



Marco Koos

Rutschung Gumpenberg

geologisch-geotechnische Untersuchungen

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science
Masterstudium Erdwissenschaften

eingereicht an der
Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte

Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat Liu Qian

Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Graz, Mai 2017

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.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Statutory declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

.....

(signature)

Danksagung

Ich möchte mich recht herzlich bei meinem Erstbetreuer Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte für seine kritischen und motivierenden Diskussionen, als auch für seine fachspezifischen Anmerkungen danken. Ein weiterer Dank gilt auch Herrn Ao. Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat Qian Liu, der mir vor allem bei meinen geologischen Fragestellungen sehr geholfen hat, sowie Herrn Mag. Hermann Michael Konrad vom Land Steiermark, der es mir überhaupt erst ermöglicht hatte diese Masterarbeit durchzuführen. Weiters ist auch Herr Gerhard Schütter, Bürgermeister der Gemeinde Haus i. Ennstal und dessen Sekretärin Frau Michaela Schnepfleitner dankend zu erwähnen, die mir besonders für organisatorische Angelegenheiten sehr tatkräftig zur Seite standen.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meinen Eltern Walter und Friederike bedanken, die mich während meines ganzen Studiums tatkräftig, sowohl mental, als auch finanziell unterstützt haben. Zusätzlich möchte ich mich sowohl bei meinen Brüdern Carlo und David, als auch bei meinen Schwägerinnen Nina und Guggi bedanken, ihr Seid ein ganz besonders wichtiger Baustein für mein Leben und ich danke euch für eure motivierenden, aufbauenden Gespräche während meines ganzen Studiums. Ein ganz besonderer Dank gilt Guggi, da sie mir durch ihr geologisches Fachwissen bei vielen fachspezifischen Fragen zur Seite stand und auch die Arbeit des Korrekturlesens auf sich nahm.

Zu guter Letzt möchte ich noch meinen Freunden Philipp, Angi, Christian, Sophie, Rosi, Julia, Jakob, Miriam, Clemens, Felix, Markus, Michael, Ruth, Sebastian und Volker uvm. ein ganz besonderes Dankeschön aussprechen, da mir eure Anwesenheit und Gespräche mit euch ganz besonders geholfen haben bzw. eine wichtige Ablenkung waren.

Kurzfassung

Diese Arbeit behandelt eine aktive Rutschung am Gumpenberg in der Gemeinde Haus im Ennstal mit einer Fläche von ungefähr 3260 m². Diese zeigte während den geodätischen Messungen in den Jahren 2013 bis 2014 Bewegungen von mehreren cm/Jahr an. Da für die vorliegende Massenbewegung mehrere Ursachen als Auslöser infrage kommen, wurde ein ca. 2,5 km² großes Arbeitsgebiet bearbeitet. Dabei wurde vor allem auf die geologischen und geomorphologischen Rahmenbedingungen geachtet.

Eine im Bereich der Rutschung verlaufende Gemeindestraße wurde aufgrund des Rutschungsereignisses im Jahr 2013 saniert. Nach Starkniederschlägen kommt es allerdings noch immer zum Ausfließen von Erdbreimassen auf die darunterliegende Straße. Aufgrund dieser Tatsache soll die Ausdehnung bzw. die Art der Rutschung sowie mögliche Bewegungsmuster charakterisiert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden eine ingenieurgeologische Karte erstellt, eine Erkundungsbohrung ausgeführt und dokumentiert, geodätische Messdaten und Inklinometermessungen ausgewertet und interpretiert, ein geologisch-geotechnisches Untergrundmodell erstellt und kinematische Analysen, sowie Standsicherheitsanalysen durchgeführt.

Die Erkenntnisse der Literaturrecherche, der ingenieurgeologischen Kartierung und der Kernbohrung wurden mit den geodätischen Messdaten verglichen und daraus mögliche Zusammenhänge abgeleitet. Auf Basis dessen ist das geologisch-geotechnische Untergrundmodell entstanden, welches als Grundlage für die Standsicherheitsanalyse dient.

Die Zusammenschau aller Ergebnisse lässt vermuten, dass das tektonisch stark beanspruchte Gebirge – welches in Zusammenhang mit der Bergzerreißenung des Hauser Kaibling (Van Husen 1987b) und der tektonischen Überprägung durch die Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung steht – und die ungünstige Orientierung der Schieferungsflächen die möglichen Ursachen des Rutschungsereignisses im Jahr 2013 waren. Die klimatischen Verhältnisse (Niederschlag) könnten Auslöser gewesen sein. Untergeordnet könnten anthropogene Einflüsse eine Rolle gespielt haben.

Zur Ausarbeitung eines detaillierten Sanierungskonzeptes wäre die genaue Erfassung der Gleitfläche notwendig. Nachdem bis dato erst eine Wiederholungsmessung des 2016 installierten Inklinometers im Bereich der Rutschung vorliegt, lässt sich noch kein Trend erkennen. Aufgrund dessen wurden drei mögliche Schadensszenarien mit dementsprechenden Sanierungsansätzen erarbeitet.

Abstract

An active landslide, situated at the Gumpenberg in Haus im Ennstal, Austria is covered in this thesis. The landslide spans over an area of approximately 3260 m² and showed continuous movements of several centimetres per year throughout the geodetic measurements from 2013 to 2014. Due to a broad variety of potential trigger mechanisms, an area of about 2.5 km² was processed, wherein the focus was on geologic and geomorphic aspects.

The remediation work on the affected road was completed in 2013. However, heavy rainfall still causes earth flows on the street below. Therefore, dimensions of the landslide as well as possible movement patterns are to be characterised.

To achieve the set goals, the following aspects were covered in this thesis: an engineering-geological mapping was compiled, an exploratory drilling was implemented and documented, geodetic measurement-data were collected, analysed and interpreted, a geologic-geotechnical underground-model was conceived and kinematic- as well as stability-analysis were created.

As the findings of the literature research, the engineering-geological mapping and the exploratory drilling were compared with the geodetic measurement-data, possible correlations were deduced. Hence the geologic-geotechnical underground-model could be developed, which was used as a basis for the stability analysis.

Taking all available facts and findings into account, it can be assumed that the combination of a broad variety of aspects led to the investigated landslide: on the one hand, there is a tectonically highly-stressed rock-mass (especially seen in the context of the gravitation deformation extending deep into the mountain slopes of the Hauser Kaibling (Van Husen 1987b) and the tectonic superimposition of the Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Fault), on the other hand the adverse orientation of the schistosity planes. Furthermore, climatic conditions could be a trigger, but also anthropologic effects may have had an impact.

For a possible remediation concept, it would be essential to exactly determine the slip plane. Nevertheless, there is only one existing inclinometer-measurement with a corresponding reference measurement so far, which is not sufficient to identify a trend. Therefore, three potential damage scenarios and corresponding remediation concepts were developed.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund und Veranlassung	1
1.2	Fragestellung und Zielsetzung.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Untersuchungsgebiet.....	5
2.1	Geographische Lage	6
2.2	Regionale Geologie	7
2.2.1	Geologischer Überblick des Ennstals (Mandl, Matura, et al. 2014).....	7
2.2.2	Geologischer Aufbau des Ennstals	10
2.2.3	Die Entwicklung der Alpen.....	12
2.3	Geomorphologische und quartäre Entwicklung des Ennstals	16
2.3.1	Glazial (Pleistozän).....	16
2.3.2	Interglazial (Holozän).....	18
2.3.3	Übertiefung und glaziale Erosion.....	18
2.4	Hydrogeologie.....	20
3	Klassifizierung von Massenbewegungen.....	22
3.1	Bewegungsarten von Rutschungen.....	22
3.1.1	Fallen (Falls).....	22
3.1.2	Kippen (Topple).....	23
3.1.3	Rutschen bzw. Gleiten.....	24
3.1.4	Fließen (Flows).....	26
3.1.5	Komplexe Rutschungstypen.....	31
3.2	Tiefenlage von Gleitflächen	32
3.3	Bewegungsrate.....	33
3.4	Ursachen und Auslöser von Rutschungen	33
3.4.1	Geologische Randbedingungen und Verwitterungsprozesse.....	33
3.4.2	Morphologische Ursachen.....	34

3.4.3	Hydrologische Ursachen.....	34
3.4.4	Vegetation und anthropogene Einflüsse.....	35
4	Erkundung.....	37
4.1	Vorauswertung vorhandener Daten und Literatur.....	37
4.2	Ingenieurgeologische Kartierung	37
4.2.1	Geländeaufnahme	38
4.2.2	Beschreibung der lithologischen Einheiten.....	39
4.2.3	Beschreibung des Trennflächengefüges	50
4.2.4	Erläuterungen zur ingenieurgeologischen Kartierung.....	55
4.3	Erkundungsbohrung KB-01/16.....	65
4.3.1	Ergebnisse aus der KB-01/16.....	65
4.4	Messtechnische Überwachung	70
4.4.1	Geodätische Oberflächenmessungen	71
4.4.2	Inklinometermessungen.....	74
4.4.3	Niederschlagsdaten	76
5	Geologisch-geotechnisches Untergrundmodell	79
5.1	Erläuterungen zu Profil A-A'.....	81
5.2	Erläuterungen zu Profil B-B'.....	83
6	Kinematische Analysen.....	85
6.1	Ebenes Gleiten	85
6.2	Keilgleiten	87
6.3	Kippen.....	89
7	Standsicherheitsanalyse	92
7.1	Lamellenverfahren	92
7.2	Modellbildung.....	93
7.3	Berechnung der Standsicherheit mit Slide 6.0.....	94
7.3.1	Suchmethode für die Ermittlung der Gleitfläche	94
7.3.2	Berechnung der verschiedenen Varianten	95
8	Sanierungsansätze	112

8.1	Schadensszenario 1	112
8.1.1	Oberflächendrainage	112
8.1.2	Ingenieurbiologische Maßnahmen	113
8.1.3	Steinstützkörper.....	113
8.1.4	Bodenvernagelung	114
8.2	Schadensszenario 2	115
8.2.1	Tiefendrainage.....	115
8.2.2	Dübel und Stützscheiben.....	116
8.2.3	Ankerwände.....	117
8.3	Schadensszenario 3	117
9	Zusammenfassung und Ausblick	119
9.1	Ausblick	122
10	Literaturverzeichnis	123
11	Anhang	130
I.	Verwitterungsklassifikation (in Anlehnung an FGSV (1992) und EN ISO 14689-1 2003)	130
II.	Gefügedaten.....	130
III.	Bohrkerndokumentation.....	132
IV.	Profile.....	133
V.	Datenblätter der Kinematischen Analysen	134
VI.	Datenblätter der Standsicherheitsanalysen	135
VII.	Ingenieurgeologische Karte	136

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Gumpenbergrutschung im Juni 2013 kurz nach dem Rutschungsereignis; Aufnahme: Das Land Steiermark (2013).....	1
Abb. 2-1: Geographische Lage des Arbeitsgebietes; Kartengrundlage: Basemap; eigene Zusammenstellung.....	5
Abb. 2-2: Hangneigungskarte; Kartengrundlage: ALS-Daten (Das Land Steiermark 2016); eigene Zusammenstellung in ArcGIS (ESRI 2014).....	6
Abb. 2-3: Tektonische Übersichtskarte Blatt 127, umgezeichnet nach (Mandl, Hejl, et al. 2014).....	8
Abb. 2-4: Paläogeographische Entwicklung der Kontinente vom Mesozoikum bis Paläogen. Kontinente: hellgrau; Ozeane: dunkelgrau nach (Schuster & Stüwe 2010).	15
Abb. 2-5: Rekonstruktion der Gletscherhöchststände und Eisstromnetze im Gschnitz und Würm nach (Mandl, Hejl, et al. 2014).....	17
Abb. 2-6: Lage der Quellen der Marktgemeinde Haus (GIS Steiermark 2017).....	21
Abb. 3-1: schematische Skizze von einem Felssturz (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)	22
Abb. 3-2: schematische Skizze von Kippversagen (umgezeichnet nach Geological Survey of Canada 2017)	23
Abb. 3-3: schematische Skizze einer Rotationsrutschung (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008).....	24
Abb. 3-4: schematische Skizze einer Translationsrutschung (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008).....	25
Abb. 3-5: schematische Skizze für laterales Driften (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)	26
Abb. 3-6: schematische Skizze für eine Mure (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)	27
Abb. 3-7: schematische Skizze für einer Schuttlawine (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)	28
Abb. 3-8: schematische Skizze für Erdfließen (umgezeichnet nach Geological Survey of Canada 2017)	28
Abb. 3-9: Schematische Skizze einer Kriechbewegung (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)	30
Abb. 3-10: Bergzerreißung (1) und Talzus Schub (2) in einem Talhang (umgezeichnet nach Krauter 1996)	31

Abb. 3-11: mehrfach rückschreitende Rutschung in einer Sandstein/Tonstein-Wechselfolge (umgezeichnet nach Prinz & Strauß 2011).....	32
Abb. 4-1: Übersichtskarte aus Google Earth (Google 2016) mit allen Wegpunkten des Untersuchungsgebietes.....	38
Abb. 4-2: Anthropogene Anschüttung mit Bruchstücken, Foto aus Bohrkernokumentation	40
Abb. 4-3: typische Eisrandterrassen-sedimente mit schlecht sortierten Komponenten und Phyllitbruchstücken im Vordergrund.....	40
Abb. 4-4: glazial geprägte Landschaft (links), sowie typisches Erscheinungsbild einer Moräne im Arbeitsgebiet (rechts)	41
Abb. 4-5: charakteristisches Erscheinungsbild von Rutschmassen im Arbeitsgebiet; a, b: WP90 direkt bei der Gumpenbergrutschung; c (WP24), d (WP14): beide im Gumpenbach-graben aufgenommen	42
Abb. 4-6: Phyllitaufschluss: Sf-parallele Störung und außerordentlich engständig zerlegter Bereich bei WP3.....	43
Abb. 4-7: Phyllitaufschluss mit mäßig entfestigten (links: WP10) und stark entfestigten Bereichen (rechts WP16)	44
Abb. 4-8: steil nach Süden einfallende Kluftscharen bei WP5	45
Abb. 4-9: Gefügedatenplot (links) und Richtungsrose (rechts) der Schieferungsflächen im Phyllit	45
Abb. 4-10: Grünschiefer mit eingelagerter Quarzlage (weiß) im unteren Bereich.....	46
Abb. 4-11: Grünschieferaufschluss östlich am Fuße der Gumpenbergrutschung bei WP94.....	46
Abb. 4-12: Grünschieferaufschluss mit mäßig entfestigten (links: WP29) und stark entfestigten Bereichen (rechts: WP45).....	47
Abb. 4-13: Gefügedatenplot (links) und Richtungsrose (rechts) der Sf vom Grünschiefer	47
Abb. 4-14: feinblättrig bis plattiges Erscheinungsbild eines phyllitischen Glimmerschiefers bei WP71	48
Abb. 4-15: charakteristischer phyllitischer Glimmerschiefer im Gumpenbachgraben bei WP35.....	48
Abb. 4-16: Gefügedatenplot (links) und Richtungsrose (rechts) der Sf vom phyllitischen Glimmerschiefer	49
Abb. 4-17: Gefügedatenplot aller Schieferungsflächen im Arbeitsgebiet	50
Abb. 4-18: Gefügedatenplot aller Störungen im Arbeitsgebiet	51

Abb. 4-19: tektonische Störungszone im Phyllit bei WP 58 mit Hauptbewegungsfläche rechts neben Kernzone	52
Abb. 4-20: anastomisierende Zweigverschiebungen bei WP33.....	52
Abb. 4-21: Gefügedatenplot aller Klüfte im Arbeitsgebiet	54
Abb. 4-22: Aufschluss bei WP 7 mit mittel- bis weitständigen Klufscharen K1 und K254	
Abb. 4-23: Sekundärabriss bei der Gumpenbergrutschung (oben) und Ausschwämmen der Rutschmasse durch Niederschläge (unten).....	56
Abb. 4-24: Gumpenbergrutschung im Mai 2016	57
Abb. 4-25: Hangneigungen im Bereich der Gumpenbergrutschung	57
Abb. 4-26: Ausschnitt Gumpenbergrutschung von ingenieurgeologischer Kartierung; die blauen Polylinien im Ausschnitt sind keine kartierten Bäche, sondern von ArcGIS 10.3 (ESRI 2014) errechnete Fließpfade aus dem Digitalen Höhenmodell	58
Abb. 4-27: charakteristisches Bild vom Gumpenbachgraben	59
Abb. 4-28: phyllitische Felstürme im Bereich des Gumpenbachgrabens bei WP27	60
Abb. 4-29: Vernässungszone in Eisrandterrassensedimente bei WP13.....	61
Abb. 4-30: Abrisskante (oben) und Verebnungsfläche mit Zerrspalte (unten) bei WP15	61
Abb. 4-31: Säbelwuchs	62
Abb. 4-32: Rotationsrutschung bei WP50	63
Abb. 4-33: Ingenieurgeologische Kartierung vom Gumpenberg	64
Abb. 4-34: Lageplan der Bohrung KB-01/16.....	65
Abb. 4-35: Bohrkern KB-01/16 0 – 15 m	68
Abb. 4-36: Bohrkern KB-01/16 15 – 30 m	69
Abb. 4-37: Bohrkern KB-01/16 30 – 39 m	70
Abb. 4-38: Lageplan der geodätischen Messpunkte.....	71
Abb. 4-39: Verschiebungsvektoren im Zeitraum von September 2013 bis November 2014.....	72
Abb. 4-40: Zeitverschiebungsdiagramm Punkt 109	73
Abb. 4-41: Zeitverschiebungsdiagramm Punkt 110	74
Abb. 4-42: Inklinometerauswertung der Null- sowie der ersten Folgemessung.....	75
Abb. 4-43: Tagesniederschlag (blau) und Niederschlagssumme (rot) vom Jahr 2013 der Messstelle Birnberg des Hydrographischen Dienstes Steiermark – an der linken y-Achse ist der Tagesniederschlag und auf der rechten Seite der y-Achse ist die Gesamtniederschlagssumme in Millimeter gegenüber dem Datum an der x-Achse aufgetragen.....	77

Abb. 4-44: Tagesniederschlag (blau) und Niederschlagssumme (rot) vom Jahr 2014 der Messstelle Birnberg des Hydrographischen Dienstes Steiermark - an der linken y-Achse ist der Tagesniederschlag und auf der rechten Seite der y-Achse ist die Gesamtniederschlagssumme in Millimeter gegenüber dem Datum an der x-Achse aufgetragen.	77
Abb. 4-45: Niederschlagssummenvergleich der Jahre 2012 bis 2016 von der Messstelle Birnberg des Hydrographischen Dienstes Steiermark	78
Abb. 5-1: Untergrundmodell Profil A-A'	82
Abb. 5-2: Untergrundmodell Profil B-B'	84
Abb. 6-1: kinematische Analyse – ebenes Gleiten Variante 1 mit $\varphi = 30^\circ$	86
Abb. 6-2: kinematische Analyse – ebenes Gleiten Variante 2 mit $\varphi = 25^\circ$	87
Abb. 6-3: schematische Abbildung eines Keilversagens.....	88
Abb. 6-4: kinematische Analyse – Keilgleiten Variante 1 mit $\varphi = 30^\circ$	88
Abb. 6-5: kinematische Analyse – Keilgleiten Variante 2 mit $\varphi = 25^\circ$	89
Abb. 6-6: kinematische Analyse – Kippen Variante 1 mit $\varphi = 30^\circ$	90
Abb. 6-7: kinematische Analyse – Kippen Variante 2 mit $\varphi = 25^\circ$	90
Abb. 6-8: phyllitische Felstürme im Bereich des Gumpenbachgrabens bei WP27	91
Abb. 7-1: untere linke Abbildung: Modell der Gumpenbergrutschung aus Slide; rechts oben: dazugehörige Kräfte, die auf jede einzelne Lamelle einwirken (umgezeichnet nach Dold 2016).....	93
Abb. 7-2: Berechnungsmodell Profil A-A' mit den Wasserständen W1 und W2	97
Abb. 7-3: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil A-A' Variante 1, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price	98
Abb. 7-4: Modell von Variante 1 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten).....	99
Abb. 7-5: Tiefe des Gleithorizonts im Profil A-A' Variante 1 in Slide	100
Abb. 7-6: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil A-A' Variante 2, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price ..	101
Abb. 7-7: Modell von Variante 2 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten).....	102
Abb. 7-8: Tiefe des Gleithorizonts aus berechneten Modell Profil A-A' Variante 2 in Slide	103
Abb. 7-9: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil B-B' Variante 1, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price ..	105
Abb. 7-10: Modell von Variante 1 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten).....	106

Abb. 7-11: Tiefe des Gleithorizonts aus berechneten Modell Profil B-B' Variante 1 in Slide	107
Abb. 7-12: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil B-B' Variante 2, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price ...	108
Abb. 7-13: Modell von Variante 2 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten)	109
Abb. 7-14: Tiefe des Gleithorizonts aus berechneten Modell Profil B-B' Variante 2 in Slide	110
Abb. 8-1: Graben mit Betonhalbschalen (nach Krättli & Schwarz 2015).....	113
Abb. 8-2: Böschungssicherung mit Steinstützkörpern (nach Boley 2012)	114
Abb. 8-3: Bodenvernagelungen: Nagelwand (a), Sicherung einer Rutschung, Hangsicherung mit Treppenprofil (c) (Informationsmaterial der Bauer Spezialtiefbau GmbH n.d.).....	114
Abb. 8-4: schematische Darstellung eines Tiefdrainageschlitzes (nach Bley 1976)...	115
Abb. 8-5: Hangsicherung und Dübelwiderstand bei Stützscheiben (a) und Pfahldübeln (b) (nach Gudehus & Al. 1996)	116
Abb. 8-6: Fertigung einer Ankerwand in Etagen von oben nach unten (nach Brandl 2009)	117
Abb. 9-1: möglicher Abriss (roter Bereich) der Bergzerreißung am Hauser Kaibling (Google 2016)	121

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1: Tiefenlage der Gleitfläche (nach Zaruba & Menci 1961)	32
Tab. 3-2: Bewegungsgeschwindigkeit (nach Prinz & Strauß 2011)	33
Tab. 4-1: Verschiebungsvektoren im Zeitraum von 16.09 bis 05.11.2014.....	73
Tab. 7-1: Materialparameter vom Modell – Profil A-A' Variante 1	96
Tab. 7-2: Materialparameter vom Modell – Profil A-A' Variante 2.....	96
Tab. 7-3: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil A-A' Variante 1.....	100
Tab. 7-4: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil A-A' Variante 2.....	103
Tab. 7-5: Materialparameter vom Modell – Profil B-B' Variante 1	103
Tab. 7-6: Materialparameter vom Modell – Profil B-B' Variante 2.....	104
Tab. 7-7: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil B-B' Variante 1.....	106
Tab. 7-8: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil B-B' Variante 2.....	109

Formelzeichen und Abkürzungen

Griechische Buchstaben

γ	[N/m ³] Wichte
γ_w	[N/m ³] Wichte des Wassers
φ	[°] innerer Reibungswinkel des Bodens
ρ	[kg/m ³] Dichte
ρ_w	[kg/m ³] Dichte des Wassers

Abkürzungen

SEMP	Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung
Ma.	Millionen Jahre
Sf	Schieferungsfläche
K	Klufffläche
St	Störungsfläche

1 Einleitung

Im ersten Kapitel der gegenständlichen Arbeit wird die vorliegende Rutschung überblicksmäßig beschrieben, sowie die Veranlassung dieser Arbeit kurz erläutert. Die folgenden Unterkapitel befassen sich mit der Zielsetzung und der für diese Arbeit angewandten Methodiken.

1.1 Hintergrund und Veranlassung

Die untersuchte Rutschung liegt am Nordhang des Gumpenberges, nahe der Steinwandkehre im oberen Ennstal auf ca. 1.058 m ü. Adria und befindet sich im Ortsteil Ruperting in der Gemeinde Haus i. Ennstal (siehe Kapitel 2). Es handelt sich hierbei um eine aktive Massenbewegung, bei der es im Juni 2013 durch Starkregenereignisse zum Abrutschen der bergseitigen Böschung der Gemeindestraße bis auf die darunterliegende Straße kam (siehe Abb. 1-1). An der bergseitigen Weide und an der Straße kam es zu vermehrten Rissbildungen, die damals schon auf eine Bewegung im Hang hindeuteten. Die ca. 40 m darüber liegenden Gebäude hingegen wiesen keine Risse auf. Zum damaligen Zeitpunkt führte auch noch die örtliche Trinkwasserleitung durch den Rutschhang. Diese wurde durch die Bewegung im Hang beschädigt, Wasser wurde in die Rutschmasse eingeleitet wodurch es zusätzlich zu einer Destabilisierung der ohnehin schon sehr stark zerrütteten Phyllite kam.



Abb. 1-1: Gumpenbergrutschung im Juni 2013 kurz nach dem Rutschungsereignis; Aufnahme: Das Land Steiermark (2013)

Daraufhin wurde im Zuge der bergseitigen Straßenverlegung auch die Wasserhaltung und die oberflächlichen Wässer durch Einziehen von Drainagen und Rohren adaptiert.

Zur Kontrolle bzw. Überwachung der Hangbewegungen wurden für einen Zeitraum von einem Jahr 15 Vermessungsmarker geodätisch vermessen. Die insgesamt 15 Messpunkte wurden inklusive Nullmessung sechs Mal gemessen und widerspiegeln eine Bewegung nach Nordost, die in etwa dem Einfallen der Schieferung im Hang folgt.

Um einen besseren Überblick über die Rutschungsphänomene und Mechanismen in diesem Gebiet zu bekommen wurde im Rahmen der gegenständlichen Arbeit im Mai 2016 eine ingenieurgeologische Kartierung durchgeführt. Für eine detaillierte Erfassung des Untergrundes und die dauerhafte Überwachung der Rutschung wurde auf der Gumpenbergstraße im Oktober 2016 eine Kernbohrung mit einer Tiefe von 39 m abgeteuft. Zusätzlich wurde diese Bohrung mit einem Inklinometerrohr ausgebaut um einen höheren Informationsgewinn über die Bewegungen im Hang zu erhalten.

Die vorliegende Arbeit soll das Gefährdungspotential dieser Rutschung aufzeigen und als Grundlage für mögliche Sicherungs- und Sanierungskonzepte dienen.

1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Diese Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit dem Land Steiermark, Fachabteilung 17B unter der Leitung von Herrn Mag. Hermann M. Konrad durchgeführt.

Die geodätischen Messungen der Jahre 2013 bis 2014 bestätigten deutliche Bewegungsraten bis max. 46 cm in einem Jahr im Zentralteil (siehe Abb. 4-39) Punkte 109, 110) der Rutschung. Die talseitigen Messpunkte 111 und 112 (siehe Abb. 4-38) am Straßenrand der unteren Straße zeigen jedoch keine signifikanten Verschiebungen an. Aufgrund des zu geringen Erkenntnisgewinnes weiterer Messungen wurden diese mit Ende des Jahres 2014 eingestellt.

Danach beschloss die Gemeinde eine neue Schwarzdecke aufzuziehen, da eine dementsprechende Hangsanierung zu teuer kommen würde. Seitdem hielten sich die Bewegungen im Rahmen und es kommt überwiegend im Zentralteil der Rutschung immer wieder zum Ausfließen von lockeren Hangschuttmassen nach Starkregenereignissen.

Die folgende Arbeit soll die Grundlage für ein besseres Verständnis der Charakteristik der Rutschung und allenfalls erforderlichen Sanierungsverfahren bilden. Für die Bewer-

tung der vorliegenden Ursachen und Auslöser dienen einerseits oberflächliche Erkundungsmethoden wie die ingenieurgeologische Kartierung und andererseits auch Untergrunderkundungen wie die Kernbohrung. In weiterer Folge soll ein geologisch-geotechnisches Untergrundmodell erstellt werden und die geometrische Abgrenzung des Rutschkörpers erfolgen. Gibt es einen Zusammenhang zwischen den geodätischen Messungen und dem geologisch-geotechnischen Erkundungen.

Weitere Ziele der gegenständlichen Arbeit sind die Folgenden:

- Abschätzung des Risikopotentials
- Standsicherheitsanalysen
- Prüfen von Sanierungsmöglichkeiten

Die oben genannten Methoden sind zu einem großen Teil miteinander verknüpft und ein wichtiger Baustein für diese Arbeit.

1.3 Aufbau der Arbeit

Im zweiten Kapitel wird das Untersuchungsgebiet detailliert beschrieben. Die hier angebotenen geologischen Einheiten und tektonischen Besonderheiten werden hier erläutert. Des Weiteren wird auf die Geomorphologie und dem Einwirken von glazialen Prozessen, sowie auch dem Rückzug der Gletscher und der damit verbundenen Entlastung der Erdoberfläche eingegangen, wodurch es vermehrt zu Felsstürzen und Rutschungen kommen kann. Als Letztes wird auch noch die Hydrogeologie als treibender Faktor für Rutschungen behandelt.

Das dritte Kapitel soll einen Überblick über das Thema Massenbewegungen geben. Hier wird genauer auf die Nomenklatur, die Bewegungstypen, als auch die Auslöser und die Mechanismen eingegangen.

Das vierte Kapitel beinhaltet die Erkundung des vorliegenden Arbeitsgebietes. Dabei wird sowohl die ingenieurgeologische Kartierung, als auch die Untergrunderkundungsmaßnahmen (Kernbohrung) sowie deren Ergebnisse detailliert beschrieben. Weitere Punkte sind die für die Gumpenbergrutschung relevanten messtechnischen Überwachungsmaßnahmen. Es wird hier auch auf die Auswertung und Interpretation der gemessenen Daten eingegangen.

Im fünften Kapitel wird das geologisch-geotechnischen Untergrundmodell für die gegenständliche Rutschung erarbeitet. Dieses baut auf der im Kapitel 4 durchgeführten Maßnahmen auf.

Das sechste Kapitel beschäftigt sich mit den kinematischen Analysen, diese wurden mit dem Programm Dips 6.0 (RocScience 2012) durchgeführt. Die Gefügedaten der Festgesteine dienen als Grundlage für die Bearbeitung.

Untersuchungen zur Standsicherheit werden im siebenten Kapitel mittels Lamellenverfahren durchgeführt. Die Analyse wurde mit dem Programm Slide von RocScience durchgeführt. Für die Berechnung wurden sowohl die Kohäsion, der Reibungswinkel, als auch der Grundwasserspiegel variiert und es wird von einer nicht kreisförmigen Gleitfläche im Untergrund ausgegangen.

Für das achte Kapitel wird die Standsicherheitsanalyse sowie die vorigen Kapitel als Grundlage für mögliche Sanierungsansätze herangezogen.

2 Untersuchungsgebiet

Das Arbeitsgebiet liegt im oberen Ennstal in der Obersteiermark im Bezirk Liezen und in etwa 15 km ESE von Schladming in der Gemeinde Haus i. Ennstal im Ortsteil Ruperting (siehe Abb. 2-1). Das Arbeitsgebiet hat eine Fläche von ca. 3 km² und erstreckt sich von 770 bis 1300 m ü. Adria. Die Aufschlussverhältnisse sind bis auf die Ausnahme vom Gumpenbach- und Ennslinggraben eher rar. Der obere zentrale Teil vom Arbeitsgebiet ist durch die Gemeindestraße und mehrerer Wohnhäuser und Gehöfte zu einem Großteil vegetationslos und somit anfälliger für erosive Prozesse. Der Gumpen- und der Ennslingbach entwässern das Gebiet rund um den Gumpenberg nach Norden.

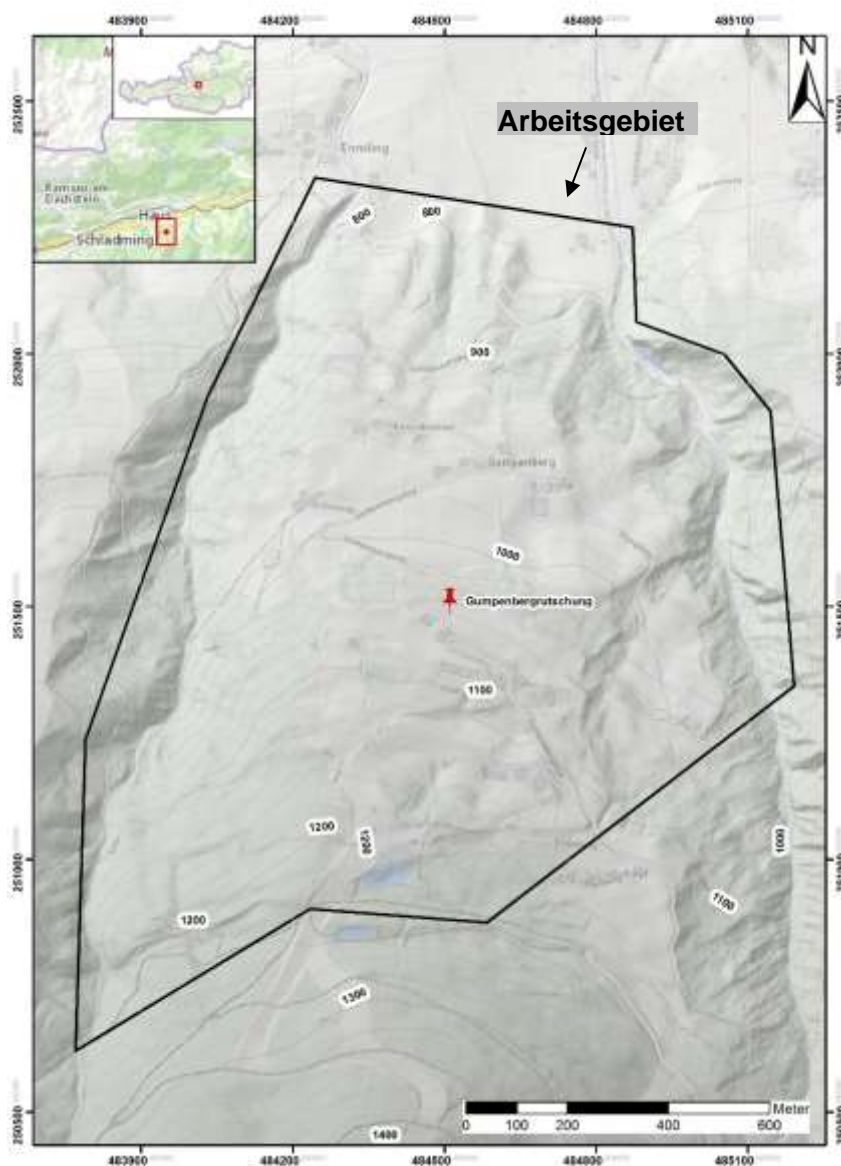


Abb. 2-1: Geographische Lage des Arbeitsgebietes; Kartengrundlage: Basemap; eigene Zusammenstellung

2.1 Geographische Lage

Die Rutschung befindet sich am Nordhang des Gumpenberges auf 1058 m ü. Adria. Der Gumpenberg erstreckt sich in etwa von Norden nach Süden und ist westlich vom Ennsling- und östlich vom Gumpenbach abgegrenzt. Etwa 3 km südlich vom Arbeitsgebiet ist die nächst höhere Erhebung der Hauser Kaibling mit 2015 m ü. Adria. Rund 400 m SSE von der Gumpenberggrutschung befindet sich das Natur- und Wellnesshotel Höflehner, wo es zugleich eine Lifтанbindung an das Schigebiet Hauser Kaibling gibt. Die Hangneigungen im Untersuchungsgebiet weisen eine starke Streuung auf, vor allem in den Gräben und in den Abrissbereichen sind die Hänge sehr steil (siehe Abb. 2-2). Südwestlich der Gumpenberggrutschung befinden sich ein Wohnhaus und ein Bauernhof, die jedoch nicht unmittelbar vom Rutschungsereignis betroffen waren.

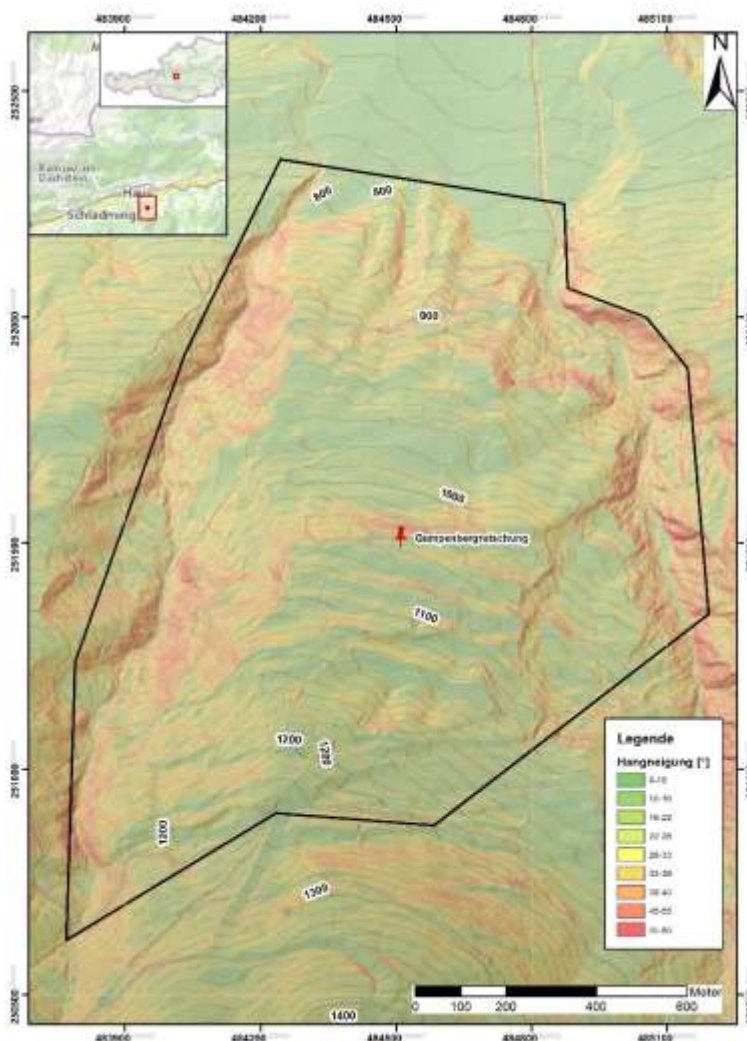


Abb. 2-2: Hangneigungskarte; Kartengrundlage: ALS-Daten (Das Land Steiermark 2016); eigene Zusammenstellung in ArcGIS (ESRI 2014)

2.2 Regionale Geologie

Als Grundlage für die Beschreibung der geologischen, sowie großtektonischen Einheiten dient das Blatt 127 Schladming der geologischen Karte der Republik Österreich inklusive deren Erläuterungen (Mandl, Hejl, et al. 2014).

2.2.1 Geologischer Überblick des Ennstals (Mandl, Matura, et al. 2014)

Das Ennstal wird durch die SEMP (Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung), die eine sinistrale Blattstörung darstellt und der Enns, die in etwa dem Verlauf der Störung folgt, in die Nördlichen Kalkalpen im Norden und die Schladminger Tauern im Süden unterteilt. Generell folgen die geologischen Einheiten einem Einfallen nach Norden, wodurch man von Norden nach Süden von den hangenden geologischen Einheiten in die Liegenden gelangt. Eine Ausnahme bildet ein schmaler Streifen im Süden im Bereich des Hochgollings wo sich ein Südfallen einstellt. Die maximalen Gipfelhöhen nehmen nach Norden hin ab, weil die kompakteren Gneise unter die Schiefer abtauchen. Dadurch ergibt sich, im Gegensatz zu den schrofferen Gipfeln der Schladminger Tauern weiter südlich, eine abgerundete Landschaft.

Tektonische Übersichtskarte

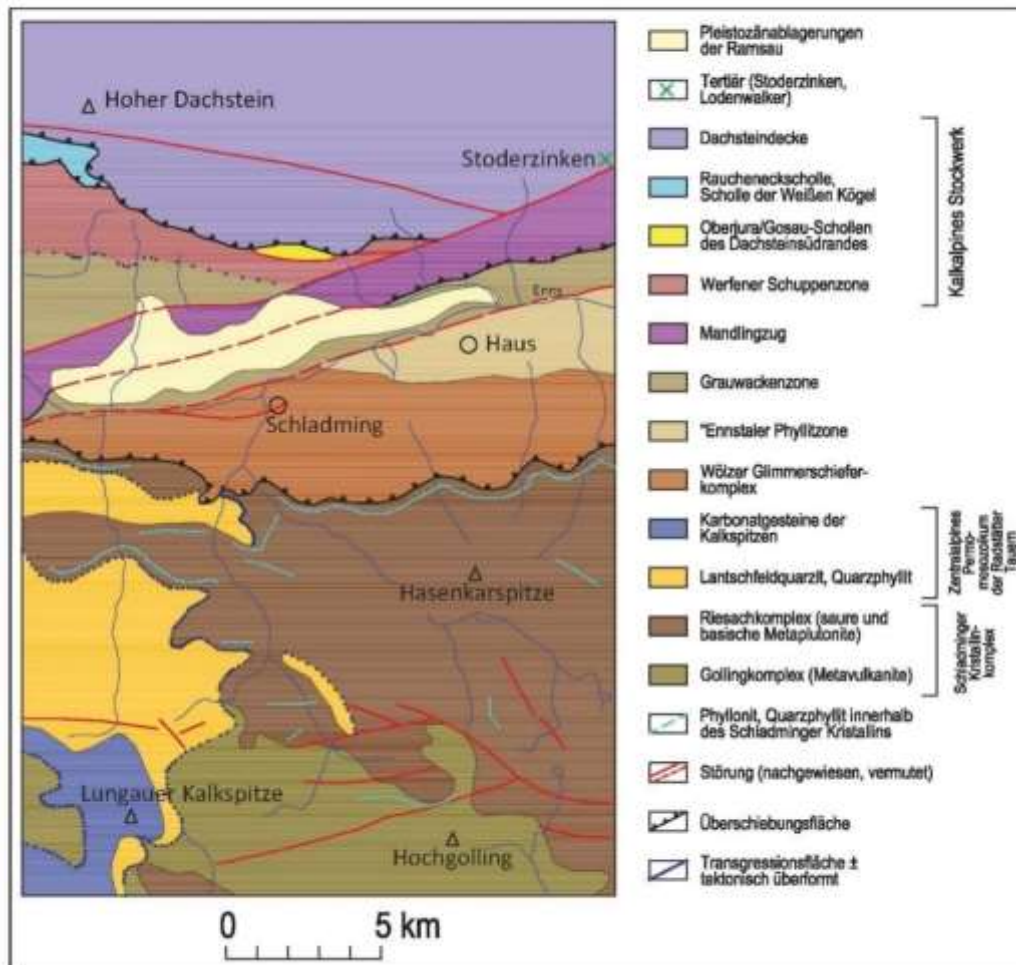


Abb. 2-3: Tektonische Übersichtskarte Blatt 127, umgezeichnet nach (Mandl, Hejl, et al. 2014)

Der Süden von Blatt 127 wird überwiegend aus dem Schladminger Kristallinkomplex aufgebaut (siehe Abb. 2-3). Dieser Komplex ist sowohl aus variszisch als auch alpidisch überprägten polymetamorphen, Para- und Orthogneisen aufgebaut. Er wird sowohl dem Riesach- als auch dem Göllingkomplex zugeordnet. Erstere sind durch die Einschaltung von Metaplutoniten und weiters durch die Einschaltung von Metavulkaniten charakterisiert. Der westliche Schladminger Kristallinkomplex (Preuneggatal, Kalkspitzen) wird von einer grünschieferfaziellen, permomesozoischen Abfolge eingefaltet. Im Grenzbereich zum Schladminger Kristallinkomplex ist die Abfolge dieses eingefalteten zentralalpinen Permomesozoikums mit Quarzphyllit, Lantschfeldquarzit und Karbonaten der Mitteltrias invers gelagert. Die grobklastischen Bereiche im Quarzphyllit deuten auf einen sedimentären Verband des Permomesozoikums mit dem präalpidischen Schladminger Kristallinkomplex hin.

Nördlich vom Schladminger Kristallinkomplex ist entlang einer Überschiebungsfläche der Wölzer Glimmerschieferkomplex angesiedelt (siehe Abb. 2-3). Dieser beinhaltet überwiegend phyllitische Glimmerschiefer, Grünschiefer und vereinzelt Marmorzüge. Im Hangenden davon liegt die Ennstaler Phyllitzone, die einen fließenden Übergang zum Wölzer Glimmerschieferkomplex aufweist. Im Ennstal werden die oben genannten Einheiten durch die SEMP von den nördlicheren Einheiten abgeschnitten.

Die Grauwackenzone bildet nördlich der SEMP (siehe Abb. 2-3) die Basis der darüber liegenden kalkalpinen Stockwerke. Sie wird aus altpaläozoischen Phylliten mit lokalen Einlagerungen von Sandsteinen, Subgrauwacken, Grün- und Kalkgesteinen aufgebaut.

Der SW-NE streichende Mandlingzug teilt die Grauwackenzone. Er besteht überwiegend aus zerrütteten Triasdolomiten. Die Kontaktfläche zur liegenden Grauwackenzone ist tektonisch überprägt worden. Die Abgrenzung zum Dachsteinmassiv im Norden und zur Grauwackenzone im Süden erfolgt durch einen Störungsast der SEMP.

Jungpaläozoische bis untertriassische Siliziklastika bilden den Beginn des kalkalpinen Stockwerkes. Die Vorberge des Dachsteinsüdwandmassivs sind aus schwach metamorphen Brekzien, Quarziten, sowie Sandsteinfolgen und Evaporiten aufgebaut. Die Raucheneckscholle bildet die hangendste Einheit der sogenannten Südrandschuppen. Sie leitet mit ihren Mitteltriasdolomiten sowohl den geologischen als auch den morphologischen Übergang zu den Karbonatwänden des Dachsteinmassivs ein.

Jungpaläozoische bis untertriassische Siliziklastika bilden den Beginn des kalkalpinen Stockwerkes, sowie das östliche Ende der Werfener Schuppenzone. Die Vorberge des Dachsteinsüdwandmassivs sind aus schwach metamorphen Brekzien, Quarziten, sowie Sandsteinfolgen und Evaporiten aufgebaut. Die Raucheneckscholle bildet die hangendste Einheit der sogenannten Südrandschuppen. Sie leitet mit ihren Mitteltriasdolomiten sowohl den geologischen und morphologischen Übergang zu den Karbonatwänden des Dachsteinmassivs ein.

Die Dachsteindecke beinhaltet die gesamte Trias mit überwiegend massig bis dickbankigen Seichtwasserkarbonaten. Diese bilden aufgrund der starken Verkarstungserscheinungen ein einzigartiges hydrogeologisches System, sowie vielfältige Landschaftsformen. Auf der Hochfläche des Dachsteinplateaus lassen sich noch vereinzelt reliktsch überlieferte klastische Sedimente finden, die auf eine Morphogenese aus dem Oligozän und älteren Miozän hindeuten.

Im Pleistozän kam es zur letzten entscheidenden glazialen Überprägung des Gebiets. Es entstanden sowohl mächtige Lockersedimentkörper, als auch typische glaziale Abtragungsformen. Landschaftsgestaltende geologische Vorgänge wie tiefgreifende Massenbewegungen, v.a. in den Ennstaler Phylliten an glazial übertieften Haupttälern (Ennstal, Preuneggatal) und die Sedimentakkumulation in mächtigen Schutthalden verändern auch heutzutage noch die Landschaftsform.

2.2.2 Geologischer Aufbau des Ennstals

Generell wird das Ennstal, im ÖK Blatt 127 Schladming (Mandl, Hejl, et al. 2014) in folgende vier Deckensysteme unterteilt:

1. das Juvavische Deckensystem (Dachsteindecke), es bildet die hangendste Einheit
2. das Tirolisch-Norische Deckensystem (Grauwackenzone, Werfener Schuppenzone, Mandlingzug)
3. das Koralpe-Wölz-Deckensystem (Wölzer Glimmerschieferkomplex, Ennstaler Phyllitzone)
4. das Schladming-Seckau-Deckensystem bildet die tiefste der oben genannten Deckensysteme (Silvretta-Seckau-Deckensystem nach Schmid et al. (2004)) mit dem Schladminger Kristallinkomplex und dem zentralalpinen Permomesozoikum

Juvavisches Deckensystem

Die Dachsteindecke bildet die tektonisch höchste Einheit im Kartenblatt Schladming (Mandl, Hejl, et al. 2014) und wird aus Seichtwasserkarbonaten der Mittel- bis Obertrias aufgebaut und lässt vermuten, dass es sich um einen nach Süden ausgerichteten Plattformrand handelt. Nach Hahn (1913) wird die Dachsteindecke dem Juvavischen Deckensystem zugeordnet.

Tirolisch-Norisches Deckensystem

Das Tirolisch-Norische Deckensystem liegt tektonisch im Liegenden des Juvavischen Deckensystems. Die Grauwackenzone umfasst paläozoische Gesteine und zählt zur Norischen Decke. Ab dem Perm kommt es zur Transgression von klastischen Sedimenten, die wiederum den Übergang zu den kalkalpinen Tirolischen Decken einleiten (Hejl & Mandl 2014b).

Die siliziklastischen Gesteine der Werfener Schuppenzone werden dieser Decke angerechnet. Der als Haselgebirge bezeichnete Gips führende bunte Tonstein vom Karlgraben weist anhand von Schwefelisotopendatierungen ein permisches Alter auf. Jedoch

ist es sehr fraglich ob dieser Gips der Werfener Schuppenzone angehört, da dieser am oberen Rand der siliziklastischen Abfolge liegt und somit auch in der Nähe der Überschiebungsbahn der überlagernden Dachsteindecke bzw. der Raucheneckschuppe auftritt (Hejl & Mandl 2014b).

Die Karbonate (Mitteltrias) der Raucheckscholle lassen sich nur sehr schwer einer tektonischen Einheit zuordnen (Hejl & Mandl 2014b). Die Anisdolomite und die Buntdolomite werden sowohl den Gosau-Schollen (Schlager 1967; Mandl 1984), als auch der Werfener Schuppenzone (Rossner 1972) angerechnet und sind für eine genaue Zuordnung nicht von Bedeutung. Das Haselgebirge ist an der Basis der Raucheneckscholle durch die starke Schuttüberdeckung nicht unmittelbar aufgeschlossen. Allerdings ist im Bereich des Karlgrabens ein Durchstreichen des Haselgebirges unter der Raucheneckscholle sehr wahrscheinlich (Hejl & Mandl 2014b).

Die Scholle der weißen Kögel lässt sich aufgrund der geringen thermischen Überprägung weder der Dachsteindecke noch dem Mandlingzug zuordnen, da die beiden letztgenannten Einheiten deutlich höhere Abrasivitätswerte (CAI) aufweisen (Mandl et al. 1999).

Die nächst tiefere Einheit ist der Mandlingzug, er besteht hauptsächlich aus Ramsaudolomiten, zum Teil auch aus Karbonaten der Mittel- bis Obertrias und an der Südseite treten vereinzelt auch die Werfener Schichten zum Vorschein. Dieser Zug formt einen markanten Bergrücken, der sich vom Sonnwendkogel bis südlich von Altenmarkt erstreckt. Eine annähernd vertikale Störungsfläche der SEMP trennt den Mandlingzug im Norden von der Dachsteindecke und der darunterliegenden Werfener Schuppenzone. Südlich wird der Mandlingzug von einer mittelsteil nach Norden einfallenden tektonischen Grenze zur Grauwackenzone getrennt. Durch den primären Verband vom Mandlingzug mit den altpaläozoischen Gesteinen wird dieser ganz eindeutig dem Tirolisch-Norischen-Deckensystem zugeordnet. Junge Seitenverschiebungen waren ausschlaggebend für die heutige Positionierung des Mandlingzugs zur Hauptmasse dieses Deckensystems (Hejl & Mandl 2014b).

Koralpe-Wölz-Deckensystem

Der Wölzer Glimmerschieferkomplex und die Ennstaler Phyllitzone werden nach der neuen Nomenklatur von Schmid et al. (2004) dem Koralpe-Wölz-Deckensystem angerechnet.

Ersterer beinhaltet mittelsteil nach Norden einfallende Glimmerschiefer mit Einschaltungen von Marmor, vereinzelt auch Amphiboliten, sowie Graphit führende Lagen. Die Deckengrenze zum Schladming-Seckau-Deckensystem verläuft in etwa vom vorderen Preuneggatal bis zum Seewigtal und bildet zugleich auch eine markante morphologische Grenze von sanften Hügeln wie der Planai und dem Hauser Kaibling hin zu schroffen Berggipfeln der Schladminger Tauern. Es ist keine eindeutige Grenze zwischen der Ennstaler Phyllitzone und dem Wölzer Glimmerschieferkomplex bekannt, da diese aufgrund der schlechten Aufschlusslage nicht verfolgbar ist. Die Grenze der Ennstaler Phyllitzone zum Tirolisch-Norischen Deckensystem ist im Blattschnitt 127 durch die Enns bzw. die SEMP und den darüber lagernden Flussablagerungen ebenfalls nicht sichtbar (Hejl & Mandl 2014b).

Schladming-Seckau-Deckensystem (Hejl & Mandl 2014b)

Dieses Deckensystem beinhaltet den Schladminger Kristallinkomplex und das invers auflagernde zentralalpine Permomesozoische Cover. Der Schladminger Kristallinkomplex besteht aus dem Riesachkomplex mit sauren Metaplutoniten, sowie dem Gollingkomplex mit Metavulkaniten. Die Teildecken des spröde deformierten Schladminger Kristallinkomplexes fungieren als Abscherungshorizont und laufen in den plastisch deformierten permotriassischen Metasedimenten aus.

2.2.3 Die Entwicklung der Alpen

Der Superkontinent Pangea wurde während der variszischen Gebirgsbildung im Oberdevon und Karbon durch die Kollision mit Avalonia und Laurussia gebildet. Pangea wird vom Panthalassa Ozean umgeben, der auch unter dem Synonym Tethys bekannt ist (Hejl & Mandl 2014a). Am Südrand des ehemaligen variszischen Gebirges kam es vor ca. 290 Ma. zur Nord-Süd gerichteten Ausdehnung der Lithosphäre, wodurch es zur Ausbildung von Ost-West gerichteten Bruchzonen kam. Gegen Ende des Perms kam es aufgrund von Subsidenz zum Absinken der Landmassen, wodurch diese häufig vom Meer überflutet wurden. Jedoch trocknete dieses aufgrund des ariden Klimas aus, wodurch es in den flachen Meeresbecken zur Ausbildung von sandig-tonigen Strand- und Flachwassersedimenten, als auch Salz- und Gipsablagerungen (Haselgebirge) kam (Schuster & Stüwe 2010).

An der Südküste von Laurasia entstand in der Trias aufgrund der fortschreitenden Transgression der Tethys ein tropisches Schelfmeer (Hejl & Mandl 2014a). Die Tethys dehnte sich vor rund 240 Ma. gegen Westen aus und erstreckte sich bis in den heutigen Alpen-

raum (siehe Abb. 2-4). Der Meliatta-Hallstatt Ozean bildet die westliche Grenze von diesem ozeanischen Becken (Schuster & Stüwe 2010). In späterer Folge führte die Dehnung der Kruste zur langsamen Absenkung des Schelfs, wodurch es durch die hohe biogene Kalkproduktion zur Ausbildung von ca. zwei Kilometer mächtigen Seichtwasserkarbonaten (Wetterstein-/Dachsteinkalk, Hauptdolomit) kam (Hejl & Mandl 2014a). Durch die Entwicklung von einem Grabensystem in der Obertrias hat sich der Zerfall von Pangea bereits angedeutet. Die Öffnung des Atlantischen Ozeans zu Beginn des Jura führte deshalb auch zur Abtrennung von Amerika (Schuster & Stüwe 2010). Das Ostalpin wurde von einem östlichen Ausläufer des frühen Atlantiks, welcher über das Transform-Störungssystem „Große Neufundlandbank-Azoren-Gibraltar“ bis in den Tethysschelf verlief, von der kontinentalen Kruste Europas abgesondert (siehe Faupl 1997; Schmid et al. 2004). Die Abtrennung war im frühen Oberjura abgeschossen, wodurch die Kruste des Ostalpin nicht mehr zu Europa gehörte, sondern ein Stück der abgetrennten Adriatischen Mikroplatte bildete. Danach kam es zur Abnahme der Karbonatproduktion, weshalb es hauptsächlich zur Ablagerung von tonig-kieseligen Sedimenten und geringmächtigen Rotkalken kam (Hejl & Mandl 2014a).

Der penninische Ozean verlief zwischen dem europäischen Schelf (Helvetikum) und dem Ostalpin. Auf der neuen ozeanischen Kruste lagerten sich die Bündnerschiefer des Penninikums ab (Hejl & Mandl 2014a).

Die Adriatische Platte entwickelte sich am Übergang vom Jura zur Kreide durch das Ablösen vom „Adriatischen Sporn“ von Afrika. Die Adriatische Platte wurde durch die Bewegung der Afrikanischen Platte gegen Norden geschoben (siehe Abb. 2-4) und bildete somit den Grundstein für die Entstehung der Alpen. Eine neue Subduktionszone entwickelte sich durch die Einengung der Adriatischen Platte (Schuster & Stüwe 2010). In der Unterkreide entwickelte sich der Deckenbau der Radstätter Tauern, der Liegendfaltenbau, sowie die dazugehörigen Blindüberschiebungen des Schladming-Seckau-Deckensystems und die Überschiebung des Wölzer Glimmerschieferkomplex. Durch die Krustenverdickung wurden Teile des ostalpinen Deckenstapels in große Tiefen befördert und dort hohen Temperaturen ausgesetzt (Hejl & Mandl 2014a). Das Koralpe-Wölz-Deckensystem hatte seinen Metamorphosehöhepunkt in der frühen Oberkreide (Thöni 2006) und infolgedessen als Extrusionskeil nach Norden ausgepresst (Schmid et al. 2004). Es kam zur Überschiebung der schwächer metamorphen und kühleren Gesteine des Schladming-Seckau-Deckensystems und des Radstadt-Deckensystems. Die daraus resultierende Abkühlung der tieferen letztgenannten beiden Deckensysteme bewirkte eine inverse Metamorphosezonierung im Koralpe-Wölz-Deckensystem. Noch vor

der Ablagerung der Gosasedimente in der frühen Oberkreide war der Deckenbau des Ostalpins nahezu abgeschlossen. Das Gebiet der später entstandenen Nördlichen Kalkalpen trocknete aufgrund von alpidischen Deckenbewegungen für wenige Millionen Jahre aus (Hejl & Mandl 2014a).

