



Armin Grabner, BSc

Ingenieurgeologische Revision des Brandschinkgrabens

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium Erdwissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Ao.Univ.-Prof. Dr. Qian Liu

Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz

Ort, Datum

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Datum

Unterschrift

Danksagung

Ich widme diese Arbeit meinem Vater Eberhard Grabner, der leider nicht mehr erleben konnte, was aus seinem Sohn geworden ist. Er ist mein intellektueller Leitstern und Grund für mein Interesse an Naturwissenschaften. Sapere Aude! Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Prof. Qian Liu, der mir stets helfend zur Seite stand und trotz teils langer Zeit ohne erwähnenswerte Fortschritte nicht die Hoffnung aufgegeben hat, dass diese Arbeit zu Stande kommt. Weiters meiner Familie, die immer hinter mir gestanden hat und mir mein Studium durch finanzielle Unterstützung und viel Verständnis ermöglicht hat. Weiters möchte ich meiner Freundin Isabella Neureuter und ihrer Familie danken, die mit ermutigenden und anspornenden Worten treue Wegbegleiter sind. Auch möchte ich dem Kendlerbauern und Vizebürgermeister meines Heimatortes, Heinrich Dominici, danken, der mir bei der Wahl des Gebietes half und mir mit Rat und Tat zur Seite stand. Stellvertretend für die Wildwasser- und Lawinenverbauung Liezen möchte ich Ing. Elisabeth Stocker danken, auf deren Archiv und Aufzeichnungen ich zurückgreifen konnte und dem GIS STMK für die Bereitstellung der ALS-Daten. Zu guter Letzt möchte ich all meinen Freunden in- und außerhalb meines Studiums, sowie den Lehrenden, danken, die meine Studentenzzeit unvergesslich und voll von schönen Erinnerungen machten.

Danke.

Kurzfassung

In der heutigen Zeit steht Geologen eine Fülle an modernen Techniken zur Verfügung, um die Arbeit im Felde zu vereinfachen. Hierzu zählen unter anderem spezialisierte Software oder auch technische Errungenschaften wie Laserscans. Diese Techniken und Althergebrachtes wurden in der folgenden Arbeit vereint, um eine möglichst genaue und aufschlussreiche Beschreibung eines ingenieurgeologischen Problems zu liefern: Der Brandschinkgraben ist einer von vielen wildwassertechnisch verbauten Seitengräben des Paltentales in der Obersteiermark. Dieser wurde in dieser Abhandlung einer ingenieurgeologischen Revision unterzogen, mit dem Ziel, die momentanen Verhältnisse aufzuzeichnen, Prognosen für die Zukunft zu geben oder gegebenenfalls auch Versäumnisse der Vergangenheit aufzuzeigen. Als Ausgangspunkt für die Arbeit fungierten 1x1 m ALS-Daten. Diese wurden, neben der Erzeugung einer genauen Feldkarte, für die Begehung und Aufzeichnung, auch statistisch und digital ausgewertet, um die im Feld erhobenen Daten zu untermauern oder gegebenenfalls zu komplettieren. Auf Basis dieser Daten wurden eine ingenieurgeologische Karte sowie Profile erzeugt. Zu guter Letzt wurden die Ergebnisse diskutiert und eine Beschreibung des Ist-Zustands sowie Prognosen für die Zukunft formuliert.

Abstract

These days geologists have a host of possibilities regarding technical innovation that will simplify their fieldwork. Highly specialized software or technical innovations such as laser scans are only two possible options which have been utilized in this thesis. Side by side with traditional methods they grant a precise and insightful description into an engineering geological problem. The torrent catchment area Brandschink is one of multiple tributary valleys of the Palten-valley in Upper Styria in which safety measures have been installed to keep it from disintegrating. This thesis involves an engineering geological revision of the Brandschink catchment area aiming to record present conditions, predict future events or point out possible shortfalls of the past. The starting point for the work was 1x1 m ALS data. In addition to generating an exact field map for inspecting and recording, these were also statistically and digitally evaluated to underpin or, if necessary, complete the data collected in the field. Based on this data an Engineering Geological Map and profiles were generated. Finally, the results were discussed and a description of the current situation and forecasts for the future were formulated.

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung.....	8
2. Ziel der Arbeit.....	9
3. Arbeitsgebiet	9
3.1 Geographischer Überblick.....	9
3.2 Geologischer Überblick	10
3.2.1 Entstehung der Ostalpen.....	10
3.2.2 Grauwackenzone	11
3.2.3 Arbeitsgebiet	13
3.2.4 Einzugsgebiet.....	15
4. Methodik	18
4.1 Bisherige Arbeit.....	18
4.1.1 Verbauungsmaßnahmen.....	18
4.2 Digitale Daten und Analyse	21
4.2.1 Datenakquisition.....	21
4.2.2 ALS-Daten	21
4.2.3 Orthofotos	23
4.2.4 Digitale Analyse der Interaktion zwischen Geomorphologie und Gefüge.....	24
4.3 Kartierung	31
4.3.1 Gefügedaten	31
4.3.2 Aufschlüsse.....	32
4.3.3 Ortsbezogene Instabilität und Kubatur	56
4.4 Ingenieurgeologische Karte und Profile	57
5. Ergebnisse	58
5.1 Aus digitalen Analysen	58
5.1.1 Räumlicher Zusammenhang zwischen Geomorphologie und Gefüge	58
5.1.2 Zuordnung von instabilen Bereichen	66
5.2 Ergebnisse der kinematischen Analysen der Aufschlüsse.....	77
5.2.1 Aufschluss 1.....	78

5.2.2	Aufschluss 2.....	79
5.2.3	Aufschluss 3.....	80
5.2.4	Aufschluss 4.1.....	81
5.2.5	Aufschluss 4.2.....	82
5.2.6	Aufschluss 4.3.....	83
5.2.7	Aufschluss 4.4.....	84
5.2.8	Aufschluss 4.5.....	85
5.2.9	Aufschluss 4.6.....	86
5.2.10	Aufschluss 5.....	87
5.2.11	Aufschluss 6.....	88
5.2.12	Aufschluss 7.....	89
5.2.13	Aufschluss 8.....	90
5.2.14	Aufschluss 9.....	91
5.2.15	Aufschluss 10.....	92
5.2.16	Aufschluss 11.....	93
5.2.17	Aufschluss 12.....	94
5.2.18	Aufschluss 13.....	95
5.2.19	Aufschluss 14.....	96
5.2.20	Aufschluss 15.....	97
5.2.21	Aufschluss 16.....	98
5.2.22	Aufschluss 17.....	99
5.3	Ingenieurgeologische Karte und Profile	100
5.4	Gesamte Beurteilung.....	105
6.	Diskussion.....	106
7.	Schlussfolgerung.....	107
8.	Abbildungsverzeichnis.....	108
9.	Tabellenverzeichnis.....	112
10.	Literaturverzeichnis.....	113

1. Problemstellung

Beim Brandschinkgraben handelt es sich um einen nord-süd verlaufenden Graben am Nordhang des oberen Paltentales. Dieser wurde vom namensgebenden Brandschinkbach geformt und schneidet tief in die vorliegenden Lagen aus Grauwackenschiefer. Erste Begehungen ergaben ein Einfallen der Schieferungsflächen in Richtung Westen. Diese Lagerungsverhältnisse begünstigen die Stabilität des Westhanges, was dazu führte, dass dieser sehr steile Böschungswinkel aufweist (60-80°). Für den Osthang hingegen gilt das Gegenteil: Hier sorgt die Richtung der Schieferung für erhöhte Hanginstabilität. Hinzu kommt ein großes Einzugsgebiet von ca. 80 ha im oberen Bereich des Baches, was zu hohen Wasserspitzen führen kann.

Nach einem Starkregenereignis und einer folgenden Hangrutschung im Jahre 2000 (Abb. 1) wurde der Brandschinkbach sukzessive wildwassertechnisch verbaut. Ziel dieser Arbeit ist es, eine detaillierte ingenieurgeologische Karte des Gebietes zu erstellen und zu erörtern, ob jene gesetzten Maßnahmen die erwünschte Wirkung erzielten. Das Ergebnis wird mit den zur Verfügung stehenden Methoden veranschaulicht und untermauert.



Abbildung 1: Archivfoto der Rutschung im Jahre 2000 (Quelle Archiv Wildbach- und Lawinerverbauung Liezen)

2. Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, mit den im Studium erworbenen Fähigkeiten und technischen Hilfsmittel eine Übersicht über den Ist-Zustand zu geben und gegebenenfalls Prognosen für die Zukunft zu erstellen.

3. Arbeitsgebiet

3.1 Geographischer Überblick

Der Brandschinkgraben befindet sich im oberen Paltental im Ortsteil Treglwang der Marktgemeinde Gaishorn am See, einer Gemeinde im Bezirk Liezen in der Obersteiermark. Das Paltental bildet gemeinsam mit dem Liesingtal eine von Nordwest nach Südost verlaufende Verbindung zwischen dem Enns- und Murtal. Dazwischen liegt der Schoberpass, welcher durch die Endmöräne eines Ausläufers des Ennstalgletschers gebildet wurde und als Wasserscheide zwischen Enns und Mur fungiert (Abb. 2).

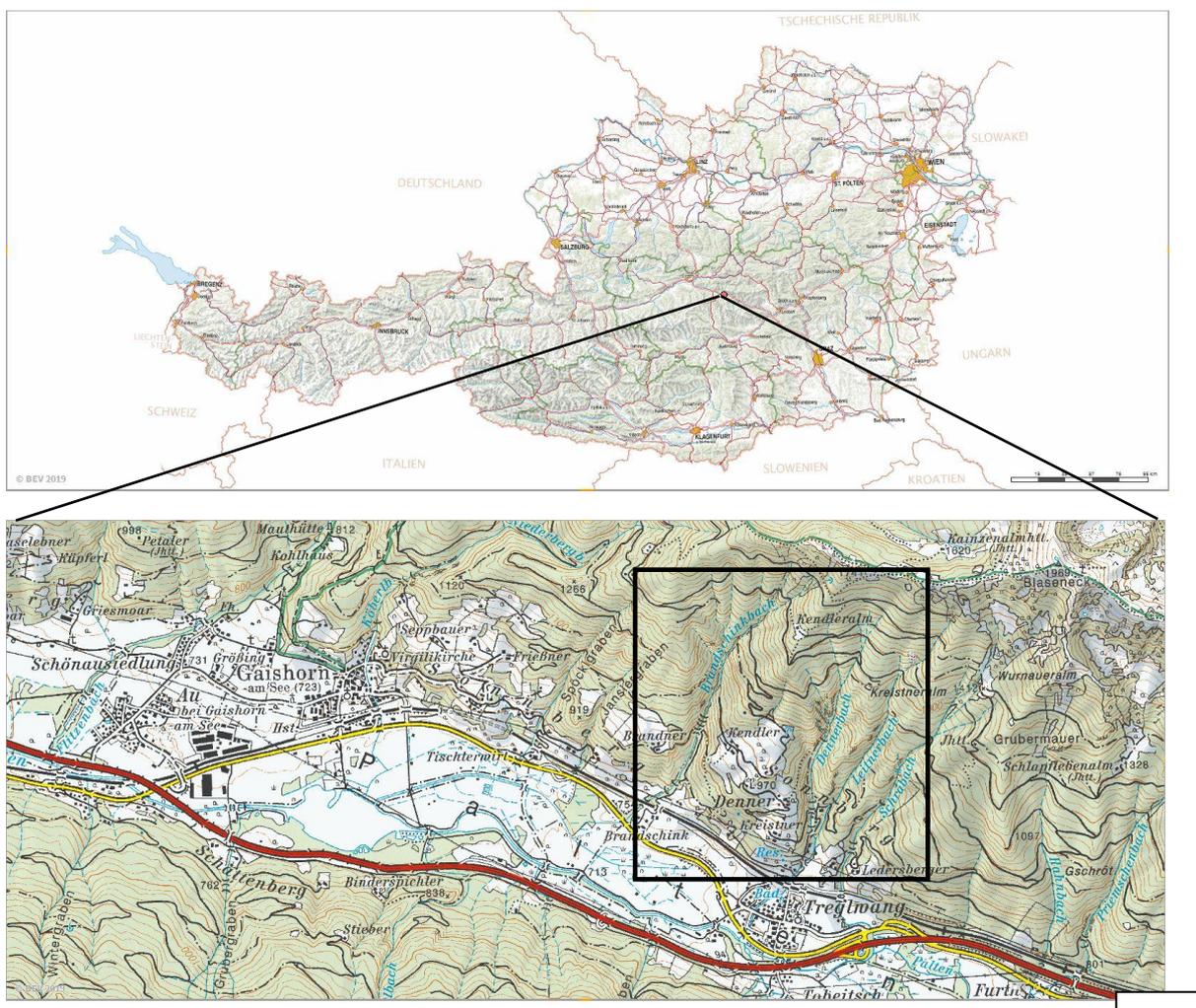


Abbildung 2: Geographische Lage des Arbeitsgebiets. Das schwarze Quadrat beschreibt das untersuchte Gebiet (Quelle: Austria Map online, ÖK50)

3.2 Geologischer Überblick

3.2.1 Entstehung der Ostalpen

Grund für den tektonischen Aufbau der Alpen sind die konvergierenden Kontinentalplatten von Afrika und Europa, die in einer zweiphasigen Orogenese (einer kretazischen und einer paläogenen) den Alpenraum prägten. Primär werden die Gesteine des Ostalpins in den ostalpinen und den penninischen Deckenkomplex unterteilt.

Beginn der alpidischen Entwicklung der Alpen markiert eine N-S-gerichteten Dehnungstektonik im Oberkarbon/Perm, die eine großräumige Lithosphärenausdünnung des variszischen Grundgebirges zufolge hatte (Stüwe und Schuster 2010). Hinzu kam eine Hochtemperatur-Metamorphose (HT/LP, permo-triasisches tektono-metamorphes Event) (Schuster et al. 2004) und ein partielles Aufschmelzen der Unterkruste. Dies führte zur Intrusion plutonischer Körper (Granite, Pegmatite) bis hin zur mittleren Kruste (Schmid et al. 2013) (Stüwe und Schuster 2010). Die fortschreitende Subsidenz der kontinentalen Platte Europa führte im späten Perm zu einer Transgression der Tethys Richtung Westen und zur Ausbildung einer seichtmarinen Fazieszone (Pestal et al. 2009). Damals befanden sich die heute in den Ostalpen auftretenden Gesteinseinheiten am Westende der Paläotethys (Pestal et al. 2009). Während der unteren Trias öffnete sich der Hallstatt-Meliata Ozean und es bildeten sich mächtige Karbonatplattformen an dessen passiven Kontinentalrändern (Nördliche Kalkalpen, Dolomiten, Drauzug) (Stüwe und Schuster 2010). Mit der Öffnung des penninischen Piemont-Ligurischen Ozeans im mittleren Jura (Handy et al., 2004) begann der Zerfall des Superkontinents Pangäa (Pestal et al., 2009). Währenddessen führte eine intra-ozeanische Subduktionszone zur Schließung des Hallstatt-Meliata Ozeans (Oberhänsli et al. 2004). Durch die andauernde Bewegung der apulischen Platte Richtung Norden bildete sich in der Unterkreide die initiale Deckenstapelung des Ostalpins, dabei wurden Teile des Ostalpins Richtung Südosten unter die apulische Platte subduziert. Dieses kompressive Regime (Eo-alpidische Metamorphose) leitete die Schließung des Hallstatt-Meliata Ozeans ein und die beginnende Subduktion des penninischen Piemont-Ligurischen Ozeans (Flyschsedimentation). In der Oberkreide begann dieses Regime in eine Extensionstektonik überzugehen, welche eine Exhumierung mit begleitender Beckenbildung zufolge hatte (Gosausedimentation) (Schmid et al. 2004). Auf Grund der Subduktion der ozeanischen Kruste (Penninikum) wurde am europäischen Schelf ein Akkretionskeil ausgebildet. Durch das Vorrücken der Subduktionszone in Richtung der europäischen Platte wurden innerhalb des Akkretionskeils Krustenfragmente abgeschert und gestapelt (Schmid et al. 2013). Der oligozäne „slab-breakoff“ der Unterplatte (Europa) ermöglichte eine Umkehr der Subduktion, was eine rapide Exhumation des generierten Deckenstapels einleitete (Schmid et al. 2013). Der Bewegung des südalpinen Indenters im mittleren Miozän in Richtung Norden und der nach Osten rückschreitenden Subduktionszone unter den Karpaten folgten eine laterale

Extrusion der Einheiten östlich des Tauernfensters entlang komplexer strike-slip-Störungen und Abschiebungen (Wölfler et al. 2011).

Als Begrenzung der heutigen Ostalpen gelten das Periadriatische Störungssystem im Süden, die Linie St. Magarethen-Chur-Sondrino im Westen, die Gesteine der rhenodanubischen Flyschzone im Norden sowie das Grazer und das Penninische Becken im Osten (Wagner 2015).

3.2.2 Grauwackenzone

Lokal betrachtet befindet sich der Brandschinkgraben in der Grauwackenzone bzw. dem Veitsch-Silbersberg-Deckensystem (Schuster 2015). Dieses wird in diesem Bereich von der Norischen Decke überlagert, welche hier vom Blasseneck-Porphyrroid vertreten wird (Abb.3).

Die Veitsch-Decke baut sich aus karbonen, klastischen, karbonatischen (inkl. Magnesite) und permischen klastischen (Meta-)Sedimenten auf. Sie befindet sich am Südrand der Grauwackenzone und grenzt zumeist an steilstehende miozäne Störungen, welche zumindest zum Teil aus oberkretazisch-paläogenen Deckengrenzen hervorgegangen sind, an die unterostalpine Mürz-Tachenberg-Decke und an Einheiten des Silvretta-Seckau-Deckensystems. Die eoalpidische (kretazische) Metamorphose in der Veitsch-Decke ist im Osten anchizonal, steigt aber gegen Westen hin an (Schuster 2015).

Die Silbersberg-Decke liegt invers und besteht aus den kristallinen Gesteinen des Kaintaleck-Komplexes und den auflagernden Metakonglomeraten (inkl. Kalvanger Gneiskonglomerat) und Phylliten der Silbersberg-Formation. Letztere wurde sicher erst nach dem Oberdevon und wahrscheinlich im Perm abgelagert. Die Silbersberg-Decke zeigt eine eoalpidische Metamorphose in der unteren Grünschieferfazies. Die Grenze zur Veitsch-Decke ist oft durch eine Scherzone gegeben, welche bestimmt eine mehrphasige Bildung von der Kreide bis ins Neogen haben sollte. (Schuster 2015)

Im Hangenden liegt das Tirolisch-Norische Deckensystem. An paläozoischen Gesteinen, die im Bereich der geografischen Grauwackenzone auftreten, beinhaltet dieses im Osten die Norische Decke und im Westen die liegenden Teile der Staufen-Höllengebirge-Decke. Beide zeigen eine Abfolge aus ordovizischen bis spät-karbonen Metasedimenten und Metavulkaniten (Schuster 2015).

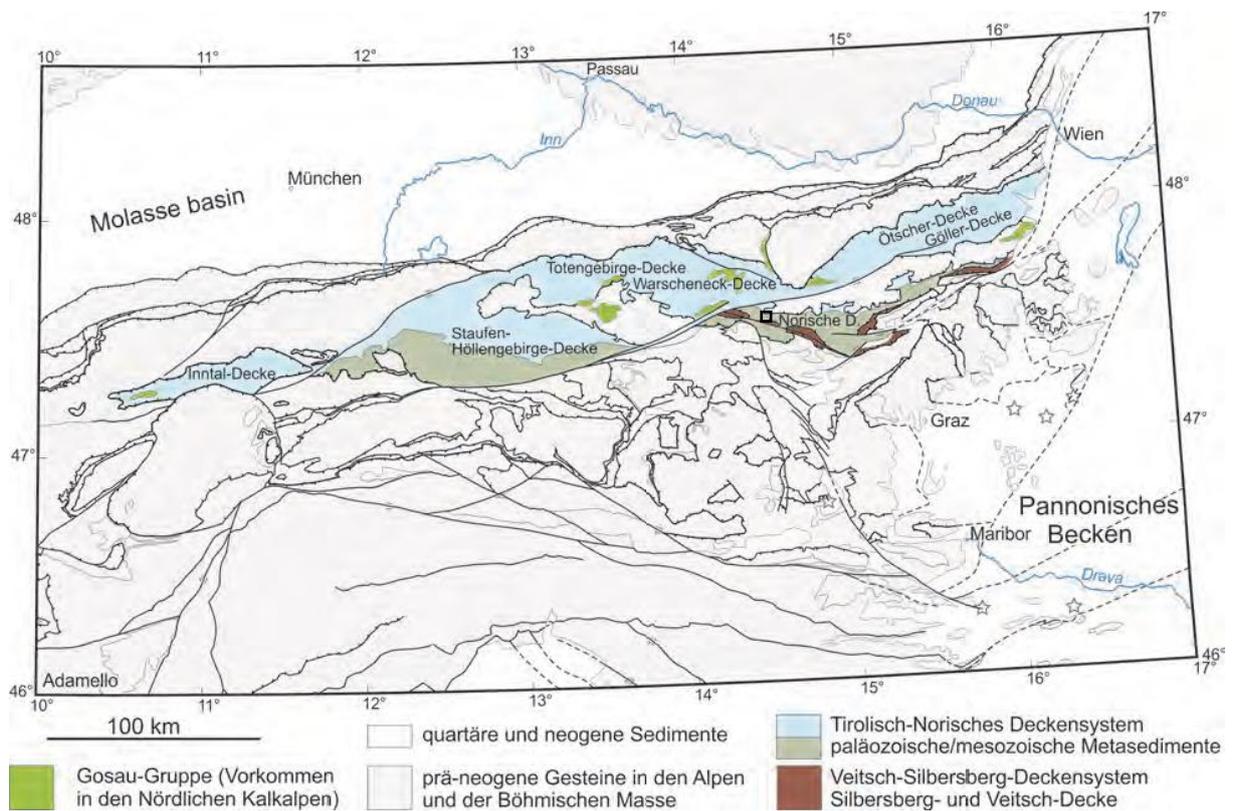


Abbildung 3: Karte der Ostalpen mit hervorgehobenem Tirolisch-Norischen Deckensystem und Veitsch-Silberberg-Deckensystem, das Viereck zeigt das Arbeitsgebiet (Schuster 2015).

3.2.3 Arbeitsgebiet

Die Abbildung 4 zeigt das gesamte Einzugsgebiet des Brandschinkgrabens. Der Autor hat diese Darstellung mit den Airborne-LiDAR Daten der Steierischen Landesregierung mit der Auflösung von 1x1 m in dem Softwarepaket CloudCompare erzeugt. Die Neigungsveränderung sowie das Geschiebepotenzial in dem gesamten Graben sind deutlich ersichtlich: Im überwiegenden Teil des Arbeitsgebietes ist Grauwacke vorherrschend (Abb.5), entlang des Bachlaufes findet man laut GIS Stmk. in die Grauwacke eingelagerte Konglomerate, diese sind jedoch nicht aufgeschlossen. Am westlichen Hang tritt Quarzit auf (Abb. 5). Alle diese Schichten sind Teile des Silberberg-Veitsch-Deckenkomplexes (Schuster 2015). Im Verlauf weiterer Begehungen wurden 2 Aufschlüsse im oberen Einzugsgebiet des Branschinkbaches aufgenommen: Im nördlichen Bereich des Gebietes zwischen 1400 m im Westen und 1600 m im Osten tritt Blasseneck-Porphyr auf und ist somit bereits Teil der Norischen Decke. Der an den Hängen und in den Kesseln vorkommende Hangschutt und das im Talboden vorherrschende Quartär komplettieren das geologische Setting.

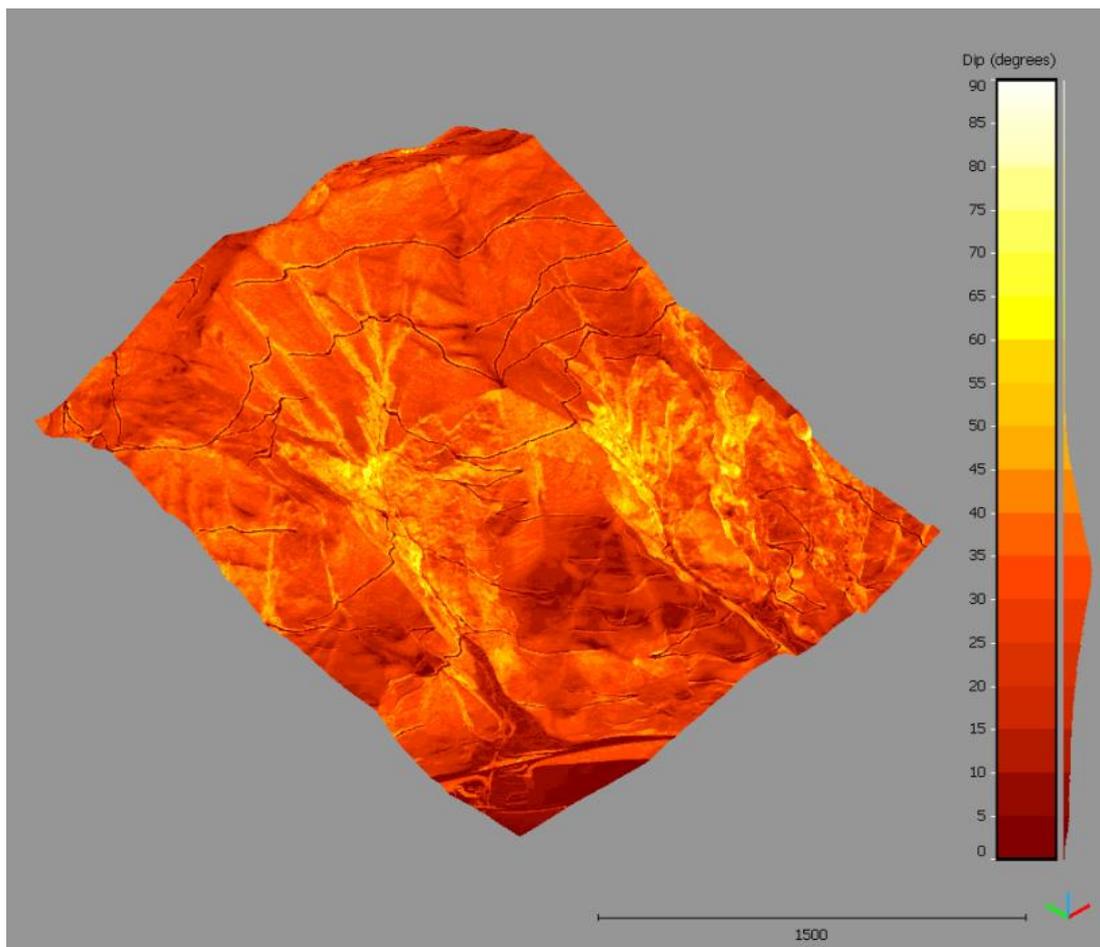


Abbildung 4: 3D Bild des Gebietes (CloudCompare)

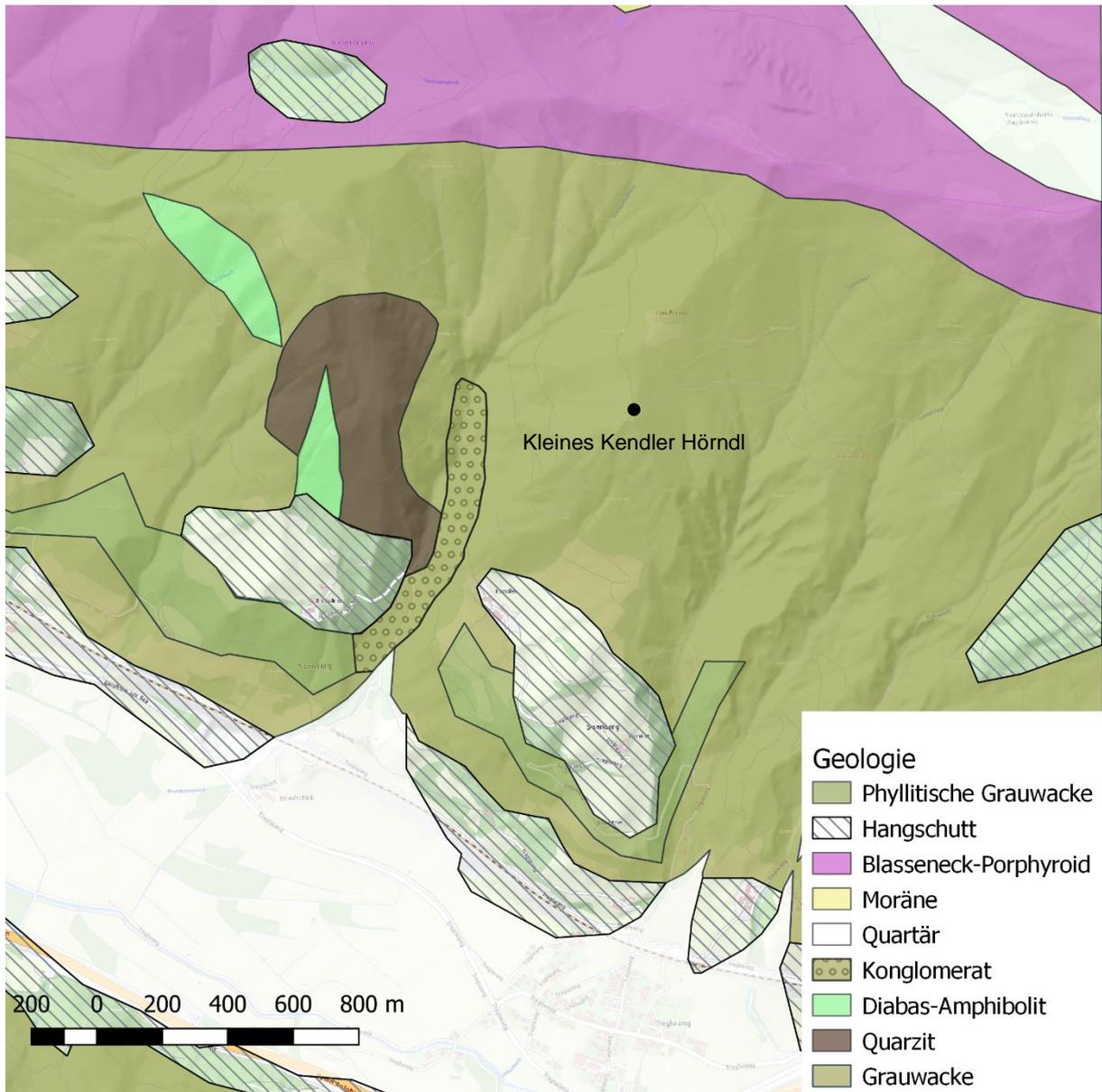


Abbildung 5: Geologischer Überblick des Gebiets (Bearbeitet nach GIS Stmk)

3.2.4 Einzugsgebiet

In diesem Punkt wird das Einzugsgebiet des Oberen Brandschinkbaches betrachtet. Dabei handelt es sich um den oberen Bachlauf bis hin zum Dosierwerk. Dies dient dazu, Prognosen für die Auswirkungen möglicher Unwetter zu erstellen, sowie Werte für Niederschlagsmengen und Wasseraufkommen zu erhalten. Das in Abbildung 6 und 7 abgebildete Einzugsgebiet beläuft sich auf eine Fläche von ca. 180 ha. Die Hauptwassermenge stammt aus dem sich auf ca. 80 ha belaufenden Kares am Ende des Brandschinkgrabens. Dieser wirkt wie ein Trichter, der den Niederschlag sammelt.

