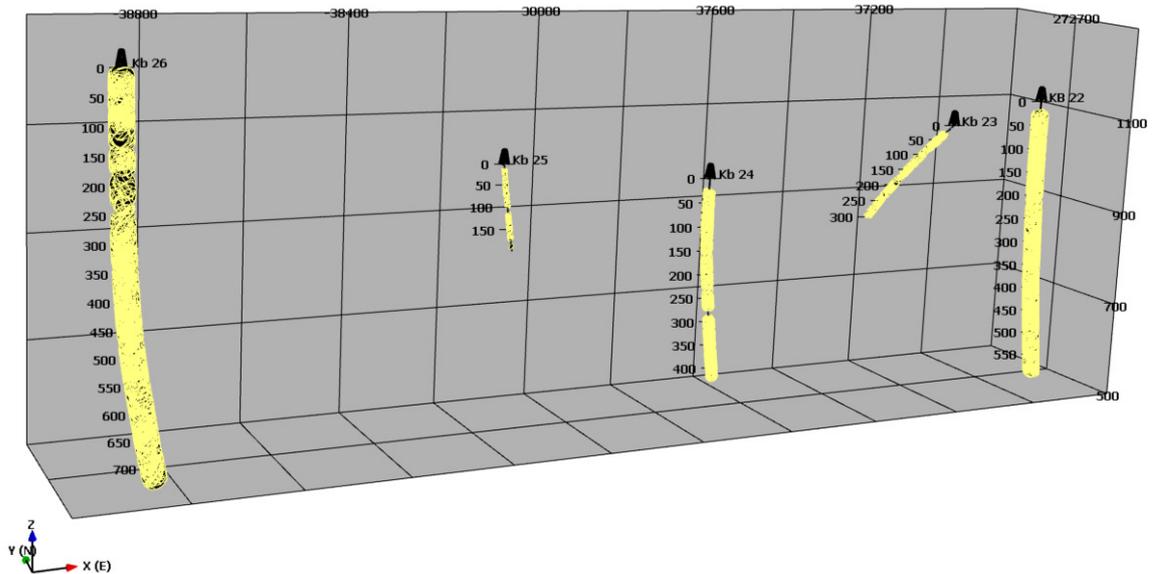


Abb. 98: Darstellung aller dokumentierten Klufflächen der fünf Kernbohrungen

- **Klufflächen KB 22**

Die Analyse der Klufflächen der KB 22 ergab keine eindeutige Identifikation von Homogenbereichen. Daher werden die Daten der gesamten Bohrung als ein Homogenbereich betrachtet.

Die Abb. 99 zeigt eine gleichmäßiger Verteilung der Klufflächen über das Stereonetz.

Die Auswertung der CFI Polts (Abb. 100) zeigt keine markanten Zerlegungsintensitätsänderungen entlang der gesamten Kernbohrung.

**K Alle Pole Orientation, KB 22**  
**Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere**

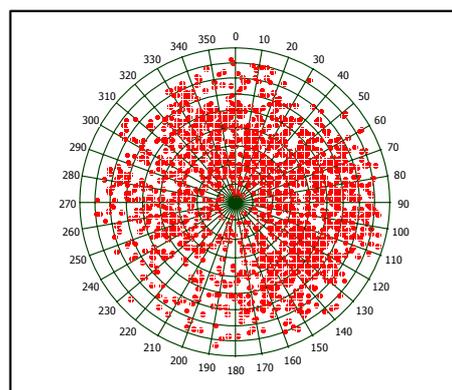


Abb. 99: Darstellung aller Klufflächen der KB 22

### CFI Plot K KB 22

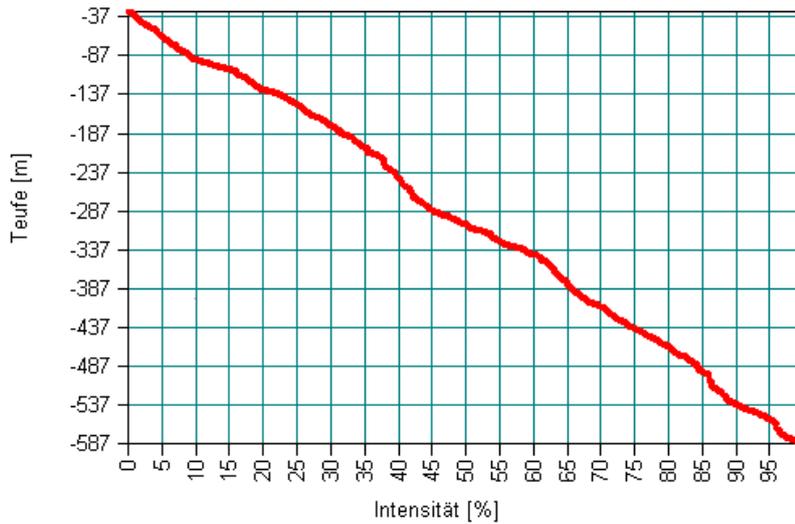


Abb. 100: CFI Plot (Kumulativer Fracture Intensitätspolt) der Klufflächen der Kernbohrung 22

Die Tabelle 24 zeigt, dass die Zerlegungsintensität bei  $2,55 \text{ m}^{-1}$  liegt.

Tab. 24: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensität des identifizierten Bereiches

Name	Top [m]	Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m-1]
KB 22 K	32	586	554	1418	2,55

In der Kernbohrung 22 wurden 1418 Klufflächen dokumentiert. Diese liegen mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9% bei einem Durchschnittspol um 72/35 (siehe Tab. 25).

Tab. 25: Statistisch signifikantester Wert des Bereiches

Datenquelle	KB 22
Bereich	alle
Verteilung	bivariant Normal
Fracture Count	1418
Relative Intensity	100%
Mean Pole	72/35
Major Axis	261/14
Minor Axis	351/0
K1	71,10
K2	31,30
K12	-0,079
Kolmogoroff-Smirnoff	0,028
K_S Probability	99,9%

- **Kluffflächen der Bohrung KB 23**

Die Auswertung aller gemessenen Daten in der KB 23 ergab, dass über die gesamte Länge der Kernbohrung 459 Kluffflächen gemessen wurden. Die Abb. 101 zeigt alle in der Kernbohrung 23 gemessenen Kluffflächen.

Die Unterteilung der KB 23 erfolgt in zwei Homogenbereiche (siehe Abb. 102). Homogenbereich A erstreckt sich von 32 bis 79 m Teufe und hat eine Zerlegungsintensität von 3,4. Der Bereich B erstreckt sich von 79 bis 300 m Tiefe und hat eine geringere Zerlegungsintensität als der Bereich A.

**K Alle Pole Orientation, KB 23**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

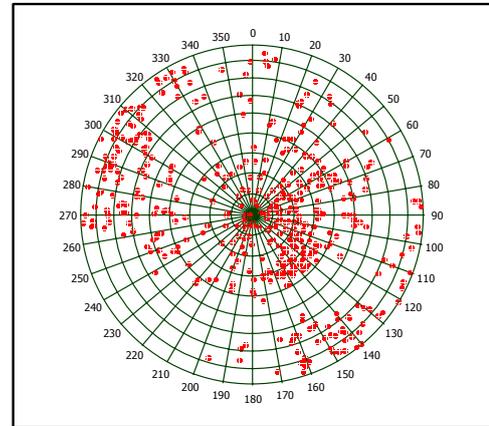


Abb. 101: Darstellung aller Kluffflächen der KB 23

**CFI Plot K KB 23**

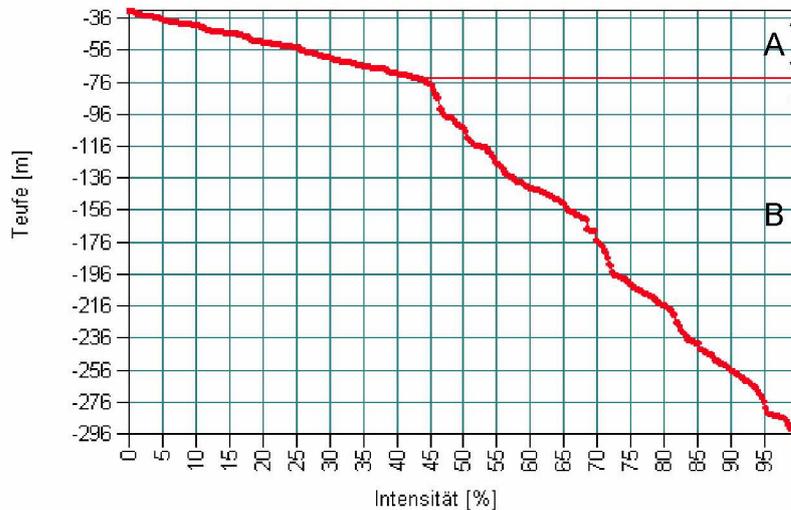


Abb. 102: CFI Plot (Kumulativer Fracture Intensitätspolt) der Kluffflächen der Kernbohrung 23

Die Tab. 26 zeigt die zwei Homogenbereich und ihre drei Subbereiche mit der Zerlegungsintensität. Die Abb. 103 zeigt die Verteilung und Orientierung der Kluffflächen entlang der Bohrung KB 26.

Tab. 26: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensitäten der identifizierten Bereiche

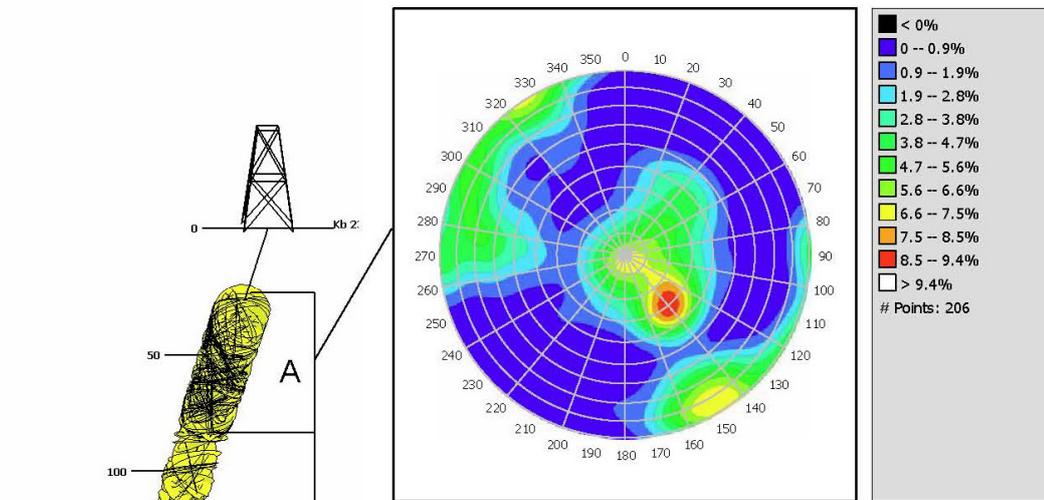
Name	Top [m]	Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m-1]	P10 [m-1]
KB 23 K A						Summe
1	32	78	47	35	0,745	3,404
2	32	78	47	48	1,021	
3	32	78	47	77	1,638	
KB 23 K B						
1	79	300	221	117	0,529	0,529
2	79	300	221	134	0,606	

In der Tab. 27 sind die zwei identifizierten Homogenbereiche und die dazu ausgewerteten statistischen Parameter dargestellt.

Tab. 27: Die statistisch signifikantesten Werte der Bereiche

Datenquelle	32-78	78-300
Bereich	A	B
Verteilung	elliptic Fischer	Fischer
Fracture Count	206	251
Relative Intensity	100 %	100 %
Mean Pole	129/44	47/83
Major Axis	308/45	227/6,5
Minor Axis	38/0	317/0
K1	3,904	2,88
K2	2,029	
K12		
Kolmogoroff-Smirnoff	0,0468	0,068
K_S Probability	98,4%	70,5%

**K 32-78m Pole Orientation, KB 23**  
 Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere



**K 78-300m Pole Orientation, KB 23**  
 Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

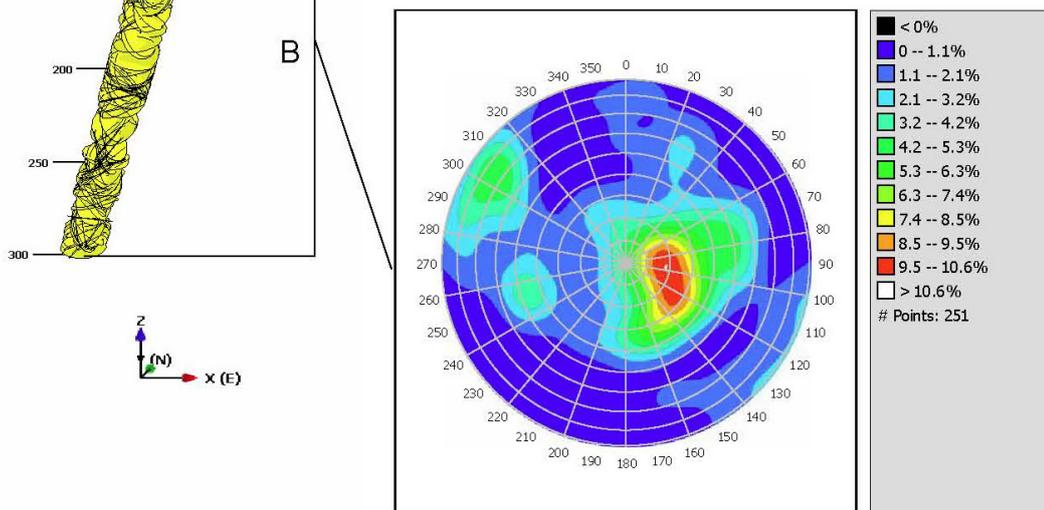


Abb. 103: Polpunktorientierungen der K der KB 23, Darstellung im Schmidt'schen Netz

- **Kluffflächen der KB 24**

Die Auswertung aller gemessenen Daten in der KB 24 ergab, dass über die gesamte Länge der Bohrung 643 Kluffflächen gemessen wurden. Die Abb. 104 zeigt alle in der Kernbohrung 24 gemessenen Kluffflächen.

Die Unterteilung der KB 23 erfolgt in zwei Homogenbereiche (siehe Abb. 105) Homogenbereich A erstreckt sich von 29 bis 266 m Teufe und hat eine Zerlegungsintensität von 1,38. Der Bereich B erstreckt sich von 298 bis 418 m Tiefe und hat eine ähnliche Zerlegungsintensität wie der Bereich A.

Zwischen den zwei Bereichen wurden auf einer Strecke von 32 m keine Kluffflächen gemessen.

**K Alle Pole Orientation, KB 24**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

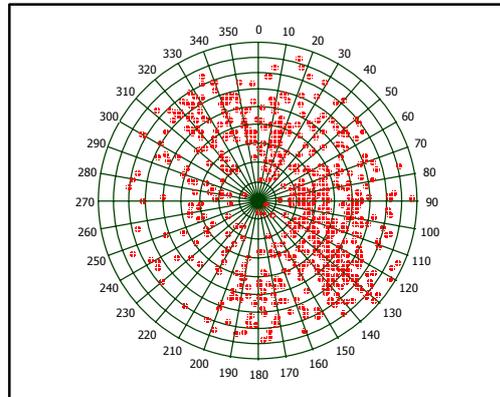


Abb. 104: Darstellung aller Kluffflächen der KB 24

**CFI Plot K KB 24**

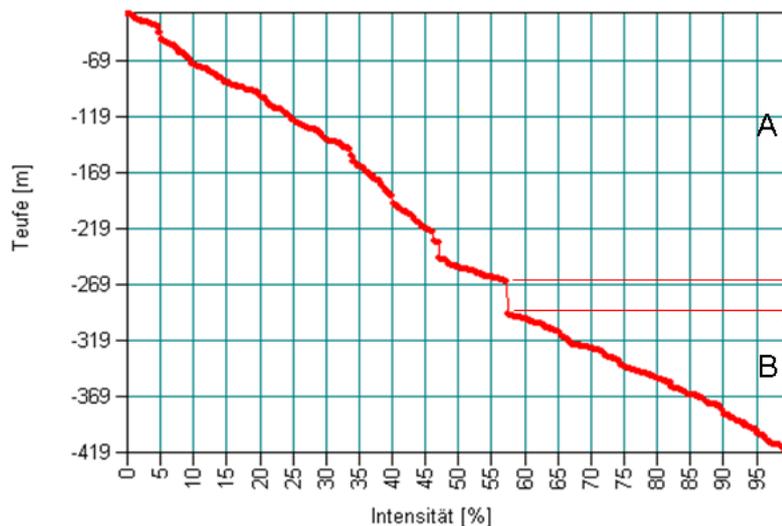


Abb. 105: CFI Plot (Kumulativer Fracture Intensitätspolt) der Kluffflächen der Kernbohrung 24

Die Tab. 28 zeigt die Länge und die Intensität der einzelnen Bereiche.

Tab. 28: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensitäten der identifizierten Bereiche

Bereich	Top [m]	Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m-1]	P10 [m-1]
KB 24 K A						Summe
1	29	266	237	143	0,603	1,388
2	29	266	237	186	0,785	
KB 24 K B						
	298	418	120	222	1,850	1,850

Die Abb. 106 zeigt eine realistische Darstellung der Bohrung und die Polorientierungspunkte der Klufflächen.

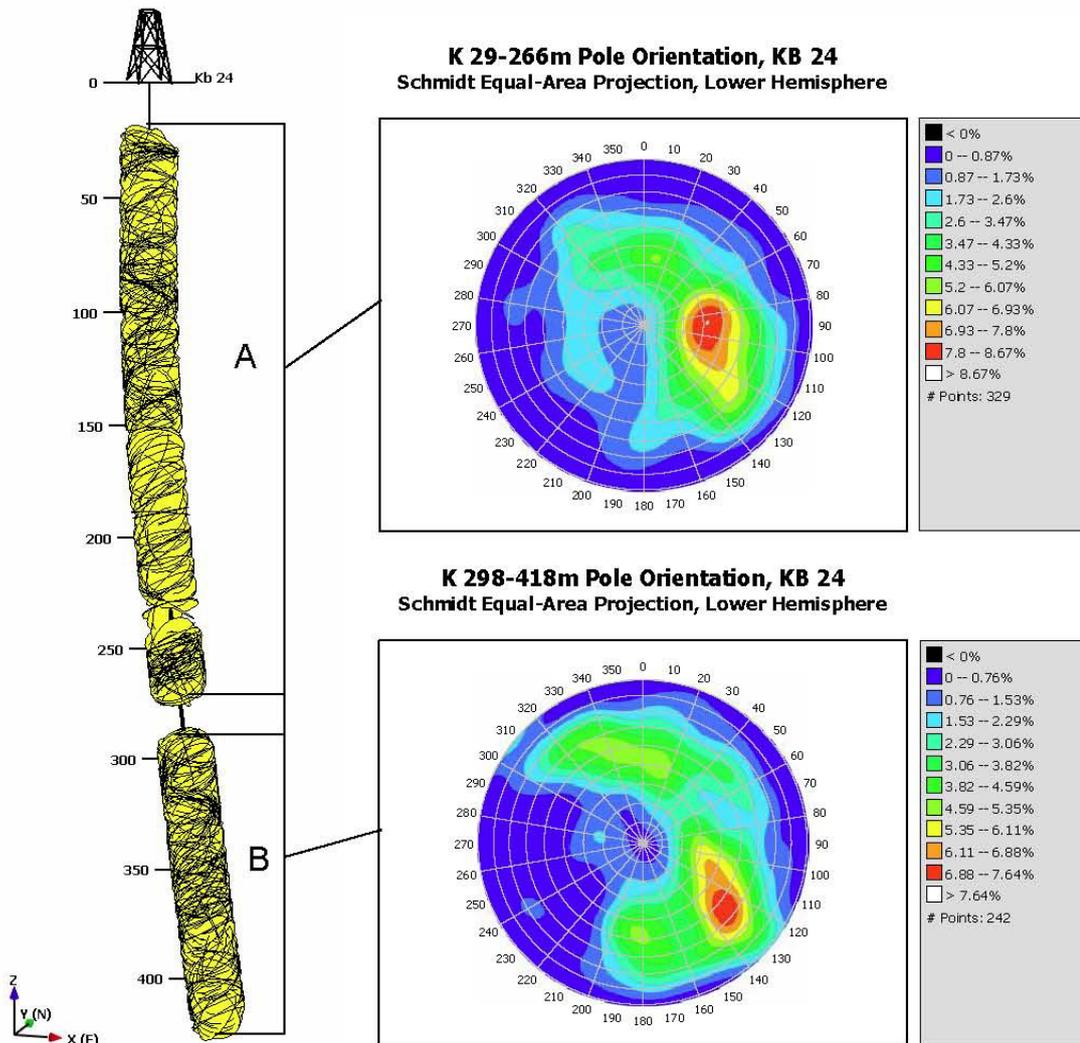


Abb. 106: Polpunktorientierungen der K der KB 24, Darstellung im Schmidt'schen Netz

Die Tab. 29 zeigt die statistische Auswertung der zwei Bereiche.