Im Zeitraum rund um die späte Oberkreide wurde der zwischen der Adriatischen Platte und dem europäischen Schelf liegende Penninische Ozean nach Süden bzw. Südosten unter das Ostalpin subduziert. Das Gosaumeer wurde aufgrund des raschen Absinkens des Untergrunds deutlich tiefer. Im Norden existierte eine Verbindung des Meeres mit dem penninischen Sedimentationsraum der Rhenodanubischen Flyschzone. Dort wurden überwiegend pelagische Mergel, sowie turbiditische Sandsteine der oberen Gosau-Subgruppe abgelagert (Hejl & Mandl 2014a).

Der Penninische Ozean wurde vor rund 50 Ma völlig verdrängt, deshalb kam es danach auch zur Subduktion vom europäischen Südrand (siehe Abb. 2-4 c). Der Zeitraum zwischen 45 und 35 Ma ist durch intensive Scherung und Verfaltung der Zentral- und Westalpen gekennzeichnet. Im selben Zeitraum kommt es zur metamorphen Überprägung in den Ostalpen, welche unter der „jungalpinen“ oder „Tauern Metamorphose“ bekannt ist. Vor etwa 40 Ma kam es zum sogenannten „slab-break-off“, wodurch die hinunterhängende Lithosphärenplatte abbriss. Danach kam es zum Aufstieg von heißen asthenosphärischen Mantelmaterial und die großen Plutone wie Adamello, Rieserferner, etc. entlang der Periadriatischen Naht wurden gebildet. (Schuster & Stüwe 2010).

Vor 20 Ma kam es zu einer N-S Kompression in den nördlichen Ostalpen und zeitgleich zu einer E-W Extension innerhalb des Karpatenbogens, was einerseits durch den Vorstoß des Südalpen Indenters und andererseits durch das Absacken von Teilen der Lithosphärenplatte hervorgerufen wurde. In der Zeitspanne zwischen 20 und 10 Ma entstanden in den Ostalpen E-W streichende Störungen mit sinistralen Versatz wie die Inntal-Störung, die Salzach-Enns-Mariazell-Puchberg-Störung und die Mur-Mürz-Linie, sowie im Süden die Isel-, Mölltal- und die Lavanttalstörung mit dextralem Versatz. Etwa zeitgleich bildeten sich die Nord-Süd verlaufenden Abschiebungen wie die Brenner Abschiebung im Westen und die Katschberg Abschiebung im Osten. Im Bereich dieser neu entstandenen Störungssysteme schnitten sich neue Flusssysteme ein, welche durch den Eintrag von Sedimenten das Tamsweger-, Knittelfelder- und Lavanttaler Becken innerhalb der Alpen und das Wiener-, Steirische- und das Pannonische Becken am Ost- und Westrand der Alpen bildeten. Im Zeitraum zwischen 7-10 Ma kam es im gesamten Alpenraum zu einer langsamen statischen Hebung. Ein Grund hierfür könnte das Ablösen der Lithosphärenplatte unter dem asthenosphärischen Mantel sein. Im Norden und Süden

hebten sich die Molassebecken empor, jedoch kam es dort vermehrt zur Abtragung der abgelagerten Sedimente. In den letzten 5 Ma kam es zur Exhumierung der Alpen. Auf den Gipfelfluren des Hochschwabs und des Dachsteins kann man heute noch Relikte von Kiesen und Schottern (Augensteine) entdecken, die vor über 20 Ma abgelagert wurden (Schuster & Stüwe 2010).

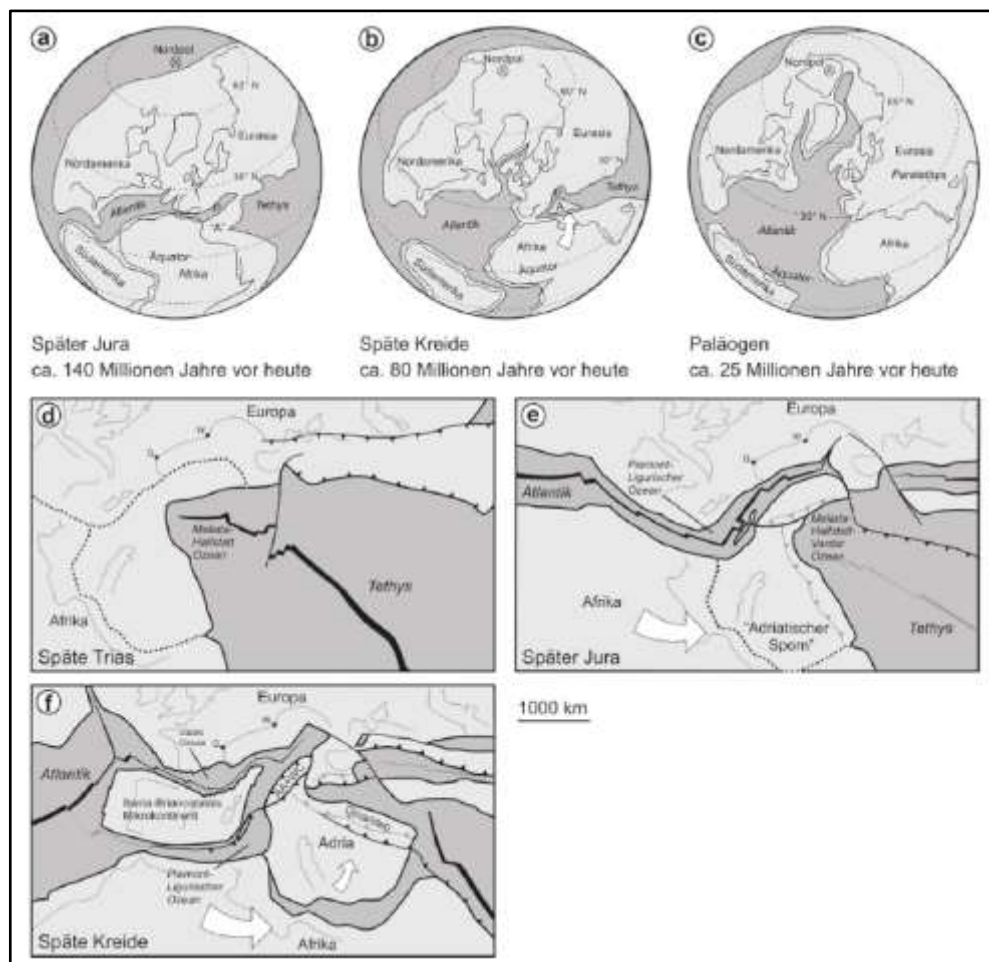


Abb. 2-4: Paläogeographische Entwicklung der Kontinente vom Mesozoikum bis Paläogen. Kontinente: hellgrau; Ozeane: dunkelgrau nach (Schuster & Stüwe 2010)

Im unteren Miozän entwickelte sich die nordalpine Längstalmulde aufgrund des Einsetzens der Bruchtektonik an der SEMP (Frisch et al. 2002). In den Schladminger Tauern erfolgte eine Hebung um etwa 1.700 m gegenüber der Dachsteingruppe, wodurch es dort zu einer erhöhten Abtragung kam (Keil & Neubauer 2009). Der Bereich rund um das Dachsteinplateau wurde aufgrund des Karstsystems unterirdisch entwässert und deshalb nur gering abgetragen. Die Enns und die Salzach sind die beiden letzten großen Flusssysteme die im Bereich der Hohen und Niederen Tauern verblieben sind (Hejl & Mandl 2014a).

2.3 Geomorphologische und quartäre Entwicklung des Ennstals

Innerhalb der quartären Entwicklung können glaziale und interglaziale Prozesse unterschieden werden.

Der Ennstalgletscher erodierte große Teile des alten Talbodens von Niederöblarn bis ins Gesäuse mit Ausnahme von kleinen Resten in der Gegend rund um Irdning und Liezen vollständig ab (Van Husen 1968).

2.3.1 Glazial (Pleistozän)

Der Zeitraum zwischen Mindel und Riß ist kennzeichnend für die Zerschneidung des alten Talbodens durch die Hebung des Alpenkörpers gegenüber dem Vorland im Norden und der im Zusammenhang stehenden Versteilung des Gefälles von den Flüssen (Van Husen 1981; Van Husen 1987b). Das hatte zur Folge, dass das Sölketal und der Gröbminger Mitterberg heute hoch über dem Ennstal liegen. Die starke Schuttbildung an den südlichen Randbereichen der nördlichen Kalkalpen steht in einem engen Zusammenhang mit den mechanischen Eigenschaften der Gesteine und ist das Resultat von tektonischen Prozessen (Van Husen 1981).

In den Kälteperioden (Stadiale) war der Schutteintrag der Nebenbäche so stark, dass die Enns das grobe Material abtransportieren musste. Die Enns verteilte und akkumulierte diese überschüssige Fracht am Talboden, wodurch es zur Anhebung von diesem kam (Van Husen 2000). Während der Warmperiode (Interstadial) wurden wieder Stausedimente und durch die Verlandung Schieferkohle abgelagert (Van Husen 2014).

Im Zeitraum vor der Riß- oder Würmeiszeit kam es zu einer drastischen Klimaver schlechterung und somit zur Aufschüttung von mächtigen Schotterablagerungen, welche über der Schieferkohle lagen. Die rund 250 m mächtigen Talverfüllungen lassen sich relativ gut mit den Gletschervorstoßphasen im Inntal (Patzelt 1995) und im Salzachtal korrelieren (Exner 1979; Pestal et al. 2009). Das enge Tal rund um Schladming ist ausschlaggebend für die große Mächtigkeit der Schotter verglichen mit jenen weiter im Osten (Van Husen 2014).

In den Niederen Tauern bildeten sich Talgletscher aus, die während der letzten Eiszeit bis ins Ennstal vorgestoßen sind. Am Höhepunkt des Klimaverfalls kam es dort zum Zusammenschluss der Eiszungen und somit zur Ausbildung des Ennsgletschers, welcher sich in der Würmeiszeit bis ins Gesäuse ausdehnte (Penck & Brückner 1909; Van Husen 1968). In diesem Zeitraum erstreckte sich die Eisoberfläche bei Schladming bis in eine Seehöhe von etwa 2.000 m und beim Mandlingpass bis in eine Seehöhe von

rund 2.100 m (siehe Abb. 2-5) Der Dachsteingletscher strömte Richtung Norden in den Traungletscher ein (Van Husen 2014).

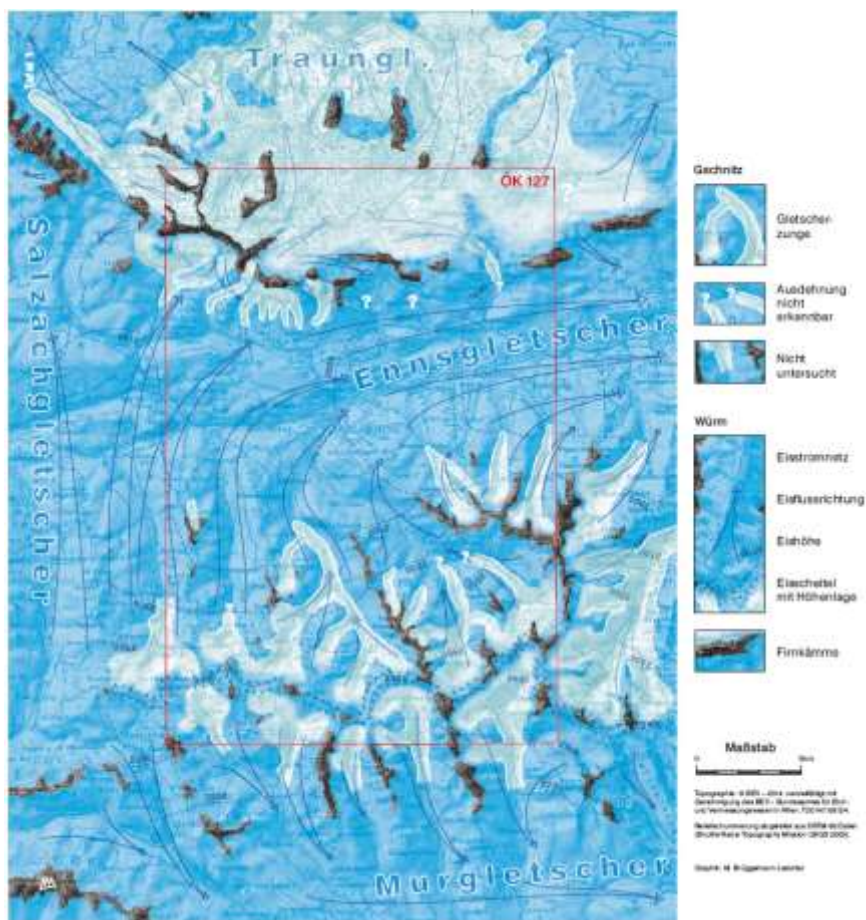


Abb. 2-5: Rekonstruktion der Gletscherhöchststände und Eisstromnetze im Gschnitz und Würm nach (Mandl, Hejl, et al. 2014)

In der Ennstalfurche wandten sich die nach Norden vorstoßenden Eismassen im Westen über den Annaberg Richtung Salzachgletscher und im Osten Richtung Ennstalgletscher ab, wodurch es auch zur Ausbildung des Eisscheitels am Mandlingpass in ca. 2.100 m Seehöhe kam. Ab dort entwickelten sich Eisströme aus den Tälern der Niederen Tauern inklusive des Sölk- und Donnersbachtals, welche weiter im Osten den Ennstgletscher, der bis ins Gesäuse und zum Schoberpass vorstieß bildeten (Van Husen 1987b).

In den Niederen Tauern entlang des Hauptkamms traten nur die höchsten Kämme und Gipfel als Nunataker aus den Eisströmen hervor. Die Höhe des Eisscheitels lässt sich in Höhen von 2.400 bis 2.500 m zurückverfolgen. Von hier aus flossen die Eismassen einerseits nach Norden zum Enns- und andererseits nach Süden zum Murgletscher ab (siehe Abb. 2-5) (Van Husen 2014).

Nördlich des Alpenhauptkammes war der Ennsgletscher der östlichste Talgletscher des zusammenhängenden Eisstromnetzes (Van Husen 1987a). Gegen Ende des Würm-Hochglazials vor 20.000-19.000 Jahren kam es zum raschen Abschmelzen des Ennsgletschers (Van Husen 2014).

Im Zeitraum des Gschnitz im Spätglazial vor ca. 16.000 Jahren kam es zu einer deutlichen Klimaverschlechterung und somit entstanden in den Niederen Tauern erneut mächtige Gletscherzungen, die bis 1.000 m Seehöhe hinunterreichten (Van Husen 2014).

Der Dachstein und die höheren Kare um den Giglach- oder Klaffersee waren die einzig übrig gebliebenen Vertreter von Gletscherzungen im Spätglazial im ÖK Kartenblatt 127 (Senarclens-Grancy 1962).

2.3.2 Interglazial (Holozän)

Die klimagesteuerte Akkumulation, sowie die Erosion von Nebenbächen auf Schwemmfächern im oberen Ennstal waren in Zeiten ohne Eisbedeckung (Interglazial) die vorherrschenden Prozesse für die Entwicklung des Talbodens. Die Klimaveränderung war ein entscheidender Faktor für die Intensität der oben genannten Vorgänge (Van Husen 2014).

Im Bereich der Niederen Tauern wurden keine holozänen Gletscherbewegungen nachgewiesen, jedoch kam es durch klimatische Veränderungen in den tieferen Lagen zu einer erhöhten Schuttausbildung. Diese bildeten die mächtigen Schwemmfächer von Aich-Assach. Weiter westlich bei Haus i. Ennstal füllten kleinere Nebenbäche von Süden aus die Schwemmfächer mit Schuttmassen auf, welche jedoch heute wieder von der Enns unterschritten wurden (Van Husen 1987b). Einer der großen Schwemmfächer bei Assach besteht aus feinkörnigen Kiesen der Enns, in welche mächtige Schluff- und Sandlagen eingelagert sind. Diese weisen auf einen Aufstau der Enns im Interglazial im Bereich der beiden Schwemmfächer hin, was auf einen rund 8 m höher liegenden Talboden gegenüber dem heutigen hindeutet (Van Husen 2014).

Die Anhebung der Talsohle durch die hohe Aktivität der Schwemmfächer lässt sich zeitlich zwischen 7.300 und 6.900 Jahren vor heute einordnen.

2.3.3 Übertiefung und glaziale Erosion

Glaziale Erosionsformen sind sehr rar und nur in den Karen oder im Bereich von massigen, widerstandsfähigen Gesteinen des Riesachkomplexes in Form von Trogtälern (z.B.

Obertal) erhalten geblieben. Im Preuneggatal hingegen kam es zum Kollaps der steilen Bergflanken und somit zur Ausbildung von großräumigen Massenbewegungen, welche die Trogform größtenteils zerstört haben (Van Husen 2014).

Des Weiteren kommt es neben der Ausbildung von Trogtälern im Ober- und Untertal auch zu einer erheblichen Talweitung. Die breiten Talsohlen sind mit Lockersedimenten aufgefüllt worden. Danach schnitten sich die Bäche wieder in einem tiefen Felsbett ein (Van Husen 2014). Ähnliche Phänomene kann man auch im Sattentalbach und im Sölketal im Osten, als auch an den südlichen Zuflüssen der Salzach sehen (Pestal et al. 2009).

Im Seewigtal im Bereich der gschnitzzeitlichen Endmoränen kam man durch die Erkundungsmaßnahmen der Steirischen Wasserkraft und Elektrizitäts AG (STEWEG) zur Erkenntnis, dass die dortige Felssohle bis in eine Tiefe von ca. 120 m erodiert wurde (Becker 1987). Die Talabschnitte des Ober- und Untertals, sowie die Lateral- und Tiefenerosion des Seewigtals lassen sich zeitlich in etwa mit den Zungenbecken der gschnitzzeitlichen Gletscherzungen korrelieren. Die Gletscherstände in den Früh- und Spätphasen der eiszeitlichen Zyklen sind höchstwahrscheinlich für die Formgebung dieser Becken verantwortlich (Van Husen 1979).

Die fluvial geformten Schluchten des Sölk-, Sattental, Seewigtal- und Talbach in Richtung Ennstal entstanden im Zeitraum zwischen der größten Gletscherausdehnung im Hochglazial und der Bildung der Zungenbecken durch die lineare Erosion von Schmelzwässern an der Basis des Eisstromes (Van Husen 2014).

Laut Keil & Neubauer (2009) sind die engen Talstrecken von Schladming bis Niederöb- larn durch fluviale Erosion entlang der SEMP entstanden. Die Formgebung und Ausräumung erfolgte offenbar durch die Schmelzwässer an der Gletschersohle im Zeitraum der Vollvergletscherungen. Nach dem Rückzug der Gletscher bildeten sich in den übertieften Abschnitten des oberen Ennstals zuerst Seen, diese wurden dann später mit Sedimenten aufgefüllt. (Van Husen 2014).

Im Hochglazial während der Vergletscherung kam es zur Tieferlegung der Felssohle und später zur erneuten Auffüllung des Talbodens auf das heutige Niveau (Van Husen 2014).

Die glaziale Übersteilung der Talflanken und der Rückgang der Gletscher führte zu einer Destabilisierung der Bergflanken im Quarzphyllit südlich der Enns (Keil & Neubauer 2009). Die oben aufgeführten Prozesse führten deshalb nach der letzten Eiszeit zu großräumigen, langsamen und kriechenden Massenbewegungen, welche sowohl von den

mechanischen Eigenschaften der Gesteine, als auch vom geologischen Aufbau abhängig sind (Van Husen 2014).

2.4 Hydrogeologie

Im Untersuchungsgebiet ist aus den geologischen Randbedingungen kein unterirdischer Abfluss ableitbar, da hier keine karbonatischen Gesteine vorkommen, wodurch das hydrografische Einzugsgebiet mit dem des orografischen gleichzusetzen ist. In den höheren Lagen der Schladminger Tauern ist deshalb mit deutlich mehr Niederschlag zu rechnen (Schubert 2014).

Die Ennsspeicherwerke wollten aufgrund der günstigen hydrogeologischen Randbedingungen um 1920 herum eine Reihe von Speicherkraftwerken bauen, nämlich eines in der Nähe des Preuneggbaches, jeweils eines im Ober- und Untertal und eines am unteren Ende des Riesachsees. Die glaziale Übertiefung der Talsohle bei den Sperren im Preunegg-, Obertal- und Untertalbach waren laut Stiny (1928) jedoch ein zu großer Risikofaktor für den Bau der oben genannten Sperren.

Die Marktgemeinde Haus wird einerseits von den Quellen der Wassergenossenschaft Marktbürgerschaft Haus, die ca. 1,5 km südlich auf einer Massenbewegung und von den Hochwaldquellen, die nochmal ca. 1 km weiter südlich oberhalb von dieser liegt versorgt (siehe Abb. 2-6). Die Wassergenossenschaft Ruperting wird von den Gumpentalquellen I und II und von Mühlbacherquellen I und II versorgt (siehe Abb. 2-6) (Schubert 2014).

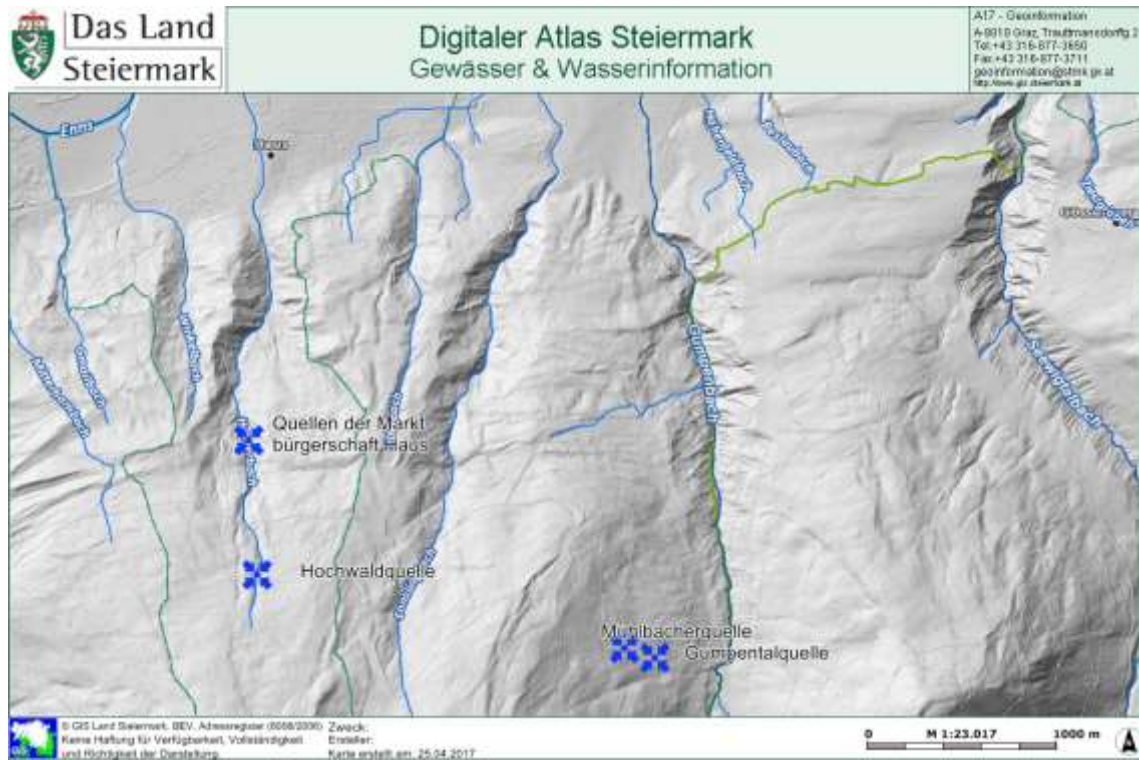


Abb. 2-6: Lage der Quellen der Marktgemeinde Haus (GIS Steiermark 2017)

3 Klassifizierung von Massenbewegungen

Dieses Kapitel dient als Grundlage für die Klassifizierung und Beschreibung der Gumpenbergrutschung in Bezug auf die möglichen Bewegungsmuster bei Rutschungen.

3.1 Bewegungsarten von Rutschungen

Eine Rutschung ist eine hangabwärts gerichtete Bewegung von Fest- und/oder Lockergestein. Man unterscheidet zwischen gekrümmten (Rotationsrutschungen) und ebenen (Translationsrutschungen) Gleitflächen (Highland & Bobrowsky 2008). Grundsätzlich kann zwischen Böschungsrutschungen und Hangrutschungen unterschieden werden (Prinz & Strauß 2011). Rutschungen lassen sich in Abhängigkeit von der Bewegung und vom beinhalteten Material in diverse Kategorien einteilen. Die Bewegung einer Rutschung lässt sich in Fallen, Kippen, Gleiten oder Fließen unterteilen (Highland & Bobrowsky 2008).

3.1.1 Fallen (Falls)

Highland & Bobrowsky (2008) definieren Fallen als spontanes Ablösen von Fest- und/oder Lockergestein an steilen Böschungen durch freies Fallen, Springen und Rollen entlang von Flächen mit geringen oder keinen Scherbewegungen (siehe Abb. 3-1).

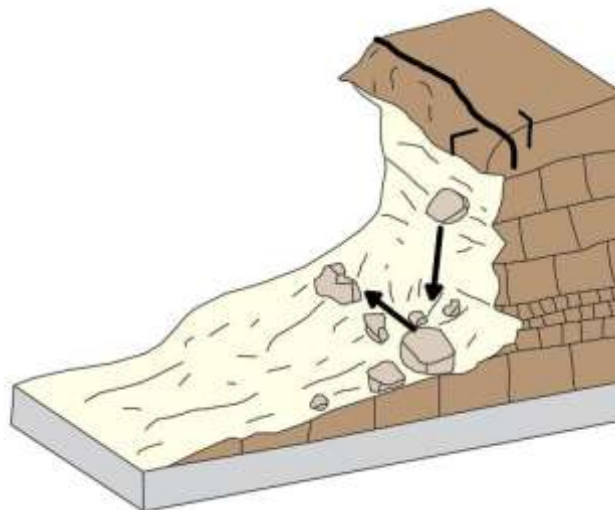


Abb. 3-1: schematische Skizze von einem Felssturz (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)

Prinz & Strauß (2011) beschreiben Fallen als plötzliches Ablösen von Gesteinen aus steilen Hanglagen. Das Versagen tritt hauptsächlich an dominant ausgeprägten Trennflächen durch Hangentspannung und Verwitterungsprozesse auf. Besonders gefährdet sind Kluffkörper, die auf weichen erosionsempfindlichen Gesteinen aufliegen und durch

talwärts einfallende Trennflächen abgetrennt werden, wodurch es zu erhöhten Kluftwasser- oder Gefrierdrücken kommen kann (Krauter & Köster 1991). Die abstürzenden Felsmassen gleiten, fallen, springen und rollen über den Untergrund. Die abgestürzten Blöcke unterscheidet man nach der äußeren Gestalt, nach dem Abrissgebiet, der Sturzbahn und dem Ablagerungsgebiet (Prinz & Strauß 2011).

Abhängig vom Volumen der Sturzmassen werden fallende, springende oder rollende Blöcke und Steine in Steinschlag, Felssturz und Bergsturz unterteilt (Häfner 1993; Krauter 1996; Krautblatter & Moser 2005). Durch den inhomogenen Aufbau von den Sturzmassen kann es zu Überflutungen, Murabgängen oder Schüttströmen kommen (Prinz & Strauß 2011).

Es werden auch noch die Bezeichnungen Sturzstrom, Rock avalanche (Steinlawine), etc. verwendet.

3.1.2 Kippen (Topple)

Kippen wird im Englischen auch als Toppling bezeichnet, dies ist auch im deutschsprachigen Raum eine gängige Bezeichnung.

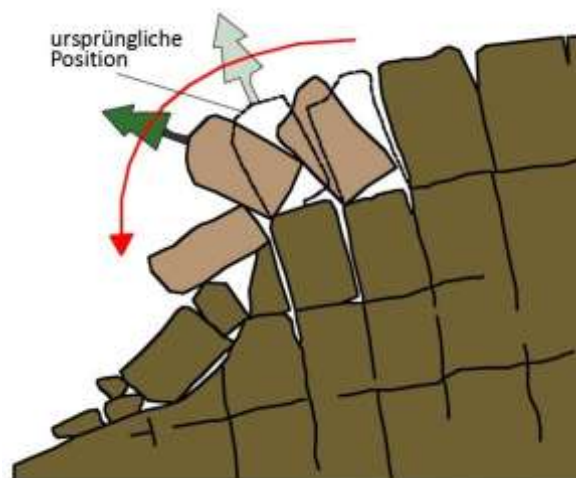


Abb. 3-2: schematische Skizze von Kippversagen (umgezeichnet nach Geological Survey of Canada 2017)

Bei dieser Art von Bewegung kommt es zu einer vorwärts gerichteten Rotation von kompetenten Gesteinsverbänden entlang von steilen Böschungen (siehe Abb. 3-2). Sobald sich ein Kluftkörper löst folgen die Nächsten nach und kippen aus der Böschung langsame (Kettenreaktion). Kippen wird aufgrund der Schwerkraft beziehungsweise durch Wasser oder Eis in Rissen hervorgerufen und steht oftmals auch in einem engen Zu-

sammenhang mit der Bergzerreißung. Dieser Typ kann sehr komplexe Formen annehmen und eine Kombination mit anderen Rutschungsarten eingehen (Prinz & Strauß 2011; Genske 2014; Highland & Bobrowsky 2008).

3.1.3 Rutschen bzw. Gleiten

Bei dieser Art von Versagen kommt es zu einer hangabwärts gerichteten Bewegung von Fest- oder Lockergesteinen auf Gleitflächen oder Zonen mit intensiver Scherverformung. Dieser Versagenstyp lässt sich weiter in Rotations- und Translationsrutschungen unterscheiden (Highland & Bobrowsky 2008).

3.1.3.1 Rotationsrutschung (Rotational Landslide)

Homogen aufgebaute Böden und Gesteine bilden überwiegend kreisförmige Gleitfugen aus. Die Rutschmasse wird bei ausgeprägten rotierenden Bewegungen wenig gestört. In verwitterten Zonen kommt es zur Ausbildung von flachschaligen Gleitflächen, da dort der Untergrund mit zunehmender Tiefe fester wird. Folgt die Gleitfläche vorhandenen Trennflächen so kann es auch zu einem blockartigen oder treppenförmigen Abgleiten kommen. Ab einer bestimmten Wassersättigung der Böschung kann es zu sehr komplexen Geröll- und Schuttstromrutschungen kommen (Prinz & Strauß 2011).

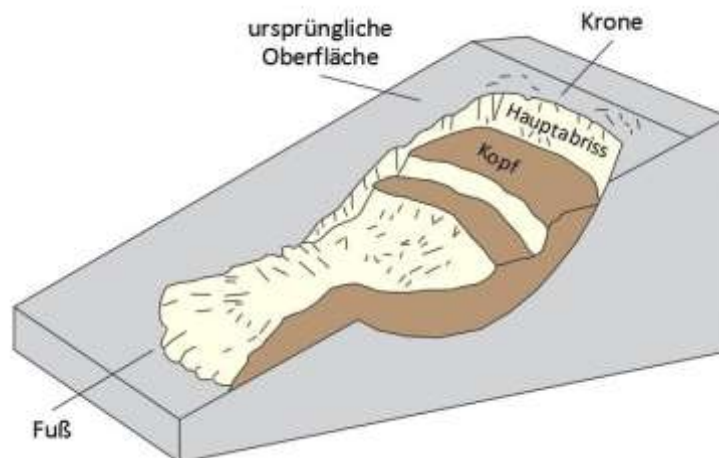


Abb. 3-3: schematische Skizze einer Rotationsrutschung (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)

Nach Highland & Bobrowsky (2008) gleitet die Rutschmasse entlang einer kreisförmigen Bruchfläche ab, dort kommt es nur zu geringen internen Verformungen. Der Kopf der bewegten Rutschmasse gleitet nahezu vertikal bergab, wodurch es kaum zu Rotationsbewegungen kommt. Weiter talwärts im Bereich der Rotationsachse rotiert das abgelagerte Material entgegen der Richtung der Abrisskante (siehe Abb. 3-3).

3.1.3.2 Translationsrutschung (Translational Landslide)

Diese Art von Rutschung tritt überwiegend am Übergang zwischen kompetenten und inkompetenten Gesteinen, sowie an Schicht- und Schieferungsflächen, als auch an anderen Trennflächentypen auf (Prinz & Strauß 2011). Die Bewegungen können auf einer oder mehreren Flächen von statte gehen und können sich gegenseitig vervollständigen oder ablösen (Bräutigam et al. 1989). Häufig kommt es in dünnbankigen oder geschieferten Gesteinen zur Ausbildung von stufenartigen Gleitflächen (Prinz & Strauß 2011).

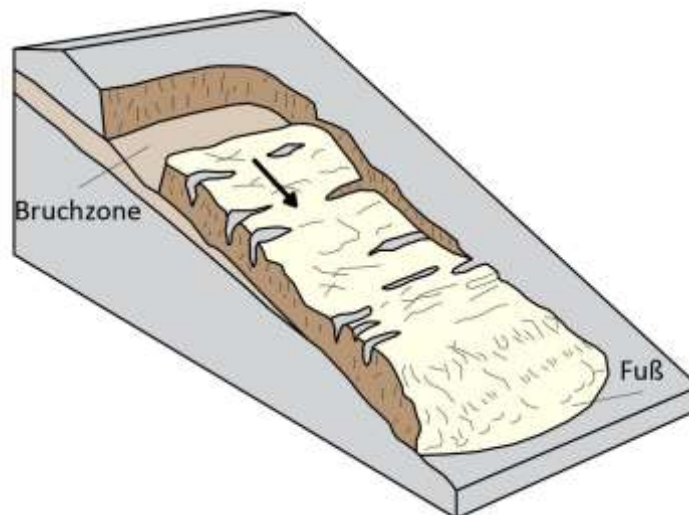


Abb. 3-4: schematische Skizze einer Translationsrutschung (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)

Nach (Highland & Bobrowsky 2008) bewegt sich bei diesem Versagensmechanismus die Masse entlang einer nahezu ebenen Gleitfläche mit keiner oder wenig Rotation und leichtem rückwärts Kippen talwärts (siehe Abb. 3-4). Bei ausreichenden Hangneigungen können Translationsrutschungen erhebliche Distanzen zurücklegen. Die Zusammensetzung der Rutschmasse variiert von Lockergestein bis hin zu erheblichen Gesteinsplatten oder einer Kombination von beidem. Das Versagen tritt überwiegend bei Trennflächen wie Störungen, Klüften und Schichtflächen oder beim Übergang zwischen Fest- und Lockergestein auf.

Laut Genske (2014) kommt diese Art häufig im Gebirge vor. Die Gleitflächen bilden sich an Schichtflächen aus und oftmals tritt das Versagen ohne Vorankündigung ein. Die Ausdehnung von Translationsrutschungen ist sowohl im kleinen, als auch im großen Maßstab (gesamter Berghang) möglich.

3.1.3.3 Driften (Spreads)

Laut Prinz & Strauß (2011) gehen dem Driften Kippbewegungen voraus, wodurch es an vorgegebenen Trennflächen zum Ablösen von Gesteinsblöcken kommt und diese am

tonigen Untergrund wegdriften. Während den Auftauphasen im Pleistozän war dieser Versagenstyp weit verbreitet.

Nach Highland & Bobrowsky (2008) treten Driftbewegungen vor allem an sehr sanften Böschungen oder im flachen Gelände auf (siehe Abb. 3-5). Kompetentere Schichten aus Fest- oder Lockergestein dehnen sich seitlich aus und gleiten so über die weicheren, schwächeren Schichten hinweg. Das Versagen wird durch Bodenverflüssigung (Liquefaction) verursacht, dabei gehen gesättigte, locker gelagerte, kohäsionslose Sedimente (Sand, Schluff) von einem festen in einen flüssigen Zustand über.

Nach Genske (2014) tritt Driften hauptsächlich in weichen Lagen auf, dabei schwimmen die kompetenten Lagen in einer inkompatiblen Matrix.

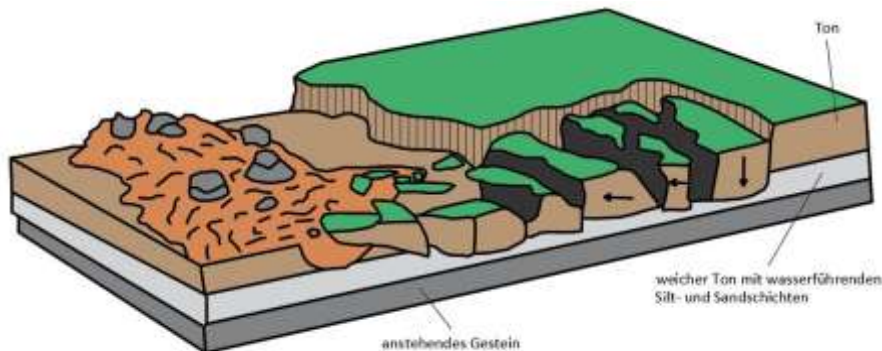


Abb. 3-5: schematische Skizze für laterales Driften (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)

3.1.4 Fließen (Flows)

Dieser Typ entsteht überwiegend in stark aufgeweichten Bodenmassen mit Gesteins- bzw. Geröllschutt und ist durch schnelle Bewegungen charakterisiert. Das Gefüge, die Struktur, der Wassergehalt und die Bodenart haben einen großen Einfluss auf das Fließverhalten. Die meisten Fließvorgänge haben im Allgemeinen einen hohen Wassergehalt (Wasser:Feststoffe = 1:1), jedoch gab es vereinzelt auch Ereignisse mit niedrigem Wassergehalt (Prinz & Strauß 2011).

3.1.4.1 Murgang (Debris Flow)

Laut Varnes (1978) ist diese Art von Massenbewegung durch eine zungenförmige Geometrie und einen hohen Wassergehalt charakterisiert. Am Fuß kommt es zur Ausbildung von sogenannten Schwemmfächern.

Als Schutt- oder Schlammstrom wird ein lawinenartiges Fließen von Locker- und Festgesteinsfragmenten bezeichnet. Im Alpenraum ist dieser Vorgang unter dem Synonym

Murgang bekannt. Murgänge treten vor allem nach Regenfällen, Schneeschmelzen und Erdbeben auf. Der anthropogene Einfluss, darunter die Rodung von Wäldern und Überbewirtschaftung von Almen führen zu einer deutlichen Zunahme von Murgängen. Des Weiteren spielt der Klimawandel und somit der Rückgang des Permafrosts, als auch die Ausweitung extremer Wetterereignisse eine große Rolle für die Ausbildung von Schutt- und Schlammströmen (Genske 2014).

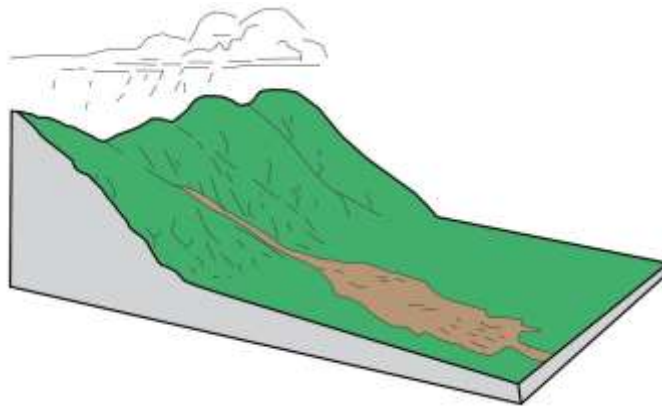


Abb. 3-6: schematische Skizze für eine Mure (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)

Nach Highland & Bobrowsky (2008) sind Muren ein Gemisch aus lockerer Erde, Steinen, organischen Materialien und Wasser und fließen mit hoher Geschwindigkeit talwärts (siehe Abb. 3-6). In kohäsionslosen Sand kann es manchmal auch zu trockenem Fließen kommen. Muren lassen sich anhand der Korngrößen und Bewegungsraten weiter untergliedern und sie können spontan und ohne Vorwarnung abgehen. Sie treten vor allem in steilen Rinnen und Canyons auf und werden aufgrund von Starkniederschlägen oder Schneeschmelzen durch intensiven oberflächennahen Wasserfluss ausgelöst.

Laut Prinz & Strauß (2011) bestehen Muren aus einer heterogen zusammengesetzten Masse mit einem Feststoffanteil von ca. 30 bis 60% unterschiedlicher Korngrößen und Wurzelstöcken oder Baumstämmen und Wasser.

3.1.4.2 Geröll- bzw. Schuttlawine (Debris avalanche)

Diese Art von Fließen besteht überwiegend aus grobkörnigen Komponenten. Als Auslöser für Geröll- bzw. Schuttlawinen gelten häufig Bergstürze an instabilen Hängen, Erdbeben, extreme Niederschläge oder anthropogene Einflüsse (Prinz & Strauß 2011).

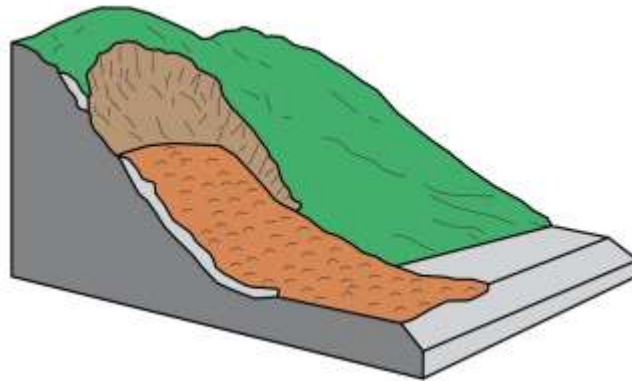


Abb. 3-7: schematische Skizze für einer Schuttlawine (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)

Laut Highland & Bobrowsky (2008) sind Geröll- bzw. Schuttlawinen große und sehr schnelle Massenbewegungen. Eine ausreichende Wassersättigung führt auf instabilen Hängen zum abrupten Versagen und transportiert die Geröll- bzw. Schuttmassen in Form von Muren ins Tal (siehe Abb. 3-7).

3.1.4.3 Erdfließen bzw. Erdstrom (Earth flow)

Laut Highland & Bobrowsky (2008) tritt diese Art von Massenbewegung vor allem an flachen bis mittelsteilen Böschungen auf und ist hauptsächlich aus feinkörnigen Lockergesteinsfragmenten wie Ton oder Schluff oder tonhaltigen Gesteinen zusammengesetzt. Die Erdstrommasse bewegt sich als plastisch-viskoses Medium fort und ist durch starke interne Verformungen gekennzeichnet (siehe Abb. 3-8). Dieser Versagenstyp kann sich über mehrere Kilometer ausdehnen und niedrige bis sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen. Der Hangfuß von Rutschungen oder lateralen Driftvorgängen kann in Erdfließen übergehen.

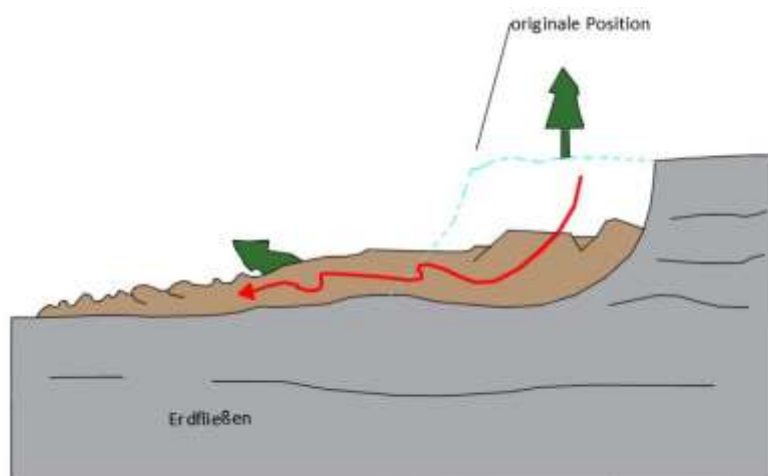


Abb. 3-8: schematische Skizze für Erdfließen (umgezeichnet nach Geological Survey of Canada 2017)

Nach Prinz & Strauß (2011) sind Erdströme aus mindestens 50 % Sand, Schluff und Ton zusammengesetzt.

3.1.4.4 Kriechen

Laut Prinz & Strauß (2011) ist Kriechen eine Untergruppe von Fließprozessen. Die langanhaltenden, langsamen Verformungen des Kriechens treten in Locker- und Festgesteinen auf und finden bei annähernd gleichbleibenden Spannungen ohne Laständerung auf. Durch Starkregenereignisse hervorgerufene kurzfristige Verschiebungszuwächse lassen sich aufgrund von Kontrollmessungen oftmals von Grundkriechen differenzieren. Die Verformungsrate bewegt sich im mm- bis cm-Bereich pro Jahr und aus geomorphologischer Sicht lassen sich kaum Veränderungen an der Landschaft erkennen (Prinz 1997). Generell kann man zwischen Tiefkriechen von Festgesteinen (Taluschub, Bergzerreißung) und Kriechbewegungen von Schuttmassen unterscheiden (Prinz & Strauß 2011).

Nach Highland & Bobrowsky (2008) handelt es sich beim Kriechen um eine langsame, fließende Abwärtsbewegung von Locker- oder Festgestein (siehe Abb. 3-9). Im Allgemeinen kann zwischen drei Typen von Kriechvorgängen unterschieden werden, nämlich zwischen:

1. Saisonaalem, bei welchem die Bewegung im Boden durch eine Veränderung des Feuchtgehaltes und der Temperatur ausgelöst wird
2. kontinuierlichem, bei welchem es zum kontinuierlichen Überschreiten der Scherspannung im Material kommt
3. progressivem, bei welchem durch den Versagenspunkt von Böschungen andere Arten von Massenbewegungen entstehen können.

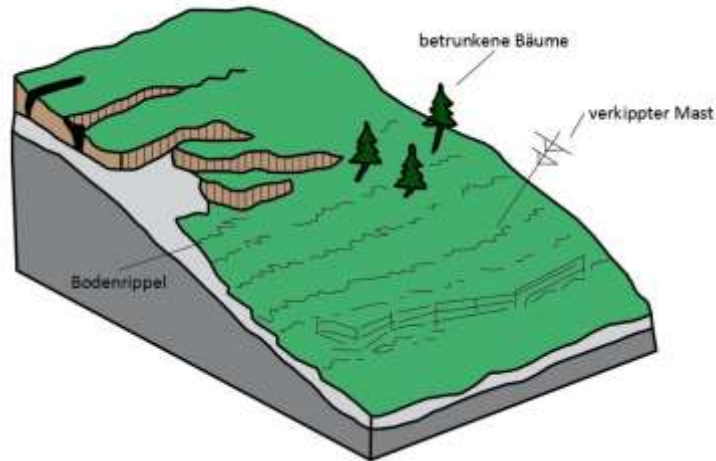


Abb. 3-9: Schematische Skizze einer Kriechbewegung (umgezeichnet nach Highland & Bobrowsky 2008)

3.1.4.5 Tiefkriechen von Festgesteinen

Die Kriech- und Scherbewegungen dieser Art sind in Tiefen > 100 m angesiedelt und treten an Gleitzonen auf, die an Trennflächen mit oder ohne Störungs- oder Kluffüllungen, als auch an Schicht- und Schieferungsflächen mit niedriger Scherfestigkeit gebunden sind. Aufgrund der sehr komplizierten Bewegungsabläufe und Versagensmechanismen sind diese noch nicht detailliert erforscht worden. Grundsätzlich laufen die Bewegungen auf vorgegebenen Trennflächen ab und werden durch äußere Faktoren und von der Schwerkraft beeinflusst (Prinz & Strauß 2011). Bei Bewegungen die über keinen markanten Gleithorizont verfügen wird in der österreichischen Literatur der Begriff „Sackung“ verwendet (Köhler 1985; Moser 1993).

Die Bergzerreißung ist das Ergebnis von tiefgründigen Kriechbewegungen (siehe Abb. 3-10) und wird sowohl von Zerrspalten und Hangzerreiungsklüften, als auch von hangparallelen Nackentälchen oder Doppelgraten in höheren Lagen gekennzeichnet (Schober 1991).

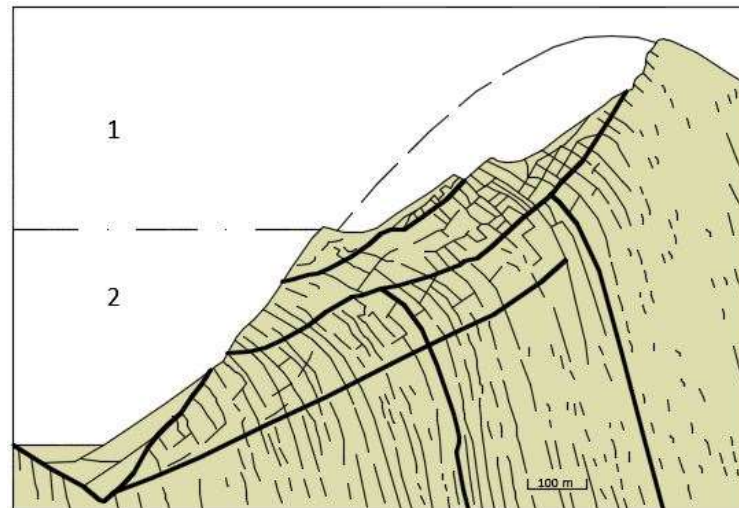


Abb. 3-10: Bergzerreißung (1) und Talzusub (2) in einem Talhang (umgezeichnet nach Krauter 1996)

Der Talzusub ist morphologisch durch konkave Formen in höheren Hangbereichen und durch konvexe Formen im unteren Teil der vorgewölbten Masse gekennzeichnet (siehe Abb. 3-10). Diese Form stellt eine Ausnahme dar, denn das Bewegungsmuster kann sich in Abhängigkeit von der Zeit rapide ändern, wodurch es zu einer Beschleunigung der Bewegungsrate und somit zum Versagen kommen kann (Prinz & Strauß 2011).

In alpinen Regionen sind instabile Talflanken mit langsamen Kriech- und Gleitbewegungen (ca. 1-10 cm/a), vor allem in Phylliten, Gneisen und Schiefen und vereinzelt auch in Sedimentgesteinen weit verbreitet (Moser 1993).

Ein tektonisch stark zerlegtes Gebirge, sowie eine ungünstige Orientierung der Trennflächen mit reduzierter Scherfestigkeit, als auch eine tiefgreifende Entspannung durch Talbildung, aber auch Auslaugungsvorgnge in den weiter talwärts liegenden Hängen sind die Grundlage für die Ausbildung von großräumigen Massenbewegungen. Grohangbewegungen sind häufig eine Kombination aus rotations- und translationsfrmigen Bewegungen mit einhergehenden Kriechbewegungen. Die Höhe des Grundwasserspiegels und die Niederschlagssummen sind die ausschlaggebenden Faktoren für rezente Hangbewegungen (Prinz & Strauß 2011).

3.1.5 Komplexe Rutschungstypen

Bei diesem Typ überlagern sich verschiedene Arten von Rutschungen sowohl zeitlich als auch räumlich. Die Untersuchung von komplexen Rutschungen gestaltet sich als äußerst schwierig, da man zuerst eine Reihe von Erkundungen anhand von geomorphologischen Spuren im Rutschungsbereich durchführen muss um eine Rekonstruktion

durchführen zu können. Jedoch kommt es häufig vor, dass selbst nach der umfangreichen Erkundung viele Fragen offenbleiben (Genske 2014).

Nach Prinz & Strauß (2011) handelt es sich hierbei um eine Kombination von mehreren Rutschungstypen (Fallen, Kippen, Gleiten, Driften, Fließen). Komplexe Rutschungen lassen sich nochmals unterteilen in:

- zusammengesetzte Rutschungen, wo zwei oder mehrere Bewegungstypen auftreten
- sukzessive Rutschungen, wo zwei anliegende Rutschungen gleicher Art auftreten
- Mehrfachrutschungen, wo derselbe Bewegungstyp mehrmals auftritt (siehe Abb. 3-11)

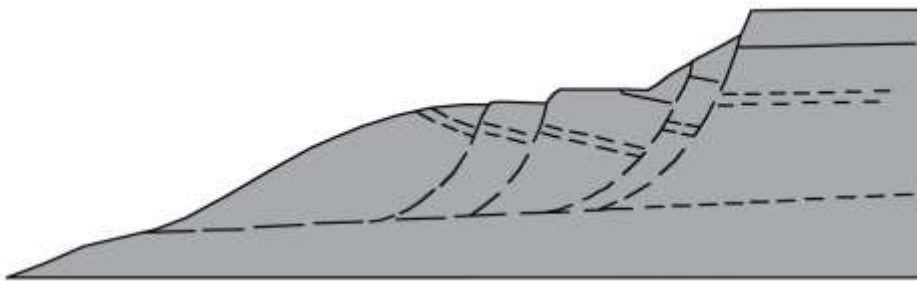


Abb. 3-11: mehrfach rückschreitende Rutschung in einer Sandstein/Tonstein-Wechselfolge (umgezeichnet nach Prinz & Strauß 2011)

3.2 Tiefenlage von Gleitflächen

Die Ausbildung von Gleitflächen kann ebenflächig, flachgekrümmt, kreisförmig, langgestreckt oder gebrochen sein. An der Krone verlaufen sie zumeist steil und am Rutschungsfuß flachen sie ab (Prinz & Strauß 2011). In Tab. 3-1 sind die unterschiedlichen Tiefenlagen von Gleitflächen aufgeführt.

Tab. 3-1: Tiefenlage der Gleitfläche (nach Zaruba & Mencl 1961)

Tiefe [m]	Beschreibung
bis 1,5	Oberflächenrutschungen
5 bis 10	flache Rutschungen
10 bis 20	tiefe Rutschungen
> 20	sehr tiefe Rutschungen

Die Tiefe und Form von Gleitflächen dienen als Grundlage für zusätzliche Bearbeitungen (Prinz & Strauß 2011).

3.3 Bewegungsrate

Die Bewegungen eines Rutschkörpers sind stark vom Rutschungstyp und von der Geometrie abhängig. Den schnellen Massenbewegungen werden Felsstürze, Muren, Erd- und Schuttströme angerechnet. Die Bewegungsgeschwindigkeit wird in folgende Kategorien unterteilt (siehe Tab. 3-2).

Tab. 3-2: Bewegungsgeschwindigkeit (nach Prinz & Strauß 2011)

Typ	Bewegungsrate
sehr langsam (substabil)	cm/a
langsam bzw. wenig aktiv	dm/a
aktiv bzw. langsam mit schnellen Phasen	m/a
schnell	m/W
sehr schnell	m/d
äußerst schnell	m/min

Bei Bewegungen von mehreren Dezimetern/Jahr sollte eine permanente Überwachung der Rutschung erfolgen. Rutschungen mit Verformungsraten von einigen Dezimetern/Woche benötigen sofortige Gegenmaßnahmen (Prinz & Strauß 2011).

3.4 Ursachen und Auslöser von Rutschungen

In diesem Unterkapitel wird die für Massenbewegungen so wichtige Thematik der Ursachen und Auslöser bearbeitet. Die geologischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten, aber auch anthropogene Eingriffe eines Gebietes sind die Grundlage für Hangbewegungsprozesse.

3.4.1 Geologische Randbedingungen und Verwitterungsprozesse

Die geologischen Gegebenheiten sind häufig ein Hauptgrund für das Auftreten von Rutschungen. Die vielseitige Variation von geologischen Strukturen und Trennflächen spielen vor allem bei Großhangbewegungen eine wesentliche Rolle. Als äußerst instabil erweisen sich wasserwegsame Gesteine wie Basalt-, Kalk- und Sandsteine, zum Teil auch Kiese und Sande, welche auf einer tonig-mergeligen Schicht aufliegen. Gleitflächen und Abrisskanten treten vor allem an Schicht- und Schieferungsflächen, Klüften und Störungszonen, aber auch an Verwitterungshorizonten auf (Prinz & Strauß 2011).

Die Hang- und Böschungstabilität wird von tiefgründigen Verwitterungsvorgängen bzw. durch Sturzmassen stark beeinflusst (Prinz & Strauß 2011). Bei Verwitterungsvorgängen

in Locker- und Festgesteinen kommt es ab einem gewissen Stadium zur Entfestigung des Gesteinsverbands. Das Material ist dadurch erosionsanfälliger, was in weiterer Folge auch zu Hangrutschungen führen kann.

In steilen rutschungsanfälligen Gebieten, in welchen Erdbeben auftreten, erhöht sich die Eintrittswahrscheinlichkeit von Rutschungen signifikant. Dies geschieht aufgrund von Bodenerschütterungen, Bodenverflüssigung von Sedimenten, welche eine schnelle Infiltration vom Wasser erlaubt. Rutschungen, welche durch vulkanische Aktivität ausgelöst werden zählen zu den verheerendsten Versagensmechanismen. Vulkanische Lava kann Schnee sehr schnell schmelzen lassen, wodurch sich katastrophale vulkanische Schuttströme ausbilden können (Highland & Bobrowsky 2008).

3.4.2 Morphologische Ursachen

Eine Versteilung eines Hangs bewirkt eine Zunahme von Schubspannungen sowie eine Abnahme der Scherfestigkeit auf vorgegebenen Flächen (Schieferung) durch Entlastungserscheinungen. Beide Prozesse wirken sich sehr negativ auf das Hanggleichgewicht aus. Zu den morphologischen Auslösern zählen tektonisch bedingte Prozesse (Hebungen durch Gebirgsbildung) oder Talvertiefungen und übersteilte Hänge, welche durch Erosion hervorgerufen werden, sowie menschliche Eingriffe durch den Bau von Infrastrukturprojekten, als auch Be- und Entlastungen eines Hanges (Prinz & Strauß 2011).