Folgende Niederschlagsdaten liegen in dieser Region vor:

Mittler Jahresniederschlag: 1262 mm

(Hydrographischer Dienst in Österreich 1981-2010)

Beobachtetes Tagesmaximum (am 10.8.1903 Station Trieben): 93 mm

(WLV Liezen 1995)

Bemessungsniederschlag: 130 mm

(WLV Liezen 1995)

HQ 100: 16 m³/s

(WLV Liezen 2019)

Wie der Abbildung 6 zu entnehmen ist, besteht der Bewuchs im oberen Bereich aus ca. halb Wald, halb Almboden. Entwässert wird über Rinnen, die zwischen 35-60° Gefälle aufweisen. Am Ende des Kares befindet sich ein Geländebruch, über den die zwei Hauptarme über Wasserfälle ca. 50 m in die Tiefe stürzen. Unterhalb dieser Kante vereinigen sich die drei Arme dann zum Brandschinkbach. Der Untergrund besteht aus in Grauwackenschiefer eingelagerten Konglomeraten. Die Westflanke fällt mit bis zu 90° steil in den Graben ein, die Ostflanke hingegen ist mit 45-60° weitaus flacher (Abb. 7).

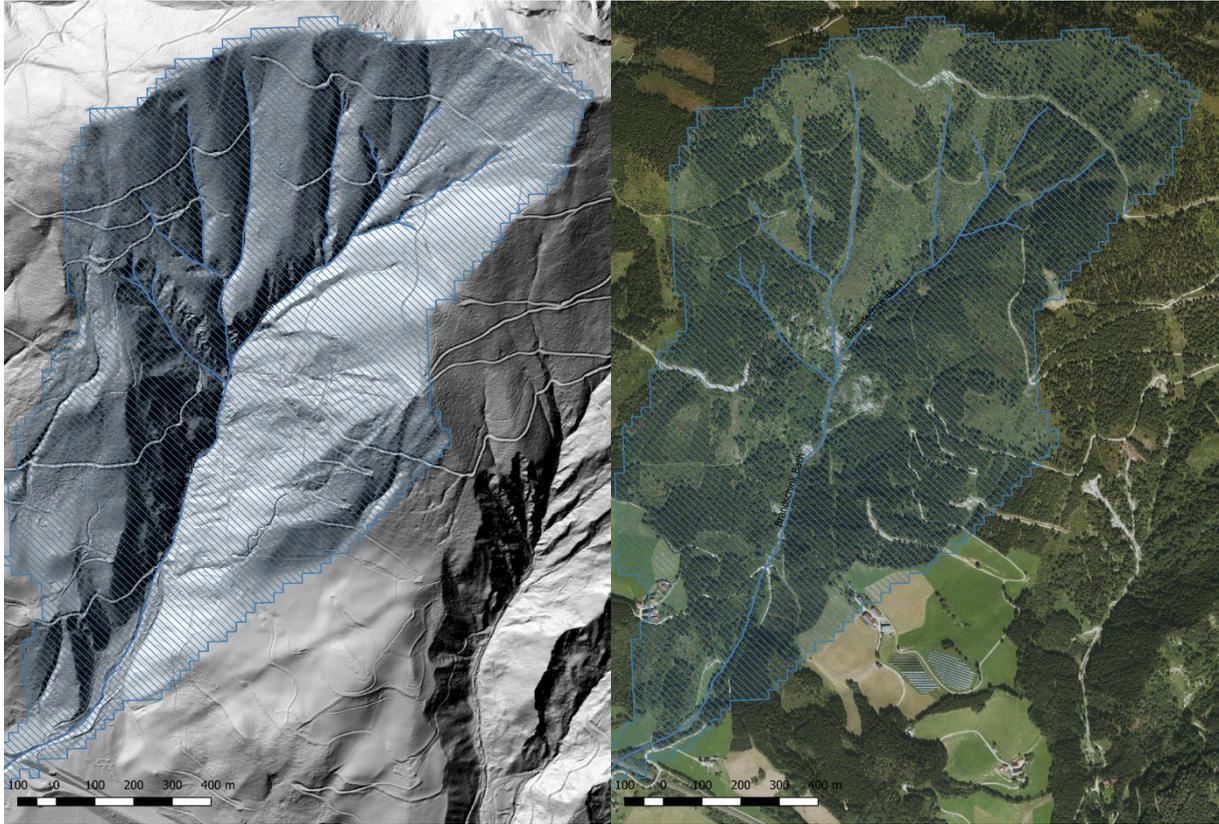


Abbildung 6: Einzugsgebiet des Oberen Brandschinkbaches li. Schummerung, re. Orthofoto

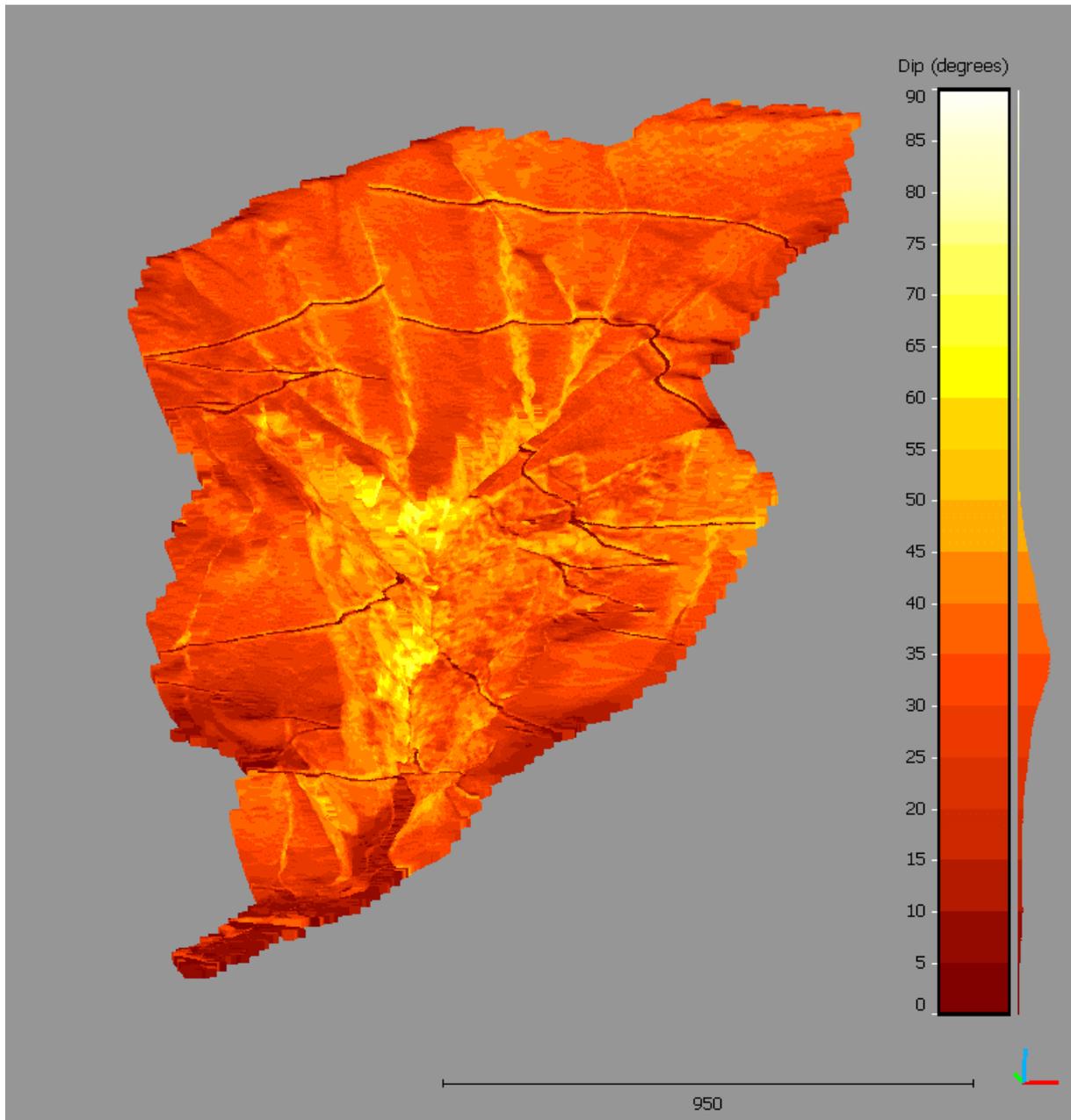


Abbildung 7: Einzugsgebiet (CloudCompare)

4. Methodik

4.1 Bisherige Arbeit

In diesem Punkt wird Bezug auf bereits erfolgte bauliche Maßnahmen in diesem Gebiet genommen.

4.1.1 Verbauungsmaßnahmen

Wie aus einem Bericht der WLV Liezen aus dem Jahre 1995 hervorgeht, wurde bereits im Jahre 1992 um ein Projekt zur Wildbachtechnischen Verbauung des Brandschinkbaches angesucht.

„Aufgrund des zweigleisigen Neuausbaues und der Verlegung der Bahnlinie St. Michael - Selzthal ersucht die Generaldirektion Wien mit Schreiben vom 3. Juni 1992 um Ausarbeitung eines Muren- und Hochwasserschutzprojektes, gleichzeitig verpflichtet sich die ÖBB den jeweils angemessenen Interessentenbeitrag zu leisten. Seitens der Fachabteilung III a - Wasserwirtschaft Amt der Steirischen Landesregierung wurde mit Schreiben vom 26.2.1993 die WLV ersucht, die notwendigen Verbauungsmaßnahmen durchzuführen, um Schadereignisse, wie sie zuletzt im August 1991 aufgetreten sind, hintanzuhalten.“ (WLV Liezen 1995)

Bereits im Jahre 1998/99 wurde ein Dossierwerk mit einem Fassungsvermögen von 10.000 m³ errichtet. Nach dem Erdbeben im Jahre 2000 wurden in den darauffolgenden Jahren folgende Maßnahmen umgesetzt (WLV Liezen 2019):

2000: Rutschungssanierung

2001/2: 15 doppelwandige Steinkästen hm 16,8-18,7

2003: Aufforstungen

2004: 3 Konsolidierungssperren hm 15,4-16,0

2008/9: 4 Konsolidierungssperren hm 12-15 (Abb. 8)

Abbildung 9 dokumentiert den momentanen Zustand einiger dieser Bauwerke.



Abbildung 9: Überblick über Verbauungsmaßnahmen: oben Dosierwerk, li. Konsolidierungssperren, re. Rundholzsperrern

4.2 Digitale Daten und Analyse

4.2.1 Datenakquisition

Nach der Auswahl des Gebietes wurden für die weitere Vorgehensweise verschiedene Daten benötigt. Zum einen airbourne-laser-scan Daten (ALS) und Gefügedaten, um die vorherrschenden Lagerungsverhältnisse zu veranschaulichen und Rückschlüsse auf die Stabilität der Hänge zu ziehen. Diese Daten liegen entweder als Digitales Gelände Modell (DGM) oder als Digitales Oberflächen Modell (DOM) vor. Der primäre Unterschied dieser beiden Formate ist, dass bei DOM die Vegetation mit aufgezeichnet wurde, bei DGM jedoch nur das Relief, wodurch zweiteres für die vorliegende Arbeit von größerem Nutzen ist.

4.2.2 ALS-Daten

Die benötigten Laserdaten wurden auf Anfrage von der GIS Stmk zur Verfügung gestellt. Diese wurden als Punktwolken (DGM, DOM) zugesendet, zusammen mit georeferenzierten Orthofotografien des Gebietes. Aus den DGM-Daten ist mit Hilfe des Programmes RiSCAN eine topographische Karte im Maßstab 1:1000 des Kartierungsgebietes erstellt worden, welche als Feldkarte diente (Abb. 10). Mit Hilfe der Orthofotos und der Punktwolke wurde in QGis eine digitale Karte des Gebietes erstellt.

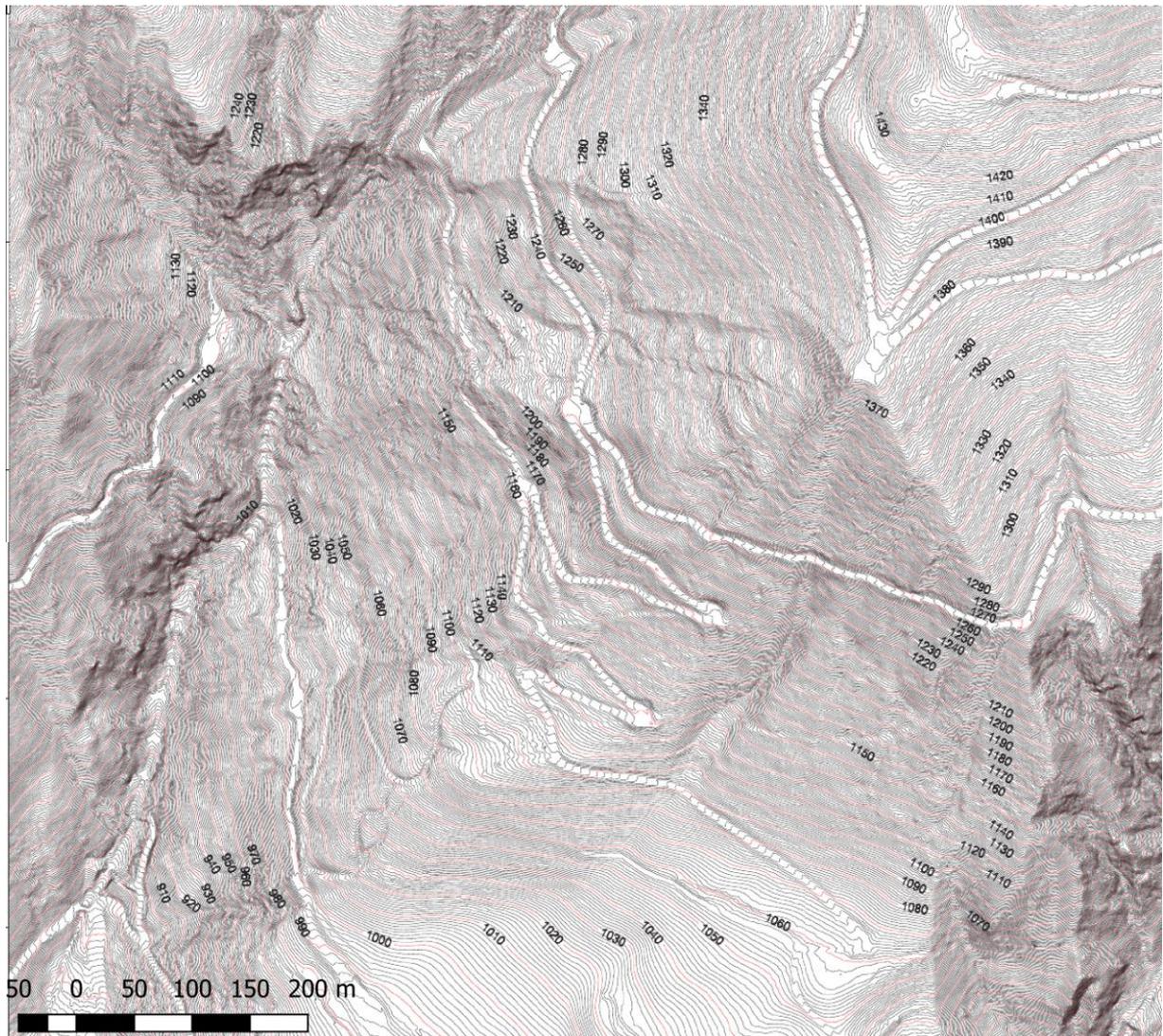


Abbildung 10: Topographische Karte des Kartiergebietes

4.2.3 Orthofotos

Wie im oberen Punkt bereits angesprochen, wurden zur digitalen Analyse auch Orthofotos herangezogen. Die vom GIS Stmk erhaltenen Datensätze enthalten Fotos aus dem Jahr 2015 und 2016 mit hochauflösenden, georeferenzierten Orthofotografien des Geländes (Abb. 11). Diese ermöglichen einen Vergleich zwischen den beiden Jahren, wodurch größere Bewegungen ersichtlich werden. Dadurch ergibt sich ein Makroskopischer Überblick über die Bewegungen der Hänge, wodurch vorliegende Gefahren abgeschätzt werden können. Änderungen der Vegetation können darüber hinaus Anzeichen für Stabilisierung bzw. Destabilisierung von Hängen sein. Diese Erkenntnisse werden als Basis für die weiteren digitalen Analysen herangezogen.



Abbildung 11: Orthofotografien des Arbeitsgebietes, li. 2015 re. 2016

4.2.4 Digitale Analyse der Interaktion zwischen Geomorphologie und Gefüge

In diesem Punkt wird der Prozess der Digitalen Analyse der Daten beschrieben, sowie eine kurze Einführung der verwendeten Programme gegeben.

4.2.4.1 Digitale Auswertung

Mit den in Punkt 4.2 erwähnten Daten begann die digitale Auswertung. Hierfür wurden insbesondere die von GIS Stmk zur Verfügung gestellten ALS-Punktwolken und die Orthofotografien verwendet. Im Folgenden werden die Arbeitsschritte erklärt und eine Prognose über zu erwartende Versagensmechanismen auf Basis der Digitalen Auswertung gegeben.

4.2.4.2 QGIS

Der Großteil der Digitalen Auswertung wurde mit dem zur freien Verfügung stehenden Programm QGIS durchgeführt. Dabei handelt es sich, wie beim kostenpflichtigen Pendant ArcGIS, um ein Geographisches Informationssystem zum Erstellen, Bearbeiten, Anzeigen und Analysieren räumlicher Informationen (Abb.12) (<https://www.qgis.org/de/site/>).

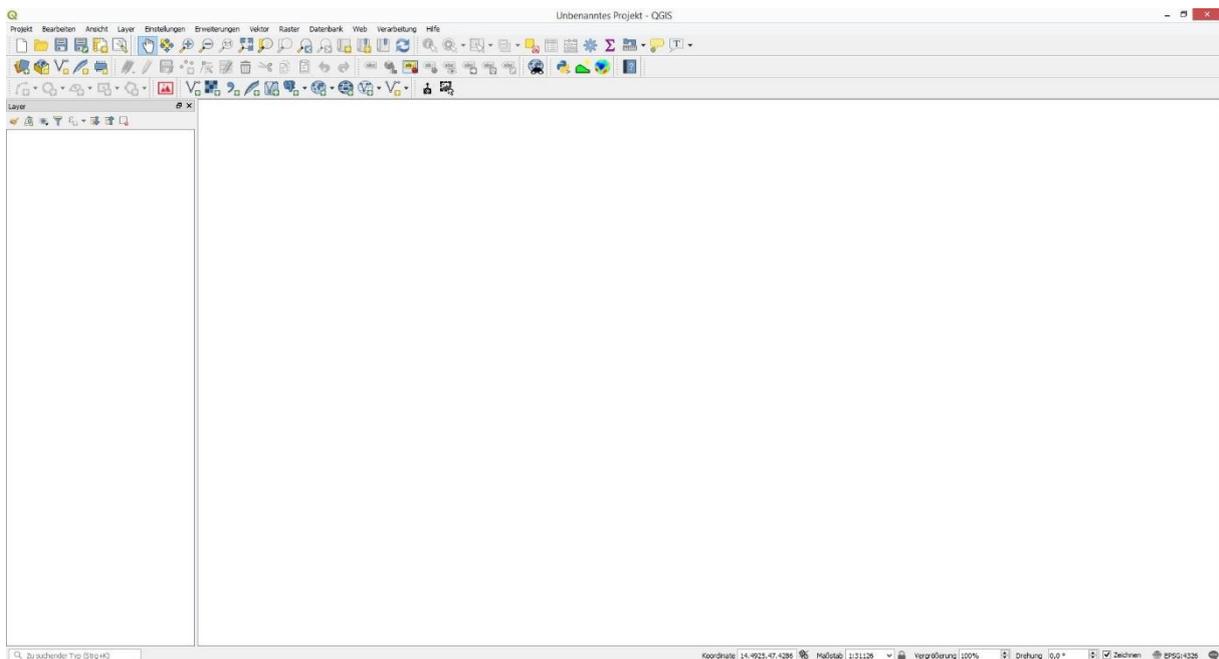


Abbildung 12: Basisinterface von QGIS

Als Basis wurden Georeferenzierten Orthofotos verwendet (Abb. 13).

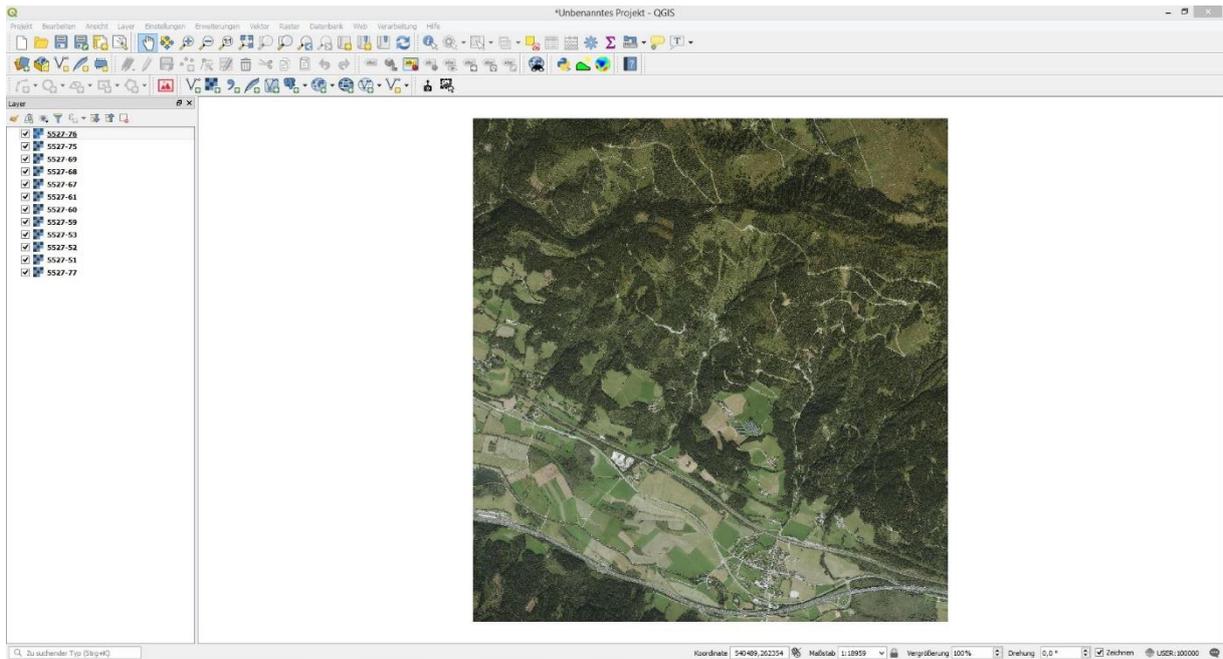


Abbildung 13: Orthofotos im Programm

Im nächsten Schritt wurde die neu erstellte Topographische Karte mittels Georeferencertool auf die Orthofotos projiziert. Dabei wurden mehrere deckungsgleiche Punkte in den jeweiligen Bildern gewählt und somit über die Ausgangskarte gelegt (Abb. 14).

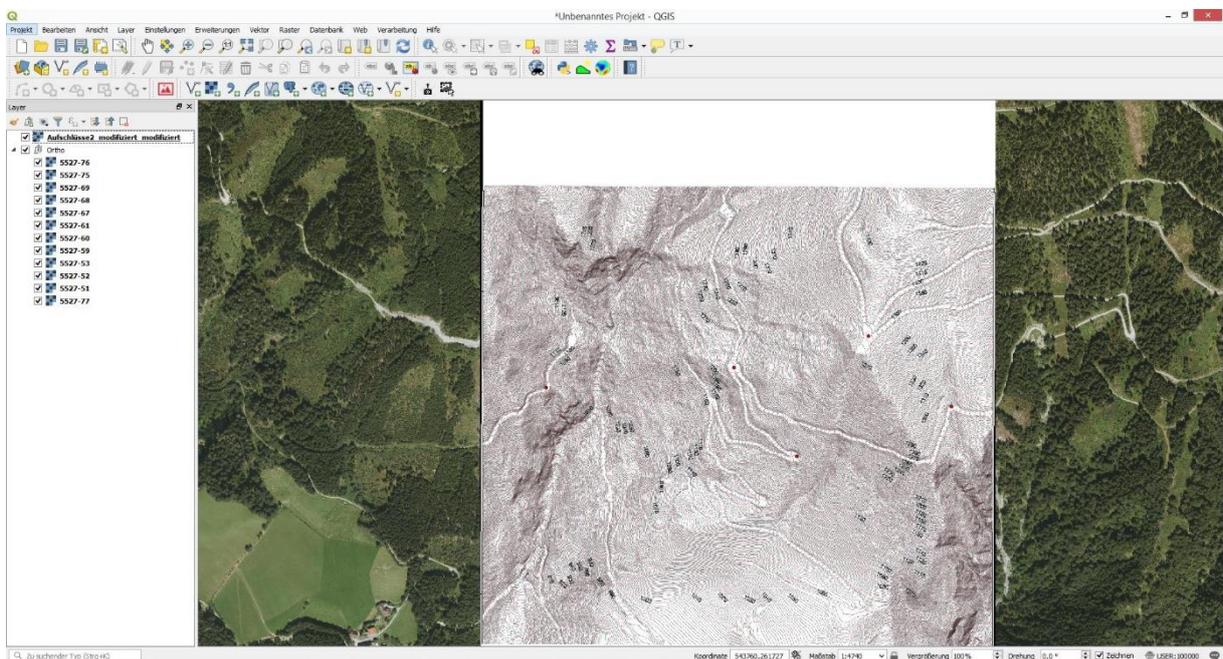


Abbildung 14: Projizierte Isolinienkarte

Der nächste Schritt war die Erstellung eines shade reliefs (Schummerung), das mit Hilfe des Schummerungstools auf Basis der DGM Punktwolke erzeugt wurde (Abb. 15).