Tab. 29: Statistisch signifikantesten Werte der Bereiche

Datenquelle	K 29-266	K 298-418
Bereich	A	B
Verteilung	bivariant Bingham	bivariant Bingham
Fracture Count	329	242
Relative Intensity	100%	100%
Mean Pole	96/64	125/51
Major Axis	225/16	247/23
Minor Axis	321/18	351/29
K1	-3,369	-3,329
K2	-1,792	-0,667
K12		
Kolmogoroff-Smirnoff	0,045	0,059
K_S Probability	96,8%	86,3%

- **K & TF Kernbohrung 25**

Die Auswertung aller gemessenen Daten in der KB 25 ergab, dass über die gesamte Länge der Bohrung 118 Klufflächen gemessen wurden. Die Abb. 107 zeigt alle in der Kernbohrung 25 gemessenen Klufflächen.

Die Unterteilung der KB 25 erfolgt in zwei Homogenbereiche (siehe Abb. 108). Homogenbereich A erstreckt sich von 13 bis 96 m Teufe und hat eine Zerlegungsintensität von 0,8. Danach folgt ein 19 m langer Bereich wo keine Messungen aufgezeichnete wurden.

Der Bereich B erstreckt sich von 115 bis 168 m Tiefe und hat eine ähnliche Zerlegungsintensität wie der Bereich A.

**K & TF alle Pole Orientation, KB 25**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

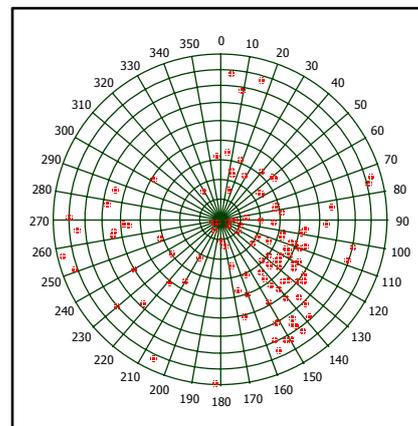


Abb. 107: Darstellung aller Klufflächen der KB 25

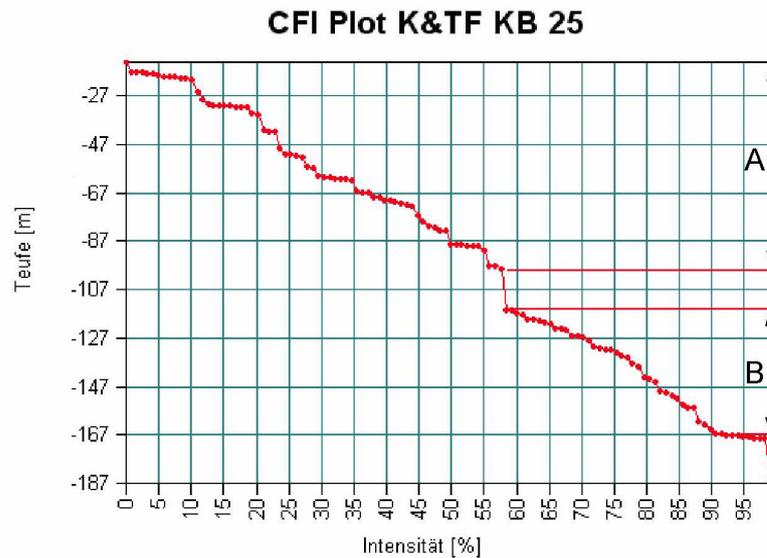


Abb. 108: CFI Plot (Kumulativer Fracture Intensitätspolt) der Kluffflächen der Kernbohrung 25

Die Tab. 30 und die Tab. 31 zeigen die identifizierten Intensitäten die statistische Auswertung der einzelnen Bereiche.

Tab. 30: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensitäten der identifizierten Bereiche

Bereich	Top [m]	Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m-1]
KB 25 K A	13	96	83	68	0,81
KB 25 K B	115	168	53	44	0,83

Tab. 31: Statistisch signifikantesten Werte der Bereiche

Datenquelle	13-98	115-168
Bereich	A	B
Verteilung	bivariant Bingham	bivariant Bingham
Fracture Count	68	44
Relative Intensity	100%	100%
Mean Pole	126/61	117/59
Major Axis	10/13	235/15
Minor Axis	274/25	332/25
K1	-4,382	-3,427
K2	-2,969	-2,912
K12		
Kolmogoroff-Smirnoff	0,1440	0,1348
K_S Probability	25,7%	54,1%

Die Abb. 109 zeigt die Verteilung die Kluffflächen entlang der Bohrung KB 25, dargestellt im Schmidt'schen Netz.

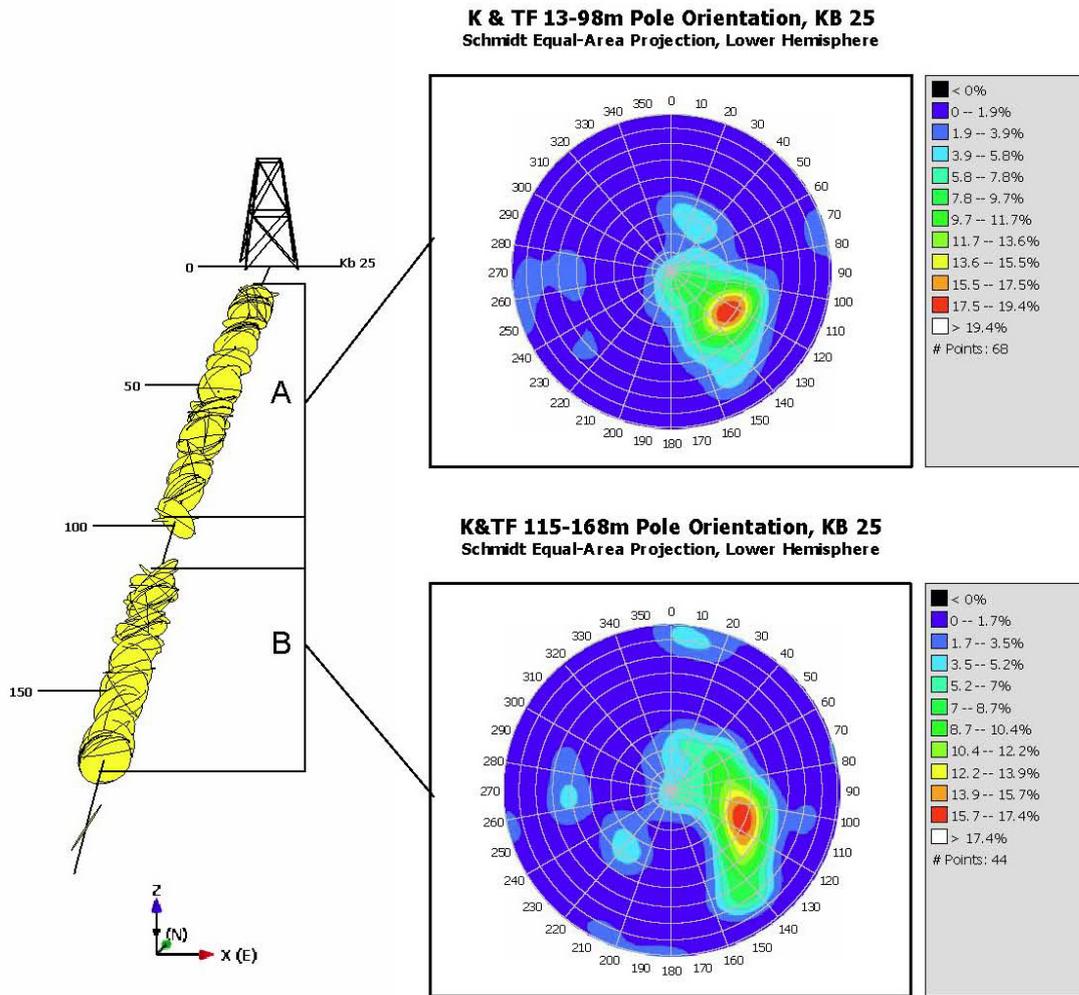


Abb. 109: Polpunktorientierungen der K der KB 25, Darstellung im Schmidt'schen Netz

- **Kluffflächen der KB 26**

Die Analyse der Klufflächen der KB 26 ergab einen Homogenbereich, der in der modellrelevanten Tiefe anzutreffen ist.

Die Abb. 110 zeigt eine gleichmäßige Verteilung der Klufflächen über das Stereonetz. In Summe wurden in der KB 26 1585 Kluffflächen gemessen.

Die Auswertung der CFI Polts (Abb. 111) zeigt einen konstanten Bereich A der sich von einer Teufe von 439 m bis zu einer Teufe von 715 m erstreckt.

**K alle, Pole Orientation, KB 26**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

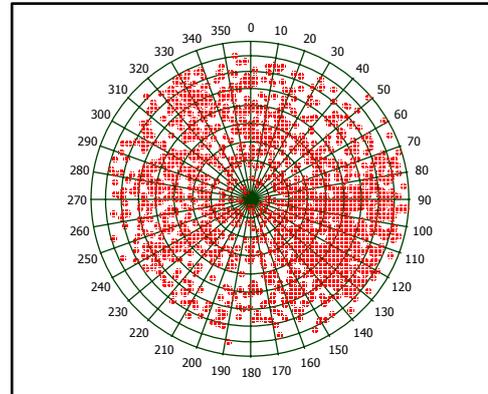


Abb. 110: Darstellung aller Kluffflächen der KB 26

**CFI Plot KB26**

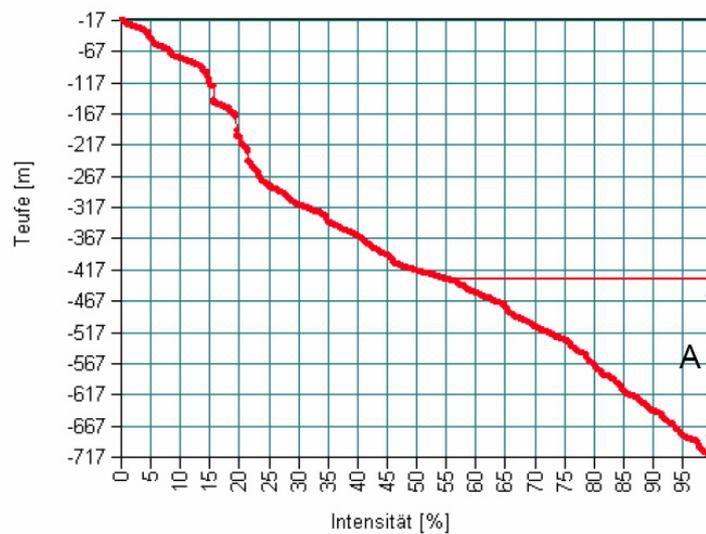


Abb. 111: CFI Plot (Kumulativer Fracture Intensitätspolt) der Kluffflächen der Kernbohrung 26

Die Tab. 32 und Tab. 33 zeigt die identifizierten Zerlegungsintensitäten und die statistische Auswertung der Bereiche.

Tab. 32: Länge, Anzahl und errechnete Zerlegungsintensitäten der identifizierten Bereiche

Bereich	Top [m]	Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m-1]
KB 26 K A	439	715	276	675	2,44

Tab. 33: Statistisch signifikantesten Werte der Bereiche

Datenquelle	439-715
Bereich	A
Verteilung	bivariant Bingham
Fracture Count	775
Relative Intensity	100%
Mean Pole	97/47
Major Axis	205/15
Minor Axis	308/38
K1	-2,49
K2	-1,25
K12	
Kolmogoroff-Smirnoff	0,0524
K-S Probability	81,6%

Die Abb. 112 zeigt die Verteilung die Klufflächen entlang der Bohrung KB 26, dargestellt im Schmidt'schen Netz.

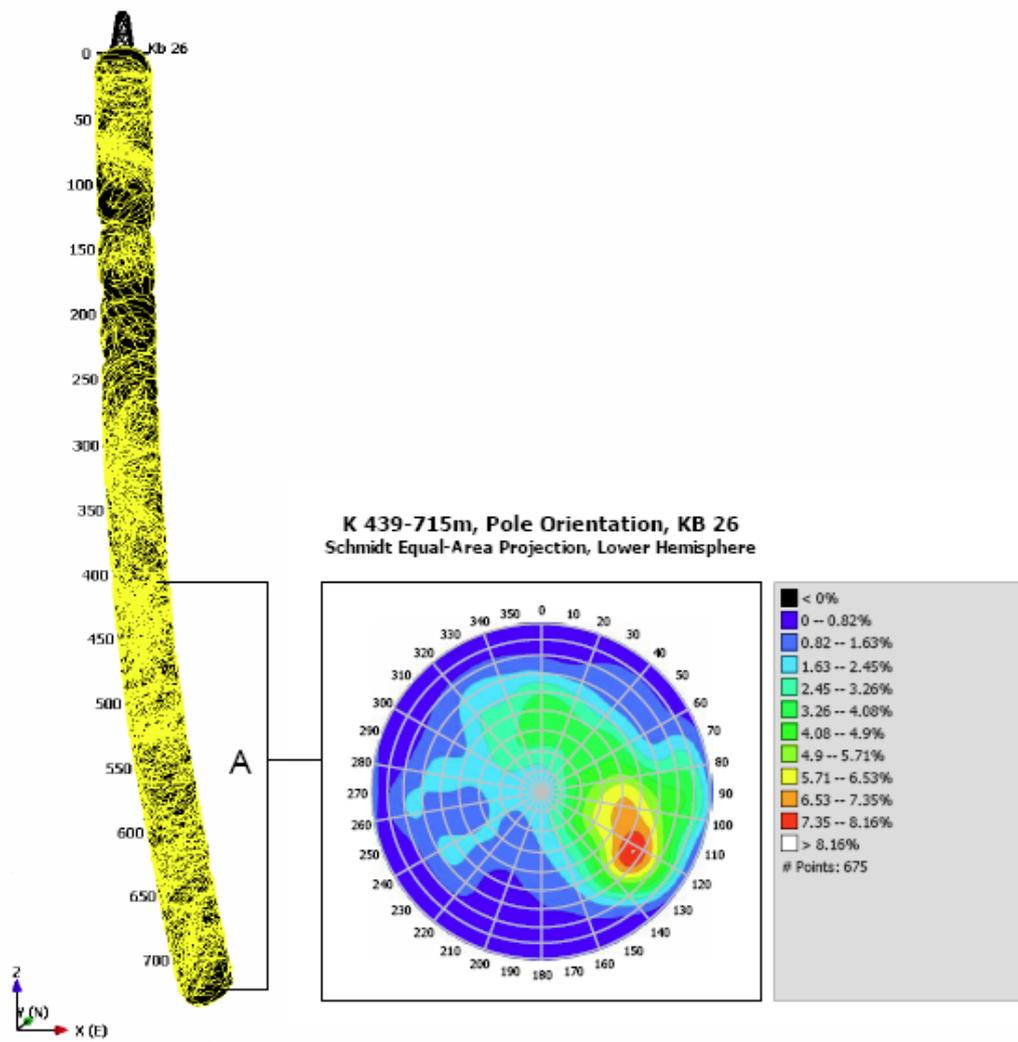


Abb. 112: Polpunktorientierungen der K der KB 26, Darstellung im Schmidt'schen Netz



## 5.1.4 DIE AUFTRETENTEN STÖRUNGSZONEN

Die Abb. 113 zeigt alle in den fünf Kernbohrungen gemessenen Störungszonen mit der entsprechenden Orientierung.

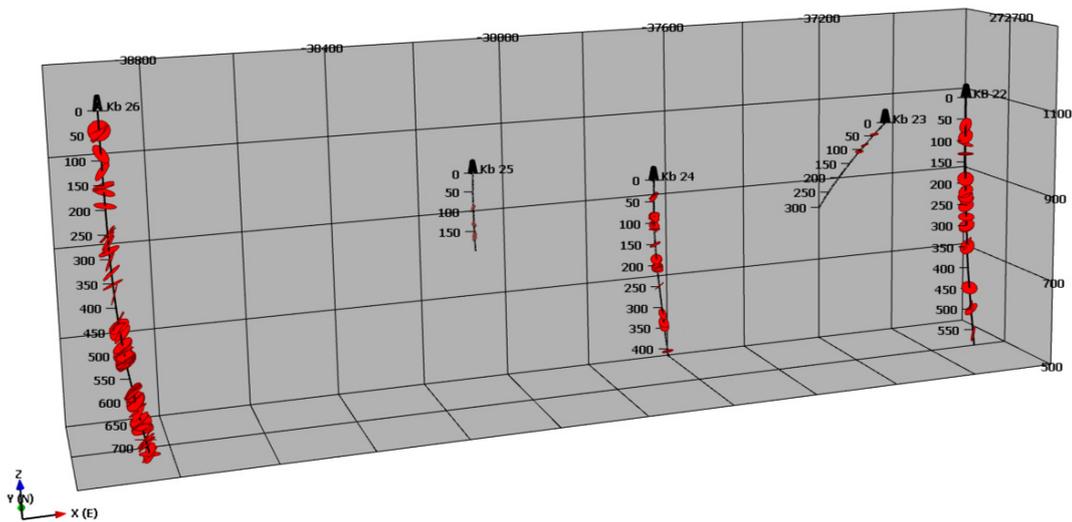


Abb. 113: Darstellung aller dokumentierten Störungen in den fünf Kernbohrungen

- **STS & ST KB 22**

Im Folgenden werden alle kartierten Störungen und Störungen, die parallel zur Schieferung verlaufen, dargestellt.

Im Anhang befindet sich zusätzlich eine Auflistung aller Störung und Störungsflächen parallel zu Schieferung.

Die Bohrung KB 22 weist in Summe 39 gemessene Störungen und Störungsflächen parallel zu Schieferung auf. Die Analyse des K-S-Testes ergab, dass mit 90%iger Wahrscheinlichkeit der Durchschnittspol um 90/53 liegt. Generell ist keine markante Unterteilung ersichtlich und die auftretenden Störungen sind relativ konstant über die Bohrung verteilt.

Die Abb. 114 zeigt den CFI Plot, die Polorientierungen der STS und ST und eine realistische Darstellung der KB 22 und die gemessenen Flächen. Die dunkelroten Flächen stellen die Störungen und die orangefarbenen Flächen die Störungen II zur SF dar.