Glazial bedingte Prozesse führten zur Bildung von Trogtälern und zur Ablagerung von Grund- und Endmoränen. Die stark übersteilten Hänge, die durch das Abschmelzen der Gletscher hervorgingen sind teilweise heute noch stark rutschungsaktiv (Genske 2008).

3.4.3 Hydrologische Ursachen

Hydrologische Umstände sind häufig der entscheidende Faktor für das Versagen von Hängen. Diese werden durch vorhandene Grund- bzw. Hangwasserverhältnisse (z.B. gespannter Grundwasserträger), Niederschlagsereignisse (sowohl räumlich als auch zeitlich verteilt) und deren Einsickerungsrate, Stauhorizonte, Feuchtstellen und Quellen, Stauhaltungen und Überschwemmungen (Prinz & Strauß 2011) und Wasserverlust aus Leitungen oder Kanälen beeinflusst (Stein 1988).

Die Bergwasserverhältnisse in Böschungen werden durch das Eindringen von Regen und Schmelzwässern stark verändert was zu einer Zunahme des Porenwasserdrucks führen kann (Genske 2008). Aufgrund dessen nimmt die Normalspannung im Bereich der Scherfläche ab und damit einhergehend auch der Scherwiderstand (Terzaghi 1925).

Eine zusätzliche Strömungskraft wird durch das Durchströmen des Hanges erzeugt (Genske 2008).

Laut Abele (1974) werden durch kurze Starkregenereignisse überwiegend kleine Rutschungen ausgelöst, wohingegen lang anhaltende, ausgiebige Regenfälle den Hang stark mit Wasser sättigen und deshalb eher große Massenbewegungen bzw. Beschleunigungsphasen in solchen verursachen. Bei bindigen Böden wird die Konsistenz durch eine Zunahme der Wassersättigung weicher, wodurch es auch zur Abnahme der Scherfestigkeit und Kohäsion kommt.

Die Auswirkung von Wasser auf den Boden kann sehr vielschichtig sein. Eine Erhöhung der Lasten infolge von Wassersättigung und dem verstärkten Strömungsdruck von Sickerwasser kann an Hängen ($>35^\circ$) zum Versagen führen. Ein erhöhter Porenwasserdruck bzw. Strömungsdruck vermindert in feinkörnigen Böden der Scherwiderstand, beziehungsweise nehmen die treibenden Kräfte zu (Prinz & Strauß 2011).

3.4.4 Vegetation und anthropogene Einflüsse

Für Rutschungen spielen vor allem die Vegetationsart und der Deckungsgrad eine entscheidende Rolle. In unseren Regionen beträgt der Wasserverbrauch von laubabwerfenden Bäumen in etwa 500-800 mm/a und bei Grünland ca. 300 bis 400 mm/a. Der Wasserverbrauch dieser Pflanzen ist jedoch auf die Monate April bis Mitte Oktober begrenzt (Prinz & Strauß 2011)

Die Rodung von Hängen führt zur Veränderung des Wasserhaushalts, wodurch sich die Bodenerosion erhöht und somit die Hangstabilität abnimmt bzw. abnehmen kann (Prinz & Strauß 2011). Manchmal führt auch der Bau von Schipisten zur Auslösung von Rutschungen (Bunza 1993). Des Weiteren führen Überweidungen zu Zerstörungen der Vegetation, wodurch die Oberfläche der Hänge klimatischen Einflüssen ausgesetzt ist (Prinz & Strauß 2011).

Verdichtete Böden oder Bodenhorizonte sind geringer durchlässig und können durch einen Rückstau des Bodenwassers zu einer negativen Beeinflussung der Standsicherheit führen. Horizontübergänge in Böden können als Gleitflächen für Rutschungen (Tobler et al. 2006).

Eine Änderung der Hanggeometrie durch den Eingriff des Menschen kann zu einer Destabilisierung der Hänge führen (Genske 2008). Des Weiteren kann es aufgrund von diversen Baumaßnahmen zu einer Änderung des Hanggleichgewichts kommen (Prinz & Strauß 2011).

Erschütterungen und Vibrationen können vor allem bei Kriechvorgängen als Auslöser oder Beschleuniger dienen (Prinz & Strauß 2011).

4 Erkundung

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Erkundungsmethoden wie die Vorauswertung von vorhandenen Daten und Literatur, die ingenieurgeologische Kartierung, Kernbohrungen und die Analyse von Messdaten beschrieben. Diese Methoden dienen als Grundlage für das geologisch-geotechnische Modell.

4.1 Vorauswertung vorhandener Daten und Literatur

Als wichtige Grundlage für die Vorauswertung von Rutschungen dienen topographische Karten, dort kann man anhand des Verlaufs der Höhenschichtlinien mögliche Abrissbereiche von Massenbewegungen erkennen. Ein weiteres wichtiges Werkzeug für diese Arbeit sind hochauflösende Digitale Höhenmodelle (DGM) bzw. Digitale Oberflächenmodelle (DOM) und auch detailtreue Orthophotos. Mit dem Programm ArcGIS 10.3 (ESRI 2014), einem Geoinformationssystemprogramm kann man mittels vordefinierten Algorithmen Höhenschichtlinien, Hangneigungskarten, Expositionskarten, Schummerungen etc. aus diesen Daten herausrechnen. Anhand dieser Informationen können schon vorweg mögliche Abrisskanten und auffällige morphologische Merkmale wie Zerrspalten, Geländekanten, Erosionsrinnen etc. herausgefiltert werden, um diese dann im Rahmen der Geländearbeit zu verifizieren. Als besonders nützlich erwiesen sich auch die geologische Karte und deren Erläuterungen vom Blatt 127 Schladming (Mandl, Hejl, et al. 2014), die wichtige Informationen und Details über die vorherrschenden geologischen und geomorphologischen Erscheinungen des Arbeitsgebietes wiedergeben. Zum Schluss sind noch die geologischen Stellungnahmen (Das Land Steiermark 2013) zu erwähnen, die wichtige Details über den Hergang der Gumpenbergrutschung im Jahr 2013 beinhalten.

4.2 Ingenieurgeologische Kartierung

Die ingenieurgeologische Kartierung ist Teil der Vorerkundungsphase und beinhaltet die Aufnahme von geologischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Rahmenbedingungen. Des Weiteren wird in dieser sowohl auf die Flora und Fauna, als auch auf die anthropogenen Einflüsse eingegangen. Im Gelände werden Festgesteine lithologischen bzw. tektonostratigraphischen Einheiten zugeordnet. Außerdem werden die verschiedenen Typen von Trennflächen aufgenommen. Vor Ort werden einfache Feldtests zur groben Klassifizierung der Gesteinsfestigkeit vorgenommen (Prinz & Strauß 2011; EN ISO 14689-1 2003). Die ingenieurgeologische Kartierung bildet eine wichtige Grund-

lage für die Charakterisierung von Massenbewegungen und enthält wichtige Informationen über die Ausdehnung, Abgrenzung und Orientierung von Rutschungen. Zum Abschluss werden die gesammelten Daten beschrieben und grafisch dargestellt.

4.2.1 Geländeaufnahme

Die vorliegende ingenieurgeologische Kartierung fand im Zeitraum zwischen 13. Mai und 1. Juni 2016 statt. Sie wurde bereits im Vorfeld der später abgeteufte Kernbohrung KB-01/16 durchgeführt. Wie bereits in Kapitel 4 beschrieben, wurden bereits vor der Geländearbeit topographische- und geologische Karten, Orthophotos, projektspezifische Literatur und Digitale Geländemodelle untersucht und analysiert und für die vorliegende Geländeaufnahme herangezogen.

Da sich diese Kartierung nicht nur auf die Gumpenbergrutschung im kleinen Maßstab beschränken sollte, wurde ein ca. 2,5 km² großes Arbeitsgebiet bearbeitet und dokumentiert (siehe Abb. 4-1). Im Allgemeinen treten im Untersuchungsgebiet verschiedene Arten von Massenbewegungen auf.



Abb. 4-1: Übersichtskarte aus Google Earth (Google 2016) mit allen Wegpunkten des Untersuchungsgebietes

Zielsetzung dieser ingenieurgeologischen Kartierung war eine detaillierte Aufnahme der vorherrschenden geologischen Einheiten, des Trennflächengefüges, von geomorphologischen Phänomenen und von vorhandenen Massenbewegungsprozessen. Im Gelände wurde besonders auf die Erfassung folgender Eigenschaften wert gelegt:

- Erosionsrinnen, Geländestufen und Zerrspalten
- Vernässungszonen, stehende Gewässer, Quellen
- aktive und inaktive Abrisskanten
- anthropogene Einflüsse (Anschüttungen, künstliche Böschungen, Bebauungen)
- Vegetation in Rutschhängen (Sichelwuchs, betrunkenen Wald)

4.2.2 Beschreibung der lithologischen Einheiten

In diesem Kapitel werden die im Arbeitsgebiet angetroffenen Lithologien makroskopisch beschrieben. Diese unterteilen sich grob in künstliche Ablagerungen, quartäre Ablagerungen und den Gesteinen des Koralpe-Wölz-Deckensystems. Die Beschreibung der Lockergesteine erfolgte in Anlehnung an die EN ISO 14688-1 (2013) und EN ISO 14688-2 (2004) und für Festgesteine an die EN ISO 14689-1 (2003) und an das Merkblatt der für die Felsbeschreibung für den Straßenbau FGSV (1992).

4.2.2.1 Künstliche Ablagerungen

Künstliche Ablagerungen in Form anthropogener Anschüttungen bestehen im unmittelbaren Projektgebiet (Bereich der Rutschung Gumpenberg) aus hellgrauen, schwach schluffigen Kiesen, die in rund- bis kantkorngerundeter Form vorliegen und locker gelagert sind (siehe Abb. 4-2). Zum Teil sind auch mehrere cm-große Bruchstücke von Asphalt oder Beton enthalten. Diese Anschüttungen werden im Bereich der Gumpenbergrutschung angetroffen, wo südlich der Abrisskante direkt neben der Straße ein vermutlich ehemaliges Eisrandgerinne mit anthropogenen Anschüttungen aufgefüllt wurde. Weiters treten diese weiter südlich im Bereich des Natur- und Wellnesshotel Höflehner auf.



Abb. 4-2: Anthropogene Anschüttung mit Bruchstücken, Foto aus Bohrkernokumentation

4.2.2.2 Quartäre Ablagerungen

Im Projektgebiet wird zwischen folgenden quartären Ablagerungen unterschieden:

4.2.2.2.1 Eisrandterrassensedimente

Bei diesen Ablagerungen handelt es sich sowohl um stark tonigen, sandigen, schwach kiesigen Schluff, als auch um stark schluffige, kiesige, schwach steinige Sande mit Gesteinsbruchstücken aus Phyllit und Glimmerschiefer (siehe Abb. 4-3). Generell sind die Komponenten schlecht sortiert, stark wassergesättigt und neigen zum Ausfließen von locker gelagerten Kiesen und Steinen. Die Farbe variiert zwischen grau und braun. Durch den stark variierenden Eisdruck während den Eiszeiten sind diese Sedimente zum Teil stark verfestigt worden. Diese wirken deshalb auch als Wasserstauer und neigen somit zur Ausbildung von Feuchtgebieten und Mooren.



Abb. 4-3: typische Eisrandterrassensedimente mit schlecht sortierten Komponenten und Phyllitbruchstücken im Vordergrund

4.2.2.2.2 Moräne

Moränen sind glaziale Ablagerungen die am Fuße der Gletscherströme gebildet wurden und die im Falle von Grundmoränen durch eine sehr hohe Lagerungsdichte gekennzeichnet sind. Moränen weisen im Projektgebiet ein matrix-gestütztes Gefüge (Schluff, Sand) aus mit Bruchstücken der Kiesfraktion und vereinzelt auch Steinen und Blöcken

auf. Die enthaltenen Bruchstücke bestehen überwiegend aus Glimmerschiefer, Quarzit, Phyllit und Grünschiefer und vereinzelt auch aus Marmor. Moränen sind generell sehr schlecht sortiert, werden deshalb auch den gemischtkörnigen Böden zugerechnet und enthalten häufig auch gekritzte Komponenten. Im Arbeitsgebiet ist die Landschaft morphologisch durch eine sanfte Formgebung gekennzeichnet (siehe Abb. 4-4).



Abb. 4-4: glazial geprägte Landschaft (links), sowie typisches Erscheinungsbild einer Moräne im Arbeitsgebiet (rechts)

4.2.2.3 Rutschmasse

Generell handelt es sich bei den Rutschmassen im Arbeitsgebiet um Lockergesteine, die aus einer grauen, grüngrauen bis braunen Matrix bestehen (siehe Abb. 4-5). Es überwiegen Schluff-, Sand- und Kiesfraktion. Ton bzw. Steine und Blöcke sind als Nebenteile vorhanden. Des Weiteren beinhalten Rutschmassen stark verwitterte und zerlegte Bruchstücke von Phyllit, Grünschiefer und Glimmerschiefer, sowie Quarzknollen. Die Kornform variiert zwischen kantig bis angerundet. Das Material ist großteils wassergesättigt oder durchfeuchtet und durch Erosions- und Verwitterungsprozesse stark aufgelockert, wodurch es vermutlich auch zu einer Reduzierung der Kohäsion und des Reibungswinkels kommt. Rutschmassen treten im gesamten Arbeitsgebiet auf und zeigen lokal Variationen in der Zusammensetzung.



Abb. 4-5: charakteristisches Erscheinungsbild von Rutschmassen im Arbeitsgebiet; a, b: WP90 direkt bei der Gumpenbergrutschung; c (WP24), d (WP14): beide im Gumpenbachgraben aufgenommen

4.2.2.2.4 Schwemmfächer

Diese Sedimente wurden im Arbeitsgebiet überwiegend am nördlichen Ende des Gumpenbach- und Ennslinggraben abgelagert. Die Bäche transportieren vor allem bei Starkniederschlägen oder einsetzenden Schneeschmelzen große Wassermengen, welche das anstehende Gestein im Bachlauf erodieren oder Muren auslösen können und den transportierten Schutt dann am Ausgang der Gräben ablagern. Die Korngrößenfraktion variiert zwischen Sand- und Kies, diese sind zudem sehr schlecht sortiert und liegen größtenteils als Kantkorn vor. Im Untersuchungsgebiet bestehen die Komponenten überwiegend aus Glimmerschiefern, Gneisen, Phylliten und Grünschiefern.

4.2.2.3 Koralpe-Wölz-Deckensystem

Dieses Deckensystem wurde bereits detailliert im Kapitel 2.2.2 besprochen. Im Untersuchungsgebiet werden die Phyllite und Grünschiefer der Ennstaler Phyllitzone, und die phyllitischen Glimmerschiefer dem Wölzer Glimmerschieferkomplex angerechnet, diese beiden Einheiten werden nach der neuen Nomenklatur von Schmid et al. (2004) zum Koralpe-Wölz-Deckensystem gezählt. Die Wölzer Glimmerschiefer unterscheiden sich lediglich durch eine ältere Metamorphose von der Ennstaler Phyllitzone. Der Übergang ist durch eine allmähliche Abnahme der Metamorphose gekennzeichnet (Hejl & Mandl 2014b). Die Grenze dieser beiden Einheiten lässt sich aufgrund des fließenden Übergangs im Gelände nicht nachverfolgen. Die phyllitischen Glimmerschiefer bilden im Arbeitsgebiet die hangendste Einheit, gefolgt von den Grünschiefern und den Phylliten. Die

stark tektonisch beanspruchten Gebirgsbereiche im Untersuchungsgebiet stehen in einem engen Zusammenhang mit der SEMP (Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung). Bei der Geländearbeit wurden parallel zur SEMP verlaufende, steil einfallende Störungsäste beobachtet, die für die starke Zerlegung der Einheiten im Untersuchungsgebiet sprechen.

4.2.2.3.1 Phyllit

Bei den vorliegenden Phylliten handelt es sich um überwiegend straff geschieferte Gesteine, lokal mit cm-dm dicken eingeschalteten kompakteren Quarzlagen. Die dominante Farbe ist hell- bis dunkelgrau bzw. graugrün an Übergängen zu Grünschiefern und schwarz in graphitischen Lagen. Quarz und Muskovit sind die Hauptbestandteile, gefolgt von Chlorit, der prozentmäßig etwas unter dem Muskovit liegt, sowie Albit (Na-Feldspat) und Graphit. Zu den Akzessorien (Vol. Anteil < 1 %) zählen Biotit, Epidot, Granat und Karbonate (Hejl & Matura 2014). Das Gefüge ist hauptsächlich grano-lepidoblastisch, also feinkörnig bis schuppig ausgebildet.

Die Schieferungsflächenabstände liegen überwiegend sehr engständig (2-6 cm) und lokal an Übergängen zu schieferungsparallelen Störungsbändern auch als außerordentlich engständiges (< 2 cm) Trennflächengefüge vor (siehe Abb. 4-6). Mittelständige (20-60 cm) Sf-Abstände treten im Normalfall in kompakteren Bereichen mit höheren Gesteinsdruckfestigkeiten auf und bilden die Ausnahme.



Abb. 4-6: Phyllitaufschluss: Sf-parallele Störung und außerordentlich engständig zerlegter Bereich bei WP3

Die Gesteinsdruckfestigkeiten wurden durch einfache Feldtests (EN ISO 14689-1 2003) abgeschätzt und dürften großteils im Bereich zwischen 1-5 MPa (siehe Abb. 4-7 rechts) liegen und die Phyllite liegen als stark entfestigte Gesteine vor. Lokal im Bereich von Störungen oder stark tektonisch beanspruchten Zonen können die Gesteinsdruckfestigkeiten auch kleiner als 1 MPa sein, was sich an völlig entfestigten Gesteinsverbänden zeigt. Weiters gibt es auch Bereiche mit geringen Festigkeiten (ca. 5-25 MPa) und mäßig entfestigten Phylliten (siehe Abb. 4-7 links).



Abb. 4-7: Phyllitaufschluss mit mäßig entfestigten (links: WP10) und stark entfestigten Bereichen (rechts WP16)

Die Oberfläche der Phyllite herrscht als glattes und eben bis welliges Schieferungsgefüge vor und ist im Allgemeinen serizitisch bzw. mit Glimmer bestegt. Die geomechanische Wirksamkeit von diesen wird bei ungünstigen Gefügeorientierungen als hoch bezeichnet. Mäßig bis hoch persistente Kluftscharen waren nur beim Wegpunkt 5 zu beobachten (siehe Abb. 4-8), die dortigen Kluftabstände variieren zwischen 20-200 cm. Die Öffnungsweite beträgt ca. 0,1 bis max. 1 cm und ist vorwiegend mit Quarz oder Kalzit gefüllt. Aufgrund der generell unregelmäßigen Kluftscharen in den Phylliten bilden sich hauptsächlich tafelförmige oder vereinzelt auch prismatische Kluftkörper aus.



Abb. 4-8: steil nach Süden einfallende Kluftscharen bei WP5

Das dominierende Gefügeelement ist die einheitlich mittelsteil nach N bzw. nach NNE bis NE einfallende Schieferung (Sf) und streicht in etwa WNW nach ESE (siehe Abb. 4-9). Die errechnete Schwerpunktsfläche fällt mit 013/45 ein.

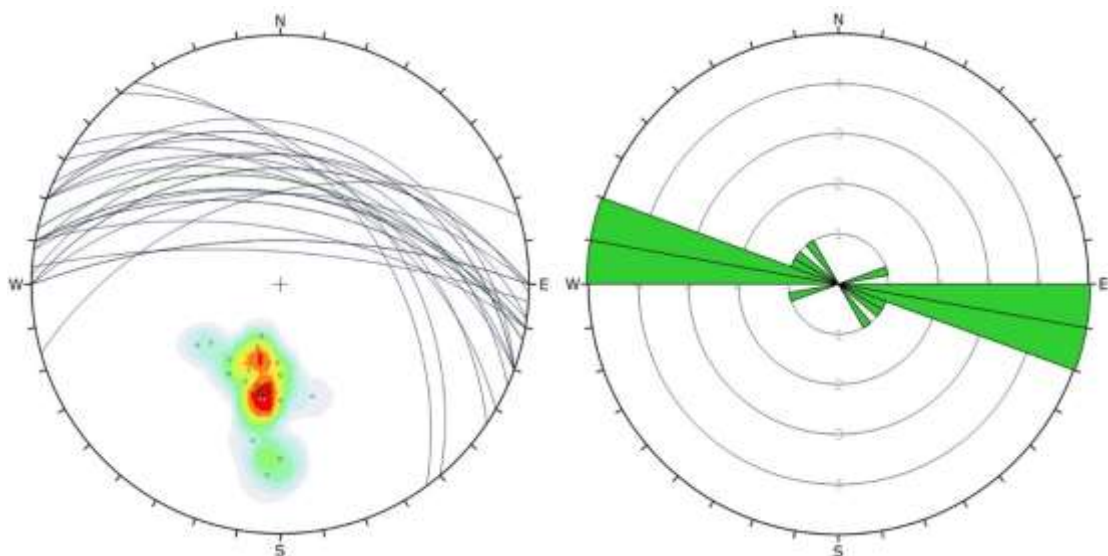


Abb. 4-9: Gefügedatenplot (links) und Richtungsrose (rechts) der Schieferungsflächen im Phyllit

4.2.2.3.2 Grünschiefer

Die Grünschiefer der Ennstaler Phyllitzone sind geschieferte, feinkörnige Gesteine mit einem grano-lepidoblastischem bis plattig ausgebildetem Gefüge. Sie sind im Allgemeinen grünlichgrau, lokal in glimmerreicheren Lagen auch braun ausgebildet. Bei den Hauptgemengteilen dominiert Albit und Quarz, gefolgt von Chlorit. Zu den Nebengemengteilen zählen Muskovit, Biotit, Hornblende und vereinzelt auch Epidot. Titanit und Magnetit liegen als Akzessorien vor (Hejl & Matura 2014). Im Allgemeinen sind die lithologischen Grenzen zum Phyllit fließende Übergänge ohne scharfer Abgrenzung. Lokal

sind immer wieder schieferungsparallel etwas kompaktere Glimmerschiefer- bzw. Quarzlagen eingeregelt (siehe Abb. 4-10).



Abb. 4-10: Grünschiefer mit eingelagerter Quarzlage (weiß) im unteren Bereich

Generell dominieren sehr engständige (2-6 cm) (siehe Abb. 4-11), gefolgt von engständig (6-20 cm) bis mittelständigen (20-60 cm) und lokal auch außerordentlich engständigen (< 2 cm) Schieferungsflächenabständen. Letztgenannte treten vor allem in stark zersetzten Grünschiefern auf.



Abb. 4-11: Grünschieferaufschluss östlich am Fuße der Gumpenbergrutschung bei WP94

Der dominierende Festigkeitsbereich in den Grünschiefern liegt bei 5-25 MPa, diese zeigen einen mäßig entfestigten Gesteinsverband auf (siehe Abb. 4-12 links). Es folgen sehr geringe Festigkeiten (1-5 MPa) mit stark entfestigten Bereichen (siehe Abb. 4-12

rechts) und mäßig hohe Festigkeiten (25-50 MPa) kommen überwiegend in angewitterten Zonen vor (Verwitterungsklassifikation siehe Kapitel II).



Abb. 4-12: Grünschieferaufschluss mit mäßig entfestigten (links: WP29) und stark entfestigten Bereichen (rechts: WP45)

Die Trennflächenoberflächen der Grünschiefer sind großteils eben bzw. wellig und rau oder glatt an glimmerreichen Bestegen. Geomechanisch wirksam sind überwiegend glatt ausgebildete mit Glimmer bestegte Oberflächen. Es wurden hauptsächlich irreguläre Kleinklüfte mit variierenden Gefügeorientierungen angetroffen. Aufgrund der unregelmäßigen Trennflächenscharen bilden sich im Allgemeinen tafelförmige Kluffkörper aus.

Das dominierende Gefügeelement im Grünschiefer ist die einheitlich mittelsteil bis steil nach N bzw. nach NNE einfallende Schieferung (Sf), welche in etwa WNW nach ESE streicht (siehe Abb. 4-13). Die errechnete Schwerpunktkfläche fällt mit 006/49 ein.

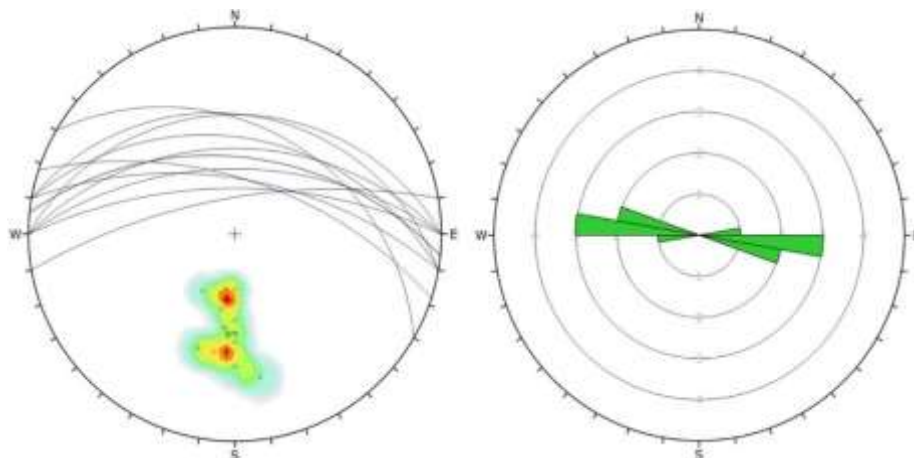


Abb. 4-13: Gefügedatenplot (links) und Richtungsrose (rechts) der Sf vom Grünschiefer

4.2.2.3 Phyllitischer Glimmerschiefer

Die phyllitischen Glimmerschiefer sind graue bis dunkelgraue straff geschieferte Gesteine des Wölzer Glimmerschieferkomplexes. Das Gefüge ist im Allgemeinen feinblättrig bis plattig ausgebildet (siehe Abb. 4-14). Albitblasten kommen vor allem in glimmerreichen Lagen vor. Diese Gesteine weisen einen sehr hohen Quarz- und Muskovitanteil auf. Biotit, Chlorit, sowie chloritisierter Granat und vereinzelt auch Graphit liegen als Nebengemengteile vor. Lokal kommen auch opake Minerale wie Magnetit oder Zirkon und Apatit als Akzessorien vor (Hejl & Matura 2014).



Abb. 4-14: feinblättrig bis plattiges Erscheinungsbild eines phyllitischen Glimmerschiefers bei WP71

Sie sind hauptsächlich engständig bis lokal auch sehr engständig geschiefert. Bei den Festigkeiten sind mäßig hohe Festigkeiten (25-50 MPa) dominierend, welche überwiegend in angewitterten Zonen dominieren (siehe Abb. 4-15). Geringe Festigkeiten (5-25 MPa) kommen untergeordnet in mäßig entfestigten Glimmerschiefern vor.



Abb. 4-15: charakteristischer phyllitischer Glimmerschiefer im Gumpenbachgraben bei WP35

Die Schieferungsflächen sind größtenteils eben und glatt und mäßig bis hoch persistent (Ausbiss teilweise > 3 m). Auch hier wurden irreguläre Kleinklüfte mit variierenden Orientierungen vorgefunden die zur Ausbildung von tafeligen Klufkörpern führen.

Das dominierende Gefügeelement im phyllitischen Glimmerschiefer ist ebenfalls die einheitlich mittelsteil bis steil nach NNW bzw. nach NNE einfallende Schieferung (Sf), welche in etwa W nach E streicht (siehe Abb. 4-16). Die errechnete Schwerpunktsfläche fällt mit 001/49 ein.

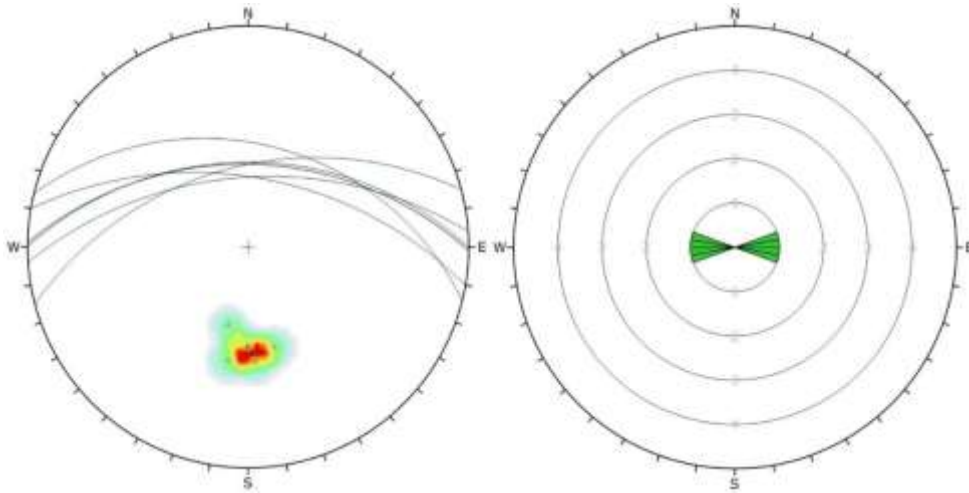


Abb. 4-16: Gefügedatenplot (links) und Richtungsrose (rechts) der Sf vom phyllitischen Glimmerschiefer

4.2.3 Beschreibung des Trennflächengefüges

Das dominante Trennflächengefüge im Arbeitsgebiet sind die überwiegend flach bis steil nach Norden bzw. Nordnordosten einfallenden Schieferungsflächen (Sf) (siehe Abb. 4-17). Die errechnete Schwerpunktläche fällt mit 009/47 ein. Die Abstände der Schieferungsflächen sind im Allgemeinen sehr engständig (2-6 cm) können lokal in kompakteren Bereichen auch bis 60 cm betragen. Außerdem wurden bei Schieferungsflächen keine bis sehr geringe Öffnungsweiten (< 0,1 cm) beobachtet.

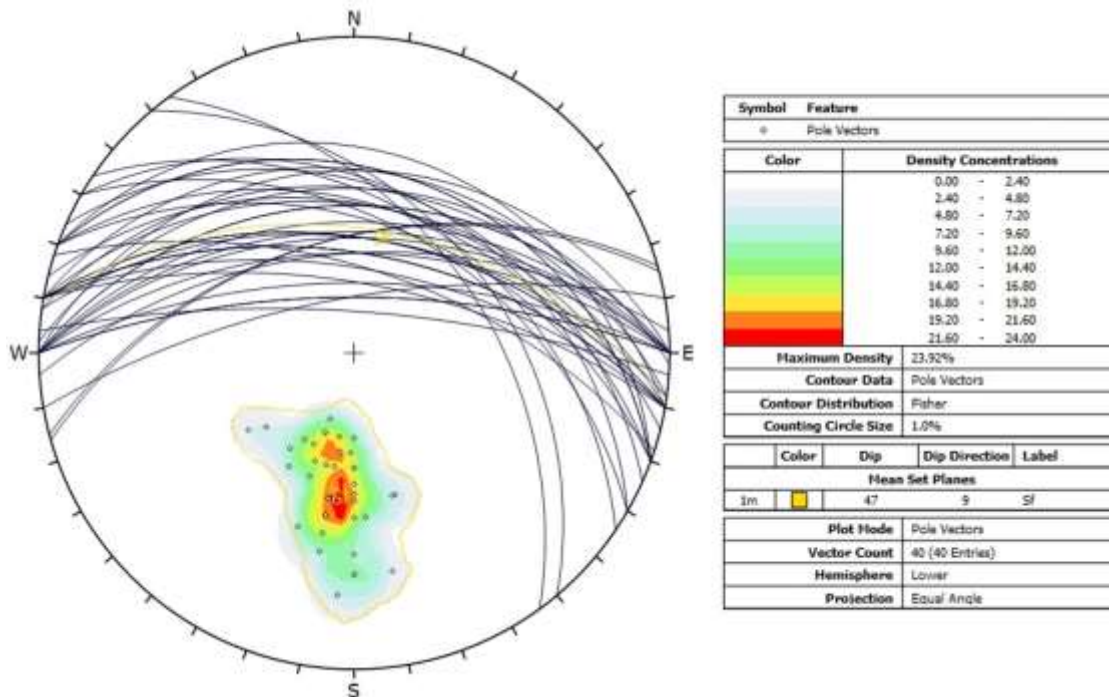


Abb. 4-17: Gefügedatenplot aller Schieferungsflächen im Arbeitsgebiet

Die Störungen sind nach der Schieferung das zweit dominanteste Gefügeelement im Untersuchungsgebiet. Es treten zwei unterschiedliche Hauptscharen von Störungen auf, nämlich steil einfallende in etwa NW-SE streichende bzw. sehr steil einfallende E-W streichende Störungsflächen (siehe Abb. 4-18). Letztere sind ungefähr parallel zur SEMP verlaufende Störungsstäbe.

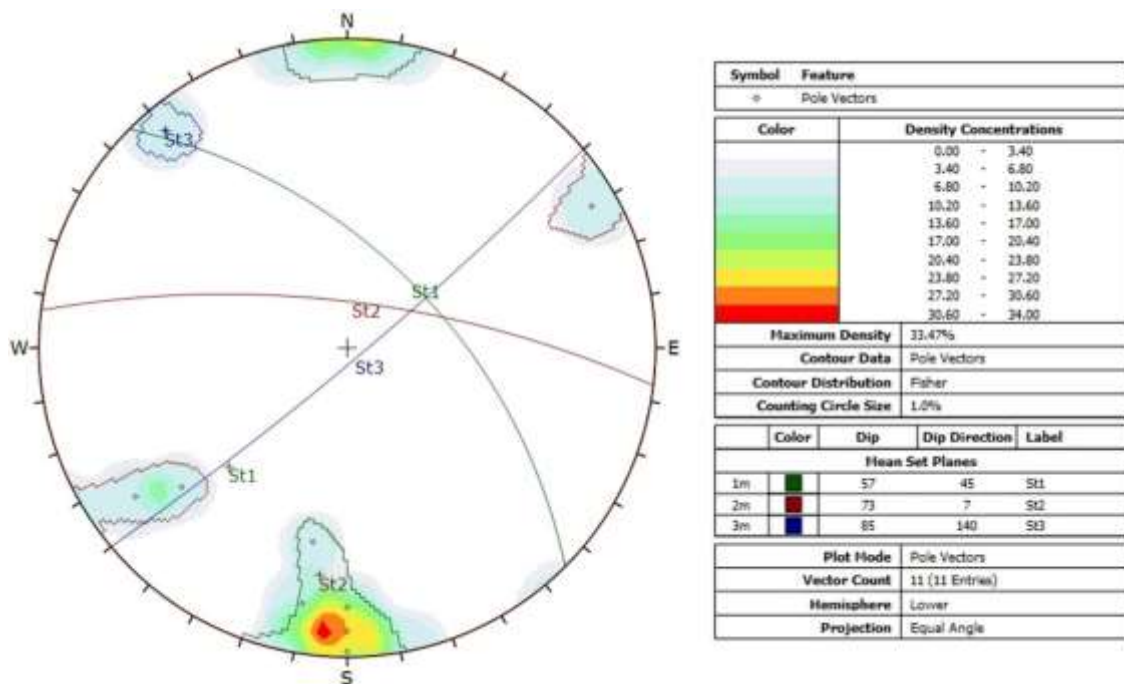


Abb. 4-18: Gefügedatenplot aller Störungen im Arbeitsgebiet

Die Phyllite und Grünschiefer der Ennstaler Phyllitzone sind aufgrund der starken tektonischen Beanspruchung zu lockergesteinsähnlichen bindigen Störungsgesteinen umgewandelt worden deren Festigkeiten deutlich unter 1 MPa liegen. Das Gefüge ist aus feinkörnig zermahlene sandig, schluffigen Phylliten sowie Grünschiefern aufgebaut und hat die Eigenschaft eines bindigen Bodens. Häufig sind auch kompetentere Quarzklasten in der Struktur enthalten.

An einigen Aufschlüssen sind die Störungen durch einen typischen Aufbau von tektonischen Störungszonen gekennzeichnet (siehe Abb. 4-19). Diese sind durch eine Hauptbewegungsfläche am Übergang zum mehr oder weniger intakten Festgestein bzw. durch unterschiedlich stark zerscherte oder geklüftete Zonen charakterisiert (Brosch et al. 2006).



Abb. 4-19: tektonische Störungszone im Phyllit bei WP 58 mit Hauptbewegungsfläche rechts neben Kernzone

Wie in Abb. 4-20 zu sehen sind die unten abgebildeten anastomisierenden Zweigverschiebungen ein Hinweis für Seitenverschiebungen. Des Weiteren weisen die vorgefundenen Sigmaklasten sinistrale Versätze auf. Die vorhandenen Strukturen deuten auf eine starke Deformation im Arbeitsgebiet hin.



Abb. 4-20: anastomisierende Zweigverschiebungen bei WP33

Die Störungen sind vorwiegend weit geöffnet (> 1 cm) und weitgehend mit feinkörnigen Schluffen bzw. Sanden gefüllt. Es kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass die vorliegenden Tonminerale, die aufgrund von verwitterungs- bzw. tektonischen Prozessen aus Phylliten oder Grünschiefern hervorgegangen sind quellfähige Tonminerale beinhalten.

An den Störungsflächen kommt es teilweise zu geringen Wasseraustritten (bis max. 0,05 l/s) bzw. zu Vernässungen an den Felsoberflächen.

Die maßgebenden Störungstypen im Untersuchungsgebiet sind die parallel zur SEMP verlaufenden Seitenverschiebungen sowie schieferungsparallel ausgebildete Störungen. Die Störungen können Mächtigkeiten von einigen Zentimetern bis mehreren Metern erreichen.

Des Weiteren treten im Untersuchungsgebiet zwei unterschiedliche Hauptklufscharen auf. Die beiden Klufscharen K1 und K2 bilden ein konjugiertes Klufsystem, streichen beide in etwa NE-SW (siehe Abb. 4-21) und fallen steil bis sehr steil nach NW bzw. SE ein. K3 und K4 wurden nur beim Aufschluss WP05 beobachtet, daher gibt es zu wenig Gefügedaten um von einer Schar zu sprechen. Die max. Öffnungsweite der Klüfte beträgt in etwa 10 cm und ist größtenteils mit Quarz oder Kalzit gefüllt.

Die Oberfläche der Klüfte ist wellig und rau ausgebildet. Bei den vorliegenden Klufscharen konnten keine Wasserbeobachtungen festgestellt werden, es liegen trockene bis bergfeuchte Verhältnisse vor.

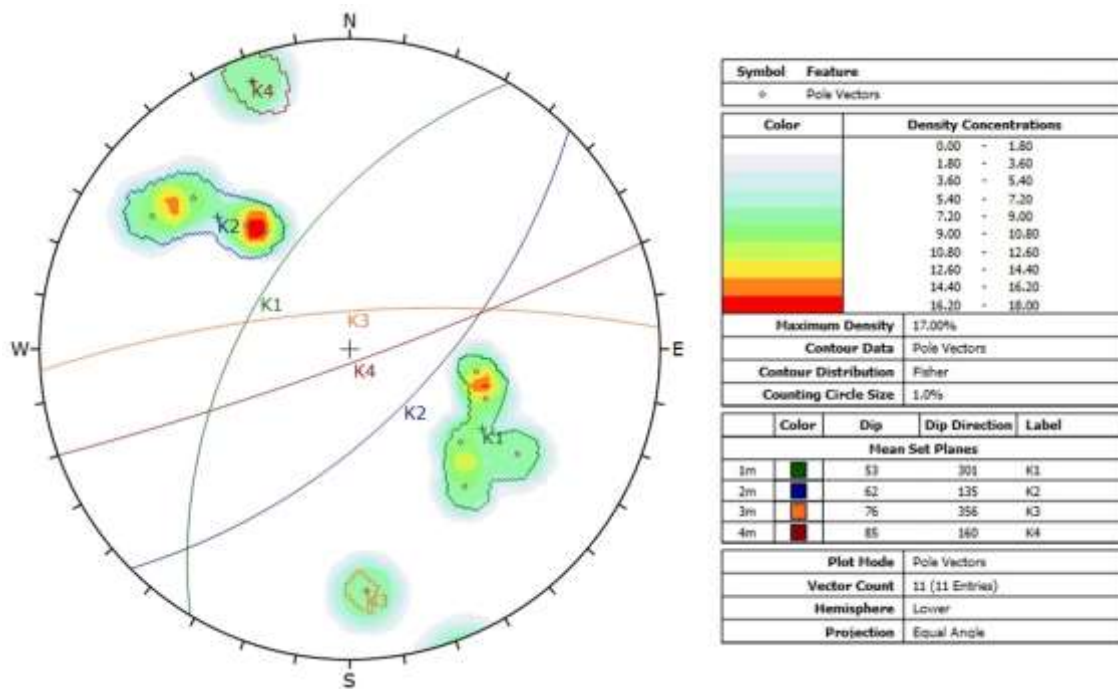


Abb. 4-21: Gefügedatenplot aller Klüfte im Arbeitsgebiet

Die Kluftabstände sind im Allgemeinen mittel- bis weitständig und lokal auch außerordentlich weitständig (siehe Abb. 4-22). Die dominierenden Ausbisslängen der Kluftscharen variieren von 1 bis größer als 3 Meter, jedoch findet man im Arbeitsgebiet häufig auch Kleinklüfte mit unterschiedlichen Orientierungen.



Abb. 4-22: Aufschluss bei WP 7 mit mittel- bis weitständigen Kluftscharen K1 und K2

4.2.4 Erläuterungen zur ingenieurgeologischen Kartierung

Auf die Beschreibung der Lithologien bzw. der Trennflächen wird auf die vorherigen Kapitel 4.2.2 und 4.2.3 verwiesen. In diesem Kapitel wird sowohl auf die Gumpenbergrutschung im kleinen als auf das gesamte Untersuchungsgebiet im großen Rahmen eingegangen.

4.2.4.1 Bereich Gumpenbergrutschung

Die Gumpenbergrutschung erstreckt sich über eine Länge von ca. 87 m und einer Höhe von etwa 40 m. Die Fläche der Rutschmasse beträgt ca. 3260 m². Die Höhe der oberen Abrisskante beträgt ca. 3 m. Die Rutschmasse selbst besteht aus stark verwitterten feinkörnigen Phylliten, die in einer tonig-schluffigen bis sandigen Matrix schwimmen. Das Material ist stark wassergesättigt. Ab einem gewissen Wassergehalt reduziert sich die Kohäsion stark, sodass das Material abzurutschen beginnt. Zudem dürfte von Wegpunkt 2 eine NW-SE streichende Störung durch den Hang durchziehen, deren exakter Verlauf sich im Gelände jedoch nicht nachverfolgen lässt. Diese könnte aufgrund der feinkörnigen Zusammensetzung (tonig-schluffig) als Wasserstauer Richtung Norden fungieren und deshalb den Porenwasserdruck ungünstig beeinflussen.

In der Rutschmasse selbst kommt es zur Ausbildung von Sekundärabrissen beziehungsweise bei Starkregen zum Ausschwemmen des schwach kohäsiven und bindigen Materials (siehe Abb. 4-23). Das los gerissene Material lagert sich dann am Bankett der darunterliegenden Straße ab.



Abb. 4-23: Sekundärabriss bei der Gumpenbergrutschung (oben) und Ausschwämmen der Rutschmasse durch Niederschläge (unten)

Während der Begehung im Mai 2016 kam es nach Niederschlägen immer wieder zum ausrieseln von gering kohäsivem, oberflächlichem Material. Aufgrund der vegetationslosen Zone im Bereich der Rutschung (siehe Abb. 4-24) infiltriert das Wasser direkt in den Boden. Dieser ist dadurch stark gesättigt, wodurch die Oberfläche starken Erosionsprozessen ausgesetzt ist und es so immer wieder zu oberflächlichen Ausschwemmungen bzw. kleinen Rutschungen kommen kann.



Abb. 4-24: Gumpenbergrutschung im Mai 2016

Die in der Karte dargestellten Störungen sind vermutete Verläufe (siehe Abb. 4-26). Weiter WNW von Abb. 4-24 wurden auch Erosionsrinnen dokumentiert, in welchen Blöcke, Steine, Kies und feinkörniges Material abgelagert wurde. In der Rutschmasse selbst konnten in den Abrissbereichen Vernässungszonen und Zerrspalten mit einer Öffnungsweite im unteren cm-Bereich beobachtet werden. Wie in Abb. 4-25 ersichtlich ist zeigt der Anrissbereich Hangneigungen bis zu 55 Grad, danach folgt eine Verebnungsfläche mit bis zu 25 Grad gefolgt von stark übersteilten Bereichen mit Maxima bis 63 Grad.

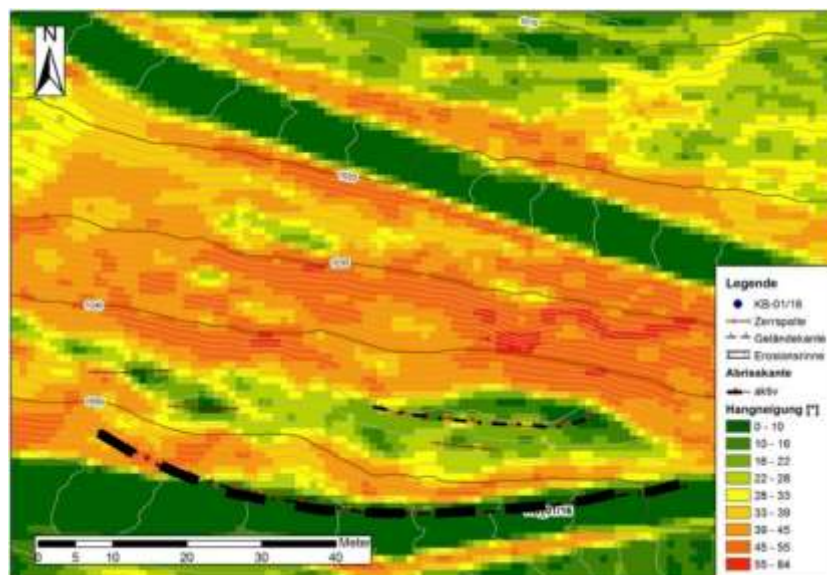


Abb. 4-25: Hangneigungen im Bereich der Gumpenbergrutschung

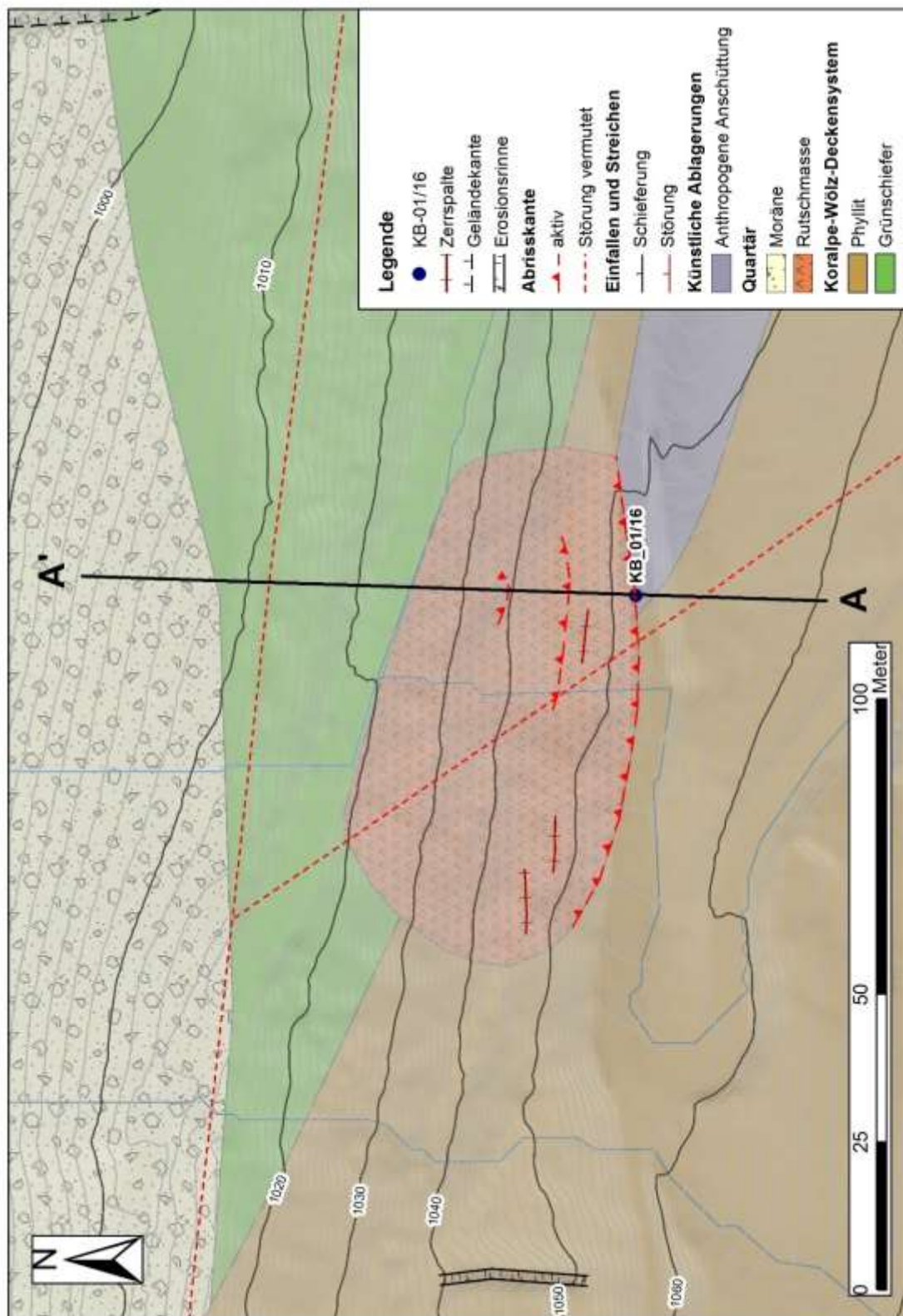


Abb. 4-26: Ausschnitt Gumpenbergrutschung von ingenieurgeologischer Kartierung; die blauen Polylinien im Ausschnitt sind keine kartierten Bäche, sondern von ArcGIS 10.3 (ESRI 2014) errechnete Fließpfade aus dem Digitalen Höhenmodell

4.2.4.2 Gesamtes Kartiergebiet

In diesem Unterkapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse der gesamten Geländearbeit erläutert.

Der Gumpenbachgraben ist ein Nord-Süd streichender Graben, welcher vom gleichnamigen Gumpenbach durchflossen wird. Die dortigen Festgesteine bestehen überwiegend aus Phylliten, Grünschiefern und zu einem geringen Prozentteil sind auch phyllitische Glimmerschiefer vertreten. Die Gesteine sind zu einem großen Teil stark tektonisch beansprucht worden und dadurch sehr brüchig bzw. mürbe. Der Gumpenbach hat sich aufgrund der wenig widerstandsfähigen Gesteine tief in den Graben eingeschnitten (siehe Abb. 4-27).



Abb. 4-27: charakteristisches Bild vom Gumpenbachgraben

Die Uferböschungen im Gumpenbachgraben, welche über dem Wasserspiegel des Bachs liegen werden vermutlich unterschritten, dadurch übersteilt und instabil, wodurch das Abrutschen von Schollen eintreten kann. Hoher Wassergehalt und vermeintlich örtlich hohe Porenwasserdrücke vermindern die Scherfestigkeit wodurch es auch zur Ausbildung von Erdströmen kommen kann. Generell sind im Gumpenbachgraben im oberen Bereich der Böschungen Rotationsrutschungen der dominierende Rutschungstyp, die jedoch weiter talwärts Richtung Gumpenbachgraben eine Kombination aus Gleiten und

Fließen in Form von Muren und Erd- bzw. Schuttströme auslösen können. An den übersteilten Bereichen können phyllitische Felstürme die in der Rutschmasse schwimmen eine Kombination aus Kipp-Gleitversagen hervorrufen (siehe Abb. 4-28).



Abb. 4-28: phyllitische Felstürme im Bereich des Gumpenbachgrabens bei WP27

Des Weiteren stellen abgerutschte Bäume ein Risiko dar, da diese im Bachbett zu Verklausungen führen können. Wegen des hohen Gefährdungspotentials durch Naturgefahren wurde im Gumpenbachgraben weiter talwärts Richtung Norden eine Geschiebesperre errichtet, welche den Ortsteil Ruperting vor Überschwemmungen und Vermurungen schützen soll.

Des Weiteren sind markante Geländekanten, die in unterschiedliche Richtungen streichen sowie aktive und inaktive Abrisskanten mit Sprunghöhen im m-Bereich zu beobachten. In den Rutschmassen bilden sich häufig auch Erosionsrinnen aus, in denen das lose Material als Schutt- bzw. Geröllstrom ins Tal hinabfließt. Vernässungszonen konnten überwiegend in feinkörnigen Lockergesteinen wie den Eisrandterrassensedimenten (siehe Abb. 4-29) sowie in den feinkörnigen Rutschmassen beobachtet werden. Charakteristisch für diese sind die stark wassergesättigten Böden.



Abb. 4-29: Vernässungszone in Eisrandterrassensedimente bei WP13

Wie in Abb. 4-30 oben ersichtlich kam es bei WP15 zum treppenartigen Abgleiten einer sandig bis steinigen Rutschmasse mit stark verwitterten, blättrigen Phylliten in Richtung Osten in den Gumpenbachgraben. Im unteren Bild konnten in der Sackungszone Zerrspalten mit einer Öffnungsweite von ca. 50 cm beobachtet und auf einer Länge von 35 m verfolgt werden. Im Allgemeinen weisen die Rutschhänge eine sehr unruhige Morphologie mit Nackentälchen und Verebnungsflächen, sowie Erosionsrinnen auf.



Abb. 4-30: Abrisskante (oben) und Verebnungsfläche mit Zerrspalte (unten) bei WP15

Ein weiterer wichtiger Hinweis für Hangbewegungen bietet der Baumbestand. Bäume versuchen normalerweise vertikal in Höhe zu wachsen. Hangbewegungen die ein Verkippen der Bäume verursachen führen zu einem Säbelwuchsförmigen Wachstum des Baumbestandes wie in Abb. 4-31 ersichtlich ist.

Die Krümmung vom Stamm, sowie die Neigung der Äste lassen auf das mögliche Alter der Hangbewegung rückschließen (Prinz & Strauß 2011).



Abb. 4-31: Säbelwuchs

Der Ennslinggraben bildet die westliche Grenze des Arbeitsgebietes und ist ein Nord-nordost-Südsüdwest streichender Graben. Die dominierenden Festgesteine dort sind Phyllite, Grünschiefer sowie phyllitsche Glimmerschiefer am südlichen Ende des Kartiergebietes. Der Graben wird von einigen parallelen Störungsästen der SEMP durchörtert, diese können Mächtigkeiten von mehreren Metern erreichen. Deren Verlauf entlang der Oberfläche lässt sich jedoch nicht verfolgen und ist deshalb vermutet. Dort wurden auch einige Schutt- bzw. Erdströme beobachtet, welche besonders an steile Rinnen gebunden sind. Auch hier wurde aufgrund derselben Problematik wie im Gumpenbachgraben am nördlichen Ende des Grabens eine Geschiebesperre errichtet um den Ortsteil Ennsling vor Naturgefahren zu schützen.

Im oberen Bereich des Ennslinggrabens bei WP50 wurde eine Rotationsrutschung mit einem Hauptanriss von etwa 8 m und Sprunghöhen von bis zu 40 cm vorgefunden (siehe Abb. 4-32). An der Krone oberhalb der Abrisskante konnten Zugrisse beobachtet werden, die auf ein Fortschreiten der Bewegung hindeuten. Weiter talwärts Richtung Westen kommt es zur Ausbildung von Sekundärabrissen. In den darunterliegenden Rinnen sind fließende Prozesse wie Erdfließen bzw. Murgänge zu erwarten, diese können bis in den Ennslingbach reichen und die umgestürzten Bäume bzw. können auch hier zu Verkläusungen führen.



Abb. 4-32: Rotationsrutschung bei WP50

In der unteren Abb. 4-33 sieht man die ingenieurgeologische Karte inklusive der durchstreichenden Profile, die später in Kapitel 5 erläutert werden.