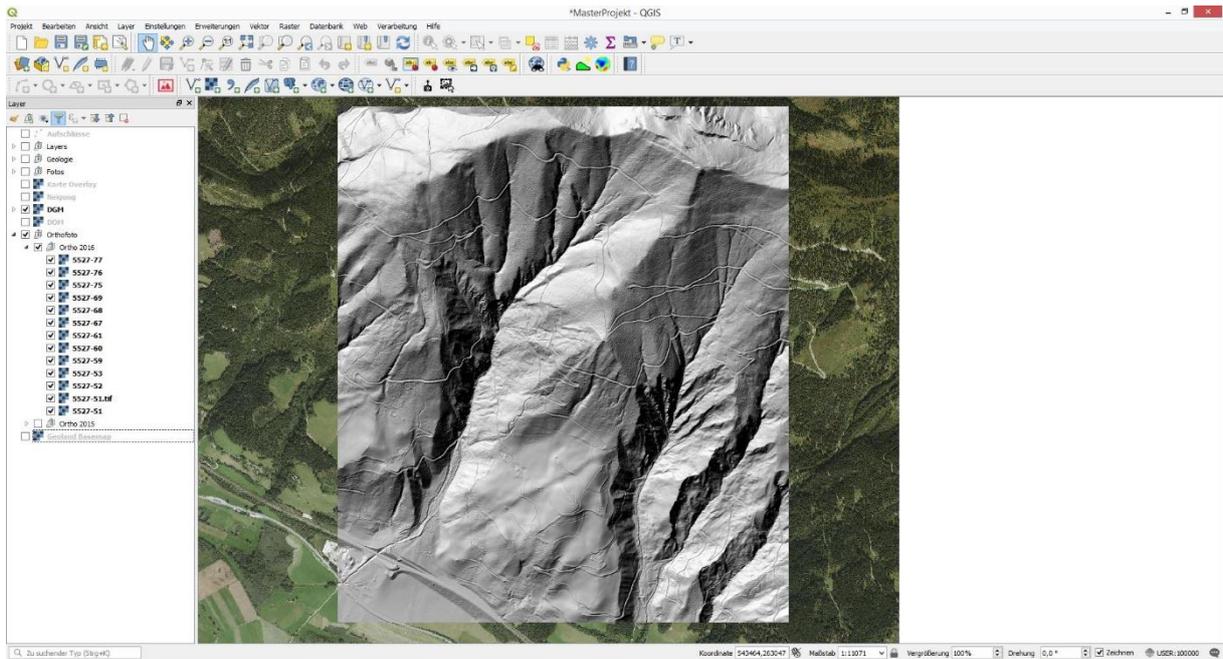


Abbildung 15: Schummerung (shade relief)

Auf Basis der Schummerung wurde eine Visualisierung der Hangneigung im Gebiet erstellt. Die Farbskala beschreibt diese in der Form rot>gelb>grün>blau (Abb. 16).

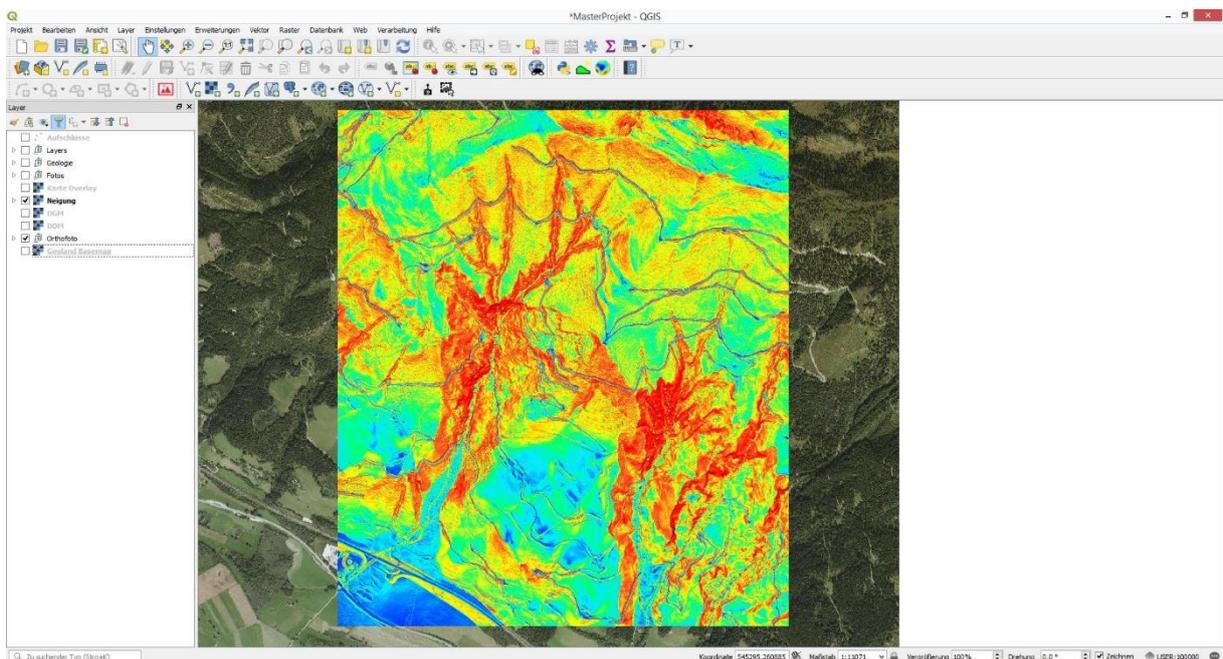


Abbildung 16: Neigungsanalyse (rot>gelb>grün>blau)

Neben einigen Layern zur Visualisierung der Besonderheiten wie Abrisskanten, Aufschlüssen, Einzugsgebiete, etc. wurde auf Basis des Digitalen Atlas der GIS Stmk. eine geologische Karte gezeichnet (Abb.17).

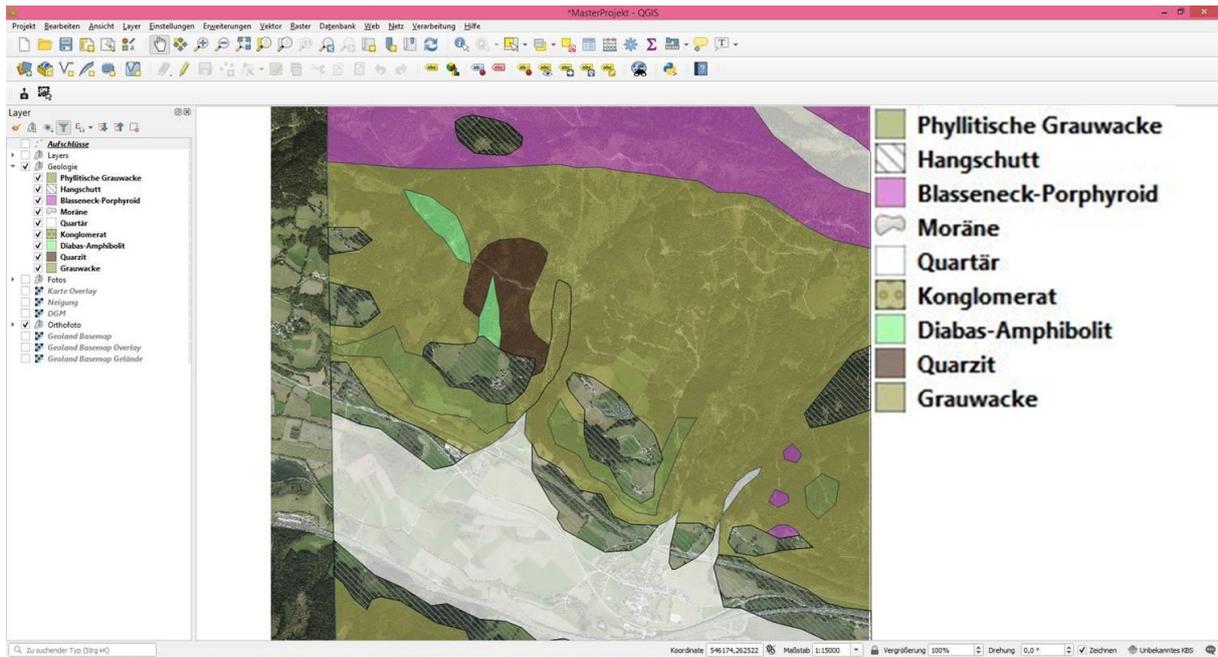


Abbildung 17: Geologische Karte des Gebietes (Legende zum besseren Verständnis eingefügt)

Zu guter Letzt wurde mittels WMS/WMTS-Layer Tool die öffentlich zugängliche Karte (nähere Informationen hierzu sind unter <https://www.basemap.at/downloads/QGIS-Integration.pdf> zu finden) Geoland Basemap eingefügt. Diese Karte diente mir als zusätzliche Orientierungs- und Visualisierungshilfe (Abb. 18).

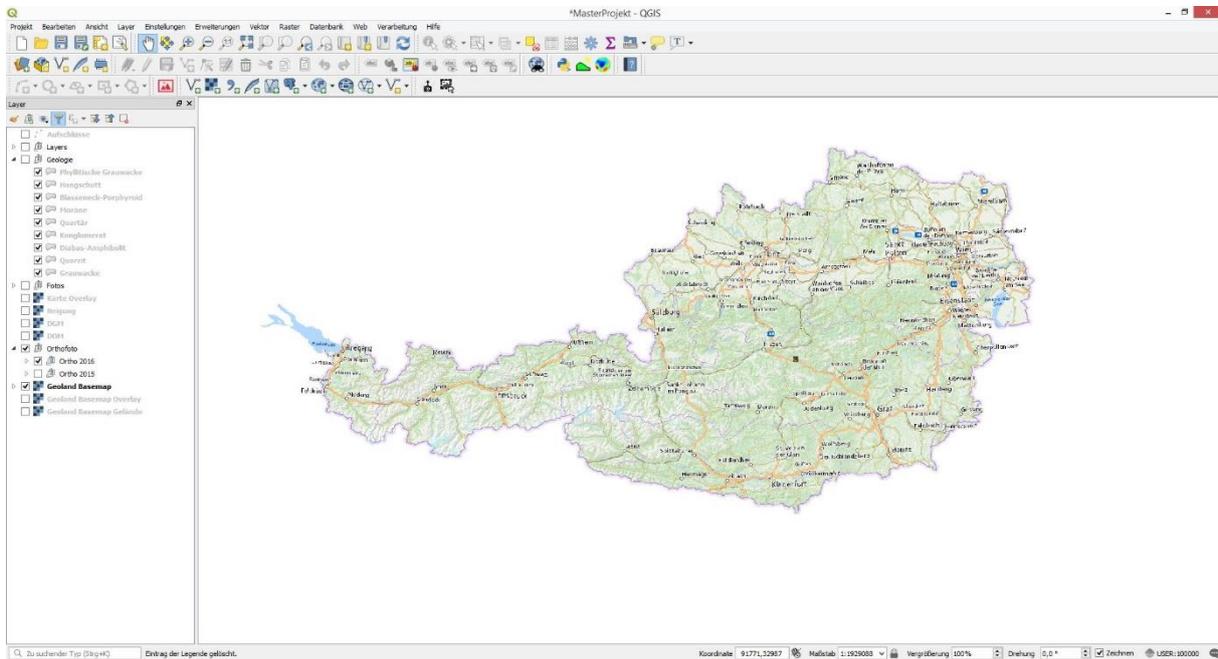


Abbildung 18: Open Basemap von Österreich

4.2.4.3 CloudCompare

Als weiteres Werkzeug für die digitale Auswertung der Daten wurde das Open Source Programm CloudCompare verwendet. Dieses bietet die Möglichkeit, Punktwolken zu bearbeiten und zu visualisieren, um Aussagen über Eigenschaften wie Böschungs- sowie Einfallswinkel der makroskopischen Strukturen zu treffen.

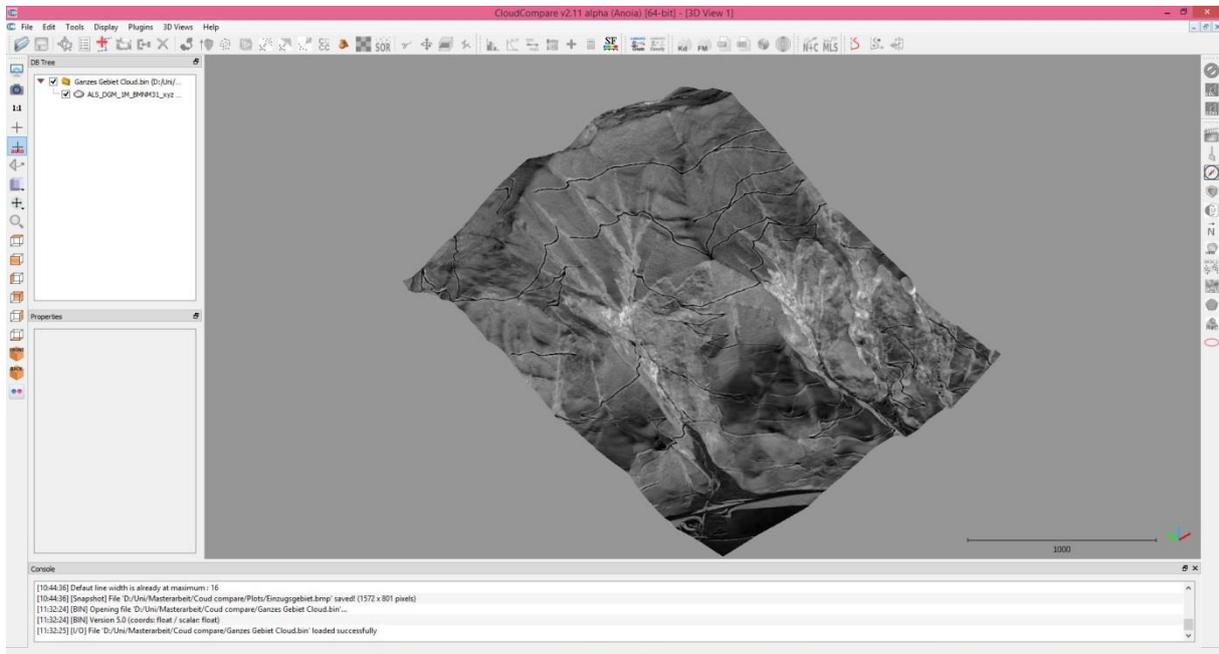


Abbildung 19: Standartinterface von CloudCompare mit Punktwolke des Gebietes

Mit den zur Verfügung gestellten Daten und auf Basis der Arbeit mit QGIS wurde CloudCompare genutzt, um die Punktwolke (Abb. 19) selbst auszuwerten und neben der zweidimensionalen Visualisierung in QGIS auch eine dreidimensionale zu erreichen (Abb. 20).

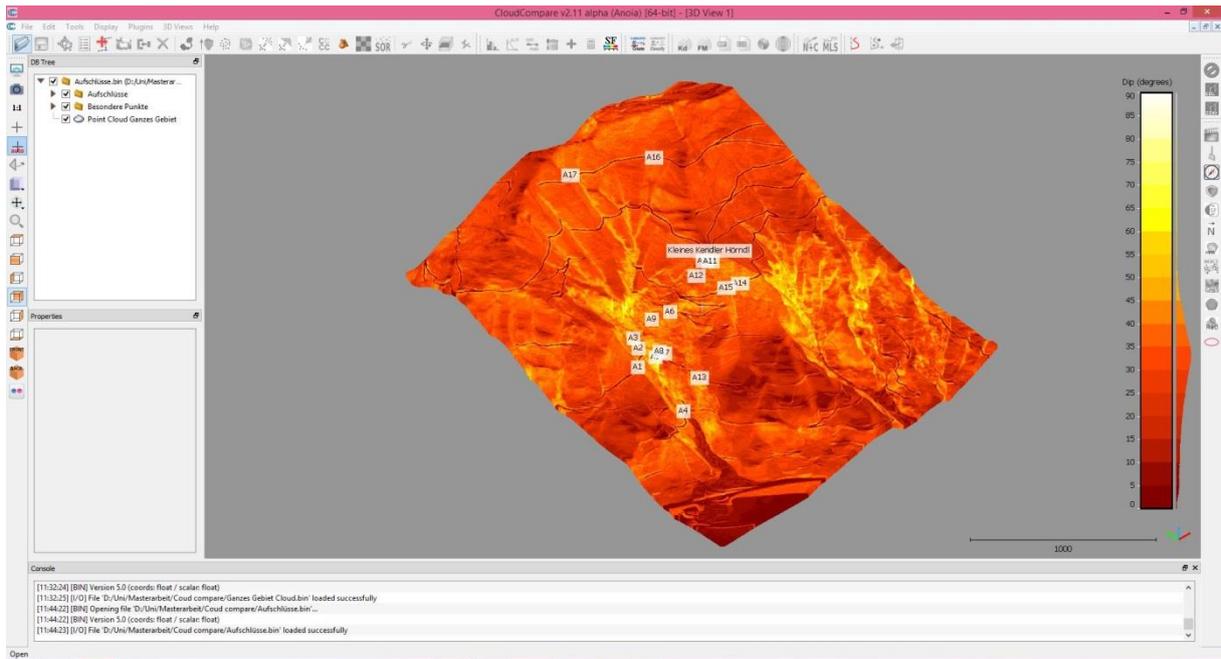


Abbildung 20: Übersicht über das gesamte Gebiet mit Aufschlüssen und Böschungswinkel

Somit konnten beispielsweise die einzelnen geologischen Einheiten (Abb. 21) oder andere spezifische Bereiche isoliert werden und dadurch Aussagen über Morphologie, Gefüge oder Stabilität getroffen werden, da das Programm auch statistische Auswertung der Daten der Laserscans ermöglicht. Dies dient nicht nur zur Auswertung der ALS-Daten, sondern auch zur Überprüfung der im Feld erhobenen Daten.

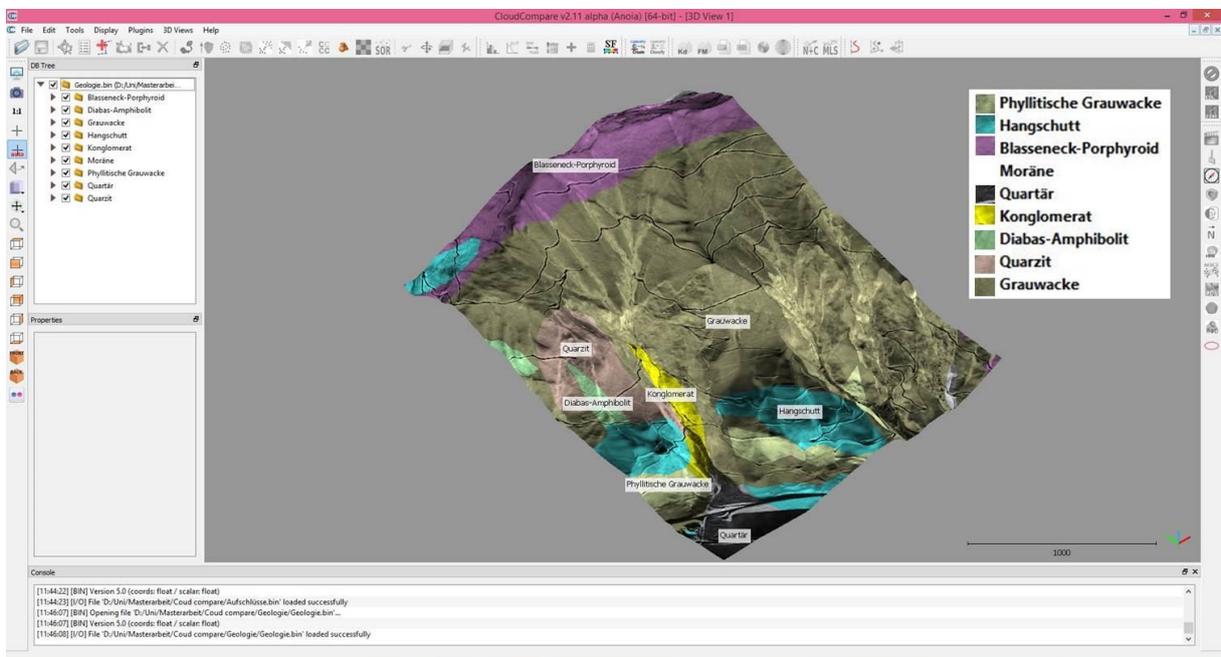


Abbildung 21: Geologischer Überblick in CloudCompare (Legende zum besseren Verständnis eingefügt)

4.2.4.4 Surfer

Surfer ist ein Programm zur Visualisierung und Bearbeitung von Geodaten sowie Punktwolken, mit dem detaillierte Karten und Profile erstellt werden können (Abb. 22).

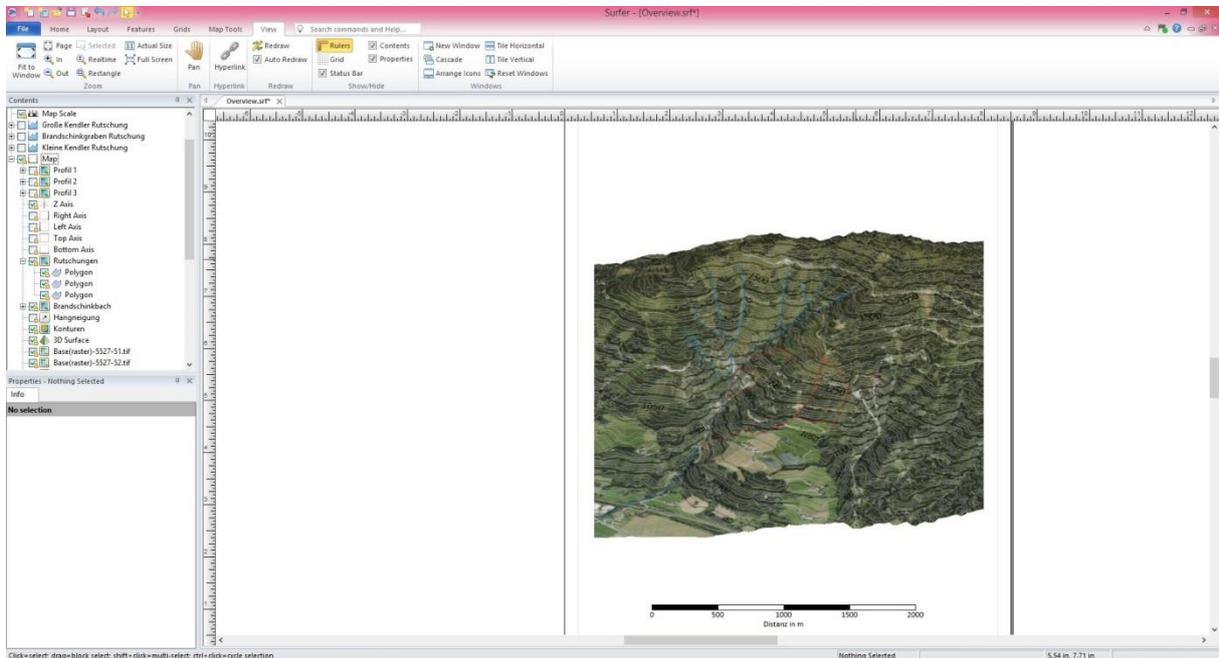


Abbildung 22: Userinterface von Surfer

Primär wurde Surfer genutzt, um Profile zu erstellen. Es eignet sich jedoch auch zum Erstellen von Karten sowohl in 2D als auch 3D, wie in Abbildung 22 zu erkennen ist. Als Input dienten die vom GIS Stmk erhaltenen ALS-Daten. Mit diesen können 3D-Meshes, Konturen, Vektoren, etc. erzeugt werden, die zur Veranschaulichung Geologischer und Topographischer Gegebenheiten dienen. Auf Basis der Datensätze aus den anderen Programmen wurden danach mit Surfer sowohl die Ingenieurgeologische Karte als auch die Karten in Punkt 5.3 gefertigt.

4.3 Kartierung

4.3.1 Gefügedaten

Die Gefügedaten wurden im Rahmen der Aufschlussaufnahme erfasst. Die Trenn- und Schieferungsflächen der Gesteinslagen wurden mittels Geologischem Kompass eingemessen und die erhaltenen Werte als Excel-Tabellen und txt-Datensätze digitalisiert. Zur Auswertung und Visualisierung der Daten wurde das Programm Stereonet benutzt, welches im Internet als OpenSource- Programm frei zur Verfügung steht.

4.3.1.1 Schmidt'sches-Netz

Die zeichnerische Darstellung geologisch-geometrischer Daten erfolgte auf sogenannten Netzen oder Gradnetzen, deren Netzlinien sich aus der flächentreuen Projektion der Lagenkugel mit sich in den Polen schneidenden Längskreisen (Großkreise) und parallelen Breitenkreisen (Kleinkreise) ergeben (Abb. 23).

Eine Möglichkeit der Anwendung ist das Schmidt'sche Netz. Jenes beschreibt eine Projektion der Lagenkugel in die Polebene, auch Lagenkugel in Querlage genannt. Es eignet sich besonders zur Eintragung von Großkreisen und zur Bestimmung von Winkeln zwischen Flächen und/oder Richtungen. Es ermöglicht die Darstellung von Flächen sowohl als Großkreise, als auch als Polpunkte (Durchstoßpunkt des Normalvektors einer Fläche an der Oberfläche der Kugel) (K. W. John und R. Deutsch 2013).

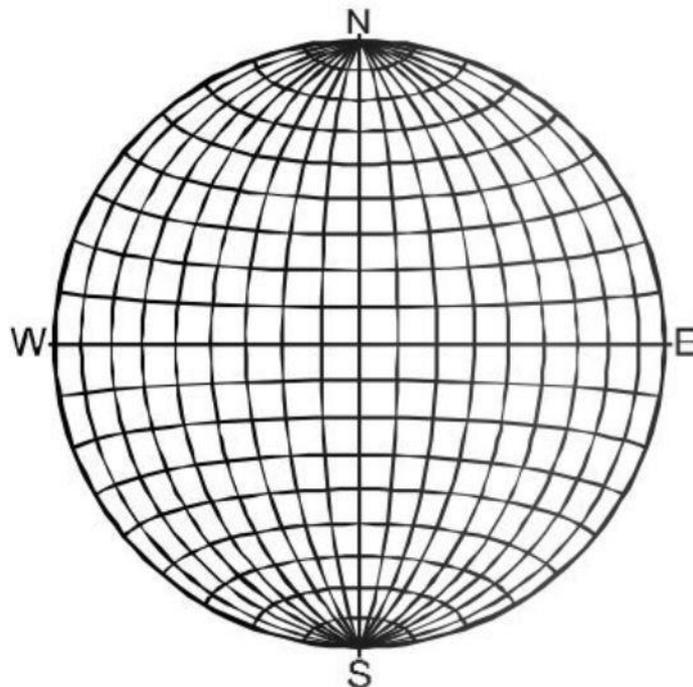


Abbildung 23: Darstellung des Schmidt'schen Netzes (K. W. John und R. Deutsch 2013)

4.3.2 Aufschlüsse

Im Zuge der Begehungen wurden 17 Aufschlüsse aufgenommen und mittels Geologenkompass eingemessen, in der Topographischen Karte eingezeichnet (Abb.24) und in die Visualisierung mittels QGis übernommen (Abb. 25). Primär ist zu sagen, dass im gesamten Gebiet Grauwackenschiefer dominiert. Der Westliche Hang des Grabens ist quarzreicher und massiger als der Osthang. An der Ostseite lässt sich weiters eine Verringerung des Metamorphosegrades vom Liegenden ins Hangende beobachten, was mit einer Verschiebung des Einfallens der Schieferung von Westen nach Norden einhergeht. Die Böschungswinkel wurden in CloudCompare den Daten entnommen und nicht im Gelände gemessen.

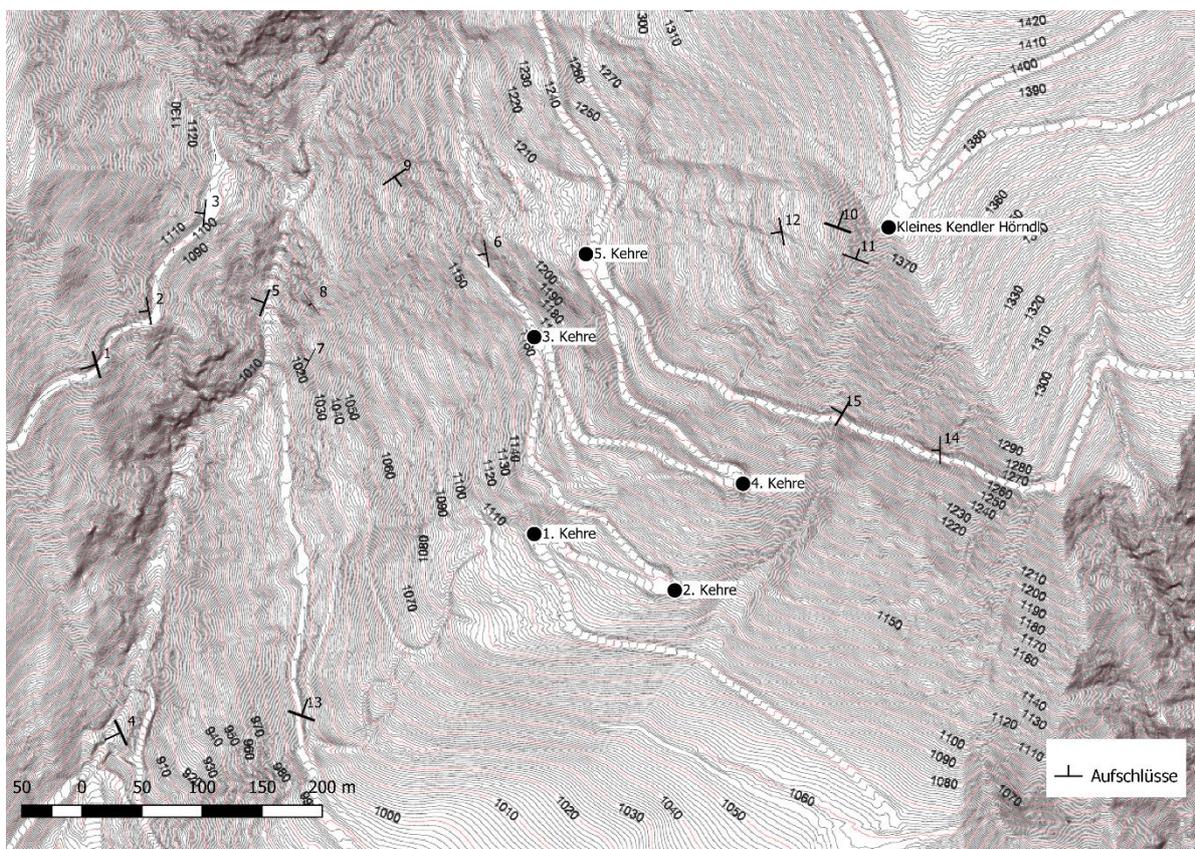


Abbildung 24: Überblick Aufschlüsse 1-15



Abbildung 25: Überblick aller Aufschlüsse (Orthofoto)

4.3.2.1 Aufschluss 1 (A1)

Massiger, quarzreicher Grauwackenschiefer, zwei Kluffsets, befindlich am Westhang des Brandschinkgrabens. Die Schieferung fällt in Richtung Hang ein (Abb. 26). Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 1 aufgelistet.