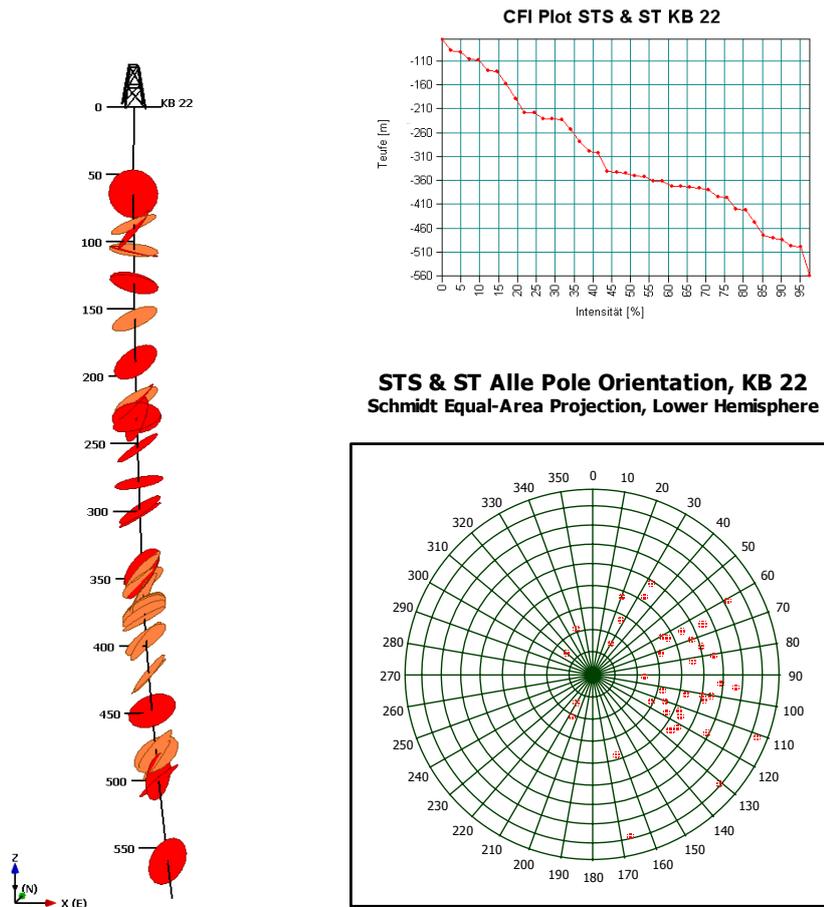


Abb. 114: Darstellung aller gemessenen Polorientierungen, des CFI Pots und die Verteilung der ST & STS entlang der KB 22

- **ST & STS der Kernbohrung KB 23**

In der Kernbohrung KB 23 wurden nur drei Störungen aufgezeichnet. Aus diesem Grunde ist eine statistische Auswertung der Daten als nicht signifikant zu bewerten (Abb. 115).

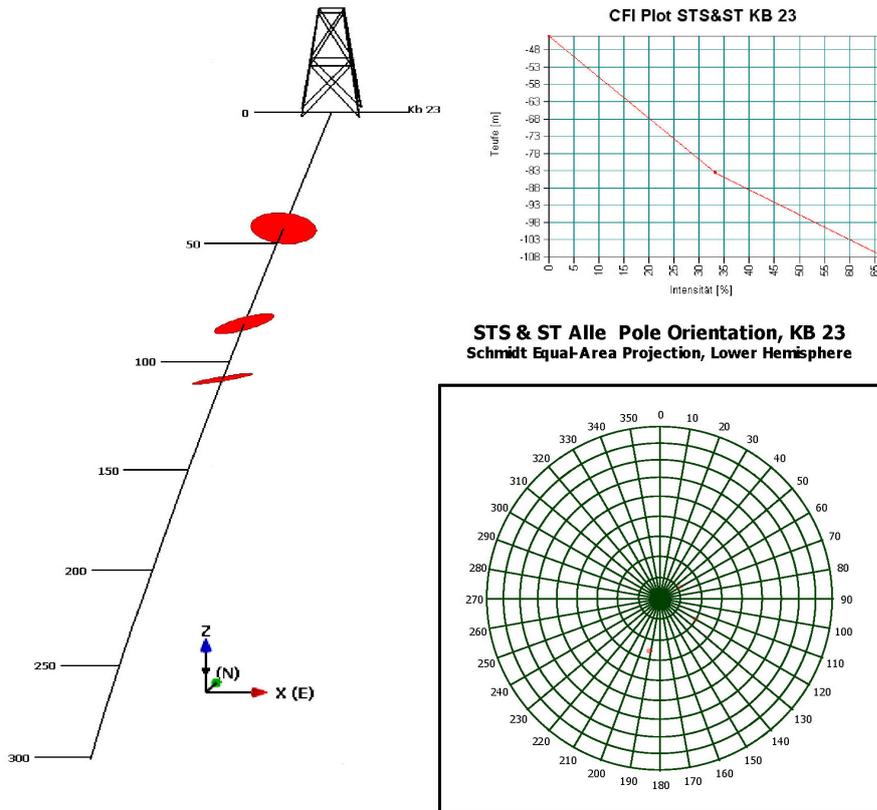


Abb. 115: Darstellung aller gemessenen Polororientierungen, des CFI Pots und die Verteilung der ST & STS entlang der KB 22

- **ST & STS der Kernbohrung KB 24**

In der KB 24 wurden insgesamt 59 ST & STS Flächen gemessen. Die Kernbohrung KB 24 ist in zwei Bereiche unterteilbar. In der Tief von 208 m ist ein Intensitätswechsel erkennbar (Abb. 116). In dieser Tiefe befindet sich die Störung 6.

Die Tab. 34 zeigt den Bereich A mit einer Zerlegungsintensität von  $0,24 \text{ m}^{-1}$  und den Bereich B mit einer wesentlich geringern Zerlegungsintensitäts von  $0,06 \text{ m}^{-1}$ .

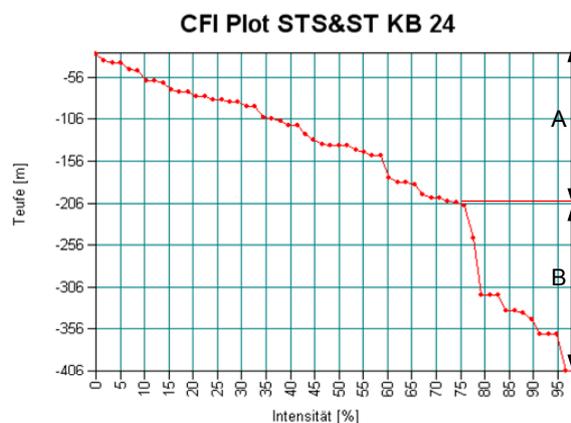


Abb. 116: CFI Plot STS&ST KB 24

Tab. 34: Die statistische signifikanteste Werte der einzelnen Bereiche

	Top [m]	Bottom [m]	Länge [m]	Anzahl	P10 [m-1]
STS&ST A	27	208	181	43	0,24
STS&ST B	208	405	197	12	0,06

Die Abb. 117 zeigt die Polorientierungen der einzelnen Bereiche im Schmidt'schen Netz. Anhand der farbigen Isolinien lassen sich Schwerpunkte der Polorientierungen erkennen.

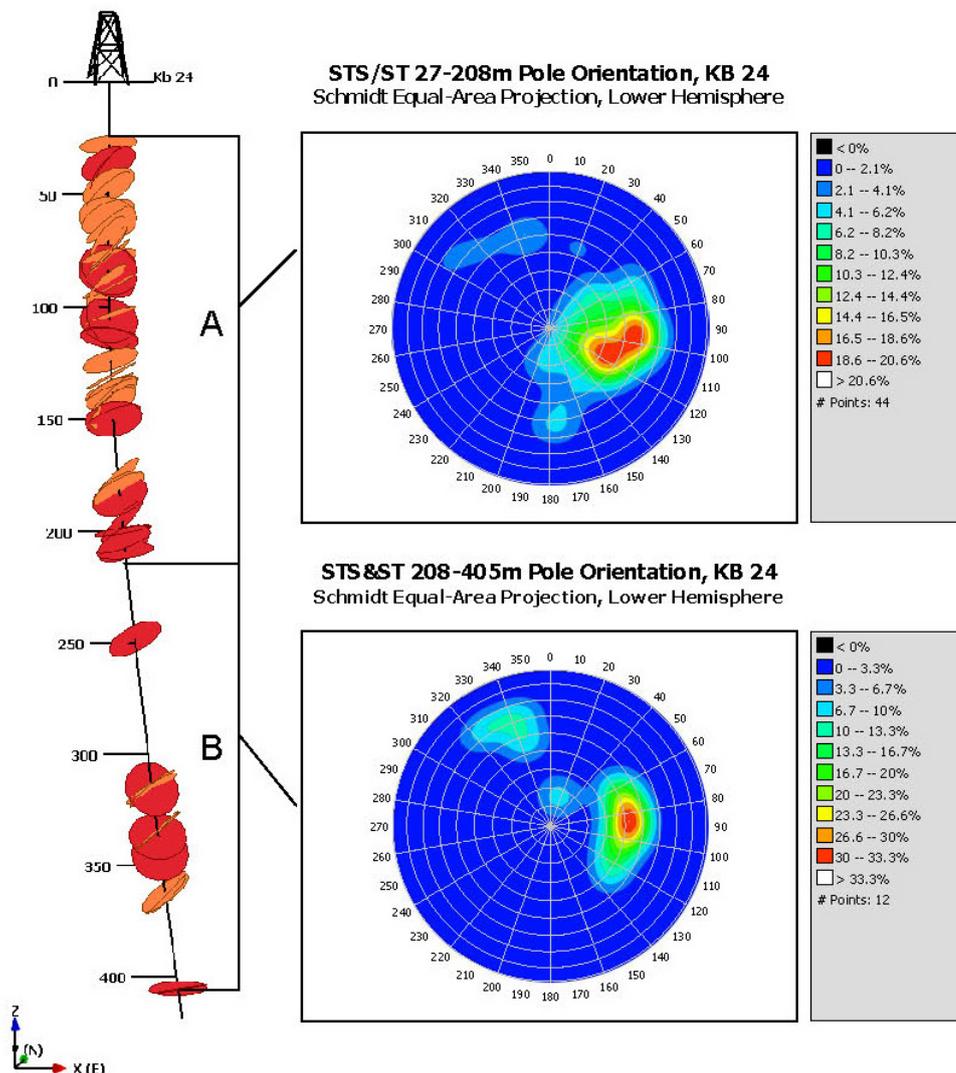


Abb. 117: Schmidt'sche Netz Darstellung der Polpunktorientierungen der ST&STS der KB 24

- **ST & STS der Kernbohrung KB 25**

Die Kernbohrung 25 weist 10 gemessene STS & ST auf. Die Abb. 118 zeigt die Orientierung der ST&STS entlang der KB 25 und die Intensitätskurve im CFI Plot.

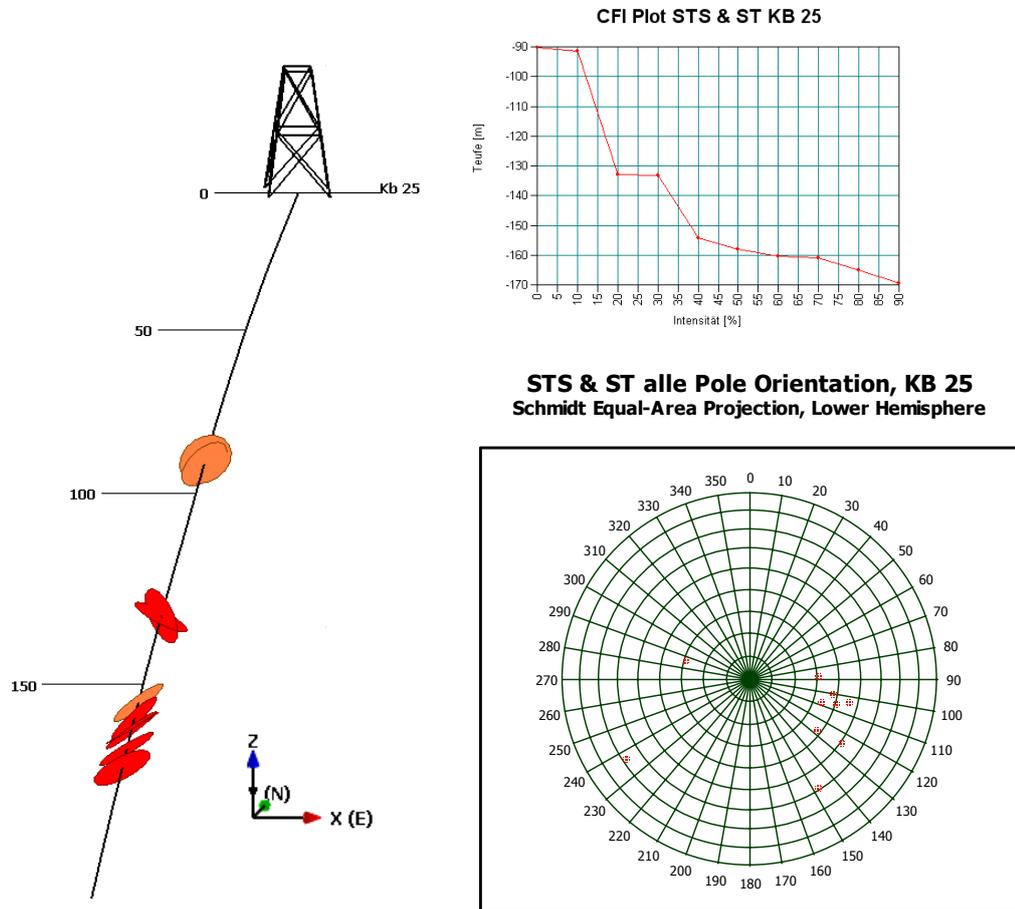


Abb. 118: Darstellung aller gemessenen Polorientierungen des CFI Pots und die Verteilung der ST & STS entlang der KB 25

## ST & STS der Kernbohrung KB 26

Die gesamte Kernbohrung 26 konnte in 3 Homogenbereiche untergliedert werden (Abb. 119). Der obere Bereich der KB 26 befindet sich im Semmeringkristallin und ist daher von keiner Relevanz.

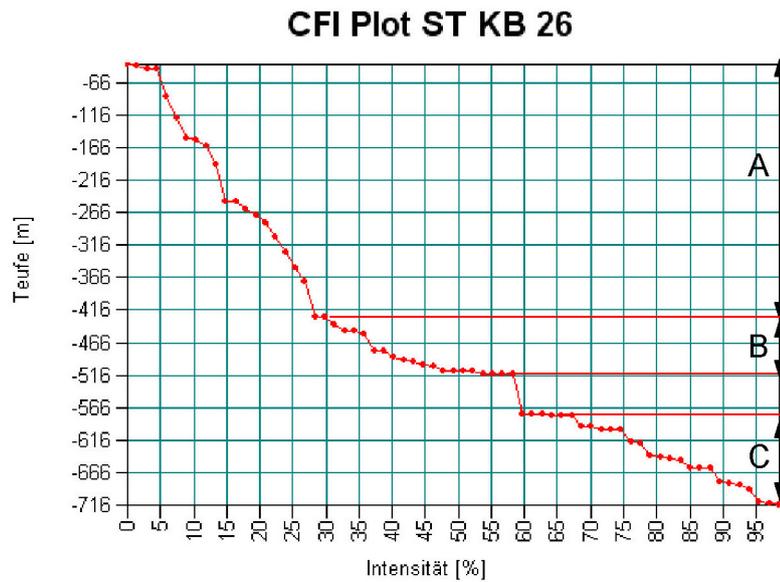
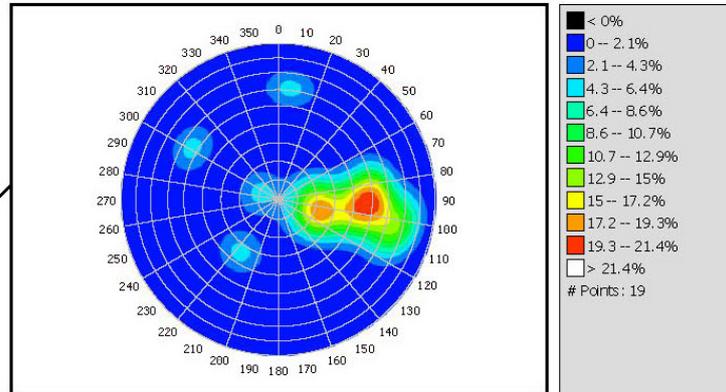
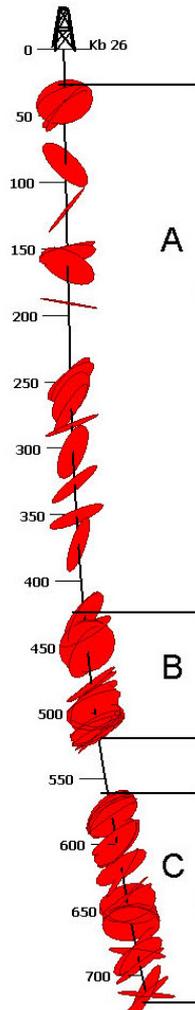


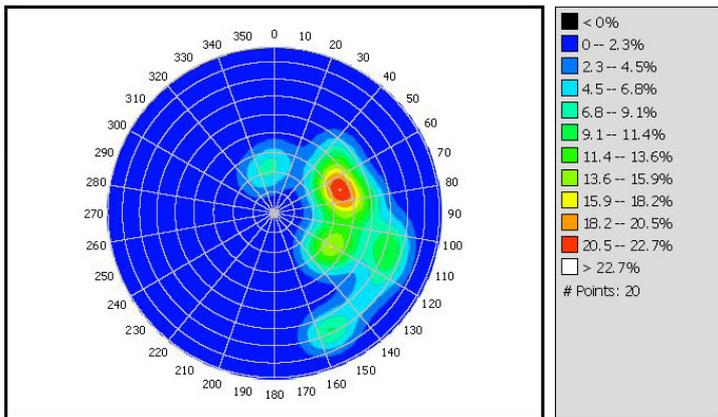
Abb. 119: CFI Plot (Kumulativer Fracture Intensitätspolt) der Störungen der Kernbohrung 26

Im Bereich A, B und C sind deutliche Intensitätsunterschiede erkennbar. Die Abb. 120 zeigt die Verteilung die Störungen entlang der Bohrung KB 26, dargestellt im Schmidt'schen Netz.

**ST 38-426m Pole Orientation, KB 26**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere



**ST 426-514m Pole Orientation, KB 26**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere



**ST 576-715m Pole Orientation, KB 26**  
Schmidt Equal-Area Projection, Lower Hemisphere

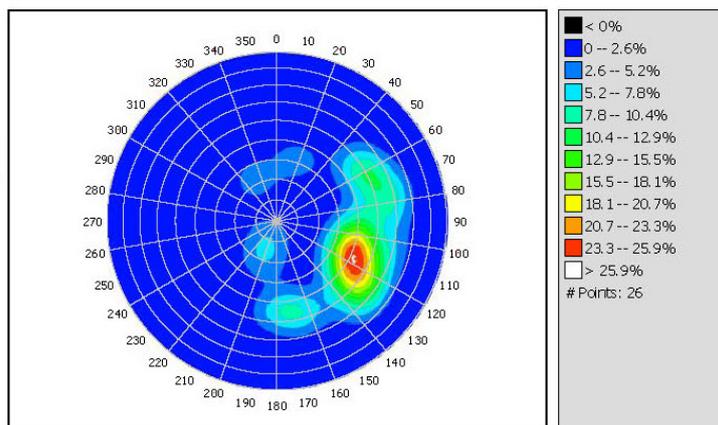


Abb. 120: Darstellung aller gemessenen Polorientierungen, des CFI Pots und die Verteilung der ST & STS entlang der KB 26



## 5.2 MODELLIERUNG

Die im Abschnitt 5.1 ausgewerteten Parameter wurden nun in ein dreidimensionales Modell übergeführt. Da die Größe der Flächen der Schieferungs-, Harnisch-, und Kluffflächen nicht bekannt ist, wurde eine Abschätzung dieses Parameters für das Modell durchgeführt. Der Durchtrennungsgrad der Harnischfläche wurde als eins angenommen. In Anlehnung an die Diplomarbeit von MERLINGER (1994) wurde im weiteren Schritt die Schieferungsflächen mit der halben Größe im Verhältnis zur Harnischfläche und die Klufffläche mit einem Drittel im Verhältnis zur Harnischfläche definiert.

Große Flächen über große Dimensionen von Trennflächen Radien sind leichter modellierbar als kleine Radien, da weniger Rechenkapazität erforderlich ist. Durch die großen Radien kommt es jedoch zu einer Überschätzung der Trennflächenintensität.

Im Kapitel 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.3 sind die Parameter der schematischen Erstellung der dreidimensionalen Modellen dargestellt. Die daraus resultierenden Modelle zeigen die sich verändernde Intensität der einzelnen Bereiche über den gesamten Modellbereich.

Als erstes sind die Parameter für das Schieferungsflächen Modell angeführt, gefolgt von den Parametern der Harnischfläche und den Parametern der Kluffflächen.

Im Kapitel 5.2.4 werden anhand eines kleinen Bereiches ein realistisches Trennflächensystemmodell dargestellt. Mit Hilfe der Visualisierung eines Tunnels wird erkennbar, welche Trennflächen in welcher Orientierung im Tunnel anzutreffen sind.