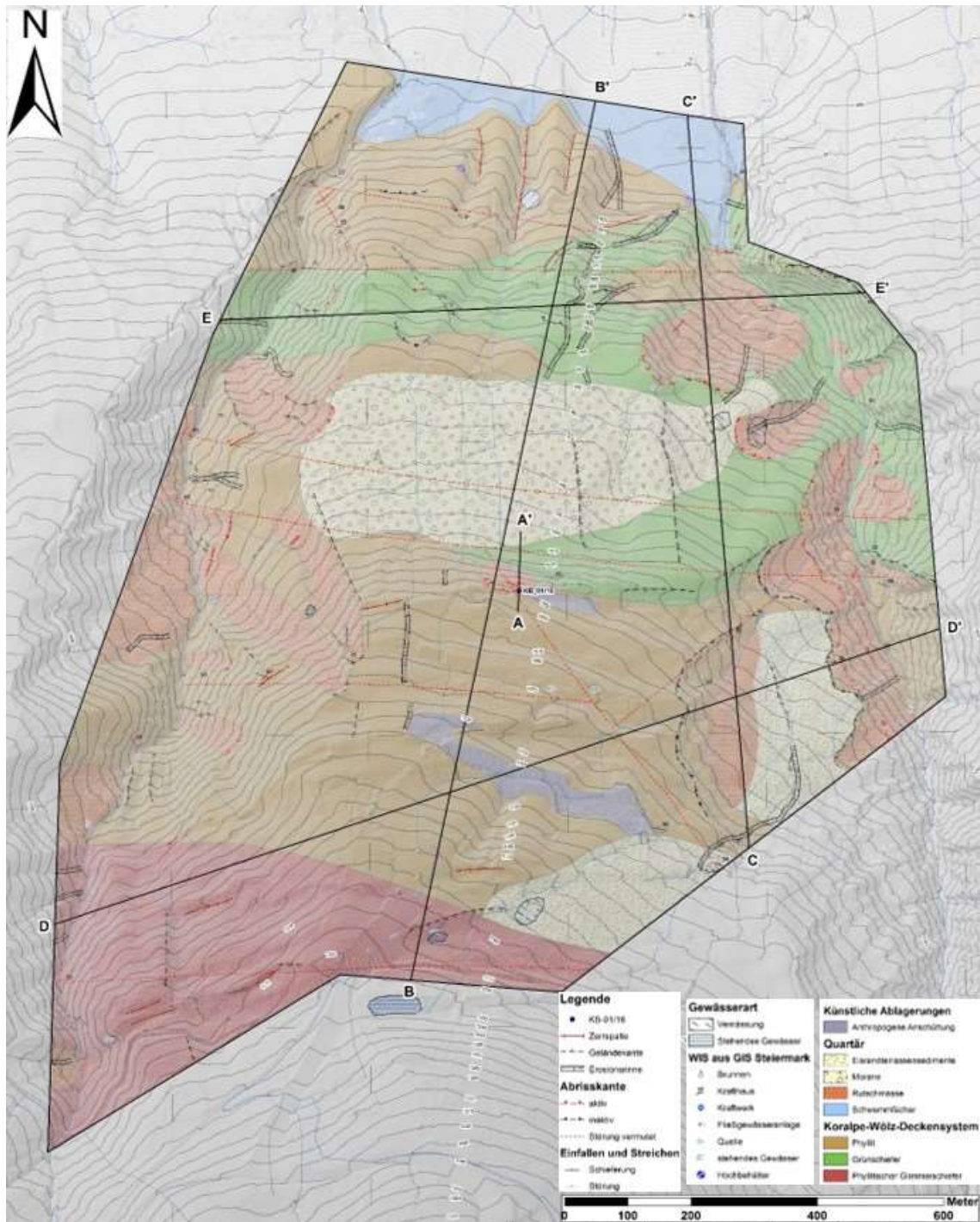


Abb. 4-33: Ingenieurgeologische Kartierung vom Gumpenberg

4.3 Erkundungsbohrung KB-01/16

Die Bohrarbeiten der KB-01/16 fanden von 20 bis 28 Oktober 2016 statt und wurden von der Bohrfirma „Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik“ durchgeführt. Der Ansatzpunkt der Bohrung befindet sich direkt oberhalb der Abrisskante der Gumpenbergrutschung im Bankett der Straße (siehe Abb. 4-34) und liegt in etwa 1.058 m. ü. Adria.



Abb. 4-34: Lageplan der Bohrung KB-01/16

Es kamen sowohl drehende Trockenbohrungen mit Einfachkernrohr, als auch drehende Spülbohrungen mit Doppelkernrohr samt Core Liner (Kernhüllrohr) zum Einsatz. Die Endteufe der Bohrung beträgt 39 m und wurde mit einem Inklinometerrohr der Firma Stump DN 71 mm ausgebaut. Für detaillierte Informationen wird auf Anhang III verwiesen.

4.3.1 Ergebnisse aus der KB-01/16

Bis in eine Tiefe von 1,3 m ab Geländeoberkante treten gemischtkörnige, locker gelagerte, hellgraue Anschüttungen mit schwach schluffigen hellgrauen Kiesen auf.

In einer Tiefe von 1,3 bis 3 m wurde allochthones Hangschuttmaterial angetroffen. Dieses besteht überwiegend aus braunen Sand-Schluffgemischen mit kiesigen und steinigen Anteilen. Es ist locker gelagert und beinhaltet plattige phyllitische Gesteinsbruchstücke bis ca. 5 cm Kantenlänge.

Zwischen 3 und 5 m dominieren graue bis beige vollständig verwitterte Phyllite, die sich überwiegend aus einem Kies-Schluffgemisch und untergeordnet aus sandigen Bereichen zusammengesetzt. In der Matrix befinden sich feinblättrige Phyllite bis 2 cm Kantenlänge.

In einer Tiefe von 5 bis 9 m wurde stark verwitterter, hellgrauer bis beiger Phyllit angetroffen. Dieser besteht aus einem Sand-Schluffgemisch und untergeordnet mit kiesigen Anteilen bestehend aus phyllitischen Bruchstücken und Quarzknollen.

Der Bereich von 9 bis 11,3 m besteht aus stark verwitterten hellgrauen, hellbraunen bis beige Phylliten. Diese liegen als schluffig, kiesiger Sand mit feinblättrigen phyllitischen Bruchstücken und Quarzknollen vor. Zudem wurde in Teufe von 11,2 m Schichtwasser angetroffen, welches sich bis ca. 10,1 m auf spiegelte.

In der Tiefe von 11,3 bis 17,2 m wurde stark verwitterter dunkel- bis braungrauer Phyllit angetroffen. Der zerbohrte Phyllit besteht überwiegend aus Kies mit schluffig, sandig, kiesigen Bereichen. Die Matrix weist eine weiche-breiige Konsistenz auf und wird von bis zu 7 cm großen Phyllitbruchstücken durchzogen.

Zwischen 17,2 und 18,5 m wurden dunkelgrauer bis schwarzer Phyllit mit graphitisch bestegten Trennflächen angebohrt. Der dort angetroffene Phyllit ist vollständig zu tonig-sandigem Schluff zerlegt worden.

Ab 18,5 m tritt wieder grauer, sandiger Kies mit 5-10 cm großen Bruchstücken aus Phyllit und Quarz auf. Der Bereich zwischen 20,25- und 21 m zeigt einen Kernverlust auf.

Im Bereich von 21 bis 39 m dominieren mäßig verwitterte graue, braune und grüne Phyllite bzw. Grünschiefer. Diese liegen als Ton-Schluff-Sandgemisch vor, bereichsweise mit höherem Sand- bzw. Schluffanteil. Zwischen 22,45 und 22,8 m kommen graphitführende Phyllite und Grünschiefer, die zu schluffig-steinigem Kies zerlegt sind vor. Die Konsistenz der Feianteile wurde als überwiegend steif bis halbfest, sowie bereichsweise breiig bis weich eingestuft. Die Bruchstücke weisen Kantenlängen zwischen 2-15 cm auf. Vereinzelt sind auch oxidierte Trennflächen beobachtet worden. In der Tiefe von 35 bis 36 m liegt erneut ein Kernverlust vor.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Qualität der vorliegenden Bohrkerne (häufig zerbohrt) aufgrund der schlechten Gebirgsqualität negativ beeinflusst worden ist. Die Phyllite und Grünschiefer liegen überwiegend als Schluff-Sandgemisch mit Anteilen von Kies und Ton vor, was auch auf eine mögliche Störung in diesem Bereich hindeuten

könnte. Es bestätigt sich somit auch die Vermutung einer möglichen tiefreichenden Auflockerungszone wie sie von Mandl, Hejl, et al. (2014) in den Erläuterungen zum ÖK Blatt 127 beschrieben wurde. Diese könnte in einem Zusammenhang mit der Bergzerreißung des Hauser Kaibling stehen (Van Husen 1987b).

Die Bohrkerne sind als Fotos in Abb. 4-35, Abb. 4-36 und Abb. 4-37 dargestellt.



Abb. 4-35: Bohrkern KB-01/16 0 – 15 m



Abb. 4-36: Bohrkerne KB-01/16 15 – 30 m



Abb. 4-37: Bohrkern KB-01/16 30 – 39 m

4.4 Messtechnische Überwachung

Die Messtechnische Überwachung mittels geodätischer Vermessung und Inklinometermessungen ist eine sehr wichtige Erkundungsmethode um die Bewegungscharakteristik bzw. die räumliche Ausdehnung von Massenbewegungen zu erfassen. Dabei kann nicht nur die Tiefe der möglichen Gleitfläche, sondern auch die Bewegungsrate der bewegten Masse festgestellt werden. Weitere wichtige Messeinrichtungen sind Wetterstationen, diese zeichnen den Niederschlag, die Temperatur etc. auf. Häufig besteht ein Zusammenhang zwischen Hangbewegungen und Niederschlägen.

Bei den geodätischen Vermessungen werden die Bewegungen über Festpunkte erfasst, diese geben Aufschluss über die Art, Richtung und Geschwindigkeit der Massenbewegung.

Inklinometermessungen nehmen Horizontalverschiebungen entlang einer vertikalen Messlinie des Bohrlochs auf. Besonders bei sehr geringen Bewegungen (unteren mm-Bereich) die durch geodätische Messungen nicht ermittelt werden können zeigen Inklinometermessungen große Vorteile auf. Es kann nicht nur die Tiefe der Gleitfläche, sondern auch Differenzbewegungen lokalisiert werden (Prinz & Strauß 2011).

1. Geodätische Oberflächenmessungen über vorgegebene Festpunkte
2. Inklinometermessungen der KB-01/16

4.4.1 Geodätische Oberflächenmessungen

Nach den Hangbewegungen im Juni 2013 wurden im Rutschhang 13 Messpunkte versetzt. Die geodätischen Vermessungen wurden vom Vermessungsbüro Badura durchgeführt. Die Nullmessung erfolgte am 16.09.2013 und es wurden insgesamt 5 Folge-messungen durchgeführt. Von den insgesamt 13 Messpunkten blieben letztendlich 10 übrig, einige davon wurden beschädigt bzw. nicht mehr benötigt.

Die Lage der Vermessungen bezieht sich auf das Gauß Krüger M31 Koordinatensystem. Für die Höhe wurde ein lokales Höhensystem als Referenz herangezogen.

Im nächsten Unterkapitel werden die geodätischen Messergebnisse erläutert und grafisch abgebildet. In Abb. 4-38 ist Lage der 13 geodätischen Messpunkte, welche im Messprogramm waren ersichtlich. Die Punkte 101, 103 und 110 wurden beschädigt bzw. nicht mehr benötigt.

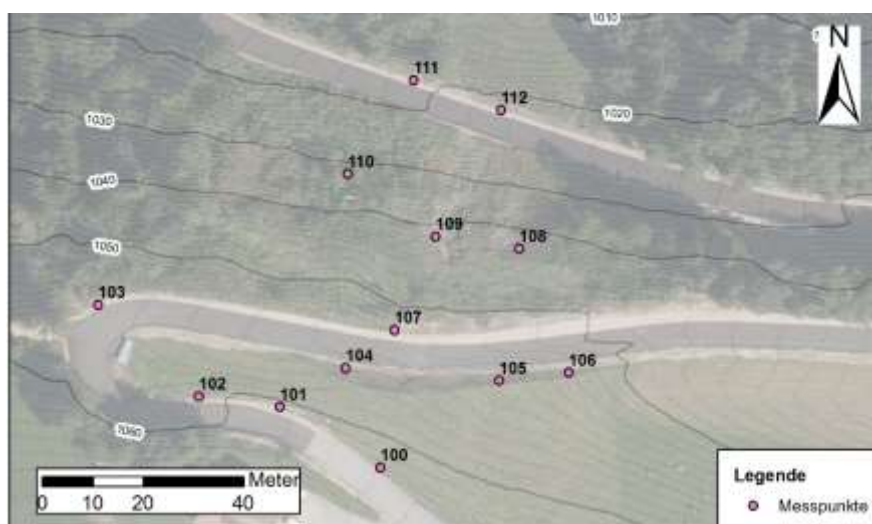


Abb. 4-38: Lageplan der geodätischen Messpunkte

Messergebnisse

Der Zentralteil der Böschung weist die größten Bewegungen auf. Bei den dort platzierten Messpunkten 109 und 110 wurden im Zeitraum September 2013 bis November 2014 Gesamtverschiebungen von 45,7 bzw. 29,1 cm aufgezeichnet (siehe Abb. 4-39). Punkt 108 am Rand der Rutschung zeigt mit 12,7 cm im gleichen Messzeitraum deutlich kleinere Verschiebungen an. Die Messpunkte 103, 104 und 100 oberhalb der Gumpenbergrutschung weisen Bewegungen bis 20 cm auf, weshalb sich die dortigen Rissbildungen erklären lassen. Die Punkte 111 und 112 am talseitigen Straßenrand zeigen keine Verschiebungen an.

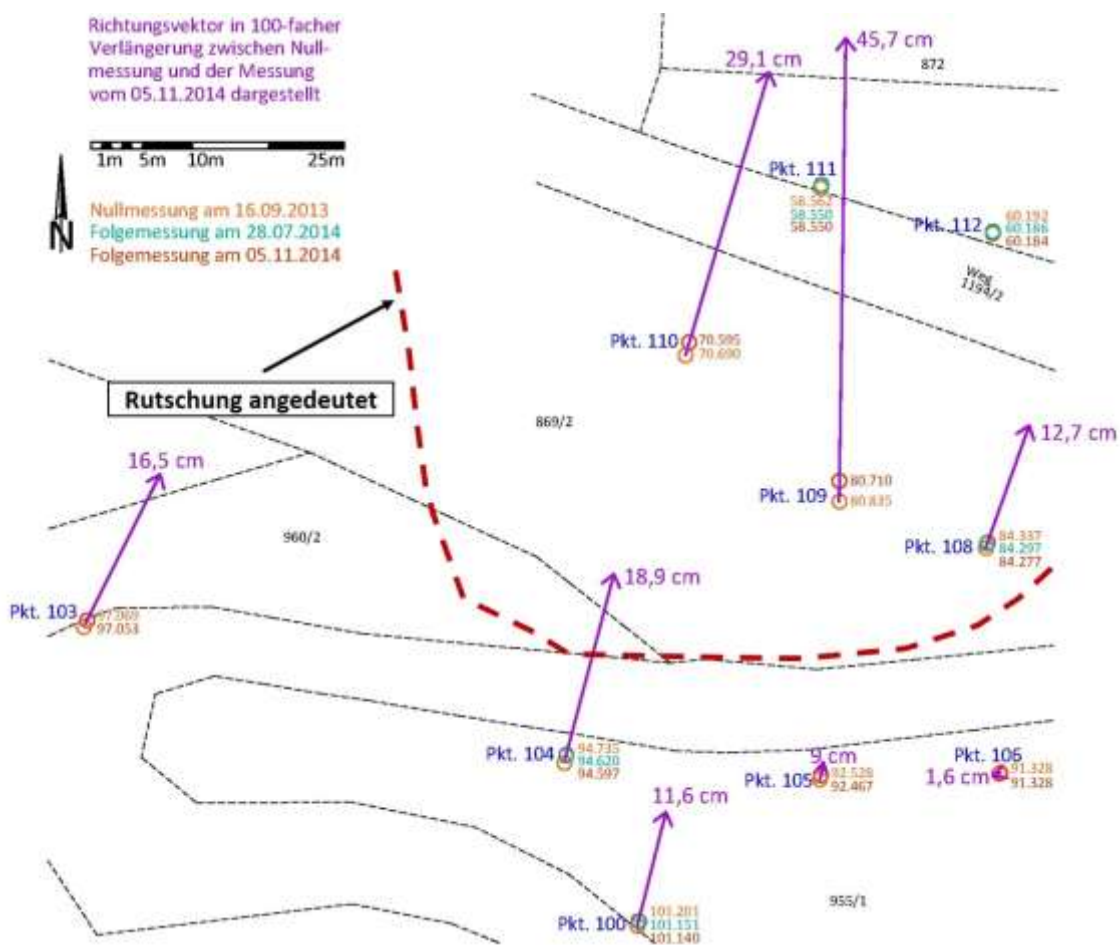


Abb. 4-39: Verschiebungsvektoren im Zeitraum von September 2013 bis November 2014

Die Bewegungen können als sehr langsam (cm/a) eingestuft werden (siehe Tab. 3-2) und deuten auf eine Kriechbewegung des Hanges hin.

In der unteren Tab. 4-1 sind die Verschiebungsvektoren von der ersten Null- bis zur letzten Folgemessung tabellarisch aufgeführt. Dabei verzeichnen die Punkte 109 und 110 in der Rutschmasse die größten Bewegungen auf.

Tab. 4-1: Verschiebungsvektoren im Zeitraum von 16.09 bis 05.11.2014

Messpunkt	Zeitraum 16.09.2013 bis 05.11.2014	
	Verschiebung [cm]	Setzung [cm]
100	11,72	-6,10
103	16,37	-1,60
104	18,72	-13,80
105	9,30	-6,10
106	2,06	0,00
108	12,50	-6,00
109	45,70	-12,50
110	28,78	-9,50
111	0,91	-1,70
112	1,00	-0,80

Da die beiden Punkte 109 und 110 im zentralen Teil der Rutschung liegen und die größten Verschiebungen aufweisen, wurden von diesen beiden Punkten Zeitverschiebungsdiagramme erstellt. In Abb. 4-40 kann man sehen, dass die Bewegungen in horizontaler Richtung (rote Linie) im Zeitraum von 21.05.2014 bis zur Letztmessung am 05.11.2014 Zuwächse von etwa 30 cm aufweisen und die vertikalen Verschiebungen in Richtung Tal ca. 10 cm (blaue Linie) betragen.

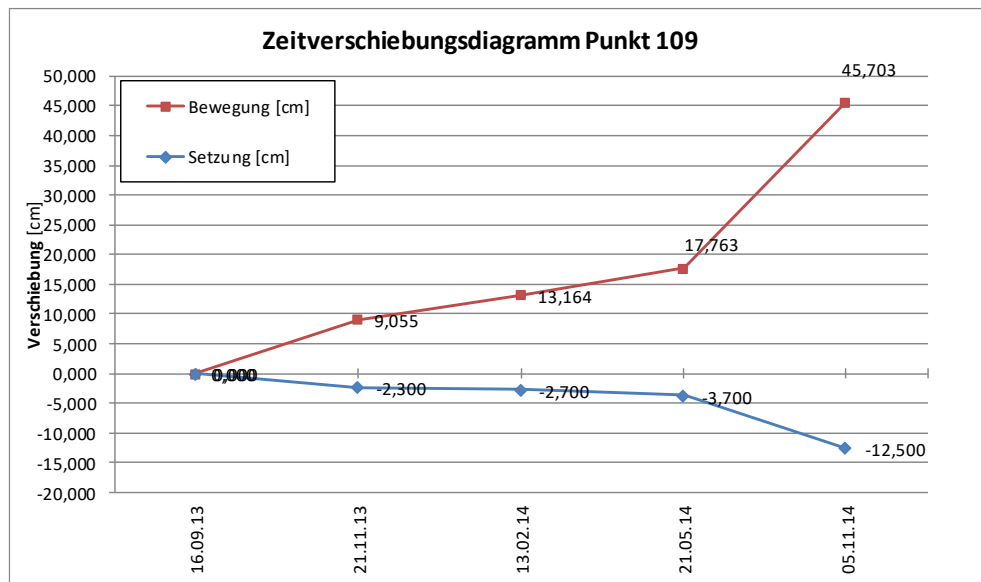


Abb. 4-40: Zeitverschiebungsdiagramm Punkt 109

Punkt 110 weist bei den horizontalen Bewegungen die größten Zuwächse von der Null- bis zur ersten Folgemessung mit gut 12 cm auf, danach zeigt die Kurve einen näherungsweise linearen Verlauf an (siehe Abb. 4-41). Die horizontalen Bewegungen zeigen deutlich größere Verschiebungen an als die Vertikalen.

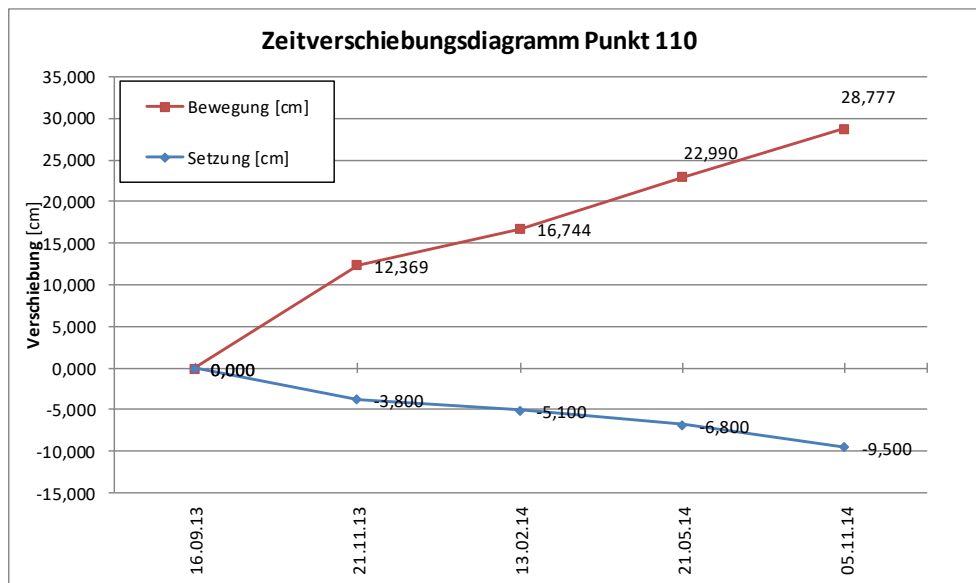


Abb. 4-41: Zeitverschiebungsdiagramm Punkt 110

Punkt 100, bergseitig der Rutschung weist im Beobachtungszeitraum ca. 12 cm Horizontalverschiebung und die Punkte 111 und 112 talseitig der Rutschung lediglich ca. 1 cm auf.

4.4.2 Inclinometermessungen

Um die Hangbewegungen der Gumpenbergrutschung detaillierter zu erfassen und die Gleitfläche zu bestimmen wurde im Zuge der KB-01/16 das Bohrloch mit einem Inclinometerrohr der Fa. Stump ausgebaut.

Die doppelte Nullmessung (n1, n2) wurde am 3. November 2016 durchgeführt und zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Die erste Folgemessung erfolgte Ende März 2017. Die Messstreuung ist untypisch hoch und es können keine Hangbewegungen interpretiert werden, da die scheinbare Bewegungsrichtung in A-Achse bergauf gerichtet ist (siehe Abb. 4-42).

Es sollten auf alle Fälle weitere Folgemessungen durchgeführt werden um einen möglichen Trend zu erkennen und daraus einen Mehrgewinn an Informationen ableiten zu können.

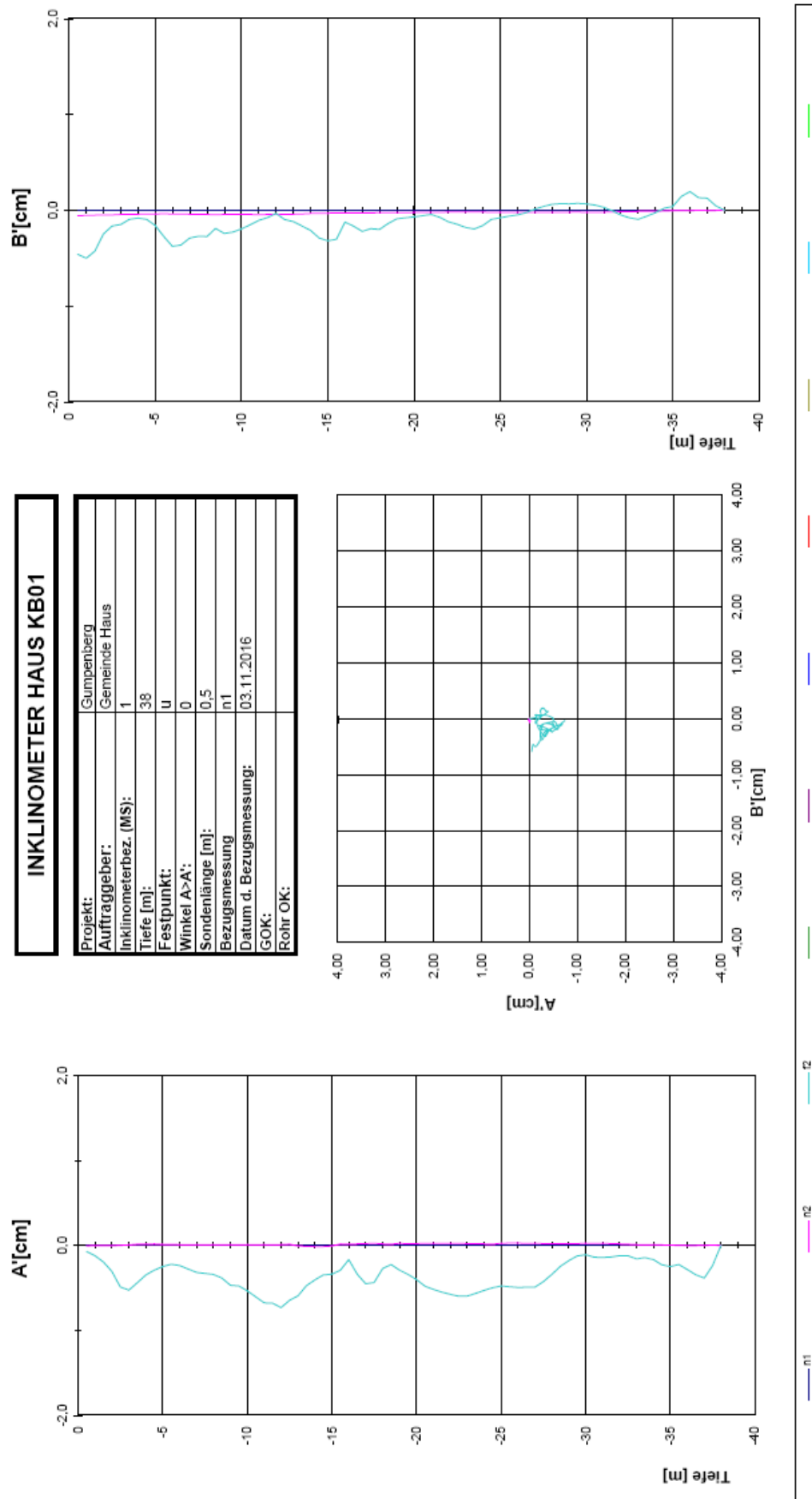


Abb. 4-42: Inklinometerauswertung der Null- sowie der ersten Folgemessung

4.4.3 Niederschlagsdaten

Da direkt am Gumpenberg keine Station für Niederschlagsmessungen existiert, wurden die Daten des Hydrographischen Dienstes Steiermark der Messstelle Birnberg analysiert. Diese Messstelle liegt knapp 5 Kilometer Luftlinie westnordwestlich vom Gumpenberg entfernt. Die Ortschaft Birnberg liegt auf ca. 800 m Seehöhe auf einem ost-west streichenden Plateau nördlich der Enns.

In Abb. 4-43 werden die Niederschläge des Jahres 2013 in dem sich das Rutschungsereignis am Gumpenberg abspielte grafisch dargestellt. Dabei sticht besonders die Zeitspanne um Ende Mai heraus, wo es zu erhöhten Tagesniederschlägen mit 46,2 mm kommt und die Niederschlagssumme einen steilen Knick nach oben macht. Dieser Zeitraum lässt sich in etwa mit der Gumpenbergrutschung korrelieren und könnte somit der wesentliche Auslöser gewesen sein. Im Juli geht die Intensität und Häufigkeit der Niederschläge zurück, was man am Plateau zwischen den beiden grünen Rechtecken erkennen kann. Von Anfang bis Ende August nehmen die Niederschläge wieder zu, wodurch sich die mögliche Bewegungszunahme im Rutschungsbereich erklären lässt. Anfang Oktober nimmt die Intensität des Niederschlags kurzfristig nochmals zu, danach kommt es zu einem Rückgang der Niederschläge. Die Zeitspanne von Ende Oktober 2013 bis Mitte Februar 2014 zählt zu den Niederschlagsärmsten.

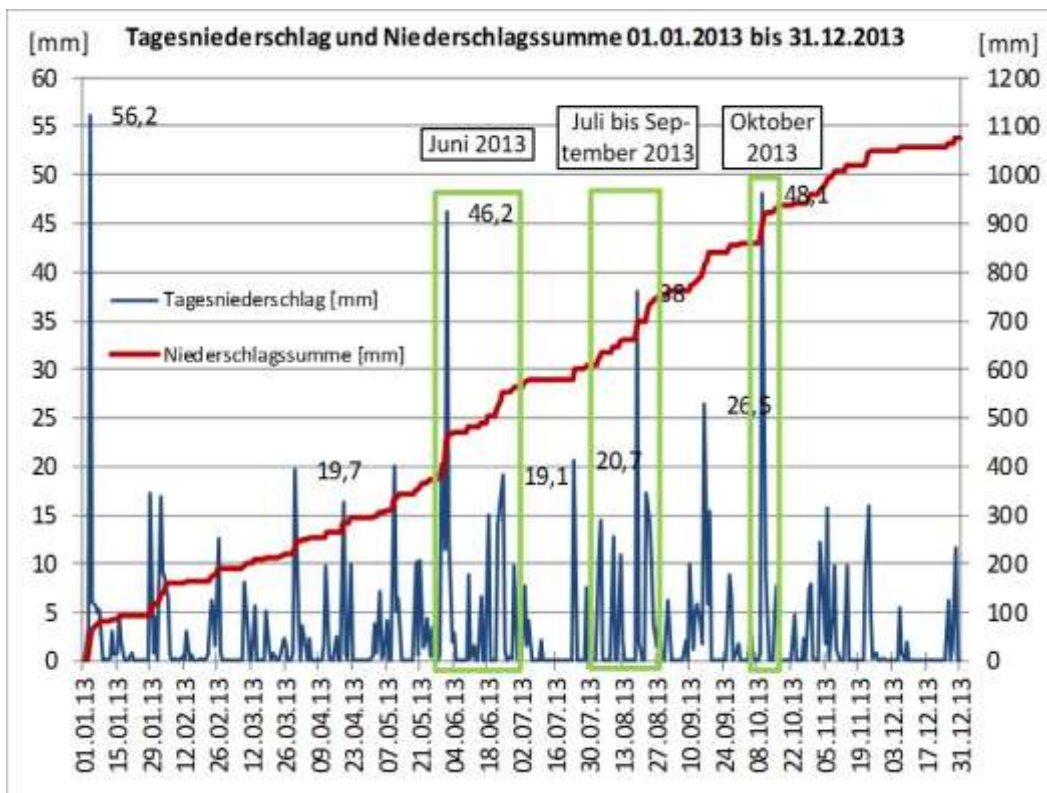


Abb. 4-43: Tagesniederschlag (blau) und Niederschlagssumme (rot) vom Jahr 2013 der Messstelle Birnberg des Hydrographischen Dienstes Steiermark – an der linken y-Achse ist der Tagesniederschlag und auf der rechten Seite der y-Achse ist die Gesamtniederschlagssumme in Millimeter gegenüber dem Datum an der x-Achse aufgetragen.

In Abb. 4-44 nimmt die Niederschlagssumme, sowie die Intensität von Ende April bis Mitte Juni deutlich zu. Von Mitte Juni bis Ende Juli flacht die Kurve der Niederschlagssumme wieder ab. Die Zeitspanne von Ende Juli bis Mitte September und Anfang bis Mitte Oktober (siehe Abb. 4-44) ist durch einen deutlichen Anstieg der Niederschlagsintensität und Summe gekennzeichnet. Wie in Abb. 4-40 und Abb. 4-41 ersichtlich zeigt der Zeitraum von 21.05.2014 bis 05.11.2014 einen markanten Anstieg der Verschiebungen in der Rutschung auf. Dieser Bereich dürfte sich relativ gut mit den vorhandenen Niederschlagsdaten korrelieren lassen.

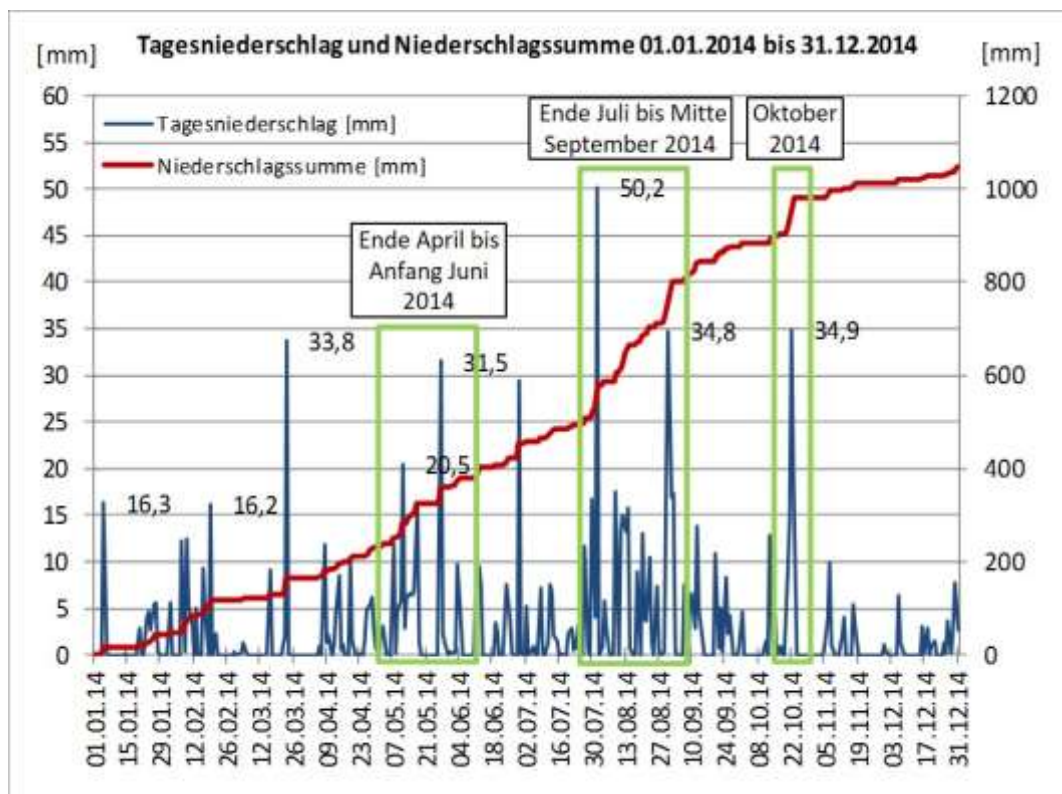


Abb. 4-44: Tagesniederschlag (blau) und Niederschlagssumme (rot) vom Jahr 2014 der Messstelle Birnberg des Hydrographischen Dienstes Steiermark - an der linken y-Achse ist der Tagesniederschlag und auf der rechten Seite der y-Achse ist die Gesamtniederschlagssumme in Millimeter gegenüber dem Datum an der x-Achse aufgetragen.

Um einen groben Überblick über den Verlauf der Niederschlagssummen zu bekommen wurden diese für die Jahre 2012 bis 2016 in einem Diagramm zusammengefasst (siehe Abb. 4-45). Die beiden relevanten Summenniederschläge der Jahre 2013 und 2014 sind in gelb und grün dargestellt. Die höchste Niederschlagssumme wurde im Jahr 2012 gemessen.

Die Kurven der Jahre 2014, 2015 und 2016 zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf an. Bei den Jahren 2012 und 2013 kommt es zu leichten Abweichungen.

Eine erste auffällige Abweichung ist durch den deutlichen Anstieg des Niederschlags von Ende Mai bis Anfang Juli 2013 gekennzeichnet. Ab Anfang August kommt es zu einem steilen Anstieg der 2014er Kurve, welche im September abflacht und bei den Niederschlagssummen zu den anderen Jahren aufschließt mit Ausnahme der von 2012, die deutlich darüber liegt. Als letzter markanter Bereich sticht jener von Mitte Oktober bis Mitte November heraus, dabei kommt es zu einem kurzen, aber deutlichen Anstieg des Niederschlags im Jahr 2014. Danach überwiegt bis Ende des Jahres eine sehr niederschlagsarme Phase.

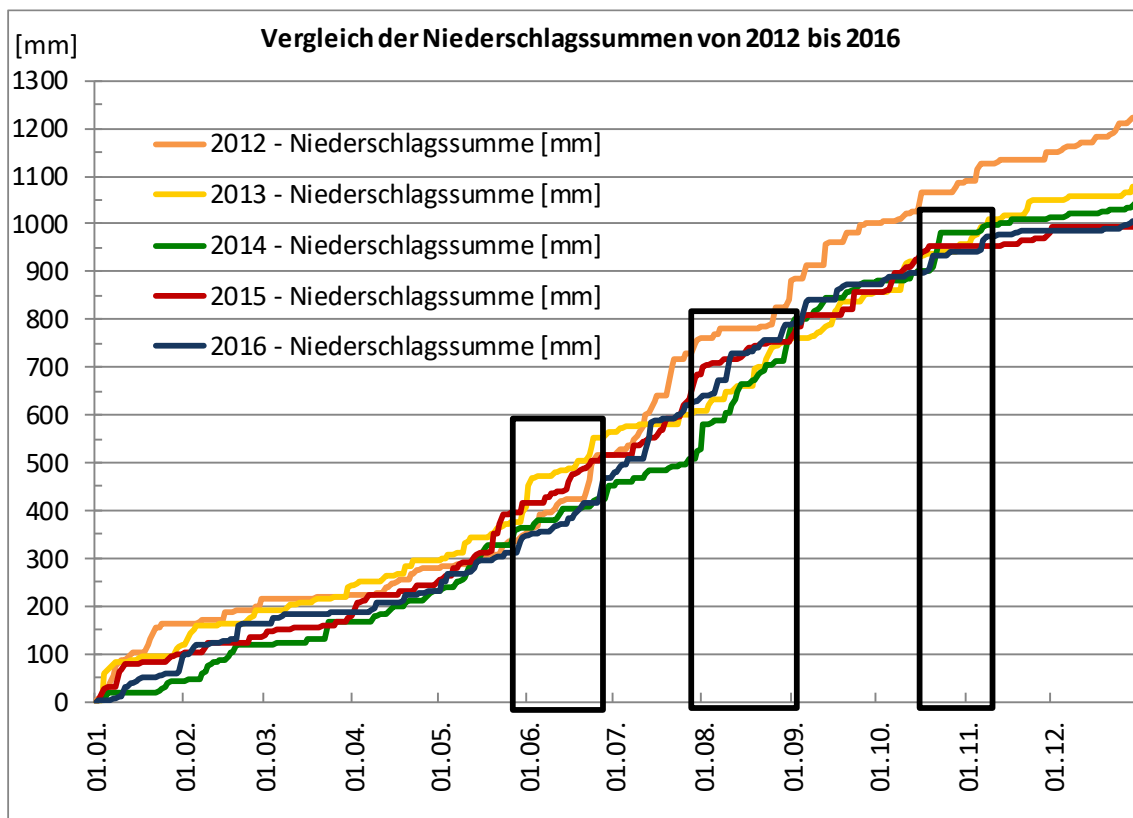


Abb. 4-45: Niederschlagssummenvergleich der Jahre 2012 bis 2016 von der Messstelle Birnberg des Hydrographischen Dienstes Steiermark

5 Geologisch-geotechnisches Untergrundmodell

Das Kapitel 4 bildet die Grundlage für das Untergrundmodell. Dazu wurden die wichtigsten Erkenntnisse der ingenieurgeologischen Kartierung, sowie der Erkundungsbohrung in geologisch-geotechnischen Schnitten abgebildet.

Da man den Untergrundaufbau nicht bis ins Detail erkunden kann bzw. es auch eine Kostenfrage ist, welche und wieviel Erkundungsmethoden man zur Verfügung hat.

Es wurden insgesamt fünf Profilschnitte generiert, davon 3 in Längs- und zwei in Quer- richtung, wovon in diesem Kapitel lediglich die Profile A-A' und B-B' erläutert werden, da diese Profile aufgrund der Schnittführung den größten Stellenwert für die Standsicherheitsberechnungen (siehe Kapitel 7) haben. Die drei anderen Profile C-C', D-D' und E-E' liegen im Anhang IV bei und sollen Auskünfte über die mögliche Erstreckung der Grenze zwischen Festgestein und aufgelockerten Bereichen geben. Es wird auf die ingenieurgeologische Karte (siehe Abb. 4-33) verwiesen, mit deren Hilfe die Profile erstellt wurden.

Erkundungsbohrungen sind ein sehr wichtiger Bestandteil für die Erstellung eines Untergrundmodells. Aufgrund der schlechten Gebirgsqualität, welche man an den vorhandenen Bohrkernen erkennen kann liegt die Vermutung einer tiefreichenden Auflockerungszone sehr nahe. Laut Mandl, Hejl, et al. (2014) existieren solche stark aufgelockerten, bewegten Bereiche an den Nordhängen der Planai, Oberhaus und am Hauser Kaibling inklusive dem Gumpenberg. Aufgrund den Informationen aus der Bohrung und der Literatur wurde bei den generierten Profilen die oben erwähnte Auflockerungszone hineininterpretiert.

Da die vorliegenden Bohrkern für Scherversuche als ungeeignet bzw. nicht aussagekräftig angesehen wurden, wurden für die Wahl der Bodenkennwerte für die Standsicherheitsberechnungen die Gutachten des Semmeringbasistunnels (ÖBB Infrastruktur AG 2010) herangezogen. Die in diesem Projekt vorkommenden Fest- und Lockergesteine weisen eine ähnliche Lithologie und Entstehungsgeschichte vor und sind daher mit jenen der Gumpenbergrutschung vergleichbar.

Ein weiteres wichtiges Werkzeug für die Ermittlung der geometrischen Lage von Gleitflächen sind Inklinometermessungen. Da im vorliegenden Fall aber erst eine Folgemessung stattgefunden hat und diese als nicht interpretierbar gewertet wurde (siehe Kapitel 4.4.2) ist der Erkenntnisgewinn zu gering und daher sollten noch weitere Messungen

durchgeführt werden um die mögliche Lage der Gleitfläche im Untergrund bestimmen zu können.

Für die Modellbildung wurden wie schon zuvor erwähnt ein kurzes Profil A-A' durch die Gumpenbergrutschung inklusive der KB-01/16 und ein langes Profil B-B' westlich davon durch den gesamten Ausschnitt des Arbeitsgebietes erstellt.

Der Schichtenaufbau der Oberfläche, sowie die Verschnittpunkte der Abrisskanten und der vermuteten Störungen können aus der ingenieurgeologischen Karte (siehe Abb. 4-33) entnommen werden. Das Einfallen der Schieferung beruht auf den Gefügemessungen der Geländebegehung vom Mai 2016, wodurch man den Verlauf der Schichten im Untergrund mit Annahmen grob bestimmen kann. Im Allgemeinen ist der Aufbau des Untergrunds im Arbeitsgebiet als heterogen zu erachten, wodurch Abweichungen möglich sind, jedoch wurde dieses nach dem bestmöglichen Erkenntnisstand erarbeitet.

5.1 Erläuterungen zu Profil A-A'

Das Untergrundmodell A-A' ist in Abb. 5-1 ersichtlich und wird nun kurz erläutert.

Die Abrisskante befindet sich direkt bei der bergseitigen Straße und der Verlauf der Gleitfläche wurde aufgrund der nach Nord bis Nordost einfallenden Schieferung als Translationsrutschung interpretiert. In der Rutschmasse befinden sich zwei Sekundärabrisse, wobei einer davon in etwa der Schieferung und der andere eher dem Einfallen der vermuteten Störung folgt. Die Rutschmasse weist in etwa eine Länge von ca. 87 m auf und ist ca. 7,5 m tief.

Die Kernbohrung zeigt bis in eine Tiefe von 1,3 m Anschüttungsablagerungen an, die sich im Gelände entlang der Straße weiterverfolgen lassen. Danach folgt bis ca. 3 m phyllitischer Hangschutt. Generell weisen die dargestellten Phyllite und Grünschiefer eine dünne Hangschuttauflage auf, die aufgrund der geringen Mächtigkeit in der ingenieurgeologischen Karte nicht eingezeichnet wurde. Der Grünschiefer an der talseitigen Straße könnte aufgrund seiner etwas höheren Kompetenz gegenüber dem Phyllit als stabilisierender Keil am Fuße der Rutschung entgegenwirken.

Die Störungen sind vermutet und beruhen auf Annahmen, da diese vorwiegend in den Gräben aufgeschlossen waren und sich der Verlauf im Gelände nicht nachverfolgen lässt und daher der Verlauf der Streichrichtung folgt. Bei den geodätischen Vermessungen im Jahr 2013 und 2014 wurden Bewegungen oberhalb der Straße gemessen, die eventuell mit der hier durchstreichenden Störung zusammenhängen könnten. Diese könnte auch als Wasserstauer fungieren, wodurch der Schichtwasserspiegel während Starkniederschlägen zunimmt und somit eine Erhöhung des Porenwasserdruckes bewirkt und dadurch zu Bewegungen im Hang kommen könnte.

Der mögliche Übergang zwischen dem stark aufgelockerten Bereich und Festgestein lässt sich eventuell durch die Bergzerreißung am Hauser Kaibling und der damit verbundenen stark bewegten Masse erklären.

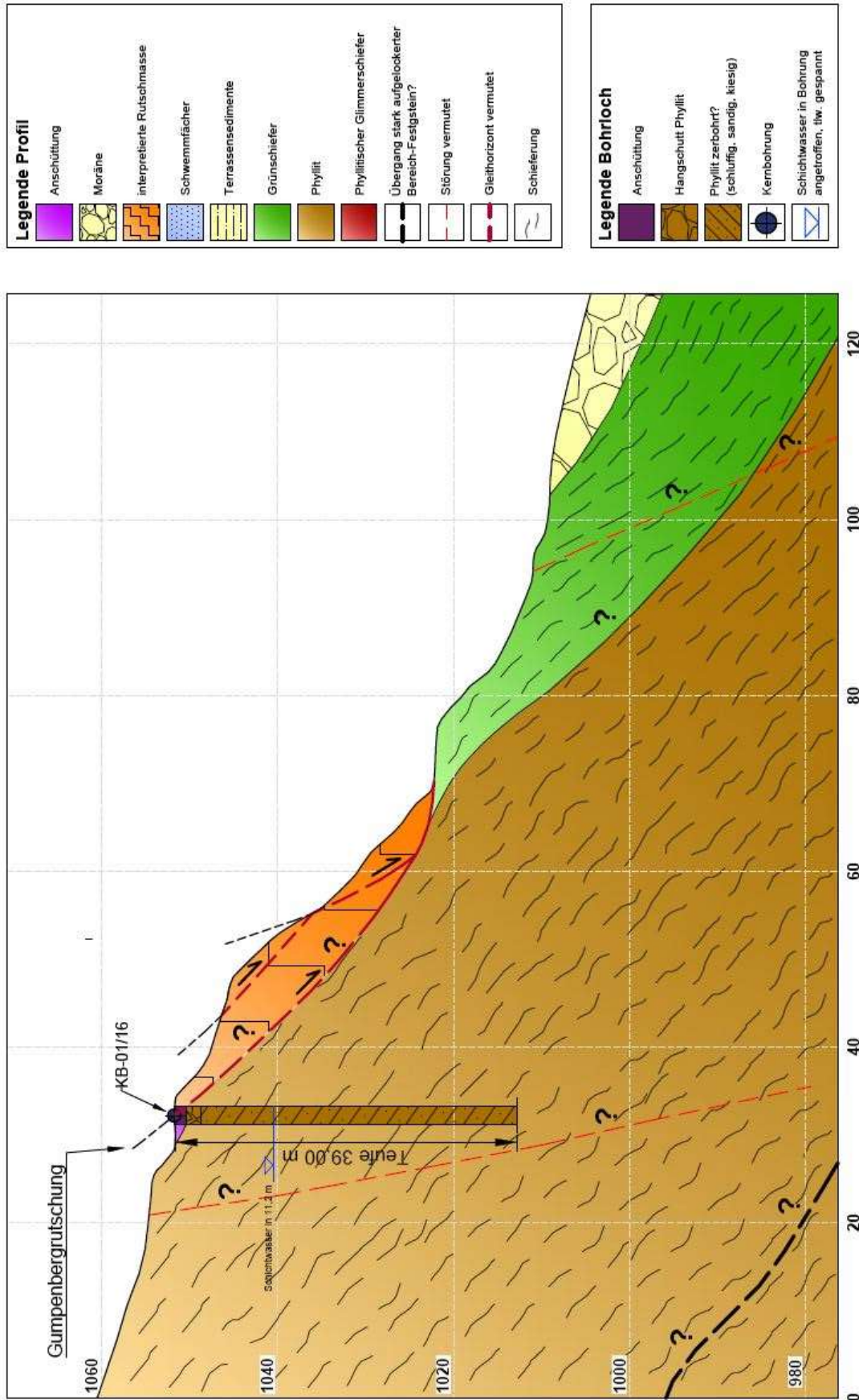


Abb. 5-1: Untergrundmodell Profil A-A'

5.2 Erläuterungen zu Profil B-B'

Abb. 5-2 zeigt das lange Profil durch das gesamte Arbeitsgebiet.

Dabei ist gegenüber Abb. 5-1 ersichtlich, dass weiter südlich auch phyllitischer Glimmerschiefer aufgeschlossen ist. Die gewellten Grenzen in Abb. 5-2 wurden deshalb gewählt, da bei den vorliegenden Lithologien im Gelände keine scharfen Grenzen, sondern vorwiegend fließende Übergänge beobachtet wurden. Fließende Übergänge wurden auch in Mandl, Hejl, et al. (2014) als solche beschrieben, da die Metamorphose graduell abnimmt und so keine eindeutigen Grenzen ausbildet.

Die dominierenden Gesteine in diesem Schnitt sind die Phyllite, gefolgt von den kompakteren phyllitischen Glimmerschiefern und letztendlich den Grünschiefern. Auch hier sind die abgebildeten Phyllite, Grünschiefer und phyllitischen Glimmerschiefer von einer dünnen Hangschuttauflage überlagert. Eine untergeordnete Rolle für die Standsicherheitsberechnungen im großen Maßstab spielen die Anschüttungen, die Rutschmasse der Gumpenbergrutschung und die Schwemmfächersedimente.

In diesem Profilschnitt sind zwei Abrisskanten an der Geländeoberfläche sichtbar, nämlich eine bei der Gumpenbergrutschung, die vermutlich an das Schieferungsgefüge gebunden ist und eine weiter nördlich davon im Grünschiefer, die hangparallel ausflacht. Eine weitere interpretierte Gleitfuge könnte von der Gumpenbergrutschung in die Grenze vom Auflockerungsbereich zu Festgestein münden und eine mögliche Großhangbewegung andeuten.

Die vorherrschenden Störungen sind Abschiebungen, was man beim phyllitischen Glimmerschiefer gut erkennen kann, dabei gleitet die hangende Schicht nach unten.

Vor allem in diesem langen Profil kann es zu Abweichungen kommen, da keine Ergebnisse von Untergrunderkundungen vorliegen. Die vermutliche Grenze des aufgelockerten Bereichs zu Festgestein in einer Tiefe von ca. 250 m ist den Erläuterungen des ÖK Kartenblatts 127 (Mandl, Hejl, et al. 2014) entnommen.

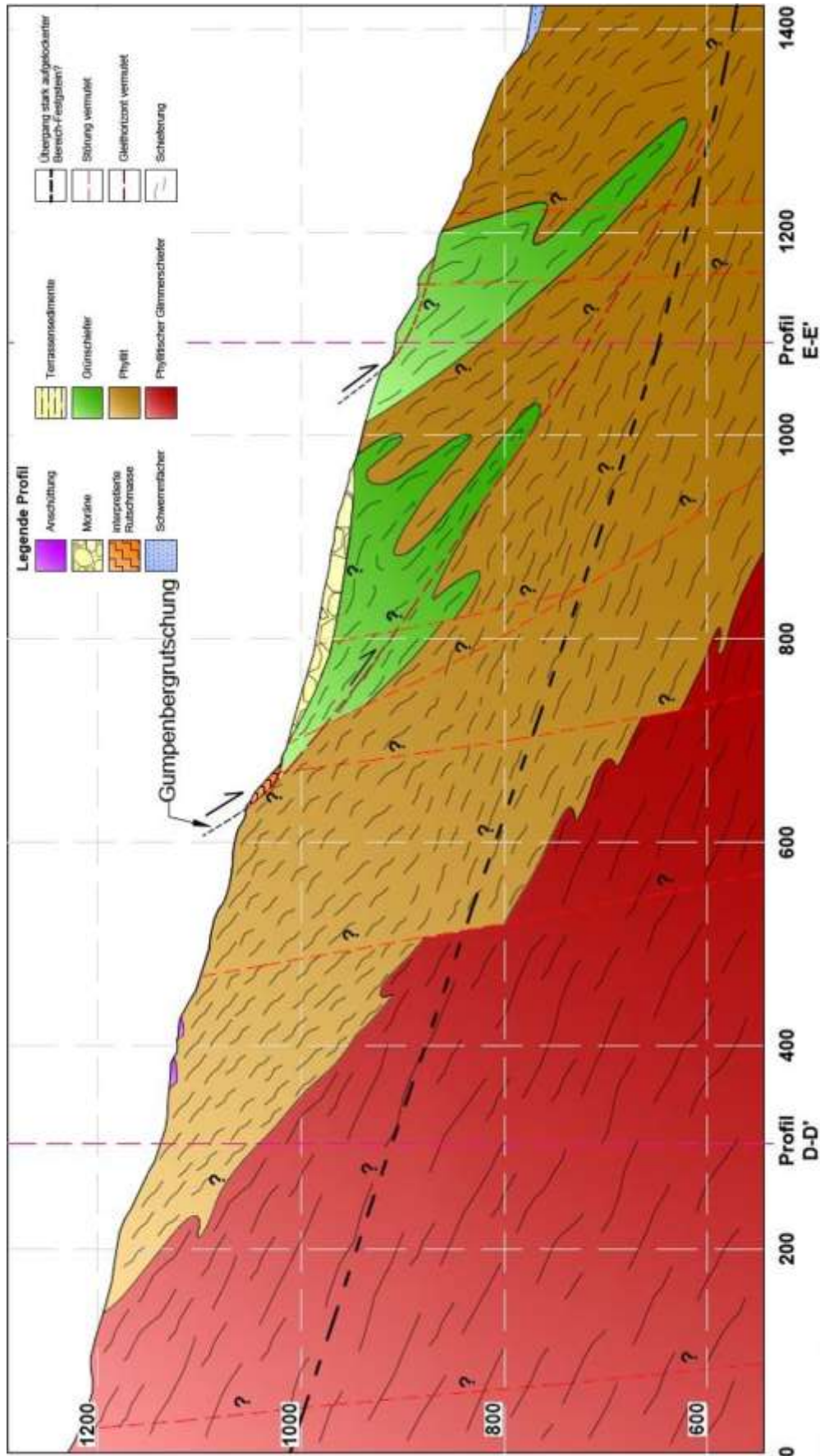


Abb. 5-2: Untergrundmodell Profil B-B'

6 Kinematische Analysen

In diesem Kapitel werden auf Grundlage der gemessenen Gefügedaten aus der Geländebegehung kinematische Analysen mit dem Programm Dips 6.0 von RocScience (2012) durchgeführt. Da diese Methode normalerweise für Festgesteine verwendet wird, aber im vorliegenden Fall aufgrund der stark bewegten aufgelockerten Bereiche (siehe Abb. 5-1 und Abb. 5-2) eine Melange aus Fest- und Lockergesteinen vorliegt wurde in Kapitel 7 auch eine Standsicherheitsanalyse mittels Lamellenverfahren im Programm Slide 6.0 durchgeführt, welche vorwiegend für Böden angewandt wird.

Aufgrund der schlechten Aufschlusslage im Bereich der Gumpenbergrutschung wurden für die kinematischen Analysen alle Gefügedaten der Schieferungs-, Kluft- und Störungsflächen herangezogen (siehe Anhang II) um ein signifikantes Ergebnis für mögliche Versagenstypen zu erhalten. Die Schieferung ist das dominante Gefügeelement im Untersuchungsgebiet, daher wurde für die Analysen mit der Schwerpunktfläche von 011/42 gearbeitet.

Die Eingabeparameter sind zum einen die Gefügedaten (Einfallrichtung/Einfallswinkel), sowie die Neigung und Einfallrichtung der Böschung und der Reibungswinkel. Im vorliegenden Fall wurde die mittlere Böschungsneigung und -richtung mit ArcGIS 10.3 statistisch ausgewertet. Diese fällt mit 010/43 mittelsteil in nordnordöstliche Richtung ein. Der Reibungswinkel (φ) dürfte im vorliegenden Fall maximal 30 Grad erreichen, dieser Wert ist an das Gutachten des Semmeringbasistunnels (ÖBB Infrastruktur AG 2010) und an Strauss (1996) angelehnt. In einer zweiten Variante wurde dieser bis 25° reduziert.

Die Ergebnisse der Kinematischen Analyse werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

6.1 Ebenes Gleiten

Dieser Versagenstyp kann eintreten, wenn die Trennflächen Tageslicht sehen, also der Einfallswinkel (δ) der Schichten kleiner ist als der Böschungswinkel (α).

$$\textit{kinematisch möglich} = \delta < \alpha$$

Die halbmondförmige kritische Zone (siehe Abb. 6-1 roter Bereich) wird aus einem Tageslicht, und einem Reibungskreis gebildet. Gleitversagen tritt ein, wenn die Polpunkte außerhalb des Reibungskegels, aber innerhalb der Tageslichthülle liegen. Der Reibungskreis wird vom Programm direkt aus dem Zentrum aufgetragen. Die Ausrichtung

der Tageslichtzone ist von der Einfallrichtung der Böschung abhängig und der Einfallswinkel wird ebenfalls vom Zentrum weg aufgetragen.

Variante 1:

Abb. 6-1 zeigt das Ergebnis der kinematischen Analyse aus Dips. Dabei kann man erkennen, dass die Polpunkte, welche in der roten Zone liegen Gleiten auslösen können. Statistisch gesehen liegt die errechnete Wahrscheinlichkeit eines kinematischen Versagens mit allen Gefügedaten bei ca. 23 % und mit der Schwerpunktsfläche der Schieferung (011/42) mehr als doppelt so hoch bei ca. 48 %.