Abbildung 26: Foto Aufschluss 1

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	121	56
K1	105	40
K1	84	40
K2	156	80
K2	155	87
K2	309	85
SF	207	30
SF	254	24

Tabelle 1: Gefügedaten A1

4.3.2.2 Aufschluss 2 (A2)

Massiger, quarzreicher Grauwackenschiefer, zwei Kluffsets, befindlich am Westhang des Brandschinkgrabens (Abb. 27). Die Schieferung fällt in Richtung Hang ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 2 aufgelistet.



Abbildung 27: Foto Aufschluss 2

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	101	61
K1	70	55
K1	70	45
K2	140	57
K2	185	80
SF	260	55

Tabelle 2: Gefügedaten A2

4.3.2.3 Aufschluss 3 (A3)

Massiger, quarzreicher Grauwackenschiefer, zwei Kluffsets, befindlich am Westhang des Brandschinkgrabens (Abb. 28). Die Schieferung fällt in Richtung Hang ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 3 aufgelistet.



Abbildung 28: Foto Aufschluss 3

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	98	61
K1	62	25
K1	116	45
K2	355	45
SF	290	35
SF	276	55

Tabelle 3: Gefügedaten A3

4.3.2.4 Aufschluss 4 (A4)

A4 setzt sich aus 6 Unteraufschlüssen zusammen, die allesamt im Gebiet des Dosierwerkes und der untersten Sperre liegen. Aufschluss 4.4 (Abb. 29) steht stellvertretend für alle Aufschlüsse in diesem Bereich. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die östliche Grabenflanke gelegt: Östlich phyllitische Grauwacke (Abb. 30), westlich quarzreicher, zwei Kluffsets, Schieferung fällt gegen Westen ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 4 aufgelistet.



Abbildung 29: Foto Aufschluss A 4.4



Abbildung 30: Foto Feingeschieferter Grauwacke (Phyllit)

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
A 4.1		
Böschung	94	53
K1	60	28
K2	150	65
SF	255	60
SF	260	45
SF	245	20
A 4.2		
Böschung	110	76
K1	102	55
K3	2	80
SF	280	75
A 4.3		
Böschung	254	53
K2	160	58

K3	296	89
SF	283	40
A 4.4		
Böschung	277	62
K1	75	50
K3	310	45
K3	28	35
SF	270	45
SF	250	55
SF	265	52
A 4.5		
Böschung	285	53
K1	160	57
K2	85	85
SF	275	45
SF	270	35
A 4.6		
Böschung	270	43
K1	70	40
K2	150	89
SF	236	45

Tabelle 4: Gefügedaten A4

4.3.2.5 Aufschluss 5 (A5)

Massiger, quarzreicher Grauwackenschiefer am Fuß der Brandschinkrutschung am westlichen Hang (Abb. 31) Schieferung fällt hangwärts ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 5 aufgelistet.



Abbildung 31: Foto Aufschluss 5

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	88	76
K2	146	62
K2	165	50
SF	252	80
SF	290	35

Tabelle 5: Gefügedaten A5

4.3.2.6 Aufschluss 6 (A6)

Stark mechanisch beanspruchter Grauwackenschiefer, zwei Kluffsets. Befindet sich am östlichen Rand der Brandschinkrutschung am Stichweg in der dritten Kehre (Abb. 32). Schieferung fällt Richtung Westen also aus dem Hang ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 6 aufgelistet.



Abbildung 32: Foto Aufschluss 6

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	223	54
K1	113	55
K1	95	35
K1	104	55
K1	100	52
K1	102	55
K2	42	60
K2	45	36
K2	56	55

K2	40	35
SF	278	75
SF	260	60
SF	282	63
SF	282	60
SF	262	60
SF	280	66
SF	272	62

Tabelle 6: Gefügedaten A6

4.3.2.7 Aufschluss 7 (A7)

Massiger Grauwackenschiefer am Fuß der Brandschinkrutschung am östlichen Hang (Abb. 33). Schieferung fällt aus dem Hang ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 7 aufgelistet.



Abbildung 33: Foto Aufschluss 7

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	254	48
K1	200	65
SF	297	75

Tabelle 7: Gefügedaten A7

4.3.2.8 Aufschluss 8 (A8)

Massiger Grauwackenschiefer im unteren Bereich der Brandschinkrutschung am östlichen Hang des Grabens (Abb. 34). Schieferung fällt aus dem Hang ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 8 aufgelistet.



Abbildung 34: Foto Aufschluss 8

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	252	53
K1	80	30
K2	320	50
SF	235	85

Tabelle 8: Gefügedaten A8

4.3.2.9 Aufschluss 9 (A9)

Grauwacken Fels in der Rutschung, fraglich ob anstehend (Abb. 35). Auf Grund der Unwegsamkeit des Geländes war es nicht möglich, die Daten vor Ort aufzunehmen, deshalb wurden sie aus sicherer Entfernung geschätzt. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 9 aufgelistet.



Abbildung 35: Foto Aufschluss 9

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	247	54
	145	45
	15	45

Tabelle 9: Gefügedaten A9

4.3.2.10 **Aufschluss 10 (A10)**

Massiger Grauwackenschiefer im Bereich unter dem Kleinen Kendler Hörndl (Abb. 36). Schieferung fällt Richtung Norden also hangwärts ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 10 aufgelistet.



Abbildung 36: Foto Aufschluss 10

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	257	48
K1	290	85
K1	250	60
K2	145	75
K3	35	80
SF	20	20
SF	30	25

Tabelle 10: Gefügedaten A10

4.3.2.11 **Aufschluss 11 (A11)**

Massiger Grauwackenschiefer im Bereich unter dem Kleinen Kendler Hörndl (Abb. 37). Schieferung fällt Richtung Norden also hangwärts ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 11 aufgelistet.



Abbildung 37: Foto Aufschluss 11

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	259	51
K1	215	75
K2	150	75
SF	20	50

Tabelle 11: Gefügedaten A11

4.3.2.12 **Aufschluss 12 (A12)**

Stark mechanisch beanspruchter Grauwackenschiefer ca. 100m unter dem Kleinen Kendler Hörndl (Abb. 38). Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 12 aufgelistet.



Abbildung 38: Foto Aufschluss 12

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	282	32
K1	80	90
K2	155	80
SF	260	50

Tabelle 12: Gefügedaten A12

4.3.2.13 **Aufschluss 13 (A13)**

Massiger Grauwackenschiefer am Weg westlich nach dem Kendler Hof (Abb. 39). Schieferung fällt gegen Westen, aus dem Hang, ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 13 aufgelistet.



Abbildung 39: Foto Aufschluss 13

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	252	53
K1	115	60
K2	45	80
K3	20	20
SF	250	55

Tabelle 13: Gefügedaten A13

4.3.2.14 **Aufschluss 14 (A14)**

Massiger Grauwackenschiefer am Weg nach der fünften Kehre (Abb. 40). Schieferung fällt nach Westen ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 14 aufgelistet.



Abbildung 40: Foto Aufschluss 14

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	211	53
K1	150	70
K1	150	50
K1	150	60
K1	142	65
K1	148	70
K1	140	60
K1	142	60
K2	240	72
K2	234	75
K2	233	70

K2	250	80
K3	60	85
SF	270	60
SF	260	57
SF	285	60
SF	292	55

Tabelle 14: Gefügedaten A14

4.3.2.15 **Aufschluss 15 (A15)**

Massiger Grauwackenschiefer am Weg nach der fünften Kehre (Abb. 41). Schieferung fällt nach Westen ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 15 aufgelistet.



Abbildung 41: Foto Aufschluss 15

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	191	57
K1	115	80
K1	135	70
K1	111	73
K1	141	80
K1	120	85
K1	100	70
K2	263	80
K2	230	75
K2	231	70
K2	218	80

K2	220	75
K2	220	73
K3	355	80
SF	312	20
SF	310	20
SF	310	30
SF	300	40
SF	300	25

Tabelle 15: Gefügedaten A15

4.3.2.16 **Aufschluss 16 (A16)**

Grauwackenschiefer im oberen Einzugsgebiet (Abb. 42). Sehr feucht und stark geschiefert. Schieferung fällt Richtung nord-west ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 16 aufgelistet.



Abbildung 42: Foto Aufschluss 16

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	230	47
SF	300	35
SF	345	30

Tabelle 16: Gefügedaten A16

4.3.2.17 **Aufschluss 17 (A17)**

Eventuell Blasseneck-Porphyröid im oberen Einzugsgebiet (Abb. 43). Massig, Schieferung fällt Richtung Norden in den Hang ein. Die im Gelände erhobenen Gefügedaten wurden in Tabelle 17 aufgelistet.



Abbildung 43: Foto Aufschluss 17 mit Professor Liu

Flächenart	Einfallsrichtung	Einfallswinkel
Böschung	203	54
K1	250	40
K1	250	45
K2	135	60
K2	120	70
SF	30	58
SF	360	45

Tabelle 17: Gefügedaten A17

4.3.3 Ortsbezogene Instabilität und Kubatur

Im nächsten Schritt wurde eine Aussage über ortsbezogene Instabilitäten und Ausmaße bzw. Kubatur getroffen. Die Abgrenzung der Bereiche erfolgte über eine Auswertung der Orthofotos, Begehungen und Auswertung der ALS-Daten. Dadurch konnten diese lokal eingegrenzt und somit nach Einschätzung der Tiefe jener Instabilitäten ein Volumen berechnet werden. Da keine Bohrungen etc. vorlagen, wurde bei der Abschätzung der Tiefe hauptsächlich auf Geländeschnitte und Beobachtungen gesetzt. Hinzu kamen kinematische Analysen der Aufschlüsse, die dazu dienten, ein umfangreicheres Bild zu zeichnen. Dies wurde mittels einer Gleitanalyse im Programm Stereonet durchgeführt. Dadurch konnte der Markland-Bereich definiert werden (Abb. 44). Dieser bezeichnet die entstandene Fläche zwischen dem Reibungskegel, der Böschung und dem Reibungswinkel des Gesteins bzw. des Untergrunds. Polpunkte, die in diesem Bereich liegen, gehören zu Flächen, auf denen Gleiten, also Versagen möglich ist. Der Reibungswinkel wurde mangels Labortests mit 30° angenommen. Bei möglichem Versagen wird dieser modifiziert, um Aussagen über die Umstände zu treffen, unter welchen ein Versagen möglich ist. Primär wird in dieser Arbeit auf mögliches Gleiten eingegangen. Andere Versagensmechanismen wie Keilversagen, Kippen und Fallen werden gegebenenfalls in den Unterpunkten erwähnt.

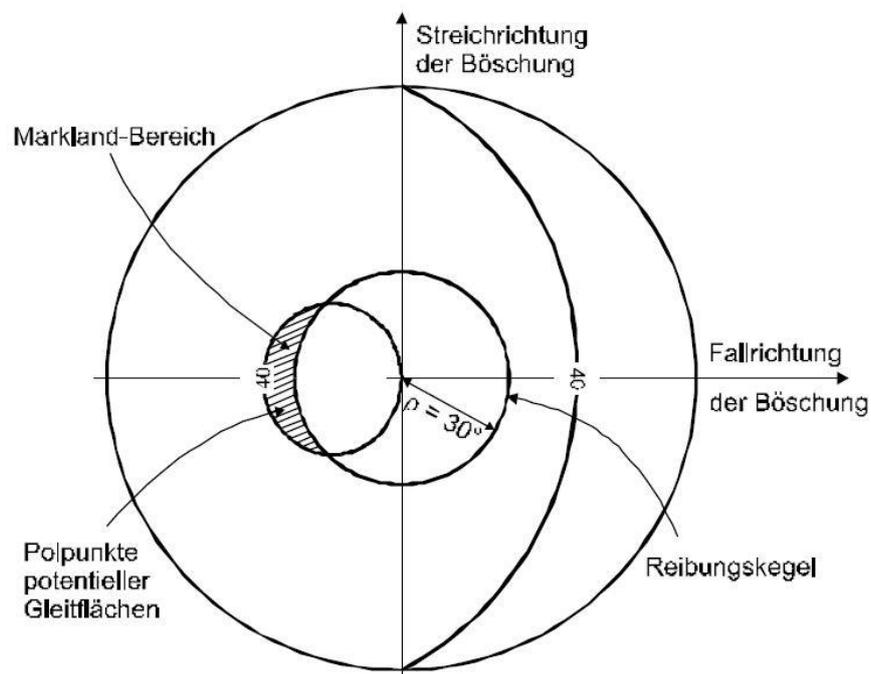


Abbildung 44: Definition des Marklandbereichs (K. W. John und R. Deutsch 2013)

4.4 Ingenieurgeologische Karte und Profile

Zu guter Letzt wurden die zuvor genannten Punkte in einer ingenieurgeologischen Karte zusammengefasst und mit Profilschnitten untermauert. Diese dienen sowohl als Visualisierung der momentanen Situation und als auch Prognose für kommende Ereignisse, wie z.B. Starkregen. Ziel ist es, durch die in Kapitel 4.2.4 genannten Methoden, eine möglichst genaue Auflösung und Aussagekraft zu erreichen, um abschätzen zu können, ob die bisherigen Maßnahmen ausreichen. Für die finale Karte wurde das Programm Surfer genutzt, jedoch wurden auch CloudCompare und Qgis zur Datenbearbeitung hinzugezogen. Dies ermöglichte eine Veranschaulichung der Lage sowohl in 2D als auch 3D.

5. Ergebnisse

5.1 Aus digitalen Analysen

5.1.1 Räumlicher Zusammenhang zwischen Geomorphologie und Gefüge

In diesem Punkt wird versucht, einen direkten Bezug zwischen Geomorphologie und Gefüge herzustellen. Dies basiert auf der Auswertung der Gefügedaten aus Kompassmessungen (Abb. 45) gekoppelt mit einer statistischen Auswertung der Oberflächenorientierung aus den ALS-DGM-Daten (Abb. 46) mittels CloudCompare.

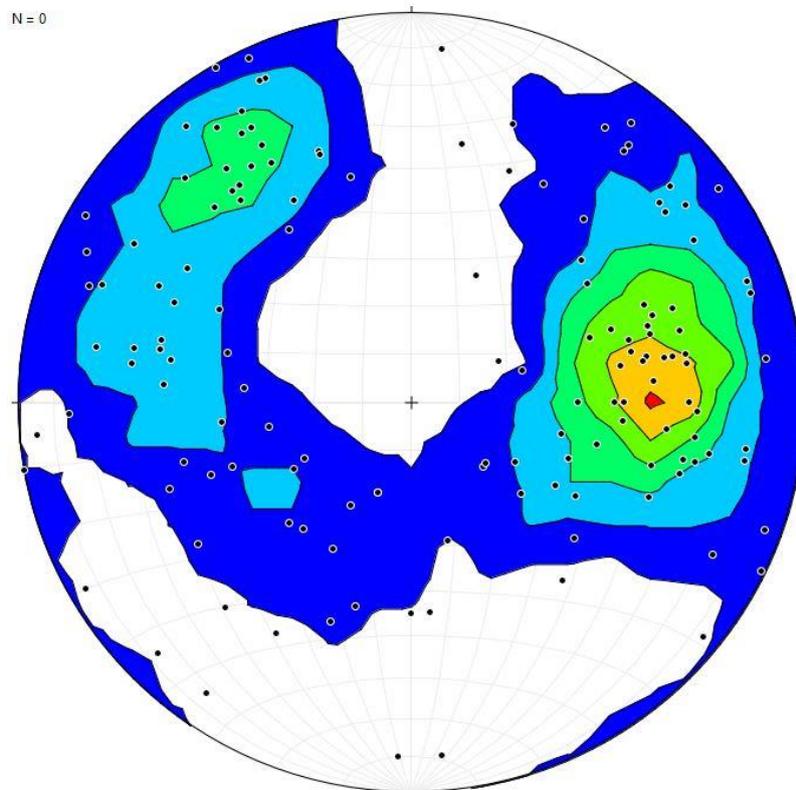


Abbildung 45: Überblick der Polpunkte sämtlicher Gefügedaten mit Häufigkeitskontur

Gauss: mean = 201.621445 / std.dev. = 62.993641 [2232 classes]

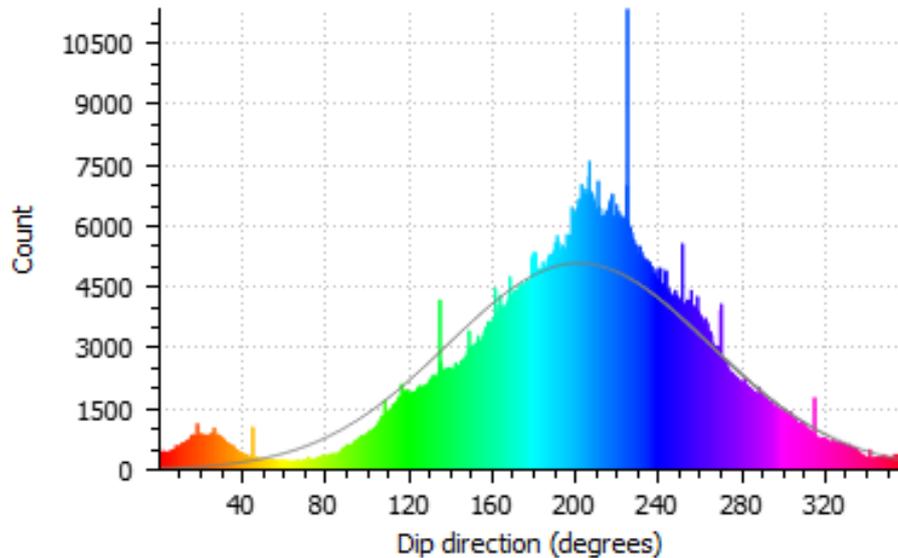


Abbildung 46: Statistische Verteilung der Einfallsrichtungen im gesamten Gebiet

Abbildung 45 zeigt eine Häufung der Punkte im Bereich von ca. 70-100°, was einer Einfallsrichtung von 250-280° entspricht. Die zweite Häufung im Bereich von 305-335° entspricht 125-155°. Im Vergleich dazu sind die Peaks in der Abbildung 46 weitaus häufiger. Die signifikantesten davon befinden sich bei 45°, 135°, 206°, 225°, 251°, 270°, 315° (Abb. 46). Zwar entsprechen der 5. und 6. Peak dem Häufungsbereich bei den Gefügedaten, jedoch lassen sich die beiden Grafiken schwer in Korrelation setzen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Aufschlüsse in einem weitaus kleineren Bereich genommen wurden, als die ALS-Daten abdecken. Deshalb muss der räumliche Zusammenhang zwischen Geomorphologie und Gefüge lokal betrachtet werden.

In weiterer Folge wurde die vorherrschende Lithologie als räumliche Begrenzung hinzugezogen. Dies unterteilt das Gebiet auf Grund der Aufschlüsse in 3 Teilgebiete:

Konglomerat: Aufschlüsse 2, 3, 4, 5

Grauwacke: Aufschlüsse 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16

Blasseneck-Porphyr: Aufschluss 17

Durch Betrachtung dieser Teilgebiete wird erhoben, ob ein direkter Zusammenhang zwischen Geomorphologie und Gefüge besteht.

5.1.1.1 Konglomerat

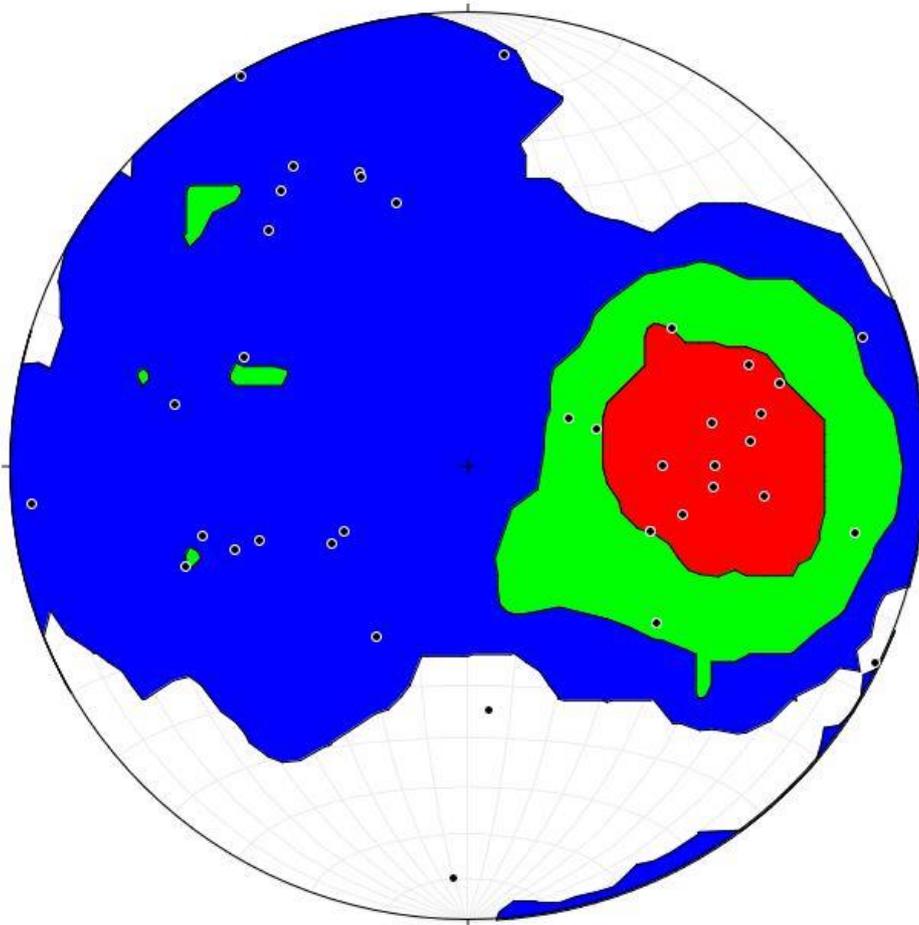


Abbildung 47: Überblick der Polpunkte der Gefügedaten im Konglomerat-Bereich mit Häufigkeitskontur

Gauss: mean = 189.328995 / std.dev. = 63.291363 [317 classes]

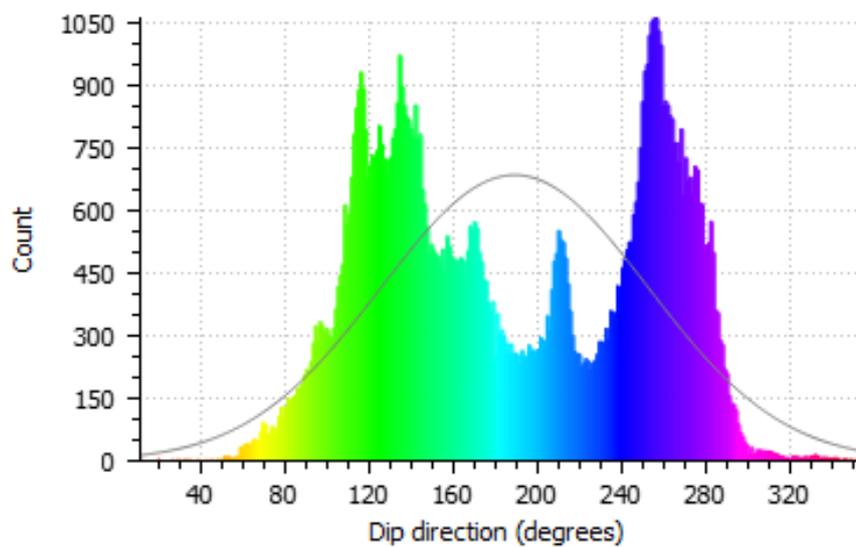


Abbildung 48: Statistische Verteilung der Einfallrichtungen im Konglomerat-Bereich

Abbildung 47 zeigt, dass sich die Gefügedaten im Bereich von 70-110° häufen. Dies entspricht einer Orientierung der Flächen zwischen 250-290° und deckt sich mit dem Peak in der Abbildung 48. Dabei handelt es sich um die Schieferungsflächen in diesem Bereich, welche die Geomorphologie des östlichen Hanges bestimmen. Die weiteren Peaks zwischen 100-180° bzw. 210-220° entsprechen Polpunkten zwischen 280-360° bzw. 30-40°. Im ersten dieser Bereiche liegt das Kluffset K1, welches maßgeblich für die Geomorphologie am westlichen Hang des Brandschinkgrabens verantwortlich ist. Der zweite Bereich korreliert mit keiner der gemessenen Gefügedaten. Vermutlich handelt es sich um das Bachbett, welches in Richtung S-SSO einfällt.

5.1.1.2 Grauwacke

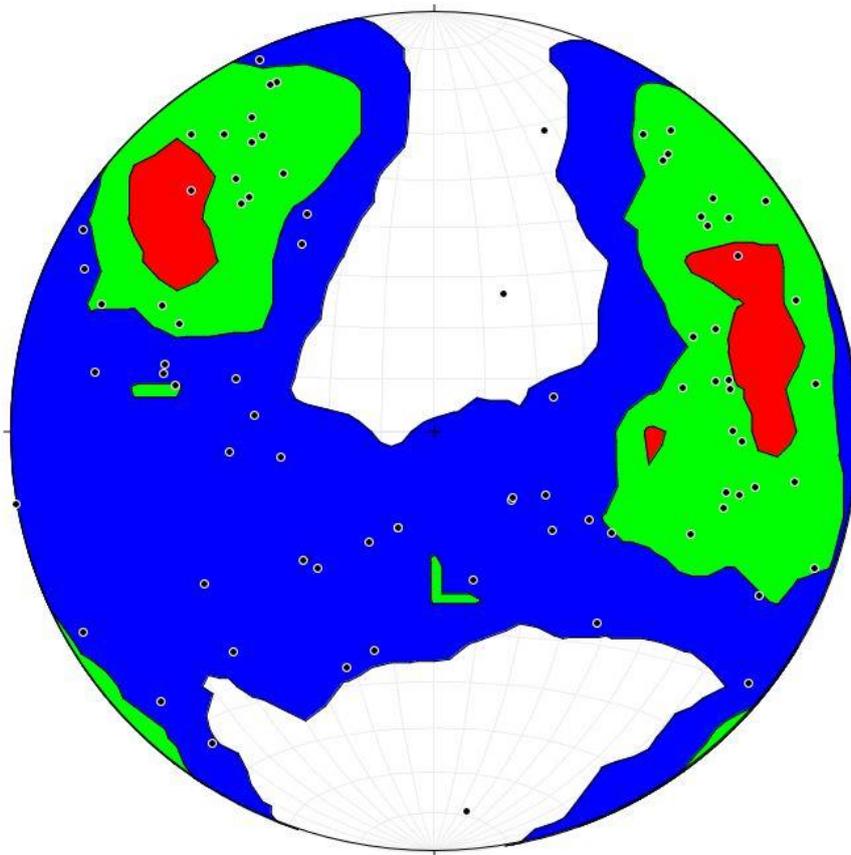


Abbildung 49: Überblick der Polpunkte der Gefügedaten im Grauwacken-Bereich mit Häufigkeitskontur

Gauss: mean = 205.263657 / std.dev. = 52.157391 [1730 classes]

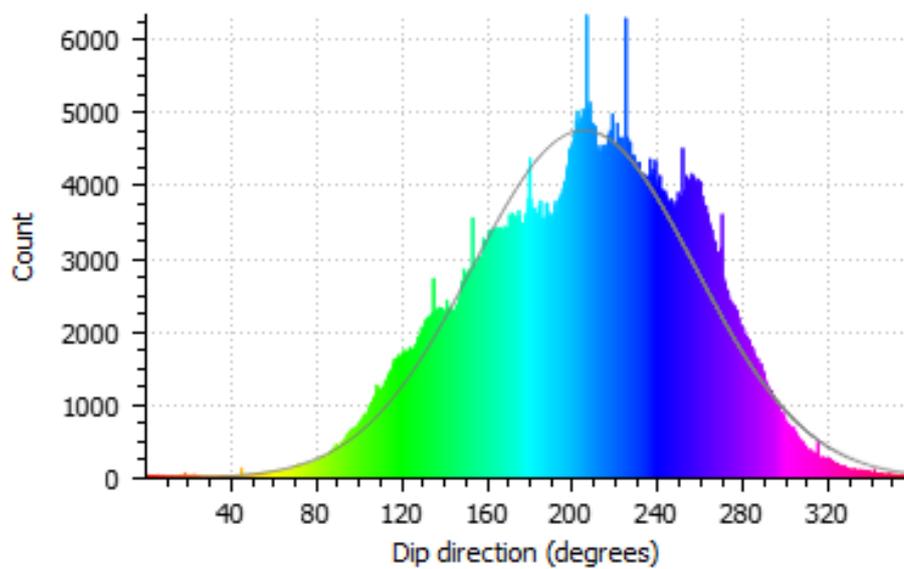


Abbildung 50: Statistische Verteilung der Einfallsrichtungen im Grauwacken-Bereich

Da Grauwacke die dominierende Lithologie im Arbeitsgebiet darstellt, ähneln die Daten der Grauwacke denen des gesamten Gebiets. In Abbildung 49 ist eine Häufung im Bereich von 45-110° und 290-330° zu erkennen, was einer Flächenorientierung von 225-290° bzw. 110-150° entspricht. Der erste deckt sich mit den für die Schieferungsflächen erhobenen Daten, beim zweiten handelt es sich um eine Kluftchar. Wie in Abbildung 50 zu erkennen ist, häufen sich im erstgenannten Bereich einige Peaks. Im zweiten Bereich ist zumindest ein Peak zu sehen, jedoch weitaus geringer ausgeprägt als im ersten. Auch hier ist die für die Geomorphologie ausschlaggebende Orientierung die der Schieferungsfläche.