Im der Abb. 121 ist eine Darstellung des Grundbasiomodells, auf dem die SF, H und Kluffmodelle basieren, dargestellt.

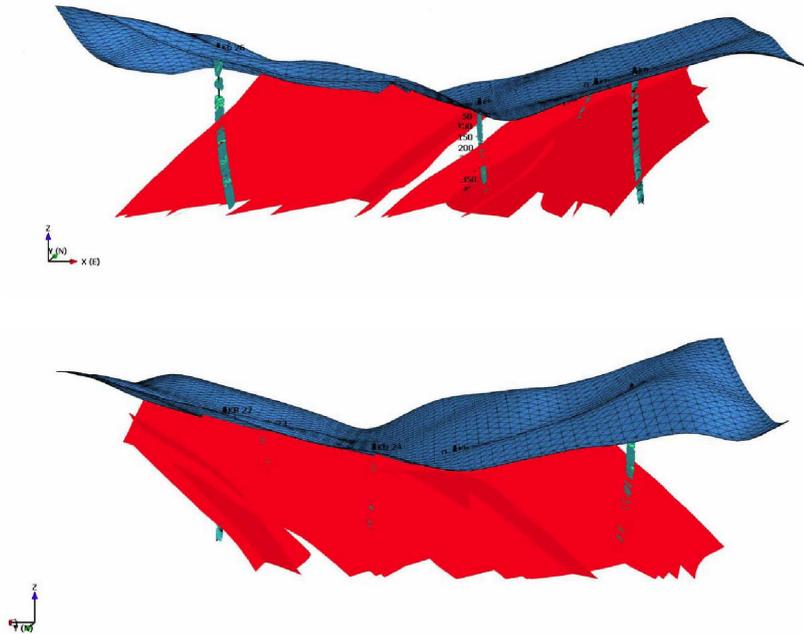


Abb. 121: Süd- und Nordansicht des Störungsmodells

### 5.2.1 MODELLPARAMETER SCHIEFERUNGSFLÄCHEN

Von Tab. 35 bis zur Tab. 40 sind die Schieferungsflächen relevanten Modellparameter dargestellt. Die Modelldimension der einzelnen Bereiche definiert sich aus der sich verändernden Lithologie, der in der Bohrung festgelegten Länge der Homogenbereiche und durch die Begrenzung von Störungszonen, die das Gebiet durchlaufen.

Wegen der genauen geologischen und tektonischen Abgrenzung ist in jeden Homogenbereich die Schieferungsanordnung im Raum als gleichmäßig angenommen, räumlich Enhanced Baecher Modell.

Aufgrund der begrenzten Hardwareressourcen wurde die Dimension der Schieferungsflächen (mit Radius 25 m) bewusst größer gewählt als sie in der Realität anzutreffen sind. Daher kommt es zu einer Überschätzung der Intensität der SF. Wichtiger in diesem Fall ist, die Relation der Schieferungsflächen zueinander.

Die Grenzbereiche der verschiedenen Zerlegungsintensitäten definieren sich in erster Linie durch auftretende Lithologien und in zweiter Linie durch die Orientierung der Störungszonen.

Tab. 35: Modellparameter SF KB 22

Parameter					
Modell Anordnung		Enhanced Baecher			
Orientierung	KB 22 SF A	Bivariant normal: n= 95/56, k1= 36; k2= 8; k12= 0 Bivariant normal: n= 95/46, k1= 32; k2= 10; k12= 0 Bivariant Bingham: n= 100/52, k1=-16; k2= -5 Bivariant Bingham: n= 106/43, k1= -37; k2= -9			
	KB 22 SF B				
	KB 22 SF C				
	KB 22 SF D				
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 SF A = 0,96; KB 22 SF B= 2,96; KB 22 SF C= 0,74; KB 22 SF D= 2,63			
Größe [R; m]		Constant 25			

Tab. 36: Modellparameter SF KB 23

Parameter					
Modell Anordnung		Enhanced Baecher			
Orientierung	KB 23 SF A	Fischer: n=134/75, k1= 38 Fischer: n= 118/75, k1= 44 Fischer: n= 1104/65, k1= 15 Bivariant normal: n= 158/60, k1= 17; k2= 5 ; k12=0			
	KB 23 SF B				
	KB 23 SF C				
	KB 23 SF D				
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 SF A = 1,57; KB 22 SF B= 2,20 KB 22 SF C= 0,24; KB 22 SF D= 1,96			
Größe [R; m]		Constant 25			

Tab. 37: Modellparameter SF KB 24

Parameter					
Modell Anordnung		Enhanced Baecher			
Orientierung	KB 24 SF A	Bivariant Bingham: n= 99/50, k1=-13; k2= -9 Bivariant Bingham: n= 111/53, k1= 20 Bivariant Bingham: n= 108/41, k1= -42; k2= -11 Bivariant normal: n= 102/44, k1= 27; k2= 8; k12=0			
	KB 24 SF B				
	KB 24 SF C				
	KB 24 SF D				
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 SF A = 3,51; KB 22 SF B= 1,35; KB 22 SF C= 0,41; KB 22 SF D = 1,87			
Größe [R; m]		Constant 25			

Tab. 38: Modellparameter SF KB 25

Parameter					
Modell Anordnung		Enhanced Baecher			
Orientierung	KB 25 SF A	Fischer: n= 134/54, k1= 35 Bivariant normal: n= 139/47, k1= 9; k2= 9 k12= 0 Bivariant Bingham: n= 125/43 k1= -28; k2= -14			
	KB 25 SF B				
	KB 25 SF C				
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 SF A = 3,19; KB 22 SF B= 3,68; KB 22 SF C= 2,05			
Größe [R; m]		Constant 25			

Tab. 39: Modellparameter SF KB 26

Parameter			
Modell Anordnung		Enhanced Baecher	
Orientierung	KB 26 SF A	Fischer: n= 100/51, k1= 26	
	KB 26 SF B	Bivariant Bingham: n= 81/65, k1 = -13; k2=-4	
	KB 26 SF C	Bivariant normal: n= 94/47, k1= 13; k2= 9 k12= 0	
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 SF A = 4,15; KB 22 SF B= 1,18; KB 22 SF C= 3,75	
Größe [R; m]		Constant 25	

Der P32 Wert wurde in einem separaten Schritt ermittelt. Schlussendlich ist eine Korrektur, Überprüfung der Richtigkeit und eine Überarbeitung der Modelle durchgeführt worden. In der Tab. 40 sind die ermittelten P10 und P32 Werte der SF dargestellt. Die Darstellung im Modell erfolgte jedoch aufgrund der begrenzten Rechenleistung jedoch nur mit einem Zehntel der realen P32 Werte.

Tab. 40: P10 und P32 Werte der SF

		P10		P10*	P32
SF22	A	0.90	0.05	0.0464	0.9698
	B	2.11	0.05	0.0356	2.9635
	C	0.50	0.05	0.0336	0.7440
	D	2.42	0.05	0.0460	2.6304
SF23	A	1.83	0.05	0.0580	1.5773
	B	2.00	0.05	0.0453	2.2085
	C	0.22	0.05	0.0455	0.2418
	D	1.72	0.05	0.0437	1.9680
SF 24	A	3.40	0.05	0.0484	3.5160
	B	1.01	0.05	0.0371	1.3579
	C	0.27	0.05	0.0325	0.4185
	D	1.28	0.05	0.0341	1.8779
SF 25	A	3.30	0.05	0.0517	3.1940
	B	3.20	0.05	0.0434	3.6843
	C	1.45	0.05	0.0353	2.0567
SF 26	A	3.67	0.05	0.0441	4.1592
	B	0.90	0.05	0.0379	1.1867
	C	3.10	0.05	0.0413	3.7530

Aus dem zuvor beschriebenen Modellparametern ist EINE Realisierung des Schieferungsmodells im gesamten Modellierungsbereich dargestellt (siehe Abb. 122). Für das Tunneldesign sind mehrere Realisierungen notwendig (nach dem statistischen Prinzip sind es mindestens 30), damit die Designzuverlässigkeit und das Risiko der

Informationsunsicherheit beurteilt werden können. Das heißt weiters, die eigentlichen Ergebnisse der Modellierungen sind die Modellparameter in der Tab. 30 bis Tab. 40 mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeitsangaben. Dies gilt auch für alle andern dargestellten Trennflächentypen.

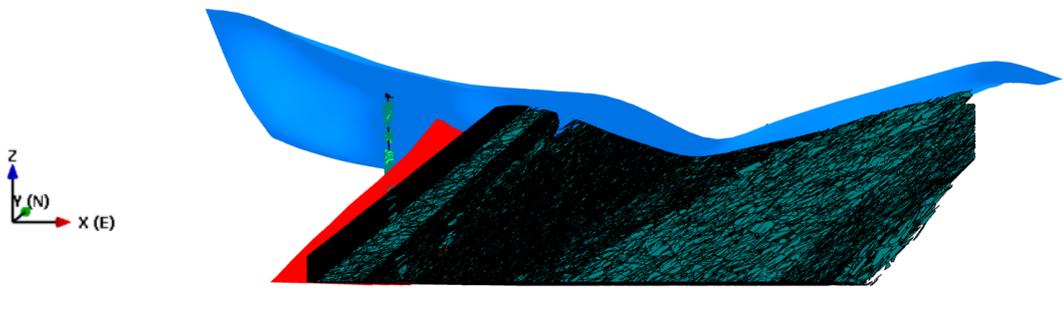


Abb. 122: Eine Darstellung der Schieferungsflächen in Südansicht

Die Intensitäten der Schieferungsflächen, Harnischflächen und Kluffflächen wurde primär anhand der sich im Gebirge wechselnden Lithologie modelliert. Bereiche des Modells, in dem keine zuverlässigen Daten bezüglich Zerlegung vorhanden sind wurden nicht modelliert. Hierunter fallen vor allem Bereiche die von mächtigen Störungszonen durchschnitten und daher kein zuverlässiger Zerlegungsgrad vorhanden ist.

Als Bsp. sind die verschiedenen Bereiche gleicher Schieferungsintensität in der Abb. 122 ersichtlich.

In der KB 22 ist von einer Teufe von 307 m bis in einer Teufe von 499 m eine stärker Zerlegungsintensität anzutreffen. Diese Zerlegungsintensität korreliert mit dem Auftreten von Albitschiefer in Wechsellagerung mit Gneis-Serizit-Chlorit.

Im oberen Bereich der KB 22, KB 23 und KB 24 ist eine Zunahme der Schieferungsintensität zu beobachten. Der begrenzende Bereich für diesen stärker zerlegten Bereich ist neben der lithologischen Grenze der Störungzone acht.

Nach Westen folgt dann eine Wechsellagerung von stärker und weniger stark geschiefertem Gebirge. In der KB 26 tritt noch einmal ein markanter Bereich von 495 m bis 648 m Teufe mit einer markant geringeren Schieferungsintensität auf.

Da im westlichen Bereich des Modells, aufgrund der nicht Einbeziehung der KB 03/06, keine Daten zur Verfügung stehen, wurde dieser Bereich nicht modelliert.

## 5.2.2 MODELLPARAMETER HARNISCHFLÄCHEN

Die Tab. 41 zeigt die Modellparameter für die Erstellung des Harnischflächen Modells. In der Tab. 42 sind die P32 und P10 Werte angeführt.

Tab. 41: Modellparameter für die Harnischflächen

Parameter		
Modell Anordnung		Enhanced Baecher
Orientierung	KB 22 H & HS A	Bivariant Bingham: n= 92/56, k1=-3; k2=-1; Max Achse 334/17
	KB 22 H & HS B	Bivariant Bingham: n= 90/36, k1=-6; k2=-2; Max Achse 231/46
	KB 23 H & HS	Bivariant Bingham: n= 116/68, k1=-8; k2=-5; Max Achse 226/7
	KB 24 H & HS	Bivariant Bingham: n= 101/53, k1=-7; k2=-6; Max Achse 245/30
	KB 25 H & HS A	Bivariant Bingham: n= 130/48, k1=-10; k2=-7; Max Achse 234/13
	KB 25 H & HS B	Fischer: n= 93/45, k1=46
	KB 26 H & HS B	Bivariant Bingham: n= 101/50, k1=-7; k2=-5; Max Achse 341/16
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 H & HS A = 0,154; KB 22 H & HS B = 0,0114; KB 23 H & HS = 0,135; KB 24 H & HS = 0,141; KB 25 H & HS A = NB 4,199; KB 25 H & HS B = 1,082 KB 26 H & HS B = 0,090
Größe [R; m]		Constant 50

Tab. 42: P10 und P32 Werte der Harnischflächen

		P10		P10*	P32
SF22	A	0.10	0.05	0.0329	0.1550
	B	0.07	0.05	0.0285	0.1142
SF23	A	0.10	0.05	0.0364	0.1357
SF 24	A	0.11	0.05	0.0382	0.1410
SF 25	A	3.69	0.05	0.0440	4.1999
	B	0.83	0.05	0.0385	1.0823
SF 26	B	0.06	0.05	0.0350	0.0900

Die Abb. 123 zeigt eine mögliche Realisierung der Harnischflächen des Modellbereiches.

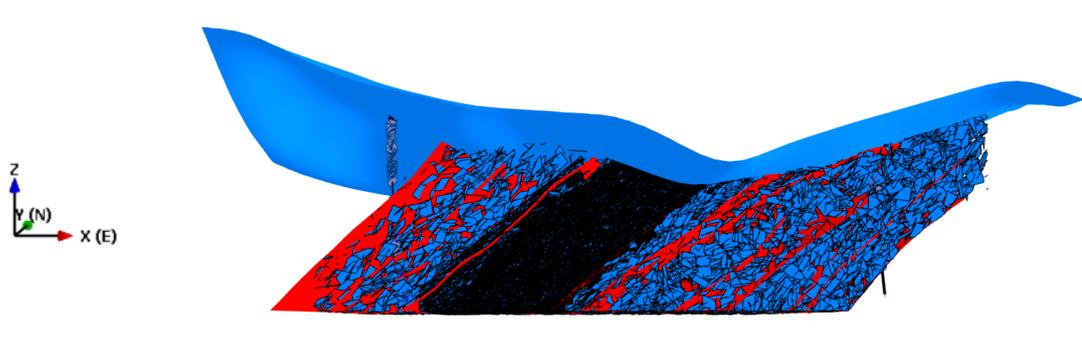


Abb. 123: Darstellung einer HS Realisierung in Südansicht

Die Modellierung der Harnische und Harnischflächen ergibt, dass die Anzahl der auftretenden Harnischflächen an der Talsohle des Fröschnitztales ihr Maximum erreicht. Dies ist durch die Deckenüberschiebung von Wechsel- auf Semmeringkristallin bedingt.

### 5.2.3 MODELLPARAMETER DER KLUFFTLÄCHEN

Die Tab. 43 zeigt die Modellparameter für die Erstellung des Klufftmodells. In der Tab. 44 sind die P10 und P32 Werte dargestellt.

Tab. 43: Modellparameter für das Klufftmodell

Parameter					
Modell Anordnung		Enhanced Baecher			
Orientierung	KB 22 K A	Bivariant Normal: n= 72/35, k1=71; k2=31			
	KB 23 K A I	Bivariant Normal: n= 148/8, k1=16; k2=11			
	KB 23 K A II	Bivariant Normal: n= 286/18, k1=20; k2=19			
	KB 23 K A III	Bivariant Normal: n= 98/64, k1=77; k2=15			
	KB 23 K B I	Bivariant Bingham: n= 103/67, k1=-12; k2=-5; Max Achse 300/21			
	KB 23 K B II	Bivariant Bingham: n= 297/28, k1=-2; k2=-1; Max Achse 207/1			
	KB 24 K A I	Bivariant Normal: n= 126/41, k1=45; k2=18			
	KB 24 K A II	Bivariant Normal: n= 18/48, k1=74; k2=16			
	KB 24 K B I	Bivariant Normal: n= 97/33, k1=69; k2=36; k12=-0,17			
	KB 25 K A	Bivariant Bingham: n= 126/61, k1=-4; k2=-3; Max Achse 10/13			
	KB 25 K B	Bivariant Bingham: n= 117/59, k1=-3; k2=-3; Max Achse 235/15			
	KB 26 K B	Bivariant Bingham: n= 97/47, k1=-3; k2=-1,5; Max Achse 207/13			
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 K A = 3,40; KB 23 K A I = 2,210; KB 23 K A II = 2,781; KB 23 K A III = 1,594 KB 23 K B I = 0,628; KB 23 K B II = 0,360 KB 24 K A I = 0,725; KB 24 K A II = 1,069, KB 24 K B = 2,04 KB 25 K A = 1,211; KB 25 K B = 1,840 KB 26 K B = 3,087			
Größe [R; m]		Constant 10			

Tab. 44: P10 und P32 Werte der Klufftflächen

		P10		P10*	P32
KB 22 K		2.56	0.05	0.0376	3.4075
KB 23 K A	I	0.74	0.05	0.0168	2.2108
	II	1.02	0.05	0.0184	2.7813
	III	1.64	0.05	0.0514	1.5943
KB 23 K B	I	0.53	0.05	0.0421	0.6282
	II	0.61	0.05	0.0842	0.3601
KB 24 K A	I	0.60	0.05	0.0416	0.7252
	II	0.78	0.05	0.0367	1.0692
KB 24 K B		1.85	0.05	0.0453	2.0432
KB 25 K A		0.82	0.05	0.0338	1.2112
KB 25 K B		0.83	0.05	0.0226	1.8408
		2.45	0.05	0.0396	3.0879

## 5.2.4 MODELLPARAMETER AUSGEWÄHLTER BEREICHE

Der folgende Abschnitt zeigt einen kurzen detailgetreuen Abschnitt entlang der Tunnelachse westlich von der KB 22.

Zur besseren Darstellung der realistischen Trennflächensystemmodelle wurde entlang der Tunnelachse über eine Länge von 170 m ein virtueller 10 m mächtiger Tunnel durch den modellierten Bereich gelegt. Die Abb. 124 zeigt den dreidimensional modellierten Bereich nahe der Kernbohrung 22.

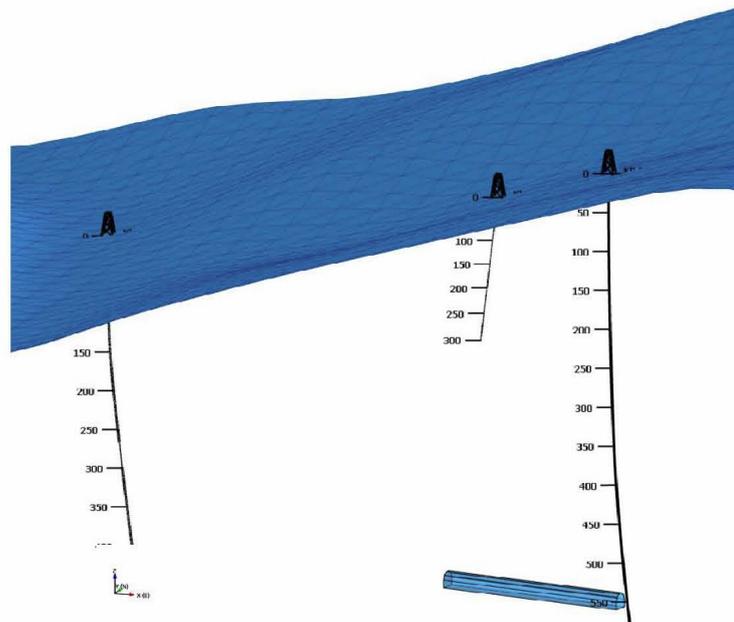


Abb. 124: Darstellung des modellierten Teilstückes in Tunnelachse. Der baue Balken repräsentiert den Tunnel.

Die Abb. 125 zeigt ein Beispiel für die in der Tab. 45 angeführten Modellparameter. Bei den dargestellten Flächen handelt es sich um die in der KB 22 auftretenden Harnischflächen.

Dabei wird ersichtlich, dass durch die Darstellung eine optische Überschätzung stattfindet. Um reale Gegebenheiten in Bezug auf den Tunnelvortrieb darzustellen zu können, ist es daher notwendig einen Verschnittkörper quer durch den modellierten Bereich zu legen.