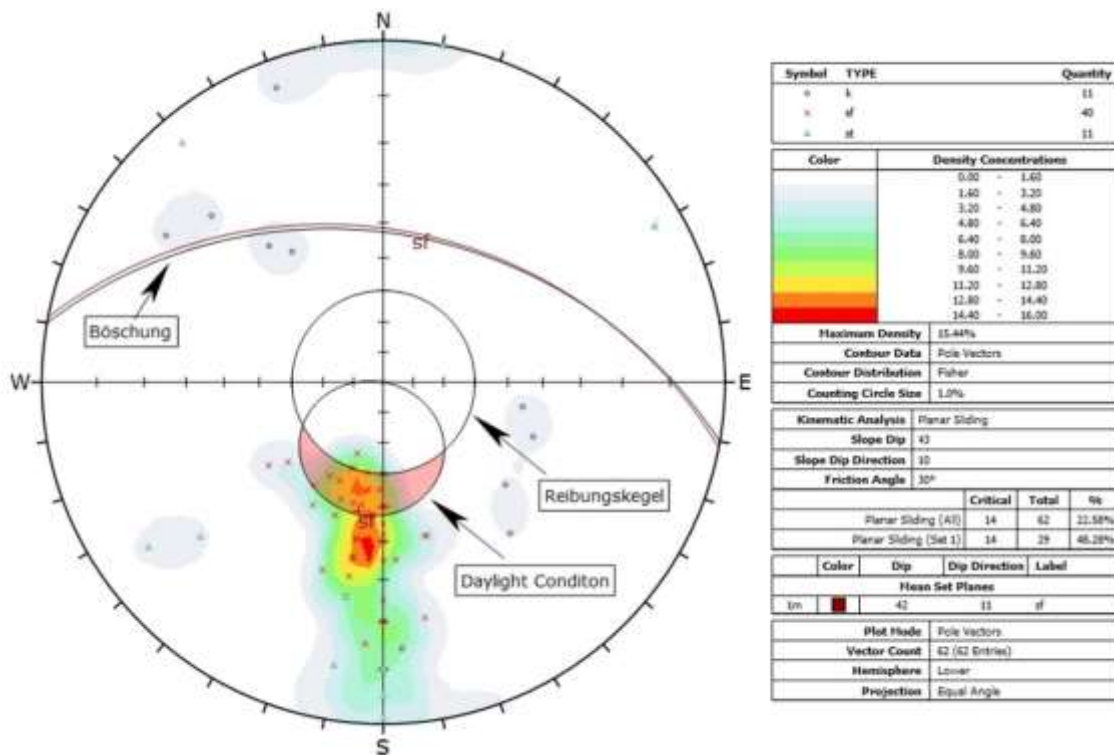


Abb. 6-1: kinematische Analyse – ebenes Gleiten Variante 1 mit $\phi = 30^\circ$

Variante 2

Im Vergleich zu Variante 1 kann man in Abb. 6-2 sehen, dass aufgrund der Abnahme des Reibungswinkels die kritische Zone um 10 Grad größer ist. Die Wahrscheinlichkeit von Gleiten erhöht sich bei beiden ausgerechneten Statistiken minimal um ca. 2 %.

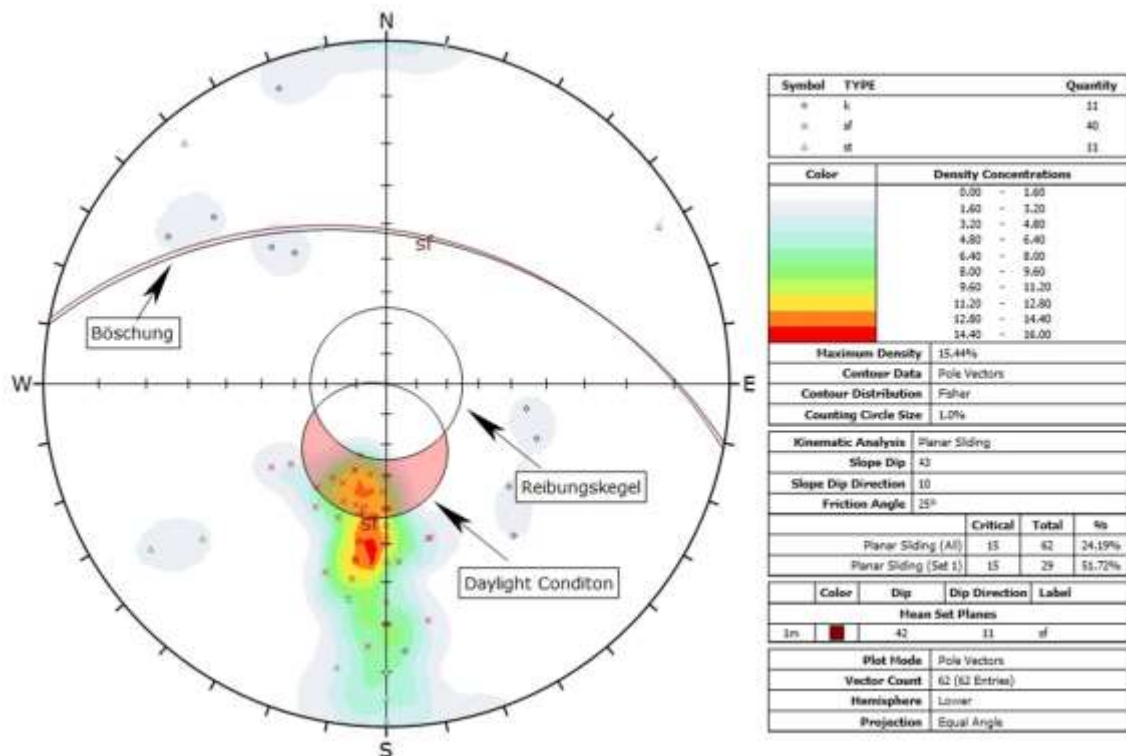


Abb. 6-2: kinematische Analyse – ebenes Gleiten Variante 2 mit $\varphi = 25^\circ$

Zusammenfassend kann man sagen, dass die beiden Varianten fast ident sind und die Abnahme des Reibungswinkels keine allzu große Rolle spielt. Einen wesentlich größeren Einfluss hätte eine steilere Böschung, wodurch sich die kritische Zone nach SW ausdehnen würde. Die Schieferung ist das dominante Gefügeelement, welches für Gleitversagen in Frage kommt. Die Kluft- und Störungsflächen sind von einem möglichen kinematischen Versagen nicht betroffen.

6.2 Keilgleiten

Dieser Versagenstyp kann eintreten, wenn die Schnittpunkte von zwei Kluftscharen kleiner als der Neigungswinkel der Böschung ist (siehe Abb. 6-3):

$$\hat{I}_{12}(\text{Schnittpunkte}) < \alpha$$

Die Schlüsselemente für Keilgleiten sind die Böschungfläche (α), der Reibungskegel und die Schnittpunkte der Großkreise (\hat{I}_{12}).

Die wesentliche kritische Zone (rot) für Keilgleiten befindet sich innerhalb des Reibungskegels und außerhalb der Böschungfläche (siehe Abb. 6-4). Kritische Schnittpunkte, welche in der gelben Zone eingezeichnet sind repräsentieren Keilkörper die entlang des Verschnittes zweier Trennflächen gleiten können.

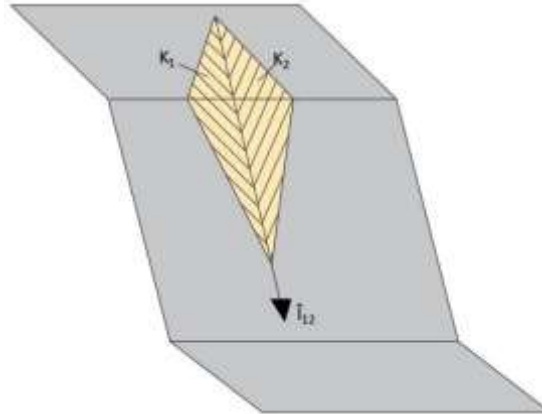


Abb. 6-3: schematische Abbildung eines Keilversagens

Variante 1:

Die roten Symbole in Abb. 6-4 sind die kritischen Schnittpunkte der Großkreise, welche aus Darstellungsgründen nicht eingeblendet wurden. Die Keile werden hauptsächlich durch Verschnitte der Schieferungsflächen untereinander und untergeordnet durch Verschnitte mit Störungen gebildet. Insgesamt wurden 372 kritische Schnittpunkte berechnet, was einer Wahrscheinlichkeit von knapp 20 % entspricht.

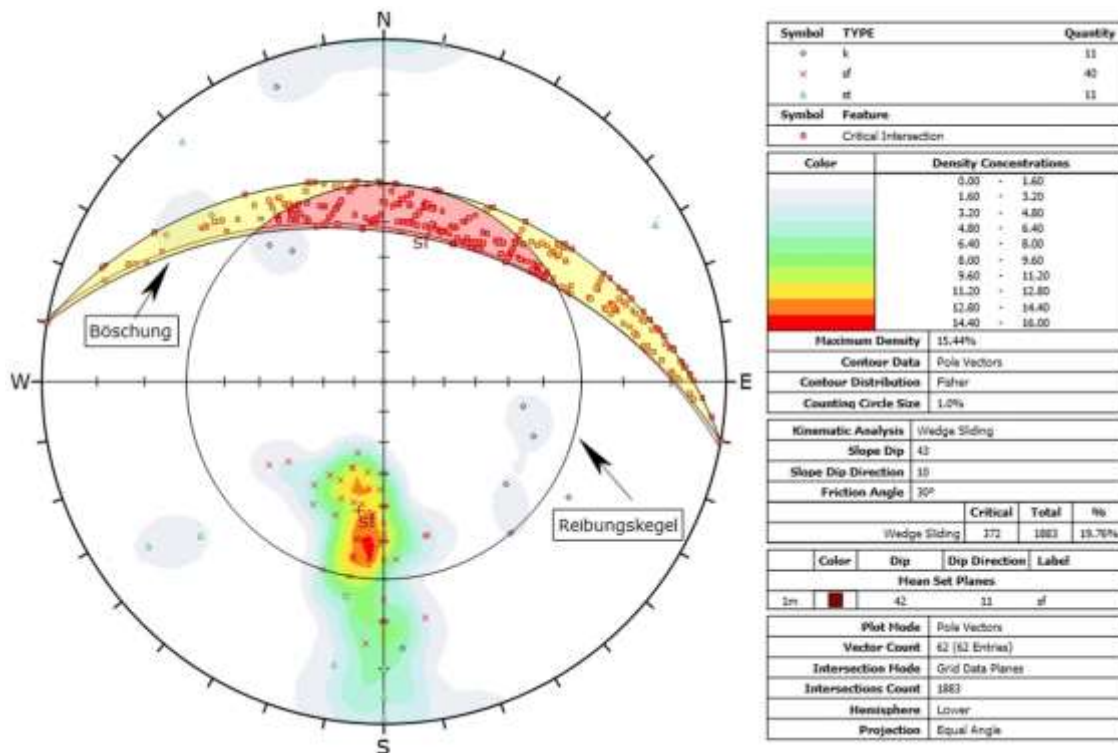


Abb. 6-4: kinematische Analyse – Keilgleiten Variante 1 mit $\phi = 30^\circ$

Variante 2:

Die Reduzierung des Reibungswinkels bei dieser Variante führt im Vergleich zu Variante zu einer 5 % höheren Wahrscheinlichkeit eines möglichen kinematischen Versagens.

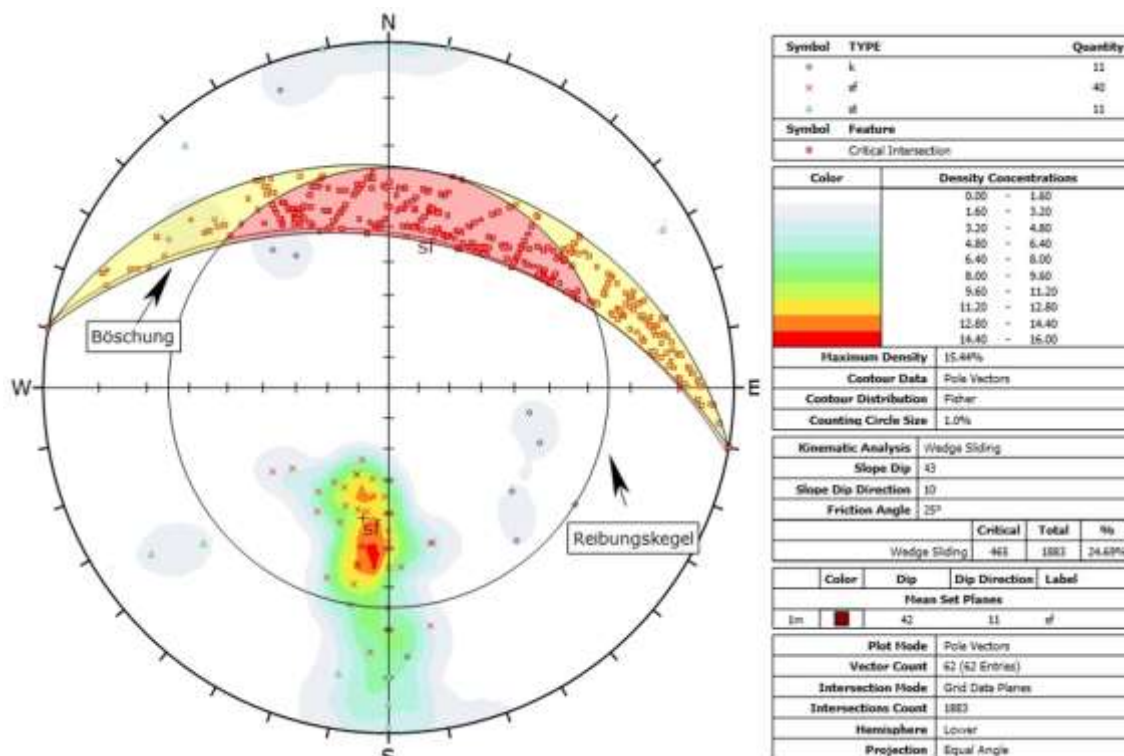


Abb. 6-5: kinematische Analyse – Keilgleiten Variante 2 mit $\varphi = 25^\circ$

6.3 Kippen

Die Grundlagen für Kippen bilden die Böschungfläche und die seitliche Begrenzung (lateral limits), diese wurde im vorliegenden Fall mit 30 Grad angenommen, jedoch zeigt eine Erhöhung von diesem keinen großen Einfluss, da wie in Abb. 6-6 ersichtlich ist im oberen kritischen Bereich wenig Polpunkte plotten die davon betroffen wären.

Variante 1:

Wie man in der unteren Abb. 6-6 sehen kann plotten von insgesamt 63 Polpunkten lediglich drei in der kritischen Zone, was in etwa 5 % entspricht, wodurch die Wahrscheinlichkeit eines kinematischen Versagens im vorliegenden Fall als äußerst gering einzustufen ist.

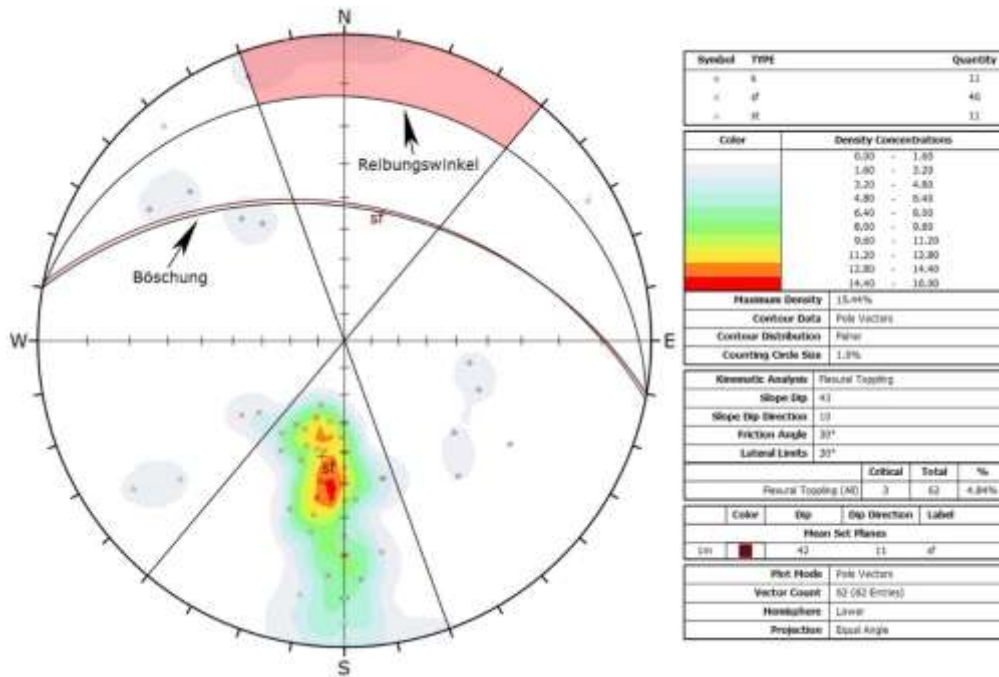


Abb. 6-6: kinematische Analyse – Kippen Variante 1 mit $\phi = 30^\circ$

Variante 2:

Diese Variante zeigt aufgrund der Reduzierung des Reibungswinkels die gleiche Verteilung von möglichen kritischen Polpunkten wie Variante 1 an (siehe Abb. 6-7).

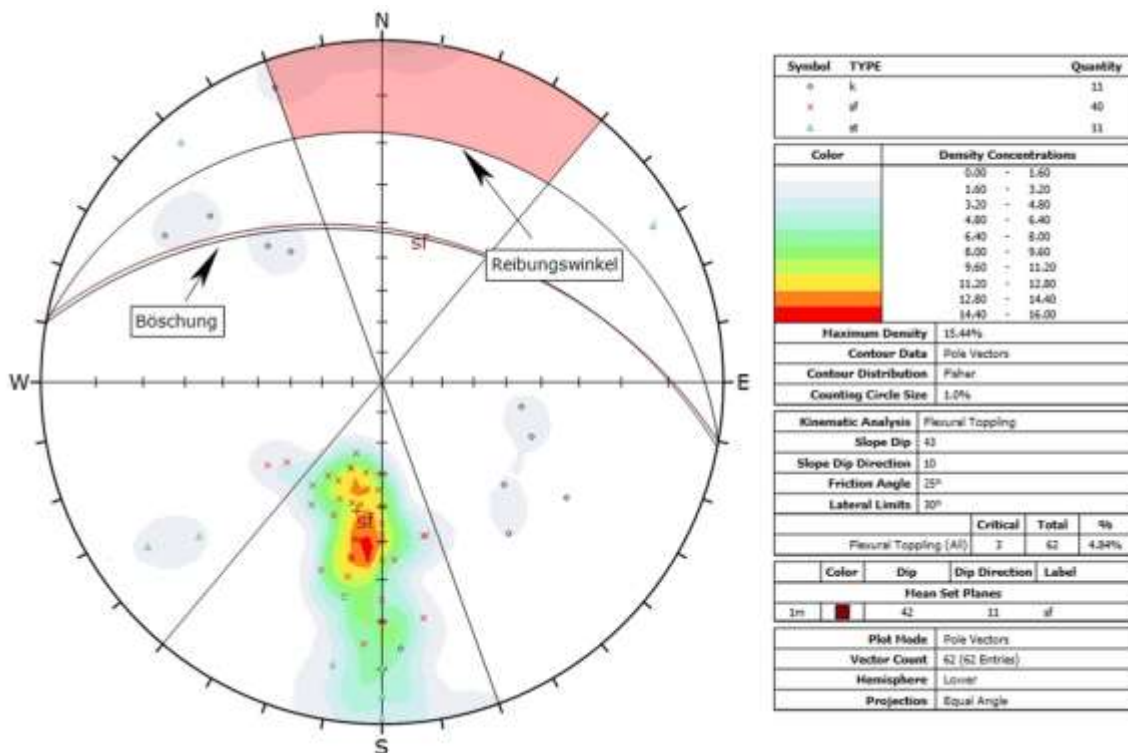


Abb. 6-7: kinematische Analyse – Kippen Variante 2 mit $\phi = 25^\circ$

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass aufgrund der vorhandenen Aufschlussituation im Bereich der Gumpenbergrutschung weder Keilgleiten noch Kippen auftreten können. Als wahrscheinlichstes kinematisches Versagensszenario erscheint das Gleiten auf ebenen Flächen. Die Schieferung in den dortigen Phylliten fällt überwiegend mittelsteil nach Norden bis Nordnordosten ein und lässt sich mit den Ergebnissen von Kapitel 6.1 relativ gut korrelieren. Diese könnte eventuell auch ein möglicher Grund für die damaligen Hangbewegungen bei den geodätischen Messpunkten 100, 103 und 104 oberhalb der Gumpenbergrutschung sein (siehe Abb. 4-39).

Kippen und Gleiten könnte vor allem im Gumpenbachgraben im Bereich der Rutschmassen an übersteilten Hangbereichen auftreten, wo teilweise mehrere Meter hohe Felstürme herausragen, die bei Bewegungen in den darunterliegenden Graben stürzen könnten (siehe Abb. 6-8).



Abb. 6-8: phyllitische Felstürme im Bereich des Gumpenbachgrabens bei WP27

7 Standsicherheitsanalyse

Im siebenten Kapitel wird die Standsicherheit der Gumpenbergrutschung im kleinen Maßstab, als auch die Standsicherheit des Gumpenbergs im großen Maßstab diskutiert.

Die Ergebnisse der kinematischen Analyse aus Kapitel 6 hat ergeben, dass Gleiten entlang von Schieferungsflächen die wahrscheinlichste Form des Versagens im Bereich der Gumpenbergrutschung darstellt. Da die dort vorkommenden Gesteine am Übergang zu Lockergesteinen liegen wurde zusätzlich die Standsicherheit mittels Slide berechnet. Diese Art von Analyse wird überwiegend für Böden angewandt und wurde für den vorliegenden Fall in Kombination mit den kinematischen Analysen als äußerst sinnvoll erachtet, da man in Slide auch mögliche Wasserstände berücksichtigen kann, welche die Standsicherheit der Böschung negativ beeinflussen können.

Der Verlauf der Gleitflächen in den Längsschnitten ist vermutet. Da erst Mitte März 2017 die erste Folgemessung des Inklinometers stattgefunden hat, ist es derzeit noch nicht möglich einen Trend einer möglichen Gleitfuge aus der Bohrung KB-01/16 zu entnehmen.

Der Factor of Safety (Sicherheitsfaktor) setzt sich im Allgemeinen aus rückhaltenden Kräften wie Kohäsion und der Reibungskraft und treibenden Kräften wie dem Eigengewicht und dem Einfluss von Porenwasserdrücken zusammen.

$$\eta = \frac{\text{rückhaltende Kräfte}}{\text{treibende Kräfte}}$$

Die Bodenparameter φ' und c' sind die maßgebenden Einflussgrößen für die rückhaltenden Kräfte. Im Gegensatz dazu wirkt sich ein hoher Porenwasserdruck negativ auf den Sicherheitsfaktor aus. Der Verlauf der Gleitfläche ist für die Standsicherheit ebenfalls von großer Bedeutung.

7.1 Lamellenverfahren

Bei dieser Methode wird der Rutschkörper in vertikale Lamellen unterteilt (siehe Abb. 7-1), wobei jede Einzelne in einem Gleichgewicht vorliegen muss. Das Eigengewicht und weitere Parameter wie ein möglicher Wasserdruck, sowie Erddruckkräfte an den Seiten der Lamellen sind für die Berechnung zu beachten (Zentrum Geotechnik 2007).

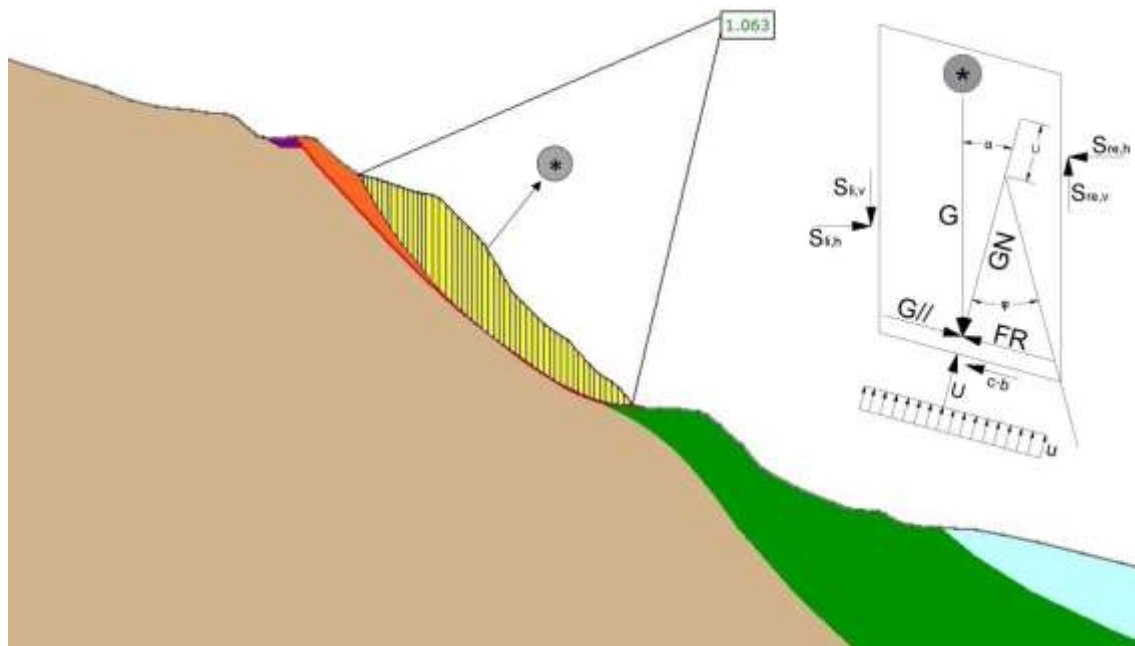


Abb. 7-1: untere linke Abbildung: Modell der Gumpenbergrutschung aus Slide; rechts oben: dazugehörige Kräfte, die auf jede einzelne Lamelle einwirken (umgezeichnet nach Dold 2016)

Bei den Erddruckkräften ist die Lage, Größe und Richtung der Resultierenden nicht bekannt. Für die verschiedenen Lamellenverfahren werden deshalb Vereinfachungen und Annahmen getroffen, die tlw. zu Verletzungen der Kräfte- bzw. Momentengleichgewichten führen (Boley 2012).

Bei den diversen Verfahren kann es zu Abweichungen des Factor of Safety kommen, da z.B. bei einigen Methoden (Bishop, Janbu) die Schubkräfte vernachlässigt werden. Das globale Sicherheitskonzept dient als Grundlage für die Kalkulationen (Boley 2012).

Eine „stabile“ Lage herrscht vor, wenn der Factor of Safety $\eta \geq 1.0$ ist.

Bei homogen aufgebauten Böschungen weicht der Sicherheitsfaktor nach den Verfahren von Bishop, Janbu corrected und Morgenstern/Price geringfügig ab. Im Gegensatz dazu kommt es bei heterogenen Verhältnissen zu deutlichen Abweichungen zwischen den einzelnen Methoden. Das Verfahren nach Janbu simplified liefert die geringsten Sicherheitsfaktoren im Vergleich zu Morgenstern/Price und Krey/Bishop (Boley 2012).

7.2 Modellbildung

Als Grundlage für die Modellierung der Rutschung dient das in Kapitel 5 bearbeitete geologisch-geotechnische Untergrundmodell. Da die Bohrkerne der Erkundungsbohrung KB/01-16 stark zerbohrt sind und eine sehr schlechte Qualität aufweisen, eigneten sich diese nicht für repräsentative Laboruntersuchungen. Deshalb wurden für die boden- und

felsmechanischen Parameter die Ausschreibungsunterlagen des Semmeringbasistunnels (ÖBB Infrastruktur AG 2010) als grobe Richtwerte herangezogen, da dort vergleichbare Phyllite, Grünschiefer, Glimmerschiefer und quartäre Ablagerungen vorkommen. Die Grundwassersituation hat ebenfalls einen hohen Einfluss für die Berechnung der Standsicherheit. Da im vorliegenden Fall ein Inklinometer eingebaut wurde, konnte im Bohrloch kein Porenwasserdruckgeber installiert werden. Bei den Bohrarbeiten wurde teilweise gespanntes Schichtwasser angetroffen und deshalb basieren die modellierten Wasserstände ebenfalls auf Annahmen. Aus diesem Grund wurden für die Modellierung drei verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Wasserständen untersucht.

7.3 Berechnung der Standsicherheit mit Slide 6.0

Das Programm Slide 6.0 von Rocscience ist eine Software für die analytische Kalkulation des Factor of Safety, welcher auf dem Lamellenverfahren aufbaut (siehe Kapitel 7.1).

Für die vorliegende Massenbewegung wurden die Verfahren nach Janbu simplified, Janbu corrected und Morgenstern/Price angewandt. Die Methode nach Janbu erfüllt im vorliegenden Fall zwar die kinematischen Randbedingungen, jedoch nicht das Momentengleichgewicht. Bei der vereinfachten Methode nach Janbu werden die Schubspannungen und die Momentgleichgewichte nicht berücksichtigt, die Horizontalkräfte stehen im Gleichgewicht zueinander. Beim korrigierten Verfahren nach Janbu wird der Sicherheitsfaktor von der vereinfachten Methode mit einem Korrekturfaktor multipliziert. Dieser wiederum ist von der Geländegeometrie und den Bodenparametern abhängig (Rocscience 2017b).

Bei der Methode nach Morgenstern/Price stehen sowohl das Moment als auch die Horizontalkräfte im Gleichgewicht zueinander. Des Weiteren werden bei diesem mittels einer mathematischen Funktion die Scherkräfte an den lotrechten Seitenflächen der Lamellen miteinbezogen (Dold 2016). Der Nachteil dieser Methode ist, dass aufgrund der im Falle der gegenständlichen Modellierung der Gumpenbergrutschung polygonalen Gleitfläche die kinematischen Bedingungen nicht erfüllt werden, deshalb wurde die Kombination aus allen dreien angewandt, da keine dieser Methoden alle Bedingungen zur Gänze erfüllen.

7.3.1 Suchmethode für die Ermittlung der Gleitfläche

Bei der Suche nach der Gleitfläche kann man in der Software Slide 6.0 grundsätzlich zwischen kreisförmigen oder nicht kreisförmigen Gleitflächen differenzieren.

Für die Modellierung der Gumpenbergrutschung wurde, aufgrund der Erkenntnisse aus der ingenieurgeologischen Kartierung, ein polygonaler Gleithorizont verwendet.

Für die folgende Modellbildung wurde die Auto-Refine Suchmethode für nicht kreisförmige Gleitflächen verwendet. Diese ermittelt den minimalen globalen Sicherheitsfaktor. Als Erstes werden bei dieser kreisförmige Gleithorizonte mit einem vorgegebenen Algorithmus ermittelt. Im nächsten Schritt wird dann jeder Kreis in eine nicht kreisförmige Oberfläche anhand der Anzahl der Eckpunkte entlang einer Oberfläche umgewandelt. Danach wird der Factor of Safety für nicht kreisförmige Oberflächen ermittelt. Letztendlich wird die Gleitfläche mit dem niedrigsten Sicherheitsfaktor errechnet (Rocscience 2017a).

7.3.2 Berechnung der verschiedenen Varianten

Der Untergrund im Projektgebiet ist sehr heterogen aufgebaut, weshalb es zu einer großen Variation der Bodenkennwerte kommt. Für die verschiedenen Varianten wurden die Parameter Reibungswinkel φ und Kohäsion c im Phyllit und in der Rutschmasse variiert, da diese beiden geologischen Einheiten den höchsten Einfluss auf die Stabilität der Böschung haben. Bei den restlichen Boden- und Felsarten wurden die Bodenkennwerte nicht verändert. Des Weiteren wurden pro Variante drei verschiedene Wasserstände angenommen, um eine diesbezügliche Sensitivitätsanalyse durchzuführen.

Für die Modellerstellung wurden das kurze Profil A-A', welches die Kernbohrung KB-01/16 durchstreicht und das deutlich längere Profil B-B' herangezogen. Für die Berechnung wurden beide Profile als sehr wichtig erachtet, da man sowohl die Standsicherheit im kleinen (Gumpenbergrutschung), als auch im großen Maßstab (gesamter Gumpenberg) untersuchen kann.

Die Varianten 1 und 2 vom Profil A-A' und vom Profil B-B' unterscheiden sich lediglich durch eine Veränderung der Kohäsion c (siehe Kapitel 7.3.2.1 und 7.3.2.2).

7.3.2.1 Berechnungsvariante Profil A-A'

Die Materialparameter von Variante 1 können aus der Tab. 7-1 entnommen werden. Die Mohr-Coulomb Spannungsmethode wurde für beide Berechnungsvarianten herangezogen. Bei der Variante 2 vom Profil A-A' wurde die Kohäsion des aufgelockerten Phyllits im Vergleich zu Variante 1 um 140 kN/m² und von der Rutschmasse um 11 kN/m² verringert (siehe Tab. 7-2). Die anderen Materialparameter blieben somit unverändert.

Tab. 7-1: Materialparameter vom Modell – Profil A-A' Variante 1

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi
Phyllit		24	Mohr-Coulomb	300	30
Phyllit auflockert		24	Mohr-Coulomb	200	28
Anthropogene Anschüttung		20	Mohr-Coulomb	3	30
Rutschmasse		20	Mohr-Coulomb	26	25
Grünschiefer		25	Mohr-Coulomb	300	30
Moräne		22	Mohr-Coulomb	5	32

Tab. 7-2: Materialparameter vom Modell – Profil A-A' Variante 2

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi
Phyllit		24	Mohr-Coulomb	300	30
Phyllit aufgelockert		24	Mohr-Coulomb	60	28
Anthropogene Anschüttung		20	Mohr-Coulomb	3	30
Rutschmasse		20	Mohr-Coulomb	15	25
Grünschiefer		25	Mohr-Coulomb	300	30
Moräne		22	Mohr-Coulomb	5	32

Beide Varianten bauen auf den Wasserständen W0 ohne Wasser, W1 mit einer Wasseroberfläche, welche durch die Rutschmasse verläuft und W2 mit einem Wasserstand unterhalb der Rutschmasse auf (siehe Abb. 7-2).



Abb. 7-2: Berechnungsmodell Profil A-A' mit den Wasserständen W1 und W2

7.3.2.1.1 Ergebnisse der Berechnungen

Um einen besseren Überblick über die durchgeführten Berechnungsmethoden zu bekommen wurden diese anhand von Microsoft Excel mit Hilfe von Tabellen und Diagrammen grafisch dargestellt. Die Datengrundlage der Diagramme stammt aus den Standsicherheitsberechnungen nach Morgenstern/Price, da dieses Verfahren die signifikantesten Ergebnisse für die vorliegende Fragestellung liefert.

Variante 1

Wie aus Abb. 7-3 ersichtlich ist, zeigt die Methode nach Janbu simplified die niedrigsten Sicherheitsfaktoren, gefolgt von Morgenstern/Price und Janbu corrected. Das untere Diagramm zeigt die effektiven Normalspannungen und die Porenwasserdrücke gegen die x-Achse aufgetragen. Des Weiteren kann man auf dem Diagramm in Abb. 7-3 erkennen, dass ein hoher Porenwasserdruck die effektiven Normalspannungen herabsetzt ($\sigma' = \sigma - u$). Die Varianten mit der Wasseroberfläche W0 und W2 zeigen annähernd den gleichen Sicherheitsfaktor, da der Wasserstand bei W2 rechnerisch negative Porendrücke aufweist, was sich geringfügig auf die Standsicherheit auswirkt. Bei der Variante mit der Wasseroberfläche W1 führen die Porenwasserdrücke in der Gleitfläche zu signifikant niedrigeren Sicherheitszahlen.

Profil_A-A'_Variante1

Eingabeparameter

Materialname	γ [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]
Phyllit	24,0	30,0	300,0
Phyllit aufgelockert	24,0	28,0	200,0
Anthropogene Aufschüttung	20,0	30,0	3,0
Rutschmasse	20,0	25,0	26,0
Grünschiefer	25,0	30,0	300,0
Moräne	22,0	32,0	5,0

Factor of Safety

Methode	Wasseroberfläche		
	W0	W1	W2
Janbu simplified	1,024	0,816	1,024
Janbu corrected	1,074	0,854	1,074
GLE/Morgenstern-Price	1,062	0,844	1,062

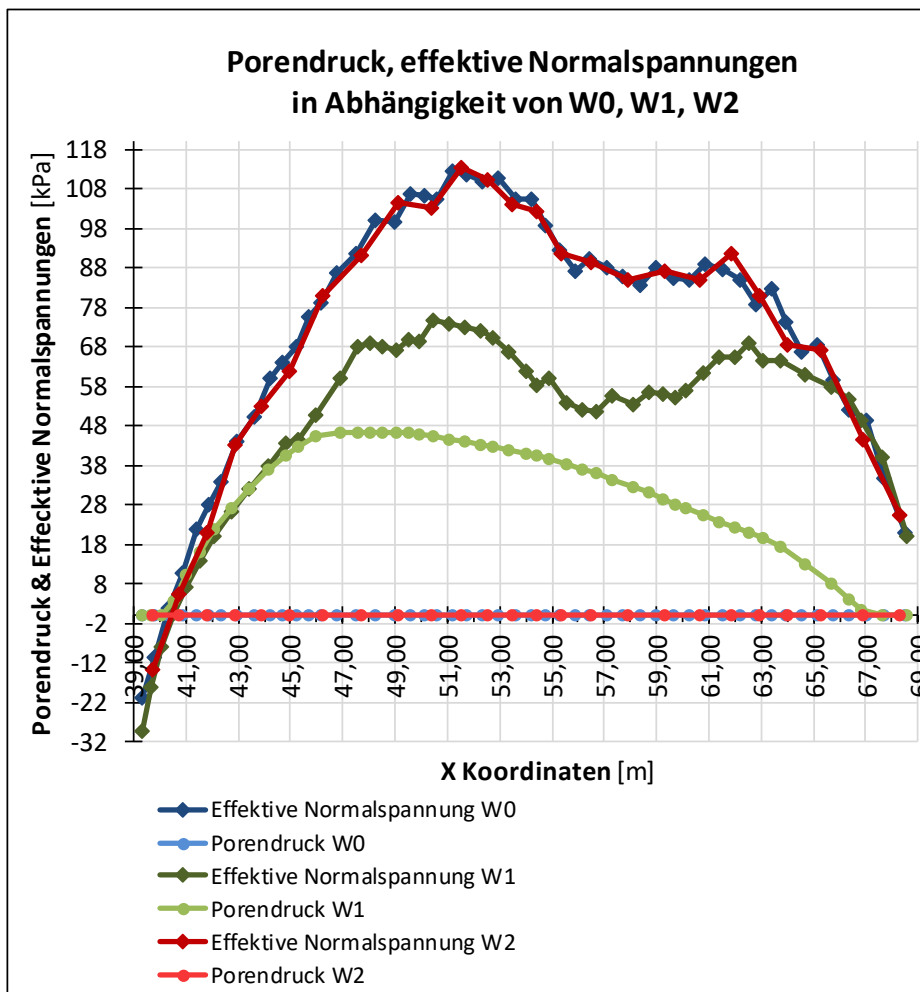


Abb. 7-3: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil A-A' Variante 1, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price

Wie schon oben erläutert, kann man beim Wasserstand W1 die deutlich niedrigeren Sicherheitszahlen, bereichsweise $\eta < 1$ die in Verbindung mit den hohen Porenwasserdrücken stehen erkennen (siehe Abb. 7-4). Der Sicherheitsfaktor in der unteren Abb. 7-4 ist eine plausible Schätzung. Der Einfluss vom Wasserstand W2 im Vergleich zu W0 auf die Standsicherheit zeigt sich lediglich an der Krone und am Fuße des errechneten Gleithorizonts. Die errechnete Gleitfläche bildet sich in der Rutschmasse aus, da diese einen sehr geringen Reibungswinkel und eine niedrige Kohäsion aufweist und läuft dann im etwas kompakteren Grünschiefer aus.

Die Option graphische Darstellung des Sicherheitswertes entlang einer Böschung in Slide 6.0 ist nützlich um „kritische Bereiche“ einer Böschung, welche durch niedrige Sicherheitswerte und einem möglichen Versagen gekennzeichnet sind, herauszufiltern (siehe Abb. 7-4, Abb. 7-10 und Abb. 7-13). Dabei werden sowohl die linken und rechten Schnittpunkte von jeder berechneten Gleitfläche, welche die Geländeoberfläche schneiden, als auch der Sicherheitsfaktor von jeder Fläche herangezogen um die Sicherheitswerte entlang einer Böschung zu bestimmen (Rocscience 2017b).

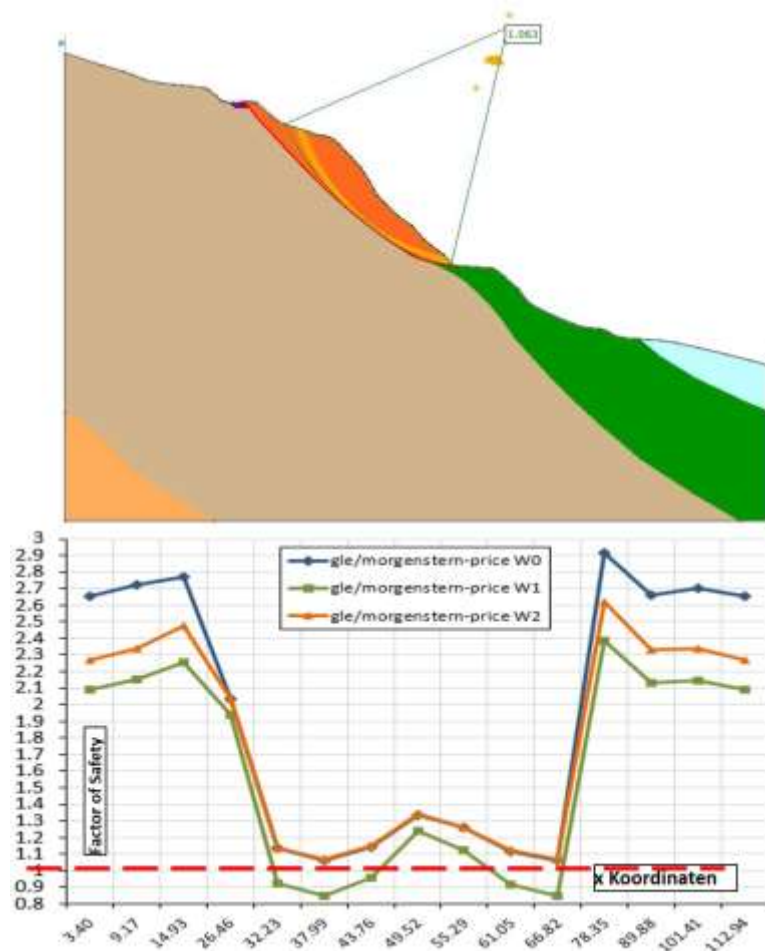


Abb. 7-4: Modell von Variante 1 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten)

Wie in Abb. 7-5 erkennbar zeigt die Berechnung mit dem Wasserstand W1 einen deutlich steileren Verlauf der Gleitfläche am Beginn und folgt danach in etwa der Kurve von W0 und W2. Die berechneten Tiefen des Gleithorizonts aus dem Modell sind in Tab. 7-3 aufgeführt.

Tab. 7-3: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil A-A' Variante 1

Methode	Maximale Tiefe des Gleithorizonts [m]		
	W0	W1	W2
Morgenstern/Price	9,94	10,25	9,90

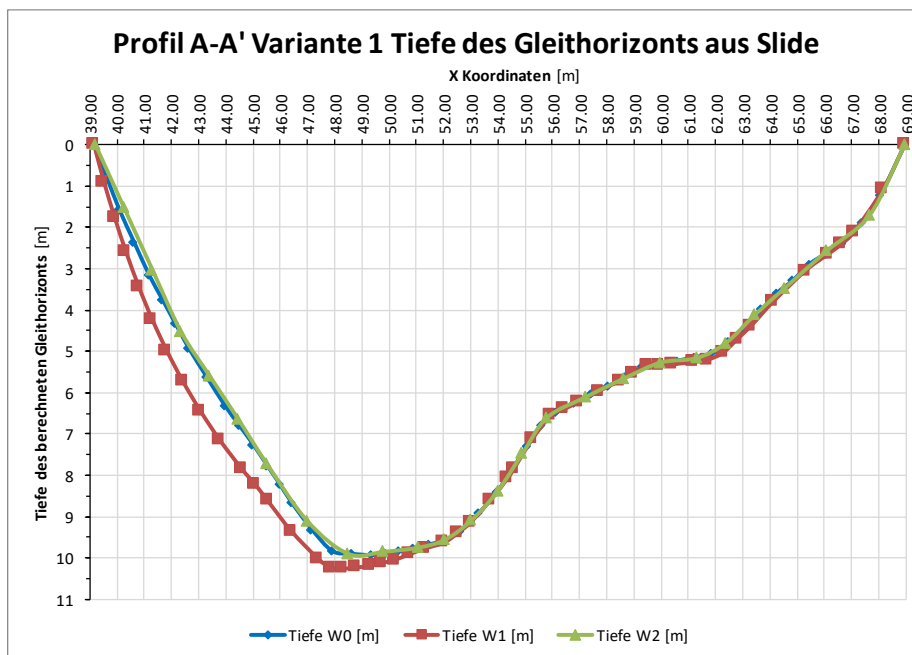


Abb. 7-5: Tiefe des Gleithorizonts im Profil A-A' Variante 1 in Slide

Variante 2

Das Profil ist dasselbe wie bei Variante 1, die einzige Änderung ist eine Modifikation der Kohäsion c der Rutschmasse und des aufgelockerten Phyllits. Wie aus Abb. 7-6 ersichtlich ist, zeigt die Methode nach Janbu simplified erneut die niedrigsten Sicherheitsfaktoren, gefolgt von Janbu corrected und Morgenstern/Price. Die bei Variante 1 beschriebenen Erläuterungen treffen auch hier zu, der einzige Unterschied sind die niedrigeren Sicherheitsfaktoren am Beginn des Profils, bedingt durch die Anpassung der Kohäsion c .

Profil_A-A'_Variante2

Eingabeparameter			
Materialname	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]
Phyllit	24,0	30,0	300,0
Phyllit aufgelockert	24,0	28,0	60,0
Anthropogene Aufschüttung	20,0	30,0	3,0
Rutschmasse	20,0	25,0	15,0
Grünschiefer	25,0	30,0	300,0
Moräne	22,0	32,0	5,0

Factor of Safety			
Methode	Wasseroberfläche		
	W0	W1	W2
Janbu simplified	0,816	0,605	0,816
Janbu corrected	0,859	0,634	0,859
GLE/Morgenstern-Price	0,861	0,637	0,861

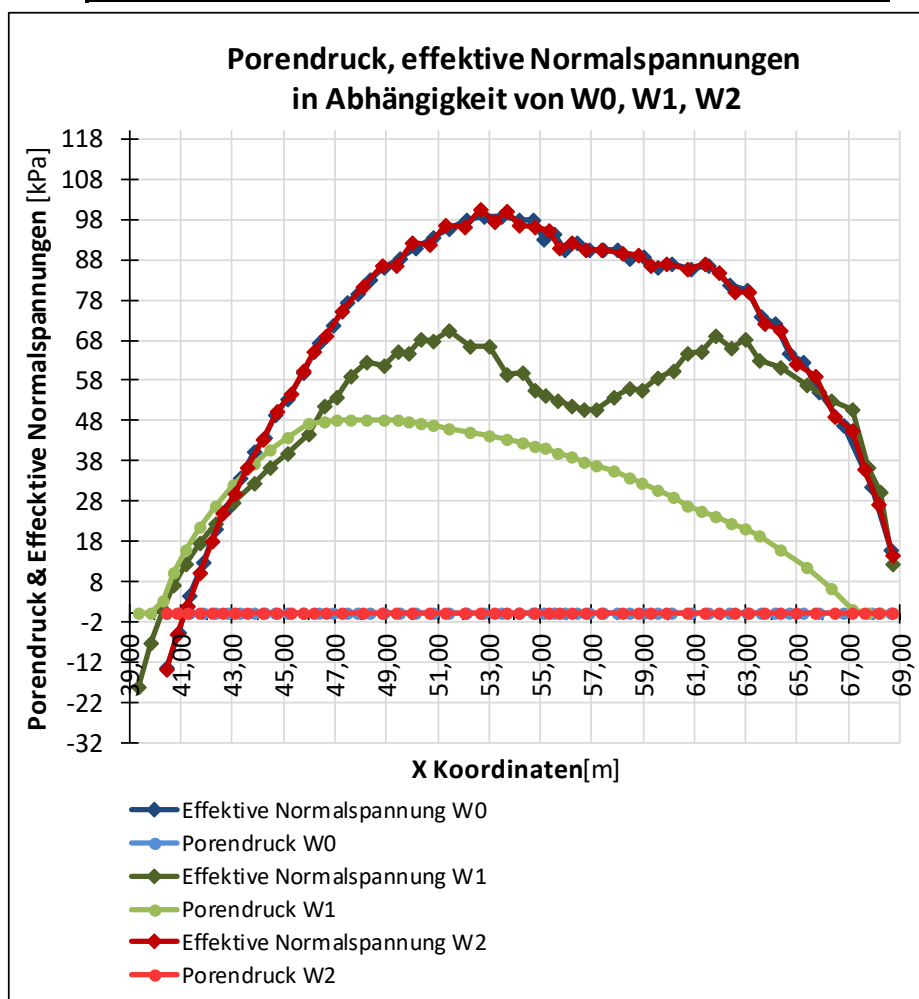


Abb. 7-6: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil A-A' Variante 2, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price

In der Abb. 7-7 kann man im unteren Diagramm sehen, dass der Sicherheitsfaktor entlang der Gleitfläche zu einem Großteil deutlich kleiner als 1 ist und instabile Verhältnisse schließen lässt. Anzumerken ist, dass die ermittelten Sicherheitszahlen (vorerst einmal) als Relativwerte zu verstehen sind. Absolute Sicherheitszahlen sollten aufgrund der (im Detail) nicht bekannten Bodenkennwerte nicht abgeleitet bzw. interpretiert werden.

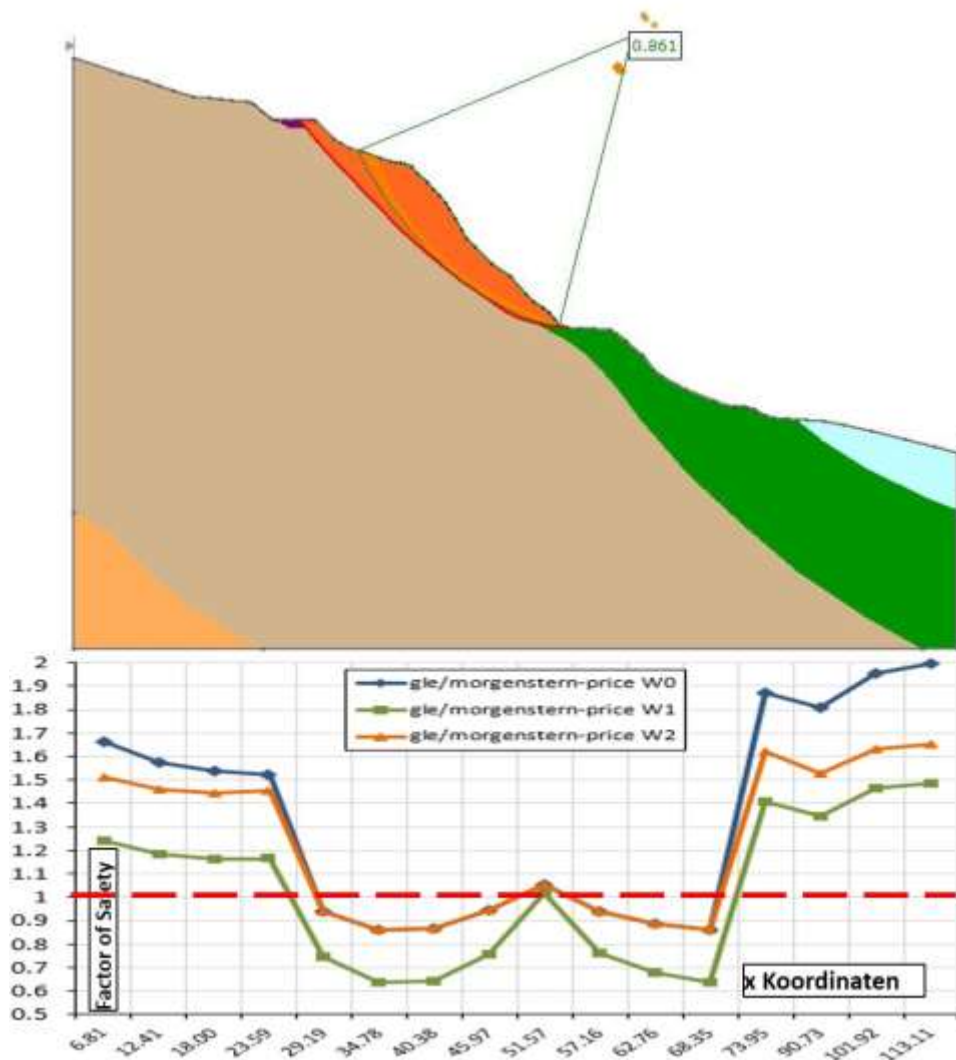


Abb. 7-7: Modell von Variante 2 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten)
Wie bereits oben erwähnt zeigt auch hier die Berechnung mit dem Wasserstand W1 einen steileren Verlauf der Kurve am Beginn (siehe Abb. 7-8). Erneut zeigt die Variante mit W1 den tiefsten Gleithorizont mit 10,27 Metern im Vergleich zu den anderen Varianten auf (siehe Tab. 7-4)

Tab. 7-4: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil A-A' Variante 2

Methode	Maximale Tiefe des Gleithorizonts [m]		
	W0	W1	W2
Morgenstern/Price	9,49	10,27	9,48

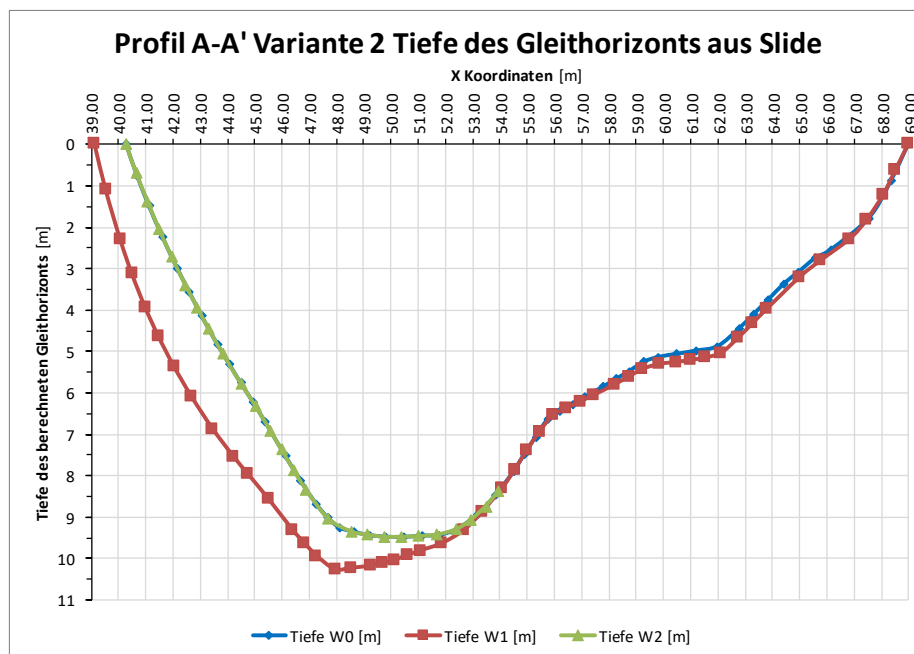


Abb. 7-8: Tiefe des Gleithorizonts aus berechneten Modell Profil A-A' Variante 2 in Slide

7.3.2.2 Berechnungsvariante Profil B-B'

Die vom Profil B-B' von der Variante 1 verwendeten Parameter können aus der Tab. 7-5 entnommen werden.

Tab. 7-5: Materialparameter vom Modell – Profil B-B' Variante 1

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi
Phyllitischer Glimmerschiefer		27	Mohr-Coulomb	13000	32
Phyllit		24	Mohr-Coulomb	300	30
Anthropogene Anschüttung		20	Mohr-Coulomb	3	30
Rutschmasse		20	Mohr-Coulomb	26	25
Moräne		22	Mohr-Coulomb	5	32
Grünschiefer		25	Mohr-Coulomb	300	30
Schwemmfächersedimente		21	Mohr-Coulomb	40	32
Phyllitischer Glimmerschiefer aufgelockert		27	Mohr-Coulomb	8000	32
Phyllit aufgelockert		24	Mohr-Coulomb	200	28

Bei der zweiten Variante von Profil B-B' blieben die Parameter der Rutschmasse erhalten, lediglich die Kohäsion vom aufgelockerten Phyllit wurde um 100 kN/m² reduziert (siehe Tab. 7-6). Eine größere Reduktion der Kohäsion hätte zur Folge, dass die Gleitflächensuche von Slide auf die Rutschmasse fokussiert und deshalb ein kleinerer Gleithorizont als mit den unten berechneten Parametern zustande kommt.

Tab. 7-6: Materialparameter vom Modell – Profil B-B' Variante 2

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi
Phyllitischer Glimmerschiefer		27	Mohr-Coulomb	13000	32
Phyllit		24	Mohr-Coulomb	300	30
Anthropogene Anschüttung		20	Mohr-Coulomb	3	30
Rutschmasse		20	Mohr-Coulomb	26	25
Moräne		22	Mohr-Coulomb	5	32
Grünschiefer		25	Mohr-Coulomb	300	30
Schwemmfächersedimente		21	Mohr-Coulomb	40	32
Phyllitischer Glimmerschiefer aufgelockert		27	Mohr-Coulomb	5000	30
Phyllit aufgelockert		24	Mohr-Coulomb	100	28

Für die oben angeführten zwei Varianten von Profil B-B' wurden ebenfalls drei verschiedene Berechnungsarten durchgeführt. Dafür wurde mit drei verschiedenen Wasserspiegeln gerechnet, nämlich einmal komplett ohne Wasseroberfläche und zweimal mit variierenden Wasserständen innerhalb der vom geologisch-geotechnischen Untergrundmodell definierten Rutschmasse.