5.1.1.3 Blasseneck-Porphyr

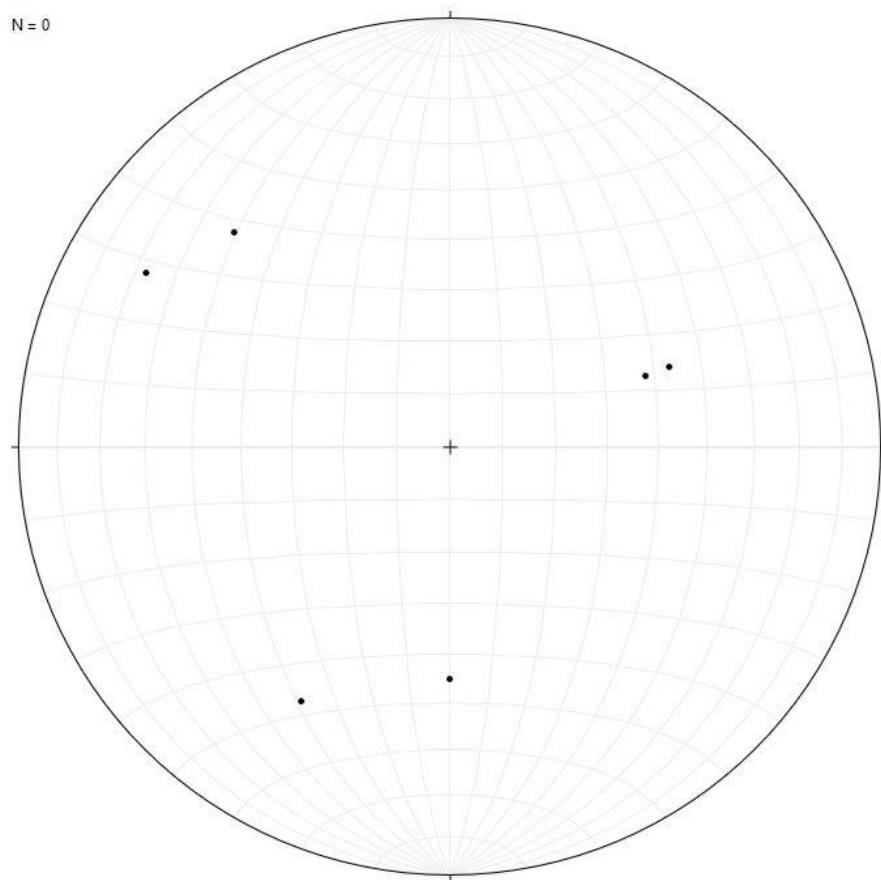


Abbildung 51: Überblick der Polpunkte der Gefügedaten im Blasseneck-Porphyr-Bereich

Gauss: mean = 185.457718 / std.dev. = 105.070427 [816 classes]

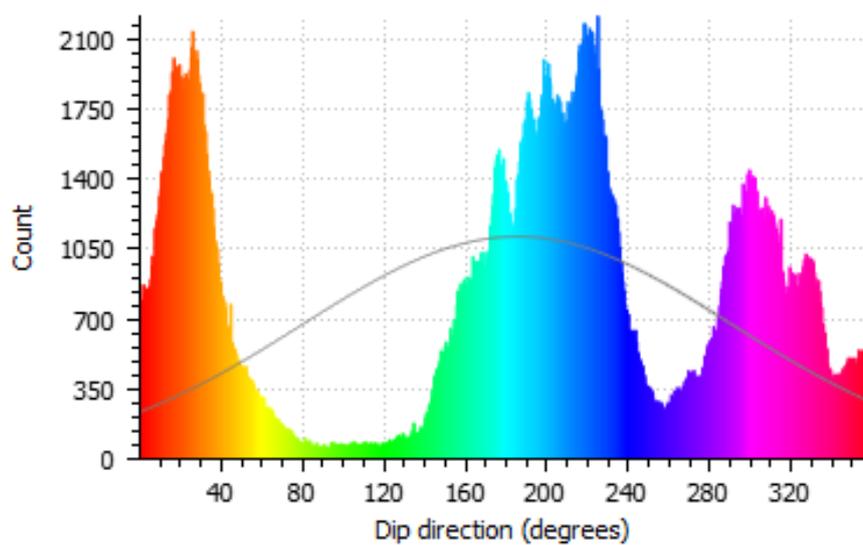


Abbildung 52: Statistische Verteilung der Einfallsrichtungen im Blasseneck-Porphyr Bereich

Da sich nur ein Aufschluss im Blasseneck-Porphyröid befindet, ist eine statistische Auswertung der Daten weniger signifikant (Abb. 51). In Abbildung 52 sind primär drei Häufungsgebiete auszumachen. Zwischen 0-50°, zwischen 140-240° und zwischen 260-350°. Dies entspricht einer Polpunktorientierung von 180-230°, 320-60° und 80-170° und deckt sich in etwa mit den Orientierungen der Trennflächen. Die hangende Lage der Lithologie am Gipfel des Berges ermöglicht freie Bewegung in alle Richtungen und bedingt somit die Ausprägung der Flächen. Jedoch ist wie bereits erwähnt ein Aufschluss statistisch wenig relevant.

5.1.2 Zuordnung von instabilen Bereichen

5.1.2.1 Rutschbereiche

Primär liegen im Gebiet zwei Rutschungen vor, wobei die größere der beiden weiter unterteilt wird. Die Kleine Kendler Rutschung am Südhang des Kleinen Kendler Hörndls und die Große Kendler Rutschung am SSW-Hang mit der Brandschinkgraben Rutschung im nordwestlichen Teil. Diese unterscheiden sich nicht nur in Ausmaß, sondern auch in Geschwindigkeit und zugrundeliegendem Mechanismus. Die Zuordnung dieser Bereiche erfolgte durch Beobachtungen im Gelände und Auswertung der ALS-Daten. Als häufige Indikatoren dafür sind im Bewuchs z.B. Hakenschlagen in Richtung der Bewegung zu finden. Bei näherer Betrachtung der Daten (Abbildung 53) ist in diesen Bereichen ein unregelmäßiges und gestörtes Bild des Untergrundes zu erkennen. Im Gegensatz zu den glatten Hängen im Bereich ober dem Kleinen Kendler Hörndl finden sich hier unregelmäßig mit Furchen und Wellenstrukturen durchzogene Oberflächen.

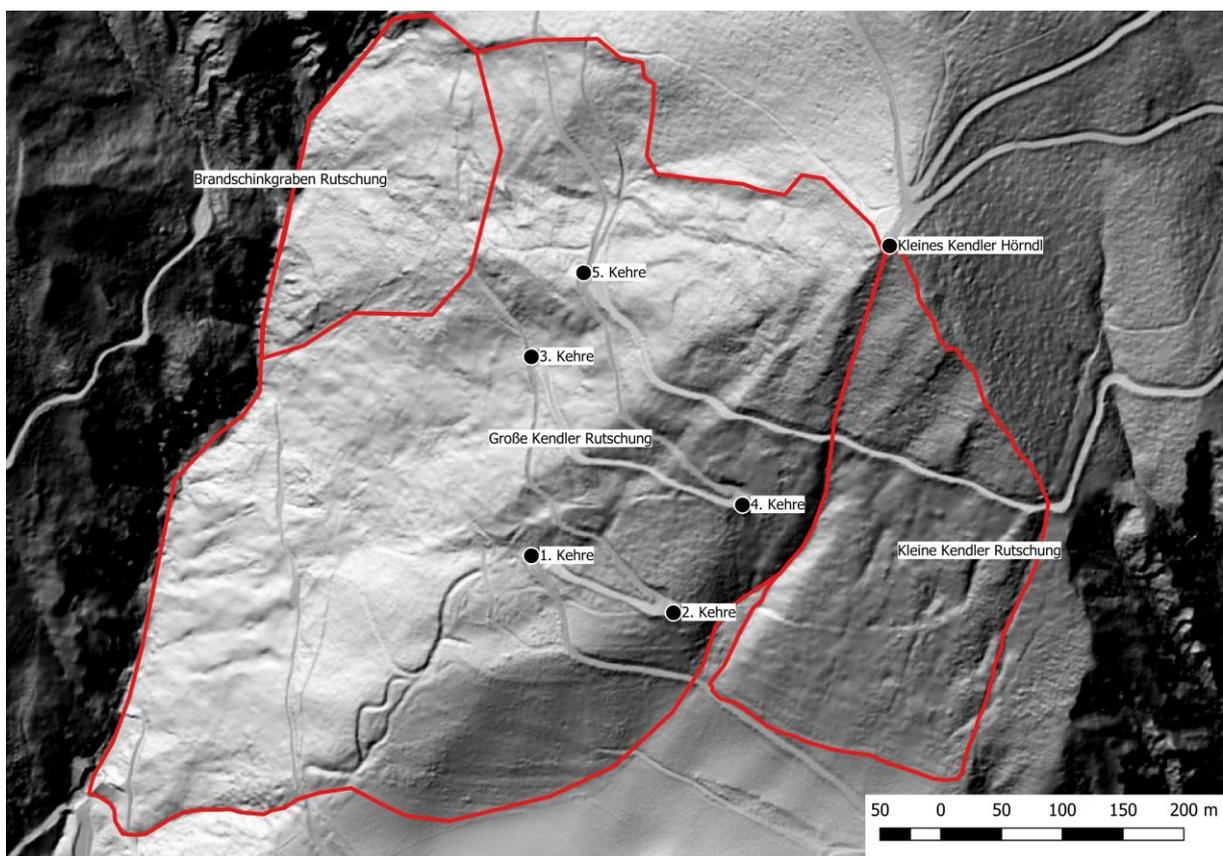


Abbildung 53: Übersicht über primäre Rutschbereiche

5.1.2.2 Kleine Kendler Rutschung

Die kleine Kendler Rutschung erstreckt sich über ca. 6,5 ha am Südhang des kleinen Kendler Hörndls bis zum Weg unter der ersten Kehre (Abb. 54). Begrenzt wird sie im Westen durch einen nord-süd verlaufenden Graben, im Nordosten vom Rücken, der sich vom Kleinen Kendler Hörndl Richtung süd-osten bis in den Dennergraben zieht und im Südosten von einem weiteren nord-süd verlaufenden Graben. Wie den Daten der Aufschlüsse 14 und 15 zu entnehmen ist, fällt die Schieferung in diesem Bereich Richtung Westen ein, somit liegt keine lagerungsbedingte Destabilisation des Hanges vor. Daraus ist zu schließen, dass hier wahrscheinlich neigungsbedingtes, oberflächennahes Hangkriechen vorliegt, was auch durch den teils gestörten Bewuchs und das zahlreiche Hakenschlagen der Bäume untermauert wird. Das Ausmaß dessen ist jedoch weitaus geringer als in den westlichen Bereichen des Hanges, was den Schluss nahelegt, dass dieser Bereich stabiler ist.

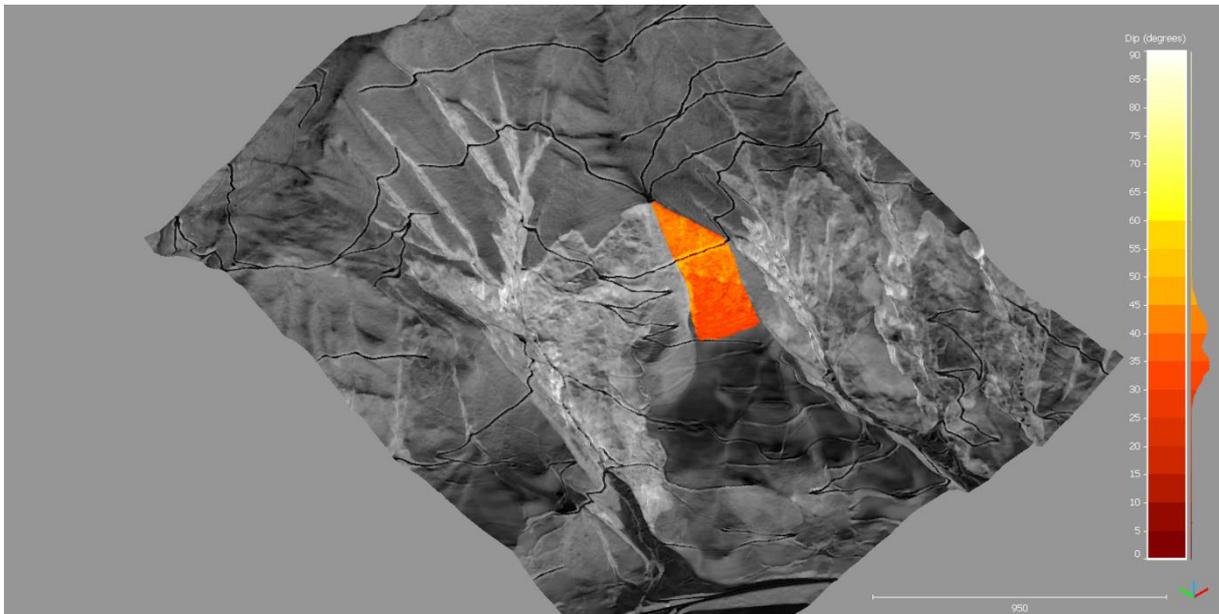


Abbildung 54: Kleine Kendler Rutschung (CloudCompare)

5.1.2.3 Große Kendler Rutschung

Mit ca. 28,3 ha ist die Große Kendler Rutschung weitaus größer als das östliche Pendant (Abb. 55). Die Abrisskante der Rutschung verläuft vom Kleinen Kendler Hörndl aus in Richtung west bis nord-west bis in den Brandschinkgraben, der die westliche Begrenzung dazu bildet. Im Osten grenzt sie an die Kleine Kendler Rutschung, im Südosten mündet sie in den Almboden und im Süden wird sie von einem nordwestlich des Kendlerhofes beginnenden ost-west verlaufenden Graben begrenzt, der auf Höhe des Dosierwerkes im Brandschinkgraben endet. Der östliche Bereich der Rutschung ist der Kleinen Kendler Rutschung sehr ähnlich. Im Westlichen Teil der Rutschung ist dies jedoch anders: Durch den Richtung Westen einfallenden Osthang des Brandschinkgrabens und der ebenso westlich einfallenden Schieferung ist der Hang in diesem Bereich deutlich instabiler. Weiters ist nördlich des Kendlerhofes eine Grabenstruktur zu finden, die an strike-slip Störungszonen (Fleming und Johnson 1989) erinnert (Abb. 56). Dies legt den Schluss nahe, dass sich der westliche Teil der Rutschung weitaus schneller bewegt als der östliche. Dies wird auch durch den Bewuchs verdeutlicht, da das Hakenschlagen der Bäume im westlichen Teil viel stärker ausgeprägt ist (Abb. 58). Im westlichen Bereich deutet auch bei dieser Rutschung alles auf oberflächennahe Bewegungen hin, weiter gegen Osten im Bereich des Brandschinkgrabens ändert sich der Mechanismus jedoch und wird viel stärker vom Gefüge bedingt. Dies ist wahrscheinlich auch der Grund der höheren Geschwindigkeit in diesem Bereich, was durch den steiler einfallenden Hang auch um eine gravitativ angetriebene Komponente erweitert wird. Das „Nährgebiet“ der Rutschung befindet sich unterhalb des Kleinen Kendler Hörndls, wo die ständige Erosion auf Grund der exponierten, steilen Lage und spärlichen Vegetation Material liefert, das langsam den Hang hinabgleitet (Abb. 57).

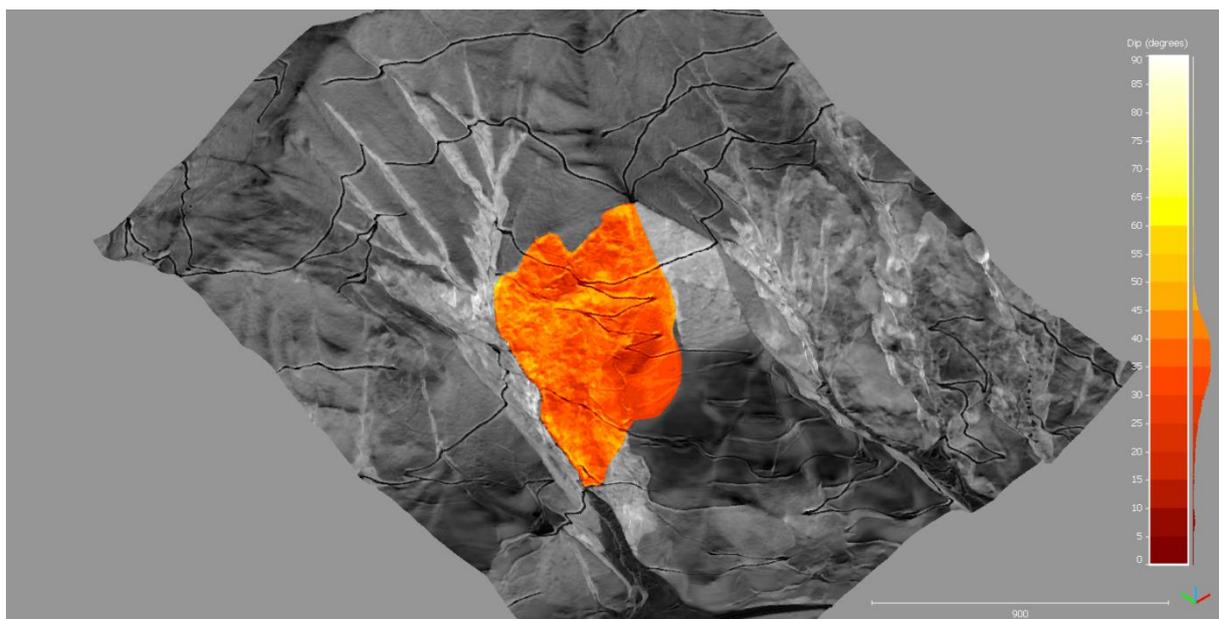


Abbildung 55: Große Kendler Rutschung (CloudCompare)



Abbildung 56: Grabenstruktur am östlichen Rand der Großen Kendler Rutschung



Abbildung 57: Oberer Bereich der Großen Kendler Rutschung



Abbildung 58: Veränderte Vegetation bzw. Abbruchstrukturen im Bereich knapp ober der Brandschinkgrabenrutschung

5.1.2.4 Brandschinkgraben Rutschung

Im nordwestlichen Teil der Großen Kendler Rutschung ereignete sich im Zuge eines Starkregenereignisses im Jahr 2000 eine Hangrutschung. Auf einer Fläche von ca. 2,3 ha löste sich der Hang und rutschte in den Brandschinkgraben, wodurch die Brandschinkgraben-Rutschung (Abb. 59) entstand. In diesem Bereich fallen die Gesteinsschichten in Hangrichtung ein, was zur Instabilität beiträgt. Nach dem Ereignis im Jahr 2000 (Abb. 60) wurde der Bachlauf wildwassertechnisch verbaut, was zu einer Stabilisierung des Hanges führte. Im oberen Bereich der Rutschung kann man erhebliche Sackungen im Meter-Bereich beobachten. Zudem kann man durch einen abgerutschten Weg auf die Tiefe der Rutschung schließen, welche jedoch nur im einstelligen Meter-Bereich liegt.

Südöstlich wird die Rutschung von einer Schuttrinne begrenzt, die ca. 30 m unter dem weggebrochenen Weg beginnt und bis ins Bachbett reicht (Abb. 61). Große Teile der Rutschung sind bereits wieder bewachsen. Im mittleren Teil der Rutschung befindet sich ein Geröllfeld, welches immer wieder durch Bewuchs unterbrochen ist. Durch die hier abgelagerten Blöcke kann Bezug auf den Versagensmechanismus genommen werden. Dabei handelt es sich um Platten mit ca. 10 – 20 cm Höhe was mit der Schieferungsdichte in diesem Bereich korreliert (Aufschluss 6). Im oberen Bereich des Geröllfeldes finden sich auch größere Blöcke (Abb. 63), die jedoch auch aus freigelegtem, anstehendem Gestein bestehen könnten.

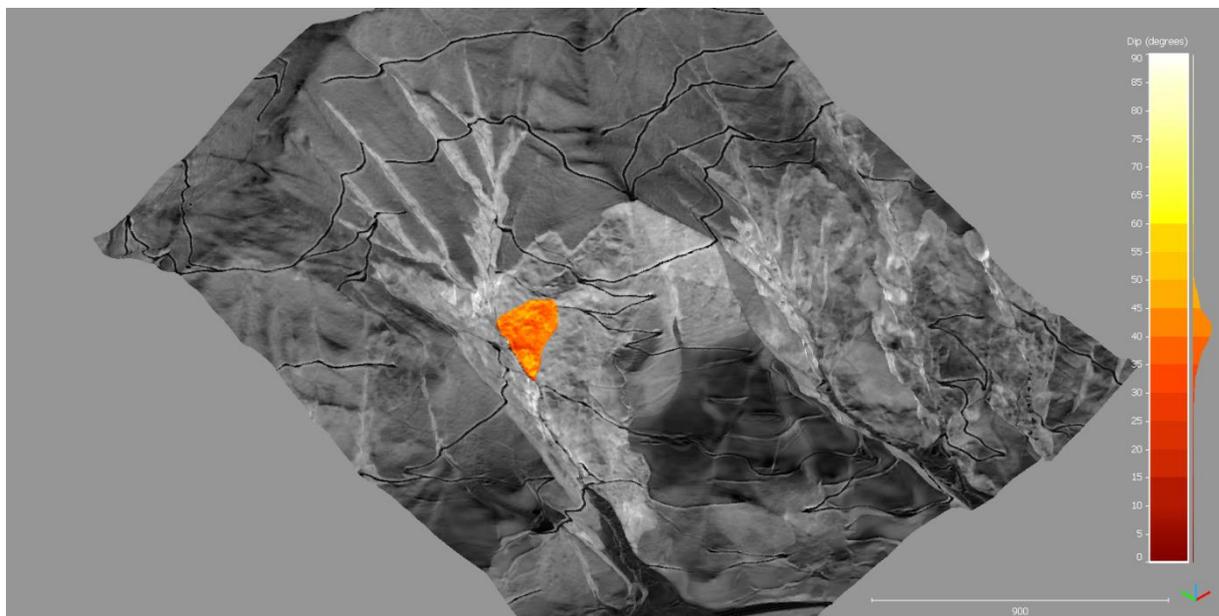


Abbildung 59: Brandschinkgraben Rutschung (CloudCompare)

Der von der dritten Kehre in Richtung des Grabens führende Weg wurde im Zuge des Abrutschens unterbrochen und den Laserdaten ist zu entnehmen, dass sich das Gelände in diesem Bereich um ca. drei Meter gesetzt hat. Wird dieser Wert als Tiefe der Rutschung angenommen, ergibt sich ein Volumen von ca. 70.000 m³, die im Jahr 2000 mobilisiert wurden. Dies ist vermutlich auf eine Kombination aus der Verringerung des Reibungswinkels und dem Wegschwemmen des Hangfußes während des Starkregenereignisses zurückzuführen.



Abbildung 60: Brandschinkgraben Rutschung li. 2000 (Quelle WLW Liezen) re. 2017



Abbildung 61: Orthofotographie der Brandschinkrutschung 2015 li., 2016 re.

Bei Betrachtung der Abbildung 60 ist die Rückkehr des Bewuchses zu erkennen, was auf stabile Verhältnisse schließen lässt. Dies wird auch durch Abbildung 61 unterstrichen. Neben dem geringen Unterschied in der Vegetationsdichte, welcher wohl auch auf den Unterschied in Lichtverhältnissen und möglicherweise Jahreszeit zurückzuführen ist, ist auf den beiden Bildern kaum bis keine Bewegung des Untergrundes zu erkennen. Dies legt den Schluss nahe, dass die angesetzten Maßnahmen Erfolg zeigen und der Hang soweit stabil ist.



Abbildung 62: Rinne am südöstlichen Ende der Brandschinkgraben Rutschung



Abbildung 63: Mächtige Blöcke im oberen Bereich der Brandschinkgraben Rutschung

5.1.2.5 Westlicher Hang

In diesem sowie den nächsten beiden Punkten werden Bereiche behandelt, die, auf Grund der steilen Hänge und vorherrschenden Lagerungsverhältnisse, potenzielles Versagen aufweisen. Das erste Gebiet ist der Westliche Hang des Brandschinkgrabens unterhalb des Wasserfalls bis hin zur Talmündung des Grabens mit einer Fläche von ca. 18,5ha.

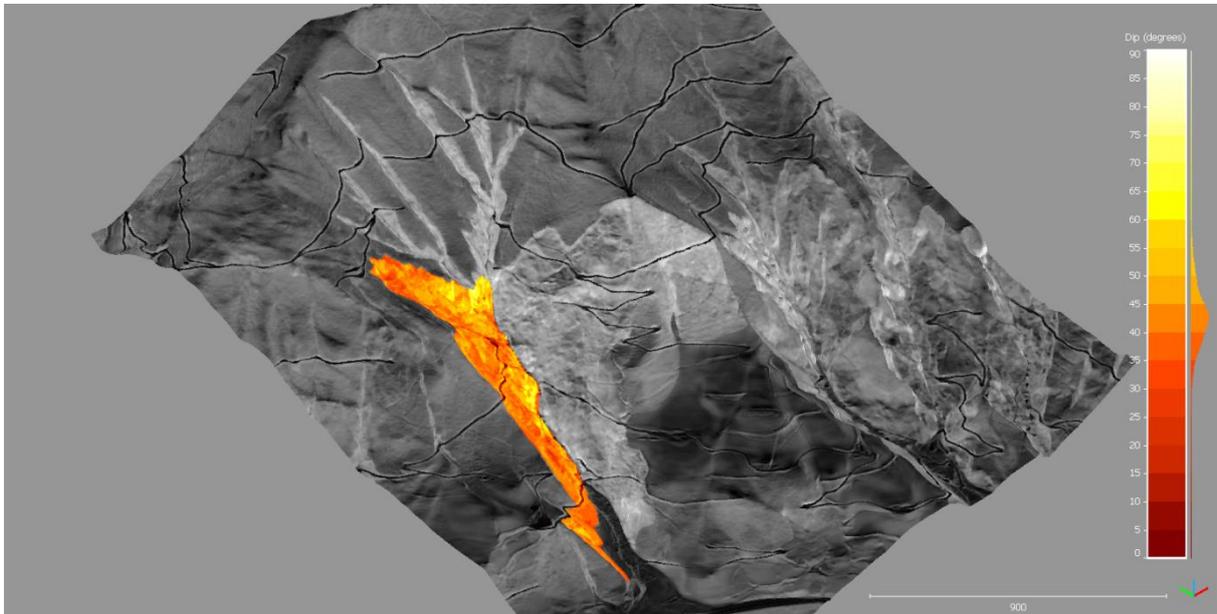


Abbildung 64: Westlicher Hang des Brandschinkgrabens (CloudCompare)

Wie in Abbildung 64 zu erkennen ist, ist der mittlere Böschungswinkel des Westhanges ca. 43°. Die Schieferung fällt in diesem Bereich Richtung Westen ein. Dies wirkt sich positiv auf die Stabilität des Gesteins aus, jedoch fällt eine der Klufflächen in Richtung Osten ein. Dies ermöglicht blockiges Versagen in diesem Bereich, jedoch ist kein großflächiges, sondern falls überhaupt nur ein lokales Ereignis zu erwarten. Dennoch wird der Westhang als potenziell instabil eingestuft, da immer wieder kleine lokale Abbrüche auftreten.