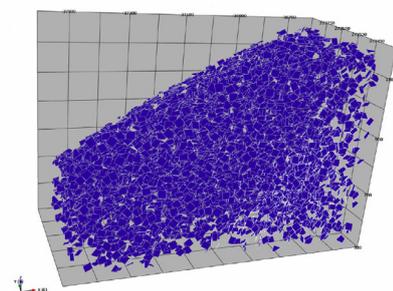
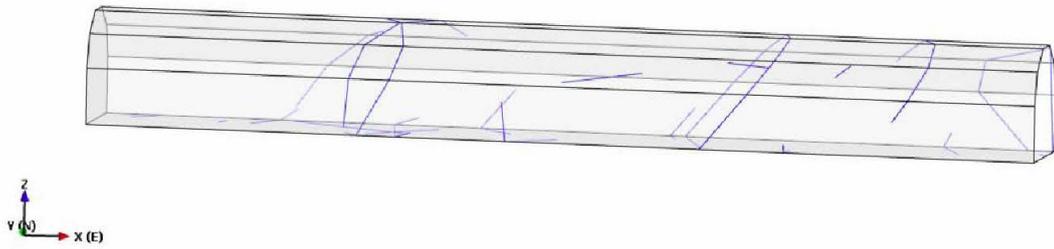


Abb. 125: Auftrennende Harnischflächen in dem Modell

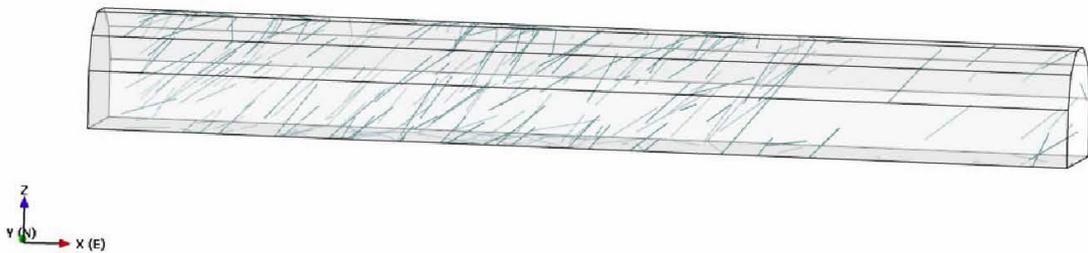
Die Abb. 126 zeigt die verschneidenden Schieferungsflächen, Harnischflächen und Kluffflächen in Tunnelachse. Der P32 Wert wurde systematisch um einzehntel reduziert, um eine bessere Darstellung der Daten zu ermöglichen.

Tab. 45: Modellparameter für das Kluffmodell

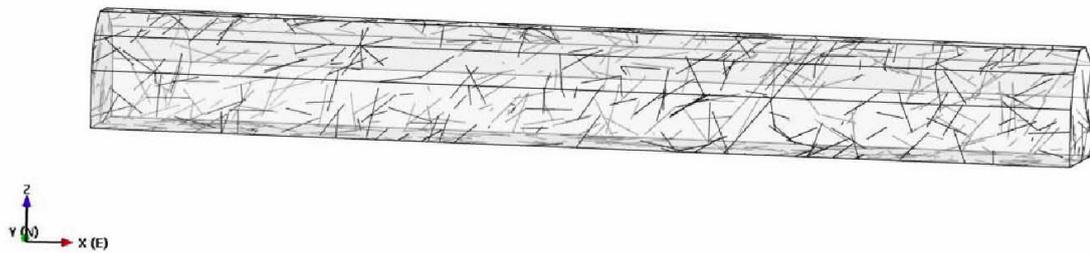
Parameter		
Modell Anordnung		Enhanced Bacher
Orientierung	KB 22 SF A	Bivariant normal: n= 95/56, k1= 36; k2= 8; k12= 0
	KB 22 SF B	Bivariant normal: n= 95/46, k1= 32; k2= 10; k12= 0
	KB 22 SF C	Fischer: n= 101/51, k1= 14
	KB 22 SF D	Bivariant normal: n= 106/42, k1= 15; k2= 11; k12=0
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 SF A = 0,96; KB 22 SF B= 2,96; KB 22 SF C= 0,74; KB 22 SF D= 2,63
Größe [R; m]		Constant 7
Modell Anordnung		Enhanced Baecher
Orientierung	KB 22 H & HS A	Bivariant Bingham: n= 92/56, k1=-3; k2=-1; Max Achse 334/17
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 H & HS A = 0,15; KB 22 H & HS B = 0,114;
Größe [R; m]		Constant 14
Modell Anordnung		Enhanced Baecher
Orientierung	KB 22 K A	Bivariant Normal: n= 72/35, k1=71; k2=31
Intensität P32 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]		KB 22 K A 3,407
Größe [R; m]		Constant 4



Harnischflächen



Schieferungsflächen



Kluftflächen

Abb. 126: Verschnittflächen der Harnisch-, Schieferungs- und Kluftflächen mit den Tunnel

### **5.3 DIE UNSICHERHEITEN UND DER VERTRAUENS- BEREICH DES MODELLS**

Die idealste Beschreibung von Trennflächen würde durch eine spezifische Beschreibung von jeder Trennfläche im Gebirge erfolgen. Dies ist aufgrund der limitierten Dateninformation jedoch nicht möglich. Dies ist der Grund, warum in dieser Arbeit Trennflächen als Gesamtes probabilistisch beschrieben und dargestellt werden.

Die direkte und indirekte Beobachtung der Trennflächen hat eine beschränkte Genauigkeit. Die Genauigkeit ist stark von der Dokumentationsgenauigkeit der Bohrkernaufnahmedaten, von der Orientierung der Flächen im Raum, als auch von der Bohrdurchführungsqualität abhängig. Da Trennflächen einen stochastischen Charakter haben und im Raum variieren, ist der zuverlässigste Durchschnittswert der Polorientierung und des Korrelationskoeffizienten ein wichtiger Wert, um die Zuverlässigkeit des Modells zu quantifizieren.

Um weitere Ungenauigkeiten des Modells zu minimieren, wurde der längenbezogene P10 Wert auf den volumsmäßigen P32 Wert umgerechnet.

In der modernen Trennflächensystemmodellierung kann die Variation, die Unsicherheit des P32 sowie die Trennflächengröße berücksichtigt werden. Da sich das Semmeringprojekt im jetzigen Zeitpunkt in der Erkundungsphase befindet sind keine zuverlässigen Informationen von beiden Parametern zu erwarten.

## **6 KAPITEL6 / SCHLUSSFOLGERUNG / DISKUSSION**

Das in dieser Arbeit erstellte Trennflächensystemmodell zeigt eine systematische dreidimensionale Quantifizierung der auftretenden Trennflächen im Modellbereich. Ein ausgewählter Bereich mit der größten Zuverlässigkeit wurde separat modelliert. Um eine Zuverlässigkeit für das Tunneldesign zu erreichen ist es aufgrund des statistischen Prinzips notwendig, mindestens 30 Realisierungen durchzuführen. In dieser Arbeit ist nur eine Realisierung dargestellt.

Im Trennflächensystemmodell ist jede Trennfläche mit den Parametern wie Position, Orientierung, Größe sowie geometrische Form mathematisch beschrieben und ist die Basis für die Trennflächenanalyse beliebiger Ingenieursarbeit.

Die auftretenden Störungzonen im Modellgebiet wurden separat modelliert. Von den gemessenen Störungzonen wurden nur die markantesten in den Bohrung auftretende Störungzonen für die Erstellung des Modells herangezogen.

Die Modellparameter für ein Kluffmodell, ein Schieferungsmodell und ein Harnischflächenmodell wurden erstellt. Die für das Trennflächensystemmodell verwendeten Daten, sind Daten die mittels ABF (Akustischen Bohrloch Fernsehen) entlang des Bohrlochpfades ermittelt wurden. In Kombination der Bohrlogdaten mit dem geologischen Konzeptmodells wurden die Daten in eine allgemein gültige 3D Daten umgewandelt. Das Oberflächenrelief wurde auch dreidimensional und georeferenziert dargestellt.

Mit Hilfe von einer neuen Methode wurden große tektonische Flächen in dreidimensionaler Lage und Konzepttreue modelliert. Bei den identifizierten Zonen und Flächen wurden systematische statistische Untersuchungen durchgeführt: Die Relation zu den Trennflächenparametern, der Bezug in die Tiefe, die Raumanordnung. Alle Parameter wurden probabilistisch quantifiziert und zusammengefasst.

Eine solche Auswertung bildet die beste Voraussetzung für zuverlässige Beurteilungen für das Projekt.

Aus den Daten der Bohrkernaufnahme wurden in einem separaten Schritt Homogenbereiche ermittelt. Diese Bereiche wurden zwar näher beschrieben, sind aber nicht direkt in das Trennflächensystemmodell eingeflossen. Ein Mitgrund für die Nichtberücksichtigung ist, dass die Position der auftretenden Diskontinuitäten im Raum nicht exakt eruiert werden können und mit starker Ungenauigkeit behaftet ist.

Der große Nachteil der Kernbohrungen ist, dass diese in Relation zum Gesamtgebirge nur Nadelstiche darstellen. Mit einer größeren Anzahl an Kernbohrungen kann eine genauere Vorhersagbarkeit der Gebirgseigenschaften erzielt werden. Eine realistische Darstellung des Gebirges erfordert daher eine große Anzahl an Kernbohrungen.

Gegeben ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass Störungszonen aufgrund der Orientierung der Bohrungen nicht erfasst wurden und daher nicht in das Modell eingeflossen sind.

Beim Modellgebiet handelt es sich um einen relativ „einfach“ aufgebauten geologischen Bereich mit nur wenigen unterschiedlich auftretenden Lithologien. Dennoch handelt es sich um eine Deckenüberschiebungszone, die abseits der Bohrungen auch größere Abweichungen vom interpretierten Modell ermöglicht.

Das Projektgebiet wurde auf einen Bereich 500 m nördlich und 250 m südlich begrenzt, um Unsicherheiten, die mit steigender Entfernung von der Bohrung auftreten, so weit wie möglich, zu minimieren. Lithologische Bereiche wurden anhand der durchschnittlichen Schieferungsflächen projiziert.

In dem Modell wurden nur der Zerlegungsgrad und die sich ändernde Lithologie sowie auftretenden Störungszonen miteinbezogen. Andere Parameter wurden im Modell nicht berücksichtigt, da die Komplexität des Modells zu groß würde.

Die aus dieser Arbeit resultierende Quantifizierung ist eine Weiterentwicklung zu bereits bestehenden Modellen, in dem eine statistische Auswertung der Unsicherheiten quantifiziert und in ein dreidimensionales Modell übergeführt wurde. Eine weitere Verbesserung des Modelles ist in mehreren Hinsichten möglich: Durch Einbeziehung von geophysikalische und sonstig in der Vorerkundung erhobenen Daten, mit einer größeren Anzahl von Bohrungen. Im Modell wurden die Störungszonen in einer einheitlichen Mächtigkeiten modelliert. Durch Modellierung der unterschiedlichen Mächtigkeiten kann eine Verbesserung der Genauigkeit erzielt werden. Der P32 Wert wurde in dem Modell nur mittels einer Bohrung ermittelt. Durch Verwendung eines Durchschnittwertes von mehreren Bohrungen in verschiedenen Orientierungsrichtungen könnte die Genauigkeit des Modells noch weiter verbessert werden.

Mit den digitalisierten Daten in das .gslib Fileformat sind noch mehrere weiterführende Arbeiten möglich, die aber den Rahmen dieser Arbeit bei weitem übersteigen.

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

BILL R., FRITSCH D., (1994). Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1-2, Wichmann.

BP AMOCA., Upstream Technology Group, (1999). Direction Survey Handbook, BPA-D-004. S 260.

DECKER K., PERESSON H., (1998). Semmeringbasistunnel. Tektonische Auswertung und Strukturgeologische Interpretation von Digitalen Fernerkundungs- und Höhendaten. Institut für Geologie, Geo-Zentrum der Universität Wien.

DE DONATIS M., BORRACCINI F., SUSINI S., (2009). Sheet 280 – Fosombrone 3D: A study project for a new geological map of Italy in three dimensions. Computer & Geoscience 35, 19-32.

DERSCHOWITZ W.S., HERDA H., (1992). Interpretation of fracture spacing and intensity. Proc. of the 33rd U.S. Symp. Of Rock Mechanics. Tillerson & Wawersik (eds) 775-766.

FASCHING A., VANEK R., (2008). Zu den geologischen und hydrologischen Verhältnissen der SBT neu. Südbahntagung 28-29. Nov 2008, Graz.

FLÜGEL H., NEUBAUER F., (1984). Erläuterung zur geologischen Karte der Steiermark – GBA Wien, S 126.

GOBIET G., (2008). Das Projekt Semmering Basistunnel neu (SBT neu). Südbahntagung 28. – 29 Nov. 2008.

GROSHONG R., (1999). 3D Structural Geology. A practical guide to surface and subsurface map interpretation. Springer, Berlin, 324.

JONES R. R., MCCAFFREY K.J.W., CLEGG P., WILLSON R.W., HOLLIMAN N.S, HOLDSWORTH R.E., IMBER J., WAGGOTT S., (2009). Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualisation of multi-scale geological models. Computer & Geoscience 25, 4-18.

KAUFMANN O., MARTIN T., (2009). Reprint of „3D geological modelling from boreholes, cross-sections and geological maps, application over former natural gas strages in coal mines“ [Comput. Geosci. 34 (2008) 378-290]. Computer & Geosciences 35, 70-82.

KIECHL E., (2007). Die Hydrologische Wirksamkeit von Störungen und Störungszonen am Bsp. der Talhofstörung (Ostalpen). Diplomarbeit TU Graz, S 94.

LANGE N., (2006). Geoinformatik in Theorie und Praxis, Springer, Heidelberg.

LINZER H. G., DECKER K., PERESSON H., DELL'MOUR R., FRISCH W., (2002). Balancing lateral orogenic float of the Eastern Alps, Tectonophysics 354 (3-4), S 211-237.

LIU Q., (2005). Grundlagen der Statistik für Studierende der Erdwissenschaften. Skript TU Graz

LIU Q., KIEFER S., KLIMA K, BROSCHE F. J., (2009). A realistic Fracture System Model for engineering Analysis of underground excavation. ISRM-Sponsored International Symposium on Rockmechaniks

LIU Q., (2010). Wahrscheinlichkeitstheorie und statistische Methoden für Bauingenieure. Skript TU Graz

LIU Q., (2010). Fracture System Modelle, Skript Modeling in Engineering Geology. Skript TU Graz

MERLINGER J., (1994). Ingenieursgeologische und geostatistische Untersuchung von Trennflächencharakteristika in unterschiedlichen lithologischen Einheiten, Diplomarbeit TU Graz, S 61.

MITCHELL B., (1995). Oilwell drilling Engineering, Handbook, West New Mexiko, S 626.

MÜLLER. W., DALLMEYER R. D., NEUBAUER F., THÖNI M., (1999). Deformation-induced setting of Rb/Sr and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mineral systems in a low-grade, polymetamorphic terrane (Eastern Alps, Austria). J. Geol. Soc., 156/3 London, 261-278.

ÖNORM EN ISO 14688-1 (Lockergesteine)

ÖNORM EN ISO 14689-1 (Festgesteine)

PAHR A., (1977). Ein neuer Beitrag zur Geologie des Nordostsporns der Zentralalpe. Verh. GBA, Wien, 2, 23-33.

PÖLSLER P., (2000). Geologische Prognose und tatsächliche Verhältnisse – Bsp. Aus dem Pilotstollen des Semmering Basistunnels, Mitt. Österr. Geolog. Ges 91, S 91-99.

RIEDMÜLLER G., LIU Q., PÖLSLER P., STEIDL A., (1998). Determination of rock mass qualities for the foundation of the Birecik dam. 7<sup>th</sup> International IAEG Congress, Rotterdam.

RIEDMÜLLER G., BROSCHE F.J., KLIMA K., MEDLEY E., (2001). Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rocks. Felsbau 19, 4, 13-19.

SCHUBERT W., (1996). Dealing with squeezing conditions in Alpine tunnels. Rock Mech. Rock Eng., 29(3), 145-153.

SCHUSTER R., BERKA R., DRAGANITS E., FRANK W., (2001). Lithologien, Metamorphosegeschichte und Tektonischer Bau der Kristallinen Einheiten am Alpenostrand. Geologische Bundesanstalt Arbeitstagung, Neuberg an der Mürz, Beiträge 29-56.

TOLLMANN A., (1963). Ostalpensynthese. Franz Deuticke, Wien, 256.

TOLLMANN A., (1964). Das Permoskyth in den Ostalpen sowie Alter und Stellung des „Haselgebirges“ N. Jb. Geol. Paläont. Mh. Stuttgart, 270-299.

TOLLMANN A., (1977). Geologie von Österreich. Band 1. Die Zentralalpen.- Deuticke, Wien, S 766.

TONINI A., GUASTALDI E., MECCHERI M., (2009). Three dimensional reconstruction of the Carrara Syncline (Apuan Alps, Italy): An approach to reconstruct a geological model using only field survey data. Computers & Geosciences 35, 33-48.

WALLBRECHER E., (1986). Tektonische und gefügeanalytische Arbeitsweisen. Enke Stuttgart, S 244.

ZANCHI A., SALVI F., ZANCHETTA S., STERLACCHINI S., GUERRA G., (2009). 3D reconstruction of complex geological bodies Examples from the Alps. Computer & Geosciences 35, 49-69.