7.3.2.2.1 Ergebnisse der Berechnungen

Variante 1

Die unterschiedlichen Sicherheitsfaktoren sind aus Abb. 7-9 zu entnehmen. Im unteren Diagramm weist lediglich die Berechnungsvariante W0 keine Porenwasserdrücke auf. Die beiden anderen Berechnungen mit W1 und W2 weisen Porenwasserdrücke bis 1600 kPa auf, was wiederum zu deutlich herabgesetzten effektiven Normalspannungen führt. Die Methode nach W0 weist aufgrund des nicht vorhandenen Wasserspiegels die größten Sicherheitsfaktoren mit knapp 2 auf. Die Varianten mit W1 und W2 variieren mit einem Faktor zwischen 1,2 bis knapp 1,4.

Profil_B-B'_Variante1

Eingabeparameter

Materialname	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]
Phyllitischer Glimmerschiefer	27,0	32,0	13000,0
Phyllit	24,0	30,0	300,0
Anthropogene Anschüttung	20,0	30,0	3,0
Rutschmasse	20,0	25,0	26,0
Moräne	22,0	32,0	5,0
Grünschiefer	25,0	30,0	300,0
Schwemmfächersedimente	21,0	32,0	40,0
Phyll. Glimmerschiefer aufgelockert	27,0	32,0	8000,0
Phyllit aufgelockert	24,0	28,0	200,0

Factor of Safety

Methode	Wasseroberfläche		
	W0	W1	W2
Janbu simplified	1,901	1,236	1,281
Janbu corrected	1,982	1,301	1,350
GLE/Morgenstern-Price	1,963	1,295	1,353

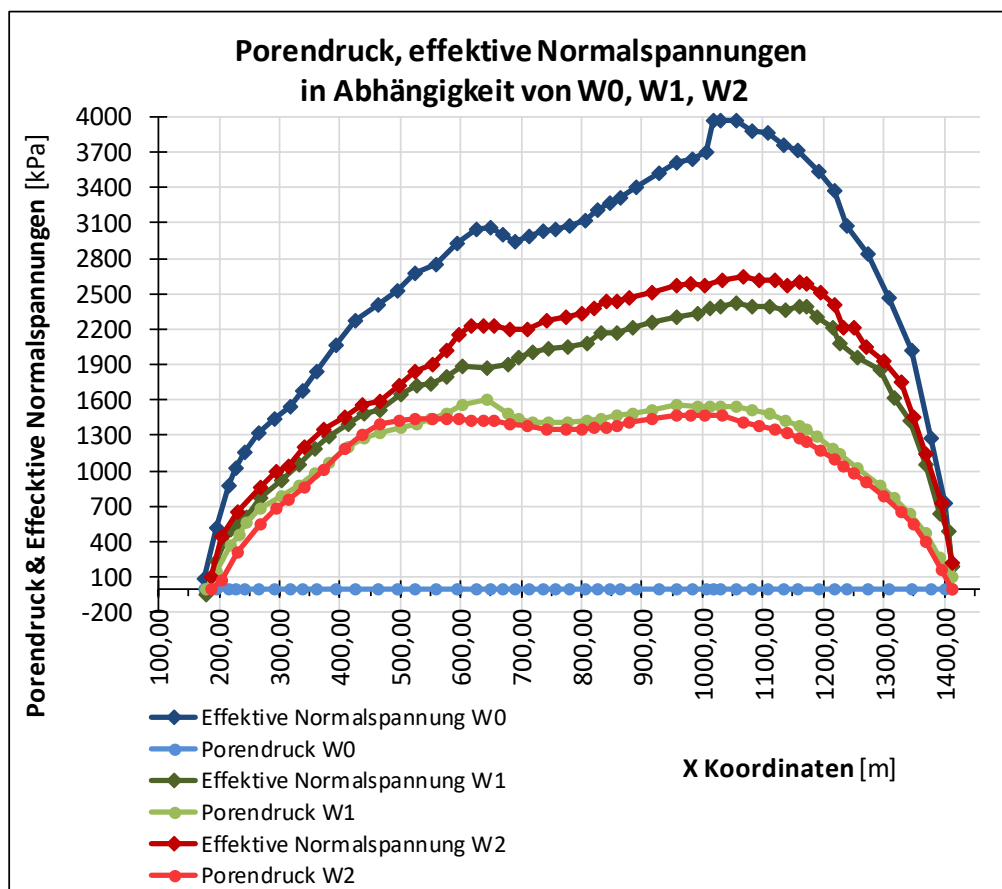


Abb. 7-9: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil B-B' Variante 1, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price

Aufgrund des Übergangs vom aufgelockerten phyllitischen Glimmerschiefer zum aufgelockerten Phyllit kann man im unteren Diagramm eine deutliche Abnahme des Sicherheitsfaktors erkennen (siehe Abb. 7-10), welche durch die deutlich schlechteren Materialeigenschaften des Phyllits zustande kommt. Die lokale Erhöhung des Factor of Safety entlang der x-Achse ist mit dem Auftreten des Grünschiefers in Verbindung zu setzen. Anschließend kommt es wieder zu einem deutlichen Abfall.

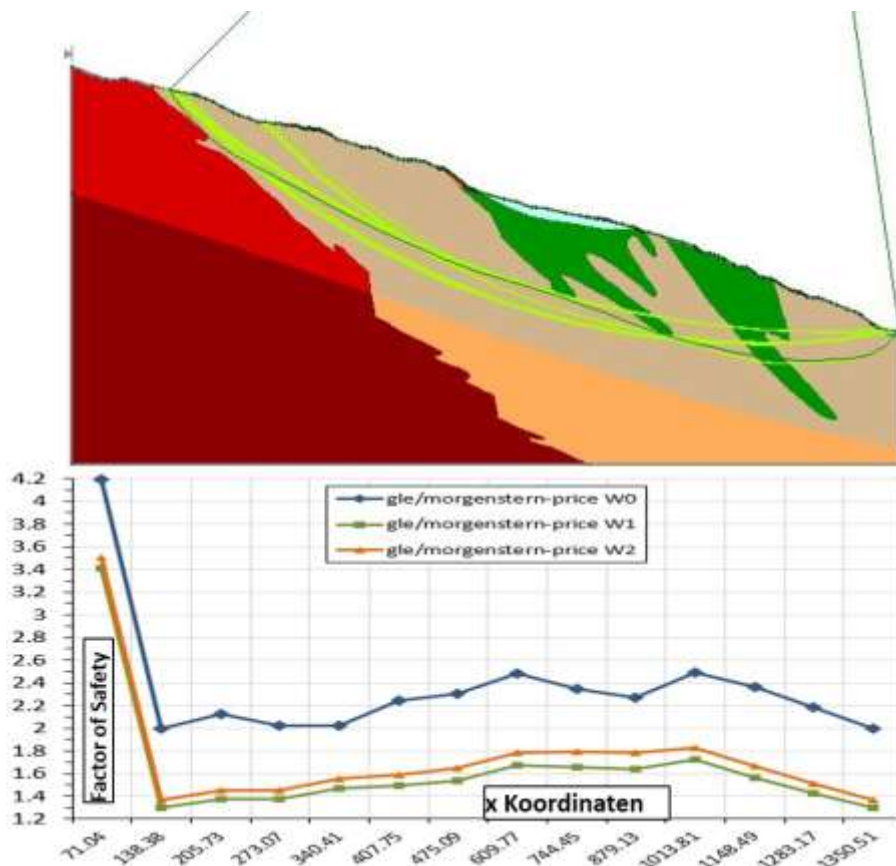


Abb. 7-10: Modell von Variante 1 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten)

Wie aus Abb. 7-11 ersichtlich ist zeigen die Varianten W1 und W2 einen wesentlich schnelleren Anstieg der Tiefe des Gleithorizonts als bei Variante W0. Die errechnete Gleifläche erstreckt sich über eine Länge von knapp 1,2 km und einer Tiefe bis zu 181 m. Die Tiefen der Gleithorizonte von W0 bis W2 sind in Tab. 7-7 aufgeführt.

Tab. 7-7: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil B-B' Variante 1

Methode	Maximale Tiefe des Gleithorizonts [m]		
	W0	W1	W2
Morgenstern/Price	169,11	172,79	181,06

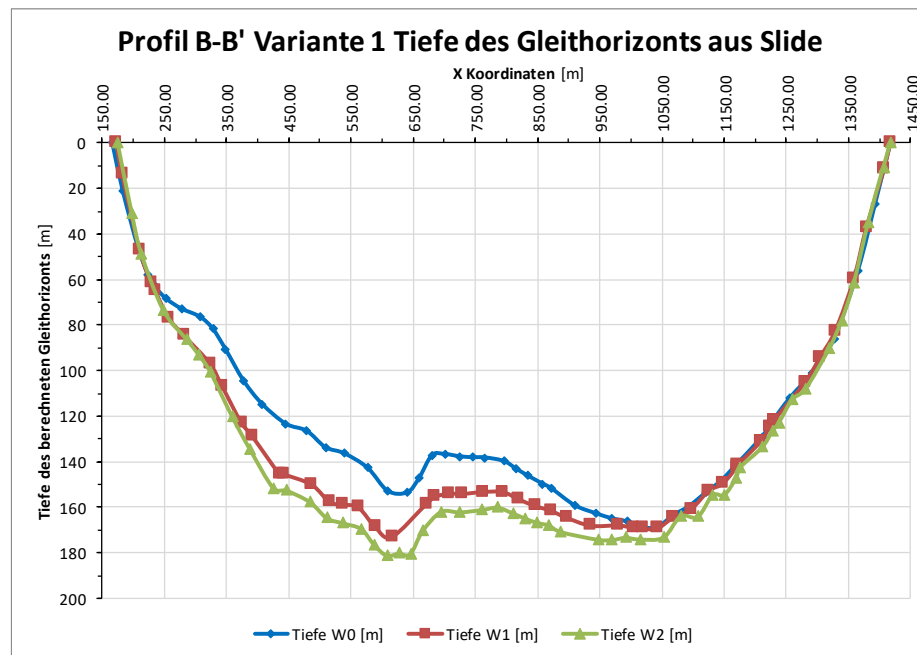


Abb. 7-11: Tiefe des Gleithorizonts aus berechneten Modell Profil B-B' Variante 1 in Slide

Variante 2

Diese Variante zeigt im Vergleich zu Variante 1 bei allen Methoden niedrigere Sicherheitsfaktoren auf (siehe Abb. 7-9 Abb. 7-12), wobei W1 die niedrigsten aufweist. Bei den effektiven Normalspannungen wurden für W0 Werte bis 4000 kPa, bei W1 bis knapp 2500 kPa und W2 bis 2700 kPa errechnet. Das Modell mit dem Wasserstand W0 erreicht die höchsten Sicherheitsfaktoren mit Werten zwischen 1,8-1,9.

Profil_B-B'_Variante2

Eingabeparameter

Materialname	γ [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]
Phyllitischer Glimmerschiefer	27,0	32,0	13000,0
Phyllit	24,0	30,0	300,0
Anthropogene Anschüttung	20,0	30,0	3,0
Rutschmasse	20,0	25,0	26,0
Moräne	22,0	32,0	5,0
Grünschiefer	25,0	30,0	300,0
Schwemmfächersedimente	21,0	32,0	40,0
Phyll. Glimmerschiefer aufgelockert	27,0	30,0	5000,0
Phyllit aufgelockert	24,0	28,0	100,0

Factor of Safety

Methode	Wasseroberfläche		
	W0	W1	W2
Janbu simplified	1.808	1.132	1.189
Janbu corrected	1.897	1.183	1.245
GLE/Morgenstern-Price	1.897	1.180	1.250

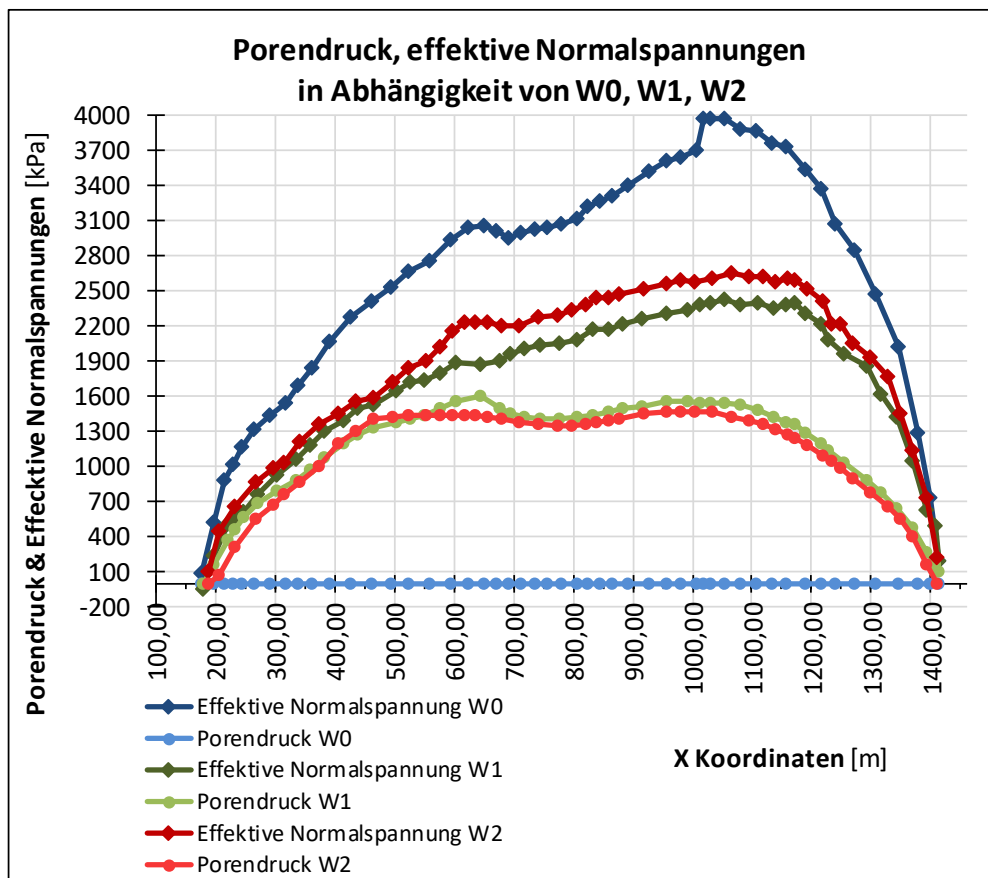


Abb. 7-12: Zusammenfassung der Berechnungen von Profil B-B' Variante 2, Datengrundlage des Diagramms aus den Berechnungen nach Morgenstern/Price

Wie schon bei Variante 1 kommt es auch bei Variante 2 durch den Übergang vom aufgelockerten phyllitischen Glimmerschiefer zum aufgelockerten Phyllit zu einer Herabsetzung des Sicherheitsfaktors (siehe Abb. 7-13). Auch bei dieser Variante ist das Auftreten des Grünschiefers mit einer Erhöhung des Sicherheitsfaktors gleichzusetzen.

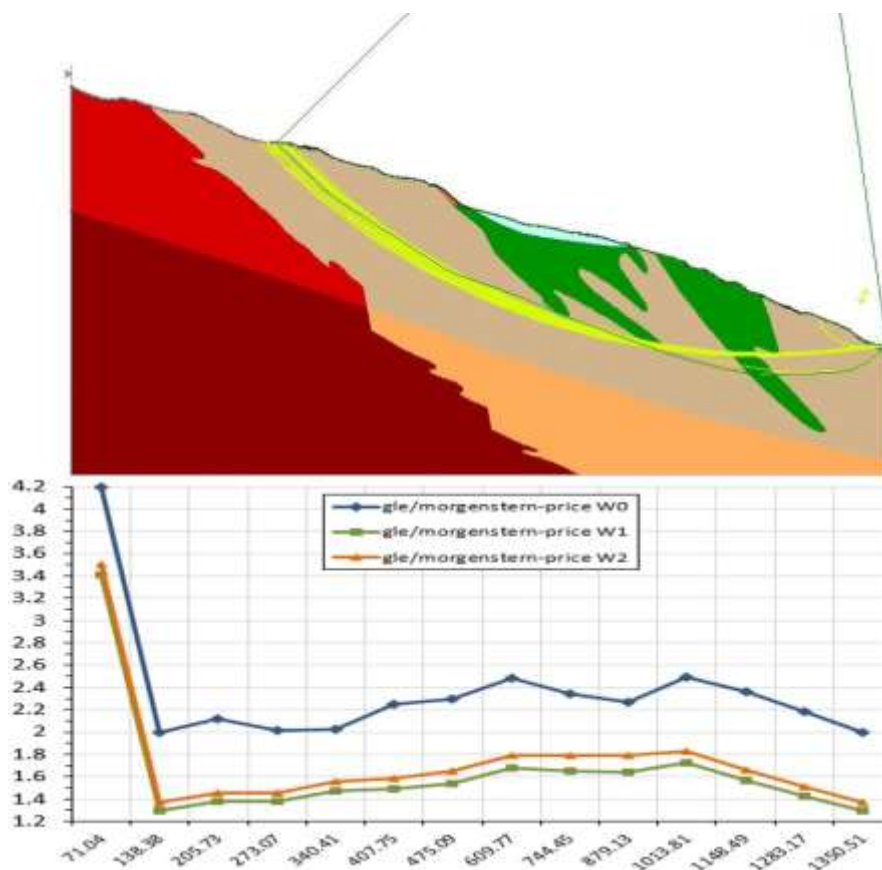


Abb. 7-13: Modell von Variante 2 (oben) und Factor of Safety gegen x-Achse aufgetragen (unten)

Bei der Berechnung mit dem Wasserstand W0 beginnt die Gleitfläche ca. 200 m weiter talwärts als die Gleitfläche bei W1 und W2 (siehe Abb. 7-14). Die Gleitfläche zeigt bei W0 eine laterale Ausdehnung von ca. 1.080 m und bei W1 und W2 eine Ausdehnung von ca. 1.250 m. Die maximalen Tiefen des Gleithorizonts werden in Tab. 7-8 aufgeführt.

Tab. 7-8: berechnete Tiefen des Gleithorizonts von Profil B-B' Variante 2

Methode	Maximale Tiefe des Gleithorizonts [m]		
	W0	W1	W2
Morgenstern/Price	170,66	169,26	169,16

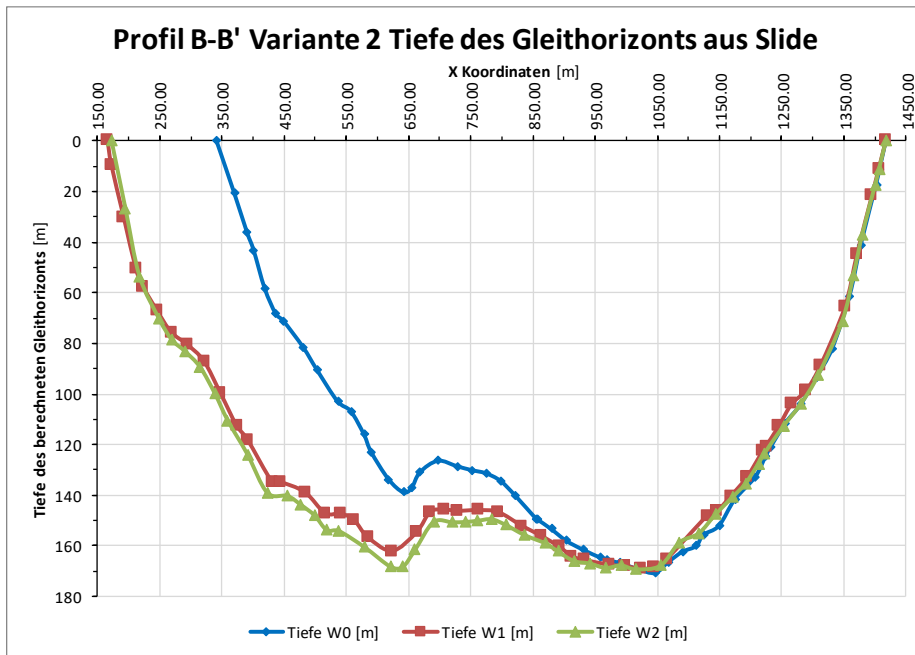


Abb. 7-14: Tiefe des Gleithorizonts aus berechneten Modell Profil B-B' Variante 2 in Slide

7.3.2.3 Porenwasserdruck und effektive Normalspannungen der Berechnungen

Im vorliegenden Fall erfolgte eine Auswertung des Porenwasserdrucks (u) und der effektiven Normalspannungen (σ') nach Morgenstern/Price entlang der vom Programm errechneten Gleitfläche. Es erfolgt eine kurze Erläuterung anhand von Profil A-A' Variante 1 (siehe Abb. 7-3).

Die effektiven Normalspannungen setzen sich wie folgt zusammen:

$$\sigma' = \sigma - u$$

Der Porenwasserdruck steigt im vorliegenden Fall mit dem Wasserspiegel W1 in etwa bei der x Koordinate 40, da ab diesem Bereich der Wasserspiegel die errechnete Gleitfläche schneidet. Die Höhendifferenz zwischen Gleitfläche und Wasseroberfläche ist der entscheidende Faktor für die Höhe des Porenwasserdrucks. Dieser bildet im Bereich von Punkt 48 auf der x-Achse mit ca. 46,4 kPa das Maximum in diesem Fall. Ab der x Koordinate 69 läuft die Gleitfläche langsam im Gelände aus und schneidet den Wasserspiegel nicht mehr, weshalb ab diesem Punkt kein Porenwasserdruck mehr vorherrscht. Da der Wasserspiegel der Variante W2 unter der Gleitfläche liegt und diese nicht schneidet existieren hier keine Porenwasserdrücke genauso wie bei Variante W0, wo allerdings keine Wasseroberfläche vorhanden ist.

Da bei der Variante W0 und W2 keine Porenwasserdrücke vorherrschen sind die totalen Spannungen mit den effektiven Spannungen gleichgesetzt. Die effektive Normalspannung hängt vom Porenwasserdruck und von der Geländegeometrie ab.

8 Sanierungsansätze

Nach dem Rutschungsereignis im Jahr 2013 wurde im Frühjahr 2015 nach den geodätischen Vermessungen und dem offensichtlichen Rückgang der Bewegungen im oberen und zentralen Teil der Rutschung eine neue Schwarzdecke aufgezogen, sowie die anfallenden Oberflächenwasser der Straße aus dem Rutschhang abgeleitet. Es bestand daher kein akuter Handlungsbedarf für eine aufwendige und teure Sanierung des Rutschhanges.

Da für ein gezieltes Sanierungskonzept die maßgebenden Einflussgrößen der Rutschung bekannt sein sollten, im gegenständlichen Fall das im Oktober 2016 eingebaute Inklinometer noch keine interpretierbaren Bewegungen anzeigt – und somit die Tiefe möglicher Gleitflächen nicht bekannt sind, sollten auf alle Fälle noch weitere Messungen abgewartet werden um ein allenfalls erforderliches und gezieltes Sanierungskonzept erarbeiten zu können. Die vorliegenden Erkundungsmaßnahmen (siehe Kapitel 4) deuten in Bezug auf die ingenieurgeologische Kartierung, den geodätischen Messdaten sowie der Erkundungsbohrung KB-01/16 auf ein stark aufgelockertes Gebirge hin. Das Ergebnis der kinematischen Analyse in Dips zeigt, dass Gleiten entlang von Schieferungsflächen eintreten kann. Des Weiteren wurde in Slide anhand von drei unterschiedlichen Berechnungsvarianten der Einfluss von Wasser auf die Standsicherheit der Böschung untersucht. Dabei wirken sich sowohl eine niedrige Kohäsion der Rutschmasse, als auch hohe Porenwasserdrücke negativ auf das Hanggleichgewicht aus. Anhand dieser Fakten wurden in diesem Kapitel mehrere mögliche Schadensbilder ausgearbeitet.

8.1 Schadensszenario 1

Bei diesem Szenario kann es aufgrund von Hangwasseraustritten oder Starkregenereignissen im Bereich der Gumpenbergrutschung zu oberflächlichen Rutschungen bzw. zum Ausfließen und Ausrieseln von gering kohäsivem Material bis zur talseitigen Straße kommen.

Mögliche Sicherungsansätze im vorliegenden Fall wären:

8.1.1 Oberflächendrainage

Dabei werden Oberflächenwässer durch offene Gräben, häufig auch Hanggräben vom Rutschhang weggehalten und abgeführt. Bei Bedarf sind die Gräben auch mit Betonhalbschalen (siehe Abb. 8-1) zu versehen (Prinz & Strauß 2011).



Abb. 8-1: Graben mit Betonhalbschalen (nach Krättli & Schwarz 2015)

Freigelegte Flächen mit bindigen Böden sind vorläufig mit Folien abzudecken um das Einsickern von Oberflächenwasser zu vermeiden. Rissbildungen im Boden sollten mit bindigen Material oder Zementsuspensionen verfüllt werden. Eine Begrünung mit wasserziehenden Pflanzen kann Abhilfe gegen Rissbildungen schaffen und die Versickerungsrate reduzieren. Eine weitere Möglichkeit zur Minderung der Versickerungsrate wäre ein System von Sickerschlitzen im Abstand von 6 bis 8 m in der Böschung zu installieren (Prinz & Strauß 2011).

8.1.2 Ingenieurbiologische Maßnahmen

Dabei sollen Pflanzen die Bodenoberfläche vor Erosion schützen. Die Verwurzelung soll den Boden oberflächlich und/oder tiefreichend verbinden. Des Weiteren soll diese Maßnahme zur Entwässerung, aber auch zur Erhöhung der Kohäsion der Deckschicht führen und so das Risiko für kleinere Rutschungen vermindern (Schiechtl 2009).

8.1.3 Steinstützkörper

Das Grundgerüst für solche bilden großblockige Steine. Es gibt unterschiedliche Ausführungen wie z.B.:

- Steinvorsätze um den Fuß der Böschung zu entlasten
- Steinfüße für die Reibungszunahme im Fußbereich
- Steinstützrippen

Bei der letzten Variante sollten die Steinstützrippen nicht in der Böschung enden und brauchen deshalb ein Auflager am Fuße der Böschung (Brandl 2007).

In Abb. 8-2 kann man eine Kombination von allen Ausführungen beobachten. Dabei erhöhen Steinstützkörper auf der einen Seite die Stütz- und auf der anderen Seite auch die Drainagefunktion. Wird diese noch zusätzlich mit Mörtel verpresst erhöht sich die Tragfähigkeit nochmals (Boley 2012).

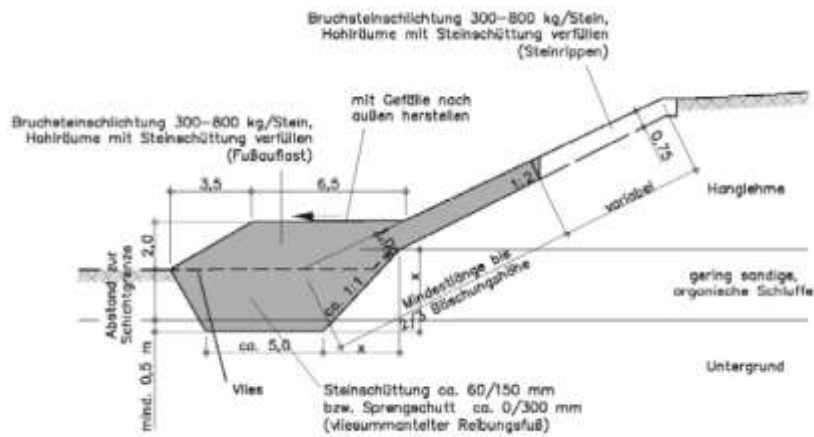


Abb. 8-2: Böschungssicherung mit Steinstützkörpern (nach Boley 2012)

8.1.4 Bodenvernagelung

Hierbei handelt es sich um in den Boden gewachsene Bewehrungselemente aus Stahl- oder Kunststoffstäben (Nägel). Die Bodenvernagelung soll die Zug- und Scherfestigkeit des Bodens steigern. Die Nägel nehmen Biegemomente auch Zug- und Scherkräfte auf. Sie ist auch unter den Synonymen bewehrte Erde oder Verdübelung bekannt (Brandl 2009).

Die Bodenvernagelung wird vor allem bei Baugrubenböschungen, Hangeinschnitten und Rutschhängen angewandt (Wichter & Meiniger 2000).

In Abb. 8-3 sind verschiedene Arten von Bodenvernagelungen dargestellt.

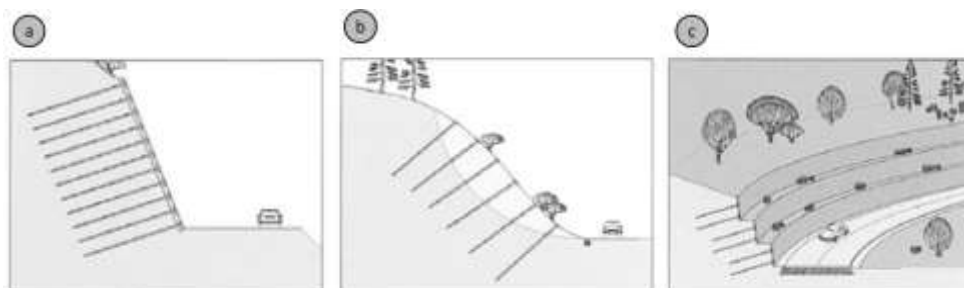


Abb. 8-3: Bodenvernagelungen: Nagelwand (a), Sicherung einer Rutschung, Hangsicherung mit Treppenprofil (c) (Informationsmaterial der Bauer Spezialtiefbau GmbH n.d.)

Bei den Stahlnägeln kommen häufig sogenannte GEWI-Nägeln oder Injektionsbohr-, kurz IBO-Anker zum Einsatz. Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) oder Verbundanker aus Geokunststoffschlaufen werden den Kunststoffnägeln angerechnet (Boley 2012).

8.2 Schadensszenario 2

In diesem Fall geht man von einer tief liegenden Gleitfläche im Bereich der KB-01/16 bis maximal 39 m aus, welche oberhalb und unterhalb der Straße ausbeissen kann.

Für ein derartiges Szenario wären nur sehr aufwändige und kostenintensive Sicherungsmaßnahmen möglich. Folgende Sanierungsansätze wären beispielsweise möglich:

8.2.1 Tiefendrainage

Mit Tiefdrainageschlitzten oder -bohrungen in Anlehnung an die Großbohrpfahlmethode können wasserführende Schichten bis in große Tiefen entwässert werden (siehe Abb. 8-4). Sickerrohre in der Sohle sind vor allem bei einer größeren Ausdehnung der wasserführenden Schichten zu verlegen. Kalkhaltige Wässer oder Auswaschungen aus dem Beton können zum Zusintern der Drainagerohre führen (Prinz & Strauß 2011).

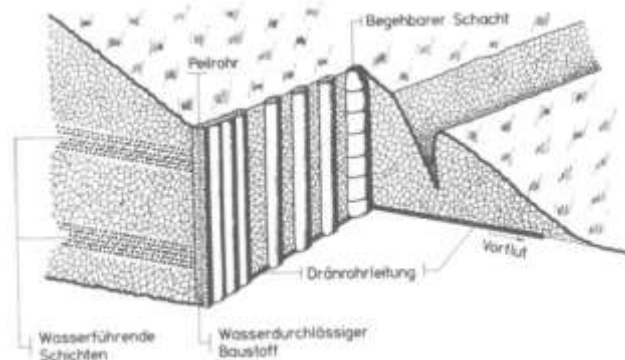


Abb. 8-4: schematische Darstellung eines Tiefdrainageschlitzes (nach Bley 1976)

Die in den Drainageschlitzten bzw. -bohrungen gesammelten Wässer sollten wenn möglich druckfrei (ohne Pumpen) ausgeleitet werden. Im gegenständlichen Fall könnte z.B. ein Anbohren solcher Elemente von der Talseite angedacht werden.

Eine Umlenkung des Strömungsdruckes kann mit Horizontaldrainagen erfolgen. Dabei sollte die Entwässerungsbohrung hinter der möglichen Gleitfläche liegen. Diese Methode eignet sich vor allem an steilen Böschungen bei tiefen Rutschungen. Die Durchführung dieser Art von Drainage könnte ebenfalls von der Talseite der Rutschung ausgeführt werden. Allgemein ist anzumerken, dass wenn ca. ein Drittel aller abgeteufte

Horizontalentwässerungsbohrungen Wasser fördert, dies als Erfolg gewertet werden kann (Prinz & Strauß 2011).

Mit einem Brunnen im zentralen Teil einer Rutschung oder oberhalb von dieser, von welchem flächenartig ca. 50 m lange Drainagebohrungen wegführen, kann eine Rutschung ebenfalls effektiv entwässert und in Folge gebremst werden (Häfner & Kriechbaum 1997).

8.2.2 Dübel und Stützscheiben

Diese werden für die Stabilisierung von rutschungsgefährdeten oder bereits bewegten Hängen verwendet. Ein möglicher Rutschkörper wird mittels Dübel mit dem festen Untergrund verbunden, wodurch der benötigte Schubwiderstand in der Gleitfläche hergestellt wird (Boley 2012).

Als Dübel kommen Klein- und Großbohrpfähle, Brunnen und Schlitzwandelemente zum Einsatz. Die Injektionsverdübelung bzw. -vernagelung stellt eine besondere Form von Verdübelung dar (Brandl 2009). Die Festigkeit, Steifigkeit sowie die Geometrie haben einen großen Einfluss auf den möglichen Versagenstyp von Dübeln (Boley 2012). Ein einzelner Dübel wird auch als gebetteter Biegebalken definiert. Zu einem Versagen kann es durch Schub-, Biegebruch oder durch Übertreten vom Seitenwiderstand kommen. Die Anordnung der Dübel erfolgt raster- bzw. reihenförmig und die Reihen folgen häufig dem Verlauf von Höhenlinien und Wegen. Dabei werden diese im festen Untergrund fixiert und können bei Bedarf verankert werden (Gudehus & Al. 1996).

In Abb. 8-5 sind mögliche Arten der Hangsicherung mittels Dübel dargestellt.

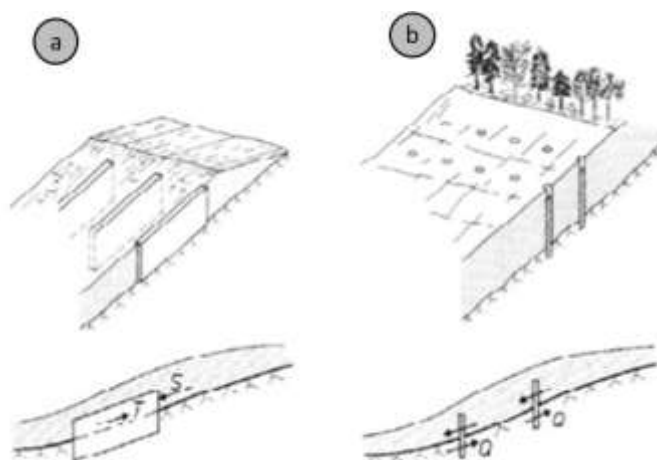


Abb. 8-5: Hangsicherung und Dübelwiderstand bei Stützscheiben (a) und Pfahldübeln (b) (nach Gudehus & Al. 1996)

Prinz & Strauß (2011) unterscheidet zusätzlich noch zwischen Klein-, Normal- und Großdübel. Kleindübel haben den Vorteil, dass sie mit relativ leichten Bohrgeräten hergestellt werden können. Normaldübel werden im Allgemeinen als Fußsicherung von Rutschhängen eingesetzt (Prinz & Strauß 2011). Großdübel (Durchmesser > 60 cm) kommen als Großbohrpfähle beziehungsweise großkalibrige Pfeiler zum Einsatz und werden besonders bei Rutschmassen, die tiefer als 10 m sind angewandt (Dürrwang & Otto 1986; Lippomann & Schwing 1997; Schumacher & Lippomann 2005; El-Mossallamy & Dürrwang 2006).

8.2.3 Ankerwände

Diese eignen sich besonders für steile und rutschungsgefährdete Böschungen (siehe Abb. 8-6). Der Vorteil von diesen ist die semi-empirische Dimensionierung, wodurch die Ankerkräfte ohne Probleme erhöht oder reduziert werden können, dies geschieht in Anlehnung an die Messergebnisse der Kontrollmessungen. Die Grundvoraussetzung sind vorgespannte Anker mit Freispielwirkung. Bei schwer zugänglichen Rutschungen ist ein weiterer Vorteil dieser Methode, dass sie von oben nach unten hergestellt werden kann. Bei besonders kritischen Randbedingungen wird der Hangfuß schachbrettartig abgegraben und gesichert (Brandl 2009).

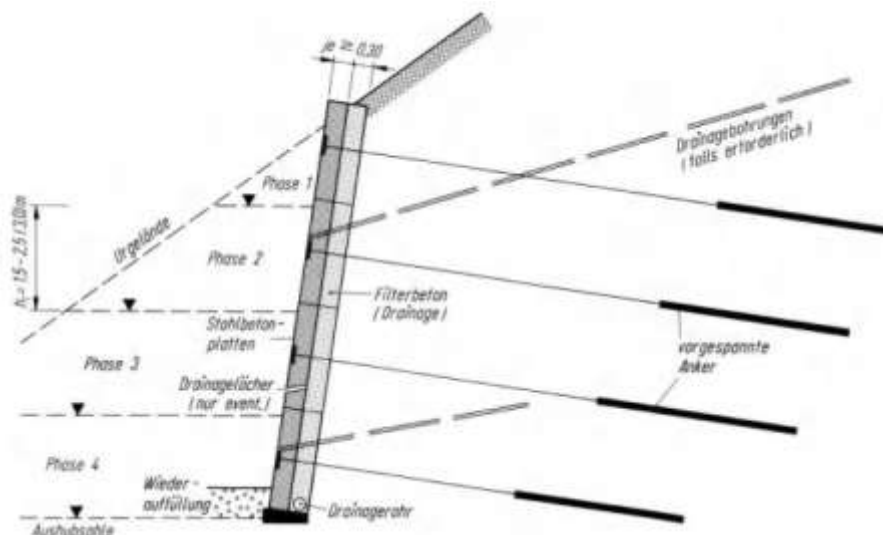


Abb. 8-6: Fertigung einer Ankerwand in Etagen von oben nach unten (nach Brandl 2009)

8.3 Schadensszenario 3

Bei diesem Szenario liegt die vermutete Gleitfläche tiefer als das Inklinometer und man spricht hier auch von einer Großhangbewegung. Diese könnte im Zusammenhang mit der in Kapitel 5.2 erwähnten Bergzerreißung des Hauser Kaibling und der damit verbundenen stark aufgelockerten, bewegten Zone stehen.

Laut Marte (2016) eignen sich für sehr große Rutschkörper nachgiebige bzw. flexible konstruktive Maßnahmen, welche eine Zunahme der stützenden Kräfte bewirken. Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen können die Bewegungen jedoch nicht ganz gestoppt werden. Ein großer Vorteil dieser Systeme ist, dass die Bemessungskraft für flexible Konstruktionen niedriger ist als für starre. Im gegenständlichen Fall wäre eine Sanierung einer sehr tiefreichenden Rutschung aus wirtschaftlichen Gründen jedoch kaum realisierbar. Das heißt in einem solchen Fall wäre eher der Umgang mit möglichen Schäden (durch entsprechende Sanierungsmaßnahmen an der Straße selbst) zielführend.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit behandelt eine aktive Rutschung am Gumpenberg in der Gemeinde Haus im Ennstal mit einer Fläche von ungefähr 3260 m². Diese zeigte während den geodätischen Messungen in den Jahren 2013 bis 2014 Bewegungen von mehreren cm/Jahr an. Da für die vorliegende Massenbewegung mehrere Ursachen als Auslöser infrage kommen wurde ein ca. 2,5 km² großes Arbeitsgebiet bearbeitet. Dabei wurde vor allem auf die geologischen und geomorphologischen Rahmenbedingungen geachtet. Als Erkundungsmethoden kamen die ingenieurgeologische Kartierung, die Erkundungsbohrung KB-01/16, geodätische Oberflächenmessungen und Inklinometermessungen zum Einsatz. Für die Bearbeitung wurden alle daraus generierten Daten zuzüglich der Niederschlagsdaten des hydrographischen Dienstes Steiermark ausgewertet und interpretiert.

Die Ergebnisse der Erkundung zeigen, dass das Untersuchungsgebiet aufgrund seiner tektonischen bzw. quartären Vorgeschichte stark geprägt wurde. Es herrschen überwiegend schlechte Gebirgsverhältnisse vor. Die Erkenntnisse der Erkundungsbohrung widerspiegeln diese Vermutung, da dort hauptsächlich gering kompetentes Gebirge vorgefunden wurde. Im Rahmen der ingenieurgeologischen Kartierung wurde hauptsächlich stark entfestigtes Gebirge mit schieferungsparallelen sowie steil einfallenden parallel zur SEMP angeordneten Störungen beobachtet. Die schlechten Gebirgsverhältnisse dürften einer der Hauptgründe für die starke Rutschungsanfälligkeit in diesem Gebiet sein. Neben der bearbeiteten Rutschung am Gumpenberg wurden im Gumpenbach- und Ennslinggraben kleinräumige Rutschungen vorgefunden. Diese liegen meist als Rotationsrutschungen in den höheren Lagen vor und gehen weiter talwärts in Muren und Schlamm bzw. Schuttströme über. Der Gumpen- und Ennslingbach sind aufgrund der wenig widerstandsfähigen Gesteine stark in die Gräben eingeschnitten und erodieren die Böschungsbasis, wodurch es häufig zum Abgleiten von Schollen kommen kann.

Im Bereich der Gumpenbergrutschung zeigen die geodätischen Messungen zeitversetzte schnellere und langsamere Verschiebungen und/oder Setzungen Richtung Nordnordosten an. Dieses Bewegungsmuster könnte mit der Wassersättigung des Bodens zusammenhängen. Die nordnordöstliche Richtung der Verschiebungsvektoren lässt sich mit dem in etwa hangparallelen Einfallen der Schieferungsflächen korrelieren.

Auch die kinematischen Analysen haben ergeben, dass Gleiten entlang der Schieferungsflächen als der wahrscheinlichste kinematische Versagensmechanismus in Frage kommt. Die Schieferung in den dortigen Phylliten fällt überwiegend mittelsteil bis steil nach Norden bis Nordnordosten ein.

Die Ergebnisse der Standsicherheitsanalysen zeigen, dass ein Vorhandensein von Wasser sowie eine stark verringerte Kohäsion der Rutschmasse negative Auswirkungen auf das Hanggleichgewicht haben. Die Analysen im Bereich der Gumpenbergrutschung ergaben in Abhängigkeit des Wasserspiegels und der Kohäsion teilweise Sicherheitszahlen kleiner 1. Bei der großräumigen Betrachtung des Gumpenbergs wurden für alle durchgespielten Szenarien mit variierenden Wasserständen und Kohäsionen durchwegs Sicherheitszahlen größer 1 errechnet. Da jedoch keine detaillierten Bodenkennwerte ermittelt wurden und die Standsicherheitsberechnungen auf Annahmen aufgebaut wurden, sind die ermittelten Sicherheitszahlen lediglich als Relativ- und nicht als Absolutgrößen zu verstehen.

Die im geologisch-geotechnischen Modell erwähnte vermutete Störung im Bereich der Gumpenbergrutschung könnte als Wasserstauer fungieren. Der Verlauf dieser ist nicht exakt bekannt, jedoch deutet die schlechte Gebirgsqualität der Bohrung KB-01/16 auf das Vorhandensein einer Störung hin. Aufgrund dessen könnte der Schichtwasserspiegel während Starkniederschlägen oder Schneeschmelzen zunehmen und somit eine Erhöhung des Porenwasserdruckes bewirken, wodurch es zu Bewegungen im Hang kommen kann.

In Bezug auf klimatische Verhältnisse und deren negative Auswirkungen auf die Aktivität von Rutschungen sind nicht nur Starkregenfälle oder Schneeschmelzen, sondern auch Trockenperioden von Bedeutung. Letztgenannte können zur Bildung von Rissen im Boden führen, welche nach Niederschlagsereignissen mit Wasser gefüllt werden und so das Hanggleichgewicht negativ beeinflussen können.

Eine Auswertung der Niederschlagsdaten ergab, dass in etwa Ende Mai 2013 erhöhte Tagesniederschläge von bis zu 46,2 mm vorliegen und die Kurve der Niederschlagssumme einen steilen Knick nach oben macht. Dieser Zeitraum lässt sich in etwa mit der Gumpenbergrutschung korrelieren und könnte somit der Auslöser gewesen sein. Im August 2013 nehmen die Niederschläge wieder zu, woraus sich eine mögliche Bewegungszunahme im Rutschungsbereich ableiten lässt. Die Zeitspanne von Ende Mai 2014 bis Anfang November 2014 zeigt einen Anstieg der Verschiebungen im Bereich der Rutschung auf. Das lässt sich mit den vorhandenen Niederschlagsdaten korrelieren.

Neben den vorhandenen Gebirgsverhältnissen, mit stark gestörten und durchgearbeiteten Gesteinsverbänden, der ungünstigen Gefügesituation, den hydrogeologischen Verhältnissen und den klimatischen Rahmenbedingungen kann unter Umständen auch die

anthropogene Beeinflussung eine gewisse Rolle für z.B. den Wasserhaushalt im Untergrund spielen. Dies kann der Bau von Straßen (Forststraßen), sonstigen baulichen Anlagen, die Abholzung von Wäldern etc. sein. Dadurch kann das Wasser eventuell schneller in den Boden eindringen. Es kann zu einem veränderten Wasserhaushalt im Boden kommen, was einen gewissen Einfluss auf Rutschungen haben könnte.

Die Rutschung am Gumpenberg würde sich nach der Klassifikation von Prinz & Strauß (2011) als komplexe Rutschung einstufen lassen, da es bei dieser zu Gleit- und Fließprozessen kommt. Grob zusammengefasst sind die übergeordneten Ursachen für die Gumpenbergrutschung wahrscheinlich die geologische und quartäre Entwicklung, sowie eine mögliche Bergzerreißung am Hauser Kaibling (siehe Abb. 9-1), wie sie Van Husen (1987b) beschrieben hat. Diese würde die stark aufgelockerten, bewegten Gesteine im Arbeitsgebiet begründen.



Abb. 9-1: möglicher Abriss (roter Bereich) der Bergzerreißung am Hauser Kaibling (Google 2016)

Weitere Ursachen sind aller Voraussicht nach die nach Norden bis Nordnordosten einfallende Schieferung, sowie die mögliche Störung im Bereich der Gumpenbergrutschung die als Wasserstauer fungieren könnte und so einen Porenwasserüberdruck hervorrufen könnte.

9.1 Ausblick

Auf Basis der Literatur, den geologischen- und geomorphologischen Beobachtungen im Gelände, der Erkundungsbohrung, den geodätischen Oberflächenmessungen und den Inklinometermessungen, welche aufgrund erst einer Folgemessung als noch nicht eindeutig interpretierbar gewertet wird, kann es auch in Zukunft im Bereich der Gumpenbergrutschung immer wieder zum Ausfließen von gering kohäsiven Material und zum Ausgleiten von Schollen kommen. Auch im Gumpenbach- und Ennslinggraben sind Gleit-, Kipp- und Fließbewegungen möglich, wodurch in den Bächen aufgrund von heruntergerutschten Bäumen Verklausungen möglich sind.

Für ein allenfalls erforderliches Sanierungskonzept wären für die Gumpenbergrutschung noch weitere Erkundungsmaßnahmen bzw. zumindest eine erweiterte Beobachtungszeit nötig. Ergänzende Untersuchungen zum vertieften Verständnis der Rutschungscharakteristik könnte zum Beispiel eine zweite Bohrung am Fuße der Rutschung mit geophysikalischen Untersuchungen (eventuell einem zweiten Inklinometer oder dem Ausbau mit einem Piezometer) sein. Weitere geodätische Oberflächenmessungen in einem kürzen Intervall könnten ebenfalls zum vertieften Verständnis beitragen.

Die Messungen des vorhandenen Inklinometers sollten auf alle Fälle weitergeführt werden um mögliche Bewegungsmechanismen und die genaue Lage möglicher Gleitflächen zu bestimmen.

Es wird zudem empfohlen, die vegetationslosen Bereiche der Böschung zu begrünen, um die Oberflächenerosion zu verlangsamen. Des Weiteren sollte durch Einziehen von Drainagen darauf geachtet werden, dass die vorhandenen Oberflächenwasser komplett vom Rutschhang weggeleitet werden. Eine weitere Möglichkeit wäre den Böschungsfuß mit Steinschichtungen abzustützen. Kokosmatten wären ebenfalls eine Möglichkeit die Erosionsprozesse zu vermindern.

10 Literaturverzeichnis

- Abele, G., 1974. Bergstürze in den Alpen: Ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen. *Wissenschaftlicher Alpenverein*, 25, pp.1–230.
- Becker, L.P., 1987. Die quartären Talfüllungen im Raume Schladming. In *Arbeitstagung Geol. B.-A. Wien*, pp. 124–133.
- Bley, A., 1976. Sicherung von Hängen und Böschungen durch Tiefdrainschlitzte. In *Vorträge Baugrundtagung Nürnberg*. pp. 699–714.
- Boley, C., 2012. *Handbuch Geotechnik* 1st ed., Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Brandl, H., 2007. Studienunterlagen Vorlesung und Übung Grundbau I.
- Brandl, H., 2009. Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen. In *Grundbautaschenbuch Teil 3*. pp. 495–651.
- Bräutigam, F., Linstedt, H. & Prinz, H., 1989. Meßtechnische Beobachtung eines Rutschhangs am Nordportal des Schickenbergtunnels der Neubaustrecke Hannover-Würzburg der deutschen Bundesbahn. In *Ber. 7. Nat. Tag. Ing. Geol. in Bensheim*. pp. 23–31.
- Brosch, F.J., Kurz, W. & Klima, K., 2006. Definition and Characterization of Faults and and Fault Rocks. *Felsbau*, pp.13–20.
- Bunza, G., 1993. Massenbewegungen in alpinen Wildbachgebieten und der menschliche Einfluß darauf. In *Ber. 9. Nat. Tag. Ing.-Geol. Garmisch-Partenkirchen*. pp. 63–69.
- Dold, C., 2016. *Rutschung Ginau/Salzburg Messtechnische Überwachung, Modellierung, Standsicherheitsuntersuchungen und Entwurf von Sanierungsvorschlägen*. Technische Universität Graz.
- Dürrwang, R. & Otto, U., 1986. Sanierung von Rutschhängen mit Verdübelungen aus Großbohrpfählen und Schlitzwandscheiben. *Proc. Donaueuropäische Konf. Bodenmech. u. Grundbau*, pp.325–330.
- EI-Mossallamy, Y. & Dürrwang, R., 2006. Bauwerke in instabilen Hängen. In *Vorträge Baugrundtagung Bremen*. pp. 343–348.

- EN ISO 14688-1, 2013. *Geotechnische Beschreibung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Schreibung,*
- EN ISO 14688-2, 2004. *Geotechnische Beschreibung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierungen,*
- EN ISO 14689-1, 2003. *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Klassifizierung,*
- ESRI, 2014. ArcGIS 10.3.
- Exner, C., 1979. Geologie des Salzachtals zwischen Taxenbach und Lend. *Jb. Geol. B.-A.*, (122), pp.1–73.
- Faupl, P., 1997. *Historische Geologie*, Wien: WUV Universitätsverlag.
- FGSV, 1992. *Merkblatt für Felsbeschreibung für den Straßenbau,*
- Frisch, W. et al., 2002. Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung - die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen nördlichen Kalkalpen. *Die Höhle*, (53), pp.1–36.
- Genske, D.D., 2014. *Ingenieurgeologie*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-55387-5>.
- Genske, D.D., 2008. Massenbewegungen. In K. J. Witt, ed. *Grundbautaschenbuch Teil 1*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 719–782.
- Geological Survey of Canada, 2017. No Title. Available at: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/science/geology/gsc/17100>.
- GIS Steiermark, 2017. Digitaler Atlas Steiermark. Available at: [http://gis2.stmk.gv.at/atlas/\(S\(ppecyy5ayaypr1sw15qng5co\)\)/init.aspx?karte=gew&ks=das&cms=da&redliningid=wk3l3f3yey0am1i5dvuszijj&box=404127.474436195;5248419.08382163;412616.340568166;5251286.07823224&srs=32633](http://gis2.stmk.gv.at/atlas/(S(ppecyy5ayaypr1sw15qng5co))/init.aspx?karte=gew&ks=das&cms=da&redliningid=wk3l3f3yey0am1i5dvuszijj&box=404127.474436195;5248419.08382163;412616.340568166;5251286.07823224&srs=32633).
- Google, 2016. Google Earth Pro.
- Gudehus, G. & Al., E., 1996. *Der Ingenieurbau: Grundwissen Hydrotechnik, Geotechnik,*
- Häfner, F., 1993. Gefahrenabwehr bei Steinschlag - Erfordernis, Sicherheitsniveau,

- rechtliche Aspekte. , pp.189–195.
- Häfner, F. & Kriechbaum, J., 1997. Sicherung der Rutschung Ruthweiler durch Absenkung des Grundwasserspiegels. *geotechnik*, pp.260–265.
- Hahn, F.F., 1913. Grundzüge des Baues der nördlichen Kalkalpen zwischen Inn und Enns. *Mitteilung Geologische Gesellschaft Wien*, 6.
- Hejl, E. & Mandl, G.W., 2014a. Entwicklungsgeschichte. In *Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming*. Wien: Geologische Bundesanstalt, pp. 32–43.
- Hejl, E. & Mandl, G.W., 2014b. Geologischer Bau. In *Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming*. Wien: Geologische Bundesanstalt, pp. 24–31.
- Hejl, E. & Matura, A., 2014. Erläuterungen zur Kartenlegende. In *Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming*. Wien, pp. 44–109.
- Highland, L.M. & Bobrowsky, P., 2008. *The Landslide Handbook — A Guide to Understanding Landslides*, Virginia: U.S. Geological Survey.
- Van Husen, D., 2014. Die Entwicklung des oberen Ennstals im Quartär. In *Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming*. Wien, pp. 38–43.
- Van Husen, D., 1987a. *Die Ostalpen in den Eiszeiten*, Wien: Geol. B.-A.,.
- Van Husen, D., 1968. Ein Beitrag zur Talgeschichte des Ennstals im Quartär. *Mitteilung Gesellschaft Geolog. Bergbaustud.*, (18), pp.249–286.
- Van Husen, D., 2000. Geological Processes during the Quarternary. *Mitteilung Geologische Gesellschaft Wien*, pp.135–156.
- Van Husen, D., 1981. Geologisch-sedimentologische Aspekte im Quartär von Österreich. *Mitteilung Geologische Gesellschaft Wien*, (74/75), pp.197–230.
- Van Husen, D., 1979. Verbreitung, Ursachen und Füllung glazial übertiefer Talabschnitte an Beispielen in den Ostalpen. *Eiszeitalter und Gegenwart*, (29), pp.9–22.
- Van Husen, D., 1987b. Zur Entwicklung des oberen Ennstals im Pleistozän. In *Arbeitstagung Geol. B.-A.* Wien, pp. 197–230.
- Informationsmaterial der Bauer Spezialtiefbau GmbH, Bodenvernagelungen. Available

at: www.bauer.de.

Keil, M. & Neubauer, F., 2009. Initiation and development of a fault-controlled, orogen-parallel overdeepened valley: The Upper Enns Valley, Austria. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 102(1), pp.80–90.

Köhler, M., 1985. Großräumige Massenbewegungen in Quarzphylliten und ihre baueologischen Auswirkungen. *geotechnik*, (8), pp.8–14.

Krättli, W. & Schwarz, M., 2015. *Stabilisierung rutschender Hänge*, Maienfeld.

Krautblatter, M. & Moser, M., 2005. Die Implikation einer vierjährigen quantitativen Steinschlagmessung für Gefahrenabschätzung, Risikoverminderung und die Ausgestaltung von Schutzmaßnahmen. In *Veröffentl. 15. Tag. Ing.-Geol. Erlangen*. pp. 13–18.

Krauter, E., 1996. Phänomenologie natürlicher Böschungen (Hänge) und ihrer Massenbewegungen. In *Grundbautaschenbuch Teil 1*. pp. 549–600.

Krauter, E. & Köster, M., 1991. Stabilitätsprobleme an Felsböschungen im Rheinischen Schiefergebirge. *Geotechnik Sonderheft*, pp.22–27.

Das Land Steiermark, 2016. ALS-Daten Land Steiermark.

Das Land Steiermark, 2013. *Rutschung Gumpenberg - Ortsteil Ruperting; Gemeinde Haus i. Ennstal; Geologische Stellungnahme*, Graz.

Lippomann, R. & Schwing, E., 1997. Kombinierte Böschungs- und Hangsicherung für einen Verkehrsweg. In *Geotechnik Sonderheft 11. Nat. Tag. Ing.-Geol. Würzburg*. pp. 112–120.

Mandl, G.W., 1984. Zur Tektonik der westlichen Dachsteindecke und ihres Hallstätter Rahmens. *Mitteilung Österreichischer Geologischer Gesellschaft*, pp.1–31.

Mandl, G.W., Gawlick, H.-J. & Lein, R., 1999. CAI patterns of the Dachstein Nappe and adjacent areas and their implication for the thermic history of the NCA. *Tübinger geowiss. Arbeiten*, 52, pp.182–183.

Mandl, G.W., Hejl, E. & Van Husen, D., 2014. *Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming*, Wien: Geologische Bundesanstalt.