5.1.2.6 Östlicher Hang

Als östlicher Hang wird der ca. 3,5 ha große Bereich des Osthanges des Brandschinkgrabens bezeichnet, der südlich der Großen Kendler Rutschung liegt (Abb. 65). Dieser wird nicht zur Rutschung gezählt, da die gravitative Richtung der Rutschung diesen Bereich nicht direkt beeinflusst. Dennoch liegen hier ähnliche Verhältnisse vor.

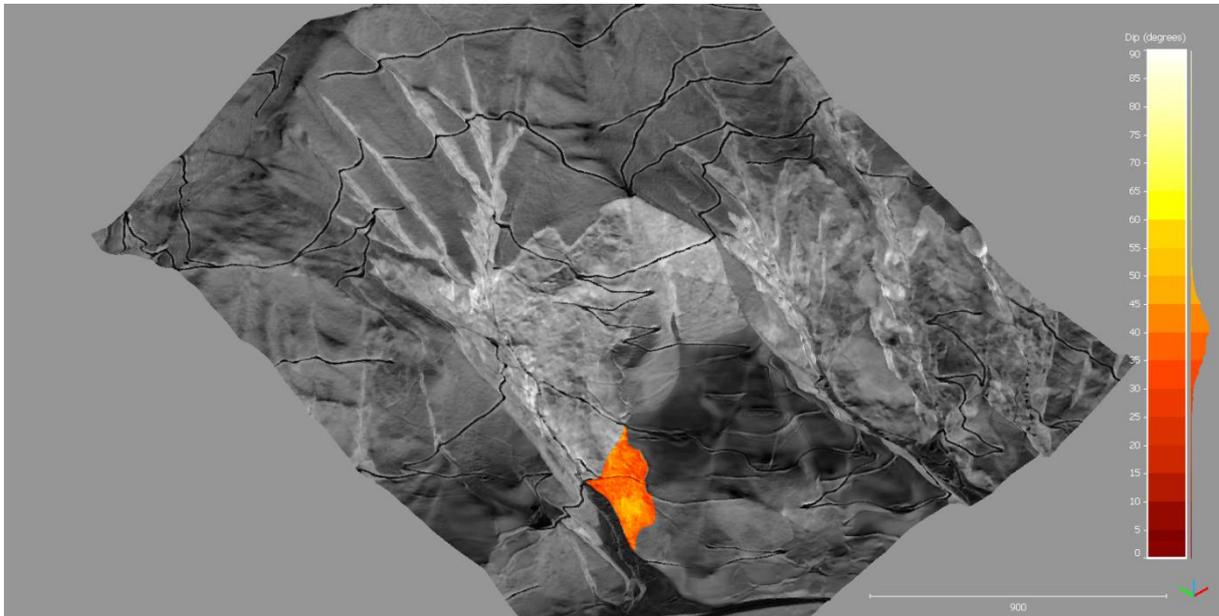


Abbildung 65: Östlicher Hang (CloudCompare)

Wie schon im unteren Bereich der Großen Kendler Rutschung liegt auch in diesem Bereich eine gefügebedingte Instabilität vor. Die Schieferung fällt Richtung Westen ein, was ein Abgleiten des Hanges in diese Richtung ermöglicht. Mit einem mittleren Böschungswinkel von ca. 40° ist er immer noch sehr steil, jedoch sind die Lage unter dem Dosierbauwerk und der breitere und flachere Bachlauf in diesem Bereich günstig. Auch hier ist höchstwahrscheinlich von keinem Versagen auszugehen, jedoch würden zumindest vom Gefüge her die nötigen Voraussetzungen für großflächiges Versagen vorliegen.

5.1.2.7 Bachgraben

In diesem Punkt wird auf den Bereich von ca. 12 ha im oberen Teil des Brandschinkgrabens oberhalb des Wasserfalls eingegangen. Hier hat sich der Bach tief in die Hänge des Kessels eingegraben und so steile Böschungen geschaffen.

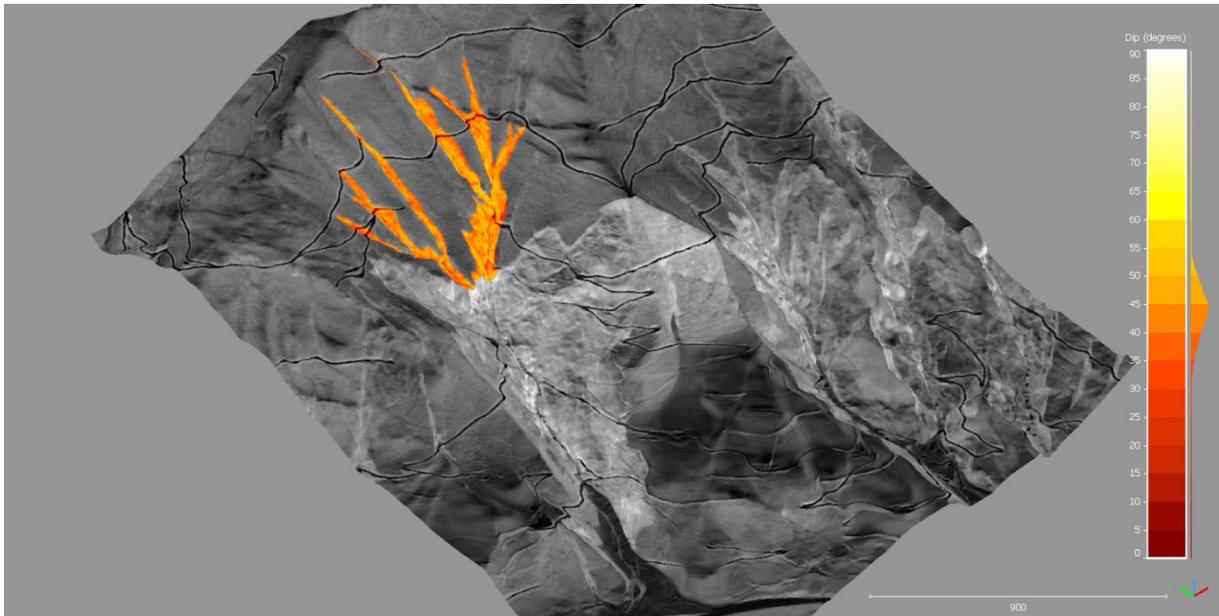


Abbildung 66: Bachgraben (CloudCompare)

Dieser Bereich liefert den Großteil der Sedimentfracht des Brandschinkbaches. Die im Schnitt 45° steilen Hänge rutschen stetig in den Bach und sind immanent instabil (Abb. 66). Auch gibt es in diesem Bereich keine wildbachtechnischen Verbauungen, die Kombination der steilen Böschungen und dem steilen Bachgefälle begünstigt somit die Erosion. Dies lässt erwarten, dass im Fall eines Starkregenereignisses vor allem dieser Bereich ausschlaggebend für die Sedimentfracht sein wird.

5.2 Ergebnisse der kinematischen Analysen der Aufschlüsse

In diesem Abschnitt werden die im Punkt Ortsbezogene Instabilitäten und Kubatur beschriebenen Methoden bezüglich der Aufschlüsse angewandt und die Ergebnisse beschrieben. Sie dienen dazu, eine Verbindung zwischen Gefügedaten und möglichem Versagen aufzubauen. Ziel ist hier, die in den vorangegangenen Kapiteln aufgestellten Thesen zu untermauern. Als interner Reibungswinkel wurden 30° angenommen. Würde eine Veränderung dieses Winkels sich auf die Stabilität des Hanges auswirken, wurde dies in Betracht gezogen und darauf eingegangen. Abbildung 67 zeigt eine Übersicht über die im Gebiet vorliegenden Böschungrichtungen und -winkel.

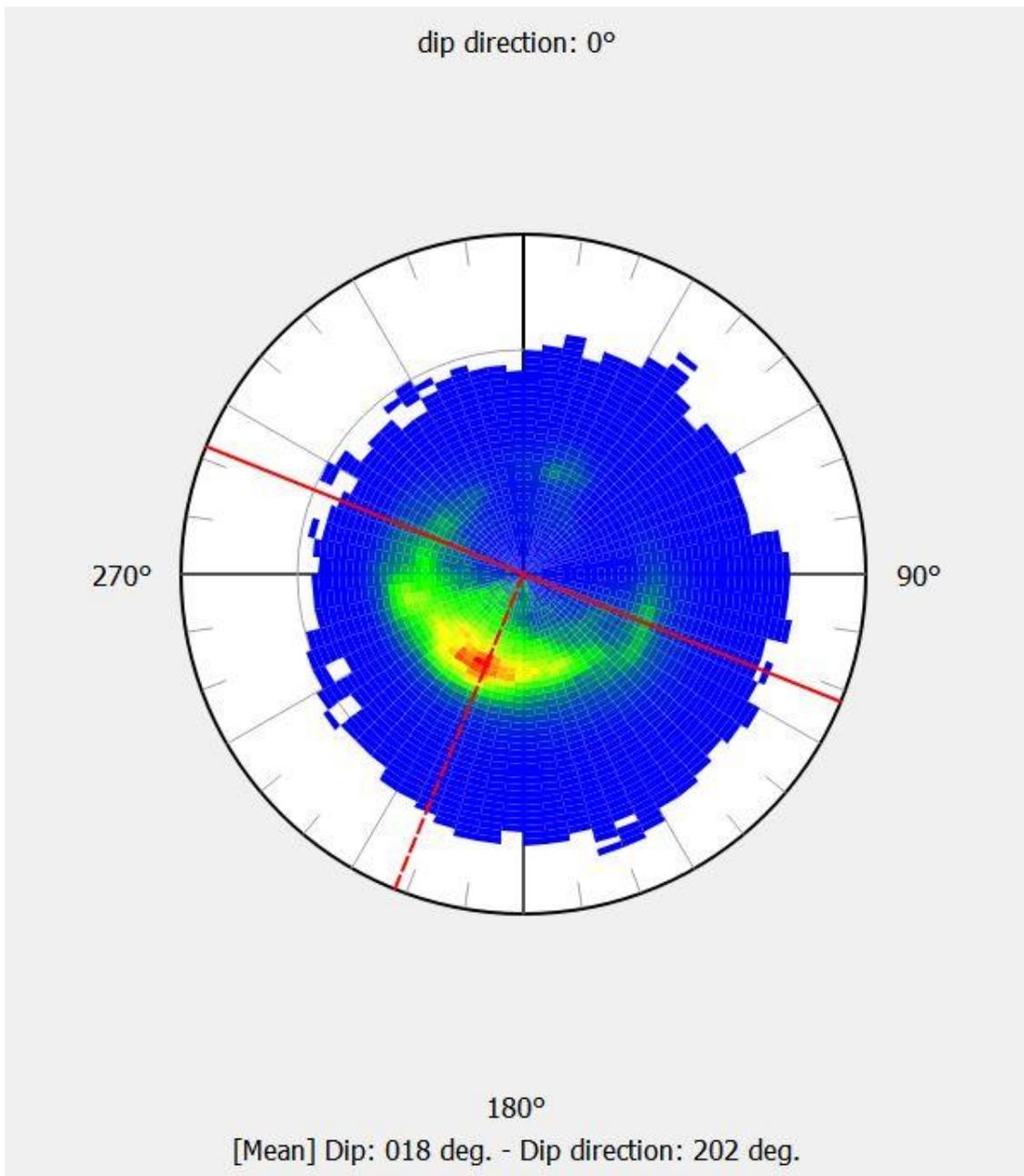


Abbildung 67: Übersicht der Böschungswinkel im gesamten Gebiet (CloudCompare)

5.2.1 Aufschluss 1

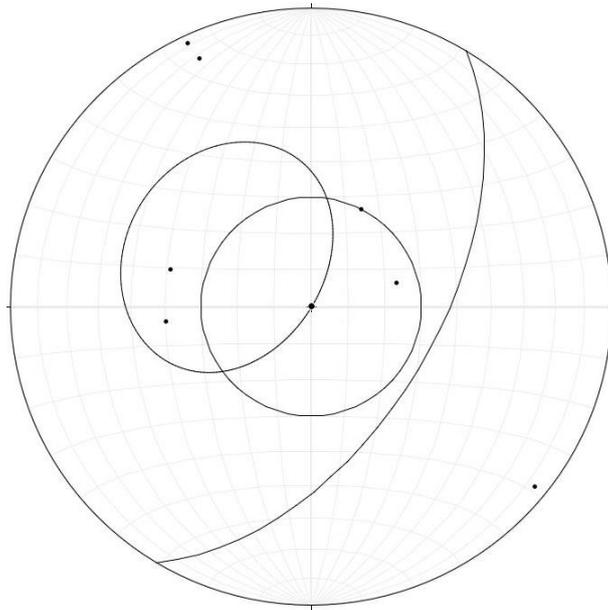


Abbildung 68: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 1 (Stereonet)

Im Aufschluss 1 liegen zwei mögliche Gleitflächen vor 105/40 und 84/40. Beide Flächen gehören zum Kluftset K1 (Abb. 68). Der mittlere Böschungswinkel dieses Aufschlusses beträgt 121/56. Da die Schieferungsfläche zum Hang in Richtung Westen einfällt, sind die Gegebenheiten für großflächiges Versagen nicht gegeben und dieses Gestein ist trotz des steilen Böschungswinkels als stabil anzusehen. Dies spiegelt sich auch in den steilen Hängen der westlichen Grabenseite wider. Beim Verschnitt der Gefügeflächen entstehen kleine Blöcke, die im zweistelligen cm Bereich ins Tal rutschen, ein großflächiges Versagen ist jedoch nicht zu erwarten.

5.2.2 Aufschluss 2

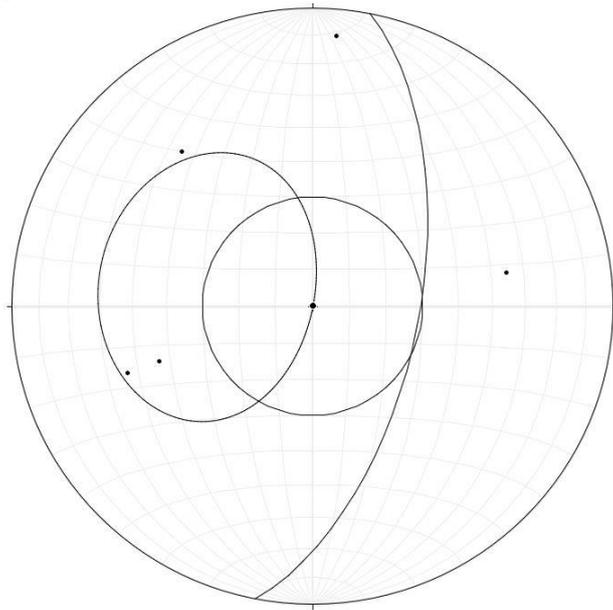


Abbildung 69: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 2 (Stereonet)

Aufschluss 2 ist nahe Aufschluss 1 und weist ähnliche Lagerungsverhältnisse auf. Die möglichen Gleitflächen 070/45 und 070/55 gehören zum Kluffset K1 und der mittlere Böschungswinkel beträgt 101/61 (Abb. 69). Die Schieferungsfläche fällt, wie im vorangegangenen Aufschluss 1, Richtung Westen hangwärts ein. Dies erhöhte die Stabilität des Gesteins. Auch hier ist neben einzelnen kleinen Blöcken kein großflächiges Versagen des Hanges zu erwarten.

5.2.3 Aufschluss 3

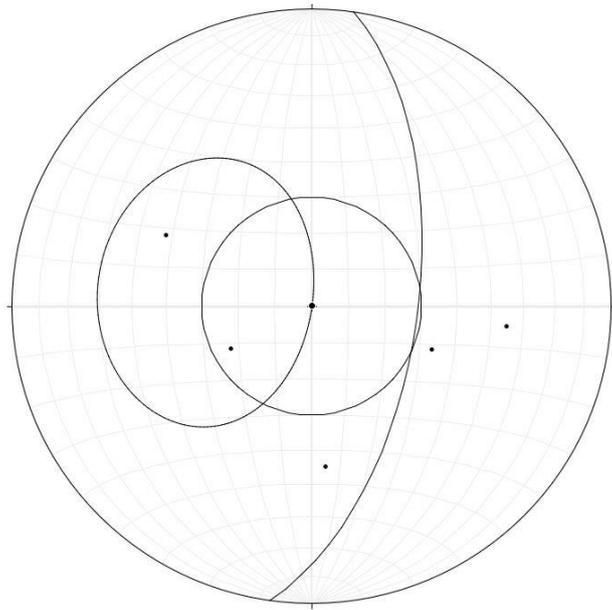


Abbildung 70: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 3 (Stereonet)

Aufschluss 3 befindet sich ebenfalls am oberen westlichen Rand des Brandschinkgrabens. Hier liegt mit einem Reibungswinkel von 30° nur eine mögliche Gleitfläche mit 116/45 vor (Abb. 70). Verringert sich der Reibungswinkel auf 25° , könnte auch die Fläche 062/25 aus dem Klufset K1 aktiv werden. Der mittlere Böschungswinkel beträgt 098/61. Auch hier fällt die Schieferung Richtung Westen zum Hang ein, somit ist neben einzelnen ausbrechenden Blöcken kein großflächiges Versagen zu erwarten.

5.2.4 Aufschluss 4.1

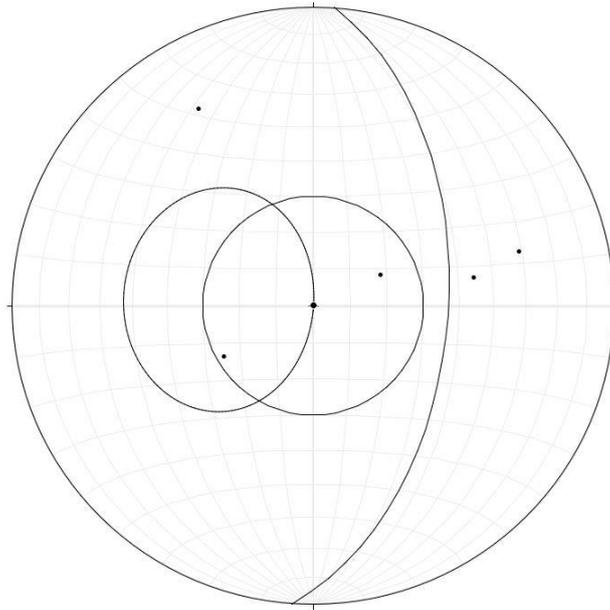


Abbildung 71: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.1 (Stereonet)

Aufschluss 4.1 befindet sich am Fuße des Westlichen Hanges des Brandschinkgrabens. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $094/53$. Bei einem Reibungswinkel von 30° ist kein Versagen entlang einer der gemessenen Flächen zu erwarten (Abb. 71). Verringert sich dieser jedoch um 5° würde die Fläche $060/28$ aus dem Kluftset K1 aktiviert werden. Da die Schieferungsfläche auch hier Richtung Westen einfällt, ist jedoch kein großflächiges Versagen zu erwarten.

5.2.5 Aufschluss 4.2

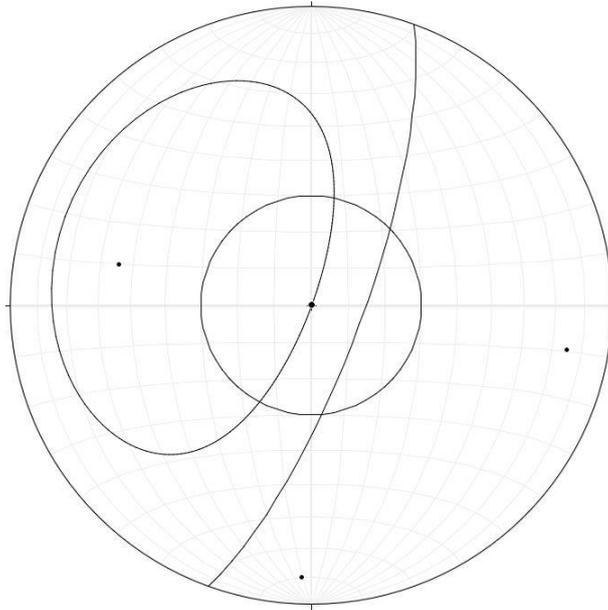


Abbildung 72: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.2 (Stereonet)

Aufschluss 4.2 befindet sich ebenfalls am westlichen Hang des Brandschinkgrabens. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $110/76$. Auch hier liegt mit $102/55$ nur eine mögliche Gleitfläche vor (Abb. 72). Wie bei den vorangegangenen Aufschlüssen fällt die Schieferung Richtung Westen ein, was die Stabilität des Gesteins erhöht und eine steile Stapelung ermöglicht. Auch hier ist nur von einzelnen Blöcken auszugehen, die entlang der Klufffläche ausbrechen könnten.

5.2.6 Aufschluss 4.3

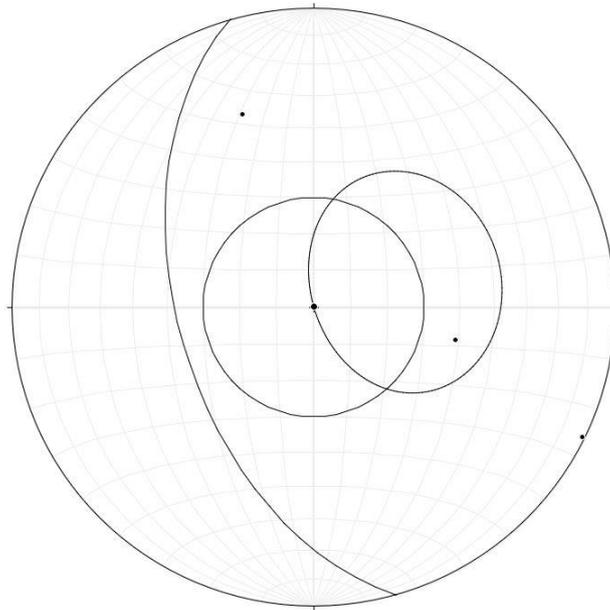


Abbildung 73: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.3 (Stereonet)

Aufschluss 4.3 befindet sich, zusammen mit den Aufschlüssen 4.4, 4.5 und 4.6, am Fuß des östlichen Hanges des Brandschinkgrabens, knapp ober dem Dosierwerk. Der mittlere Böschungswinkel beträgt 254/53. Hier ändern sich die Verhältnisse: Nun fällt die Schieferung mit 283/40 aus dem Hang ein und wird somit zu einer möglichen Gleitfläche (Abb. 73). Dies spiegelt sich auch darin wider, dass die östliche Seite im Gegensatz zur westlichen kaum stabile Felswände vorweist. Auch wechselt der Versagensmechanismus von blockigem zu plattigem Gleiten, was nahe der Aufschlüsse 4.3-4.6 gut zu beobachten ist.

5.2.7 Aufschluss 4.4

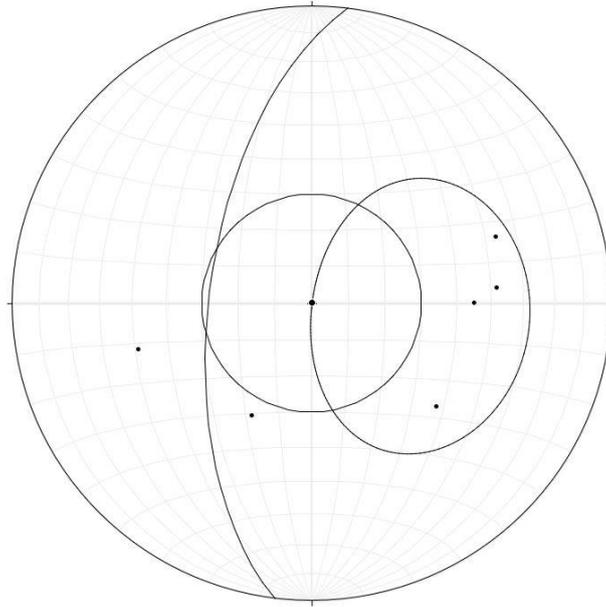


Abbildung 74: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.4 (Stereonet)

Aufschluss 4.4 ähnelt Aufschluss 4.3, jedoch ist hier neben den drei Schieferungsflächen 270/45, 250/55 und 265/52 auch die Klufffläche 310/45 eine mögliche Gleitfläche (Abb. 74). Der mittlere Böschungswinkel beträgt 277/62. Auch hier ist ein plattiges Ausbrechen zu erwarten. Obwohl die Rahmenbedingungen für großflächiges Versagen gegeben sind, legt der steile Böschungswinkel jedoch nahe, dass stabile Verhältnisse vorliegen.

5.2.8 Aufschluss 4.5

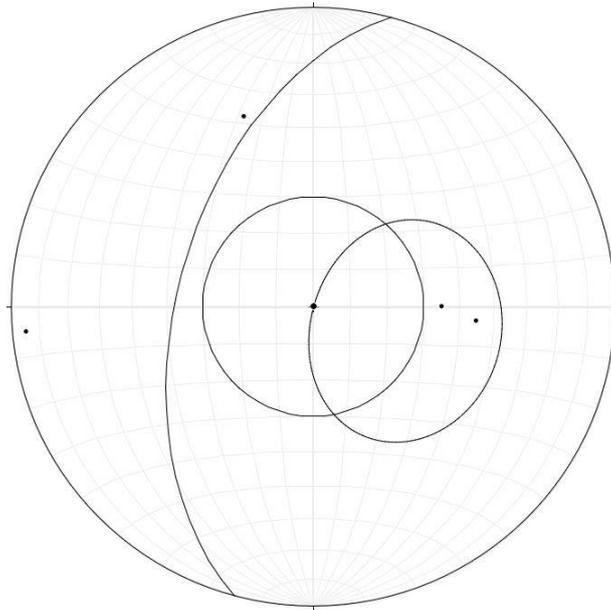


Abbildung 75: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.5 (Stereonet)

Wie alle Aufschlüsse auf der linken Seite des Brandschinkgrabens ist auch bei Aufschluss 4.5 ein Versagen in Richtung der Schieferungsflächen möglich. Diese fallen 275/45 bzw. 270/35 ein (Abb. 75). Der mittlere Böschungswinkel beträgt 285/53.

5.2.9 Aufschluss 4.6

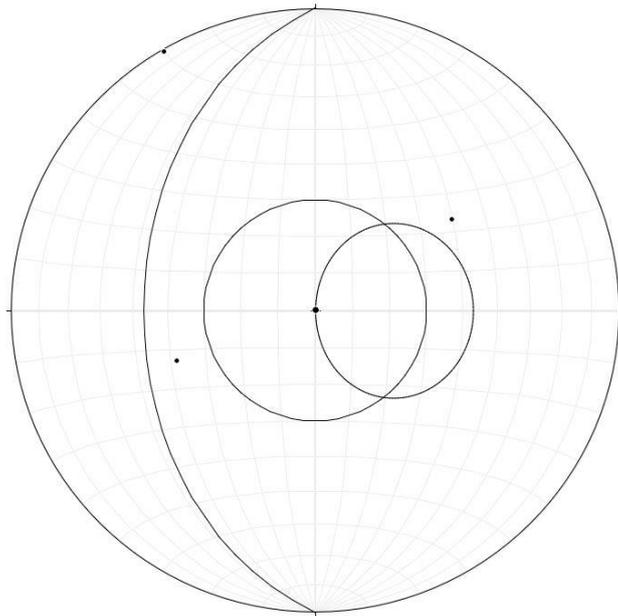


Abbildung 76: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.6 (Stereonet)

Aufschluss 4.6 hat einen mittleren Böschungswinkel von $270/43$. Hier liegt keine mögliche Gleitfläche vor (Abb. 76). Zusammenfassend lässt sich über die Aufschlüsse 4.3-4.6 sagen, dass der steile Böschungswinkel eine gewisse Stabilität vermuten lässt, jedoch alle Voraussetzungen für großflächiges Versagen gegeben sind. Dies spiegelt sich auch in der flacheren und gleichmäßigeren Geomorphologie des östlichen Hanges des Brandschinkgrabens wider.

5.2.10 Aufschluss 5

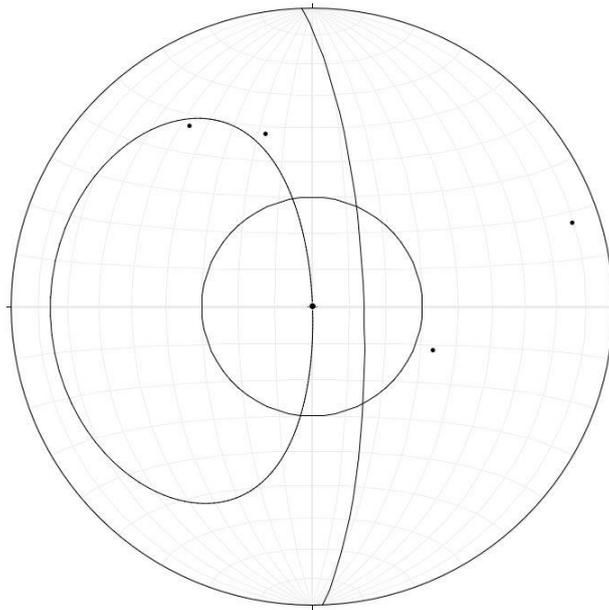


Abbildung 77: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 5 (Stereonet)

Aufschluss 5 ist der letzte Aufschluss auf der westlichen Seite des Brandschinkgrabens und befindet sich am Fuße der Brandschinkgraben-Rutschung. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $88/76$. Durch den steilen Böschungswinkel wird hier das Kluffset 2 mit $146/62$ zu einer möglichen Gleitfläche (Abb. 77). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Hänge an der westlichen Brandschinkgrabenseite als stabil einzuteilen sind. Versagen ist nur entlang des Kluffsets K1 bzw. K2 möglich. Dieses sporadische, lokale Versagen ist auch die treibende Kraft hinter der Geomorphologie des Westlichen Hanges.