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Austria\\_satellite-map.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Austria_satellite-map.jpg) (2009)



## **8 ANHANG**

Geologische Karte Fröschnitztal

Geologischer Längenschnitt 3G

Geologischer Längenschnitt 500 m nördlich, 250 m südlich

Homogenbereiche Lithologie

Homogenbereiche Zerlegungsgrad

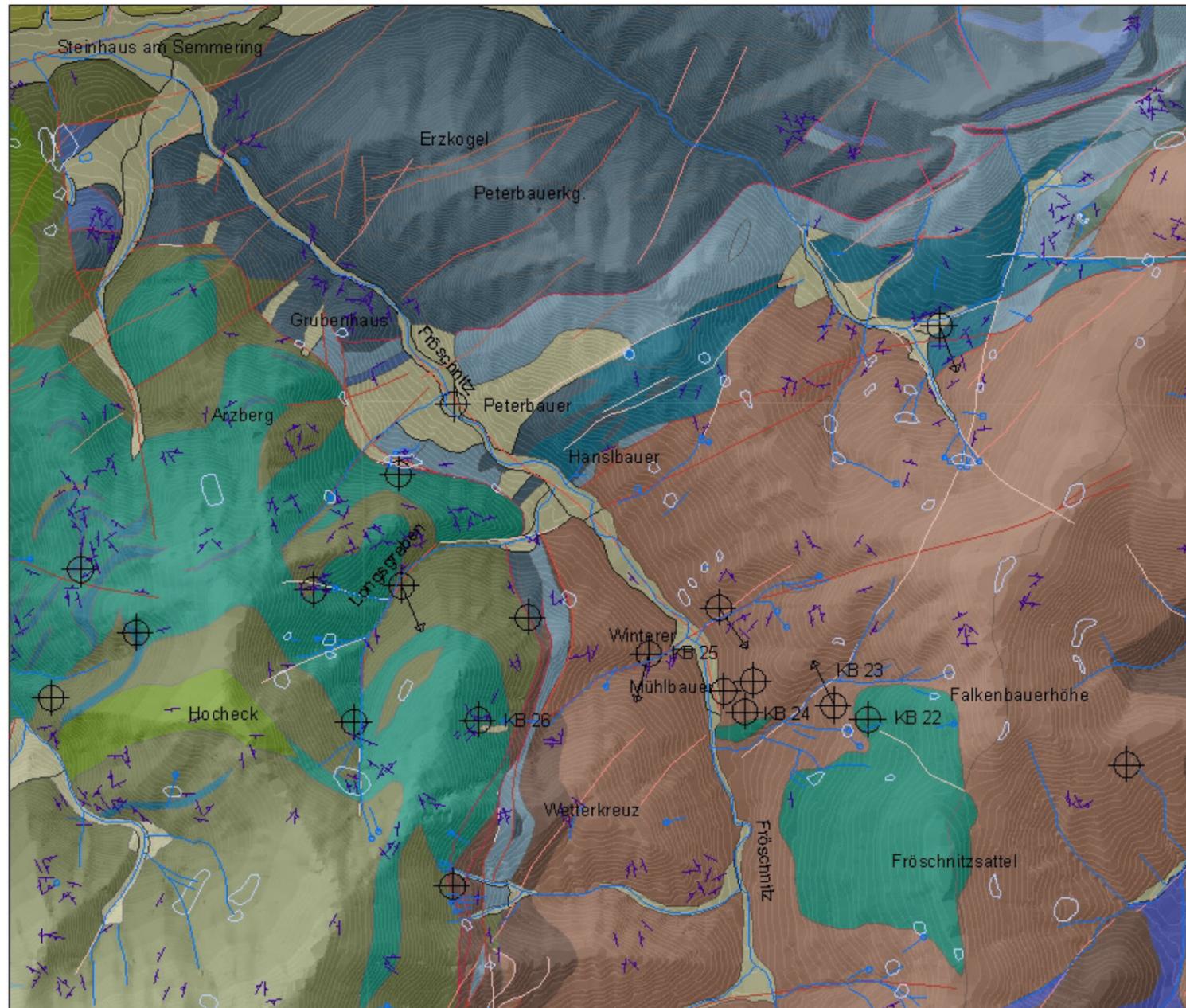
Homogenbereiche TF Abstand II zur SF

Statistische Auswertung der Schieferungsflächen

Statistische Auswertung der Harnischflächen

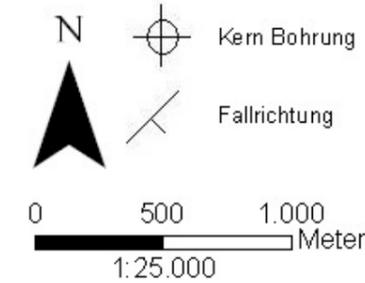
Statistische Auswertung der Kluffflächen

# Geologische Karte Fröschnitztal



## Lineament

- L-Abbrisskante-LG-aktiv
- L-Deckengrenze-gesichert
- L-Deckengrenze-vermutet
- L-Störung-DECKER\_Faults
- L-Störung-DECKER\_fe
- L-Störung-Luftbild
- L-Störung-interpretiert
- L-Störung-kartiert
- L-Störung-vermutet
- L-Störung\_ALT
- L-Zerrspalte

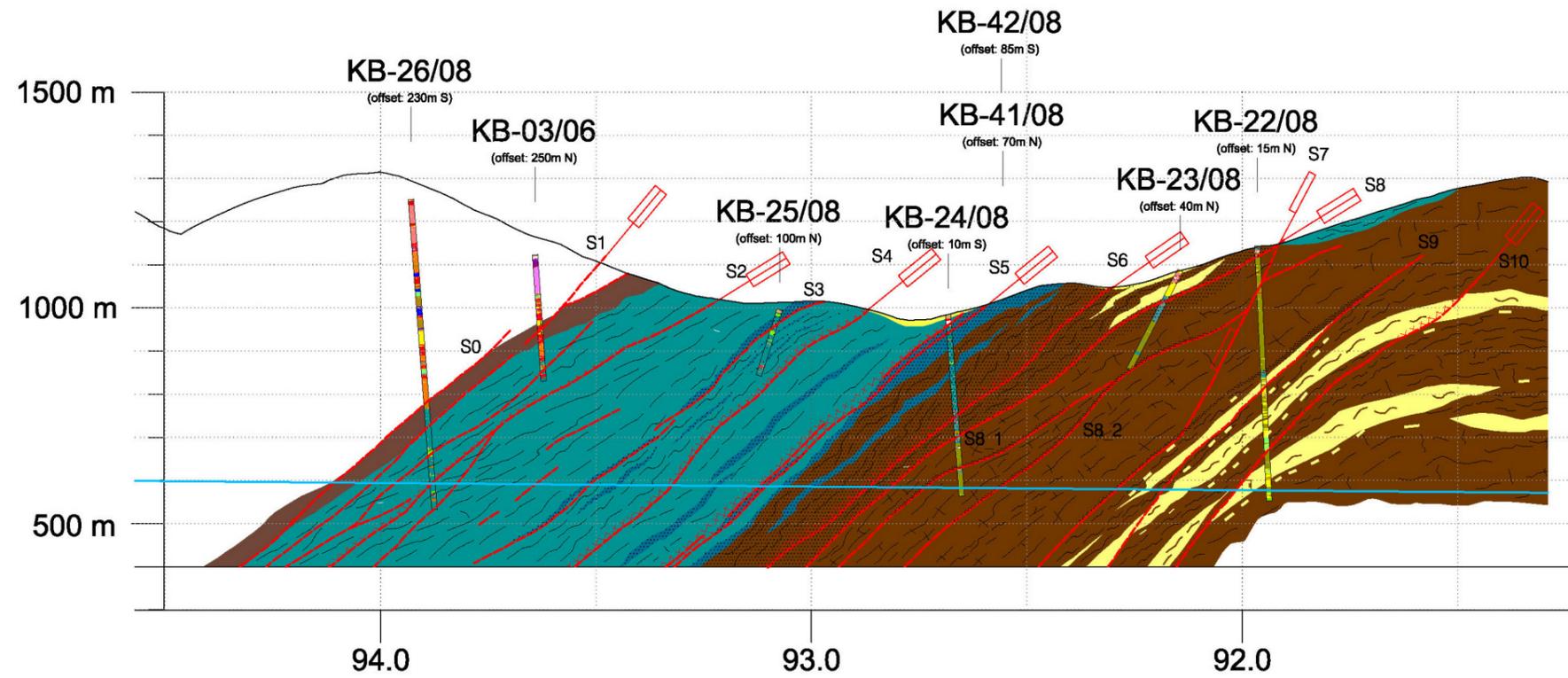


## Lithologie

- Albit-Blasten-Gneis
- Albitphyllit
- Amphibolith
- Dolomit
- Glimmerschiefer
- Gneis
- Graphitphyllit
- Hangschutt
- Karbonat
- Phengitschiefer
- Phyllit
- Quarzit
- Quarzphyllit
- Rauwacke
- Sericitschiefer
- Tertiär

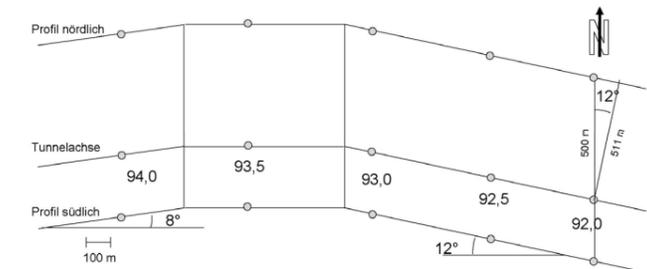
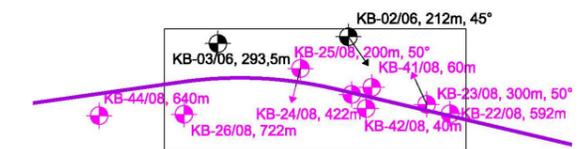
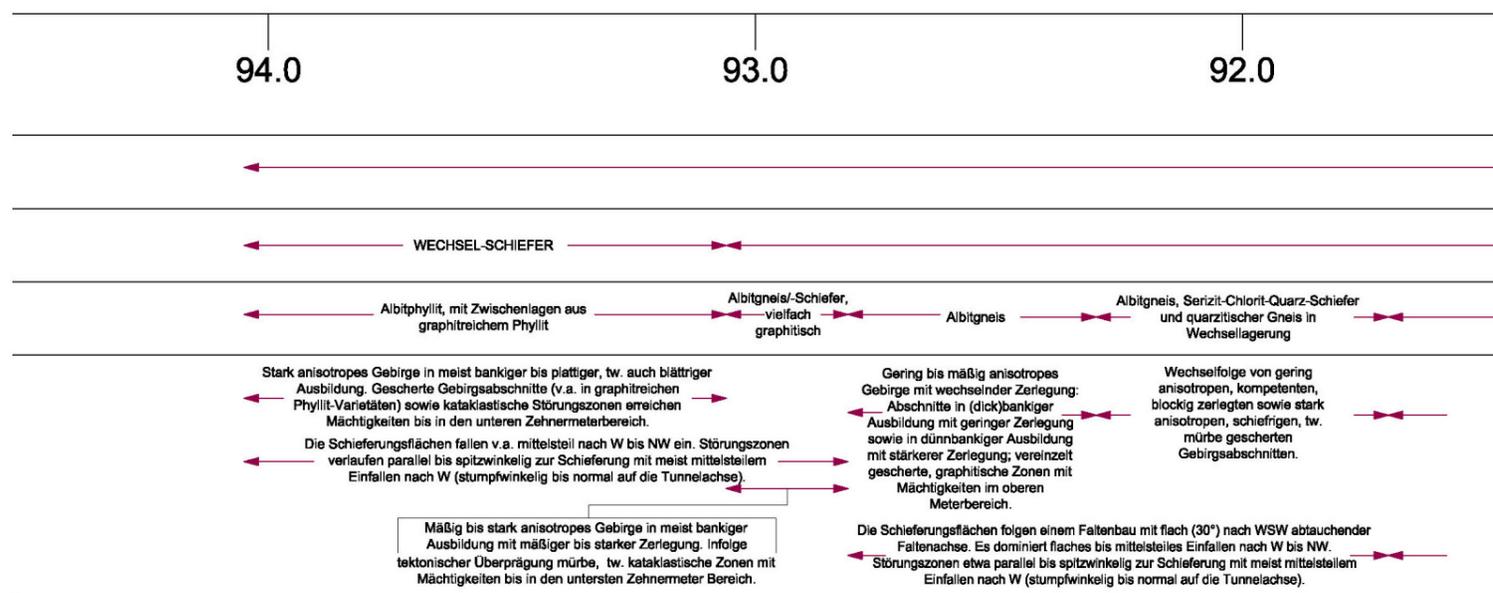


Geologische Karte des Projektgebietes, modifiziert nach der geologischen Detailkarte (Vanek, Stadler) 2009, ÖBB

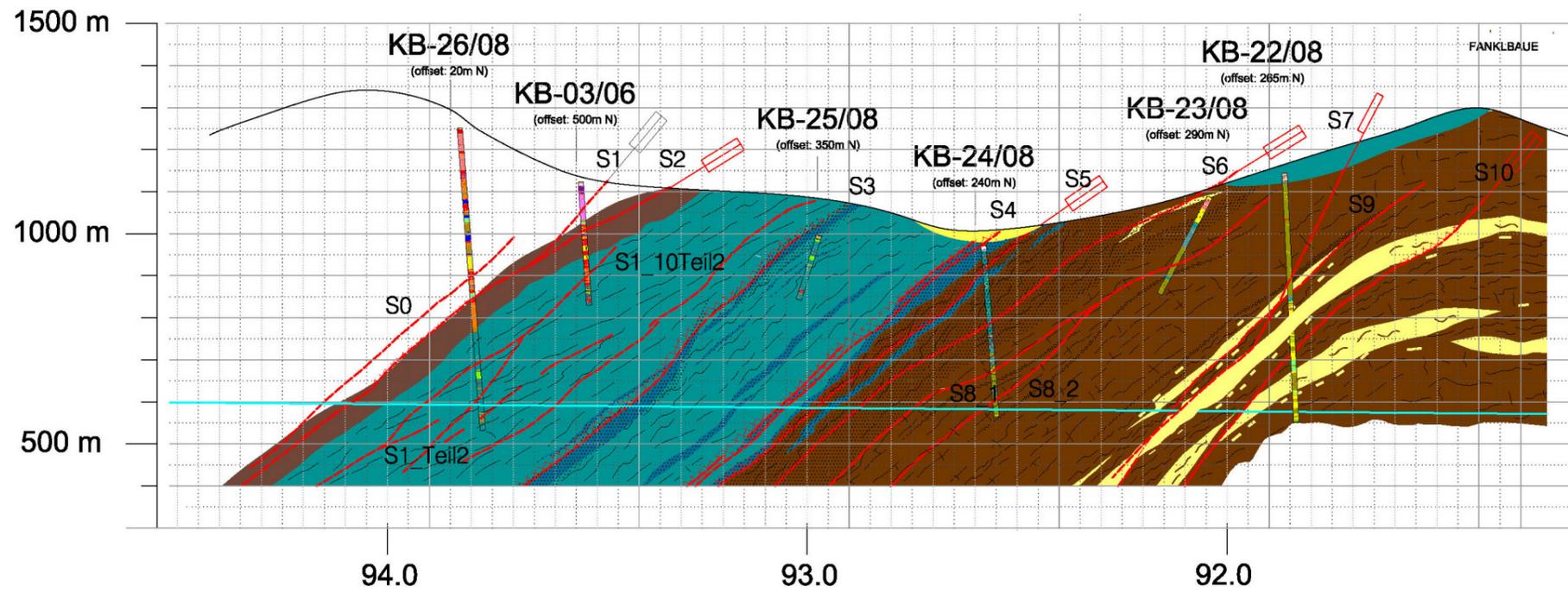


**Legende**

- Phengitschiefer
- Albitphyllit
- Graphitphyllit
- Albitgneis
- Albitgneis graphitisch
- Gneis quarzitisch
- ~ verfault
- Störung
- ~ Zerüttungsbereich



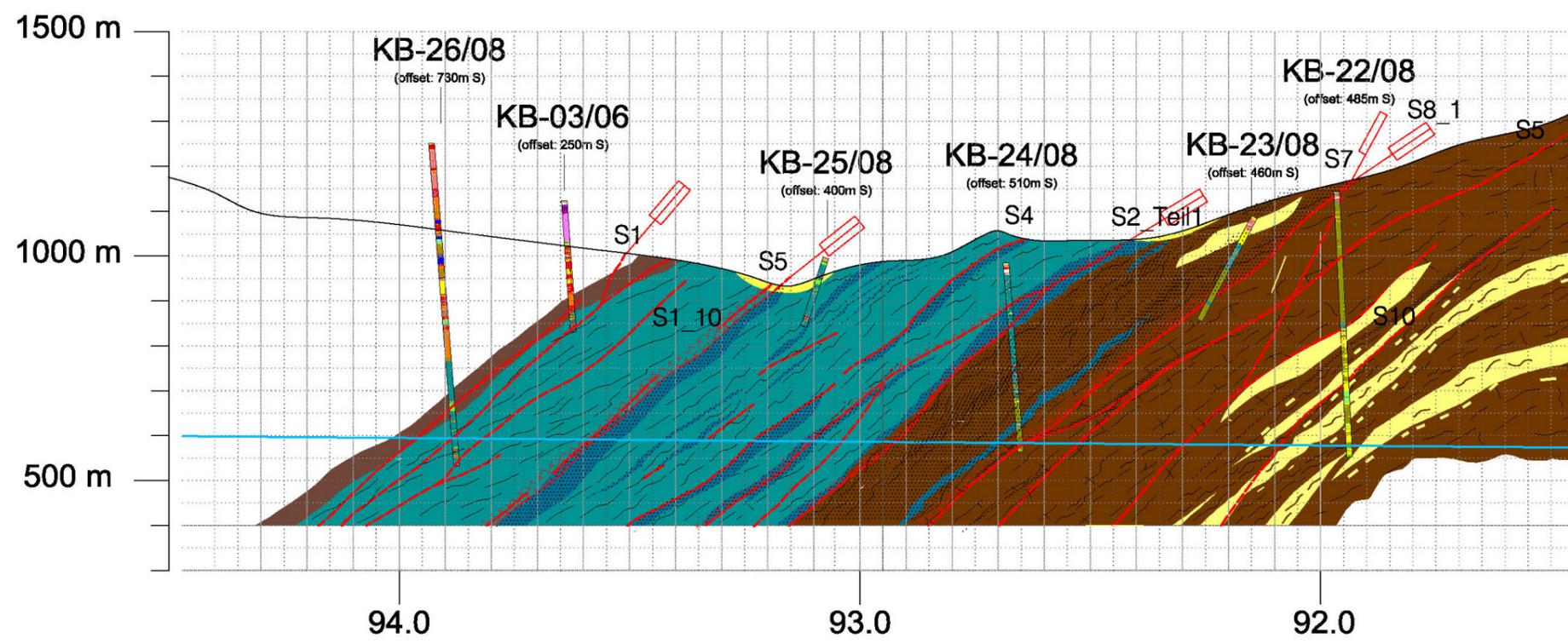
Längenschnitt in Tunnelachse, 3G (2009)



**Legende**

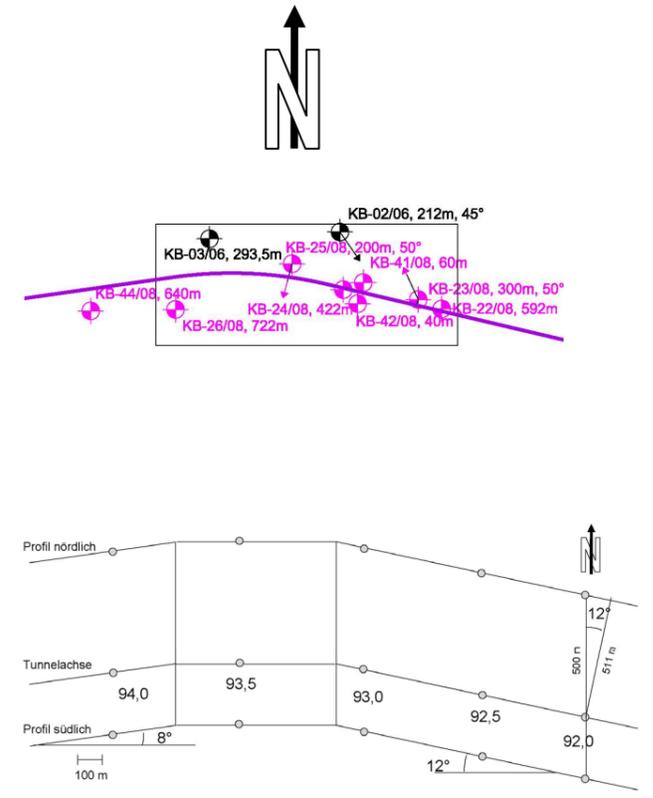
- Phengitschiefer
- Albitphyllit
- Graphitphyllit
- Albitgneis
- Albitgneis graphitisch
- Gneis quarzitisch
- ~ verfault
- Störung
- Zerüttungsbereich

Südliches Profil / 250 m südlich der Tunnelachse



Nördliches Profil / 500 m nördlich der Tunnelachse

Darstellung der Störungszonen N und S von der Tunnelachse. Die Lithologie wurde ausgehend vom Profil der 3G südwärts und nordwärts projiziert.

























- **Statistische Auswertung der Homogenbereiche der Schieferungsflächen**

**KB 22 / SF**

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
Alle SF KB 22				
Fracture Count	665	665	665	665
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	98; 55	95,234; 50,617	99,368; 54,853	99,368; 54,853
Major Axis	278,663; 34,860	278,663; 34,860	254,530; 32,575	352,172; 11,758
Minor Axis	188,663; 0,000	188,663; 0,000	352,172; 11,758	254,530; 32,575
K1	13,5586	33,5092	-16,774	27,1666
K2		10,5956	-5,61721	1,96215
K12		-0,263096		
Kolmogorov-Smirnov	0,0699848	0,0492063	0,0245526	0,0650917
K_S Probability	49,1568 %	88,2691 %	99,9995 %	58,5765 %
Total Fracture Count	665	665	665	665
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF_KB 22			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB22 A				
Fracture Count	248	248	248	248
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	99,858; 61,299	95,095; 56,755	101,286; 60,787	101,286; 60,787
Major Axis	279,858; 28,701	279,858; 28,701	250,251; 25,601	346,661; 13,116
Minor Axis	189,858; 0,000	189,858; 0,000	346,661; 13,116	250,251; 25,601
K1	17,777	36,1713	-23,9514	39,7548
K2		8,16292	-6,7988	2,07134
K12		-0,238783		
Kolmogorov-Smirnov	0,107093	0,0459677	0,0508548	0,080399
K_S Probability	18,2685 %	98,0213 %	95,0192 %	51,0241 %
Total Fracture Count	248	248	248	248
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 34-307			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 22 B				
Fracture Count	407	407	407	407
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	97,707; 51,109	94,789; 46,644	97,971; 50,859	97,971; 50,859
Major Axis	277,707; 38,891	277,707; 38,891	256,885; 37,212	354,912; 10,420
Minor Axis	187,707; 0,000	187,707; 0,000	354,912; 10,420	256,885; 37,212
K1	12,5236	31,9767	-19,4769	32,7432
K2		10,0615	-4,99863	2,47943
K12		-0,358223		
Kolmogorov-Smirnov	0,0598146	0,0380562	0,0318145	0,0774946
K_S Probability	76,327 %	99,3598 %	99,9596 %	44,1732 %
Total Fracture Count	407	407	407	407
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 307-499			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 22 C				
Fracture Count	26	26	26	26
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	101,123; 51,840	96,680; 48,874	100,292; 52,194	100,292; 52,194
Major Axis	281,123; 38,160	281,123; 38,160	239,187; 30,311	341,717; 20,360
Minor Axis	11,123; 0,000	11,123; 0,000	341,717; 20,360	239,187; 30,311
K1	14,0167	26,6209	-16,6004	32,1752
K2		14,4074	-5,73557	2,20783
K12		-0,560446		
Kolmogorov-Smirnov	0,119473	0,124359	0,068	0,0941436
K_S Probability	90,1963 %	87,3743 %	99,9939 %	98,7805 %
Total Fracture Count	26	26	26	26
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 499-551			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 22 D				
Fracture Count	86	86	86	86
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	107,333; 42,844	106,386; 41,694	106,688; 43,136	106,688; 43,136
Major Axis	287,333; 47,156	287,333; 47,156	241,280; 36,844	351,318; 24,574
Minor Axis	197,333; 0,000	197,333; 0,000	351,318; 24,574	241,280; 36,844
K1	25,5504	15,3377	-27,3304	43,9752
K2		11,075	-9,73409	1,61642
K12		-0,493031		
Kolmogorov-Smirnov	0,127999	0,0927649	0,0809432	0,107378
K_S Probability	29,6105 %	69,8439 %	84,0322 %	51,3338 %
Total Fracture Count	86	86	86	86
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source	SF 551-588			
Well Log Intervals:	-			

### KB 23 / SF

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 23 SF alle				
Fracture Count	226	226	226	226
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	126,809; 72,782	123,198; 69,153	127,401; 72,839	127,401; 72,839
Major Axis	306,809; 17,218	306,809; 17,218	281,942; 15,579	13,909; 7,018
Minor Axis	36,809; 0,000	36,809; 0,000	13,909; 7,018	281,942; 15,579
K1	26,2922	50,1174	-15,2978	30,8351
K2		10,5709	-13,4718	1,20071
K12		-0,0624708		
Kolmogorov-Smirnov	0,0367961	0,0993117	0,0530044	0,0519181
K_S Probability	99,9235 %	27,6383 %	94,0978 %	94,9936 %
Total Fracture Count	226	226	226	226
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	SF_ KB 23			
Well Log Intervals;	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 23 A				
Fracture Count	103	103	103	103
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	134,521; 74,797	130,283; 72,149	134,495; 74,779	134,495; 74,779
Major Axis	314,521; 15,203	314,521; 15,203	231,071; 1,785	321,553; 15,111
Minor Axis	44,521; 0,000	44,521; 0,000	321,553; 15,111	231,071; 1,785
K1	37,7089	53,2754	-33,9522	75,9686
K2		9,30971	-14,1916	1,9248
K12		-0,0387447		
Kolmogorov-Smirnov	0,0450411	0,159223	0,048767	0,060945
K_S Probability	99,936 %	7,21761 %	99,7688 %	96,8077 %
Total Fracture Count	103	103	103	103
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	SF 41-97			
Well Log Intervals;	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 23 B				
Fracture Count	68	68	68	68
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	118,127; 75,044	115,006; 72,500	118,124; 75,038	118,124; 75,038
Major Axis	298,127; 14,956	298,127; 14,956	210,892; 0,739	301,089; 14,942
Minor Axis	208,127; 0,000	208,127; 0,000	301,089; 14,942	210,892; 0,739
K1	44,1807	46,6656	-24,1322	44,1807
K2		8,07663	-22,0176	1,07613
K12		-0,151433		
Kolmogorov-Smirnov	0,0894081	0,0970588	0,0919118	0,0894081
K_S Probability	82,5009 %	74,117 %	79,8629 %	82,5009 %
Total Fracture Count	68	68	68	68
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	SF 97-131			
Well Log Intervals;	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 23 C				
Fracture Count	36	36	36	36
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	104,493; 64,571	100,170; 59,395	104,456; 64,479	104,456; 64,479
Major Axis	284,493; 25,429	284,493; 25,429	308,577; 23,545	214,490; 9,289
Minor Axis	194,493; 0,000	194,493; 0,000	214,490; 9,289	308,577; 23,545
K1	15,4802	44,2114	-14,1571	28,7655
K2		11,0493	-6,63077	1,85304
K12		-0,262876		
Kolmogorov-Smirnov	0,0891649	0,155556	0,0876111	0,0823971
K_S Probability	97,0896 %	46,2266 %	97,5385 %	98,6997 %
Total Fracture Count	36	36	36	36
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	SF 131-289			
Well Log Intervals;	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 23 D				
Fracture Count	19	19	19	19
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	156,554; 60,604	157,739; 59,419	156,901; 60,618	156,901; 60,618
Major Axis	336,554; 29,396	336,554; 29,396	349,891; 28,751	256,836; 5,549
Minor Axis	246,554; 0,000	246,554; 0,000	256,836; 5,549	349,891; 28,751
K1	60,6707	16,8157	-77,2261	100
K2		5,53338	-20,0271	1,91316
K12		0,554309		
Kolmogorov-Smirnov	0,160327	0,0751462	0,0775	0,159937
K_S Probability	76,8983 %	99,9976 %	99,995 %	77,1558 %
Total Fracture Count	19	19	19	19
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	SF 289-300			
Well Log Intervals;	-			

## KB 24 / SF

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 24 Alle				
Fracture Count	500	500	500	500
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	103,742; 50,914	103,486; 48,297	104,065; 50,721	104,065; 50,721
Major Axis	283,742; 39,086	283,742; 39,086	261,973; 37,156	0,396; 10,939
Minor Axis	193,742; 0,000	193,742; 0,000	0,396; 10,939	261,973; 37,156
K1	17,854	26,2362	-12,8478	23,2418
K2		11,1462	-8,6122	1,34431
K12		-0,0237219		
Kolmogorov-Smirnov	0,0664056	0,0648889	0,0375	0,0557819
K_S Probability	60,3722 %	63,3041 %	99,2318 %	80,4684 %
Total Fracture Count	500	500	500	500
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF_KB 24			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 24 A				
Fracture Count	201	201	201	201
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	99,396; 50,214	98,884; 48,487	99,144; 50,408	99,144; 50,408
Major Axis	279,396; 39,786	279,396; 39,786	221,908; 24,112	326,446; 29,286
Minor Axis	189,396; 0,000	189,396; 0,000	326,446; 29,286	221,908; 24,112
K1	19,5648	20,1832	-13,1822	33,1826
K2		13,3076	-9,39735	1,94715
K12		-0,130994		
Kolmogorov-Smirnov	0,0927362	0,0868159	0,0593698	0,0990618
K_S Probability	38,7652 %	47,1414 %	89,1353 %	30,9025 %
Total Fracture Count	201	201	201	201
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 31-90			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 24 B				
Fracture Count	134	134	134	134
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	110,937; 53,978	110,605; 50,914	111,685; 53,231	111,685; 53,231
Major Axis	290,937; 36,022	290,937; 36,022	253,650; 30,479	355,029; 18,533
Minor Axis	200,937; 0,000	200,937; 0,000	355,029; 18,533	253,650; 30,479
K1	19,7308	30,6957	-15,9253	25,0132
K2		8,42251	-9,28701	1,31805
K12		-0,00833175		
Kolmogorov-Smirnov	0,174707	0,192371	0,123493	0,124036
K_S Probability	1,8388 %	0,679053 %	19,1922 %	18,8004 %
Total Fracture Count	134	134	134	134
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 90-223			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 24 C				
Fracture Count	13	13	13	13
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	108,185; 41,146	108,660; 39,908	108,476; 41,101	108,476; 41,101
Major Axis	288,185; 48,854	288,185; 48,854	301,685; 48,137	204,268; 6,598
Minor Axis	18,185; 0,000	18,185; 0,000	204,268; 6,598	301,685; 48,137
K1	32,6412	17,1022	-42,9116	32,6412
K2		6,19123	-11,139	-1,6955
K12		0,382903		
Kolmogorov-Smirnov	0,220878	0,217949	0,148504	0,220878
K_S Probability	59,5131 %	61,2209 %	95,1949 %	59,5131 %
Total Fracture Count	13	13	13	13
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source 1	SF 223-300			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 24 D				
Fracture Count	137	137	137	137
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	103,264; 48,007	102,579; 44,936	103,931; 47,730	103,931; 47,730
Major Axis	283,264; 41,993	283,264; 41,993	277,094; 42,067	10,175; 3,408
Minor Axis	193,264; 0,000	193,264; 0,000	10,175; 3,408	277,094; 42,067
K1	16,5577	27,1055	-18,3592	28,7621
K2		8,68396	-6,7452	1,67718
K12		-0,00884151		
Kolmogorov-Smirnov	0,0768652	0,0355637	0,0789943	0,0646894
K_S Probability	74,7561 %	99,9971 %	71,6676 %	90,0706 %
Total Fracture Count	137	137	137	137
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source 1	SF 300-407			
Well Log Intervals:	-			

## KB 25 / SF

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 24 Alle				
Fracture Count	133	133	133	133
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	138,316; 50,192	138,083; 49,496	138,329; 50,170	138,329; 50,170
Major Axis	318,316; 39,808	318,316; 39,808	237,476; 7,553	333,600; 38,820
Minor Axis	228,316; 0,000	228,316; 0,000	333,600; 38,820	237,476; 7,553
K1	34,015	13,266	-26,63	55,5321
K2		11,2655	-13,7338	1,60047
K12		-0,0749858		
Kolmogorov-Smirnov	0,0692796	0,0765664	0,0791391	0,0681675
K_S Probability	85,6386 %	76,1029 %	72,4311 %	86,9318 %
Total Fracture Count	133	133	133	133
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF_KB 25			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 25 A				
Fracture Count	60	60	60	60
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	142,847; 53,602	142,833; 53,033	142,785; 53,634	142,785; 53,634
Major Axis	322,847; 36,398	322,847; 36,398	237,073; 3,151	329,381; 36,184
Minor Axis	232,847; 0,000	232,847; 0,000	329,381; 36,184	237,073; 3,151
K1	35,1339	12,1753	-36,7987	74,3774
K2		11,8659	-12,5818	1,9036
K12		-0,0240725		
Kolmogorov-Smirnov	0,05819	0,0944444	0,0445	0,0609948
K_S Probability	99,8044 %	81,6993 %	99,9992 %	99,6138 %
Total Fracture Count	60	60	60	60
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 16-34			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 25 B				
Fracture Count	49	49	49	49
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	140,593; 48,138	139,571; 47,796	140,574; 48,115	140,574; 48,115
Major Axis	320,593; 41,862	320,593; 41,862	251,355; 17,650	354,972; 36,499
Minor Axis	50,593; 0,000	50,593; 0,000	354,972; 36,499	251,355; 17,650
K1	54,2132	9,11155	-91,3391	100
K2		9,26036	-16,8318	2,16102
K12		-0,621435		
Kolmogorov-Smirnov	0,118142	0,100907	0,105796	0,117434
K_S Probability	65,5489 %	82,7758 %	78,1756 %	66,2905 %
Total Fracture Count	49	49	49	49
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 67-82			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 25 C				
Fracture Count	16	16	16	16
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	125,079; 43,090	123,813; 42,375	125,122; 42,968	125,122; 42,968
Major Axis	305,079; 46,910	305,079; 46,910	242,398; 26,197	353,103; 35,702
Minor Axis	35,079; 0,000	35,079; 0,000	353,103; 35,702	242,398; 26,197
K1	34,6927	13,7032	-28,2497	34,6927
K2		9,98045	-13,8149	-1,84204
K12		-0,509946		
Kolmogorov-Smirnov	0,188827	0,176389	0,112	0,152382
K_S Probability	67,13 %	75,0492 %	99,2765 %	88,4585 %
Total Fracture Count	16	16	16	16
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 124-135			
Well Log Intervals:	-			

## KB 26 / SF

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 26 Alle				
Fracture Count	555	555	555	555
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	90,807; 52,451	87,930; 49,616	91,368; 51,590	91,368; 51,590
Major Axis	270,807; 37,549	270,807; 37,549	197,441; 12,380	296,506; 35,670
Minor Axis	0,807; 0,000	0,807; 0,000	296,506; 35,670	197,441; 12,380
K1	17,0863	31,6864	-13,3372	18,6482
K2		11,571	-8,61605	1,11954
K12		-0,13281		
Kolmogorov-Smirnov	0,126331	0,188138	0,0987988	0,0942114
K_S Probability	2,61147 %	0,013252 %	14,0766 %	17,9006 %
Total Fracture Count	555	555	555	555
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source 1	SF_KB 26			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 26 A				
Fracture Count	206	206	206	206
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	91,861; 48,097	93,650; 46,981	91,749; 47,979	91,749; 47,979
Major Axis	271,861; 41,903	271,861; 41,903	339,259; 19,017	234,874; 35,784
Minor Axis	181,861; 0,000	181,861; 0,000	234,874; 35,784	339,259; 19,017
K1	26,4491	17,7139	-20,0964	39,8729
K2		11,5809	-11,2631	1,5048
K12		0,392071		
Kolmogorov-Smirnov	0,0368144	0,0537217	0,0263754	0,0474309
K_S Probability	99,9467 %	94,4402 %	100 %	98,2114 %
Total Fracture Count	206	206	206	206
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source 1	SF 439-495			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 26 B				
Fracture Count	138	138	138	138
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	80,979;66,710	65,029;57,522	81,021;65,329	81,021;65,329
Major Axis	260,979;23,290	260,979;23,290	216,257;18,063	311,704;16,227
Minor Axis	170,979;0,000	170,979;0,000	311,704;16,227	216,257;18,063
K1	10,1228	52,6094	-13,189	18,49
K2		11,426	-4,62055	2,03879
K12		-0,236264		
Kolmogorov-Smirnov	0,135809	0,119807	0,0758261	0,152948
K_S Probability	11,2089 %	21,2148 %	76,0155 %	5,1742 %
Total Fracture Count	138	138	138	138
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 495-648			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
SF KB 26 C				
Fracture Count	211	211	211	211
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	93,287;47,910	93,910;47,019	93,603;48,067	93,603;48,067
Major Axis	273,287;42,090	273,287;42,090	314,093;34,340	208,894;20,995
Minor Axis	183,287;0,000	183,287;0,000	208,894;20,995	314,093;34,340
K1	38,5023	13,4699	-33,4146	56,4369
K2		9,02443	-14,8646	1,39554
K12		0,36089		
Kolmogorov-Smirnov	0,111644	0,0767246	0,11796	0,102609
K_S Probability	17,7461 %	61,6778 %	13,3943 %	25,8093 %
Total Fracture Count	211	211	211	211
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	SF 648-716			
Well Log Intervals:	-			

- **Statistische Auswertung der Homogenbereiche der Harnischflächen**

### Harnischflächen der KB22

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 22 Alle				
Fracture Count	41	41	41	41
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	91,620; 54,147	109,902; 37,024	90,295; 46,951	90,295; 46,951
Major Axis	271,620; 35,853	271,620; 35,853	328,386; 26,278	220,913; 31,305
Minor Axis	181,620; 0,000	181,620; 0,000	220,913; 31,305	328,386; 26,278
K1	3,34601	67,4934	-2,72313	3,89485
K2		21,7833	-1,99605	1,445
K12		0,163855		
Kolmogorov-Smirnov	0,0775735	0,145799	0,0800244	0,0861178
K_S Probability	98,7942 %	47,673 %	98,3073 %	96,5428 %
Total Fracture Count	41	41	41	41
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	HS&H_KB 22			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
H&HS KB22 A				
Fracture Count	26	26	26	26
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	91,797; 61,796	115,077; 41,808	92,280; 56,172	92,280; 56,172
Major Axis	271,797; 28,204	271,797; 28,204	334,332; 17,437	234,726; 27,981
Minor Axis	1,797; 0,000	1,797; 0,000	234,726; 27,981	334,332; 17,437
K1	3,40102	75,2058	-3,27378	5,59514
K2		20,6268	-1,45966	2,61781
K12		0,382455		
Kolmogorov-Smirnov	0,173248	0,171368	0,0967308	0,0994953
K_S Probability	50,2842 %	51,706 %	98,36 %	97,8086 %
Total Fracture Count	26	26	26	26
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	HS&H KB 22_0-255			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
H KB 22 B				
Fracture Count	14	14	14	14
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	86,351; 37,761	81,357; 29,357	90,051; 36,313	90,051; 36,313
Major Axis	266,351; 52,239	266,351; 52,239	231,771; 46,887	344,581; 19,948
Minor Axis	176,351; 0,000	176,351; 0,000	344,581; 19,948	231,771; 46,887
K1	4,15173	46,0553	-6,2597	4,15173
K2		19,794	-2,12905	-2,21549
K12		-0,263487		
Kolmogorov-Smirnov	0,198961	0,215873	0,169643	0,208542
K_S Probability	68,2644 %	58,0261 %	84,8819 %	62,4456 %
Total Fracture Count	14	14	14	14
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	H 255-470			
Well Log Intervals:	-			

### Harnische und Harnischflächen der KB 23

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 23 H&HS alle				
Fracture Count	25	25	25	25
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	118,860; 69,202	116,560; 59,360	116,471; 68,105	116,471; 68,105
Major Axis	298,860; 20,798	298,860; 20,798	226,476; 7,828	319,393; 20,313
Minor Axis	208,860; 0,000	208,860; 0,000	319,393; 20,313	226,476; 7,828
K1	8,46294	49,9592	-7,69936	8,46294
K2		17,3341	-5,15817	1,01716
K12		-0,150995		
Kolmogorov-Smirnov	0,280478	0,221111	0,2075	0,279351
K_S Probability	6,32536 %	23,3436 %	30,102 %	6,50303 %
Total Fracture Count	25	25	25	25
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	HS&H_KB 23			
Well Log Intervals;	-			

### Harnische und Harnischflächen der KB 24

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 24 H&HS alle				
Fracture Count	39	39	39	39
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	102,059; 53,479	109,000; 48,077	101,523; 53,522	101,523; 53,522
Major Axis	282,059; 36,521	282,059; 36,521	245,506; 30,881	346,348; 17,460
Minor Axis	192,059; 0,000	192,059; 0,000	346,348; 17,460	245,506; 30,881
K1	9,07968	40,9972	-6,92121	9,07968
K2		17,5183	-6,0268	1,05997
K12		0,340309		
Kolmogorov-Smirnov	0,230958	0,334188	0,195603	0,230958
K_S Probability	6,54414 %	0,155432 %	17,1985 %	6,54414 %
Total Fracture Count	39	39	39	39
Filter	-			
Data Source:	HS&H_KB 24			
Well Log Intervals:	-			

## Harnische und Harnischflächen der KB 25

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 25 H&HS alle				
Fracture Count	593	593	593	593
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	129,998; 48,086	129,460; 44,393	129,463; 47,890	129,463; 47,890
Major Axis	309,998; 41,914	309,998; 41,914	238,269; 16,245	341,211; 37,547
Minor Axis	219,998; 0,000	219,998; 0,000	341,211; 37,547	238,269; 16,245
K1	10,882	31,5956	-8,95326	13,0137
K2		16,9868	-6,7007	1,36285
K12		-0,102631		
Kolmogorov-Smirnov	0,202403	0,271257	0,128266	0,146203
K_S Probability	0,00244056 %	2,99107e-007 %	2,12705 %	0,546112 %
Total Fracture Count	593	593	593	593
Filter	-			
Data Source:	H&HS_KB 25			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
H&HS KB25 A				
Fracture Count	554	554	554	554
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	130,842; 48,280	130,502; 44,969	130,320; 47,937	130,320; 47,937
Major Axis	310,842; 41,720	310,842; 41,720	235,286; 13,118	336,193; 39,075
Minor Axis	40,842; 0,000	40,842; 0,000	336,193; 39,075	235,286; 13,118
K1	11,6116	31,5133	-9,76372	14,1876
K2		16,2383	-6,86527	1,39519
K12		-0,124209		
Kolmogorov-Smirnov	0,204964	0,267068	0,143285	0,149941
K_S Probability	0,00220597 %	7,66121e-007 %	0,755632 %	0,444624 %
Total Fracture Count	554	554	554	554
Filter	-			
Data Source:	HS 19-169			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
H&HS KB25 B				
Fracture Count	10	10	10	10
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	93,389; 44,793	93,200; 44,200	93,318; 44,859	93,318; 44,859
Major Axis	273,389; 45,207	273,389; 45,207	207,022; 21,999	314,745; 36,998
Minor Axis	183,389; 0,000	183,389; 0,000	314,745; 36,998	207,022; 21,999
K1	45,781	11,3737	-27,1407	19,1941
K2		8,78408	-21,1901	0,508115
K12		-0,134525		
Kolmogorov-Smirnov	0,221817	0,233333	0,2415	0,285181
K_S Probability	73,9748 %	68,0789 %	63,8419 %	42,4148 %
Total Fracture Count	10	10	10	10
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	HS 184-196			
Well Log Intervals:	-			

### Harnische und Harnischflächen der KB 26

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 25 H&HS alle				
Fracture Count	19	19	19	19
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	95,516; 51,089	98,211; 45,895	98,752; 49,655	98,752; 49,655
Major Axis	275,516; 38,911	275,516; 38,911	263,175; 39,291	359,554; 7,733
Minor Axis	5,516; 0,000	5,516; 0,000	359,554; 7,733	263,175; 39,291
K1	9,97232	37,9384	-8,99055	13,5457
K2		12,8263	-5,73154	1,84287
K12		0,535651		
Kolmogorov-Smirnov	0,315257	0,223392	0,285921	0,250244
K_S Probability	6,56771 %	35,7728 %	12,0392 %	23,2036 %
Total Fracture Count	19	19	19	19
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	H&HS_KB 26			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
H&HS KB26 A				
Fracture Count	67	67	67	67
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	85,245; 39,197	83,149; 30,493	86,293; 40,911	86,293; 40,911
Major Axis	265,445; 43,048	265,445; 43,048	341,527; 16,389	234,720; 44,513
Minor Axis	175,445; 0,000	175,445; 0,000	234,720; 44,513	341,527; 16,389
K1	4,50599	43,4223	-4,11642	5,01419
K2		26,6729	-3,33104	1,38662
K12		0,0914836		
Kolmogorov-Smirnov	0,205047	0,265423	0,152209	0,185603
K_S Probability	3,29565 %	0,205731 %	20,7975 %	6,91927 %
Total Fracture Count	67	67	67	67
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	HS&H 17-213			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
H&HS KB26 B				
Fracture Count	31	31	31	31
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	98,798; 53,169	102,839; 46,581	100,934; 50,516	100,934; 50,516
Major Axis	278,798; 36,831	278,798; 36,831	203,781; 10,380	301,883; 37,575
Minor Axis	8,798; 0,000	8,798; 0,000	301,883; 37,575	203,781; 10,380
K1	8,48421	46,7734	-7,25919	9,10271
K2		13,8861	-5,49724	1,16229
K12		0,157089		
Kolmogorov-Smirnov	0,275038	0,342832	0,198081	0,237388
K_S Probability	3,65953 %	0,399259 %	25,0559 %	10,1515 %
Total Fracture Count	31	31	31	31
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	HS&H 213-705			
Well Log Intervals:	-			

- **Statistische Auswertung der Klufflächen**

### KB 22 / K

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 22 K alle				
Fracture Count	1418	1418	1418	1418
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	81,423; 75,912	72,548; 35,059	85,564; 69,102	85,564; 69,102
Major Axis	261,423; 14,088	261,423; 14,088	215,392; 13,742	309,263; 15,432
Minor Axis	351,423; 0,000	351,423; 0,000	309,263; 15,432	215,392; 13,742
K1	3,0977	71,1075	-2,40505	3,5036
K2		31,3079	-1,43146	1,30625
K12		-0,0798517		
Kolmogorov-Smirnov	0,115397	0,0282636	0,0564457	0,0501592
K_S Probability	2,84158 %	99,9556 %	68,8873 %	81,6441 %
Total Fracture Count	1418	1418	1418	1418
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	K_KB 22			
Well Log Intervals:	-			

### KB 23 / K

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
KB 23 K alle				
Fracture Count	459	459	459	459
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	116,466; 79,090	113,595; 30,756	115,557; 67,789	115,557; 67,789
Major Axis	287,944; 5,277	287,944; 5,277	213,526; 3,240	304,833; 21,948
Minor Axis	197,944; 0,000	197,944; 0,000	304,833; 21,948	213,526; 3,240
K1	2,50333	57,7009	-3,01952	3,00113
K2		38,5103	-0,883066	1,40851
K12		-0,0239108		
Kolmogorov-Smirnov	0,11472	0,116449	0,0902244	0,0834654
K_S Probability	6,65283 %	5,99968 %	24,3239 %	32,8628 %
Total Fracture Count	459	459	459	459
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	K_KB 23			
Well Log Intervals;	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K_KB23				
Fracture Count	206	206	206	206
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	124,716; 37,902	121,447; 26,743	129,201; 44,081	129,201; 44,081
Major Axis	344,814; 11,283	344,814; 11,283	38,998; 0,210	308,781; 45,919
Minor Axis	254,814; 0,000	254,814; 0,000	308,781; 45,919	38,998; 0,210
K1	2,71208	55,2007	-3,18023	3,90478
K2		38,7591	-0,411956	2,02998
K12		0,0433692		
Kolmogorov-Smirnov	0,154635	0,112567	0,0582913	0,0468698
K_S Probability	2,02231 %	17,5167 %	89,9831 %	98,4225 %
Total Fracture Count	206	206	206	206
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	K 32-78			
Well Log Intervals;	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K KB 23				
Fracture Count	251	251	251	251
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	47,136; 83,406	102,466; 33,837	101,694; 71,265	101,694; 71,265
Major Axis	227,136; 6,594	227,136; 6,594	204,649; 4,348	296,081; 18,187
Minor Axis	317,136; 0,000	317,136; 0,000	296,081; 18,187	204,649; 4,348
K1	2,88247	58,6974	-3,07915	3,10015
K2		37,8522	-1,41584	1,22722
K12		-0,0290613		
Kolmogorov-Smirnov	0,0687345	0,0878929	0,11248	0,0834399
K_S Probability	70,5009 %	39,2886 %	14,0905 %	45,8817 %
Total Fracture Count	251	251	251	251
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	K 78-300			
Well Log Intervals;	-			

**KB 24 / K**

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
Fracture Count	643	643	643	643
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	97;951; 68;998	112;264; 27;914	110;026; 58;636	110;026; 58;636
Major Axis	277;871; 20;181	277;871; 20;181	238;557; 20;792	337;549; 22;373
Minor Axis	187;871; 0;000	187;871; 0;000	337;549; 22;373	238;557; 20;792
K1	2;80804	61;1974	-2;79827	3;43564
K2		34;2054	-0;981017	1;70099
K12		-0;201096		
Kolmogorov-Smirnov	0;0914187	0;0357266	0;0402449	0;0527929
K_S Probability	19;0454 %	99;3874 %	97;6662 %	82;8011 %
Total Fracture Count	643	643	643	643
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	K_KB 24			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K KB 24 A				
Fracture Count	329	329	329	329
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	92,437; 72,151	88,131; 41,663	96,196; 64,906	96,196; 64,906
Major Axis	272,437; 17,849	272,437; 17,849	225,399; 16,489	321,040; 18,368
Minor Axis	182,437; 0,000	182,437; 0,000	321,040; 18,368	225,399; 16,489
K1	3,55053	72,5938	-3,36953	4,38095
K2		24,6633	-1,79214	1,54415
K12		-0,154671		
Kolmogorov-Smirnov	0,0754564	0,0785545	0,0457194	0,0427363
K_S Probability	52,1701 %	46,9402 %	96,816 %	98,3633 %
Total Fracture Count	329	329	329	329
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source 1	K 29-266			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K KB 24 B				
Fracture Count	242	242	242	242
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	99,745; 67,088	131,157; 19,764	125,049; 51,063	125,049; 51,063
Major Axis	279,745; 22,912	279,745; 22,912	247,697; 23,551	351,690; 29,018
Minor Axis	189,745; 0,000	189,745; 0,000	351,690; 29,018	247,697; 23,551
K1	2,70477	51,8452	-3,32925	3,43633
K2		37,0545	-0,667796	2,0445
K12		-0,296761		
Kolmogorov-Smirnov	0,116054	0,0682736	0,0591139	0,0797733
K_S Probability	12,3984 %	72,1778 %	86,3502 %	52,718 %
Total Fracture Count	242	242	242	242
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source 1	K 298-418			
Well Log Intervals:	-			

## KB 25 / K

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K & TF_KB 25 alle				
Fracture Count	118	118	118	118
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	127,224; 61,939	127,347; 43,093	124,627; 59,257	124,627; 59,257
Major Axis	307,224; 28,061	307,224; 28,061	26,285; 4,932	293,400; 30,258
Minor Axis	217,224; 0,000	217,224; 0,000	293,400; 30,258	26,285; 4,932
K1	4,12672	59,5875	-3,65638	4,39639
K2		27,4711	-2,93366	1,17362
K12		-0,060711		
Kolmogorov-Smirnov	0,149005	0,1758	0,113525	0,117818
K_S Probability	8,44238 %	2,44168 %	31,7241 %	27,5751 %
Total Fracture Count	118	118	118	118
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	K & TF_KB 25			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K&TF 13-98 A				
Fracture Count	68	68	68	68
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	123,914; 63,616	131,324; 46,426	126,021; 61,270	126,021; 61,270
Major Axis	303,914; 26,384	303,914; 26,384	10,787; 13,153	274,517; 25,050
Minor Axis	213,914; 0,000	213,914; 0,000	274,517; 25,050	10,787; 13,153
K1	4,43189	61,6111	-4,38276	4,86068
K2		25,1328	-2,96928	1,29055
K12		0,022628		
Kolmogorov-Smirnov	0,200851	0,20817	0,144088	0,14615
K_S Probability	3,72934 %	2,7753 %	25,7086 %	24,2428 %
Total Fracture Count	68	68	68	68
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	K&TF 13-98			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K&TF 115-168 B				
Fracture Count	44	44	44	44
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	127,305; 63,033	121,386; 41,886	117,539; 59,990	117,539; 59,990
Major Axis	300,531; 25,135	300,531; 25,135	235,340; 15,076	332,652; 25,289
Minor Axis	210,531; 0,000	210,531; 0,000	332,652; 25,289	235,340; 15,076
K1	3,92969	59,3779	-3,42756	4,75655
K2		28,5953	-2,9125	1,73992
K12		-0,263236		
Kolmogorov-Smirnov	0,143663	0,205051	0,134818	0,190898
K_S Probability	45,8894 %	10,2262 %	54,1453 %	15,194 %
Total Fracture Count	44	44	44	44
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	K&TF 115-168			
Well Log Intervals:	-			

## KB 26 / K

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K_KB 26 alle				
Fracture Count	1585	1585	1585	1585
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	96;136;72;524	107;425;20;068	105;493;56;493	105;493;56;493
Major Axis	275;054;16;915	275;054;16;915	205;117;6;316	299;200;32;749
Minor Axis	5;054;0;000	5;054;0;000	299;200;32;749	205;117;6;316
K1	2;74585	53;3174	-2;33614	2;94446
K2		39;4634	-1;07371	1;30295
K12		-0;0217913		
Kolmogorov-Smirnov	0;0964899	0;0460042	0;043836	0;0444141
K_S Probability	9;85821 %	88;3632 %	91;5271 %	90;7326 %
Total Fracture Count	1585	1585	1585	1585
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	K_KB 26			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
K_KB 26 439-715				
Fracture Count	775	775	775	775
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	90,700; 55,866	86,012; 26,973	97,761; 47,272	97,761; 47,272
Major Axis	268,953; 29,639	268,953; 29,639	205,406; 15,641	308,279; 38,511
Minor Axis	358,953; 0,000	358,953; 0,000	308,279; 38,511	205,406; 15,641
K1	2,78738	58,2448	-2,49234	3,10101
K2		33,4536	-1,25716	1,32639
K12		-0,113097		
Kolmogorov-Smirnov	0,0616067	0,073405	0,0524516	0,0571288
K_S Probability	63,6291 %	41,0674 %	81,6425 %	72,7048 %
Total Fracture Count	775	775	775	775
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	K_KB 26 439-715			
Well Log Intervals:	-			

- **Auswertung der ST & STS aller Kernbohrungen**

### KB22 / ST/STS

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 22 alle				
Fracture Count	39	39	39	39
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	90,180; 53,883	88,000; 46,308	88,670; 52,754	88,670; 52,754
Major Axis	270,180; 36,117	270,180; 36,117	235,274; 32,407	335,996; 16,335
Minor Axis	180,180; 0,000	180,180; 0,000	335,996; 16,335	235,274; 32,407
K1	7,2063	51,609	-5,51367	8,37571
K2		16,1534	-4,50768	1,26123
K12		-0,146343		
Kolmogorov-Smirnov	0,100426	0,198291	0,123295	0,109366
K_S Probability	90,2957 %	16,0717 %	71,4466 %	83,7893 %
Total Fracture Count	39	39	39	39
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	STS&ST_KB 22			
Well Log Intervals:	-			

### KB23 / ST/STS

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 23 alle	nicht signifikant			
Fracture Count	3	3	3	3
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	141,714; 77,321	123,667; 70,667	140,686; 77,304	140,686; 77,304
Major Axis	321,714; 12,679	321,714; 12,679	300,351; 11,928	31,258; 4,285
Minor Axis	51,714; 0,000	51,714; 0,000	31,258; 4,285	300,351; 11,928
K1	26,556	53,5433	-47,4522	26,556
K2		5,73488	-8,61694	1
K12		-0,991466		
Kolmogorov-Smirnov	0,309208	0,627778	0,599	0,278879
K_S Probability	94,0467 %	19,5216 %	24,0241 %	97,5786 %
Total Fracture Count	3	3	3	3
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source;	STS&ST_KB 23			
Well Log Intervals;	-			

## KB24 / ST/STS

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 24 alle				
Fracture Count	59	59	59	59
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	91;635; 65;410	95;627; 49;949	98;825; 60;675	98;825; 60;675
Major Axis	271;635; 24;590	271;635; 24;590	240;331; 23;733	337;672; 16;204
Minor Axis	1;635; 0;000	1;635; 0;000	337;672; 16;204	240;331; 23;733
K1	6;15094	51;9037	-6;50702	6;50328
K2		19;0044	-3;8106	1;15578
K12		0;0973904		
Kolmogorov-Smirnov	0;19004	0;252919	0;121873	0;168693
K_S Probability	8;07419 %	0;679403 %	52;4104 %	15;9395 %
Total Fracture Count	59	59	59	59
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST&STS_KB 24			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 24 A				
Fracture Count	43	43	43	43
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	96;009; 63;687	97;512; 50;535	100;668; 59;372	100;668; 59;372
Major Axis	276;009; 26;313	276;009; 26;313	240;780; 24;432	338;917; 17;305
Minor Axis	186;009; 0;000	186;009; 0;000	338;917; 17;305	240;780; 24;432
K1	6;76201	49;8502	-6;3774	6;79815
K2		16;8611	-4;45181	1;03032
K12		0;162391		
Kolmogorov-Smirnov	0;212086	0;212661	0;129395	0;22536
K_S Probability	8;80947 %	8;66123 %	60;6473 %	5;88729 %
Total Fracture Count	43	43	43	43
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST&STS 27-208			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 24 B				
Fracture Count	12	12	12	12
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	56;874; 61;291	55;583; 47;250	75;048; 58;024	75;048; 58;024
Major Axis	236;874; 28;709	236;874; 28;709	226;867; 28;824	323;966; 12;657
Minor Axis	326;874; 0;000	326;874; 0;000	323;966; 12;657	226;867; 28;824
K1	5;52277	52;6173	-20;7356	9;94869
K2		12;0147	-2;21716	2;17802
K12		0;447293		
Kolmogorov-Smirnov	0;19056	0;166667	0;118167	0;24302
K_S Probability	80;8598 %	91;3476 %	99;7544 %	51;976 %
Total Fracture Count	12	12	12	12
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST&STS 208-405			
Well Log Intervals:	-			

## KB25 / ST/STS

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 25 alle				
Fracture Count	10	10	10	10
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	127,386; 59,716	142,800; 46,400	114,591; 52,178	114,591; 52,178
Major Axis	307,386; 30,284	307,386; 30,284	358,668; 18,745	256,673; 31,484
Minor Axis	217,386; 0,000	217,386; 0,000	256,673; 31,484	358,668; 18,745
K1	5,59309	62,416	-7,33115	5,41248
K2		12,0599	-3,72573	-0,336499
K12		-0,236898		
Kolmogorov-Smirnov	0,365462	0,272222	0,349	0,489382
K_S Probability	15,9133 %	48,391 %	19,8762 %	2,1394 %
Total Fracture Count	10	10	10	10
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST&STS_KB 25			
Well Log Intervals:	-			

## KB22 / ST/STS

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 26 alle				
Fracture Count	67	67	67	67
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	102;395;55;714	98;612;46;403	102;777;53;237	102;777;53;237
Major Axis	282;395;34;286	282;395;34;286	230;645;24;636	333;242;25;434
Minor Axis	192;395;0;000	192;395;0;000	333;242;25;434	230;645;24;636
K1	7;25069	50;4227	-5;93734	8;21822
K2		17;9344	-4;52985	1;23012
K12		-0;181364		
Kolmogorov-Smirnov	0;119671	0;188308	0;072709	0;0922943
K_S Probability	48;6512 %	6;26855 %	95;8556 %	79;9849 %
Total Fracture Count	67	67	67	67
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST_KB 26			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 26 A				
Fracture Count	19	19	19	19
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	92,445; 58,430	82,421; 48,211	96,611; 52,995	96,611; 52,995
Major Axis	272,445; 31,570	272,445; 31,570	192,174; 4,179	285,295; 36,688
Minor Axis	182,445; 0,000	182,445; 0,000	285,295; 36,688	192,174; 4,179
K1	5,92893	62,2054	-7,97711	9,15526
K2		18,1357	-3,28107	3,55769
K12		-0,0165006		
Kolmogorov-Smirnov	0,225696	0,165789	0,225211	0,318085
K_S Probability	34,5435 %	73,2268 %	34,8 %	6,1756 %
Total Fracture Count	19	19	19	19
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST 38-426			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 26 B				
Fracture Count	20	20	20	20
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	99,676; 54,541	88,800; 47,250	97,321; 54,256	97,321; 54,256
Major Axis	279,676; 35,459	279,676; 35,459	240,104; 29,819	340,741; 17,851
Minor Axis	189,676; 0,000	189,676; 0,000	340,741; 17,851	240,104; 29,819
K1	7,80319	45,2743	-11,412	29,2538
K2		15,0727	-3,4281	38,1844
K12		-0,646535		
Kolmogorov-Smirnov	0,116545	0,111111	0,1005	0,210054
K_S Probability	96,7379 %	97,9363 %	99,3359 %	40,5018 %
Total Fracture Count	20	20	20	20
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST 426-514			
Well Log Intervals:	-			

	Fisher distribution	Bivariate Normal distribution	Bivariate Bingham distribution	Elliptical Fisher distribution
ST & STS KB 26 C				
Fracture Count	26	26	26	26
Relative Intensity	100 %	100 %	100 %	100 %
Mean Pole	110,341; 54,542	110,462; 46,808	110,951; 52,597	110,951; 52,597
Major Axis	290,341; 35,458	290,341; 35,458	293,687; 37,371	202,678; 1,320
Minor Axis	200,341; 0,000	200,341; 0,000	202,678; 1,320	293,687; 37,371
K1	7,92892	51,6968	-6,40887	11,9145
K2		12,1814	-4,47154	1,74415
K12		0,133408		
Kolmogorov-Smirnov	0,156508	0,202991	0,164269	0,190017
K_S Probability	63,3946 %	30,6436 %	57,2081 %	38,4919 %
Total Fracture Count	26	26	26	26
Data Pedigree				
Filter	-			
Data Source:	ST 576-715			
Well Log Intervals:	-			