- Mandl, G.W., Matura, A. & Hejl, E., 2014. Geologischer Überblick. In *Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming*. Wien: Geologische Bundesanstalt, pp. 9–11.
- Marte, R., 2016. Einführung in die Thematik von (großen) Rutschungen mit dem Schwerpunkt der Zustands- und Sicherheitsbeurteilung. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 161(12), pp.544–552. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00501-016-0553-8>.
- Moser, M., 1993. Was wissen wir über Talzuschübe? In *Ber. 9. Nat. Tag. Ing.-Geol. Garmisch-Partenkirchen*. pp. 4–14.
- ÖBB Infrastruktur AG, 2010. *Semmering-Basistunnel Neu - Einreichoperat für das eisenbahrechtliche Baugenehmigungsverfahren einschließlich wasserrechtlicher Belange*,
- Patzelt, G., 1995. Day 1.-4. In *Quaternary field trips in Central Europe*. München, pp. 383–401.
- Penck, A. & Brückner, E., 1909. Die Eiszeiten in den Südalpen und im Bereich der Ostabdachung der Alpen. In *Die Alpen im Eiszeitalter*. Leipzig, pp. 717–1199.
- Pestal, G. et al., 2009. *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Salzburg 1:200.000*, Wien: Geol. B.-A.,
- Prinz, H., 1997. *Abriß der Ingenieurgeologie* 3rd ed., Enke.
- Prinz, H. & Strauß, R., 2011. *Ingenieurgeologie* 5th ed., Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-8274-2473-0>.
- Rocscience, 2017a. Auto-Refine-Search Non-Circular. Available at: https://rocscience.com/help/slide/webhelp/slide_model/surfaces/Auto_Refine_Search_Non-Circular.htm [Accessed April 5, 2017].
- Rocscience, 2017b. Web Help Slide. Available at: <https://www.rocscience.com/help/slide/webhelp7/Slide.htm> [Accessed April 10, 2017].
- RocScience, 2012. Dips 6.0.
- Rossner, R., 1972. Die Geologie der nordwestlichen St. Martiner Schuppenlandes am

- Südostrand des Tennengebirges (Oberostalpin). *Erlanger geol. Abh.*, 89, p.57.
- Schiechtl, H., 2009. Böschungssicherung mit ingenieurbioologischen Maßnahmen. In *Grundbautaschenbuch Teil 2*. pp. 747–846.
- Schlager, W., 1967. Fazies und Tektonik am Westrand des Dachsteinmasse (Österreich). *Mitteilung Gesellschaft Geolog. Bergbaustud. Wien*, 17(II), pp.205–282.
- Schmid, S.M. et al., 2004. Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 97(1), pp.93–117.
- Schober, C., 1991. Hydrogeologie und rezente Hangbewegungen diktiert aufwendige Vorerkundungen und angepasste Gründungsmethoden. *geotechnik*, (14), pp.63–68.
- Schubert, G., 2014. Hydrogeologie. In *Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming2*. Wien, pp. 134–149.
- Schumacher, T. & Lippomann, R., 2005. Hangsicherung im Zuge DB NBS Nürnberg-Ingolstadt, Bereich Auer Berg. In *Veröffentl. 15. Tag. Ing.-Geol. Erlangen2*. pp. 321–328.
- Schuster, V.R. & Stüwe, K., 2010. Die Geologie der Alpen im Zeitraffer. *Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark*, 140, pp.5–21.
- Senarclens-Grancy, W., 1962. Beiträge zur Eingliederung der Moränen der Schladminger Tauern, der Mitterrennstaler Moore und der Ramsau- oder Ennstalerrasse bei Schladming in das alpine Jungquartär. In *Jb. Geol. B.-A. Wien*, pp. 65–128.
- Stein, D., 1988. Undichte Kanalisationen - ein kommunales Problemfeld der Zukunft aus Sicht des Gewässerschutzes. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung*, pp.65–74.
- Stiny, J., 1928. *Vorläufiges, generelles Geologisches Gutachten betreffend der Errichtung von Stausperren im Sammelgebiete des Talbaches und des Preuneggbaches bei Schladming*, Wien.
- Strauss, R., 1996. Geotechnische Untersuchungen an sulfatkarstgeschädigten Tonsteinen der Röt-Folge (Oberer Buntsandstein) in Nordhessen. *Geol. Jb. Hessen*, pp.47–66.

- Terzaghi, K., 1925. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*, Leipzig/Wien: Deuticke.
- Thöni, M., 2006. Dating eclogite-facies metamorphism in the Eastern Alps - Approaches, results, interpretations: A review. In *Mineralogy and Petrology*. pp. 123–148.
- Tobler, D., Krummenacher, B. & Rohr, W., 2006. *GIS-basierte Modellierung von Rutschungen und Hangmuren*, Davos Dorf.
- Varnes, D.J., 1978. Slope Movement Types and Processes. *Transportation Research Board Special Report*, (176), pp.11–33.
- Wichter, L. & Meiniger, W., 2000. *Verankerungen und Vernagelungen im Grundbau* 1st ed., Ernst & Sohn.
- Zaruba, Q. & Mencl, V., 1961. *Ingenieurgeologie*, Akademie Vlg.
- Zentrum Geotechnik, 2007. *Studienunterlagen Grundbau und Bodenmechanik*. Technische Universität München. Available at: www.gb.bv.tum.de.

11 Anhang

I. Verwitterungsklassifikation (in Anlehnung an FGSV (1992) und EN ISO 14689-1 2003)

Gesteinsverwitterungsgrade	Beschreibung, Erscheinungsbild	Kornbindung, Festigkeit, einaxiale Druckfestigkeit	Feldversuche: Hammerschlag/ Rückprallhammer (R_m)
unverwittert	keine sichtbare Verwitterung, schwache Verfärbung an Trennflächen	gute Kornbindung sehr hart, hart, sehr fest bzw. hoch $q_u = 50-250$ MPa	heller Klang bei Hammerschlag, hinterlässt keinen Eindruck am Gestein, mehrere Hammerschläge erforderlich $R_m = 30 \pm 10$
angewittert	Gestein fest – gering entfestigt, Verfärbung der Klüftwandungen und der angrenzenden Gesteinsbereiche. Variante: Gestein verfärbt, aber fest	mäßige Kornbindung mäßig hart-fest $q_u = 25-50$ MPa	wenig heller Klang evtl. leichte Einkerbung an Oberfläche mit wenige Schlägen brechbar, nicht bis schwach ritzbar $R_m = 20 \pm 10$
mäßig entfestigt	Gestein ist entfestigt (spürbar verändert), aber noch nicht mürbe. Verfärbung der Klüftwandungen und des Gesteins	geringe Kornbindung, mäßig fest, schwach absandend $q_u = 5-25$ MPa	dumpfer Klang, Einkerbung bei festem Hammerschlag, leicht zu zerschlagen, mit Hand nicht zerbrechbar, schwer ritzbar $R_m < 10-15$
stark entfestigt	Gestein ist deutlich bis stark entfestigt. Starke Verfärbung der Klüftwandungen und des Gesteins	Gestein ist brüchig, mürbe, absandend halbfest $q_u = 1-5$ MPa	brüchig bei Hammerschlag mit Hand zerbrechbar, gut ritzbar $R_m = 0$
zersetzt	Gestein ist völlig entfestigt oder zersetzt, Gesteinsgefüge jedoch erkennbar	steif-halbfest $q_u < 1$ MPa	von Hand zerdrückbar; in Wasser zu plastifizieren

II. Gefügedaten

Wegpunkt	Koordinaten		Lithologie	Schieferung [Dip Direction / Dip]	Klüfte [Dip Direction / Dip]	Störung [Dip Direction / Dip]
	Breite	Länge				
WP02	47°23'51.26"N	13°47'38.39"E	Phyllit/Eisrandterrassensedimente			055 / 80 (St 1)
WP03	47°24'26.76"N	13°47'40.02"	Phyllit	034 / 40 008 / 50		
WP05	47°24'22.84"N	13°47'39.61"E	Grünschiefer	010 / 40	134 / 70 (K2)	
WP05	47°24'22.84"N	13°47'39.61"E	Phyllit	008 / 35	302 / 65 (K1) 310 / 50 (K1) 356 / 76 (K3) 160 / 85 (K4) 320 / 60 (K1)	190 / 90 (St 2) 169 / 90 (St 2)
WP07	47°24'19.87"N	13°47'42.25"E	Grünschiefer	360 / 55	280 / 45 (K1) 290 / 50 (K1) 124 / 75 (K2)	
WP08	47°24'24.67"N	13°47'34.89"E	Grünschiefer	350 / 70		
WP10	47°24'22.86"N	13°47'31.63"E	Grünschiefer		140 / 55 (K2) 145 / 50 (K2)	
WP16	47°24'1.78"N	13°47'47.29"E	Phyllit	002 / 35		
WP17	47°24'4.18"N	13°47'41.19"E	Phyllit	360 / 40		140 / 85 (St 3)
WP18	47°24'31.28"N	13°47'14.10"E	Phyllit	054 / 35		

WP20	47°24'24.29"N	13°47'9.87"E	Phyllit	010 / 65 004 / 75 010 / 55		240 / 85 (St 1)
WP25	47°24'14.96"N	13°47'49.64"E	Grünschiefer	030 / 35		
WP29	47°24'9.41"N	13°47'46.94"E	Grünschiefer	010 / 30		
WP30	47°24'7.44"N	13°47'49.83"E	Grünschiefer	360 / 30		
WP31	47°24'6.67"N	13°47'49.64"E	Phyllit	020 / 30		
WP31	47°24'6.67"N	13°47'49.64"E	Phyllit	360 / 40		
WP32	47°24'5.73"N	13°47'51.00"E	Phyllit	020 / 30		
WP33	47°24'2.43"N	13°47'50.74"E	Phyllit	024 / 35		
WP36	47°23'57.96"N	13°47'54.35"E	Phyllit	020 / 40		
WP41	47°24'26.84"N	13°47'9.72"E	Phyllit	360 / 70		
WP41	47°24'26.84"N	13°47'9.72"E	Phyllit	010 / 55		
WP42	47°24'26.38"N	13°47'7.50"E	Phyllit	010 / 50		
WP43	47°24'24.48"N	13°47'6.66"E	Phyllit	360 / 50		
WP44	47°24'22.18"N	13°47'7.67"E	Phyllit	360 / 70		360 / 89 (St 2)
WP45	47°24'17.38"N	13°47'3.93"E	Grünschiefer	360 / 45		
WP47	47°24'13.66"N	13°46'58.59"E	Rutschmasse			050 / 70 (St 1)
						010 / 80 (St 2)
WP51	47°24'1.27"N	13°47'4.02"E	Phyllit	020 / 45		
WP57	47°23'57.96"N	13°46'54.22"E	Phyllit	050 / 40		
WP58	47°24'1.12"N	13°46'59.09"E	Phyllit			360 / 80 (St 2)
WP60	47°24'10.22"N	13°46'57.91"E	Phyllit			010 / 65 (St 2)
WP64	47°24'2.09"N	13°47'10.45"E	Phyllit	030 / 45		
WP66	47°23'45.66"N	13°46'48.85"E	Phyllitischer Glimmerschiefer	360 / 48 014 / 40 010 / 55		360 / 85 (st 2)
WP71	47°23'46.62"N	13°46'43.81"E	Phyllitischer Glimmerschiefer	356 / 55 345 / 50		
WP75	47°23'53.30"N	13°47'33.89"E	Phyllit	010 / 50		
WP78	47°23'52.27"N	13°47'38.11"E	Phyllit	020 / 25		
WP80	47°24'0.60"N	13°47'37.24"E	Phyllit	344 / 50		
WP94	47°24'6.17"N	13°47'25.95"E	Grünschiefer	360 / 65 010 / 60 018 / 60		

III. Bohrkerndokumentation

TUGraz
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz

SCHICHTENVERZEICHNIS

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 1/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

Beginn: 20.10.2016

Ende: 28.10.2016

Neigung: 90°

Richtung:

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L V	K Z	Trennflächen	Bestege	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kermmargen
Einfachkernrohr Ø 220,00 mm	1		A A A A A A A A A A A								Anschüttung: Kies, schwach schluffig Rundkorn, Kantkorn hellgrau, locker gelagert	Inklinometerrohr Fa. Stump DIN 71 mm	Rotations- und Spülbohrungs- gerät: WIRTH TYPE ECO 0	
	1,30												Inklinometerrohr. System Fa. Stump. DN 71 mm, 8-nutig, Hinterfüllung mit Zement-Bentonit- Suspension, Inklinometeroberkante 0,0 m GOK, Straßenkasten 0,0 bis -0,3 m ab GOK	
	2										Hangschutt allochthon: Schluff, schwach kiesig mit feinblättrigen Phyllitblättchen, braun, locker gelagert			
	2,30										Hangschutt allochthon: Sand, kiesig, steinig mit phyllitischen Gesteinsbruchstücken (plattig, ~ 5cm Kantenlänge), braungrau, locker gelagert			
	3,00										Phyllit: Kies, schwach schluffig, sandig mit feinblättrigen Phyllit (5-20mm), grau, oxidierte Tf,			
4,00											Phyllit: Sand, kiesig, beige			
4,32											Phyllit: Kies, schwach schluffig, sandig mit feinblättrigen Phyllit (5-20mm), silbergrau, speckige mit Talk bestegte Tf-Oberflächen			
5													4,3-4,6m: Entnahme gestörte Probe	

Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

SCHICHTENVERZEICHNIS

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 2/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

Beginn: 20.10.2016

Ende: 28.10.2016

Neigung: 90°

Richtung:

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L V	K Z	Trennflächen	Besteige	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kernmargen	
Einfachkernrohr Ø 220,00 mm	5,40		v3 [stark verwittert]								Phyllit: Feinsand, schluffig, kiesig mit cm-großen Phyllitstücken, beige,	Inklinometerrohr Fa. Stump DIN 71 mm			
	6,00										Phyllit: Feinsand, schwach schluffig, kiesig mit stark verwitterten Phyllitstücken, hellbraun				
	7														
	8												Phyllit: Sand, schwach schluffig, kiesig mit feinblättrigen phyllitischen Bruchstücken & vereinzelt Qtz-Knollen (Kiesfraktion), hellgrau,		
	9												8,4-8,6m: Entnahme gestörte Probe		
	10												9,4-9,6m: Entnahme gestörte Probe		

Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

SCHICHTENVERZEICHNIS

TUGraz
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 3/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

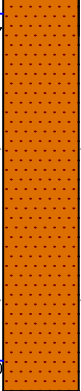


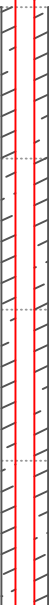

Beginn: 20.10.2016

Ende: 28.10.2016

Neigung: 90°

Richtung:

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L	K	Trennflächen	Bestege	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kernmargen	
				V	Z										
Einfachkernrohr Ø 220,00 mm	11	10,07													
	11,30	11,20													
	12			v3 [stark verwittert]											Phyllit: Kies, schwach schluffig, sandig 5-7cm große stark verwitterte phyllitische Bruchstücke, dunkelgrau
13,00										Phyllit: Kies, schwach schluffig, 5-7cm große phyllitische Bruchstücke, braun-grau, stark verwittert, breiige Matrix (braun)					
Einfachkernrohr Ø 180,00 mm	13,65														
	14										Phyllit: Kies, schluffig, steinig mit Klasten bis ~ 10cm, dunkelgrau, oxidierte Tf, braune Matrix, weich, stark verwittert				
	15														

Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

SCHICHTENVERZEICHNIS

TUGraz
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 4/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

Beginn: 20.10.2016

Ende: 28.10.2016

Neigung: 90°

Richtung:

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L	K	Trennflächen	Besteige	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kermmargen
				V	Z									
Einfachkernrohr Ø 180,00 mm Verrohrung von GOK bis 18,1 m	16		v3 [stark verwittert]									Inklinometerrohr Fa. Slump DIN 71 mm		
	17													
	17,20													17,2-17,4m: Entnahme gestörte Probe
	17,80													17,4-17,6m: Entnahme gestörte Probe
Einfachkernrohr Ø 146,00 mm	18										Phyllit: Schluff, schwach sandig mit zerbohrten Phyllitklasten, Qtz, grau, UCS: 250-350 kPa, halbfeste Konsistenz			
	18,50													
	19										Phyllit: Kies, sandig mit 5-10cm großen Felsbruchstücken (Phyllit, Qtz), grau			
	20													

Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

SCHICHTENVERZEICHNIS

TUGraz
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 5/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik




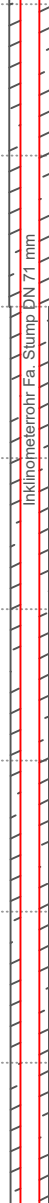
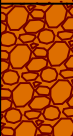
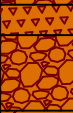
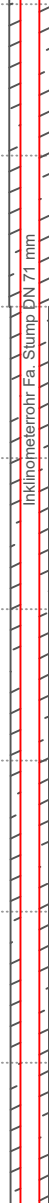

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

Beginn: 20.10.2016 **Ende:** 28.10.2016

Neigung: 90° **Richtung:**

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L	K	Trennflächen	Bestege	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kernmargen
				V	Z									
EK Ø 146 Doppelkernrohr Ø 146,00 mm Bentonit-spülung	20,25													
	21,00										Kernverlust (20,25-21m)			
Einfachkernrohr Ø 146,00 mm	22,00										Phyllit/Grünschiefer: Grobsand, kiesig, schluffig, grau,			
	22,45 22,55										Phyllit/Grünschiefer: Kies, schluffig, steinig mit phyllitischen Bruchstücken (2-15cm), grau, Gesteinsbruchst. graphit. Phyllit, schwarz...			
Einfachkernrohr Ø 131,00 mm	22,80										siehe oben Tiefe 22-22,45m, graphitführend (22,5m)			
	23 24										Phyllit/Grünschiefer: Schluff, schwach sandig, kiesig mit zermahlenden Qtz-Klasten und phyllitischen Bruchstücken (5-15cm) UCS: 220 kPa, steife Konsistenz			
25														

Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

SCHICHTENVERZEICHNIS

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 6/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

Beginn: 20.10.2016

Ende: 28.10.2016

Neigung: 90°

Richtung:

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L	K	Trennflächen	Besteige	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kermmargen	
				V	Z										
EK Ø 131,00 mm															
Doppelkernrohr Ø 131,00 mm Bentonitspülung	26														
	26,40										siehe Blatt 5, Tiefe 22,45-22,55m				
	26,50										siehe Tiefe 22,8-26,4m				
	26,60														
Einfachkernrohr Ø 131,00 mm	27										Phyllit/Grünschiefer: Schluff, schwach sandig, kiesig zerbohrter Fels mit Qtz-Klasten und Bruchstücken aus Grünschiefer (chloritreich), grau-grünlich, steif-halbfest				
	27,60														
	28										Phyllit/Grünschiefer Schluff, schwach kiesig, Bruchstücke (~ 3-5cm), dunkelgrau, steif				
	28,60														
	28,80										autochthon verwitterter Phyllit/Grünschiefer Feinsand, schluffig, grau, breiige Konsistenz vermutl. durch Bohrspülung				
	29										Phyllit/Grünschiefer: Schluff, schwach sandig mit phyllitischen Bruchstücken (2-15cm), dunkelgrau, breiig				
	29,45														
Doppelkernrohr Ø 131,00 mm Bentonitspülung	30										Phyllit/Grünschiefer: Mittelsand, schwach schluffig mit Grünschiefer- & Kalzitklasten, dunkelgrau bis grünlich,				

Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

TUGraz
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz

SCHICHTENVERZEICHNIS

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 7/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

Beginn: 20.10.2016

Ende: 28.10.2016

Neigung: 90°

Richtung:

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L	K	Trennflächen	Besteige	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kernmargen
				V	Z									
Einfachkernrohr Ø 131,00 mm	31		v2 [mäßig verwittert]									Inklinometerrohr Fa. Slump DIN 71 mm		
	31,15													
	32													
	33													
	34													
	35													

Phyllit/Grünschiefer:
Ton-Schluff, schwach sandig
dunkelgrau, weich-steif

33,3-33,5m: Entnahme
gestörte Probe

Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

SCHICHTENVERZEICHNIS

TUGraz
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz

Bauvorhaben:
Rutschung Gumpenberg

Aufschluss-Nr.:
KB01/16

Kostenstelle:

Auftraggeber: Gemeinde Haus i. Ennstal

Aufschlussart: Kernbohrung

Blatt Nr.: 8/8

Bohrfirma: Reisinger Brunnenbau & Bohrtechnik

Endtiefe: 39m

Maßstab: 1:25

Beginn: 20.10.2016 **Ende:** 28.10.2016

Neigung: 90° **Richtung:**

GOK: 1.058m

Werkzeug Verrohrung Spülung	TIEFE ab GOK	Wasser	BODEN GESTEIN	L	K	Trennflächen	Bestege	RQD-10	Festigkeit	Stratigraphie	Benennung und Beschreibung des Bodens / der Gesteinsart (nach EN ISO-14688-1, 14688-2 und 14689-1)	Bohrloch- ausbau	Proben, Versuche, Messungen, Ergänzungen, Bemerkungen	Kernmargen
				V	Z									
Doppelkernrohr Ø 131,00 mm Bentonitspülung	36,00		v2 [mäßig verwittert]								Kernverlust (35-36 m)	Inklinometerrohr Fa. Slump DIN 71 mm		
	36,20										siehe Blatt 7, Tiefe 31,15-35m			
Einfachkernrohr Ø 131,00 mm	37,00										Phyllit/Grünschiefer: Mittel- bis Grobsand, schwach schluffig braungrau, breiige Konsistenz vermutl. durch Bohrspülung			
	37,45										Phyllit/Grünschiefer: Schluff, schwach sandig, kiesig mit Bruchstücken aus Phyllit & Grünschiefer (3-7cm), braungrau-grünlich, vereinzelt oxidiert			
	38										Phyllit/Grünschiefer: Schluff, schwach sandig, kiesig mit Bruchstücken aus Phyllit & Grünschiefer (3-9cm), grau-grünlich, überw. steif bis weich			
	39,00										Endtiefe 39,00		38,4-38,7m: Entnahme gestörte Probe	
													Bodenkappe	

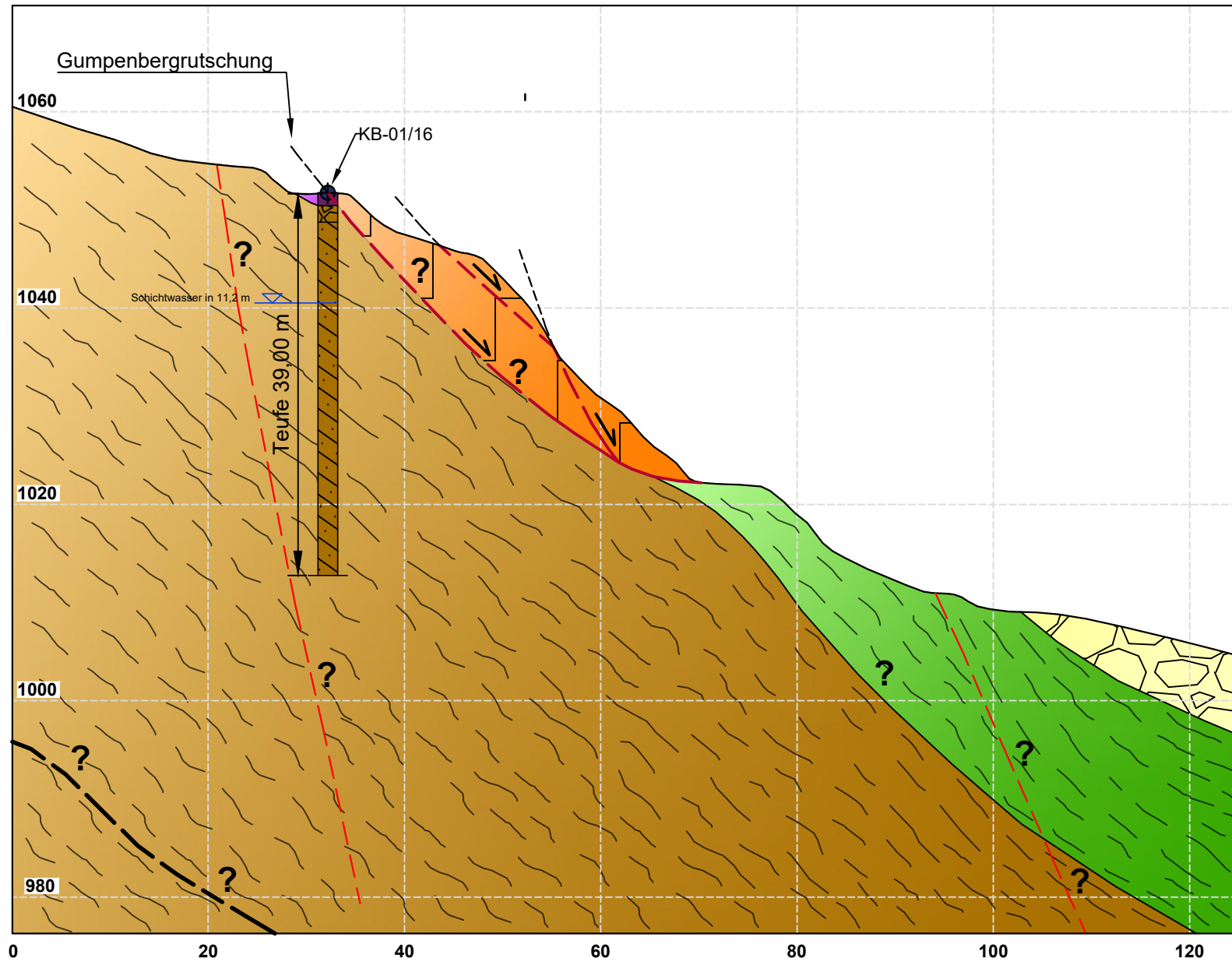
Bearbeiter: Koos

Ort: Weißenbach bei Haus

Datum: 11.11.2016

IV. Profile

Schnitt A-A'



Legende Profil

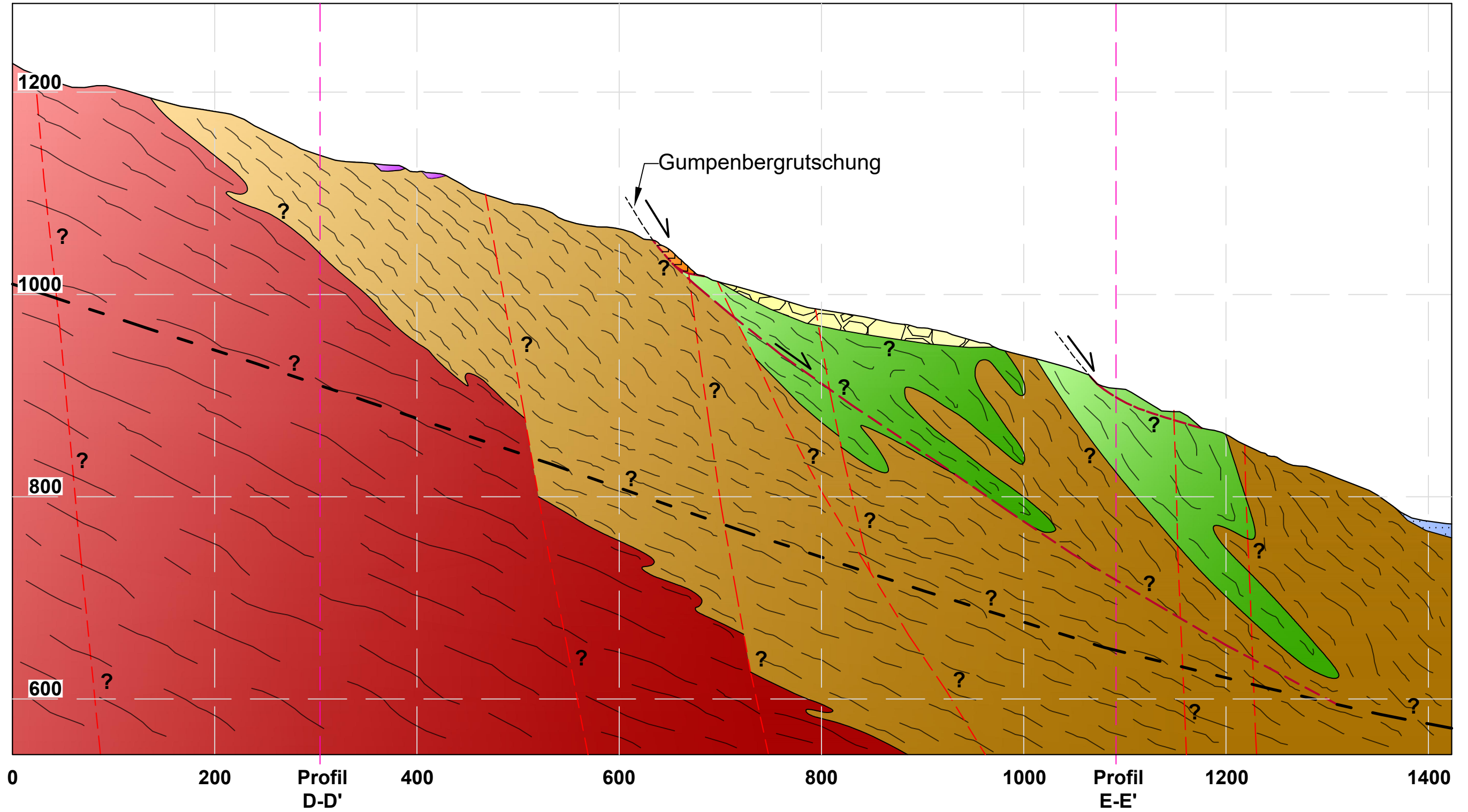
- Anschüttung
- Moräne
- interpretierte Rutschmasse
- Schwemmfächer
- Terrassensedimente
- Grünschiefer
- Phyllit
- Phyllitischer Glimmerschiefer
- Übergang stark aufgelockerter Bereich-Feststein?
- Störung vermutet
- Gleithorizont vermutet
- Schieferung

Legende Bohrloch













- Anschüttung
- Hangschutt Phyllit
- Phyllit zerbohrt? (schluffig, sandig, kiesig)
- Kernbohrung
- Schichtwasser in Bohrung angetroffen, tw. gespannt

Projekt: Gumpenbergrutschung		
Inhalt: Schnitt A-A'	Datum: 12.05.2017	Maßstab: 1:600

Schnitt B-B'



Legende Profil

	Anschüttung		Terrassensedimente		Übergang stark aufgelockerter Bereich-Feststein?
	Moräne		Grünschiefer		Störung vermutet
	interpretierte Rutschmasse		Phyllit		Gleithorizont vermutet
	Schwemmfächer		Phyllitischer Glimmerschiefer		Schieferung

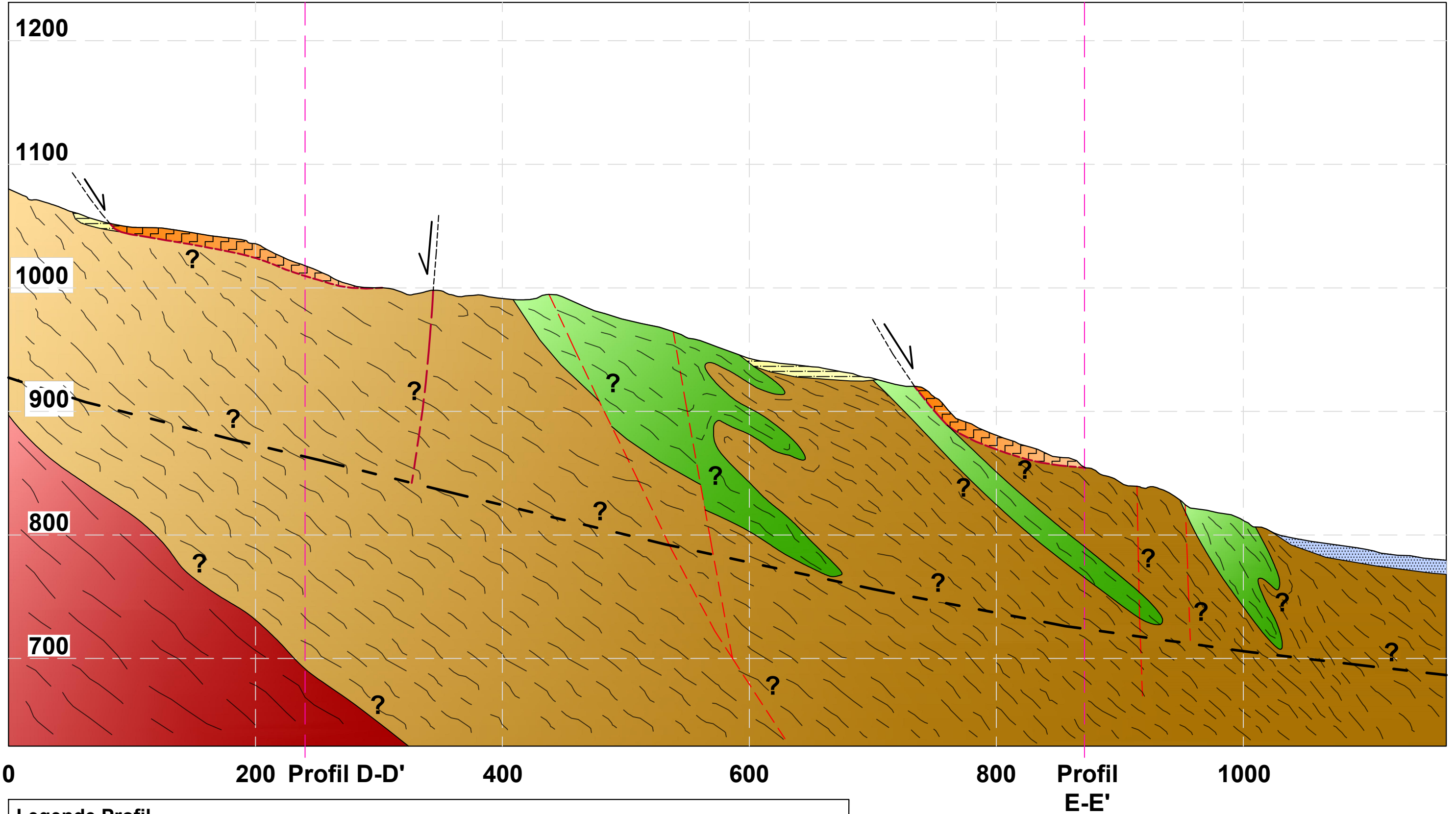
Projekt: **Gumpenbergrutschung**

Inhalt: **Schnitt B-B'**













Datum: 12.05.2017

Maßstab: 1:4.000

Schnitt C-C'



Legende Profil

	Anschüttung		Schwemmfächer		Phyllit		Störung vermutet
	Moräne		Terrassensedimente		Phyllitischer Glimmerschiefer		Gleithorizont vermutet
	interpretierte Rutschmasse		Grünschiefer		Übergang stark aufgelockerter Bereich-Festgestein?		Schieferung

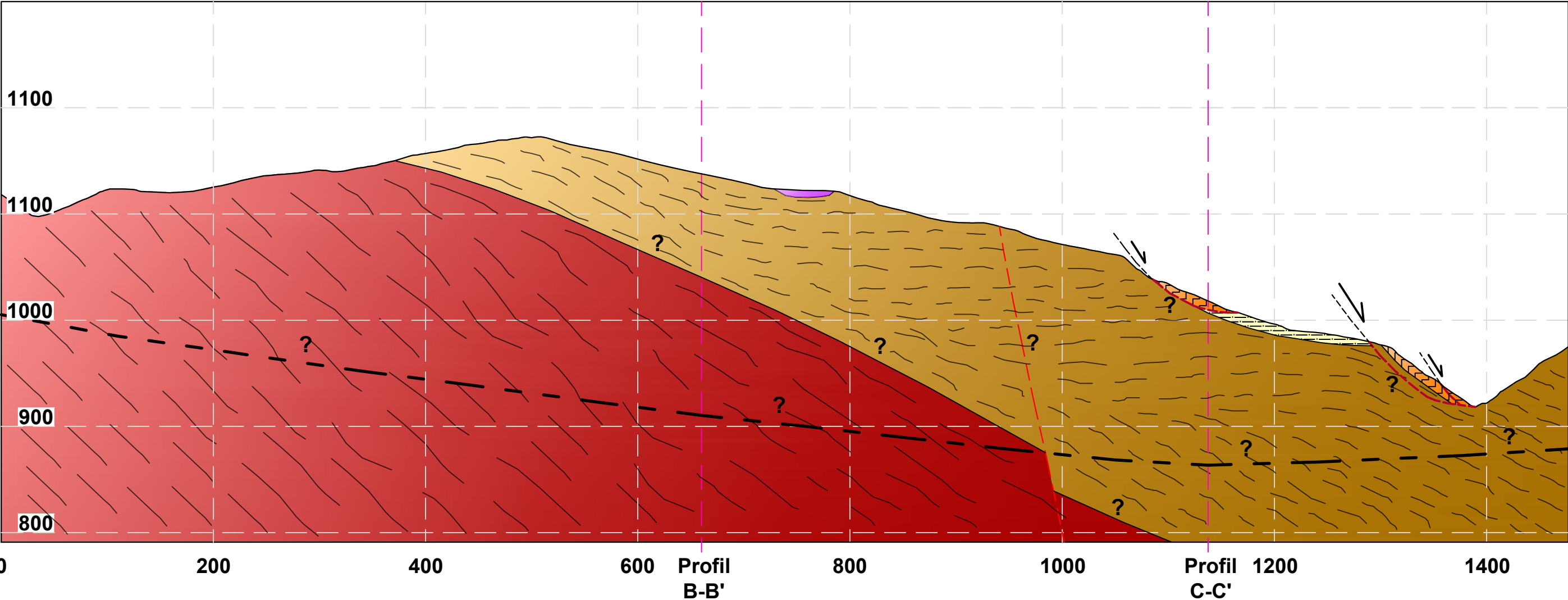
Projekt: **Gumpenberggrutschung**

Inhalt: **Schnitt C-C'**













Datum: 12.05.2017

Maßstab: 1:3.000

Schnitt D-D'

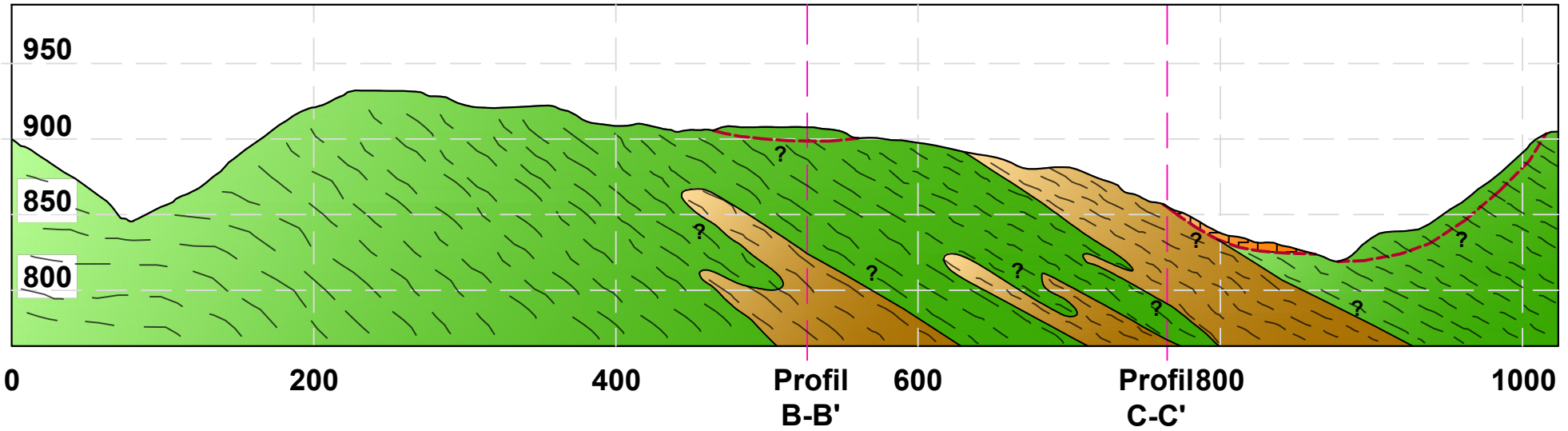


Legende Profil

 Anschüttung	 Terrassensedimente
 Moräne	 Grünschiefer
 interpretierte Rutschmasse	 Phyllit
 Schwemmfächer	 Phyllitischer Glimmerschiefer
 Übergang stark aufgelockerter Bereich-Festgestein?	 Gleithorizont vermutet
 Störung vermutet	 Schieferung

Projekt: Gumpenbergrutschung		
Inhalt: Schnitt D-D'	Datum: 12.05.2017	Maßstab: 1:4.000

Schnitt E-E'

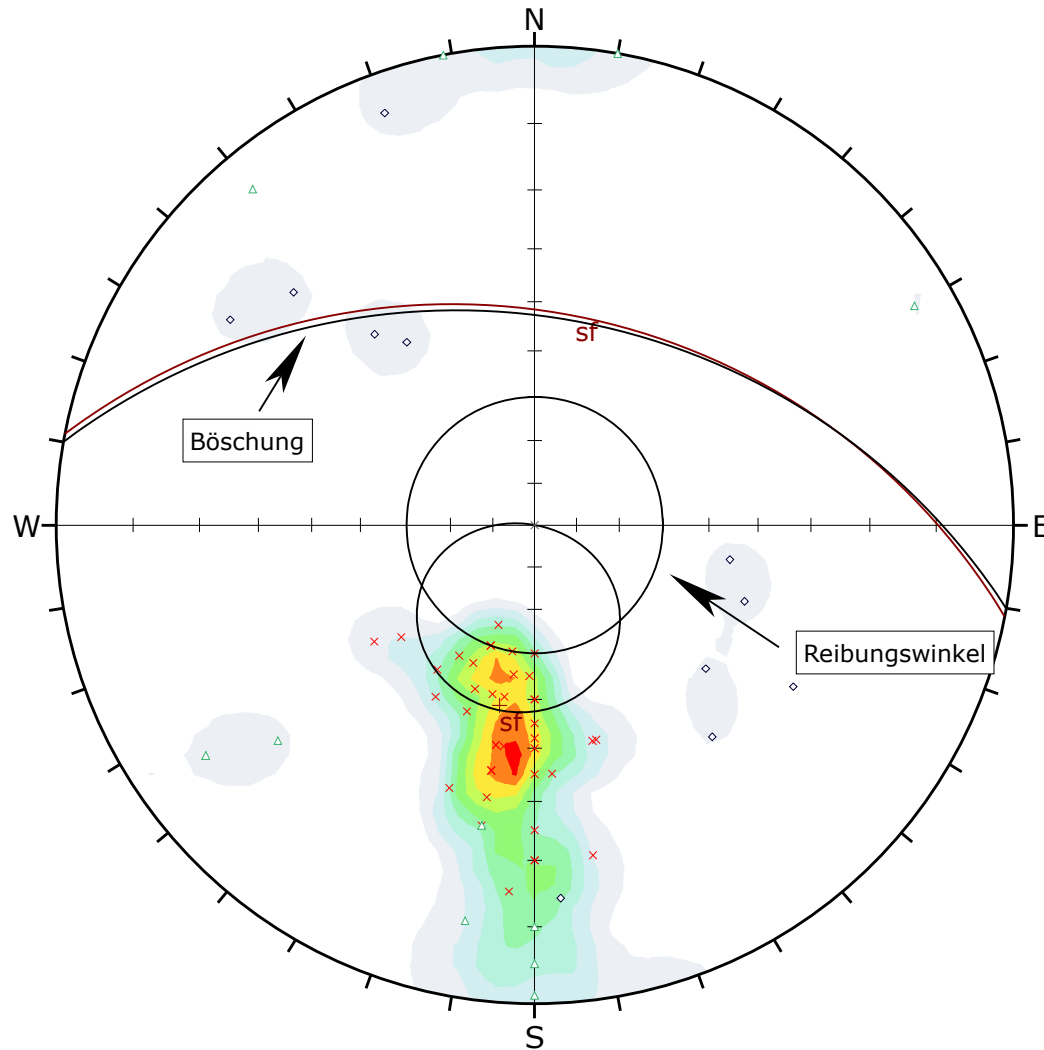


Legende Profil

Anschüttung	Phyllit
Moräne	Phyllitischer Glimmerschiefer
Rutschmasse	Übergang stark aufgelockerter Bereich-Feststein?
Schwemmfächer	Störung vermutet
Terrassensedimente	Gleithorizont vermutet
Grünschiefer	Schieferung

Projekt: Gumpenbergrutschung		
Inhalt: Schnitt E-E'	Datum: 12.05.2017	Maßstab: 1:600

V. Datenblätter der Kinematischen Analysen



Symbol	TYPE	Quantity
◇	k	11
×	sf	40
△	st	11

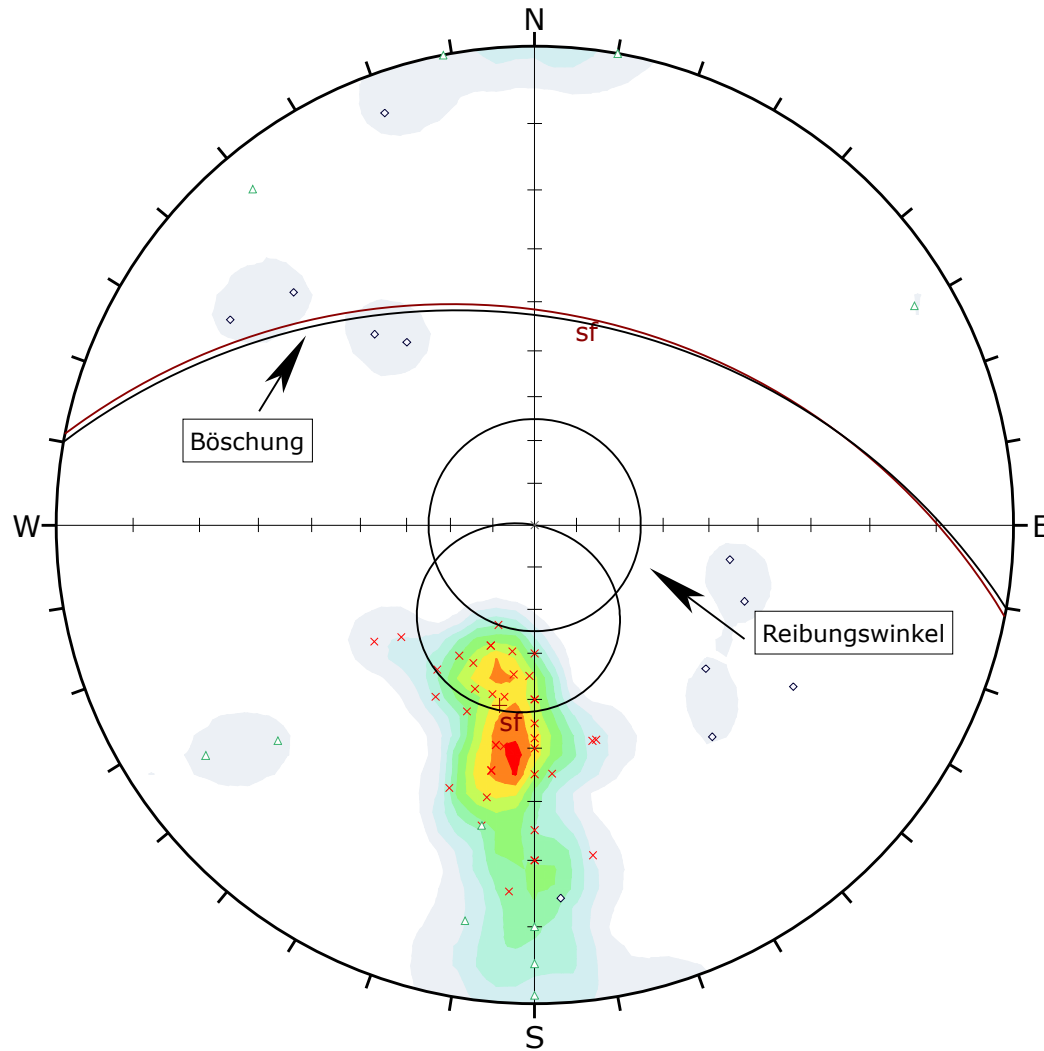
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00
Maximum Density	15.44%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	43		
Slope Dip Direction	10		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	14	62	22.58%
Planar Sliding (Set 1)	14	29	48.28%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	42	11	sf

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	62 (62 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

	<i>Project</i>	Gumpenbergrutschung	
	<i>Analysis Description</i>	Planar Sliding Variante 1	
	<i>Drawn By</i>	Marco Koos	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	20.05.2017	<i>File Name</i>



Symbol	TYPE	Quantity
◇	k	11
×	sf	40
△	st	11

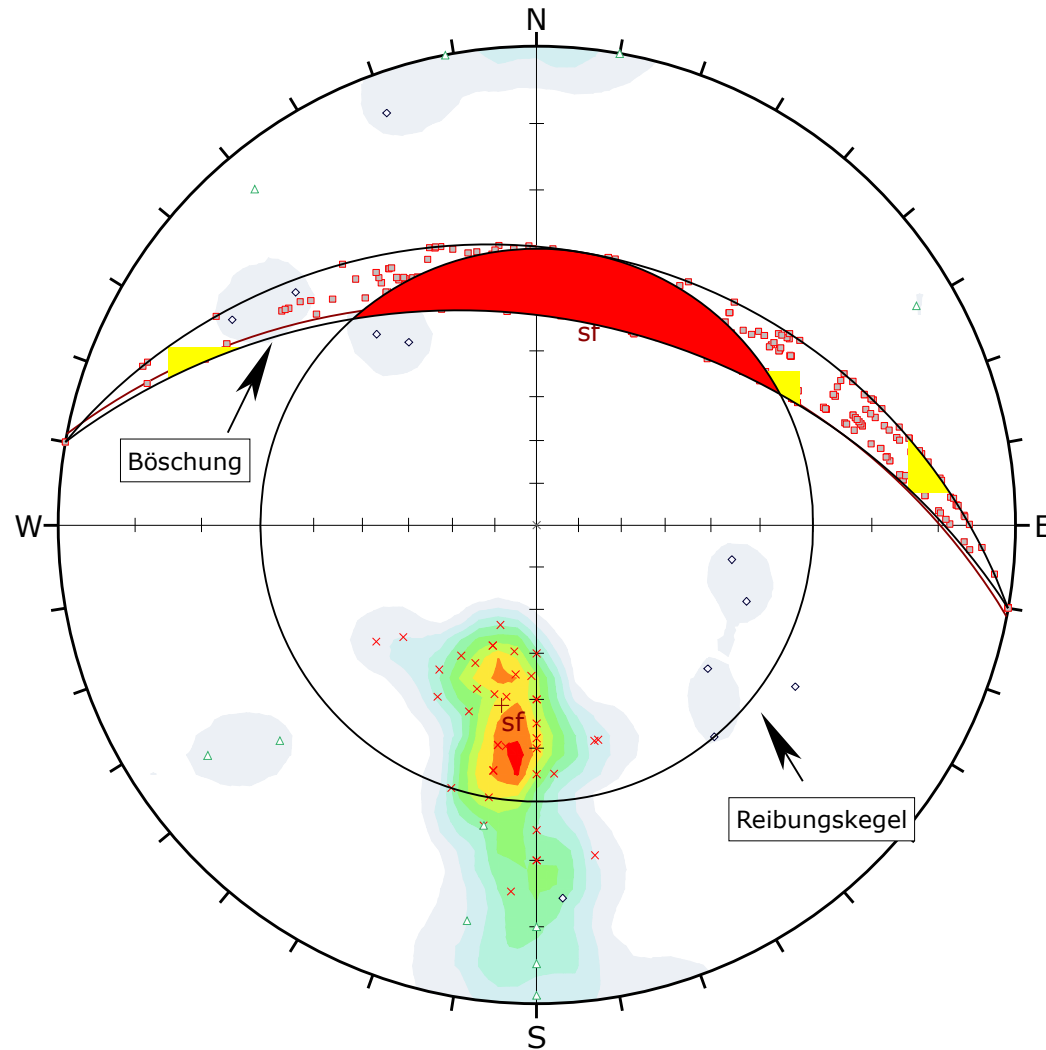
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00
Maximum Density 15.44%	
Contour Data Pole Vectors	
Contour Distribution Fisher	
Counting Circle Size 1.0%	

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	43		
Slope Dip Direction	10		
Friction Angle	25°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	15	62	24.19%
Planar Sliding (Set 1)	15	29	51.72%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	42	11	sf

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	62 (62 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

<i>Project</i>	Gumpenbergrutschung		
<i>Analysis Description</i>	Planar Sliding Variante 2		
<i>Drawn By</i>	Marco Koos	<i>Company</i>	
<i>Date</i>	20.05.2017	<i>File Name</i> KinematischeAnalysen.dips6	



Symbol	TYPE	Quantity
◇	k	11
×	sf	40
△	st	11

Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00

Maximum Density	15.44%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

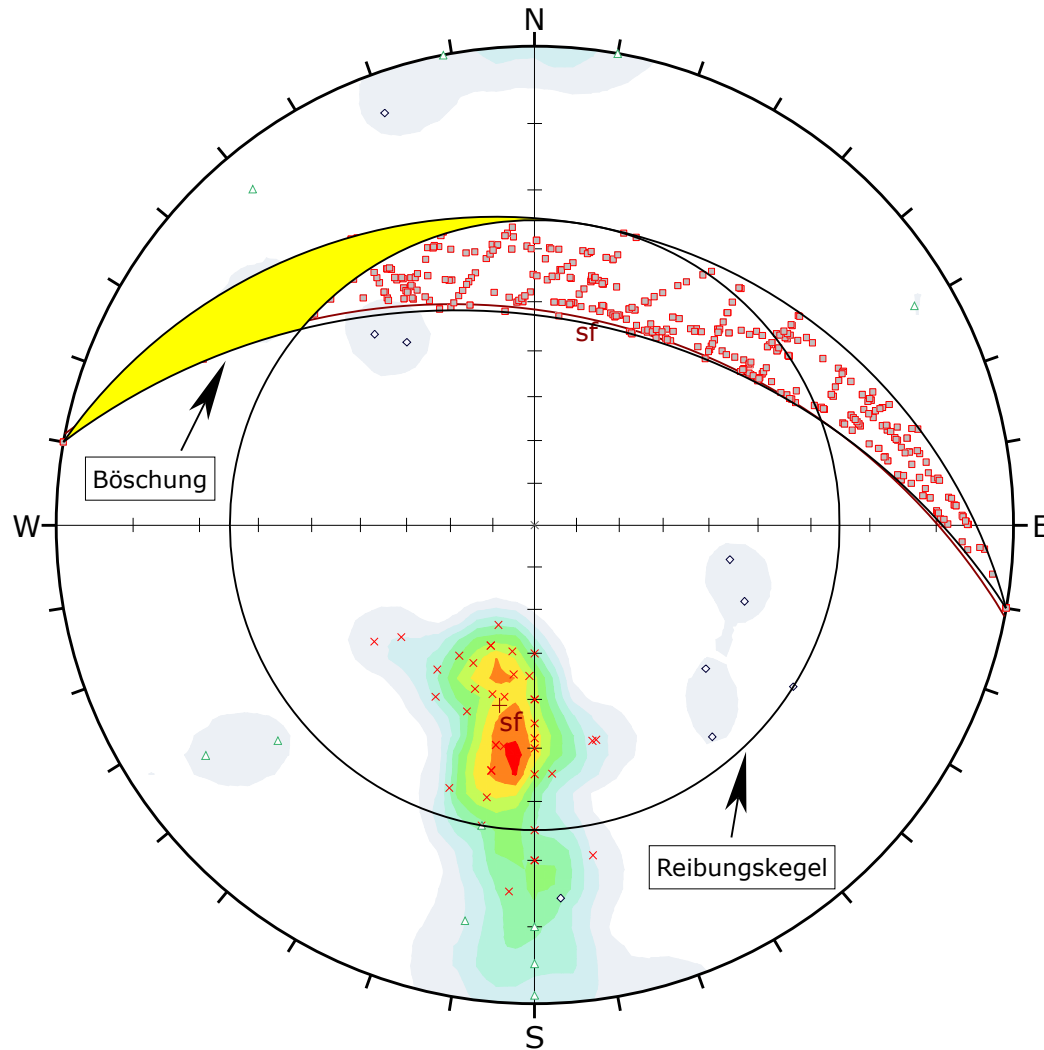
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	43
Slope Dip Direction	10
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	372	1883	19.76%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	42	11	sf

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	62 (62 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1883
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

	<i>Project</i>	Gumpenberggrutschung	
	<i>Analysis Description</i>	Wedge Sliding Variante 1	
	<i>Drawn By</i>	Marco Koos	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	20.05.2017	<i>File Name</i>