5.2.11 Aufschluss 6

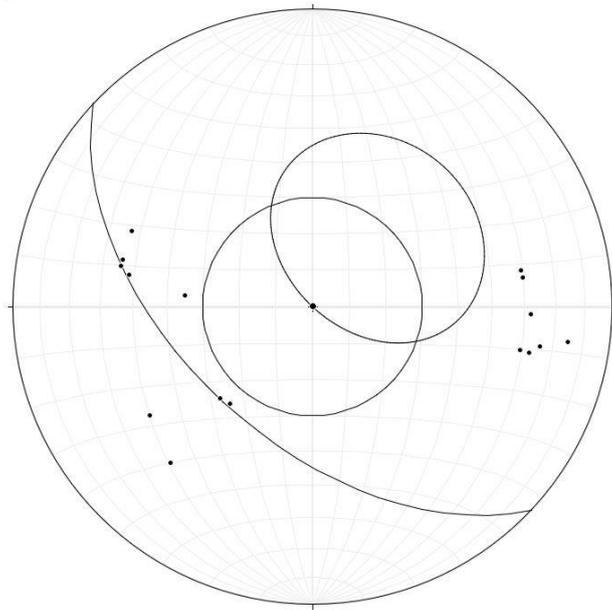


Abbildung 78: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 6 (Stereonet)

Aufschluss 6 befindet sich östlich des oberen Teils der Brandschinkgraben-Rutschung. Das Gestein dieses Aufschlusses ist stark mechanisch beansprucht. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $223/54$, wodurch hier keine möglichen Gleitflächen vorliegen (Abb. 78). Da sich die Böschung jedoch grabenwärts Richtung Westen dreht, lässt sich bereits der Mechanismus hinter der Brandschinkgraben-Rutschung erahnen.

5.2.12 Aufschluss 7

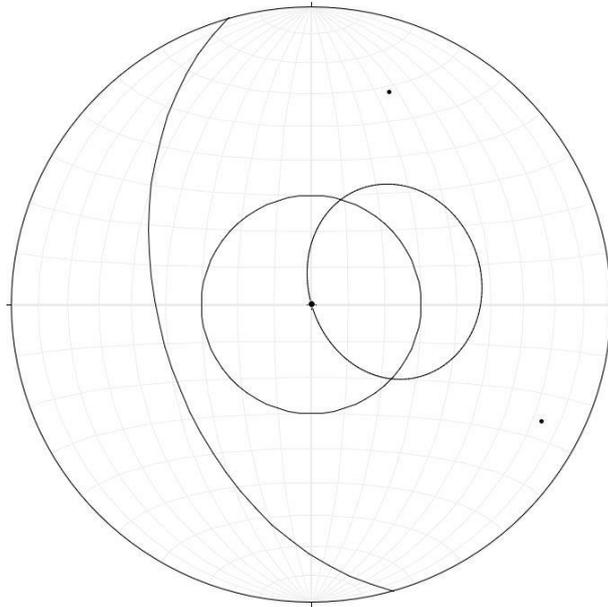


Abbildung 79: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 7 (Stereonet)

Aufschluss 7 und 8 befinden sich östlich des Fußes der Brandschinkgraben-Rutschung. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $254/48$. Hier wurden keine möglichen Gleitflächen gemessen (Abb. 79).

5.2.13 Aufschluss 8

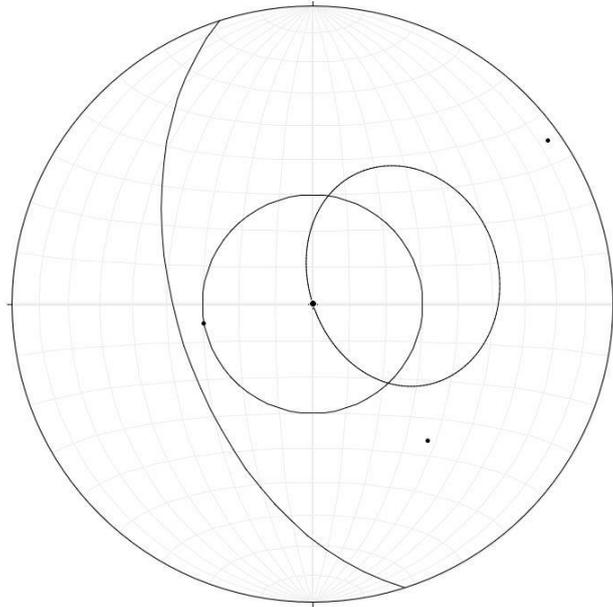


Abbildung 80: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 8 (Stereonet)

Auch Aufschluss 8 liegt östlich des Fußes der Brandschinkgraben-Rutschung. Der mittlere Böschungswinkel beträgt 252/53. Auch hier liegt keine aktive Gleitfläche vor (Abb. 80).

5.2.14 Aufschluss 9

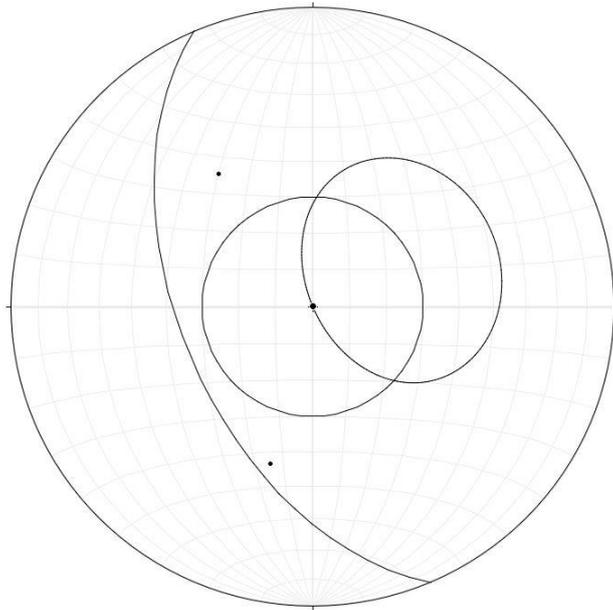


Abbildung 81: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 9 (Stereonet)

Aufschluss 9 ist ein Fels inmitten der Brandschinkgraben-Rutschung. Auf Grund der Unwegsamkeit des Geländes wurden die Flächen aus sicherer Entfernung erfasst und es besteht die Möglichkeit, dass es sich dabei um nichtanstehendes Gestein handelt. Dennoch wird der Aufschluss hier als vollwertig behandelt. Der Mittlere Böschungswinkel beträgt $247/54$. Auch hier liegt bei den erfassten Daten keine aktive Gleitfläche vor (Abb. 81), jedoch konnte auf Grund der zuvor erwähnten Umstände eine Schieferungsfläche, die in diesem Bereich in Richtung Westen einfallen müsste, nicht einmessen werden.

5.2.15 Aufschluss 10

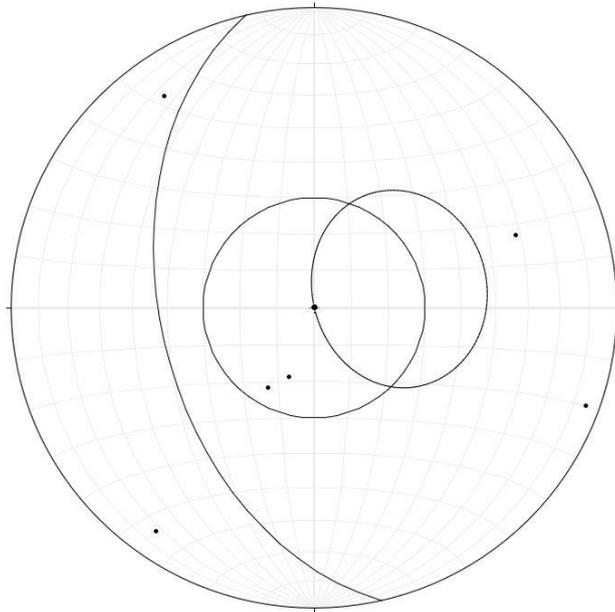


Abbildung 82: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 10 (Stereonet)

Aufschluss 10 liegt zusammen mit Aufschluss 11 knapp unter dem Kleinen Kendler Hörndl und bildet den obersten Bereich der Großen Kendler Rutschung. Hier ändern sich die Lagerungsverhältnisse und die Schieferung fällt in Richtung Norden ein. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $257/48$. Unter diesen Bedingungen liegt keine aktive Gleitfläche vor (Abb. 82), jedoch ist das vorliegende Gestein stark verwittert, was ein stetiges Abbrechen von kleinen Gesteinsbrocken und Platten mit sich bringt.

5.2.16 Aufschluss 11

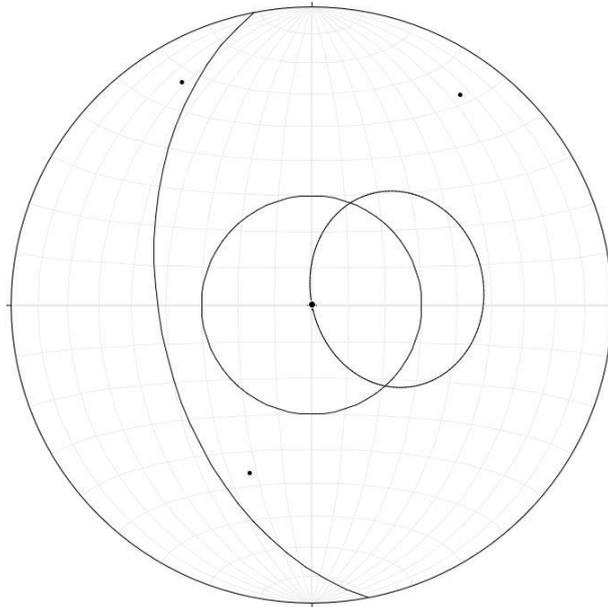


Abbildung 83: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 11 (Stereonet)

Aufschluss 11 liegt, wie bereits zuvor erwähnt, neben Aufschluss 10. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $259/51$ und auch hier liegt keine aktive Gleitfläche vor (Abb. 83).

5.2.17 Aufschluss 12

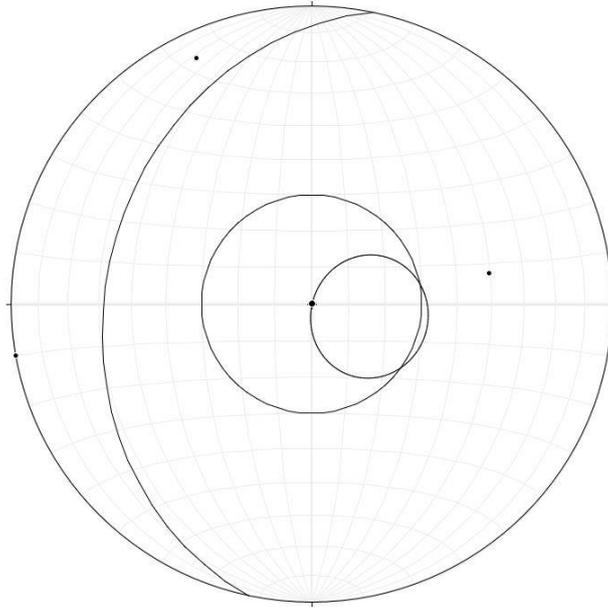


Abbildung 84: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 12 (Stereonet)

Aufschluss 12 befindet sich ca. 100 m unter den Aufschlüssen 10 und 11. Das Gestein in diesem Bereich ist sehr stark mechanisch beansprucht und verwittert. Der mittlere Böschungswinkel beträgt 282/32. Somit liegt auch hier keine aktive Gleitfläche vor (Abb. 84), dieses Gebiet befindet sich jedoch inmitten eines spärlich bewachsenen Geröllfeldes. Wie bereits bei Aufschluss 10 erwähnt, bröckelt das Gestein stetig ab und nährt somit die Große Kendler Rutschung. Der Untergrund ist exponiert und somit für Verwitterung anfällig. Dieser Prozess ist zwar langsam, jedoch stetig; eine rasche Veränderung bzw. Beschleunigung ist dennoch nicht zu erwarten.

5.2.18 Aufschluss 13

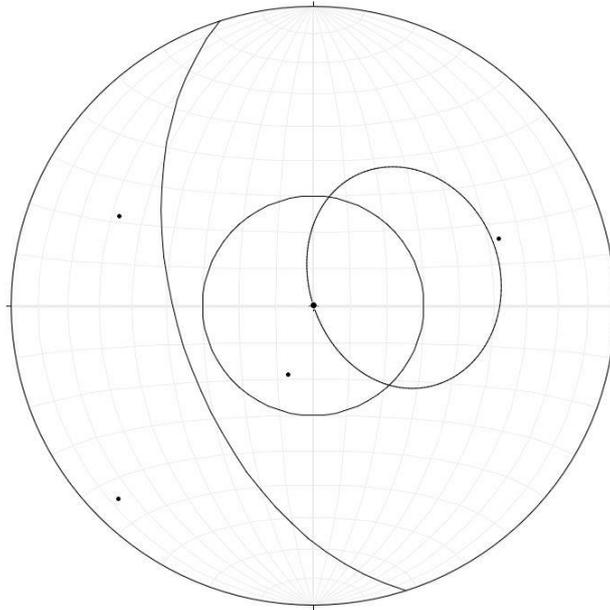


Abbildung 85: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 13 (Stereonet)

Aufschluss 13 befindet sich am oberen Bereich des östlichen Hanges des Brandschinkgrabens auf einem Weg, der vom Kendler-Hof in den Brandschinkgraben führt. Er befindet sich im unteren Bereich der Großen Kendler Rutschung. Der mittlere Böschungswinkel beträgt 252/53. Hier liegen keine möglichen Gleitflächen vor (Abb. 85), die Schieferungsfläche im 250/55 würde jedoch bei einer Veränderung des Böschungswinkels in Richtung 60° aktiv werden, was im Bereich unter dem Weg der Fall ist.

5.2.19 Aufschluss 14

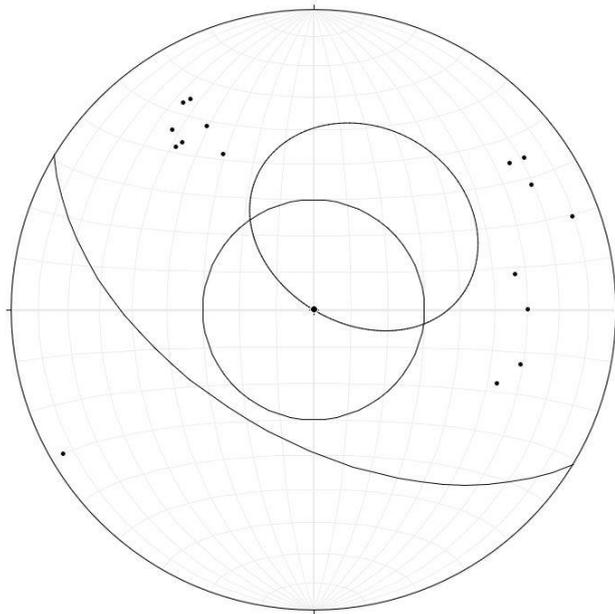


Abbildung 86: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 14 (Stereonet)

Aufschluss 14 und 15 liegen inmitten der Kleinen Kendler Rutschung am Forstweg. Diese Aufschlüsse bestehen aus massiver Grauwacke. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $211/55$ und somit sind keine der gemessenen Gefügeflächen mögliche Gleitflächen (Abb. 86).

5.2.20 Aufschluss 15

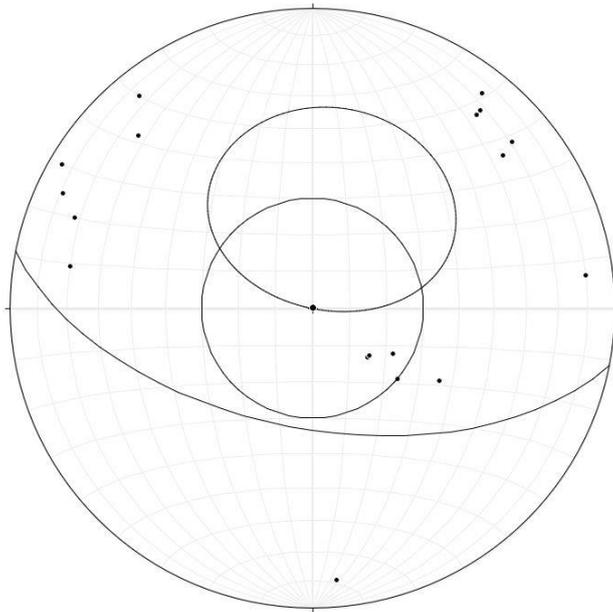


Abbildung 87: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 15 (Stereonet)

Wie bereits bei Aufschluss 14 erwähnt, liegt auch Aufschluss 15 in der Kleinen Kendler Rutschung. Der mittlere Böschungswinkel beträgt $191/57$. Auch hier liegen keine aktiven Gleitflächen vor (Abb. 87) was durch die Kompaktheit des vorliegenden Gesteins untermauert wird.

5.2.21 Aufschluss 16

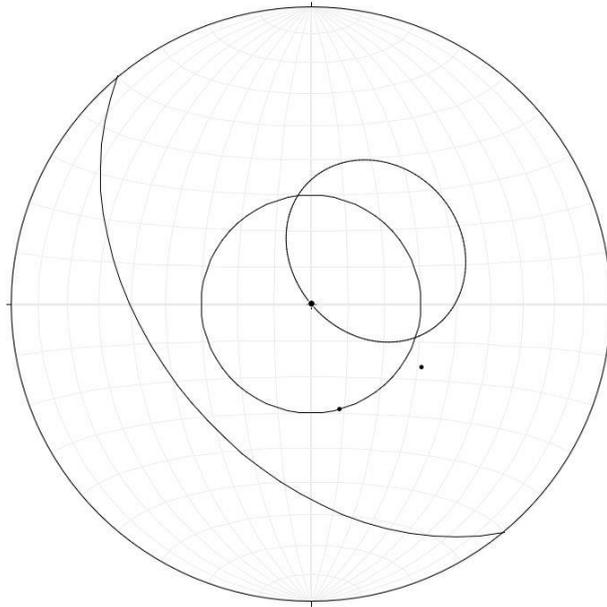


Abbildung 88: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 16 (Stereonet)

Aufschluss 16 liegt im Kessel des Brandschinkgrabens im oberen nördlichen Bereich. Durch ihn fließt der östlichste Arm des Brandschinkbaches. Der mittlere Böschungswinkel beträgt 230/47. Wie auch bei Aufschluss 10 ändert sich hier die Einfallsrichtung der Schieferung im oberen Bereich Richtung Norden. In diesem Aufschluss liegt wiederum keine aktive Gleitfläche vor (Abb. 88), jedoch ist das Gestein in diesem Bereich durch den stetigen Wasserfluss stark mechanisch beansprucht. Hinzu kommt, dass sich hier der Übergang zwischen Grauwacke und Blasseneck-Porphyröid befindet.

5.2.22 Aufschluss 17

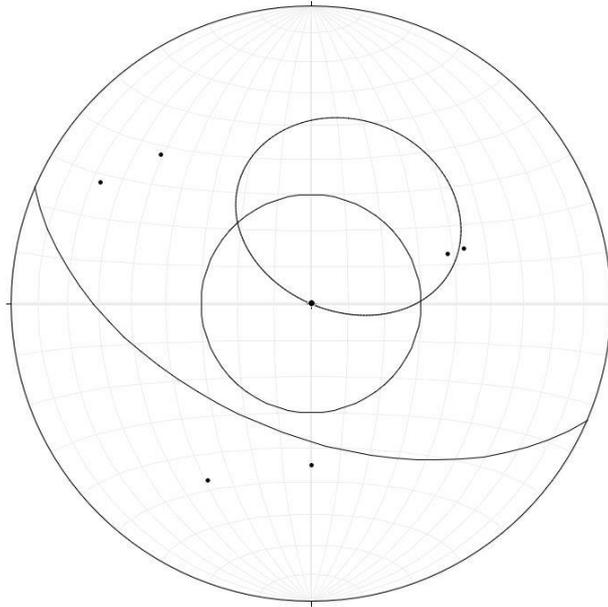
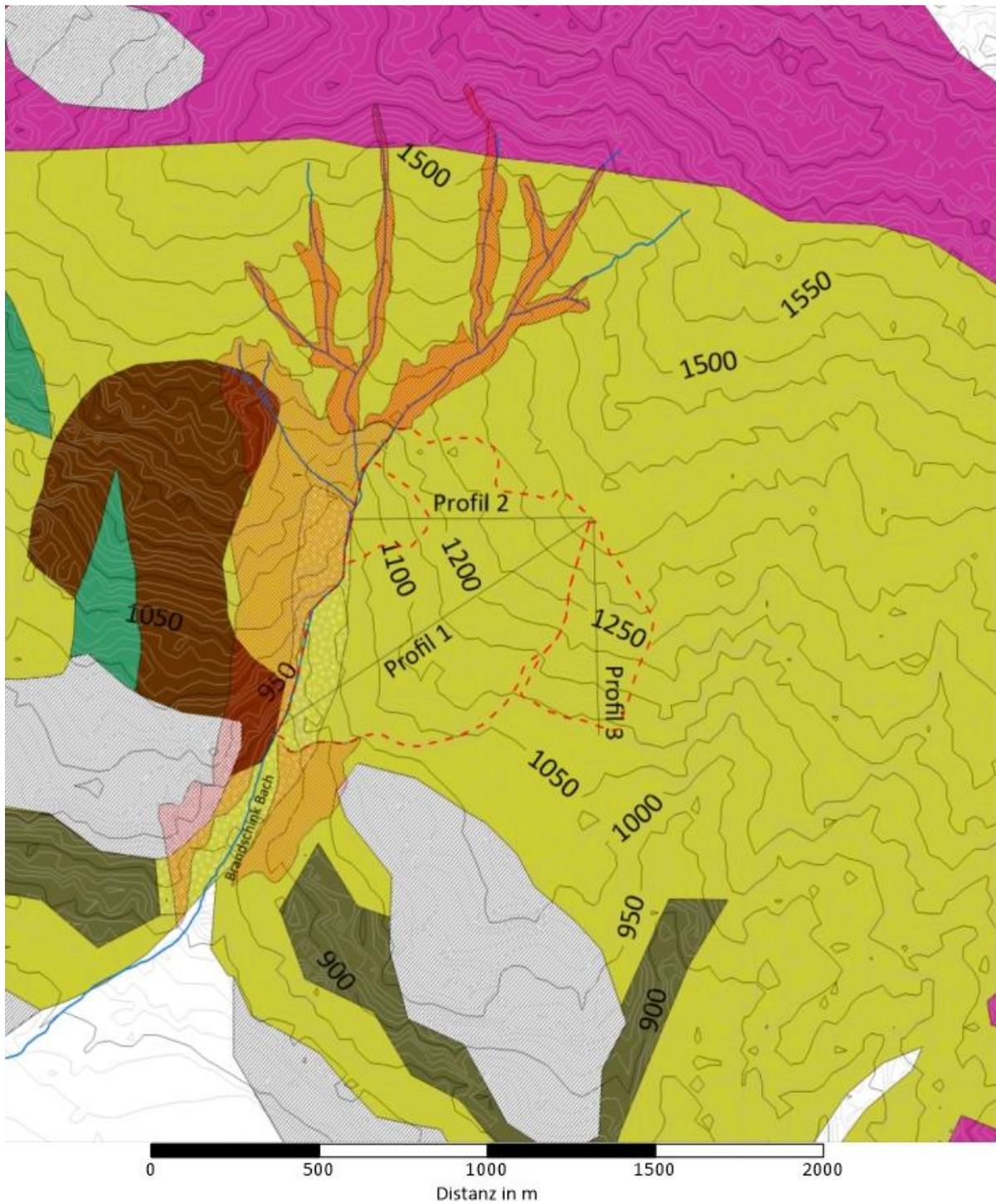


Abbildung 89: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 17 (Stereonet)

Aufschluss 17 befindet sich im oberen Bereich am Nordhang des Kessels des Brandschinkgrabens. Die vorherrschende Lithologie dieses Bereichs ist Blasseneck-Porphyr. Der mittlere Böschungswinkel beträgt 203/54. Auch hier fällt die Schieferung Richtung Norden ein. Es ergibt sich eine mögliche Gleitfläche mit 250/40, jedoch ist auch die Fläche 250/45 sehr nahe am Markland-Bereich (Abb. 89).

5.3 Ingenieurgeologische Karte und Profile



Instabile Bereiche

- Bachlauf
- Westlicher Hang
- Östlicher Hang
- Rutschungen

Geologie

- Blasseneck-Porphyrroid
- Diabas-Amphibolit
- Grauwacke
- Hangschutt

- Konglomerat
- Moräne
- Phyllithische Grauwacke
- Quartär
- Quarzit

Abbildung 90: Ingenieurgeologische Karte (erstellt mit Surfer)

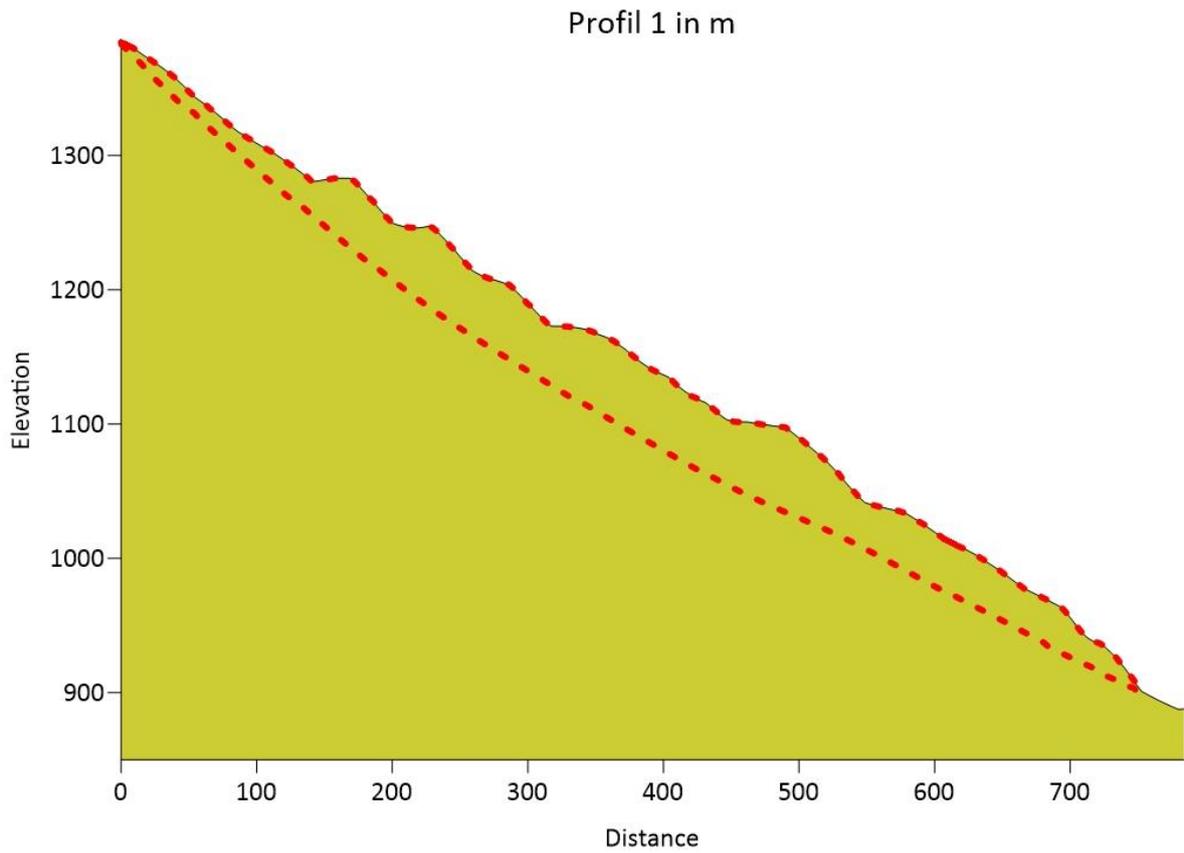


Abbildung 91: Profil 1 (erstellt mit Surfer) Angaben in m

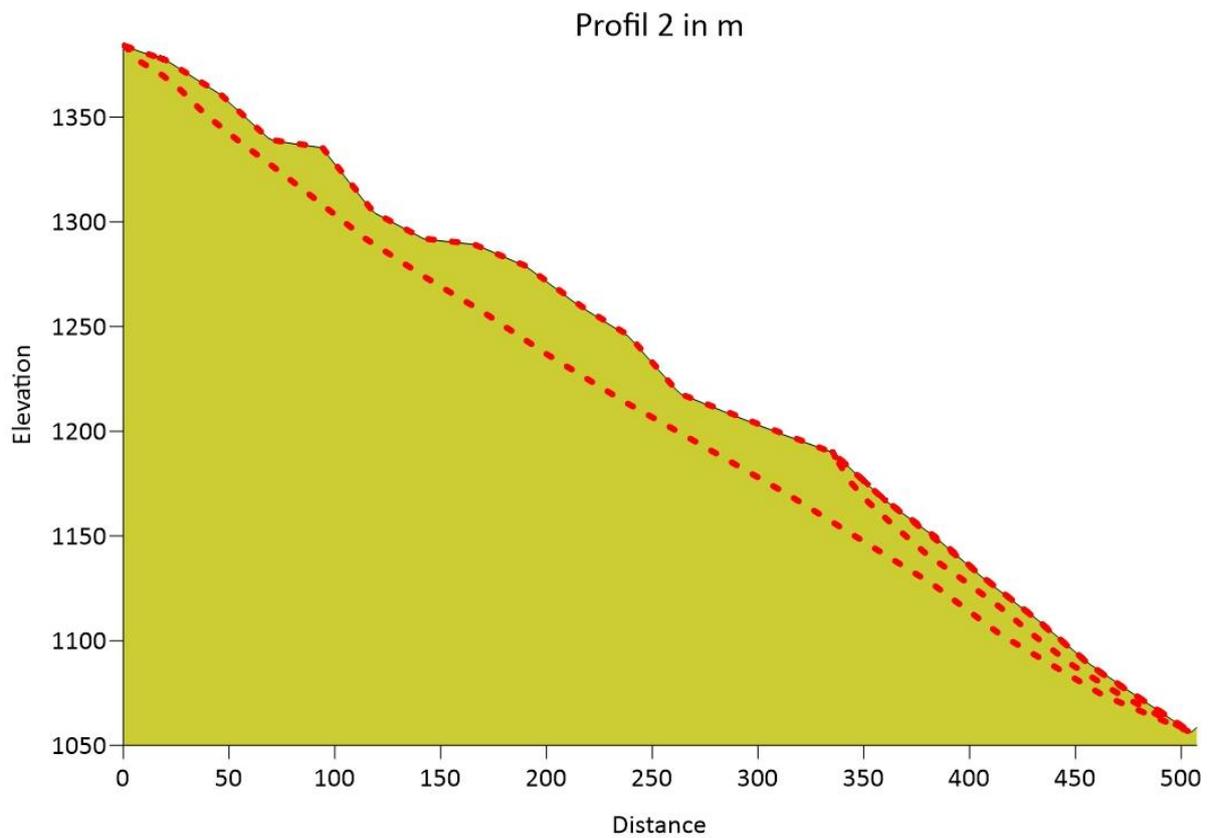


Abbildung 92: Profil 2 (erstellt mit Surfer) Angaben in m

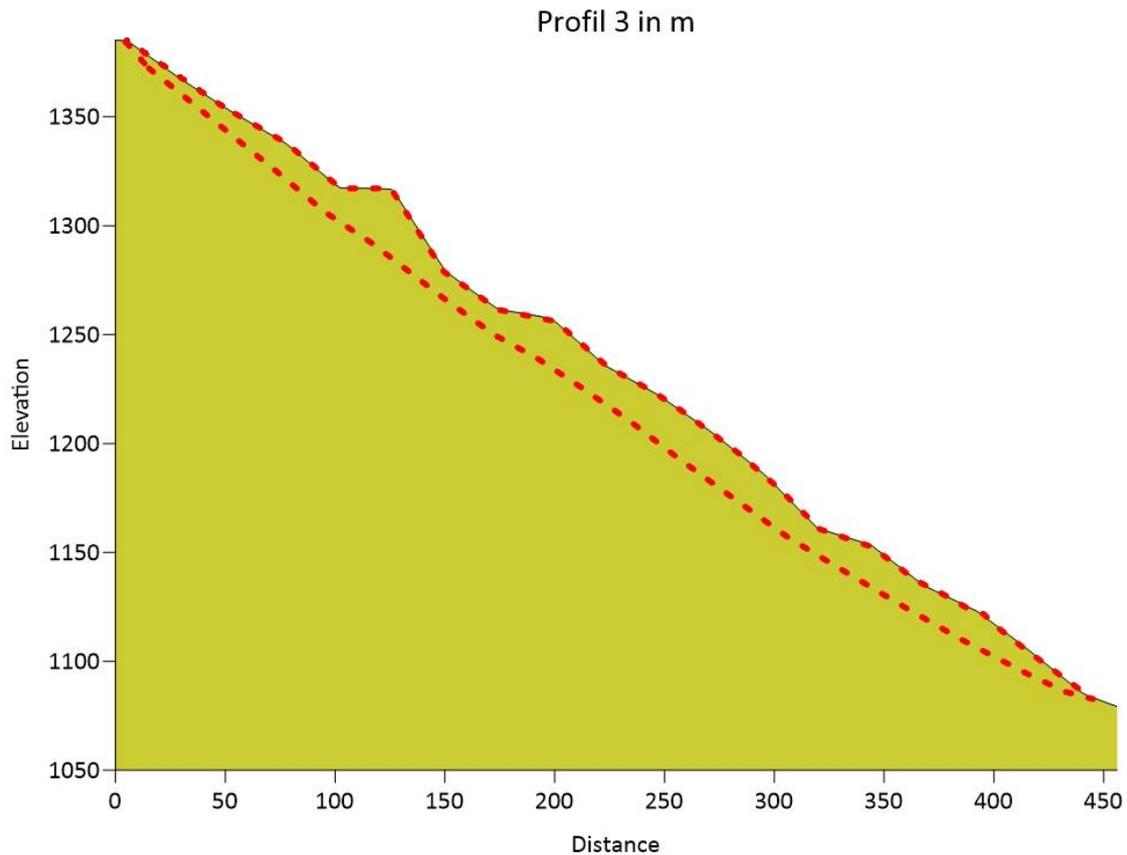


Abbildung 93: Profil 3 (erstellt mit Surfer) Angaben in m

Abbildung 90 zeigt die Ingenieurgeologische Karte des Arbeitsgebietes mit den ausgewählten Profillinien. Sie zeigt einen Überblick über die vorherrschenden geologischen Verhältnisse und markiert die im Punkt 5.1.2 beschriebenen instabilen Gebiete. Abbildung 94 ist eine orthographische Variante der Abbildung 90. Die Abbildungen 91, 92 und 93 zeigen die in Abbildung 90 eingezeichneten Profile. Bei allen drei Profilen liegt Grauwackenschiefer als Lithologie vor. Die Tiefe lässt sich mangels Daten nur erahnen, wird jedoch maximal im unteren zweistelligen Meter-Bereich angenommen. Bei den Abbildungen 95 und 96 handelt es sich um die dreidimensionalen Varianten der Abbildung 90 bzw. 94.



Distanz in m
Instabile Bereiche

-  Bachlauf
-  Westlicher Hang
-  Östlicher Hang
-  Rutschungen

Abbildung 94: Orthografische Ingenieurgeologische Karte (erstellt mit Surfer)

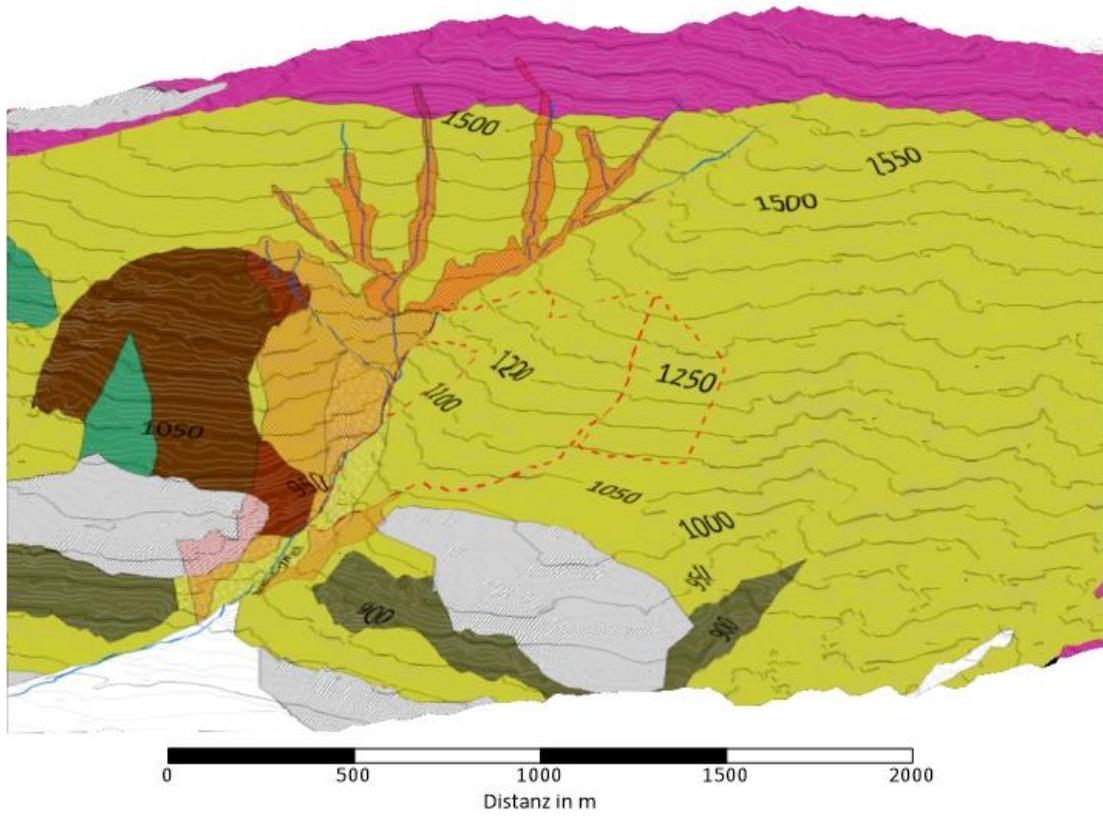


Abbildung 95: Ingenieurgeologische Karte 3D (erstellt mit Surfer)

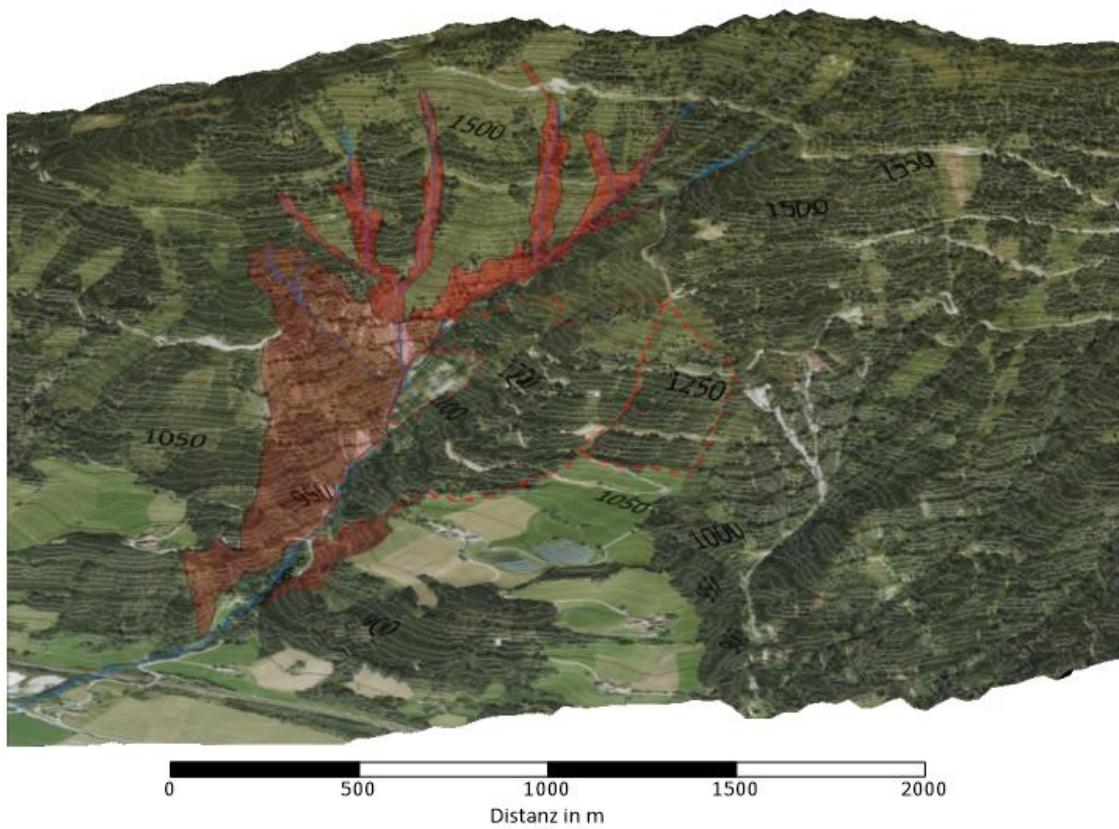


Abbildung 96: Orthografische Ingenieurgeologische Karte (erstellt mit Surfer)

5.4 Gesamte Beurteilung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass zwei bzw. drei Massenbewegungen in diesem Gebiet vorliegen. Der Bewuchs dieser Gebiete lässt darauf schließen, dass sie sich jedoch mit konstant geringer Geschwindigkeit bewegen. Mit Ausnahme des Ereignisses im Jahr 2000 liegt kein großflächiges Versagen vor. Treibende Kraft hinter den Massenbewegungen ist die stetige Erosion des Hanges unter dem Kleinen Kendler Hörndl, welche fortwährend Material liefert, das langsam den Hang hinunterkriecht. Hinzu kommen die drei instabilen Bereiche, die in Kapitel 5.1.2 beschrieben werden. Hier ist besonders der Bachgraben hervor zu heben, welcher den Hauptteil der Sedimentfracht liefert, die der Brandschinkbach mit sich bringt. Der Westliche Hang weist lokales Versagen auf, welches sich durch Blockgleiten manifestiert. Der östliche Hang ist weitgehend stabil, birgt jedoch das Potenzial zu Versagen. Dasselbe gilt für den westlichen Bereich der Großen Kendler Rutschung. Im Bereich der Brandschinkgraben Rutschung gleiten immer wieder Platten entlang der Schieferungsfläche ab, jedoch hält sich der Talzus Schub auf Grund der verringerten Erosion des verbauten Baches in Grenzen.

6. Diskussion

Hauptbeweggrund für die Wildbachtechnischen Verbauungen in den 2000er Jahren war, den Hang zu stabilisieren und ein tieferes Einschneiden des Brandschinkbaches zu verhindern. Betrachtet man die Entwicklung des Rutschbereiches aus dem Jahr 2000 war diese Maßnahme effektiv. Hinzu kommt, dass sich die Vegetation durch die gesetzten Maßnahmen erholt hat, was zu einer zusätzlichen Stabilität führt. Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass mit einem weiteren Starkregenereignis eine Reaktivierung der Brandschinkgraben Rutschung einhergeht. Da die gesetzten Maßnahmen eine massive Erosion des Fußes der Rutschung verhindern sollten, ist dies jedoch nicht zu erwarten. Die größte Gefahr geht vom Geschiebe aus dem unverbauten, oberen Bereich des Bachlaufes aus, hier würde der Wasserfall jedoch einen Großteil der kinetischen Energie abbauen und die Menge an Geschiebe würde sich somit über einen größeren Zeitraum verteilen. Das Dosierwerk hat ein Auffangvolumen von 10000 m^3 . Für den betrachteten Teil des Brandschinkbaches wird eine maximale Geschiebefracht von $3 \text{ m}^3/\text{s}$ im Falle eines HQ150 angenommen. (WLV Liezen 2019) Dies würde bei einer Sedimentationsrate von 100% bedeuten, dass das Dosierwerk in 55 Minuten gefüllt wäre. Dies sollte genug Zeit bieten, um etwaige Sicherheitsmaßnahmen zu treffen.

In Bezug auf die Massenbewegungen ist keine Verschlimmerung der Lage zu erwarten. Zwar bewegen sich die Hänge stetig, jedoch nicht in einem Ausmaß, das Grund zur Sorge erwecken würde. Außer gelegentlichen Ausbesserungen an den Forstwegen ist in der nahen Zukunft keine Verschlechterung der Lage zu erwarten. Einzig der westliche Teil der Großen Kendler Rutschung birgt das Potential, großflächig zu versagen, dies ist jedoch auf Grund des guten Bewuchses und der momentanen stabilen Verhältnisse ebenfalls nicht zu erwarten.

7. Schlussfolgerung

Die erhobenen Daten und deren Auswertung legen nicht den Schluss nahe, dass, abgesehen von lokalen Ereignissen, Gefahr vom Brandschinkgraben ausgeht. Da mein akademischer Hintergrund nicht ausreicht, um eine fundierte Aussage über das Ausmaß der wildbachtechnischen Bauten zu liefern, lasse ich dies außen vor. Jedoch ist der Brandschinkgraben in meinen Augen als stabil und gut verbaut einzustufen, wodurch unmittelbar keine weiteren Maßnahmen von Nöten sind. Was die Massenbewegungen angeht, sind abgesehen von wiederkehrenden Schäden und Ausbesserungen an den Forstwegen in naher Zukunft keine Schäden zu erwarten. Dennoch rate ich von großflächiger Waldrodung ab, da eine Veränderung der Vegetationsdichte auch mit einer Destabilisierung des Hanges und einer erhöhten Anfälligkeit für Erosion einhergeht.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Archivfoto der Rutschung in Jahre 2000 (Quelle Archiv Wildbach- und Lawinenverbauung Liezen)	8
Abbildung 2: Geographische Lage des Arbeitsgebiets. Schwarzes Quadrat beschreibt ca. das untersuchte Gebiet (Quelle: Austria Map online, ÖK50).....	9
Abbildung 3: Karte der Ostalpen mit hervorgehobenem Tirolisch-Norischen Deckensystem und Veitsch-Silbersberg-Deckensystem, das Viereck zeigt das Arbeitsgebiet (Schuster 2015).....	12
Abbildung 4: 3D Bild des Gebietes (CloudCompare)	13
Abbildung 5: Geologischer Überblick des Gebiets. Umriss beschreibt das Kartierte Gebiet (Bearbeitet nach GIS Stmk).....	14
Abbildung 6: Einzugsgebiet des Oberen Brandschinkbaches li. Schummerung, re. Orthofoto	16
Abbildung 7: Einzugsgebiet (CloudCompare)	17
Abbildung 8: Auszug aus Kollaudierung des Brandschinkbaches 1998 - 2012 aus dem Archiv der WLV Liezen.....	19
Abbildung 9: Überblick über Verbauungsmaßnahmen: oben Dosierwerk, li. Konsolidierungssperren, re. Rundholzsperrern.....	20
Abbildung 10: Topographische Karte des Kartiergebietes	22
Abbildung 11: Orthofotografien des Arbeitsgebietes, li. 2015 re. 2016.....	23
Abbildung 12: Basisinterface von QGIS.....	24
Abbildung 13: Orthofotos im Programm.....	25
Abbildung 14: Projizierte Isolinienkarte.....	25
Abbildung 15: Schummerung (shade relief).....	26
Abbildung 16: Neigungsanalyse (rot>gelb>grün>blau)	26
Abbildung 17: Geologische Karte des Gebietes (Legende zum besseren Verständnis eingefügt)	27
Abbildung 18: Open Basemap von Österreich.....	27
Abbildung 19: Standartinterface von CloudCompare mit Punktwolke des Gebietes.....	28
Abbildung 20: Übersicht über das gesamte Gebiet mit Aufschlüssen und Böschungswinkel	29
Abbildung 21: Geologischer Überblick in CloudCompare (Legende zum besseren Verständnis eingefügt).....	29

Abbildung 22: Userinterface von Surfer	30
Abbildung 23: Darstellung des Schmidt'schen Netzes (K. W. John und R. Deutsch 2013) ...	31
Abbildung 24: Überblick Aufschlüsse 1-15.....	32
Abbildung 25: Überblick aller Aufschlüsse (Orthofoto)	33
Abbildung 26: Foto Aufschluss 1	34
Abbildung 27: Foto Aufschluss 2	35
Abbildung 28: Foto Aufschluss 3	36
Abbildung 29: Foto Aufschluss A 4.4.....	37
Abbildung 30: Foto Feingeschieferte Grauwacke (Phyllit).....	38
Abbildung 31: Foto Aufschluss 5	40
Abbildung 32: Foto Aufschluss 6	41
Abbildung 33: Foto Aufschluss 7	43
Abbildung 34: Foto Aufschluss 8	44
Abbildung 35: Foto Aufschluss 9	45
Abbildung 36: Foto Aufschluss 10	46
Abbildung 37: Foto Aufschluss 11	47
Abbildung 38: Foto Aufschluss 12	48
Abbildung 39: Foto Aufschluss 13	49
Abbildung 40: Foto Aufschluss 14	50
Abbildung 41: Foto Aufschluss 15	52
Abbildung 42: Foto Aufschluss 16	54
Abbildung 43: Foto Aufschluss 17 mit Professor Liu.....	55
Abbildung 44: Definition des Marklandbereichs (K. W. John und R. Deutsch 2013)	56
Abbildung 45: Überblick der Polpunkte sämtlicher Gefügedaten mit Häufigkeitskontur.....	58
Abbildung 46: Statistische Verteilung der Einfallsrichtungen im gesamten Gebiet.....	59
Abbildung 47: Überblick der Polpunkte der Gefügedaten im Konglomerat-Bereich mit Häufigkeitskontur.....	60
Abbildung 48: Statistische Verteilung der Einfallsrichtungen im Konglomerat-Bereich.....	60
Abbildung 49: Überblick der Polpunkte der Gefügedaten im Grauwacken-Bereich mit Häufigkeitskontur.....	62

Abbildung 50: Statistische Verteilung der Einfallrichtungen im Grauwacken-Bereich.....	62
Abbildung 51: Überblick der Polpunkte der Gefügedaten im Blasseneck-Porphyr-Bereich	64
Abbildung 52: Statistische Verteilung der Einfallrichtungen im Blasseneck-Porphyr - Bereich.....	64
Abbildung 53: Übersicht über primäre Rutschbereiche.....	66
Abbildung 54: Kleine Kendler Rutschung (CloudCompare)	67
Abbildung 55: Große Kendler Rutschung (CloudCompare)	68
Abbildung 56: Grabenstruktur am östlichen Rand der Großen Kendler Rutschung.....	69
Abbildung 57: Oberer Bereich der Großen Kendler Rutschung	69
Abbildung 58: Veränderte Vegetation bzw. Abbruchstrukturen im Bereich knapp ober der Brandschinkgrabenrutschung.....	69
Abbildung 59: Brandschinkgraben Rutschung (CloudCompare).....	70
Abbildung 60: Brandschinkgraben Rutschung li. 2000 (Quelle WLV Liezen) re. 2017	71
Abbildung 61: Orthofotographie der Brandschinkrutschung 2015 li., 2016 re.....	71
Abbildung 62: Rinne am südöstlichen Ende der Brandschinkgraben Rutschung	72
Abbildung 63: Mächtige Blöcke im oberen Bereich der Brandschinkgraben Rutschung.....	73
Abbildung 64: Westlicher Hang des Brandschinkgrabens (CloudCompare).....	74
Abbildung 65: Östlicher Hang (CloudCompare).....	75
Abbildung 66: Bachgraben (CloudCompare).....	76
Abbildung 67: Übersicht der Böschungswinkel im gesamten Gebiet (CloudCompare)	77
Abbildung 68: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 1 (Stereonet).....	78
Abbildung 69: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 2 (Stereonet).....	79
Abbildung 70: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 3 (Stereonet).....	80
Abbildung 71: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.1 (Stereonet)	81
Abbildung 72: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.2 (Stereonet)	82
Abbildung 73: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.3 (Stereonet)	83
Abbildung 74: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.4 (Stereonet)	84
Abbildung 75: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.5 (Stereonet)	85
Abbildung 76: Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 4.6 (Stereonet)	86

Abbildung 77:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 5 (Stereonet).....	87
Abbildung 78:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 6 (Stereonet).....	88
Abbildung 79:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 7 (Stereonet).....	89
Abbildung 80:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 8 (Stereonet).....	90
Abbildung 81:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 9 (Stereonet).....	91
Abbildung 82:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 10 (Stereonet).....	92
Abbildung 83:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 11 (Stereonet).....	93
Abbildung 84:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 12 (Stereonet).....	94
Abbildung 85:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 13 (Stereonet).....	95
Abbildung 86:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 14 (Stereonet).....	96
Abbildung 87:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 15 (Stereonet).....	97
Abbildung 88:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 16 (Stereonet).....	98
Abbildung 89:Kinematische Analyse der Gefügedaten von Aufschluss 17 (Stereonet).....	99
Abbildung 90: Ingenieurgeologische Karte (erstellt mit Surfer)	100
Abbildung 91: Profil 1 (erstellt mit Surfer) Angaben in m.....	101
Abbildung 92: Profil 2 (erstellt mit Surfer) Angaben in m.....	101
Abbildung 93: Profil 3 (erstellt mit Surfer) Angaben in m.....	102
Abbildung 94: Orthografische Ingenieurgeologische Karte (erstellt mit Surfer)	103
Abbildung 95: Ingenieurgeologische Karte 3D (erstellt mit Surfer).....	104
Abbildung 96: Orthografische Ingenieurgeologische Karte (erstellt mit Surfer)	104

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gefügedaten A1.....	34
Tabelle 2: Gefügedaten A2.....	35
Tabelle 3: Gefügedaten A3.....	36
Tabelle 4: Gefügedaten A4.....	39
Tabelle 5: Gefügedaten A5.....	40
Tabelle 6: Gefügedaten A6.....	42
Tabelle 7: Gefügedaten A7.....	43
Tabelle 8: Gefügedaten A8.....	44
Tabelle 9: Gefügedaten A9.....	45
Tabelle 10: Gefügedaten A10.....	46
Tabelle 11: Gefügedaten A11.....	47
Tabelle 12: Gefügedaten A12.....	48
Tabelle 13: Gefügedaten A13.....	49
Tabelle 14: Gefügedaten A14.....	51
Tabelle 15: Gefügedaten A15.....	53
Tabelle 16: Gefügedaten A16.....	54
Tabelle 17: Gefügedaten A17.....	55

10. Literaturverzeichnis

Fleming, Robert W.; Johnson, Arvid M. (1989): Structures associated with strike-slip faults that bound landslide elements. In: *Engineering Geology* 27 (1-4), S. 39–114. DOI: 10.1016/0013-7952(89)90031-8.

K. W. John und R. Deutsch (2013): Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik. Einführung und Beispiele. TU Graz. Institut für Felsmechanik und Tunnelbau.

Oberhänsli, Roland; Bousquet, Romain; Engi, Martin; Goffé, B.; Gosso, G.; Handy et al. (2004): Metamorphic Structure of the Alps. In: *CCGM (Commission of the Geological Maps of the World), Paris*.

Pestal, G.; Hejl, E.; Braunstingl, R.; Schuster, R. (2009): Erläuterungen Geologische Karte von Salzburg 1: 200000. In: *Geologische Bundesanstalt, Wien* 162.

Schmid, Stefan M.; Fügenschuh, Bernhard; Kissling, Eduard; Schuster, Ralf (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. In: *Eclogae Geologicae Helvetiae* 97 (1), S. 93–117.

Schmid, Stefan M.; Scharf, Andreas; Handy, Mark R.; Rosenberg, Claudio L. (2013): The Tauern Window (Eastern Alps, Austria): a new tectonic map, with cross-sections and a tectonometamorphic synthesis. In: *Swiss J Geosci* 106 (1), S. 1–32. DOI: 10.1007/s00015-013-0123-y.

Schuster, R.; Koller, F.; Hoeck, V.; Hoinkes, G.; Bousquet, R. (2004): Explanatory notes to the map: metamorphic structure of the Alps—metamorphic evolution of the Eastern Alps. In: *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft* 149, S. 175–199.

Schuster, Ralf (2015): Grauwackenzone und Veitsch-Silbersberg-Deckensystem.

Stüwe, Kurt; Schuster, Ralf (2010): Initiation of subduction in the Alps: Continent or ocean? In: *Geology* 38 (2), S. 175–178. DOI: 10.1130/G30528.1.

Wagner, Stefan (2015): Tektonische Entwicklung des Schladminger Deckensystems im Bereich der Steirischen und Lungauer Kalkspitze. Masterarbeit. Universität Graz, Graz. Institut für Erdwissenschaften.

WLV Liezen (1995): Technischer Bericht zum Verbauungsprojekt 1995 für den Brandschinkbach. WLV Liezen.

WLV Liezen (2019): Wildbachblatt_Gaishorn am See_Brandschinkbach.

Wölfler, Andreas; Kurz, Walter; Fritz, Harald; Stüwe, Kurt (2011): Lateral extrusion in the Eastern Alps revisited: Refining the model by thermochronological, sedimentary, and seismic data. In: *Tectonics* 30 (4).