Symbol	TYPE	Quantity
◇	k	11
×	sf	40
△	st	11

Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00

Maximum Density	15.44%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

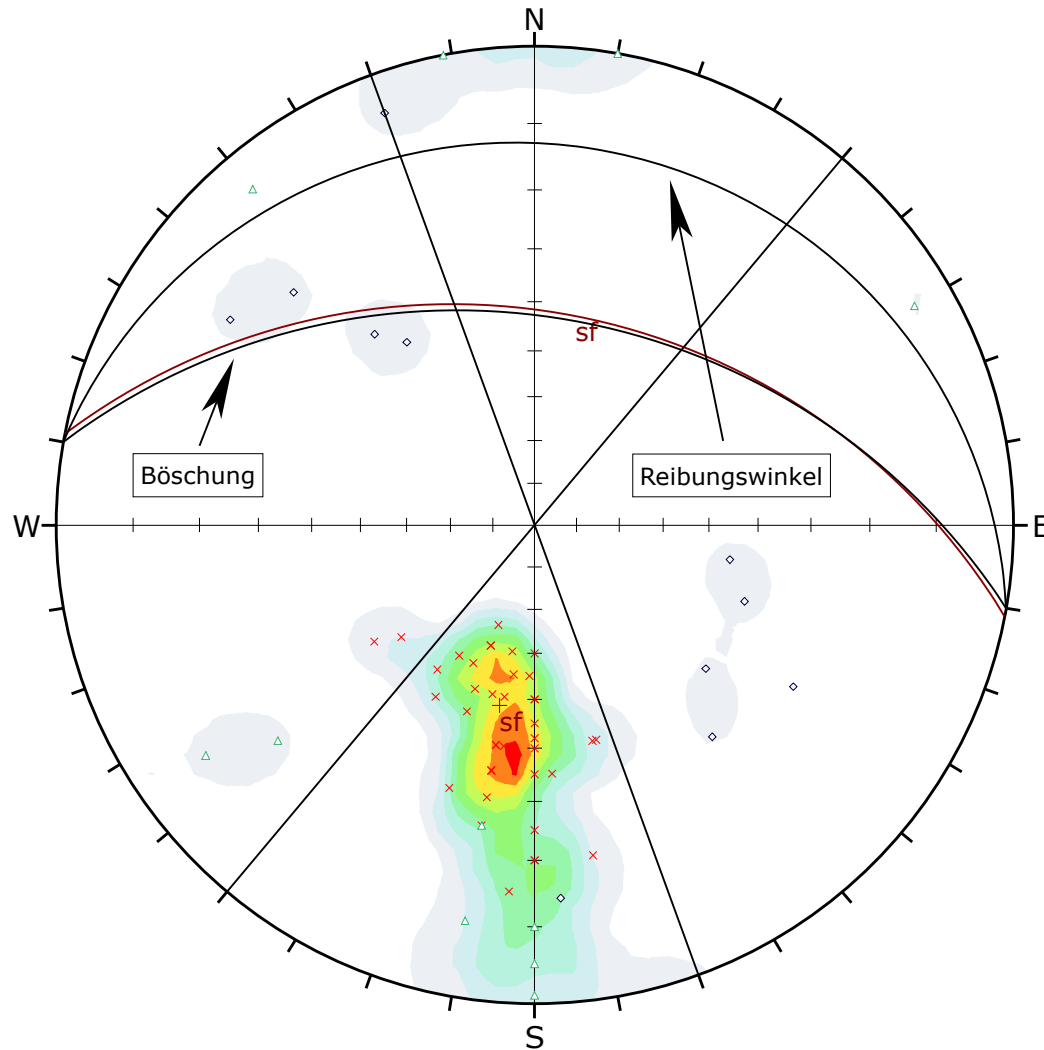
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	43
Slope Dip Direction	10
Friction Angle	25°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	465	1883	24.69%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	42	11	sf

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	62 (62 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	1883
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

	<i>Project</i>	Gumpenberggrutschung	
	<i>Analysis Description</i>	Wedge Sliding Variante 2	
	<i>Drawn By</i>	Marco Koos	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	20.05.2017	<i>File Name</i>



Symbol	TYPE	Quantity
◇	k	11
×	sf	40
△	st	11

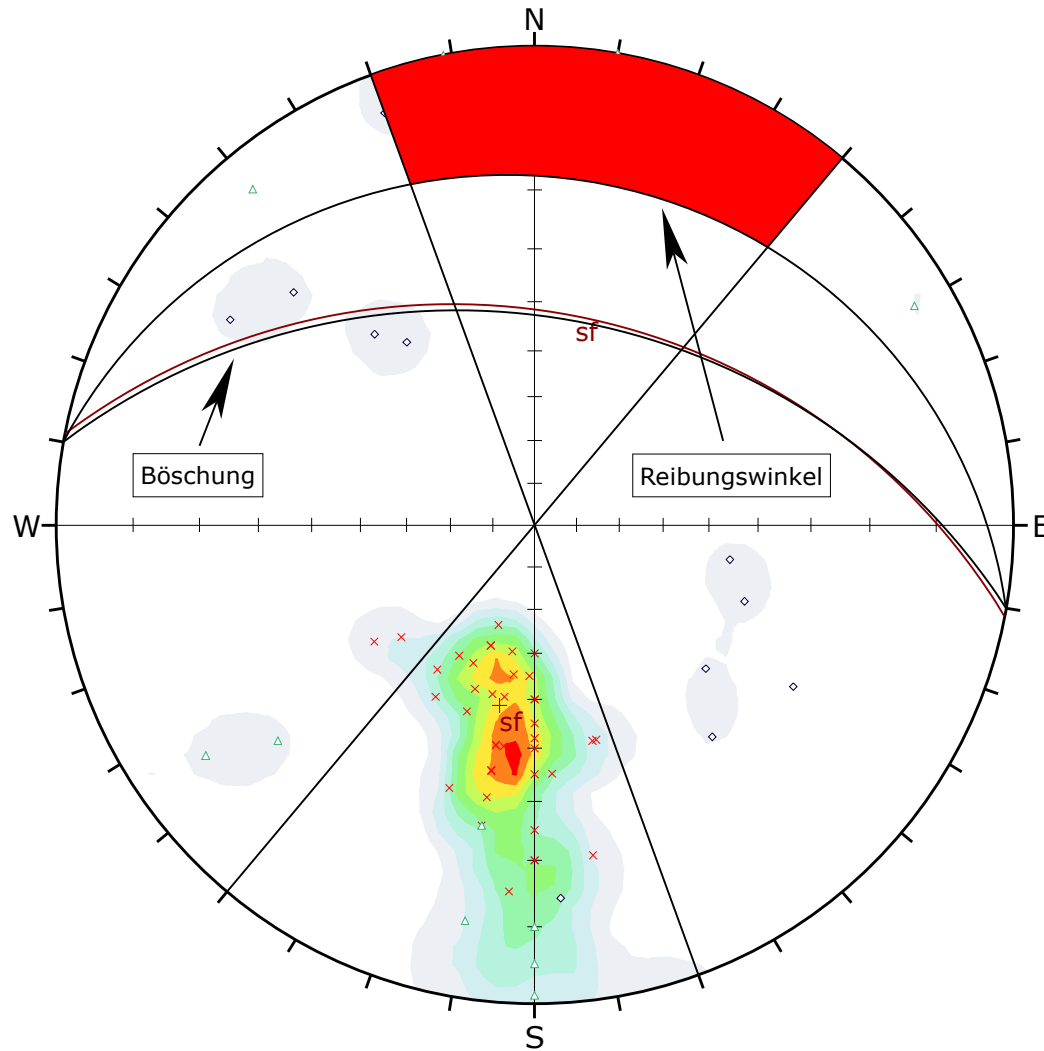
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00
Maximum Density	15.44%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	43		
Slope Dip Direction	10		
Friction Angle	30°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	3	62	4.84%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	42	11	sf

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	62 (62 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

<i>Project</i>	Gumpenberggrutschung		
<i>Analysis Description</i>	Toppling Variante 1		
<i>Drawn By</i>	Marco Koos	<i>Company</i>	
<i>Date</i>	20.05.2017	<i>File Name</i>	KinematischeAnalysen.dips6



Symbol	TYPE	Quantity
◇	k	11
×	sf	40
△	st	11

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00
Maximum Density	15.44%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

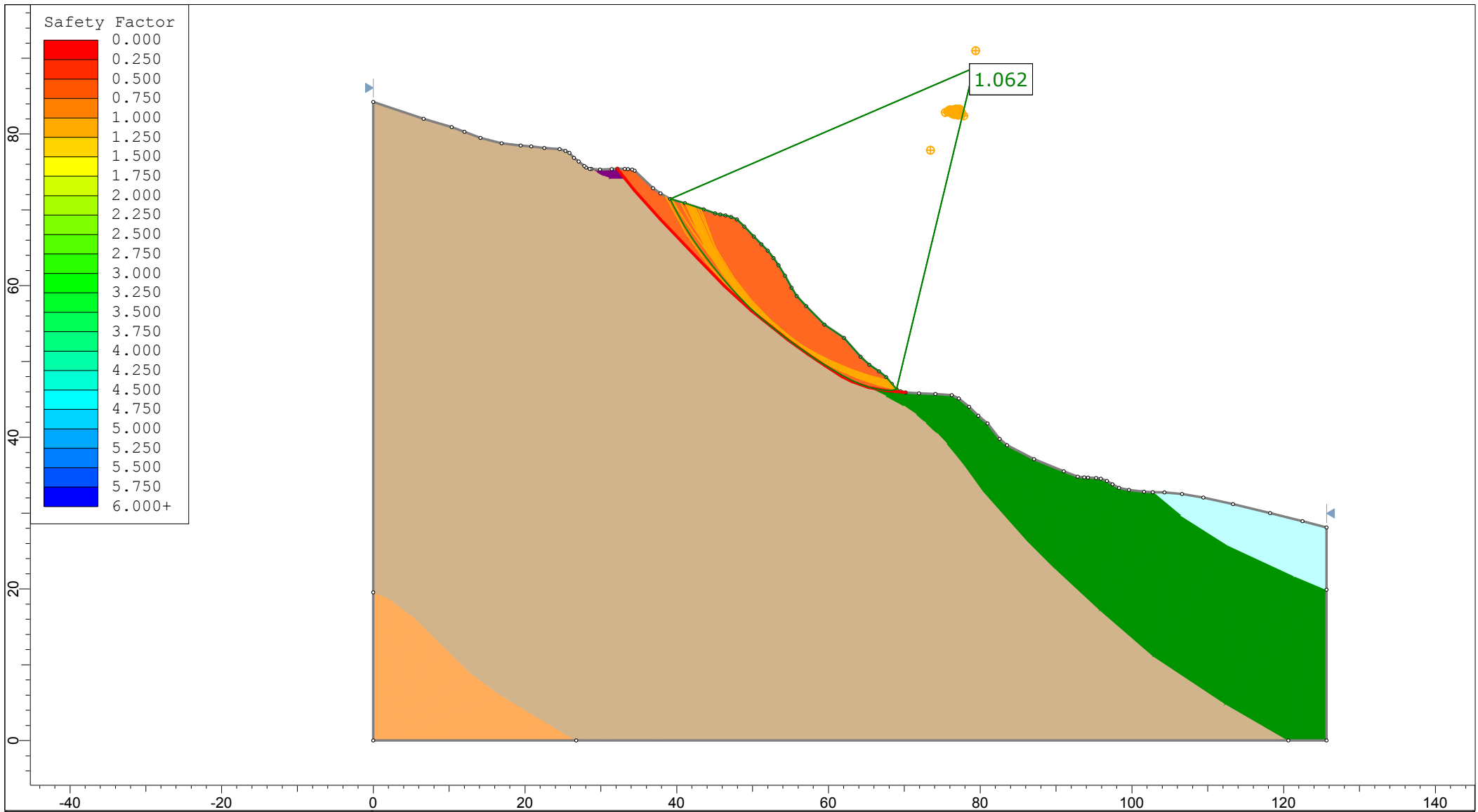
Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	43		
Slope Dip Direction	10		
Friction Angle	25°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	3	62	4.84%


	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	42	11	sf

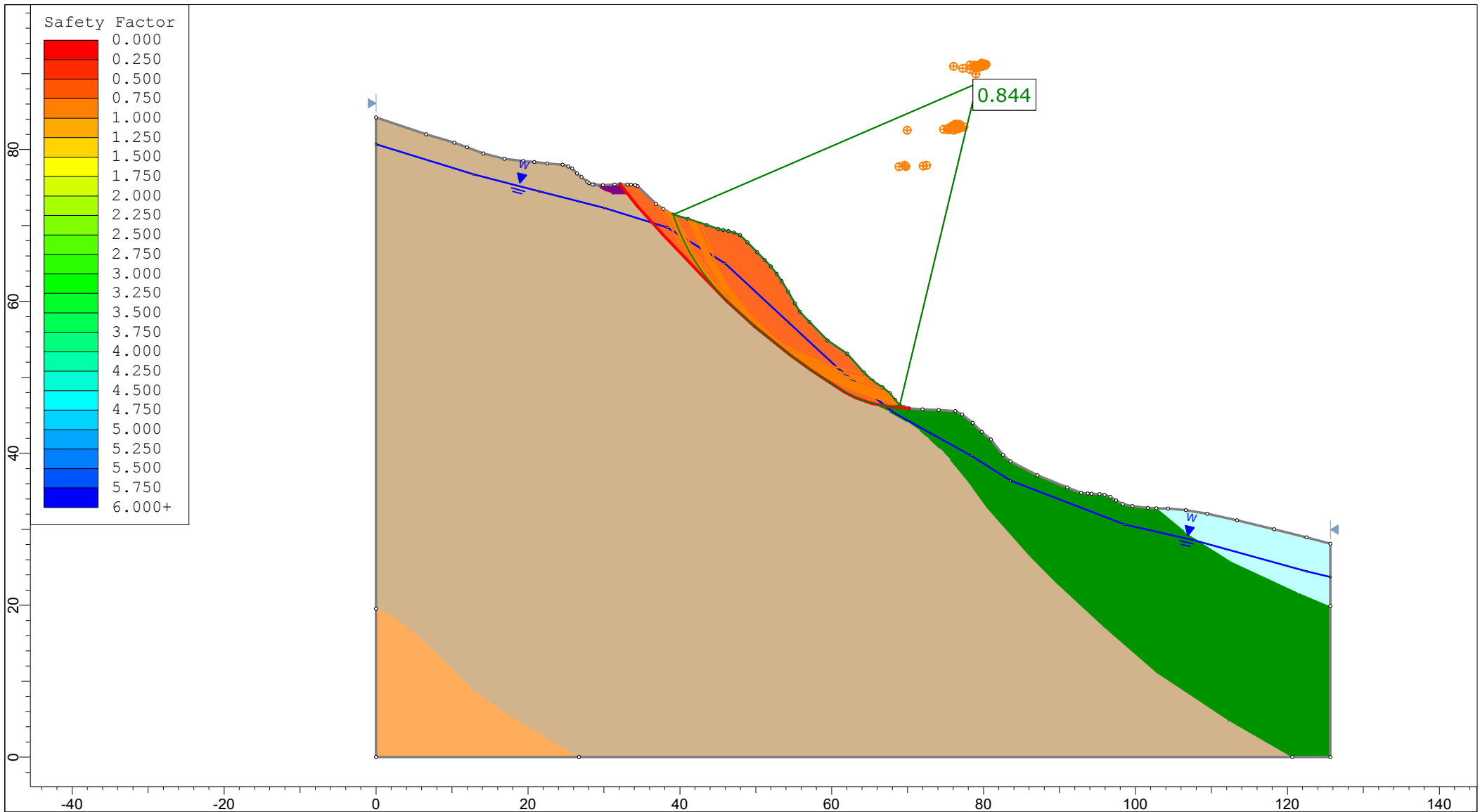
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	62 (62 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle


	<i>Project</i>	Gumpenberggrutschung	
	<i>Analysis Description</i>	Toppling Variante 2	
	<i>Drawn By</i>	Marco Koos	<i>Company</i>
	<i>Date</i>	20.05.2017	<i>File Name</i>

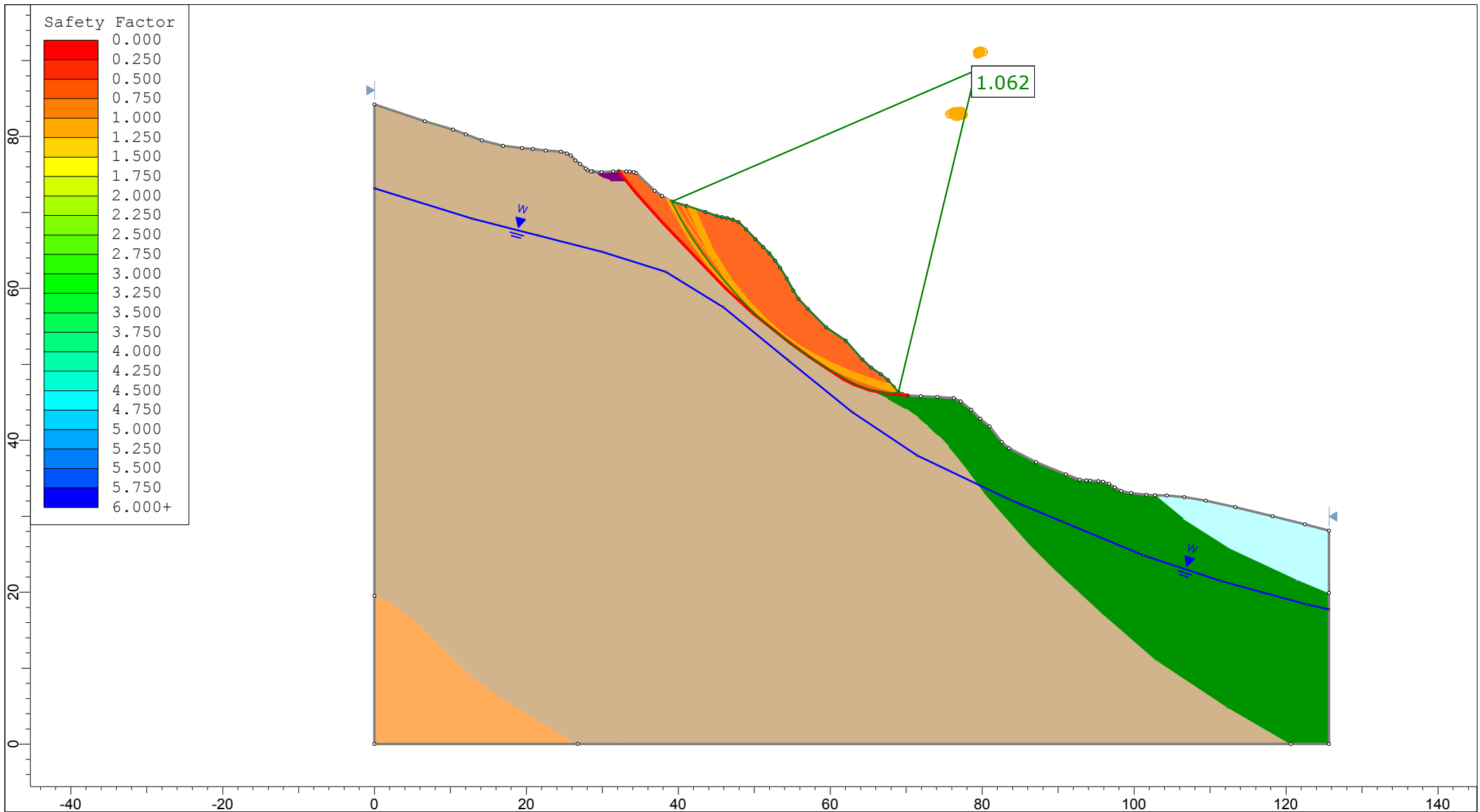
VI. Datenblätter der Standsicherheitsanalysen




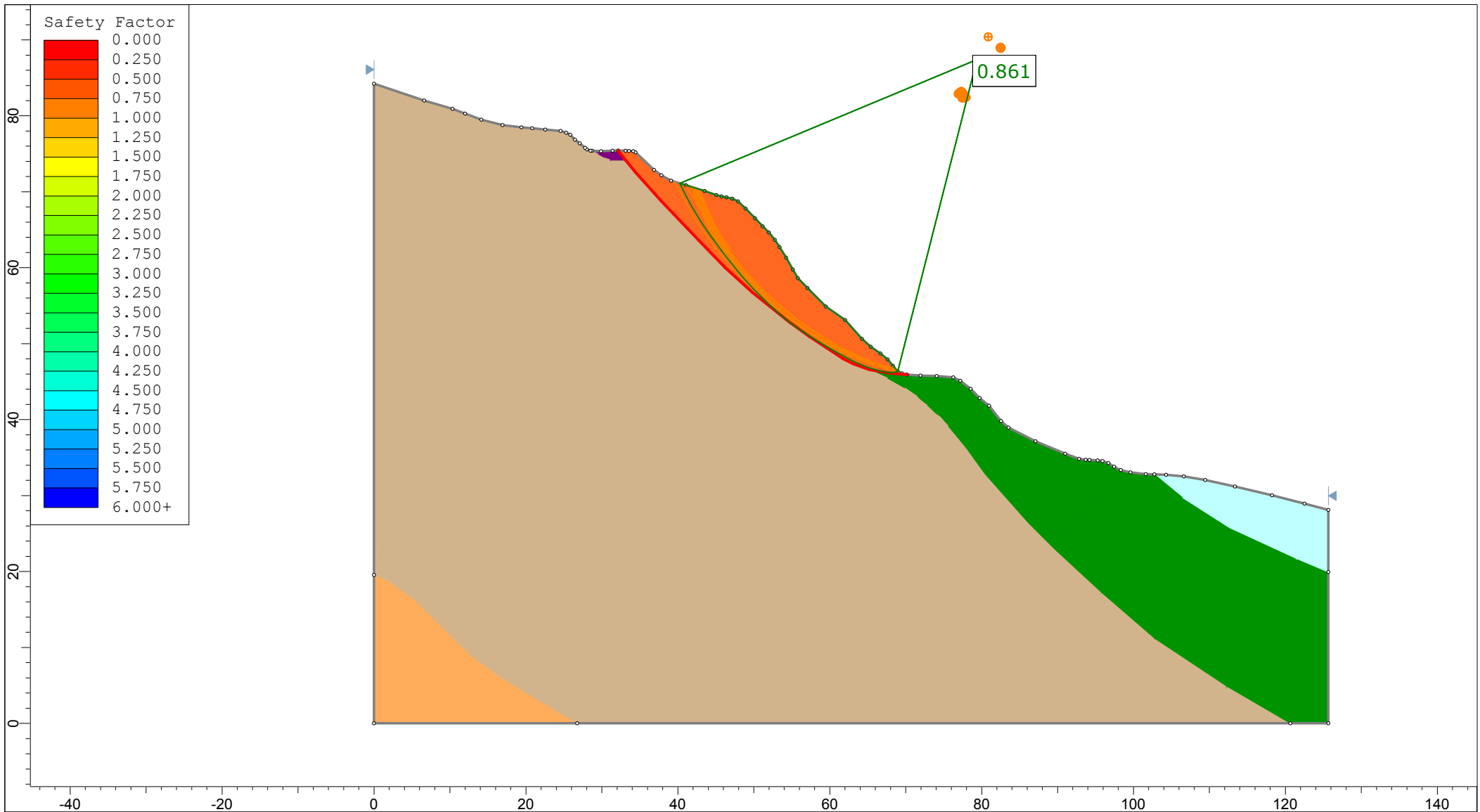
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:700
		File Name	Profil_A-A_Var1.slim




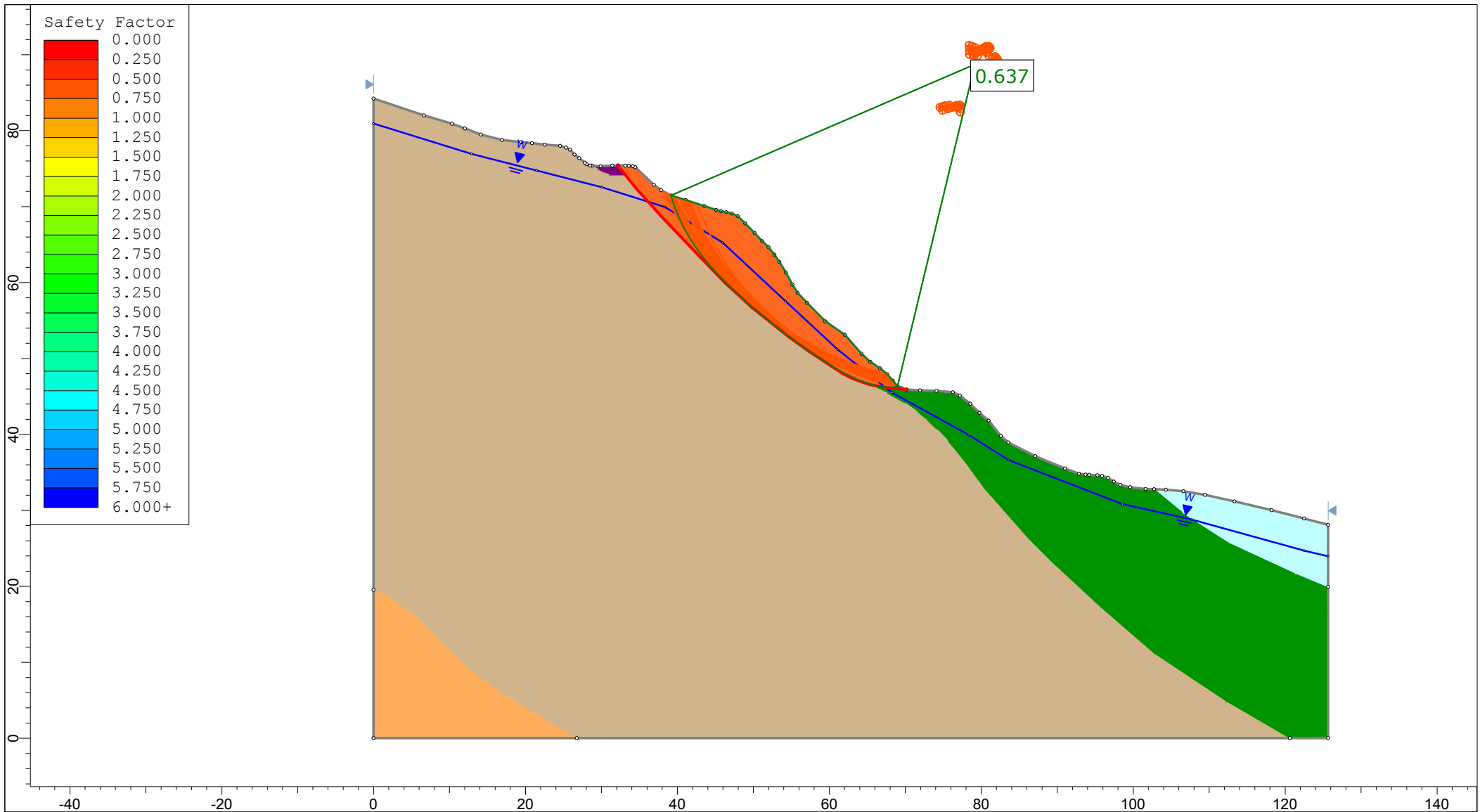
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:700
		File Name	Profil_A-A_Var1-water_1.slim




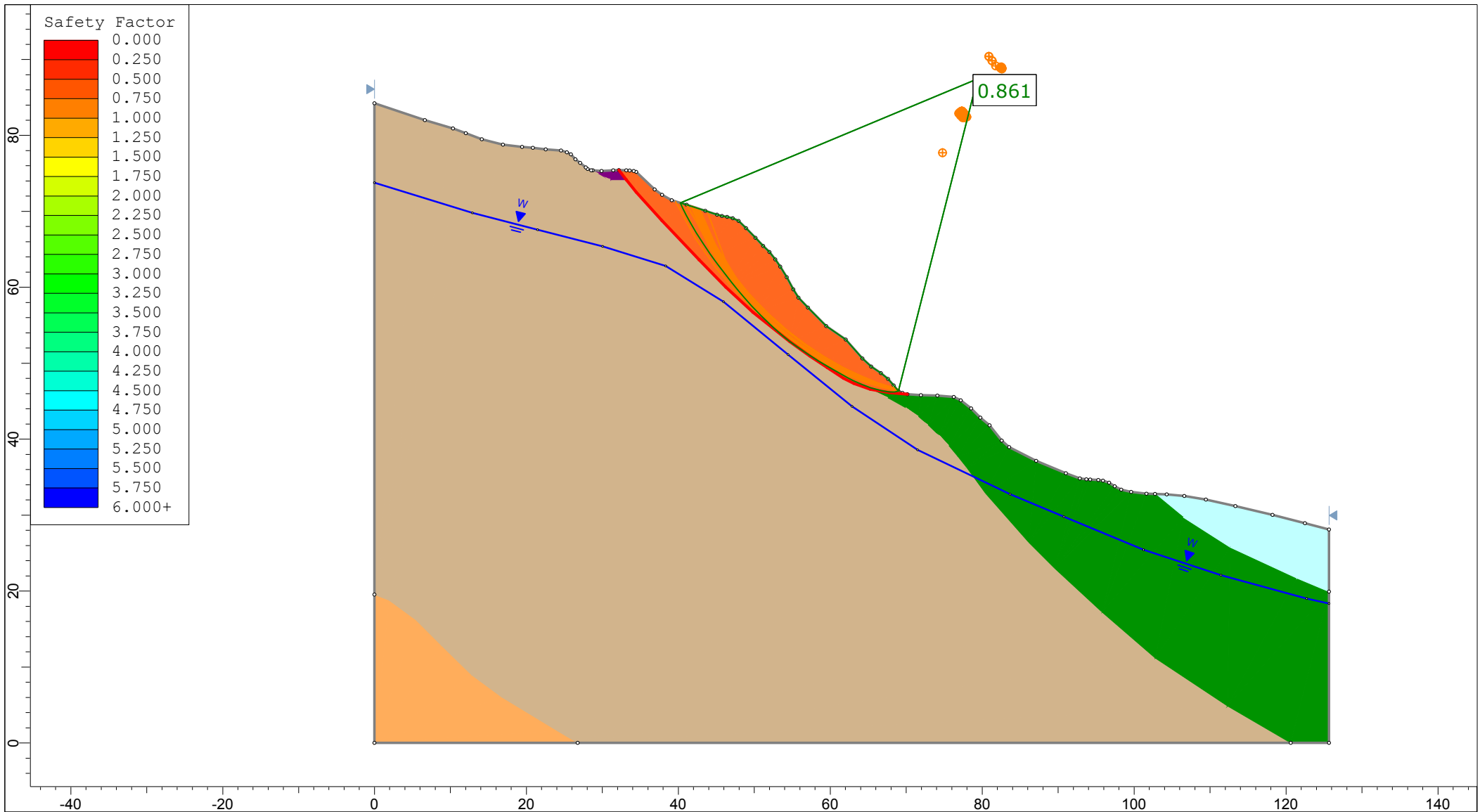
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	
		File Name	Profil_A-A_Var1-water_2.slim




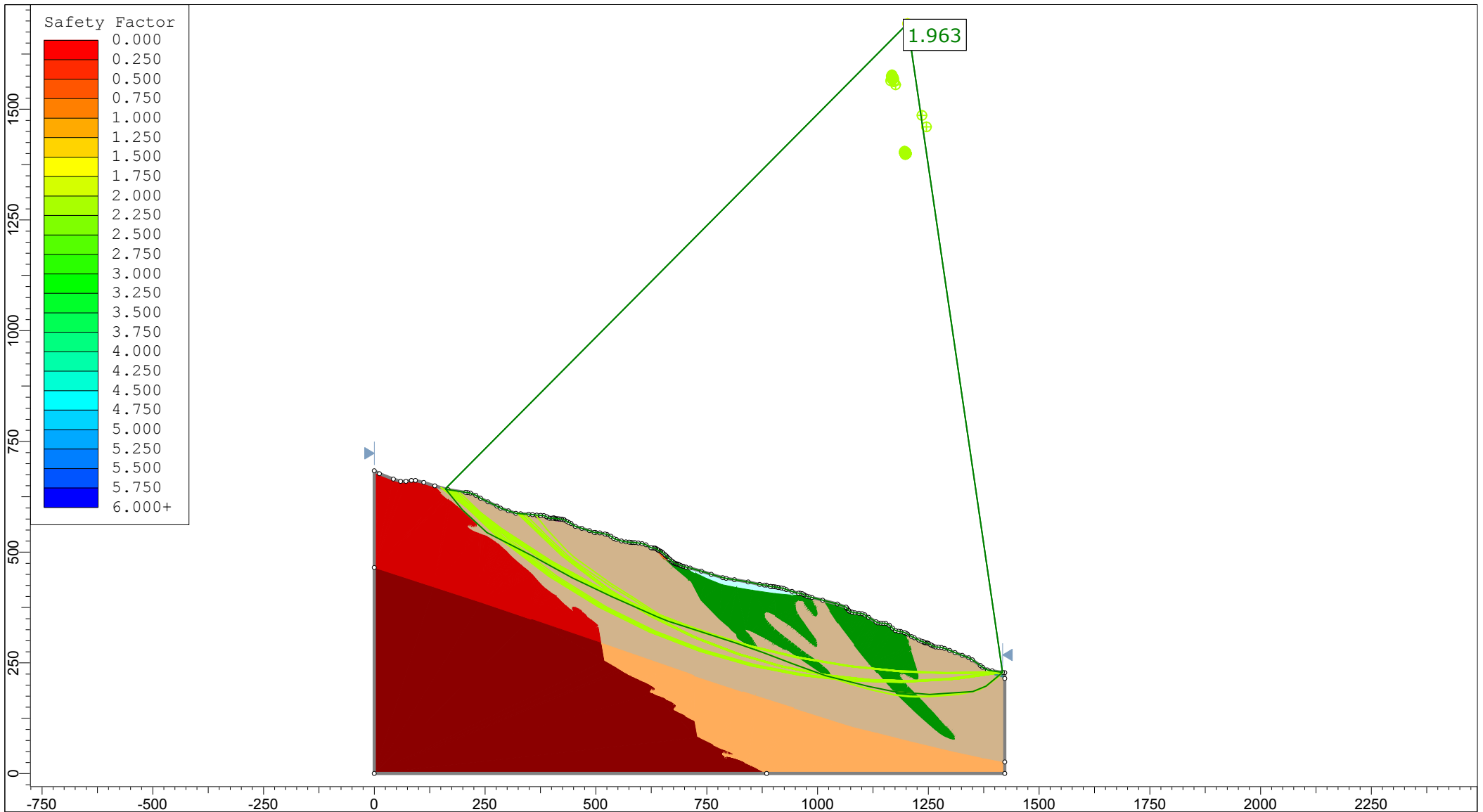
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:700
		File Name	Profil_A-A_Var2.slim




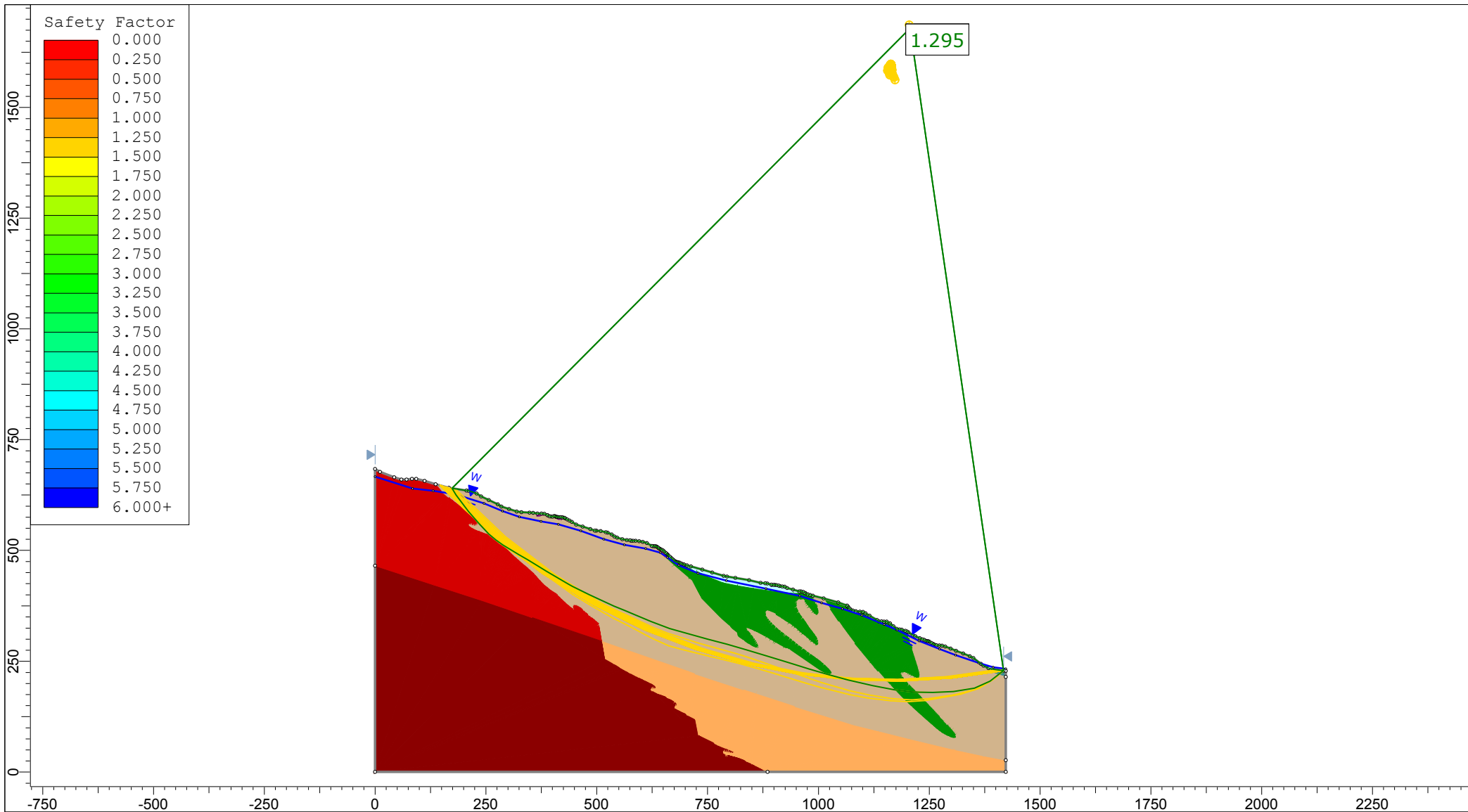
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:700
SLIDEINTERPRET 7.019		File Name	Profil_A-A_Var2-water_1.slim




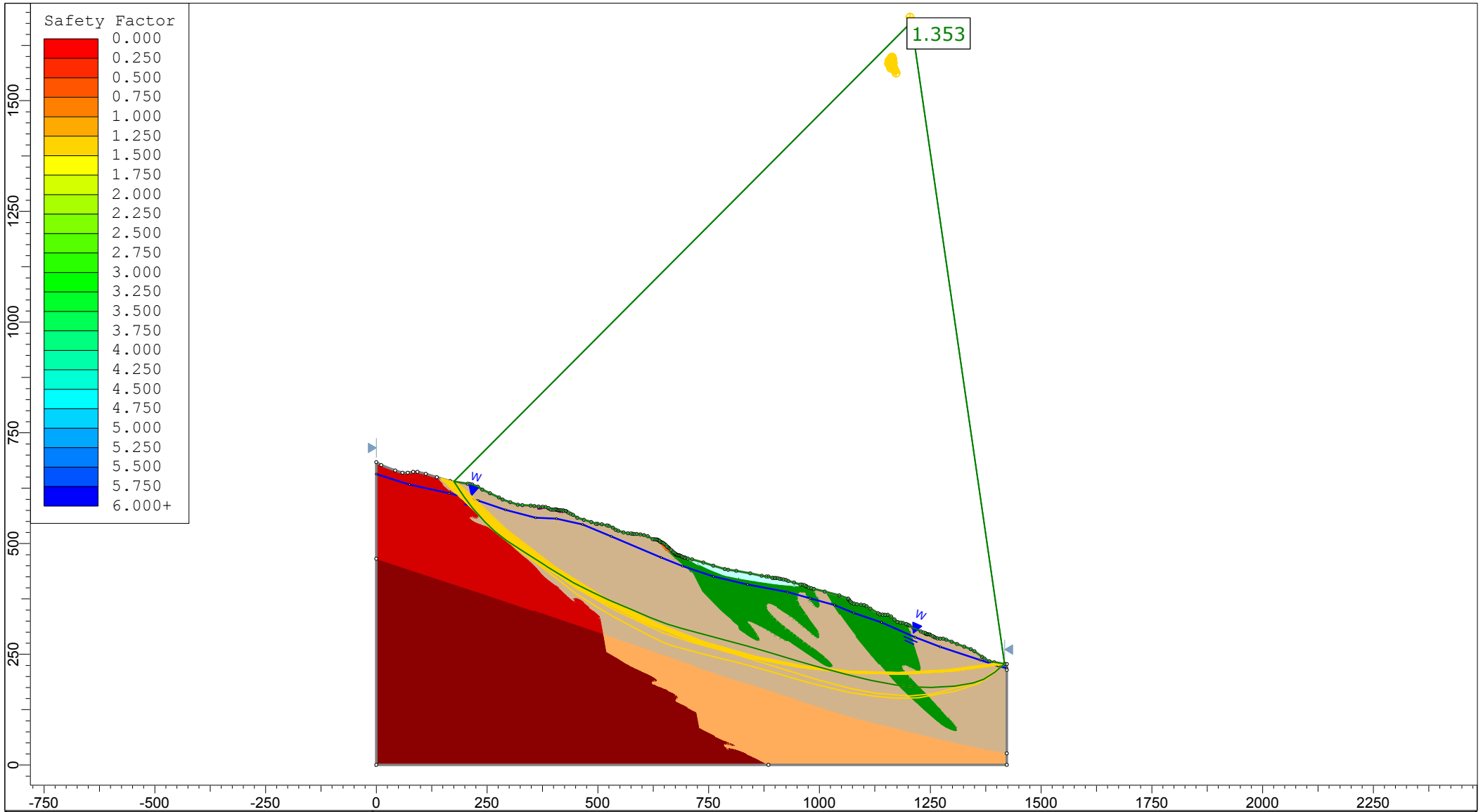
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:700
		File Name	Profil_A-A_Var2-water_2.slim




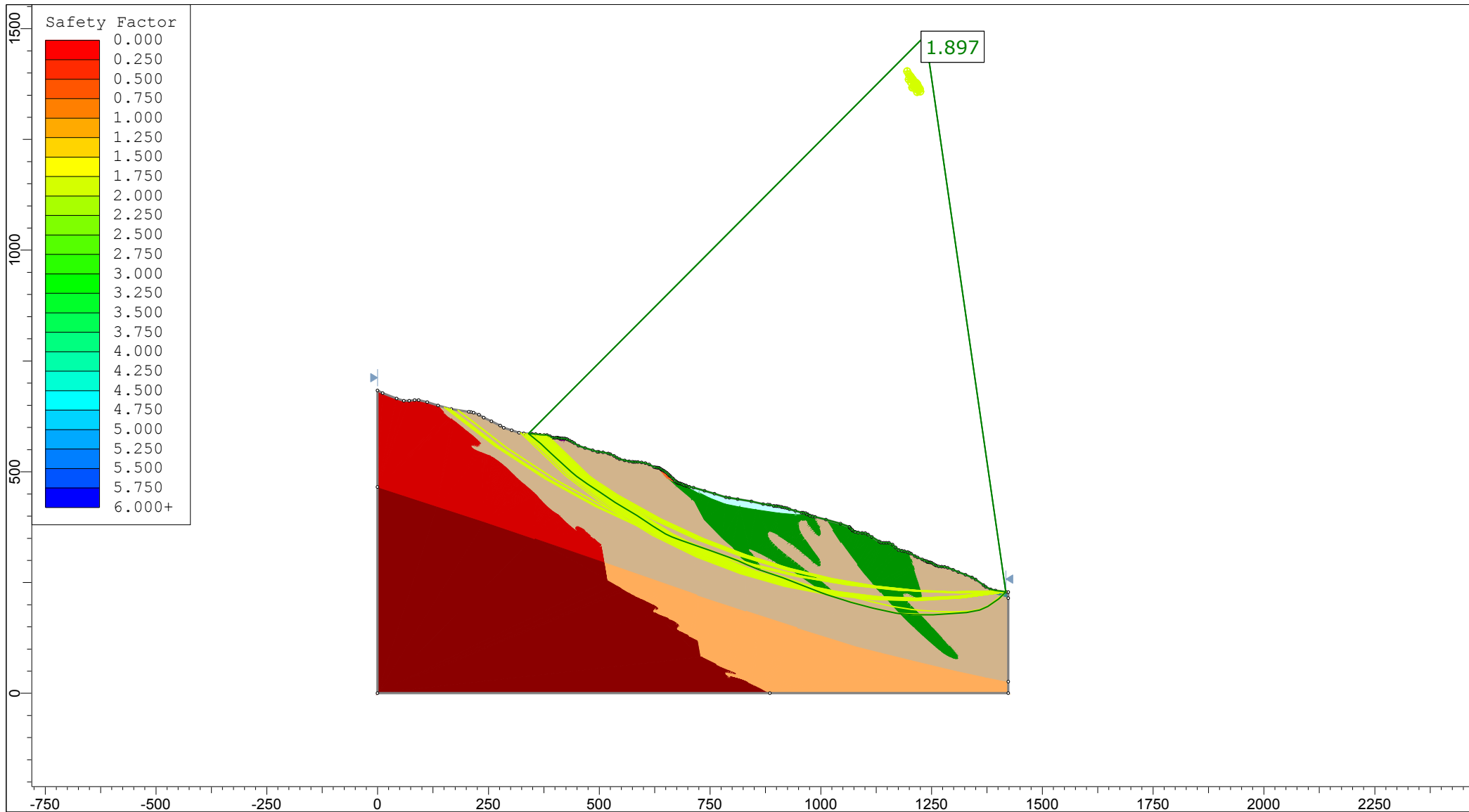
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:12000
		File Name	Profil_B-B_Var1.slim



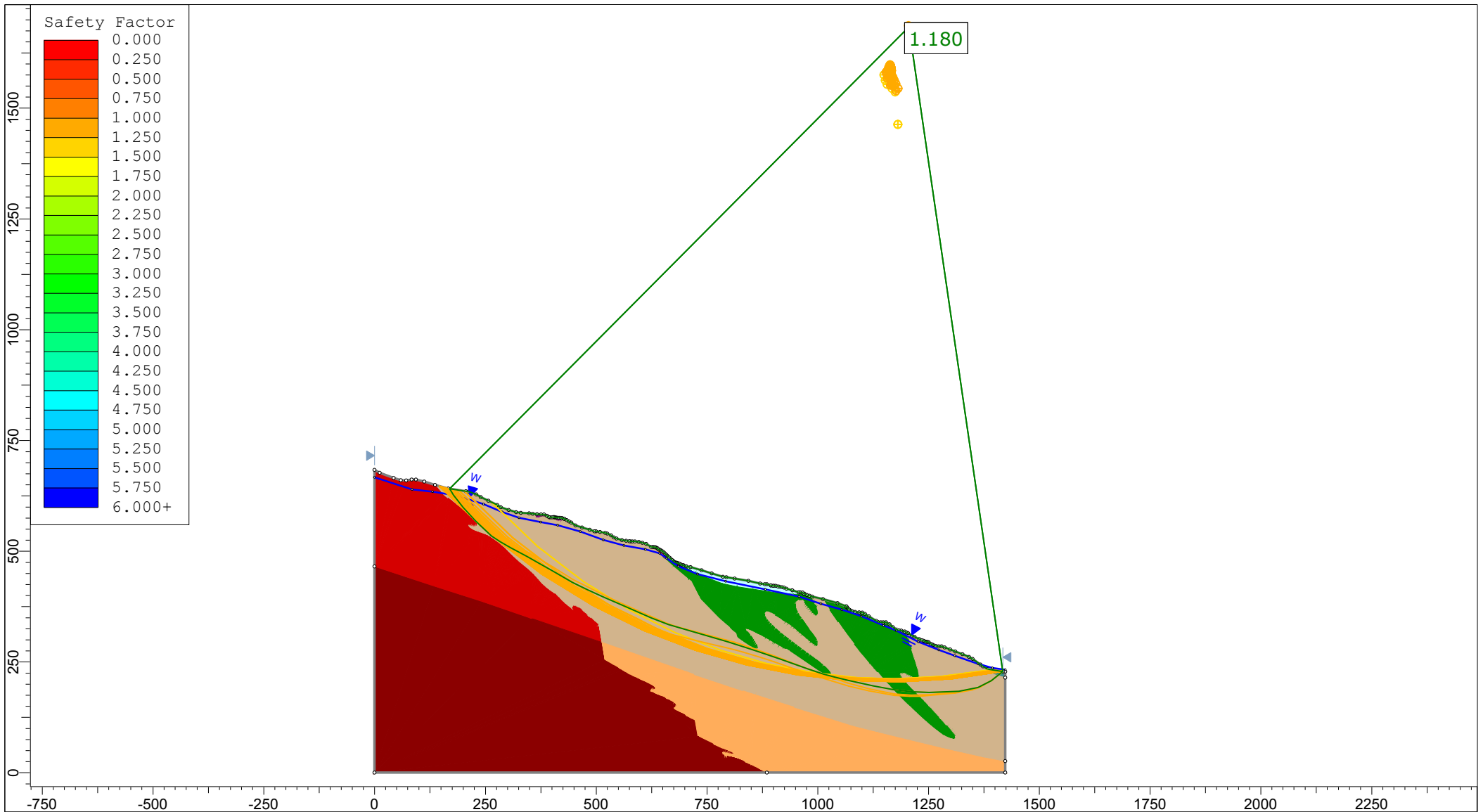
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
		1:12000	Company
Date	20.05.2017	File Name	
		Profil_B-B_Var1-water_1.slim	




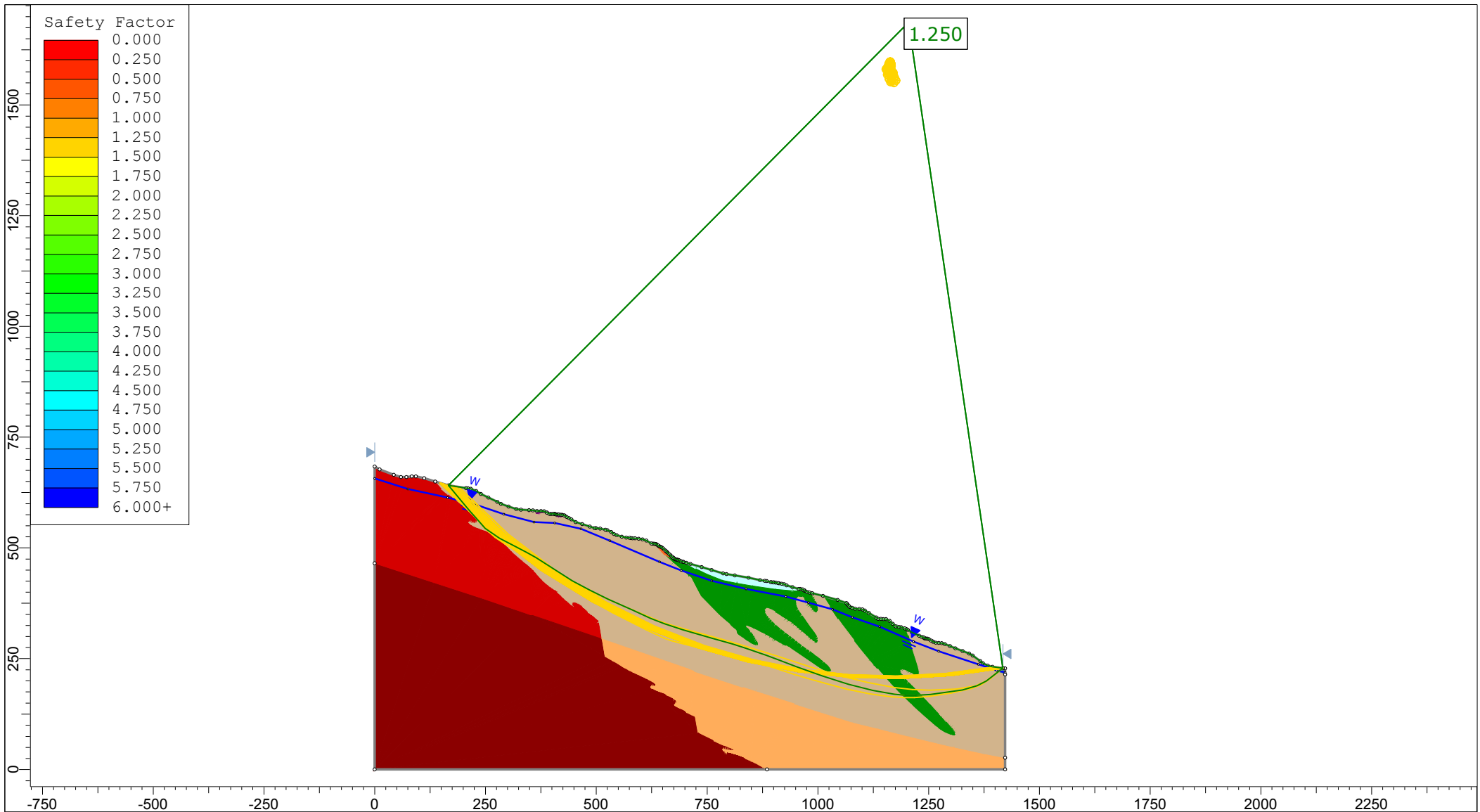
	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:12000
		File Name	Profil_B-B_Var1-water_2.slim




<i>Project</i>			Gumpenberggrutschung		
<i>Analysis Description</i>					
<i>Drawn By</i>		Marco Koos	<i>Scale</i>		1:12000
<i>Date</i>		20.05.2017	<i>Company</i>		
				<i>File Name</i>	
				Profil_B-B_Var2.slim	

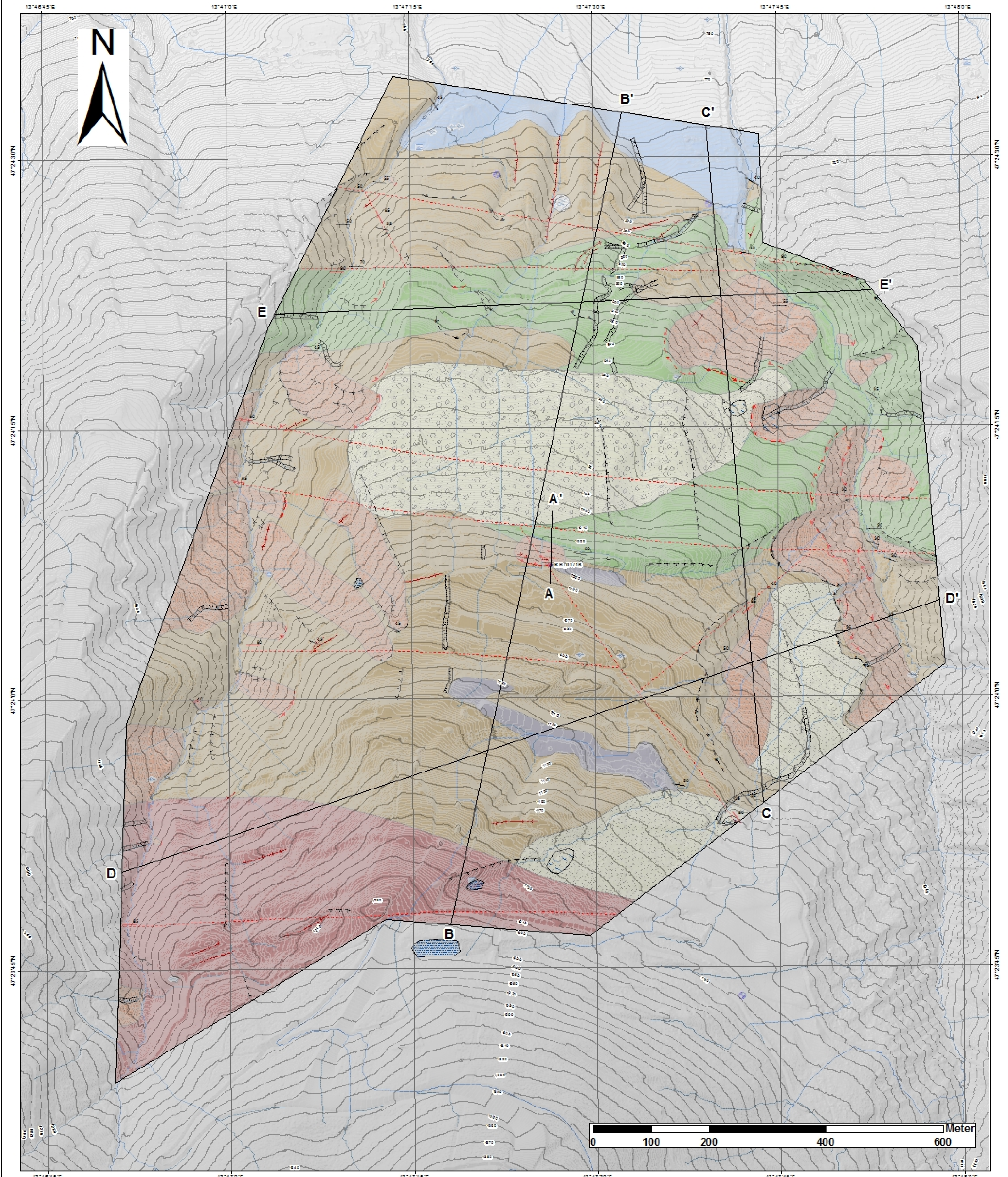


	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:12000
		File Name	Profil_B-B_Var2-water_1.slim



	Project		
	Gumpenberggrutschung		
	Analysis Description		
	Drawn By	Marco Koos	Scale
Date	20.05.2017	Company	1:12000
File Name	Profil_B-B_Var2-water_2.slim		

VII. Ingenieurgeologische Karte



Legende		
• KB-01/16	Gewässerart	Künstliche Ablagerungen
—+— Zerrspalte	▭ Vermässung	▭ Anthropogene Anschüttung
▲▲▲ Geländekante	▭ Stehendes Gewässer	Quartär
▬ Erosionsrinne	WIS aus GIS Steiermark	▭ Eisrandterrassensedimente
Abrißkante	○ Brunnen	▭ Moräne
—+— aktiv	⌘ Krafthaus	▭ Rutschmasse
—+— inaktiv	● Kraftwerk	▭ Schwemmfächer
--- Störung vermutet	⌘ Fließgewässeranlage	Koralpe-Wölz-Deckensystem
Einfallen und Streichen	⌘ Quelle	▭ Phyllit
— Schieferung	▭ stehendes Gewässer	▭ Grün­schiefer
— Störung	● Hochbehälter	▭ Phyllitischer Glimmerschiefer

Projekt:
Gumpenberg
 Masterarbeit
 Marco Koos
 Plangrundlagen:
 ÖL-Österr. Land. Steiermark

Wahr:	Ingenieurgeologische Kartierung	Datum:	20.05.2017
Planung:	Gumpenberg	Gewächheit:	Marco Koos
Maßstab:	1:2.000	Plangröße:	54 x 541 mm
Plan No.:	A1-1-1		

Partner / Verbände:

