



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Ingenieurgeologische Erkundung, Deformations- und
Prozessanalyse einer tiefgrundigen Felsgleitung
in hochalpiner Umgebung (Wasserradkopf, Nationalpark Hohe
Tauern)“

verfasst von / submitted by

Severin Johannes Simma, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2023 / Vienna, 2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA A 066 815

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Erdwissenschaften

Betreut von / Supervisor:

Univ. Prof. Mag. Dr. Christian Zangerl

Danksagung

Mit großer Freude und Dankbarkeit möchte ich diese Gelegenheit nutzen, um meine aufrichtige Wertschätzung auszudrücken und mich für die Unterstützung bei der Verfassung meiner Masterarbeit und während des gesamten Studiums zu bedanken.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer, Univ. Prof. Mag. Dr. Christian Zangerl für die ausgezeichnete Betreuung vielmals bedanken. Außerdem möchte ich mich herzlichst bei Reinhard Gerstner bedanken, der mich sowohl im Feld als auch bei den Auswertungen mit seiner unglaublichen Kompetenz unterstützt hat.

Ein großes Dankeschön gilt auch Gerald Valentin von der Salzburger Landesgeologie, der wichtiges Material für diese Arbeit zur Verfügung gestellt hat.

Des Weiteren möchte ich mich bei Karin Wriessnig und Maria Mayrhofer für die großartige Unterstützung im Labor bedanken.

Ganz besonders möchte ich meiner Familie danken, die mich in meinem Leben und insbesondere während meines Studiums stets unterstützt und ermutigt hat.

Abschließend möchte ich meinen Kommilitonen und Freunden danken, mit denen ich eine unvergessliche Studienzeit hatte.

Abstract

I present a study focusing on the geologic-geometrical characterization of an approximately 3.6 km² large, deep-seated rock slide at the south-eastern slope of the Wasserradkopf (3032 m a.s.l.) located in the high alpine environment of the Hohe Tauern National Park (Carinthia, Austria). The rocks composing the Wasserradkopf belong to the “Bündnerschiefer”, which mainly consist of a highly schistose rock mass.

Within this study, I performed a lithological and structural characterization, detailly mapped the geomorphological features, and incorporated high resolution InSAR data as well as displacement measurements in order to demonstrate the structural control on the rock slide process.

Firstly, I conducted a geological field survey with the aim of creating a geological map of the study site. Petrographic investigations on the microscope helped to classify the mapped lithologies according to their mineralogy. Additionally, we recorded discontinuities to identify the structural inventory of the rock mass hosting the rock slide allocating the discontinuities to discontinuity sets.

Secondly, I characterized and mapped the geomorphological features, i.e., scarps, counter facing scarps and horst and graben structures on the rock slide surface to identify the unstable areas and distinguish individual rock slide slabs.

Finally, we assessed the InSAR data and displacement measurements to quantify the movement in the outlined unstable areas. By mapping areas of differential deformation rates, we confirm the presence of three individual rock slide slabs.

The results show that dominant brittle structures, which are represented by two subvertical NNE-SSW and WNW-ESE striking joint sets, and several NE-SW striking steep standing faults provide a favourable structural predisposition in interplay with the moderately out-slope dipping schistosity and a steep NE dipping fault for a rock slide mechanism to develop. Moreover, we correlate the differential movement rates observable in the InSAR data with the individual rock slide slabs identified by geomorphologic mapping.

By this combination of geological, geomorphological and advanced remote sensing techniques we demonstrate the structural influence on the rock slide process and unravel its internal deformation and kinematics.

Kurzfassung

Im Zuge dieser Masterarbeit wurde die Felsgleitung des 3032 m ü.A. hohen Wasserradkopfs in den Hohen Tauern, Kärnten, im Hinblick auf die wirkenden Prozesse untersucht.

Dabei wurden im Jahr 2022 Kartierungen durchgeführt, bei denen Kalkglimmerschiefer und Serpentine des Glockner-Deckensystems, sowie glaziale und postglaziale Lockerseimente vorgefunden wurden. Die Lithologien wurden mittels Polarisationsmikroskopie, Pulverdiffraktometrie und Tonmineralanalysen bestätigt.

Strukturgeologisch ist das Arbeitsgebiet durch eine mittelsteil nach S (191/32) einfallende Schieferung, zwei steil stehende Klufsets (K 1 127/88, K 2 025/84) und mehrere NE-SW bzw. N-S streichende Störungen gekennzeichnet.

Während den Kartierungen sind auch geomorphologische Phänomene wie z.B. Nackentäler, Schwemmfächer und kleinere oberflächennahe Gleitungen festgestellt worden.

Auf Basis dieser Geländebefunde konnte eine geologisch-geomorphologische Karte erstellt werden.

Zur Einordnung des Deformationsverhaltens und der Aktivität standen Inclinometermessungen, oberflächliche tachymetrische Verschiebemessungen, InSAR Analysen und Orthofotos zur Verfügung. Dabei konnten drei Teilschollen identifiziert werden, wobei sich die oberste Teilscholle 1 mit ca. 40 cm/a am schnellsten bewegt, Teilscholle 2 weist eine Geschwindigkeit von bis zu 10 cm/a auf und die unterste Teilscholle 3 bewegt sich mit max. ca. 4 cm/a. Der Bewegungsvektor lässt auf eine Bewegung in Richtung SE schließen.

Aufbauend auf den oben angeführten Grundlagen wurden drei Profilschnitte ausgearbeitet, mit deren Hilfe ein geometrisches Modell der Massenbewegung erstellt wurde. Dabei konnte die Felsgleitung als Rotationsgleitung mit leicht gekrümmter basaler Bewegungszone identifiziert werden, die eine Fläche von ca. 3,6 km² bedeckt, eine Mächtigkeit von max. ca. 150 m erreicht und ein Volumen von ca. 0,356 km³ umfasst. Es handelt sich somit um eine tiefgründige Felsgleitung, die von älteren geologischen Strukturen kontrolliert wird, wobei die Störung 1 die Hauptabrissfläche im Bereich des Gipfels des Wasserradkopfs darstellt.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Abstract	iii
Kurzfassung	v
Tabellenverzeichnis	ix
Abbildungsverzeichnis	xi
1. Einleitung	1
1.1. Zielsetzung und Aufgabenstellung	1
1.2. Geographische Einordnung	1
1.3. Regionale Geologie des zentralen Tauernfensters	2
1.4. Klassifikation von Massenbewegungen	6
2. Daten und Methoden	9
2.1. Daten	9
2.2. Methoden	9
2.2.1. Luftbildinterpretation	9
2.2.2. Kartierung	10
2.2.3. Polarisationsmikroskopie	10
2.2.4. Pulverdiffraktometrie und Tonmineralanalyse	11
2.2.5. Software	13
3. Ergebnisse	15
3.1. Lithologische Beschreibung	15
3.1.1. Festgesteine	15
3.1.2. Lockergesteine	30
3.2. Strukturgeologische Beschreibung	33
3.3. Beschreibung der geomorphologisch-geologischen Kartierung	42
3.3.1. Zone I - Festgestein	43
3.3.2. Zone II - Felsgleitung	45
3.3.3. Zone III - Lockergesteine	49
3.4. Deformationsverhalten und Aktivität der Felsgleitung	50
3.4.1. Inklinometer- und tachymetrische Verschiebemessungen	50
3.4.2. Radarinterferometrie Analyse (InSAR)	56
3.4.3. Auswertung multitemporaler Orthofotos	59

Inhaltsverzeichnis

3.4.4. Analyse geomorphologischer Strukturen	61
3.5. Geologisch-geometrisches Modell der Felsgleitung	62
4. Diskussion	73
5. Schlussfolgerungen	79
Literaturverzeichnis	81
A. Appendix	87
A.1. Daten aus der Kartierung	87
A.2. Diffraktogramme	94
A.3. Verschiebemessungen	97
A.4. Inklinometer	115
A.5. Karte und Profilschnitte M 1:10.000	119
B. Abkürzungsverzeichnis	125

Tabellenverzeichnis

2.1. Auflistung der verwendeten Orthofotos und Kartenwerke unter Verweis auf die Quellen.	9
3.1. Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung des Kalkglimmerschiefers aus der Probe P 7.	19
3.2. Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung des Serpentinits der Probe P 55.	22
3.3. Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung des Granatglimmerschiefers der Probe P 1.	25
3.4. Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung der Probe P 3.	29
3.5. Mittelwerte der 3 maßgebenden Störungen im Untersuchungsgebiet mit den mittleren Orientierungen und einer Klassifikation nach Anderson (Van der Pluijm and Marshak, 2004).	40
3.6. Auswertung der Verschiebungen von 18 Messpunkten im Umfeld der Guttalbrücke. Lage siehe 3.30.	55
3.7. Abmessungen der Felsgleitung am Wasserradkopf.	64

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Geographische Lage des Arbeitsgebiets. Modifiziert nach BEV (2022). . .	2
1.2.	Tektonische Übersichtskarte des Tauernfensters (Groß et al., 2020). WTD = westliches Tauernfenster, ETD = östliches Tauernfenster, AD = Adamello Pluton, EW = Engadiner Fenster, BF = Brenner Abschiebung, KF = Katschberg Abschiebung.	6
1.3.	Verschiedene Arten von Gleitungen aus (Zangerl et al., 2008). Die unterschiedlichen Gleitarten werden den Gebirgseigenschaften bei denen sie auftreten gegenübergestellt.	8
3.1.	Geologische Übersichtskarte mit den Lokalitäten aller Abbildungen des Kapitels 3 eingezeichnet. Einzelne Aufnahmen und deren Blickrichtungen sind mit einem Kamerasymbol eingetragen. Größere Gebiete sind mit einem weißen Rechteck markiert. Bei jeder Abbildung ist die dazugehörige Abbildungsnummer angegeben, unter der diese angeführt ist.	16
3.2.	Aufschluss 42: Kalkglimmerschieferaufschluss direkt an der Großglockner Hochalpenstraße mit dem typisch für den unteren Untersuchungsbereich grauen Erscheinungsbild.	17
3.3.	Handstück P 9: Kalkglimmerschiefer von Aufschluss 96 mit einer Schieferung die nach 182/30 einfällt und gleichzeitig die Oberfläche der Probe darstellt.	18
3.4.	Dünnschliffbilder des Kalkglimmerschiefers: A) Scan des gesamten Dünnschliffs P 7. B) Schieferungsparallele Quarzlinse unter gekreuzten Nicols. C) Aufnahme unter parallelen Nicols mit opaken Mineralphasen. D) Faseriges Serpentinmineral.	19
3.5.	Aufschluss 26: Serpentin mit der typisch grünen Farbe und einer ausgeprägten Schieferung.	20
3.6.	Handstück P 12: Massiger, grüner Serpentin vom Aufschluss 55 mit der typischen Musterung, die im Anschnitt gut erkennbar ist.	21
3.7.	Dünnschliffbilder der Proben P 10 und A 55 unter gekreuzten Nicols. Im Bild A) ist die Schieferung von links unten nach rechts oben verlaufend gut zu erkennen. Im Bild B) ist das fleckige Erscheinungsbild klar ersichtlich.	22
3.8.	Aufschluss 14: Granatglimmerschiefer der neben Schuttablagerungen aufgeschlossen ist.	23
3.9.	Handstück P 1: Granatglimmerschiefer vom Aufschluss 14 mit der typischen silbern glänzenden Farbe und den dunklen bis zu ca. 3,3 mm großen Granaten. Die Oberfläche der Probe fällt mit 309/14 ein.	24

3.10. Dünnschliffbilder der Proben P 1 unter gekreuzten Nicols. A) Übersichtsaufnahme über den Schliff mit den beiden unterschiedenen Zonen. Die Schieferung und Granate sind gut zu erkennen. B) Granatkorn mit Quarz im Druckschatten und umlagernden Muskovit. C) Stark verfalteter Muskovit.	25
3.11. Aufschluss 22: "Kluftbrekzie" mit der Entnahmestelle der Probe P 3. Angrenzend sind aufgelockerte Gesteinskomponenten der Störung 2 (Kap. 3.2) zu sehen.	26
3.12. Handstück P 3: "Kluftbrekzie" vom Aufschluss 22. Der Aufbau des Gesteins aus einzelnen Körnern und der große Porenanteil lassen sich makroskopisch gut erkennen.	27
3.13. Dünnschliffbilder der Probe P 3 unter gekreuzten Nicols. A) und B) sind Übersichtsbilder in denen mit roter Farbe die Umrisse und Schieferungsflächen der einzelnen Körner eingezeichnet wurden. C) zeigt eine Pore mit gerichtet gewachsenen Kalzitkristallen. D) veranschaulicht das grundlegende mineralogische Gefüge der Probe.	28
3.14. A) Aufnahme aus dem Hubschrauber, die eine Übersicht der Nordostseite des Wasserradkopfs darstellt. Die Originalaufnahme stammt von Gerald Valentin, aufgenommen am 12.08.2020. Mit den Kamerasymbolen sind die Aufnahmeorte von B) und C) markiert. B) Übersicht vom Hubschrauber aus über die große Moräne. Das Kamerasymbol zeigt den Aufnahmeort von D). C) Hangschuttablagerungen aus Serpentin, die sich unterhalb eines Felsabbruchs aus Serpentin ausgebildet haben. D) Feinkörnige, horizontale Sedimente, die von größeren Blöcken überlagert werden.	30
3.15. A) Digitales Orthofoto aufgenommen zwischen dem 19.04.2013 und dem 19.04.2015 (Orthofoto, 2015), auf dem nur kleine, seichte Abrisse im NW des Aufnahme zu sehen sind und einige kleine gelöste Blöcke. B) Digitales Orthofoto vom 11.08.2018 (Orthofoto, 2015) auf dem deutlich eine Schneise durch den Wald erkennbar ist. C) Foto vom 10.08.2023. Der rote Kreis oben im Bild markiert die Stelle, an der sich der Block gelöst hat. Die gestrichelte Linie zeigt den Sturzweg des Blocks bis zum Stillstand.	32
3.16. Polpunkte aller gemessenen Schieferungsflächen. Im allgemeinen fallen die Schieferungsflächen mittelsteil nach SSW ein. N=122.	34
3.17. Gegenüberstellung der Schieferungsflächen von stabilen Bereichen (A) (N=84) und der Felsgleitung (B) (N=38). Die mittleren Orientierungen der beiden Plots fallen zwar ähnlich moderat nach SSW ein, jedoch variieren die Messwerte von B) innerhalb der Felsgleitung deutlich mehr.	34
3.18. Polpunkte aller aufgenommenen Kluftflächen mit zwei gut von einander separierten Sets. N=139.	35
3.19. In zwei Sets separierte Klüfte aus 3.18. A) Kluftset 1, das eine steil stehende, NE-SW streichende Orientierung mit einem Mittelwert von 307/88 aufweist (N=61). B) Kluftset 2, das ebenfalls steil steht aber WNW-ESE streicht und eine mittlere Orientierung von 205/06 aufweist (N=54).	36

3.20. Aufschluss 12 im Kalkglimmerschiefer. Die Schieferung ist in orange nachgezeichnet und fällt mit 173/34 ein. K 1 ist in rosa dargestellt und fällt mit 303/75 ein. K 2 wurde mit blau markiert und fällt mit 021/78 ein. . .	37
3.21. Gegenüberstellung der Klüfte. A) Außerhalb der Felsgleitung, N=100 und B) innerhalb der Felsgleitung, N=39. Die Streuung der Messwerte innerhalb der Felsgleitung ist durch die Hangbewegung erwartungsgemäß deutlich höher.	38
3.22. Steil nach NNE einfallende Adern im Serpentin. N=11.	38
3.23. A) Orientierung aller gemessenen Störungsflächen mit den korrigierten Linearen. N=41. B) Schieferungsparallele Störungen. N=8. C) Störungsflächen die eine ähnliche Orientierung haben wie die beiden Klüftsets. N=14. D) N-S streichendes konjugiertes Störungsset. N=12.	39
3.24. A) Störung 1 bei Aufschluss 87 im Kalkglimmerschiefer. Die Störungsfläche hat eine mittlere Orientierung von 300/67 und die dazugehörige Harnischstriemung zeigt nach 326/45. Die kalzitischen Mineralfasern sind sehr gut ausgeprägt und lassen auf einen abschiebenden Charakter schließen. B) Störung 3 bei Aufschluss 80 an der Grenze von Kalkglimmerschiefer und Serpentin. Die mittlere Orientierung der Störungsfläche ist 113/74, jene der Harnischstriemung beträgt 033/43. C) Quarzader in Kalkglimmerschiefer bei Aufschluss 88 mit einer Orientierung von 249/76. D) Mehrere Kalzitadern im Serpentin bei Aufschluss 28 mit einer mittleren Orientierung von 003/76.	41
3.25. A) Überblicksaufnahme der SE-Seite des Wasserradkopfs mit einigen geomorphologischen Anmerkungen. Die Bildunterkante entspricht ca. 800 m. B) Bild einer zu Tage tretenden antitethischen Scherfläche, die ein markantes Tälchen bildet.	44
3.26. A) Übersicht über den Gipfelbereich mit der Lithologie und den Strukturen eingezeichnet. Die Gleitmassen sind rot markiert. B) Parallel zu Störung 1 orientierte Störungsfläche, an der die Felsgleitung abrutscht. Die Originalaufnahme stammt von Gerald Valentin, aufgenommen am 07.08.2018 aus einem Hubschrauber.	45
3.27. Drohnenaufnahme vom 19.10.2022 des obersten Bereichs der Felsgleitung. Zu sehen sind aufgelockerte und entlang der Klüftflächen zerlegte Gleitmassen.	47
3.28. Überschiebungsbereich am Westrand der Felsgleitung.	48
3.29. Rosendiagramm der Orientierungen der Nackentäler. Es lassen sich zwei Scharen unterscheiden: Schar 1 streicht NNE-SSW, Schar 2 streicht ENE-WSW.	48
3.30. Übersichtskarte der Messpunkte und Inklinometer im Umfeld der Guttalbrücke.	51
3.31. Inklinometer IK1alt modifiziert nach Tschernutter (2021). Die basale Scherzone befindet sich in einer Tiefe von ca. 47 m unter GOK.	53
3.32. Bewegungsvektoren der Messpunkte im Umfeld der Guttalbrücke im Schmidt'schen Netz. Die Mittlere Orientierung kann mit 131/06 angegeben werden. . . .	55

Abbildungsverzeichnis

3.33. Mittels InSAR generierte Bewegungsraten für den gesamten Bereich oberhalb der Großglockner Hochalpenstraße für den Zeitraum zwischen 2015 und 2021 (Dörfler et al., 2022).	57
3.34. Mittels InSAR generierte Bewegungsraten für den mittleren Bereich oberhalb der Großglockner Hochalpenstraße für den Zeitraum zwischen 2015 und 2021. Diese Auswertung stammt direkt von der Webseite des Landes Salzburg (SAGIS, 2022).	58
3.35. Orthofotos direkt unterhalb der Hauptabbrisskante beim Gipfelgrat zu sechs unterschiedlichen Zeitpunkten. Ab der Aufnahme aus dem Jahr 2003 wurden markante Punkte eingezeichnet und deren Veränderung zum nächsten Foto festgehalten.	60
3.36. Abmessungen der Felsgleitung am Wasserradkopf.	65
3.37. Geomorphologische-geologische Karte mit den Profillinien eingezeichnet. Profil A-A' geht im SE noch bis ins Mölltal weiter. Für eine bessere Übersicht wurde aber der Fokus auf den oberen Teil der Felsgleitung gelegt.	67
3.38. Profil A-A'.	68
3.39. Profil B-B'.	69
3.40. Profil C-C'.	70
3.41. Die Abbildung zeigt die Ausdehnungen der drei Teilschollen in die die Felsgleitung am Wasserradkopf unterteilt werden kann.	71

1. Einleitung

1.1. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Die Felsgleitung am Wasserradkopf ist ein ausgezeichnetes Beispiel, bei dem sich die Notwendigkeit der Untersuchung von derartigen Naturgefahren besonders gut zeigt. Hochalpine Regionen sind, gerade in den Alpen, neben Natur und Lebensraum für Wildtiere auch Siedlungsräume von Menschen sowie zunehmend Orte für Freizeitaktivitäten. Beides führt zur stetigen Schaffung von Infrastruktur unterschiedlichster Art, die wiederum selbst Auslöser von geogenen Naturgefahren ist oder zumindest von jenen bedroht wird. In unmittelbarer Nähe des Wasserradkopfs liegen, wie in Kapitel 1.2 beschrieben wird, sowohl Siedlungen als auch Verkehrswege und einzelne Bauwerke. Für die Gemeinde Heiligenblut am Fuß des Wasserradkopfs sind die Erkenntnisse dieser Untersuchung genauso von Bedeutung, wie für die Betreibergesellschaft der Großglockner Hochalpenstraße, die das Gebiet durchquert, und für die Verwaltung des Nationalparks Hohe Tauern.

Dabei steht dieses Gebiet nur exemplarisch für viele weitere im Alpenraum Österreichs, der von gravitativen Massenbewegungen bedroht wird (Huggel et al., 2010). Die Gegebenheiten unterscheiden sich kleinräumig, wodurch Aussagen nur mit äußerster Vorsicht verallgemeinert werden können. Die maßgeblich wirkenden Prozesse sind von einer Vielzahl an unterschiedlichen Parametern beeinflusst, die nicht einfach und pauschal zu erfassen sind.

Diese Arbeit hat das Ziel, die vorherrschenden Prozesse der Felsgleitung am Wasserradkopf zu beschreiben und zu analysieren, um weitere Aussagen über das Verhalten der Felsgleitung treffen zu können (Zangerl et al., 2008). Insbesondere sollen die lokalen geologischen und geomorphologischen Gegebenheiten detailliert beschrieben werden. Darauf aufbauend kann in weiterer Folge das Deformationsverhalten und die Aktivität erläutert werden. Alle diese Erkenntnisse werden dann in einem umfassenden geologisch-geometrischen Modell der Felsgleitung zusammengeführt, das zur weiteren Gefahrenbeurteilung z.B. auf Basis von numerischen Modellen verwendet werden kann.

1.2. Geographische Einordnung

Die in der folgenden Studie untersuchte Felsgleitung befindet sich am 3032 m ü.A. hohen Wasserradkopf in den Hohen Tauern. Die SE-Flanke des Gipfels liegt dabei direkt oberhalb der Gemeinde Heiligenblut im Bezirk Spittal an der Drau in Kärnten. Der Wasserradkopf ist Teil der Glocknergruppe und befindet sich somit in den österreichischen zentralen Ostalpen in einer hochalpinen, stark glazial überprägten Umgebung. Die Abrisskante der

1. Einleitung

Felsgleitung reicht bis auf eine Höhe von ca. 2900 m ü.A. Im unteren Bereich reichen die Rutschungsmassen bis zum Talboden auf ca. 1300 m ü.A. und werden im Süden von der Möll und im Osten vom Guttelbach begrenzt. Das von Massenbewegungen geprägte Gebiet, welches sich zur Gänze im Nationalpark Hohe Tauern befindet, erstreckt sich somit über eine Fläche von ca. 3,6 km² mit einem vertikalen Höhenunterschied von ca. 1600 m. Diese Studie hat den Fokus auf den oberen, ca. 1,5 km² großen Teil, wo die geomechanischen Versagensprozesse im Fels gut aufgeschlossen und studierbar sind. Auf mittlerer Höhe des Untersuchungsgebiets verläuft die Großglockner Hochalpenstraße, an der sich mehrere Gebäude und sonstige Bauwerke befinden. Unterhalb der Straße konnten keine Aufschlüsse vorgefunden werden.

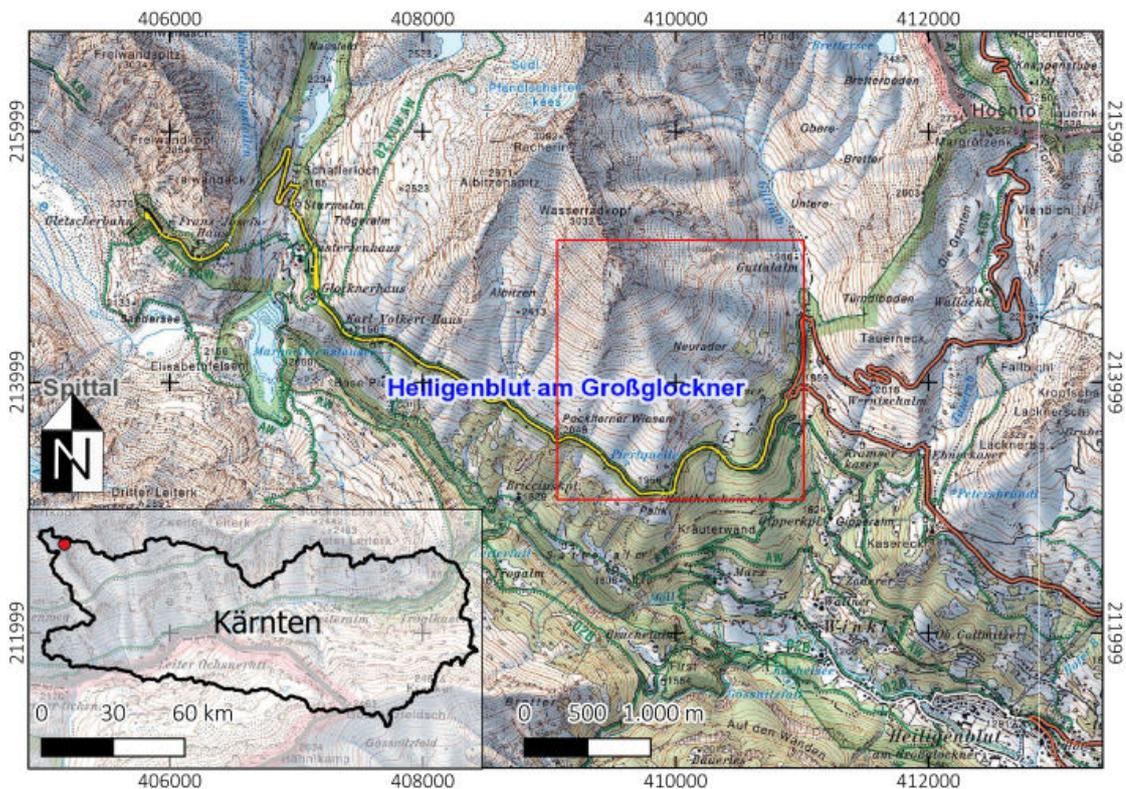


Abbildung 1.1.: Geographische Lage des Arbeitsgebiets. Modifiziert nach BEV (2022).

1.3. Regionale Geologie des zentralen Tauernfensters

Das Tauernfenster ist, vor dem Engadiner und Rechnitzer Fenster, das größte der drei tektonischen Fenster in den Ostalpen. Es erstreckt sich über eine Länge von ungefähr 160 km zwischen der Brenner Abschiebung im Westen und der Katschberg Abschiebung im Osten und erreicht eine maximale strukturelle Mächtigkeit von rund 20 km (Pestal,

1.3. Regionale Geologie des zentralen Tauernfensters

2009). Im Norden bildet die Salzachtalstörung und im Südosten die Mölltalstörung die Grenze zum Ostalpin. Geographisch wird eine räumliche Gliederung in das westliche, das zentrale und das östliche Tauernfenster vorgenommen (Groß et al., 2021). Eine tektonische Übersichtskarte des Tauernfensters liegt in Abbildung 1.2 vor.

Geologisch betrachtet stellt das Tauernfenster eine exhumierte, metamorphe Subduktionszone dar. Dabei wurden tiefer gelegene tektonische Einheiten durch Hebungsprozesse an topografisch höhergelegene Positionen transportiert. Die Einheiten des Tauernfensters unterlagen im Laufe der Zeit mehreren Metamorphosephasen, wobei grundsätzlich zwischen einer druck-betonten älteren und einer überprägenden temperatur-betonten jüngeren Metamorphose unterschieden wird. Mit dieser Metamorphoseentwicklung ist der Trend der alpinen Orogenese abgebildet, die sich von einer Subduktionszone hin zu einer Kollisionszone entwickelte.

Die ältere druck-betonte Metamorphose erreichte in der Eklogit-Zone bis zu 2,3 GPa und 600 °C, was einer Tiefe von ca. 22 km entspricht. Dabei erfuhr die Glockner-Decke einen Druck von ca. 1,7 GPa und eine Temperatur von 570 °C. Beide Bedingungen sprechen für eine tief abtauchende Subduktionszone. Das Alter der höchsten Drücke ist nicht eindeutig geklärt und Gegenstand weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen. Für die Glockner-Decke wird für den Höhepunkt der Metamorphose ein Alter von 36 - 32 Ma (Grenze Eozän Oligozän) angegeben (Kurz et al., 2008).

Die jüngere temperatur-betonte Metamorphose überprägt die Ältere weitestgehend und wird als Regionalmetamorphose angesehen, die den Eigennamen Tauernkristallisation trägt (Sander, 1911). Sie zeigt ein Temperaturmaximum von über 600 °C bei 0,7 GPa mit einem Oligozänen Alter von 30 - 27 Ma. Dieses wird in den beiden Domstrukturen des westlichen und östlichen Tauernfensters gefunden. Der Metamorphosegrad nimmt von diesen Domen nach außen hin konzentrisch ab. Am äußersten Rand werden Temperaturen von ca. 300 °C angegeben. Nach Groß et al. (2021) ist eine genaue Einordnung aufgrund der geringen Datenlage und der sich überlagernden Metamorphosephasen im zentralen Tauernfenster schwierig.

Nach der zuvor beschriebenen druck-betonten Metamorphose (36 - 32 Ma) (Kurz et al., 2008) und der darauffolgenden temperatur-betonten Metamorphose (30 - 27 Ma) (Groß et al., 2021), kam es im Zuge der alpinen Orogenese zu hohen Hebungsraten. Diese erreichten im westlichen Tauernfenster bis zu ca. 0,9 mm/a und im gegenständlichen zentralen Tauernfenster bis zu ca. 0,4 mm/a (Bertrand et al., 2017). Dadurch wurden die über dem Penninikum liegenden Einheiten des Ostalpins schneller erodiert, sodass heute die Gesteine des Penninikums und Subpenninikums innerhalb des Ostalpins an der Erdoberfläche anzutreffen sind (Favaro et al., 2017). Die Exhumation des Tauernfensters ist eine Folge der alpidischen Orogenese (Kreide bis heute) und begann im Oligozän vor ca. 34 Ma, wobei der Höhepunkt im Miozän (23 - 5,3 Ma) erreicht wurde. Neben der Erosion spielten die angrenzenden Störungen (Oligozän) ebenfalls eine wich-

1. Einleitung

tige Rolle bei der Exhumierung. Da die alpidische Orogenese noch nicht abgeschlossen ist, heben sich die Alpen und somit auch das Tauernfenster bis heute (Schmid et al., 2013).

Aktuell sind im Bereich des Tauernfensters Gesteine der penninischen und subpenninischen Deckeneinheiten aufgeschlossen. Letztere wurden am äußeren europäischen Kontinentalrand nach der Öffnung des Penninischen Ozeans im mittleren Jura abgelagert. Sie bestehen aus einem variszischen Basement mit aufgelagerten Metasedimenten und wurden im Zuge der Kontinentkollision ab dem mittleren Eozän auf die Europäische Platte aufgeschoben. Das Subpenninikum kann im Tauernfenster in das stratigraphisch niedrigste Venediger-Deckensystem und dem darüber liegenden Modereck-Deckensystem gegliedert werden (Pestal, 2009).

Die für diese Arbeit wesentlichen penninischen Deckeneinheiten stammen aus dem namensgebenden Penninischen Ozean, der sich im Jura und in der Kreide zwischen dem adriatischen Sporn und der Europäischen Platte öffnete. Bei den im zentralen Tauernfenster aufgeschlossenen Einheiten aus dem Penninikum handelt es sich um das Glockner-Deckensystem aus den Unteren Penninischen Decken, welche im Valais Ozean abgelagert wurden und um die Matreier Zone aus den Oberen Penninischen Decken. Die Schließung des Valais Ozean und somit die Ablagerung der heutigen Unteren Penninischen Decken begann an der Grenze der Kreide zum Paläogen (ca. 65 Ma) und endete im Eozän vor ca. 45 Ma (Schmid et al., 2013).

Das Untersuchungsgebiet am Wasserradkopf wird vollständig von Gesteinen der Glocknerdecke aufgebaut. Hauptsächlich sind Kalkglimmerschiefer und Serpentine der Bündnerschiefer-Gruppe aufgeschlossen, wobei erstere im Glockner-Deckensystem dominieren. Es handelt sich dabei um einen Sammelbegriff für glimmerreiche Marmore und Kalkschiefer aus der Bündnerschiefer-Gruppe, deren angewittertes Erscheinungsbild sandig und von bräunlich bis grauer Farbe ist. Die wesentlichen Minerale sind Kalzit, Glimmer und Quarz, seltener Phlogopit, Chlorit, Dolomit und Feldspat. Die kretazischen Sedimentgesteine, die zu den metamorphen Gesteinen geführt haben, waren hauptsächlich Arenite und pelagische, mergelige Kalkschlämme (Pestal, 2009). Die am Wasserradkopf aufgeschlossenen Kalkglimmerschiefer erreichten während der Tauernkristallisation einen amphibolitfaziellen Metamorphosegrad (2,3 GPa) (Groß et al., 2020). Die Serpentinite sind aus ultrabasischen Gesteinen, welche aus den Resten der obduzierten ozeanischen Lithosphäre des Penninischen Ozeans stammen, entstanden. Ausgangsmaterial war Harzburgit mit verschiedenen Kumulaten (Pestal, 2009).

Die tektonische Entwicklung des Tauernfensters wird in der Literatur aufgrund der schwierig zu interpretierenden radiometrischen Datierungen durchaus kontrovers diskutiert. In der unten angeführten Auflistung werden die fünf Deformationsphasen des Tauernfensters entsprechend der heute vorzufindenden Geologie nach den Modellen von Groß et al. (2020) und Schmid et al. (2013) erläutert und in Bezug zu den struktureologischen Gegebenheiten gesetzt.

1.3. Regionale Geologie des zentralen Tauernfensters

D1: Subduktion des Piemont-Ligurischen Ozeans

Mit der Subduktion des Piemont-Ligurischen Ozeans (ab ca. 90 Ma) begann die tektonische Entwicklung des Tauernfensters. Dabei wurden die abgelagerten Sedimente des Ozeans unter der Adriatischen Platte subduziert und akkretiert. Eventuell wurden auch Teile des Valais Ozeans bereits subduziert. Von dieser Phase der tektonischen Entwicklung des Tauernfensters ist heute noch die Überschiebung der Austroalpinen Decken auf die Matreier Zone zu sehen.

D2: Subduktion des Valais Ozeans

In weiterer Folge wurde auch der nördlicher gelegene Valais Ozean konsumiert. Dieses Ereignis lässt sich in den Überschiebungen der Matreier Zone auf das Glockner-Deckensystem und letzteres wiederum auf das Modereck-Deckensystem nachvollziehen. Der Eklogit-fazielle Metamophosehöhepunkt wird zwischen 45 und 35 Ma vermutet. Die Schieferung, welche parallel zu der sedimentären Schichtung und zu den Überschiebungen verläuft, lässt sich nur in den Scharnieren der isoklinalen Verfaltung von D3 erkennen.

D3: Exhumation der Hochdruckeinheiten

Die anschließende Exhumation der zuvor versenkten Einheiten folgte zwischen 38 und 32 Ma. Dabei entstand die riesige Seidlwinkl Falte, die nur im zentralen Tauernfenster erhalten ist und die Überschiebung des Glockner-Deckensystems auf das Modereck-Deckensystem isoklinal verfaltet. Die axialebenen Schieferung der Seidlwinkl Falte ist im zentralen Tauernfenster und somit auch im Untersuchungsgebiet unterhalb des Wasserradkopfs die dominante Schieferungsfläche. Die Geländeaufnahmen von Groß et al. (2020) zeigen in diesem Bereich eine flach nach SW einfallende Orientierung dieser Flächen. Die dazugehörige Lineation fällt flach gegen S ein. Schersinnindikatoren zeigen durchwegs eine Top nach N Bewegung an, können aber von Top nach S Markern überlagert werden, die teilweise bereits spröde Deformation aufweisen.

D4: Tauernkristallisation

Die Tauernkristallisation stellt eine Regionalmetamorphose dar, welche vermutlich zwischen 30 und 28 Ma aktiv war und die Amphibolit-Fazies erreichte. Während

1. Einleitung

dieser Phase entstand auch die Periadriatische Naht. Die Lineation dieser Metamorphose fällt im Gebiet des Wasserradkopfs flach gegen SE ein.

D5: "Doming und laterale Extrusion"

Bei der letzten Phase der tektonischen Entwicklung des Tauernfensters handelt es sich um eine N-S Verkürzung nördlich der Periadriatischen Naht um ca. 65 km, welche zum Aufwölben ("doming") und zur lateralen Extrusion führte.

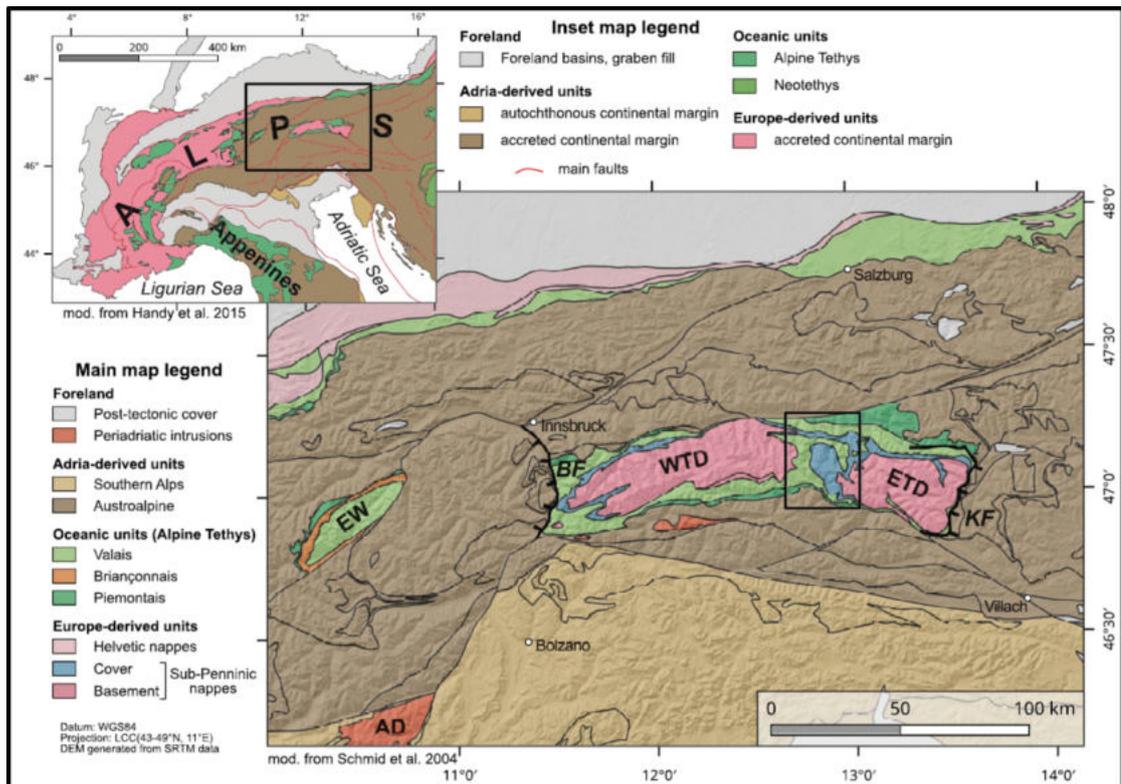


Abbildung 1.2.: Tektonische Übersichtskarte des Tauernfensters (Groß et al., 2020). WTD = westliches Tauernfenster, ETD = östliches Tauernfenster, AD = Adammello Pluton, EW = Engadiner Fenster, BF = Brenner Abschiebung, KF = Katschberg Abschiebung.

1.4. Klassifikation von Massenbewegungen

Für Massenbewegungen gibt es verschiedenste Ansätze zur Klassifizierung. Je nach Betrachtung kann nach geomorphologischen Kriterien, der Kinematik oder auch nach

der Hangaktivität unterschieden werden. Oft werden Begriffe aus den unterschiedlichen Klassifikationen synonym verwendet, was zu Verwirrung führen kann, wenn die Begriffe verschiedene Bedeutungen haben. Eine genaue Definition der Prozesse und der Begriffe ist somit notwendig. Sinnvoll ist die Klassifikation anhand von kinematischen Kriterien, wie sie von Cruden and Varnes (1996) ausgearbeitet wurden. Ein Update zu dieser Veröffentlichung mit Erweiterungen in Bezug auf die Geschwindigkeit und dem Material bietet (Hungr et al., 2014). Die geomorphologischen Phänomene können nach der Legende von Kienholz et al. (1995) kartiert werden.

In dieser Arbeit wird versucht sich an die Klassifikation von Cruden (1993) bzw. Cruden and Varnes (1996) zu halten, um eine möglichst einheitliche Ansprache und Charakterisierung vornehmen zu können. Weiteres wurde versucht die Klassifikation von Hungr et al. (2014) zu berücksichtigen.

Gleitungen

Bei Gleitungen (oft auch als Rutschungen bezeichnet) findet die Hangabwärtsbewegung der Gleitmassen hauptsächlich entlang einer oder mehrerer diskreten Gleitflächen statt. Handelt es sich um Festgestein ist von einer Felsgleitung die Rede. Bei einer gekrümmten Gleitfläche kommt es aufgrund der Geometrie zur Stauchung an der Oberfläche, sodass sich weitere Scherflächen ausbilden und es zur internen Deformation kommt, um diese Verkürzung zu kompensieren. In diesem Fall handelt es sich um eine Rotationsgleitung. Dieser Typ ist durch eine steile Abrissfläche und durch flache oder sogar aufwärts gerichtete Bewegungsvektoren am unteren Ende der Rotationsgleitung gekennzeichnet (Zangerl et al., 2008).

Verschiedene Arten von Gleitungen:

1. Einleitung

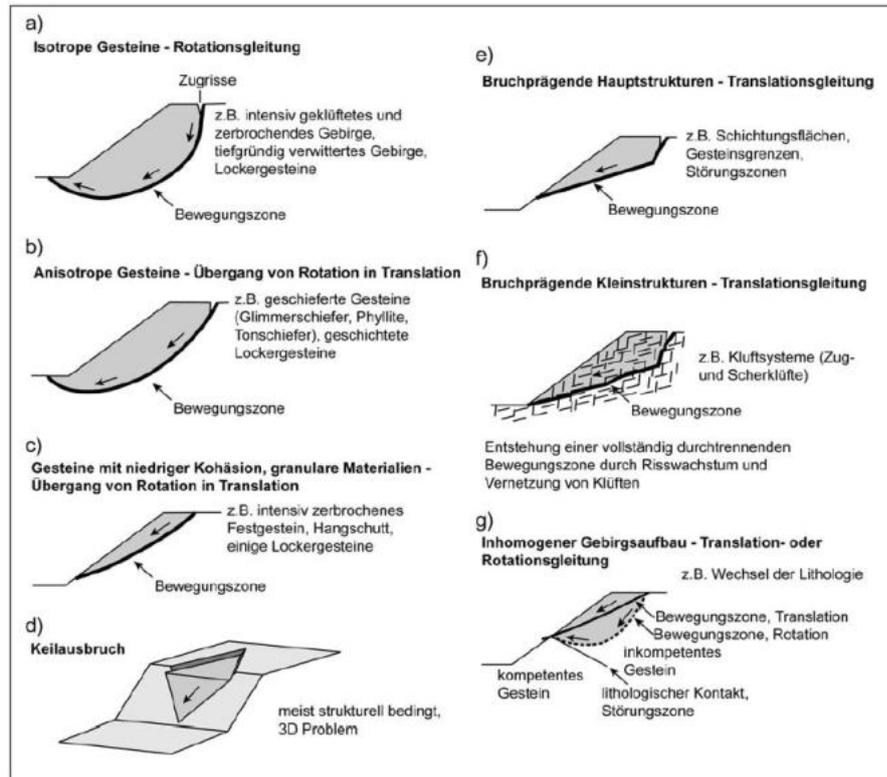


Abbildung 1.3.: Verschiedene Arten von Gleitungen aus (Zangerl et al., 2008). Die unterschiedlichen Gleitarten werden den Gebirgseigenschaften bei denen sie auftreten gegenübergestellt.

2. Daten und Methoden

2.1. Daten

Für diese Arbeit standen eine Vielzahl an Daten zur Verfügung, die in diesem Kapitel nun angeführt werden.

Datentyp	Auflösung	Quelle	Datentyp	Auflösung	Quelle
Orthofoto 1999	50 cm	(Orthofoto, 1999)	Orthofoto 2003	25 cm	(Orthofoto, 2003)
Orthofoto 2006	20 cm	(Orthofoto, 2006)	Orthofoto 2012	20 cm	(Orthofoto, 2012)
Orthofoto 2018	20 cm	(Orthofoto, 2018)	Laserscan (ALS)	20 cm	(ALS, 2018)
BVW Topografische Karte 2022	-	(BEV, 2022)	Geologische Karte	-	(Höck and Pestal, 1994)

Tabelle 2.1.: Auflistung der verwendeten Orthofotos und Kartenwerke unter Verweis auf die Quellen.

Die verwendeten Inklinometerdaten stammen vom Zivilingenieurbüro Dr. Peter Tschernutter, 9500 Villach (Tschernutter, 2021). Bei Inklinometern werden Verschiebungen entlang von Teilstücken in einem Bohrloch gemessen. Dabei werden zwei Achsen (A und B), die normal zueinander orientiert sind, gemessen. Es wird versucht eine Achse in die angenommene Hauptbewegungsrichtung zu installieren (Bock and Paul, 2002).

Des Weiteren stand der Bericht DEFORMATIONSBEOBACHTUNGEN 2021, 28. Folgemessung, des Vermessungsbüros Dipl.-Ing. Ronald Humitsch, 9800 Spittal an der Drau, zur Verfügung (Humitsch, 2021). In diesem sind die Verschiebungsmessungen im Umfeld der Guttalbrücke dargestellt.

2.2. Methoden

2.2.1. Luftbildinterpretation

Luftbilder wurden im gesamten Arbeitsablauf verwendet, um einerseits einen Überblick über das Gebiet zu erlangen und die Kartierungskampagnen zu planen und andererseits um geologische und geomorphologische Phänomene zu bestimmen und zu kartieren. Dabei sind die oben unter Kapitel 2.1 angeführten Luftbilder aus den Jahren 1999, 2003, 2006, 2012 und 2018 zum Einsatz gekommen.

2. Daten und Methoden

2.2.2. Kartierung

Das Untersuchungsgebiet wurde in zwei Kampagnen von 09.08.2022 bis 13.08.2022 und von 18.10.2022 bis 20.10.2022 geologisch und geomorphologisch kartiert. Für die Kartierung wurde ein Maßstab von 1:5000 gewählt und als Grundlage dienten das Orthofoto 2018 (Orthofoto, 2018) und das entsprechende digitale Geländemodell (ALS, 2018) (Kap. 2.1). In dieser Zeit wurden 97 Aufschlüsse mittels GPS-Gerät lokalisiert und hinsichtlich ihrer Lithologie, Strukturen und Morphologie charakterisiert. Insbesondere wurden die Schieferung, Klüfte, Störungen mit Striemung und Adern gemessen und die geomorphologischen Phänomene der Massenbewegung kartiert. Die strukturgeologischen Begriffe wurden, wenn möglich, im Sinne der Definitionen von Huet (2020) verwendet. Für weiterführende Begriffe wie "fault gouge" haltet sich diese Arbeit an die Definitionen von Twiss and Moores (2007).

Die strukturgeologische Situation wurde durch das Messen von 122 Schieferungsflächen, 139 Klüften, 42 Harnischen, 11 Adern und 4 duktilen Scherzonen abgebildet und in Kapitel 3.2 erklärt. Alle stereographischen Anschauungen wurden im Schmidt'schen Netz, flächentreu und in der unteren Hemisphäre der Lagenkugel dargestellt. Wenn viele Daten in einer Lagenkugel abgebildet werden, sind für eine übersichtlichere Darstellung nur die Polpunkte der Flächen eingetragen. Bei weniger Daten werden die Großkreise abgebildet. Die Messungen wurden mit dem Gefügekompas nach Clar durchgeführt und dementsprechend auch als dreistellige Fallrichtung und zweistelligem Fallwinkel angegeben (Clar, 1954).

Flächen ohne Lineare wurden mit Stereonet 11 von Richard Almendinger dargestellt (Allmendinger, 2011). Wenn mittlere Orientierungen von mehreren Flächen angegeben sind, wurden diese durch die Bingham Axial Distribution ermittelt. Für die Konturlinien in den Schmidt'schen Netzen wurde ein 3% Intervall gewählt - die Linien markieren also die Grenzen der Standardabweichung der Daten in Abständen von 3%. Bei einer zu geringen Datenlage wurde auf die Darstellung mit Kontourlinien verzichtet, damit in die Intervalle nicht eine zu geringe Anzahl an Messungen fällt. Für Störungen mit Striemungen und Schersinnindikatoren eignet sich die Software Teconics FP besser, da Flächen direkt mit den dazugehörigen Linearen dargestellt werden. Durch die Funktion "correct" können Lineare, welche durch unvermeidbare Messfehler nicht auf den Flächen zu liegen kämen, automatisch auf diese verschoben werden. Auch Schersinnindikatoren können angezeigt werden, wodurch die Störungen und ihre Kinematik visuell gut verständlich dargestellt werden können (Reiter and Acs, 2019).

Da das Untersuchungsgebiet von drei großen Störungszonen durchzogen wird und diese teilweise auch für die Fragestellung wichtig sind, wurden sie als Störung 1, Störung 2 und Störung 3 benannt.

2.2.3. Polarisationsmikroskopie

Um ein detaillierteres Bild der Mineralogie und Mikrostrukturen der Gesteine zu bekommen, wurden sieben Dünnschliffe angefertigt, an denen Polarisationsmikroskopie

angewandt wurde. Von den Proben A 55, P 1, P 7 und P 10 wurde jeweils ein orientierter Dünnschliff angefertigt. Von der Probe P 3 wurden drei Schlitze angefertigt (P 3a, P 3b und P 3c), die rechtwinklig zu einander orientiert sind. Die Dicke der Dünnschliffe beträgt ca. 30 μm . Aufgrund der hohen Porosität wurden alle Proben bis auf A 55 in Epoxidharz getränkt, um die Schliffherstellung möglich zu machen. Alle Dünnschliffe wurden mit einem Polarisationsmikroskop Leica DM 4500 P untersucht. Bilder wurden mit einer am Mikroskop montierten Kamera des Typs Leica DMC 4500 angefertigt. Die Aufnahmen der gesamten Schlitze erfolgte mit einem Canon CanoScan 9000F System. Die Bestimmung der Minerale anhand ihrer optischen Eigenschaften basiert auf Tröger (1969). Für weiterführende Literatur zur optischen Mikroskopie können unter anderem Müller (1987), Bloss (1999) und Nesse (1987) herangezogen werden.

2.2.4. Pulverdiffraktometrie und Tonmineralanalyse

Diese Methoden wurden an insgesamt 5 Proben (A 55, P 1, P 3, P 7 und P 10) angewendet, um die Gesamtmineralogie und den Tonmineralgehalt zu bestimmen. Damit eine Tonmineralanalyse oder Pulverdiffraktometrie vorgenommen werden kann, bedarf es dabei einiger vorbereitender Schritte im Labor:

- (1) Bei der Auswertung der Korngrößen kommt für die Fraktion $> 20 \mu\text{m}$ eine Nasssiebung und für die Fraktion $< 20 \mu\text{m}$ eine Sedimentationsanalyse mit dem Micromeritics SediGraph III zur Anwendung. Von den größeren Fraktion wird 20 g bei $60 \text{ }^\circ\text{C}$ getrocknet und anschließend mit ca. 200 ml 10%igem Wasserstoffperoxid vermischt, um eine Dispergierung zu erlangen und die organischen Beimengungen zu beseitigen. Durch Auskochen bei $95 \text{ }^\circ\text{C}$ im Wasserbad verdampft das überschüssige Wasserstoffperoxid. Mittels Ultraschallstab werden die einzelnen Partikel von einander getrennt und die Probe kann gesiebt werden. Die abgeseibten Fraktionen ($> 2000 \mu\text{m}$, $> 630 \mu\text{m}$, $> 200 \mu\text{m}$, $> 63 \mu\text{m}$ und $> 20 \mu\text{m}$) können getrocknet und gewogen werden.
- (2) Die Fraktion $< 20 \mu\text{m}$ wird eingedickt und mit 0,05%igem Natriumpolyphosphat vermischt. Anschließend werden die Partikel mittels Ultraschallstab von einander getrennt und im Sedigraphen gemessen.
- (3) Die Korngrößenverteilung wird aus den Ergebnissen der Siebanalyse und Sedimentationsanalyse gebildet.
- (4) Um die Minerale qualitativ und semiquantitativ bestimmen zu können wurden die Festgesteinsproben in einer Scheibenschwingmühle zu einem feinen Pulver vermahlen und mittels "backloading Verfahren" präpariert. Gemessen wurde mit einem Panalytical X'Pert Pro MPD Diffraktometer (XRD), mit automatischem Divergenzschlitz,

2. Daten und Methoden

Cu LFF Röhre 45 kV, 40 mA, und einem X´Celerator Detektor. Die Messzeit betrug 25 s, mit einer Schrittweite von $0,017^\circ$ zwischen 2° und $70^\circ 2\Theta$. Mit diesem Verfahren wurde der qualitative Gesamtmineralbestand ermittelt. Die semiquantitative Auswertung des Mineralbestands erfolgte mit dem Programm Panalytical HighScore unter Anwendung der Rietveld-Refinement Methode.

- (5) Die Aufbereitung der Proben zur Bestimmung der Tonminerale folgt den Beschreibungen nach Tributh (1991) und Whittig (1965). Die Dispergierung und Zerstörung der organischen Beimengung wird durch Zugabe von 10%igem Wasserstoffperoxid erreicht. Mittels Zentrifuge (5 Minuten bei 1000 rpm) wird die Tonfraktion ($< 2\ \mu\text{m}$) vom $< 20\ \mu\text{m}$ Siebrückstand abgetrennt.

Die Tonfraktion wurde einmal mit 4 Na MgCl₂- und einmal mit 4 Na KCl-Lösung versetzt, um den Sorptionskomplex mit Magnesium und Kalium zu sättigen. Durch ein Unterdrucksystem erfolgte die Präparation von 20 mg der Probe auf porösen Keramikplättchen (Kinter, 1955).

Die getrockneten Präparate wurden in weiterer Folge im XRD gemessen. Anschließend wurden sämtliche Plättchen zur Untersuchung der Quellfähigkeit von Tonmineralen (Smektit, Vermikulit) in eine mit Ethylenglykol gesättigte Atmosphäre eingebracht. Die Plättchen, die mit Kalium belegt waren, wurden nach dieser Messung zusätzlich mit Dimethylsulfoxid behandelt, um gut kristallisierten Kaolinit zu identifizieren. Anschließend wurden die Plättchen für jeweils 2 Stunden bei Temperaturen von $300\ ^\circ\text{C}$ und $550\ ^\circ\text{C}$ behandelt, um primären Chlorit nachzuweisen. Nach jeder Behandlung wurden die Proben im XRD untersucht (K- und Mg-Plättchen von 2° bis $40^\circ 2\Theta$, mit Ethylenglykol behandelte Plättchen von 2° bis $32^\circ 2\Theta$, mit Dimethylsulfoxid behandelte Plättchen von 2° bis $26^\circ 2\Theta$ und getemperte Plättchen von 2° bis $14^\circ 2\Theta$). Die unterschiedlichen Messwinkel sind aufgrund der charakteristischen Eigenschaften der Tonminerale notwendig. Je nach Mineral werden verschieden viele Kationen in die Zwischengitter aufgenommen, sodass sich je nach Behandlungsmethode spezifische Abstände ergeben.

Zur Messung kommt derselbe PANalytical Röntgendiffraktometer zum Einsatz, wie bei der Gesamtmineralanalyse (XRD).

Zur Bestimmung der Tonminerale wurden Thorez (1975), Brindley and Brown (1984), Moore and Reynolds (1997), und Wilson (1987) herangezogen. Die semiquantitative Bestimmung erfolgte über die Flächen der charakteristischen Peaks unter Einbeziehung von empirischen Korrekturfaktoren (Riedmüller, 1978).

2.2.5. Software

Folgende Programme und Softwareprodukte wurden für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse dieser Arbeit verwendet:

QGIS

Die Daten aus dem Gelände wurden mittels QGIS 3.16.12 digitalisiert, georeferenziert und graphisch aufbereitet. Zusätzlich wurde die Geländegeometrie für die Profilschnitte mit der qProf-Erweiterung erstellt (QGIS, 2019).

Tectonics FP

Für die Darstellung und Berechnung von struktureologischen Daten wurde unter anderem Tectonics FP verwendet (Reiter and Acs, 2019). Insbesondere die Daten mit kinematischen Indikatoren, wie z.B. Störungen, wurden mit dieser Softwarelösung dargestellt. Sie hat den wesentlichen Vorteil, dass es über eine "best fit-Funktion" möglich ist, Lineare exakt auf den dazugehörigen Flächen in der Lagenkugel zu plotten.

Stereonet 11

Ansonsten wurde Stereonet 11 für die Darstellung der Gefügedaten aus dem Gelände herangezogen (Allmendinger, 2011). Dabei wurden alle Daten in einer Lagenkugel der unteren Hemisphäre und flächentreu eingezeichnet (Schmidt'sches Netz).

Inkscape

Die Abbildungen, wie z.B. Übersichtsgrafiken, Aufschlussdarstellungen, Probenabbildungen, Dünnschlifffotos und Profile, wurden mit Hilfe von Inkscape 0.92.4 aufbereitet (Inkscape, 2018).

InSAR Analyse

Die Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)-Methode ist eine fortgeschrittene Fernerkundungstechnik, die Satellitendaten verwendet, um hochpräzise Deformationsmessungen der Erdoberfläche durchzuführen. InSAR basiert auf der Auswertung der Phasendifferenz zwischen zwei oder mehr SAR-Bildern, die von einem Satelliten über demselben Gebiet aufgenommen wurden (Ferretti et al., 2011).

Die InSAR-Methode nutzt das Phänomen der Phaseninterferenz, die auftritt, wenn elektromagnetische Wellen von einem Satelliten zur Erdoberfläche und zurück reflektiert werden. Durch die Kombination von zwei SAR-Bildern, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen wurden, wird eine Interferenz zwischen den Wellen erzeugt. Diese Interferenz zeigt sich als Muster von konstruktiven und destruktiven Phasenunterschieden,

2. Daten und Methoden

die auf topographische Veränderungen und Bodenbewegungen zurückzuführen sind (ESA, 2007).

Durch die Analyse der Phaseninformationen kann InSAR präzise Veränderungen der Erdoberfläche, Deformationen wie Setzungen und Hebungen und andere Verformungen detektieren. Die Methode ermöglicht auch die Erstellung von digitalen Geländemodellen und die Kartierung von topographischen Merkmalen (Ferretti et al., 2011).

Die Grundlage für die InSAR Analyse bieten Daten von Sentinel-1-Satelliten, die für das Interreg-Projekt SedInOut ausgewertet wurden. Die prozessierten Daten wurden in weiterer Folge vom Land Salzburg über ihre Webseite zugänglich gemacht: <https://www.salzburg.gv.at/sagis>. Die Daten erreichen eine Genauigkeit von $\pm 2-3$ mm pro Jahr bzw. $\pm 3-7$ mm pro Messvorgang. Diese Werte sind abhängig von der Wellenlänge des Radars. Damit die Radarwellen reflektiert werden können, muss die gemessene Oberfläche markante Punkte wie Felsen oder Bauwerke aufweisen. In vegetationsreichen Gegenden sind Messungen somit schwierig (SedInOut, 2022).

3. Ergebnisse

In der Übersichtskarte (Abb. 3.1) ist die geologisch-geomorphologische Karte des Arbeitsgebiets zu sehen. In dieser sind die Lokalitäten der Abbildungen aus diesem Kapitel eingezeichnet. Bei Einzelaufnahmen ist ein weißes Kamerasymbol mit der Abbildungsnummer zu sehen, wobei die Orientierung des Symbols auch jener der Aufnahme entspricht. Bei größeren Aufnahmen wurde über die entsprechende Fläche ein weißes Rechteck gelegt und ebenfalls die Abbildungsnummer angegeben.

3.1. Lithologische Beschreibung

3.1.1. Festgesteine

Im folgenden Kapitel werden alle im Feld angetroffenen Festgesteine des Arbeitsgebiets beschrieben. Eine Übersicht über sämtliche Proben, auch jener, die nicht in diesem Kapitel beschrieben werden, findet sich im Appendix.

Zu sehen ist jeweils ein repräsentatives Aufschlussbild für jede Lithologie und anschließend eine Abbildung einer Probe. Die roten Linien auf den Probenabbildungen zeigen die Lage und die Blickrichtung der angeschnittenen Stücke, welche neben den Handstücken abgebildet sind. Von den vier hier beschriebenen Lithologien (Kalkglimmerschiefer, Serpentin, Granatglimmerschiefer und Kluftbrekzie) wurden Dünnschliffe angefertigt, die ebenfalls als Abbildungen Eingang in dieses Kapitel finden. Zusätzlich wurde eine Pulverdiffraktometrieanalyse vorgenommen, was als Grundlage für die Mineralbestimmung und detaillierte Beschreibung dient. Der Mineralbestand wird in einer Tabelle für jede Lithologie dargestellt. Ein weit verbreitetes Serpentinmineral konnte nicht eindeutig genauer bestimmt werden, sodass es bei dem Namen "faseriges Serpentinmineral" belassen wurde.

3. Ergebnisse

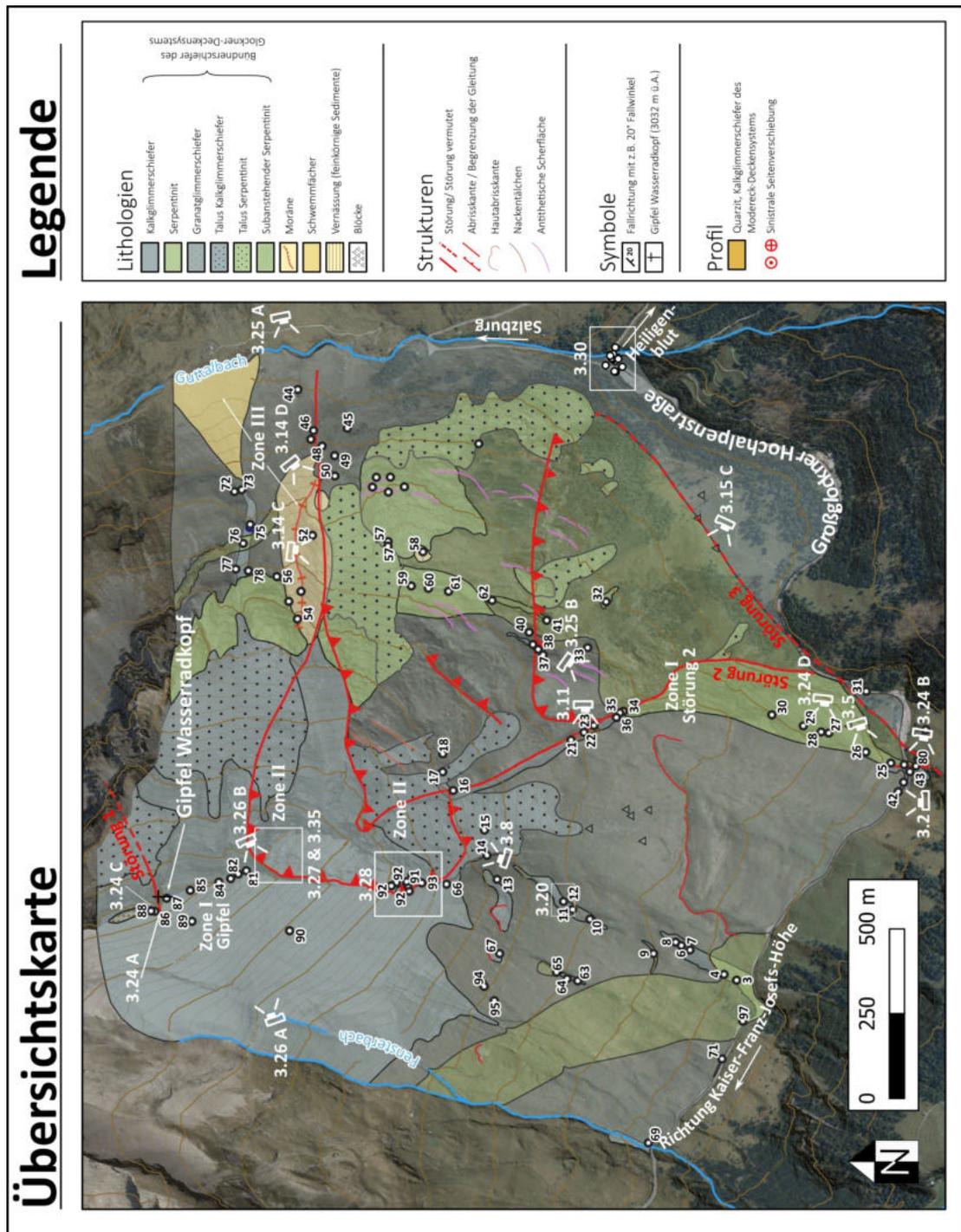


Abbildung 3.1.: Geologische Übersichtskarte mit den Lokalitäten aller Abbildungen des Kapitels 3 eingezeichnet. Einzelne Aufnahmen und deren Blickrichtungen sind mit einem Kamerasymbol eingetragen. Größere Gebiete sind mit einem weißen Rechteck markiert. Bei jeder Abbildung ist die dazugehörige Abbildungsnummer angegeben, unter der diese angeführt ist.

Kalkglimmerschiefer

Der größte Teil des kartierten Untersuchungsgebiets besteht aus Kalkglimmerschiefern, die sich hinsichtlich ihrer Schieferungen leicht unterscheiden können. Diese variiert in der Ausprägung und den Abständen der Schieferungsflächen von kaum ausgeprägt geschiefert bis sehr ausgeprägt und engständig geschiefert. Im Allgemeinen wird das Gestein von Quarz, Kalzit, seltener Hellglimmer, Plagioklas und einem faserigen Serpentinmineral aufgebaut.

In den Aufschlüssen entlang der Großglockner Hochalpenstraße (Abb. 3.2) ist der Kalkglimmerschiefer meist grau und hat eine nicht sehr deutlich ausgeprägte Schieferung (Abb. 3.3). Im Gebiet um den Gipfel wird die Schieferung dominanter. Die Gesteine in diesem Bereich zeigen eine gelbliche bis bräunliche Verwitterungsfarbe und fühlen sich sandig an. Um den Gipfelbereich wurden zwei bis zu ca. 80 cm mächtige Quarzadern, wie in Abbildung 3.24 zu sehen, innerhalb des Kalkglimmerschiefers angetroffen, die diesen diskordant durchschneiden.



Abbildung 3.2.: Aufschluss 42: Kalkglimmerschieferaufschluss direkt an der Großglockner Hochalpenstraße mit dem typisch für den unteren Untersuchungsbereich grauen Erscheinungsbild.

Auf mikroskopischer Ebene liegt der Quarz häufig in schieferungsparallelen Linsen und nur selten als einzelne Körner vor. Einzelne Körner können eine Größe von bis zu ca. 0,5 cm erreichen. Die Quarzlinsen werden bis zu ca. zwei cm lang und 0,5 cm dick. Die Korngrenzen sind meistens regulär ausgebildet und unter dem Durchlichtmikroskop ist keine oder nur ein leichte undulöse Auslöschung zu sehen. Der Kalzit ist ebenfalls parallel zur Schieferung angeordnet und zeigt unter dem Mikroskop die für ihn typischen, sehr hohen Interferenzfarben und eine ausgeprägte Spaltbarkeit, wobei die Korngröße jener des Quarzes entspricht. Der Hellglimmer ist weniger häufig und kommt oft in (sub-)parallel zur Schieferung orientierten Trennflächen vor. Er wird dabei von Muskovit und etwas Paragonit vertreten. Die Glimmerminerale zeigen keinerlei Beanspruchung durch tektonische oder andere Vorgänge und sind nicht verbogen. Häufig sind die Glimmerminerale parallel zur

3. Ergebnisse

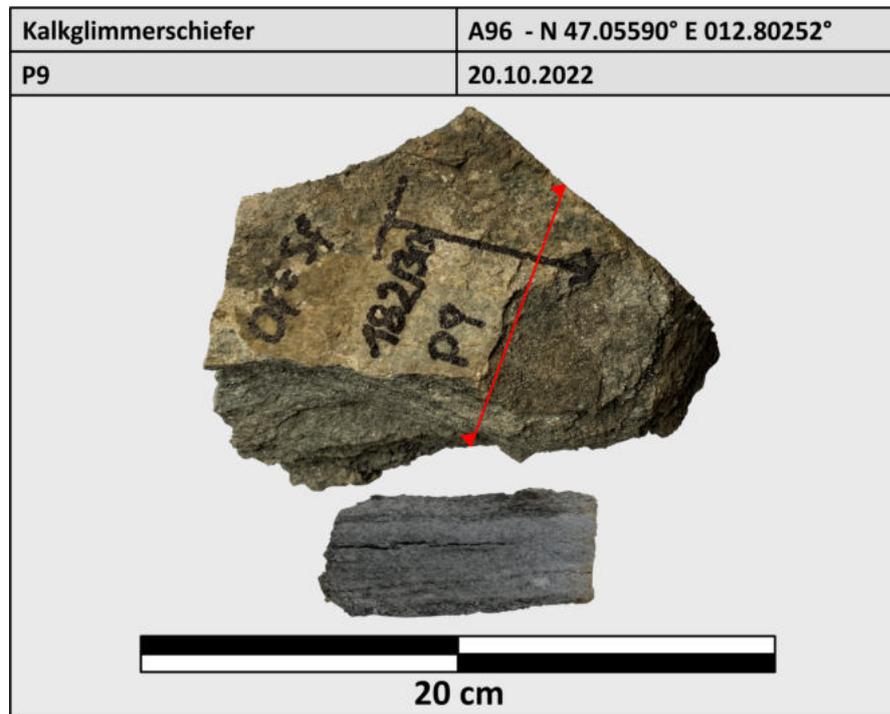


Abbildung 3.3.: Handstück P 9: Kalkglimmerschiefer von Aufschluss 96 mit einer Schieferung die nach 182/30 einfällt und gleichzeitig die Oberfläche der Probe darstellt.

Schieferung eingeregelt. Die Kristalle erreichen eine Länge von bis zu ca. 0,3 cm und liegen einzeln vor. Selten anzutreffen sind verzwilligte Plagioklase und ein faseriges Serpentinmineral, das weder im Dünnschliff noch im Labor eindeutig bestimmbar ist. Eine anschauliche Übersicht des Dünnschliffs mit Detailaufnahmen ist in Abbildung 3.4 gegeben.

Mittels Gesamtmineralanalyse (GMA) aus der Probe P 7 des Kalkglimmerschiefers konnten folgende, in Tabelle 3.1 aufgelisteten, Minerale nachgewiesen werden.

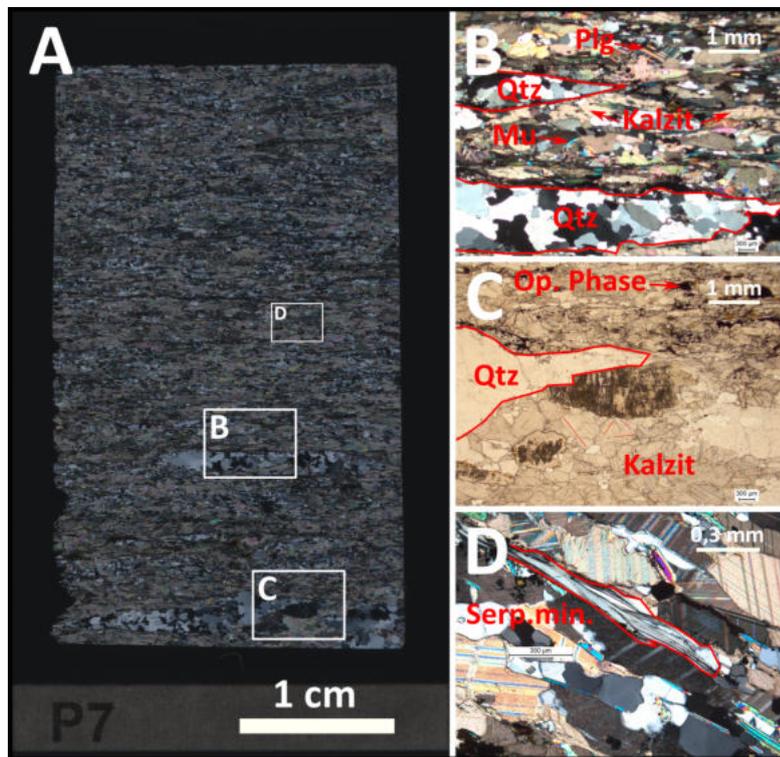


Abbildung 3.4.: Dünnschliffbilder des Kalkglimmerschiefers: A) Scan des gesamten Dünnschliffs P 7. B) Schieferungsparallele Quarzlinse unter gekreuzten Nicols. C) Aufnahme unter parallelen Nicols mit opaken Mineralphasen. D) Faseriges Serpentinmineral.

Mineral	Massenprozent
Kalzit	50
Quarz	37
Muskovit	7
Chlorit	4
Hellglimmer (Paragonit?)	2
Serpentinmineral	<1

Tabelle 3.1.: Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung des Kalkglimmerschiefers aus der Probe P 7.

3. Ergebnisse

Serpentinit

Entlang der Großglockner Hochalpenstraße weist der Serpentinit eine ausgeprägte Schieferung im cm-Bereich auf, wie in Abbildung 3.5 gezeigt wird. Die weiter oben im Gebiet vorkommenden Aufschlüsse haben ein massiges Erscheinungsbild und sind hellgrün. Ansonsten dominiert die dunkelgrüne Farbe mit einer teilweisen, für den Serpentinit typischen, fleckigen Musterung, die in Abbildung 3.6 gut zu erkennen ist (Murawski and Meyer, 2010). Adern werden häufiger angetroffen als im Kalkglimmerschiefer und erreichen eine Mächtigkeit von bis zu wenigen cm, die mit einem fasrigen, nicht genauer bestimmten, Mineral sowie Kalzit verfüllt sind.



Abbildung 3.5.: Aufschluss 26: Serpentinit mit der typisch grünen Farbe und einer ausgeprägten Schieferung.

Der Serpentinit tritt in Wechsellagerung mit dem Kalkglimmerschiefer auf, wobei er im gesamten Untersuchungsgebiet sehr weit verbreitet ist. Die Grenzen zum Kalkglimmerschiefer können durch spröde Störungen scharf abgegrenzt oder durch einen Übergangsbereich gekennzeichnet sein. Auch kleinere Serpentinit-Linsen innerhalb des Kalkglimmerschiefers wurden angetroffen. Der Gesamtmineralbestand setzt sich hauptsächlich aus einem faserigen Serpentinmineral (wahrscheinlich Antigorit) und in geringerem Ausmaß Chlorit und einer opaken Phase (wahrscheinlich Magnetit) zusammen (Tab. 3.2).

Unter dem Mikroskop zeigt sich die feinkörnige Textur des Gesteins mit Korngrößen von unter 50 μm , weswegen eine weitere optische Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung nicht möglich ist. Die Schieferung und die Textur des Serpentinits lassen sich aber gut erkennen (Abb. 3.7).

Mittels Gesamtmineralanalyse (GMA) aus der Probe P 12 des Serpentinits konnten folgende, in Tabelle 3.2 aufgelisteten, Minerale nachgewiesen werden.

3.1. Lithologische Beschreibung

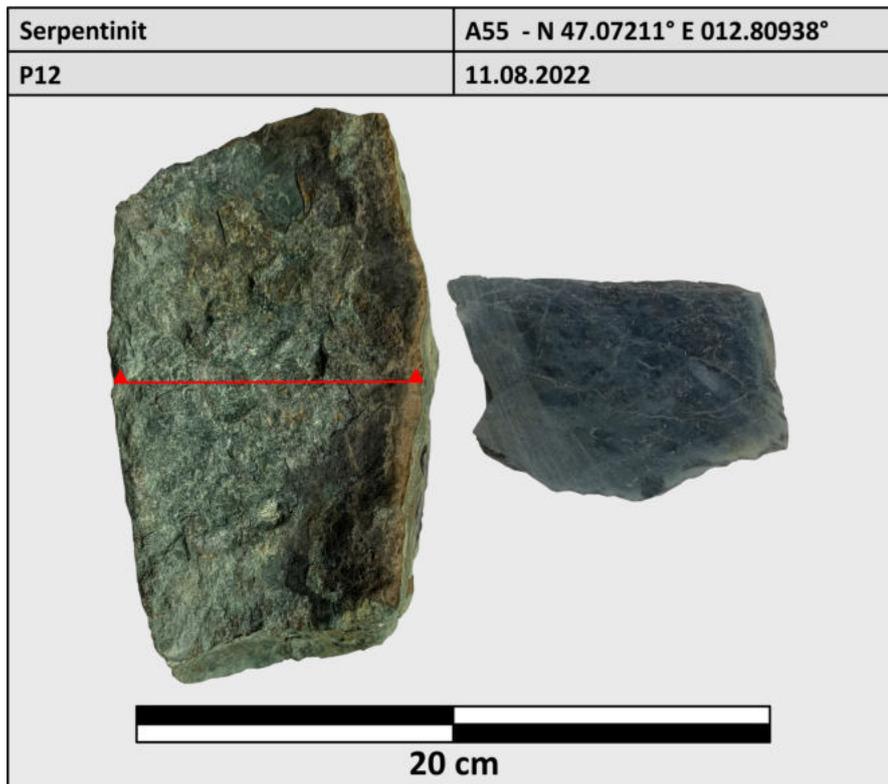


Abbildung 3.6.: Handstück P 12: Massiger, grüner Serpentinit vom Aufschluss 55 mit der typischen Musterung, die im Anschnitt gut erkennbar ist.

3. Ergebnisse

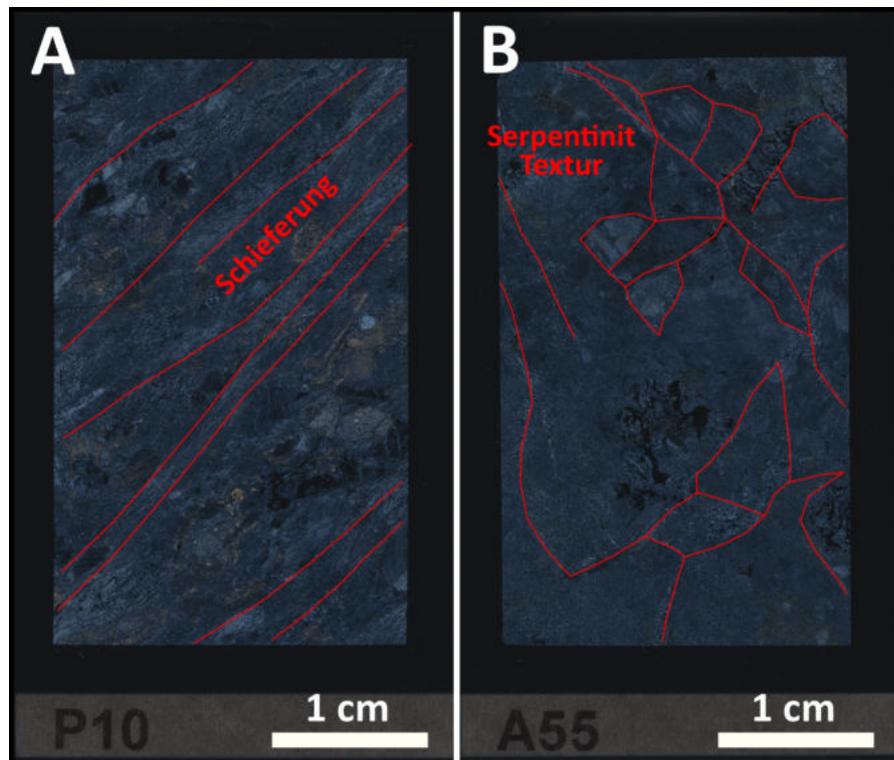


Abbildung 3.7.: Dünnschliffbilder der Proben P 10 und A 55 unter gekreuzten Nicols. Im Bild A) ist die Schieferung von links unten nach rechts oben verlaufend gut zu erkennen. Im Bild B) ist das fleckige Erscheinungsbild klar ersichtlich.

Mineral	Massenprozent
Serpentinmineral (Antigorit?)	96
Chlorit	4
Opake Phase (Magnetit?)	<1

Tabelle 3.2.: Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung des Serpentinits der Probe P 55.

Granatglimmerschiefer

Der Granatglimmerschiefer kommt lokal innerhalb des Kalkglimmerschiefers vor und hat eine graue bis silberne glänzende Farbe mit schwarzen Granaten. Bei Aufschluss 14 (Abb. 3.8) tritt der Granatglimmerschiefer am Rand einer Schuttablagerung zutage. Mineralogisch wird der Granatglimmerschiefer hauptsächlich von Quarz, Granat, Hellglimmer, seltener Kalzit und Plagioglas aufgebaut. Im Gelände ist der Granatglimmerschiefer leicht mit dem Kalkglimmerschiefer zu verwechseln, wenn die Granate sehr klein oder bereits stark verwittert sind. Die Schieferung ist aufgrund der Verwitterung dabei meistens weniger einfach zu erkennen als beim Kalkglimmerschiefer.

Der Granatglimmerschiefer bildet keine eigene Einheit, sondern vielmehr Zonen innerhalb des Kalkglimmerschiefers die mehr Granate enthalten als das benachbarte Gestein. In der Natur verläuft die Grenze sehr fließend, sodass eine kartografische Abgrenzung meist nicht möglich ist. Im Handstück (Abb. 3.9) fallen die Unterschiede deutlicher aus.

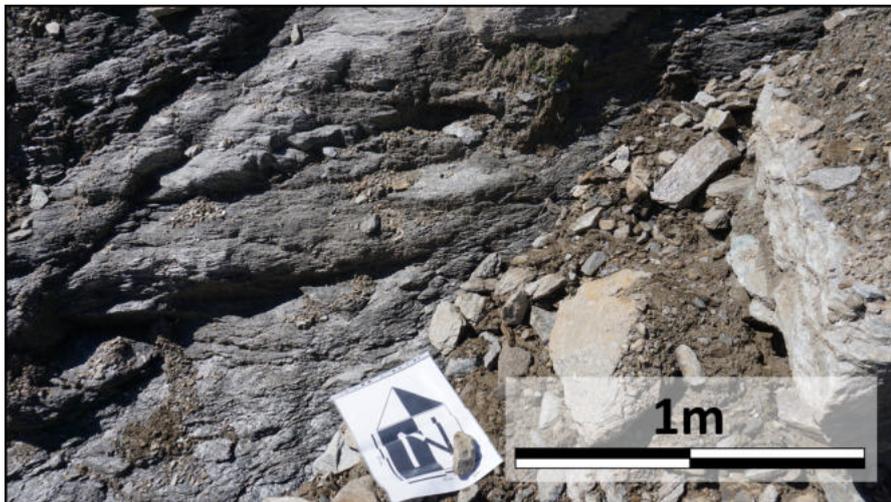


Abbildung 3.8.: Aufschluss 14: Granatglimmerschiefer der neben Schuttablagerungen aufgeschlossen ist.

Unter dem Mikroskop sieht man im Dünnschliff der Probe P 1 zwei verschiedene Zonen im Gestein (Abb. 3.10). In der Zone 1 sind die Granate idiomorph ausgeprägt und erreichen eine Größe von bis zu ca. 3,3 mm. Der Quarz kommt bevorzugt in den Druckschatten von Granatkörnern vor und bildet dort Linsen mit einer Länge von bis zu ca. 0,5 cm, die parallel zur Schieferungsfläche orientiert sind. Um diese Linsen aus Granat und Quarz legt sich feinkörniger Hellglimmer, der teilweise sehr stark verfaltet ist. In der Zone 2 sind die Granate teilweise umgewandelt und es lässt sich nur mehr eine xenomorphe Kornform erkennen. Der Quarz ist nicht in Linsen aggregiert, sondern gleichmäßig verteilt und das häufigste Mineral. Die Einzelkörner werden bis zu ca. 50 μm groß. Seine Korngrenzen

3. Ergebnisse

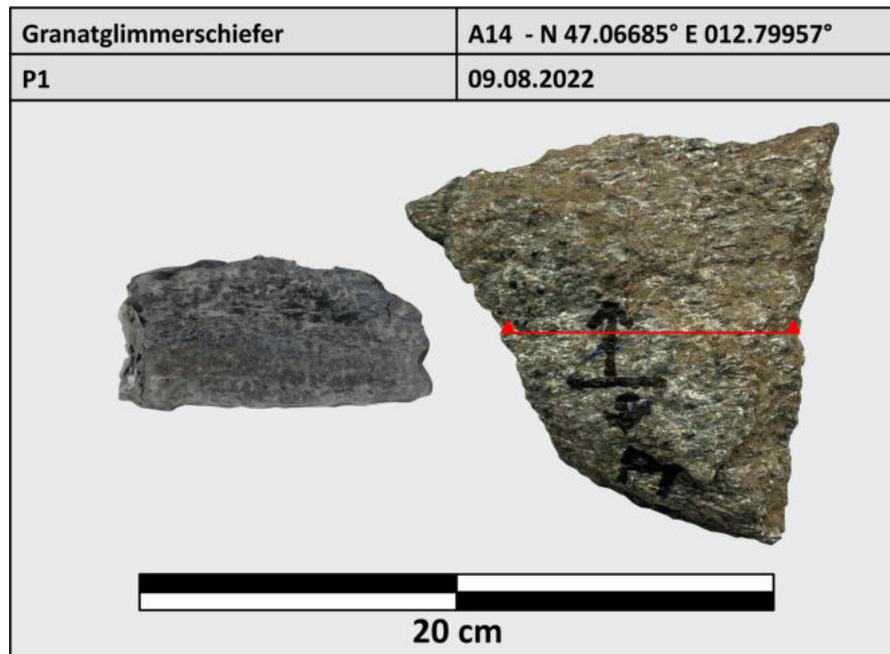


Abbildung 3.9.: Handstück P 1: Granatglimmerschiefer vom Aufschluss 14 mit der typischen silbern glänzenden Farbe und den dunklen bis zu ca. 3,3 mm großen Granaten. Die Oberfläche der Probe fällt mit 309/14 ein.

sind, wie in Zone 1, irregulär ausgebildet. Der Hellglimmer kommt in der Zone 2 deutlich seltener vor. Zum Teil lässt sich noch eine Mineraleinregelung rund um einen möglichen früheren Druckschatten um die Granate erkennen. Die Schieferung ist weitaus weniger prominent ausgebildet als in der ersten Zone des Schliffs.

Mittels Gesamtmineralanalyse (GMA) aus der Probe P 1 des Granatglimmerschiefers konnten folgende, in Tabelle 3.3 aufgelisteten, Minerale nachgewiesen werden.

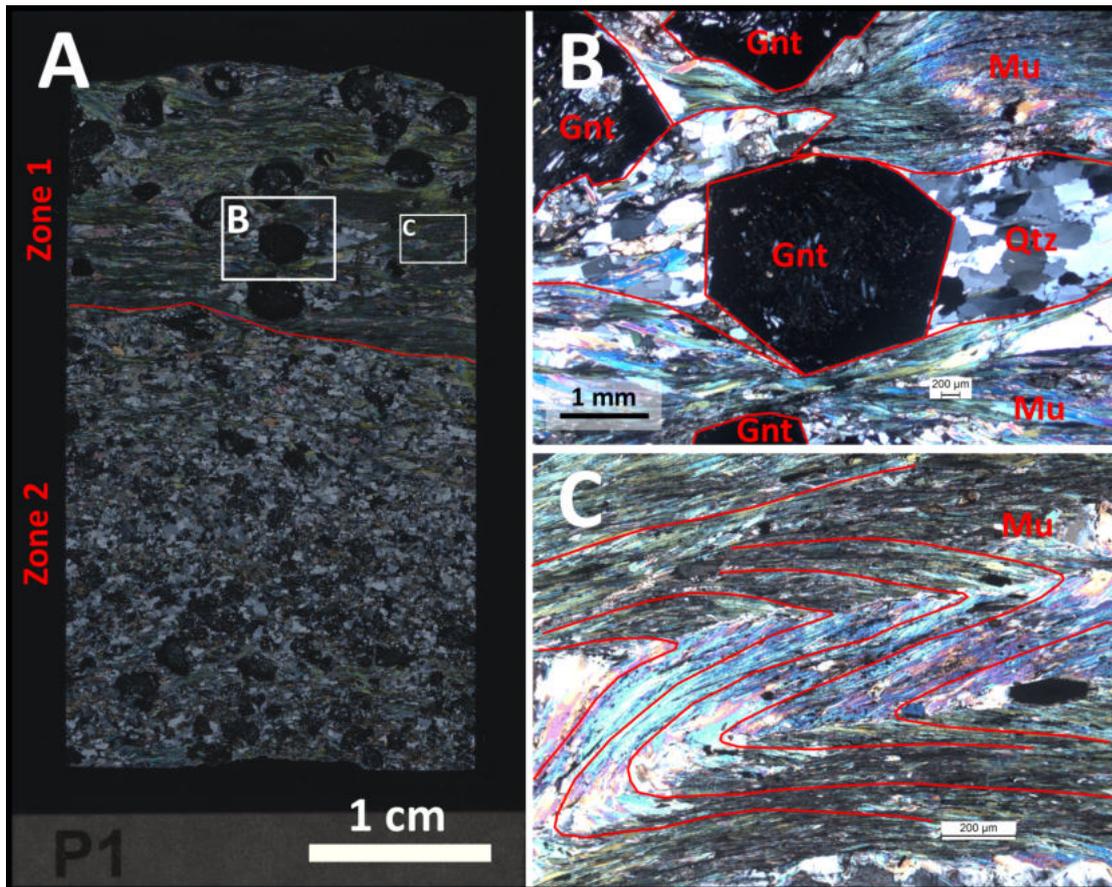


Abbildung 3.10.: Dünnschliffbilder der Proben P 1 unter gekreuzten Nicols. A) Übersichtsaufnahme über den Schliff mit den beiden unterschiedenen Zonen. Die Schieferung und Granate sind gut zu erkennen. B) Granatkorn mit Quarz im Druckschatten und umlagernden Muskovit. C) Stark verfallener Muskovit.

Mineral	Massenprozent
Quarz	46
Muskovit	17
Granat	10
Chlorit	10
Plagioklas	9
Paragonit	8
Kalzit	<1

Tabelle 3.3.: Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung des Granatglimmerschiefers der Probe P 1.

3. Ergebnisse

"Kluftbrekzie"

Das hier beschriebene Gestein stellt eine Besonderheit im gesamten Untersuchungsgebiet dar. Es kommt nur am Aufschluss 22 (Abb. 3.11) vor und weist weder Ähnlichkeiten zu den bisher beschriebenen Gesteinen auf, noch lässt es sich durch gängige Nomenklaturen, wie z.B. nach Vinx (2015) charakterisieren. Aus ebendiesem Handstück (Abb. 3.12) wurden auch die entsprechenden Dünnschliffe angefertigt und die dazugehörige Gesamtmineralanalyse (GMA) gemacht. Gefunden wurde das Gestein in einer Störungszone, die in Kapitel 3.2 als Störung 2 beschrieben wird. Bei Aufschluss 22 fällt diese mit ca. 70° nach Osten ein und bildet einen ca. 50 m hohen Abhang.

Um dieses Gestein zu charakterisieren bedarf es also einer etwas detaillierteren Betrachtung, als das bei den bereits beschriebenen Gesteinen der Fall ist.

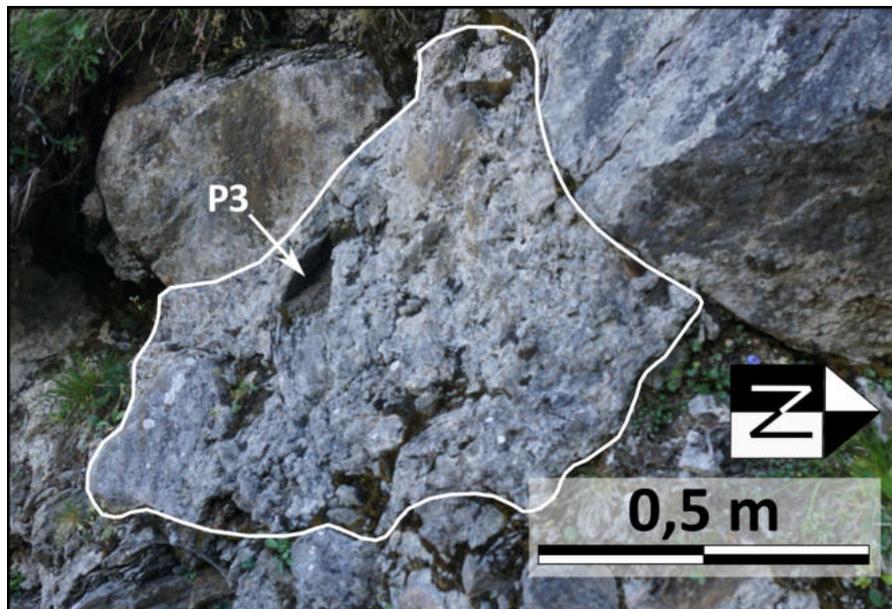


Abbildung 3.11.: Aufschluss 22: "Kluftbrekzie" mit der Entnahmestelle der Probe P 3. Angrenzend sind aufgelockerte Gesteinskomponenten der Störung 2 (Kap. 3.2) zu sehen.

Die Gesamtmineralanalyse (GMA) hat ergeben, dass das Gestein hauptsächlich aus Quarz und Kalzit besteht. Nebenbestandteile sind Muskovit, Plagioklas und Chlorit. Paragonit konnte nur selten nachgewiesen werden. In Tabelle 3.4 ist der Mineralbestand zusammengefasst abgebildet. Die Mineralogie konnte auch im Dünnschliff bestimmt werden und mittels der Gesamtmineralanalyse (GMA) bestätigt und quantifiziert werden (Abb. 3.13). Eine bevorzugte Orientierung bzw. Einregelung der Gesteinskörner oder Schersinnindikatoren konnten in keinem der drei Schliffe beobachtet werden. Die teilweise sehr dünnen ($<50\ \mu\text{m}$) Muskovite sind planar und wurden nicht durch äußere Einwirkun-

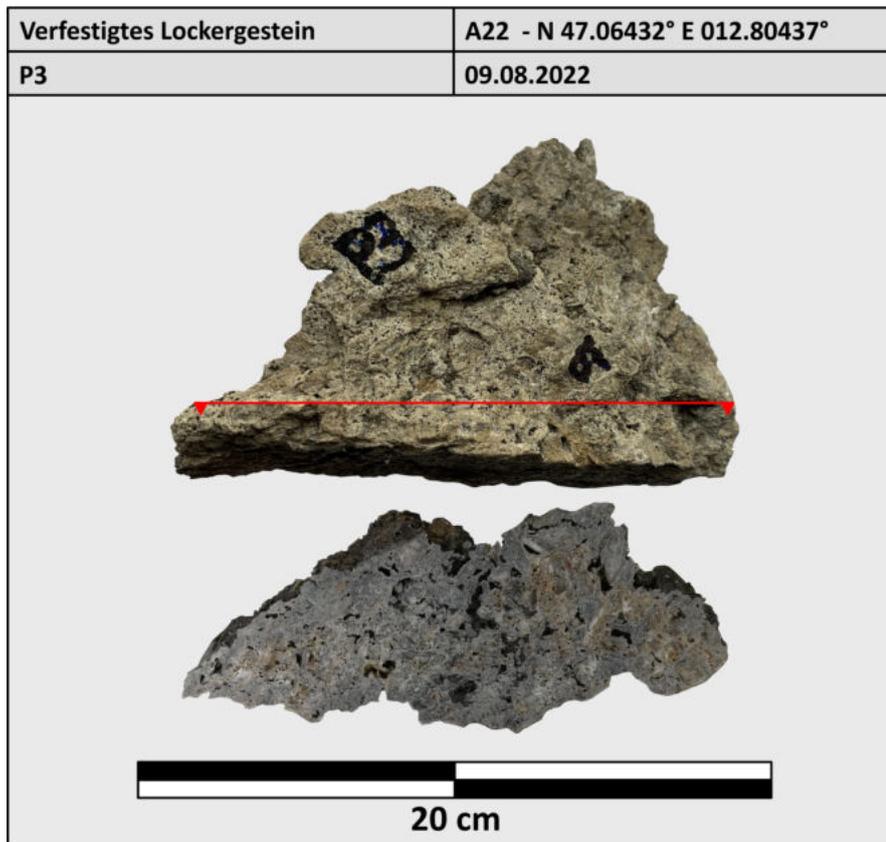


Abbildung 3.12.: Handstück P 3: "Kluftbrekzie" vom Aufschluss 22. Der Aufbau des Gesteins aus einzelnen Körnern und der große Porenanteil lassen sich makroskopisch gut erkennen.

gen gebogen.

Die Porosität konnte mit Hilfe der Schliffe auf ca. 22% abgeschätzt werden (P3 a \approx 30%, P3 b \approx 20%, P3 c \approx 15%). Festzuhalten ist, dass das Handstück rein visuell den Eindruck macht, als ob die Porosität insgesamt höher anzusetzen wäre.

Unter dem Mikroskop lassen sich teilweise einzelne lithische Fragmente erkennen, die, wie das Umgebungsgestein, eine ausgeprägte Schieferung zeigen. Die Körner, die eine solche Schieferung innerhalb des untersuchten Gesteins aufweisen, sind zueinander chaotisch angeordnet. Die einzelnen Körner lassen sich weder zusammensetzen, noch zeigt die Schieferung innerhalb der Körner eine ähnliche Orientierung. Die lithischen Fragmente erreichen eine Größe von bis zu ca. 2 cm.

Die Matrix besteht aus sehr feinem, zum Teil lagig gewachsenem, Kalzit. Um die Poren sind häufig idiomorph ausgeprägte Kalzitkristalle normal zur Oberfläche und in Richtung

3. Ergebnisse

des Porenraums gewachsen.

Um ein vollständiges Bild des Gesteins zu bekommen, wurden aus diesem drei Dünnschliffe hergestellt, die jeweils 90° zueinander orientiert sind. So sollten etwaige anisotrope Eigenschaften des Gesteins erkannt werden. Die Schliffe P3 a, P3 b und P3 c sind somit alle von derselben Probe P 3 und unterscheiden sich nur hinsichtlich ihrer Orientierung innerhalb der Probe.

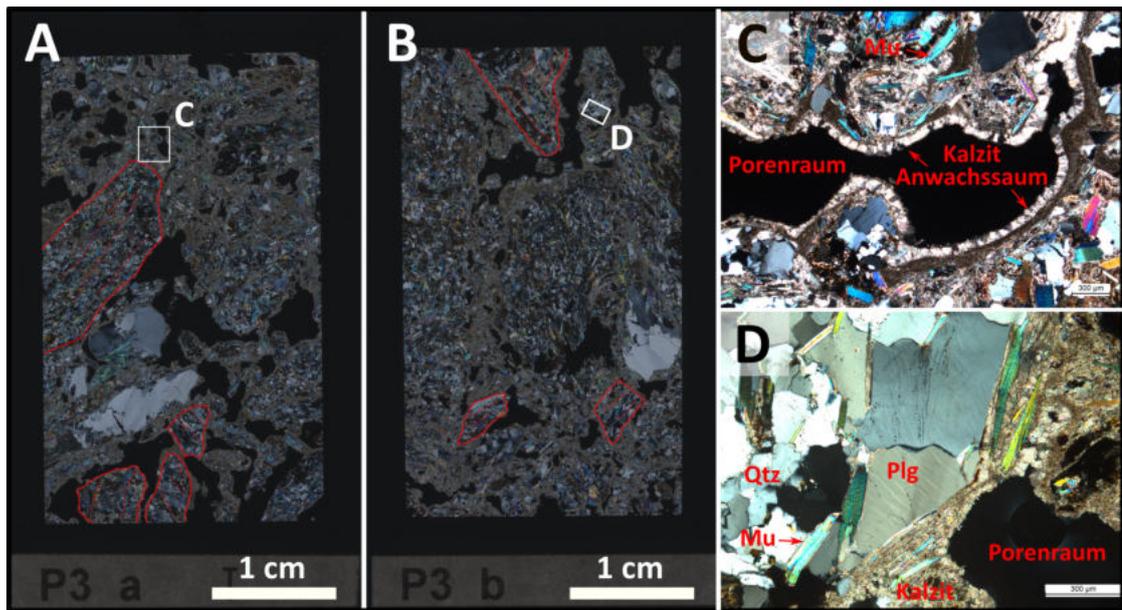


Abbildung 3.13.: Dünnschliffbilder der Probe P 3 unter gekreuzten Nicols. A) und B) sind Übersichtsbilder in denen mit roter Farbe die Umrisse und Schieferungsflächen der einzelnen Körner eingezeichnet wurden. C) zeigt eine Pore mit gerichtet gewachsenen Kalzitkristallen. D) veranschaulicht das grundlegende mineralogische Gefüge der Probe.

Mittels Gesamtmineralanalyse (GMA) aus der Probe P 3 des Granatglimmerschiefers konnten folgende, in Tabelle 3.4 aufgelisteten, Minerale nachgewiesen werden.

3.1. Lithologische Beschreibung

Mineral	Massenprozent
Quarz	33
Kalzit	31
Muskovit	16
Plagioklas	10
Chlorit	8
Paragonit	2

Tabelle 3.4.: Auflistung des Mineralbestands aus der pulverdiffraktometrischen Auswertung der Probe P 3.

3. Ergebnisse

3.1.2. Lockergesteine

Während der Kartierung wurden diverse Lockergesteine, wie z.B. eine Moräne, Hang- und Verwitterungsschutt sowie Blockschutt angetroffen. Im Folgenden findet sich eine Übersicht und Beschreibung der vorkommenden Lockergesteinsarten.

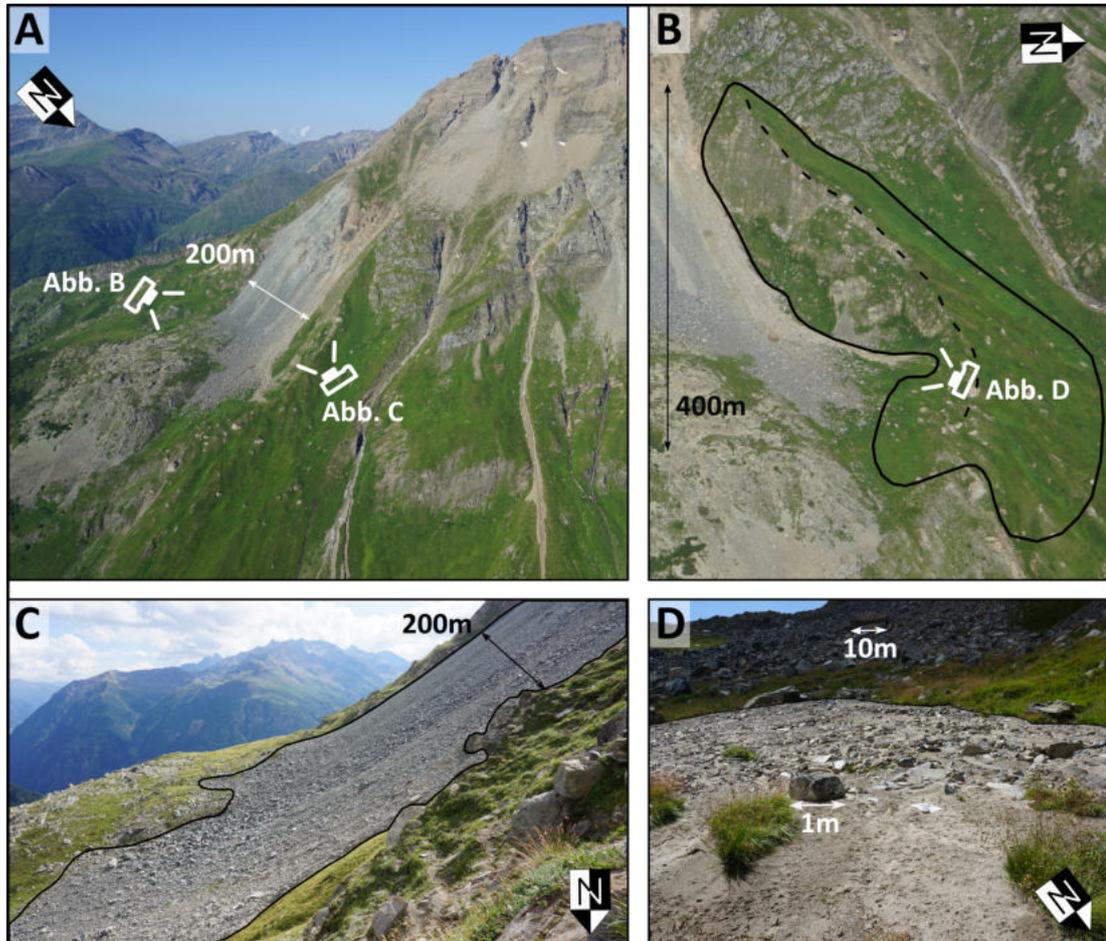


Abbildung 3.14.: A) Aufnahme aus dem Hubschrauber, die eine Übersicht der Nordostseite des Wasserradkopfs darstellt. Die Originalaufnahme stammt von Gerald Valentin, aufgenommen am 12.08.2020. Mit den Kamerasymbolen sind die Aufnahmeorte von B) und C) markiert. B) Übersicht vom Hubschrauber aus über die große Moräne. Das Kamerasymbol zeigt den Aufnahmeort von D). C) Hangschuttablagerungen aus Serpentin, die sich unterhalb eines Felsabbruchs aus Serpentin ausgebildet haben. D) Feinkörnige, horizontale Sedimente, die von größeren Blöcken überlagert werden.

Moräne

Die Moräne befindet sich am nordöstlichen Rand des Untersuchungsgebiets und reicht über ca. 250 Höhenmeter von ca. 2420 m ü.A. bis ca. 2170 m ü.A. Sie erstreckt sich dabei von Westen am oberen Ende nach Osten am unteren Ende und ragt bis zu ca. 40 m aus dem Gelände heraus. Die Nordseite der Moräne ist flacher und weist einen deutlich dichteren Bewuchs auf als die Südseite.

Der Gesteinsinhalt ist als polymikt zu charakterisieren. Die vorkommenden Lithologien stammen alle aus dem Umgebungsgebiet und umfassen hauptsächlich Kalkglimmerschiefer und Serpentin. Hinsichtlich der Korngröße besteht die Moräne aus einer sandig bis kiesigen Matrix, in der Blöcke von bis zu ca. 2 m eingelagert sind. Hervorstehende Felspartien könnten sich als noch größere Blöcke erweisen, oder als Härtlinge, die aus der Moräne hervorschauen. In Abbildung 3.14 A ist die NE-Seite der Felsgleitung abgebildet, in deren Zentrum die Moräne liegt. In Abbildung 3.14 B ist eine detailliertere Aufnahme zu sehen, auf der der Umriss der Moräne schwarz nachgezeichnet ist.

Hang- und Verwitterungsschutt

Unter steilen Felswänden sammeln sich häufig größere Hangschuttablagerungen. In Abbildung 3.14 A und 3.14 C ist einer dieser Schuttfächer exemplarisch dargestellt. Die einzelnen Komponenten sind sehr groß und erreichen einen Durchmesser von bis zu ca. 10 m. Korngrößen kleiner als Kies fehlen in den Sedimenten vollständig. Die Lithologie ist monomiktisch und entspricht derer des unmittelbar oberhalb angrenzenden Liefergebiets. Im Fall der Abbildung 3.14 C ist das Serpentin. Die eben beschriebenen Eigenschaften des Schutts aus Abbildung 3.14 lassen sich auf die anderen Hangschuttablagerungen im Untersuchungsgebiet übertragen.

Stillwassersedimente

An zwei Stellen im kartierten Gebiet wurden sehr feinkörnige Sedimente gefunden, die Geländevertiefungen horizontal verfüllt haben. In Abbildung 3.14 D ist eine dieser Stellen dargestellt. Im Vordergrund des Fotos sieht man die Stillwassersedimente, die von Silt- bis Sandgröße reichen und eine horizontale Ebene bilden. Daran anschließend weiter oben ist zu sehen, wie diese Sedimente von größeren Blöcken überlagert werden. Im Hintergrund sind die Ausläufer des Hangschutts aus Abbildung 3.14 C zu erkennen.

Blockschutt und Steinablagerungen

Über das gesamte Untersuchungsgebiet findet man bis zu ca. 10 m große Blöcke, die sich durch Sturzprozesse aus dem Felsverband gelöst haben. Ein eindrucksvolles Beispiel ist in Abbildung 3.15 zu sehen. Durch den Vergleich der digitalen Orthofotos aus den Jahren 2013/2015 (Orthofoto, 2015) und jenen vom 11.08.2018 (Orthofoto, 2018) lässt

3. Ergebnisse

sich der Felssturz mit ca. 100 m³ in diesen Zeitraum einordnen. Die Falllinie ist durch die entstandene Schneise im Wald bis heute noch gut zu erkennen.

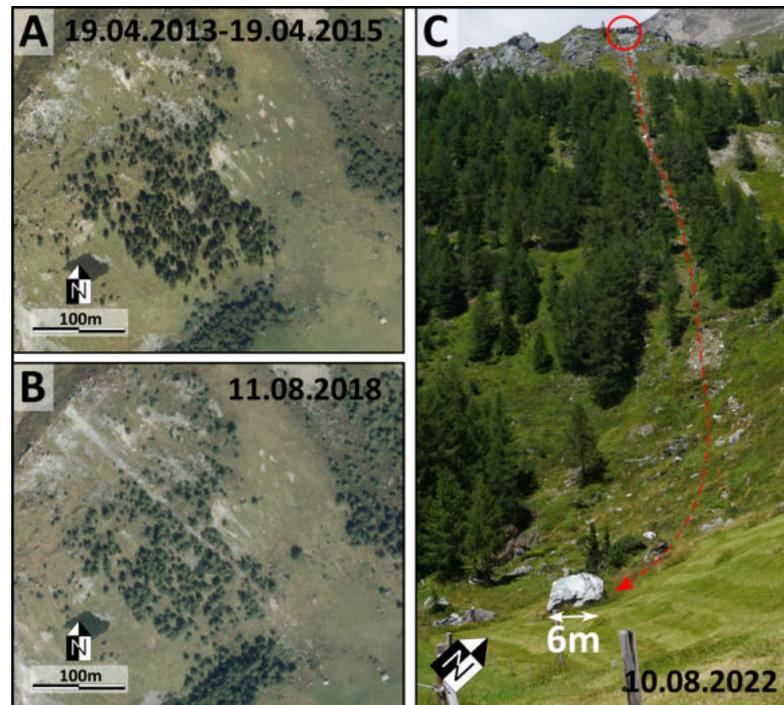


Abbildung 3.15.: A) Digitales Orthofoto aufgenommen zwischen dem 19.04.2013 und dem 19.04.2015 (Orthofoto, 2015), auf dem nur kleine, seichte Abrisse im NW des Aufnahme zu sehen sind und einige kleine gelöste Blöcke. B) Digitales Orthofoto vom 11.08.2018 (Orthofoto, 2015) auf dem deutlich eine Schneise durch den Wald erkennbar ist. C) Foto vom 10.08.2023. Der rote Kreis oben im Bild markiert die Stelle, an der sich der Block gelöst hat. Die gestrichelte Linie zeigt den Sturzweg des Blocks bis zum Stillstand.

3.2. Strukturgeologische Beschreibung

Der Fokus dieses Unterkapitels liegt auf der Beschreibung der spröden Strukturen, die im Zusammenhang mit der Felsgleitung stehen. Insgesamt wurden über das gesamte Kartierungsgebiet verteilt 331 strukturgeologische Messungen von Schieferungsflächen, Kluftflächen, Störungsflächen mit Striemungen, Adern (gefüllte Extensionsklüfte) und Scherzonen aufgenommen (Huet, 2020).

Die grafische Darstellung der Strukturdaten erfolgte in der flächentreuen Projektion in die untere Hemisphäre (Schmidt'sches Netz). Für eine übersichtliche Darstellung wurden die Flächen als Polpunkte abgebildet, sofern es der Anschaulichkeit hilft. Die Konturlinien folgen 3 Prozent Intervallen. Mittelwerte wurden mittels der Funktion "Bingham Axial Distribution" in Stereonet 11 berechnet (Allmendinger, 2011). Eine genaue Beschreibung der verwendeten Daten und Methodik ist in Kapitel 2 zu finden.

Alle im Arbeitsgebiet gemessenen Schieferungsflächen sind in Abbildung 3.16 dargestellt und fallen mit einem durchschnittlichen Wert von 191/32 ein. Die in Abbildung 3.16 dargestellten Schieferungsflächen wurden sowohl im Bereich der Felsgleitung selbst, als auch im umgebenden unbewegten Festgesteinen aufgenommen. Der allgemeine Trend und auch der berechnete Mittelwert (191/32) stimmt einigermaßen gut mit den Werten aus der geologischen Karte (Höck and Pestal, 1994) zusammen, die ein mittleres Einfallen mit etwa 30° nach SSE angibt. Aufgrund der ausgeprägten Schieferung der Gesteine (Abb. 3.2 und Abb. 3.5 in Kap. 3.1.1), sind diese leicht zu messen. Nur der Serpentin liegt im Kartierungsgebiet z.T. in massiger Ausprägung vor, sodass keine Schieferungsflächen erkennbar sind.

In Abbildung 3.17 sind die Schieferungsflächen innerhalb Felsgleitung und im unbewegten Festgestein gegenübergestellt. Die Einteilung was Teil der Felsgleitung ist, wird in den Kapiteln 3.3, 3.4 und 3.4 erklärt. Die Messwerte innerhalb der Felsgleitung zeigen eine deutlich größere Streuung als jene außerhalb der Felsgleitung. So reicht das 95%ige Konfidenzintervall um den Mittelwert der stabilen Bereiche von 3,8 bis 4,5 und für die instabilen Bereiche von 11,2 bis 16,9. Die mittleren Orientierungen der Schieferungsflächen im stabilen Bereich beträgt 187/23 (Abb. 3.17 A) und im instabilen Bereich 209/20 (Abb. 3.17 B). Der Raumwinkel zwischen den beiden mittleren Orientierungen entspricht 8,5°.

3. Ergebnisse

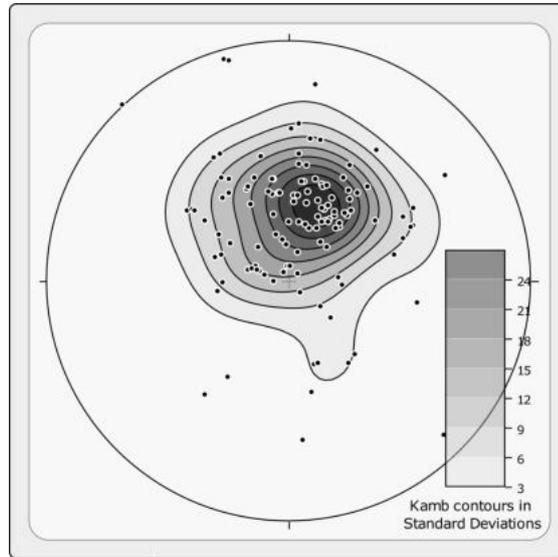


Abbildung 3.16.: Polpunkte aller gemessenen Schieferungsflächen. Im allgemeinen fallen die Schieferungsflächen mittelsteil nach SSW ein. N=122.

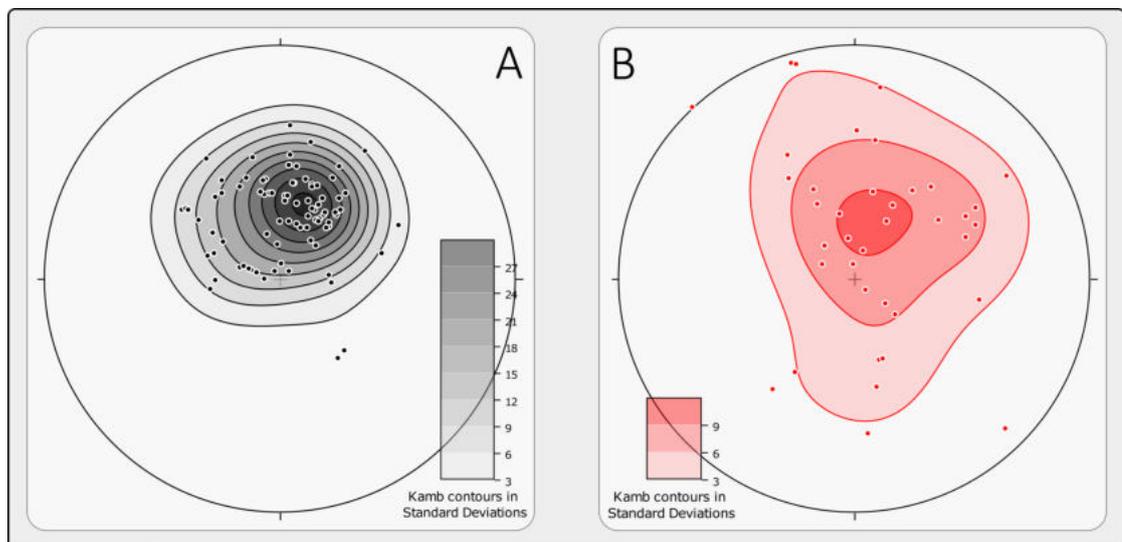


Abbildung 3.17.: Gegenüberstellung der Schieferungsflächen von stabilen Bereichen (A) (N=84) und der Felsgleitung (B) (N=38). Die mittleren Orientierungen der beiden Plots fallen zwar ähnlich moderat nach SSW ein, jedoch variieren die Messwerte von B) innerhalb der Felsgleitung deutlich mehr.

3.2. Strukturgeologische Beschreibung

In Abbildung 3.18 sind sämtliche aufgenommenen Kluftflächen geplottet. Aus der Darstellung lassen sich eindeutig zwei Kluftsets unterscheiden: Kluftset 1 (K 1) wird in Abbildung 3.19 A dargestellt und fällt im Mittelwert mit 127/88 ein. Das Kluftset 2 (K 2) aus Abbildung 3.19 B fällt im Mittelwert mit 025/84 ein. Die beiden Sets stehen sehr steil bzw. subvertikal und schließen einen Raumwinkel von $78,3^\circ$ ein.

Die Abbildung 3.20 zeigt den Aufschluss 12 im Kalkglimmerschiefer, in dem die beiden Kluftsets und die Schieferung eingezeichnet sind und deren mittlere Orientierung in diesem Aufschluss als stereographische Projektion.

Im Bezug auf die Felsgleitung lassen sich die Klüfte, wie zuvor auch die Schieferung, gut in einen bewegten und einen unbewegten Teil gliedern, der sich ebenfalls mit der Abgrenzung durch die InSAR Daten und die Beobachtungen der geomorphologischen Phänomene im Gelände deckt. Abbildung 3.21 A zeigt alle Klüfte im unbewegten Festgestein. Die beiden Kluftsets sind hier gut ausgeprägt und voneinander getrennt. Die Kluftflächen im Bereich der Felsgleitung streuen deutlich mehr (Abb. 3.21 B).

In den von der Bewegung stark beanspruchten Teilen der Felsgleitung folgt die Zerlegung des Gebirges den Klüften, die sich entsprechend den lokal wirkenden Spannungen öffnen.

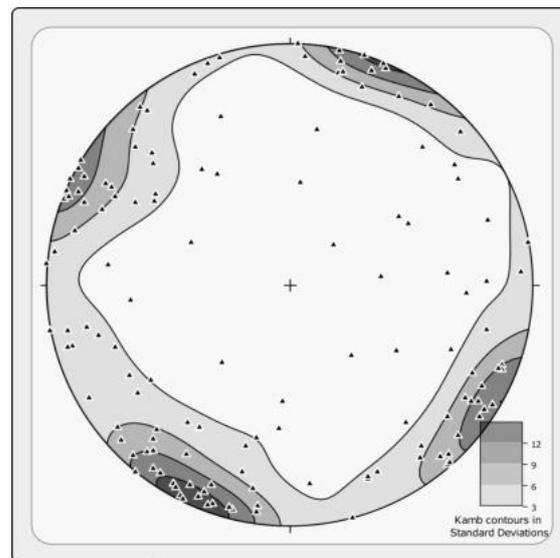


Abbildung 3.18.: Polpunkte aller aufgenommenen Kluftflächen mit zwei gut von einander separierten Sets. N=139.

Häufig treten im Serpentin (Kap. 3.1.1) mit Kalzit gefüllte Adern auf (Abb. 3.22), die eine mittlere Orientierung von 005/76 aufweisen und damit sub-parallel zum Kluftset K 2 (025/84, Abb. 3.19 B) orientiert sind. Im Kalkglimmerschiefer sind Adern zwar seltener

3. Ergebnisse

zu beobachten, können aber bis zu ca. 80 cm mächtig werden und bestehen durchwegs aus Quarz. Insbesondere im Gipfelbereich treten die Quarzadern öfters auf, werden relativ mächtig und streichen parallel zu der Störung 1. Bei dieser Störung handelt es sich um eine steil nach SE einfallende spröde Abschiebung, die gleichzeitig die Hauptabrisfläche im Gipfelbereich darstellt. Die Störung 1 wird gemeinsam mit weiteren maßgeblichen Störungen in diesem Kapitel noch ausführlicher behandelt. In Abbildung 3.24 C ist eine ca. 30 cm mächtige Quarzader bei Aufschluss 88 zu sehen, die eine Orientierung von 249/76 aufweist.

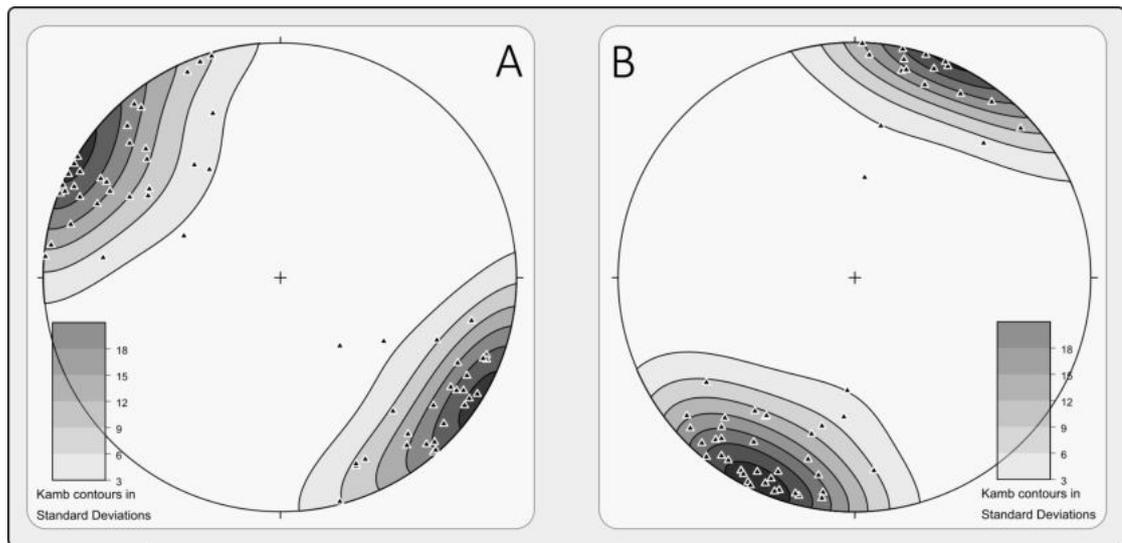


Abbildung 3.19.: In zwei Sets separierte Klüfte aus 3.18. A) Klüftset 1, das eine steil stehende, NE-SW streichende Orientierung mit einem Mittelwert von 307/88 aufweist (N=61). B) Klüftset 2, das ebenfalls steil steht aber WNW-ESE streicht und eine mittlere Orientierung von 205/06 aufweist (N=54).

Im kartierten Gebiet wurden 41 Störungsflächen bzw. -zonen mit Striemungen (Abb. 3.23) aufgenommen. Diese können in folgende drei Gruppen gegliedert werden: Störungen (sub-)parallel zur Schieferung, Störungen parallel zu K 1 und K 2 sowie N-S streichende Störungen

Die erste Gruppe (Abb. 3.23 B) ist (sub-)parallel zur Schieferung orientiert. Die Striemung dieser Störungen fallen flach bis mittelsteil ein. Wenn Schersinnindikatoren erkennbar sind, zeigen diese einen abschiebenden Charakter der Schieferungsparallelen Störungen an.

Die zweite Gruppe der Störungen kann zu den beiden Klüftsets K 1 und K 2 zugeordnet werden (Abb. 3.23 C). Die Striemung zeigt auf manchen Störungsflächen zusätzlich zum abschiebenden Trend auch eine horizontale Verschiebung an, jedoch ohne eine eindeutige Kinematik erkennen zu lassen.

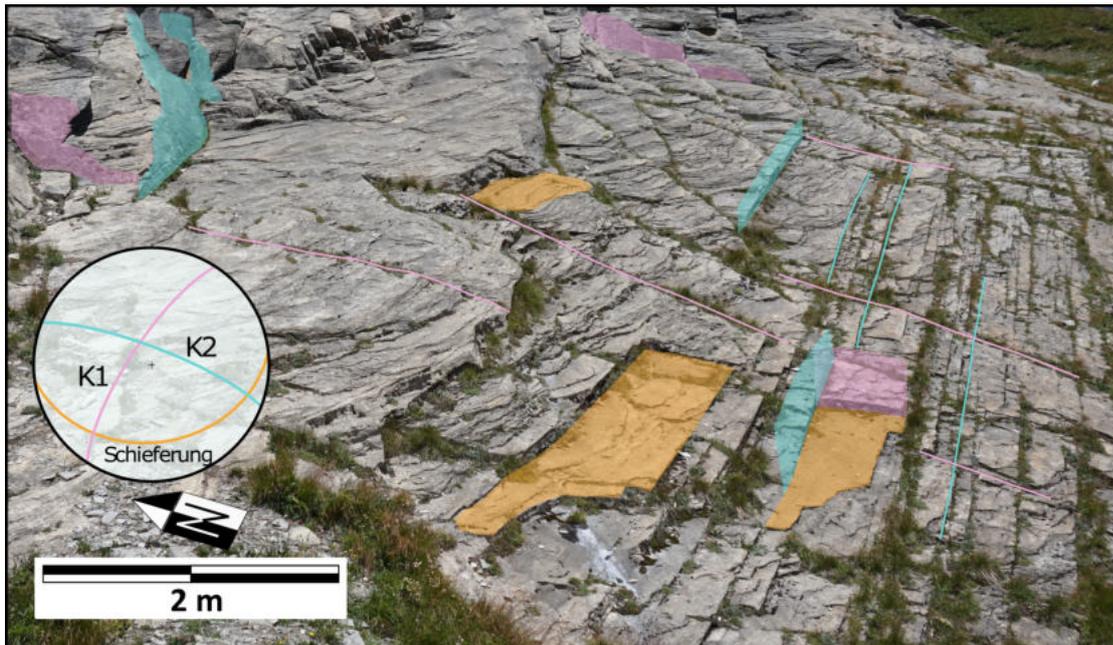


Abbildung 3.20.: Aufschluss 12 im Kalkglimmerschiefer. Die Schieferung ist in orange nachgezeichnet und fällt mit 173/34 ein. K 1 ist in rosa dargestellt und fällt mit 303/75 ein. K 2 wurde mit blau markiert und fällt mit 021/78 ein.

Die letzte Gruppe der Störungen umfasst ein N-S streichendes Störungssystem. Das erste Set fällt im Mittel mit 091/58 ein und das zweite Set fällt mit 262/43 ein. Der Raumwinkel zwischen den beiden mittleren Orientierungen beträgt somit ca. 79°.

Das Gebiet wird von drei größeren Störungen durchzogen, die auch für die Felsgleitung von großer Bedeutung sind. Die Störung nördlich des Gipfels, hinter der Abrisskante (Störung 1) fällt im Mittel mit 300/67 ein. Auf der Oberfläche sind kalzitische Harnischstriemungen zu sehen, die eine Orientierung von 326/45 aufweisen. Am Gipfelgrat ist die Störung deutlich ausgeprägt. Nach Osten hin verliert sie sich dann unter Hangschutt und Richtung Westen endet die Störung im Festgestein des Kalkglimmerschiefers. Abbildung 3.24 zeigt die Störung 1 am Gipfelgrat bei Aufschluss 87 und Störung 3 unmittelbar unterhalb der Großglockner Hochalpenstraße bei Aufschluss 80. Der Tabelle 3.5 können die mittleren Orientierungen sowie eine Klassifikation nach Anderson entnommen werden (Van der Pluijm and Marshak, 2004).

Störung 3 verläuft entlang der Lithologiegrenze zwischen Kalkglimmerschiefer im Hangenden und Serpentin im Liegenden. Die mittlere Orientierung der Störungsfläche ist 113/74 und jene der Harnischstriemung beträgt 033/43. Diese Störung ist nur bei Aufschluss 80 aufgeschlossen. Nach Nordosten hin kann die Störung nur aufgrund der

3. Ergebnisse

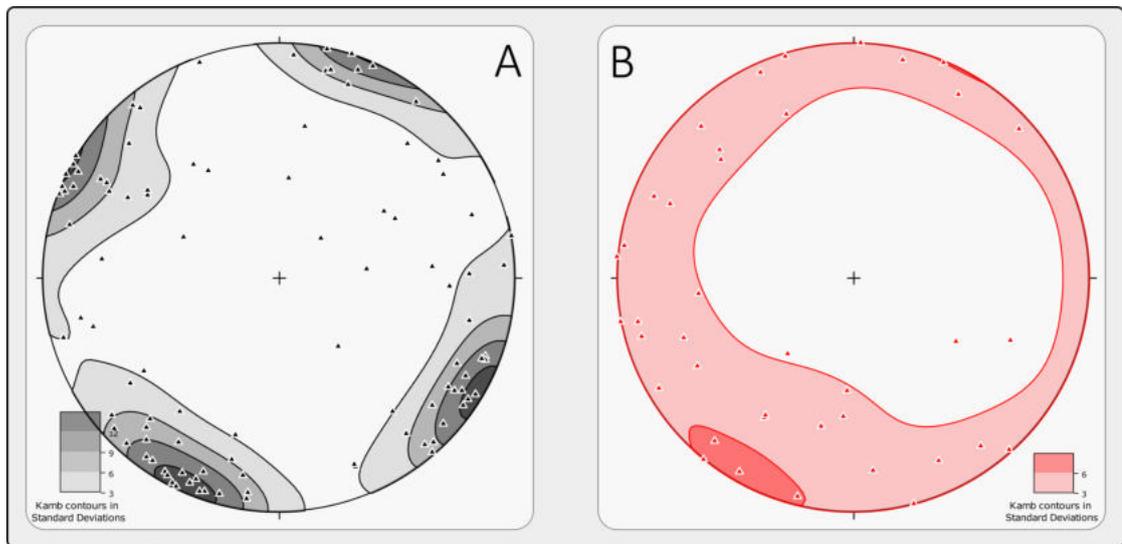


Abbildung 3.21.: Gegenüberstellung der Klüfte. A) Außerhalb der Felsgleitung, N=100 und B) innerhalb der Felsgleitung, N=39. Die Streuung der Messwerte innerhalb der Felsgleitung ist durch die Hangbewegung erwartungsgemäß deutlich höher.

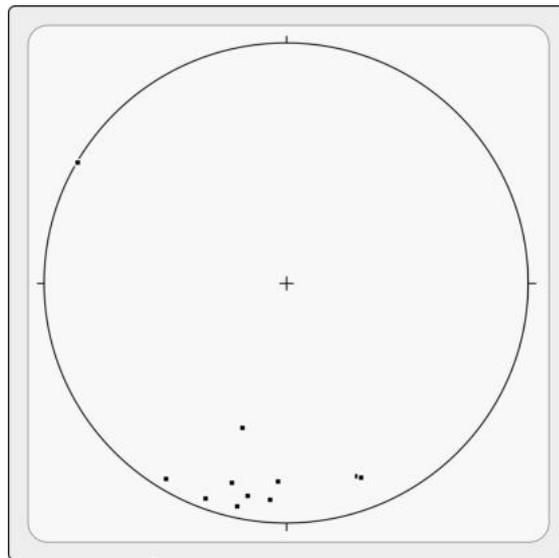


Abbildung 3.22.: Steil nach NNE einfallende Adern im Serpentin. N=11.

Lagebeziehung der Gesteine und der Geomorphologie vermutet werden. Es handelt sich um eine spröde Schrägabschiebung, die einen "fault gouge" ausbildet.

Die Störung 2 streicht von Süden nach Norden und bildet eine bis zu ca. 80 m hohe Fels-

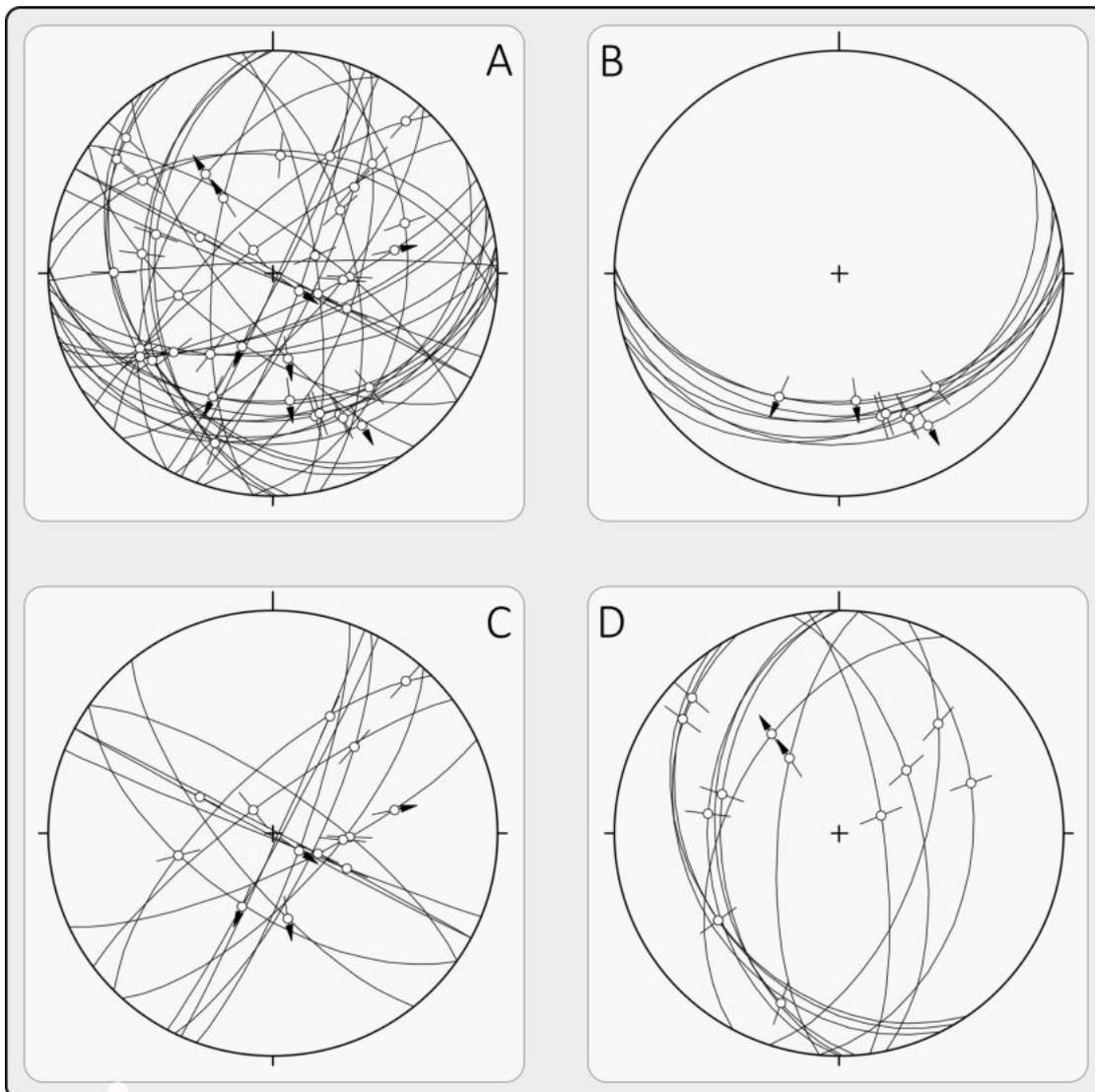


Abbildung 3.23.: A) Orientierung aller gemessenen Störungsflächen mit den korrigierten Linearen. N=41. B) Schieferungsparallele Störungen. N=8. C) Störungsflächen die eine ähnliche Orientierung haben wie die beiden Kluffsets. N=14. D) N-S streichendes konjugiertes Störungset. N=12.

wand, die mit ca. 70° nach Osten einfällt. Die in Kapitel 3.1.1 beschriebene Kluffbrekzie stammt von dieser Störung. Hierbei handelt es sich um eine Abschiebung. Störungsgesteine konnten keine dokumentiert werden. Die Störung 2 bildet eine ausgeprägte Topographie, welche die Felsgleitung seitlich in Richtung Westen scharf begrenzt.

Störung 1 ist (sub-)parallel zur Hauptabbrissfläche am Gipfel orientiert (Abb. 3.26). Der

3. Ergebnisse

Bezeichnung	Störung	Striemung	Anderson'sche Klassifikation
Störung 1	300/67	326/45	Abschiebung
Störung 2	090/70	-	Abschiebung
Störung 3	113/74	033/43	Schrägabschiebung

Tabelle 3.5.: Mittelwerte der 3 maßgebenden Störungen im Untersuchungsgebiet mit den mittleren Orientierungen und einer Klassifikation nach Anderson (Van der Pluijm and Marshak, 2004).

gesamte Gipfelbereich ist von kleinen Störungen durchzogen, die parallel zur eingemessenen Störung 1 orientiert sind. Ein Foto (Kap. 3.3, Abb. 3.26) lässt erahnen, dass die Abrissfläche von einer Störung gebildet wird und diese auch eine ähnlich Orientierung wie die Störung 1 hat, die im Gipfelbereich beobachtet wurde. Störung 1 ist als spröde Abschiebung zu klassifizieren.

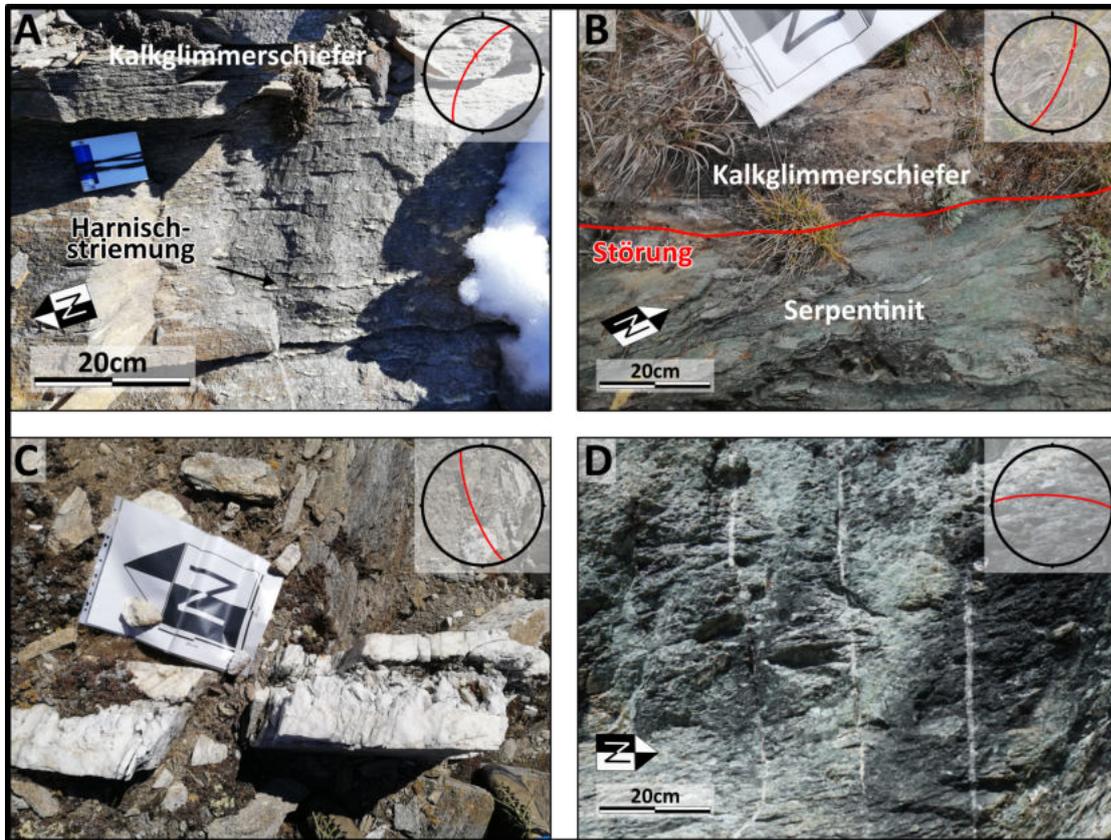


Abbildung 3.24.: A) Störung 1 bei Aufschluss 87 im Kalkglimmerschiefer. Die Störungsfläche hat eine mittlere Orientierung von 300/67 und die dazugehörige Harnischstriemung zeigt nach 326/45. Die kalzitischen Mineralfasern sind sehr gut ausgeprägt und lassen auf einen abschiebenden Charakter schließen. B) Störung 3 bei Aufschluss 80 an der Grenze von Kalkglimmerschiefer und Serpentin. Die mittlere Orientierung der Störungsfläche ist 113/74, jene der Harnischstriemung beträgt 033/43. C) Quarzader in Kalkglimmerschiefer bei Aufschluss 88 mit einer Orientierung von 249/76. D) Mehrere Kalzitadern im Serpentin bei Aufschluss 28 mit einer mittleren Orientierung von 003/76.

3.3. Beschreibung der geomorphologisch-geologischen Kartierung

Auf Grundlage der in Kapitel 3.1 und 3.2 erhobenen Geländedaten, wie der Lithologie und dem strukturgeologischen Inhalt, und deren Auswertung konnte eine geologisch-geomorphologische Karte ausgearbeitet werden, die in diesem Kapitel beschrieben wird. Die Karte ist im Appendix (A.5.) im Maßstab 1:10.000 angehängt. Eine detaillierte Beschreibung der Kartierung findet sich in Kapitel 2. In den allgemeinen Erklärungen zu Kapitel 3 ist die geologische Karte mit den beschriebenen Abbildungen eingefügt (Kap. 3.1).

Die Felsgleitung an der Südostseite des Wasserradkopfs erstreckt sich über eine Fläche von ca. 3 km². Begrenzt wird sie durch die Hauptabbrisskante auf ca. 2900 m ü.A., der Störung 2 im Westen (Kap. 3.2) und dem Guttalbach bzw. dem Modereck-Deckensystem im Osten. Die Ausdehnung der Felsgleitung reicht bis ins Mölltal auf eine Höhe von ca. 1300 m ü.A. Aufgrund der geringen Anzahl an Aufschlüsse unterhalb der Großglockner Hochalpenstraße, wurde die Kartierung auf den Bereich oberhalb der Großglockner Hochalpenstraße, die auf einer Höhe von ca. 1900 m ü.A. bis ca. 2000 m ü.A. die Felsgleitung quert, beschränkt.

Insgesamt wurden 97 Aufschlüsse aufgenommen, wobei die Position bestimmt, die Lithologie beschrieben und die Strukturen aufgenommen wurden. Eine tabellarische Übersicht aller Aufschlüsse und Messwerte findet sich im Appendix (A.1.).

Die Kalk- und Granatglimmerschiefer zeigen durchwegs ein sehr deutliches sekundäres planares Gefüge. Nur der Serpentinitt kann in manchen Teilen massig vorliegen, ansonsten hat auch dieser eine ausgeprägte Schieferung. Im Gipfelbereich zeigen die Schieferungsflächen ein flaches bis horizontales Einfallen (max. ca. 10°). Im restlichen Kartierungsgebiet außerhalb der Rutschung zeigt sich ein deutlicher Trend zu einem mittelsteilen Einfallen nach SSW. Die Daten innerhalb der Felsgleitung zeigen erwartungsgemäß eine deutlich größere Streuung als jene in den anstehenden Gesteinen.

Hinsichtlich duktiler Strukturen ist eine liegende Falte mit einer Faltenschenkel-Wellenlänge von zumindest 100 m unterhalb des 3032 m ü.A. hohen Gipfels des Wasserradkopfs erkennbar (Abb. 3.26). Diese war aber aufgrund des Maßstabs äußerst schwer messbar, sodass nur ungefähr abgeschätzte Orientierungen angegeben werden können. Dabei ist davon auszugehen, dass die Faltenachse ungefähr in Richtung Norden orientiert ist. Über das Einfallen der Faltenachse kann keine fundierte Aussage gemacht werden. Des Weiteren wurde ein spröde-duktil geformtes Boudin bei Aufschluss 65 eingemessen. Weitere duktile Strukturen, z.B. kleinmaßstäbliche parasitäre Falten, konnten entgegen den Erwartungen nicht gefunden werden.

Das kartierte Gebiet wurde in drei Zonen eingeteilt, welche in der Übersichtskarte (Abb.

3.3. Beschreibung der geomorphologisch-geologischen Kartierung

3.1) dargestellt sind. Zone I behandelt dabei das unbewegte Festgestein außerhalb der Felsgleitung, Zone II beschreibt die Felsgleitung selbst und in der Zone III geht es um die Lockergesteine im gesamten Arbeitsgebiet.

3.3.1. Zone I - Festgestein

Gipfel

Der Gipfelbereich (Abb. 3.26 A) des Wasserradkopfs besteht aus Kalkglimmerschiefer, der eine ausgeprägte, sehr flach einfallende (max. ca. 10° bei stark variierender Fallrichtung), engständige Schieferung im mm-Bereich aufweist. Unterhalb des Gipfels, d.h. ab einer Höhe von ca. 2850 m ü.A., wird die Schieferung steiler und fällt mit ca. 220/30 Richtung SW ein. Weiter westlich am Gipfelgrat des Wasserradkopfs findet sich eine wenige m mächtige Granatglimmerschieferlage. Auffallend sind die Abschiebungen (Störung 1), die NNW-SSE streichen und die subparallel dazu orientierten Quarzadern (249/76), die bis zu ca. 80 cm mächtig werden können (Abb. 3.24 C). Die Störung 1 besteht aus einer sehr markanten, mit Kalzitfasern bewachsenen Harnischfläche und mehreren kleinen Störungsflächen, die über den gesamten Gipfelbereich hinweg diffus auftreten.

Die Änderung der Orientierung der Schieferung vom Gipfel des Wasserradkopfs abwärts steht im Zusammenhang mit der Bildung einer Falte. Die Orientierung der Faltenachse konnte aufgrund des unwegsamen Geländes nicht direkt gemessen werden. Es kann aber über das zur Verfügung stehende Orthofoto aus dem Jahr 2018 von einer ungefähren Orientierung in Richtung Norden ausgegangen werden. Beide Faltenchenkel werden weiter südöstlich von jener Störung begrenzt, die auch die Gleitfläche der Felsgleitung im oberen Bereich bildet. Die Basis der Felsgleitung selbst folgt dabei nur bis ca. auf die Höhe der Faltenachsebene, d.h. ca. 2800 m ü.A., und zweigt anschließend von dieser in einem flacheren Verlauf von ca. 60° - 70° ab. Die basale Bruchfläche zeigt eine treppenförmige Geometrie der Gleitfläche, die in den steileren Passagen parallel zur Störung orientiert ist und in den flacheren Abschnitten parallel zur Schieferung ausgebildet ist.

Die Gleitmasse wird entlang von einer unebenen und gestuften basalen Bruchfläche begrenzt, die zu einer hohen internen Verformung und Zerlegung führt. Im weiter oben liegenden Bereich wirkt der Gesteinsverband noch sehr intakt. Die Schieferungsflächen sind erkennbar und werden nur durch einige Klüfte zerlegt. Daran anschließend folgt ein aktiverer und steilerer Teil, der auch als Ablösegebiet für den darunter liegenden Talus dient.

Störung 2

Diese topografiebildende Abschiebung streicht in einem leichten Linksbogen von S nach N und fällt mit ca. 70° nach E ein. Von der Großglockner Hochalpenstraße bis in etwa auf eine Höhe von ca. 2600 m ü.A. bildet die Störung die westliche Begrenzung der Felsgleitung. Bei dieser Abschiebung, bei Aufschluss 22, wurde auch die "Kluftbrekzie" gefunden (Kap. 3.1.1). Am südlichen Ende bildet die Störung eine bis zu ca. 200 m hohe Felswand aus,

3. Ergebnisse

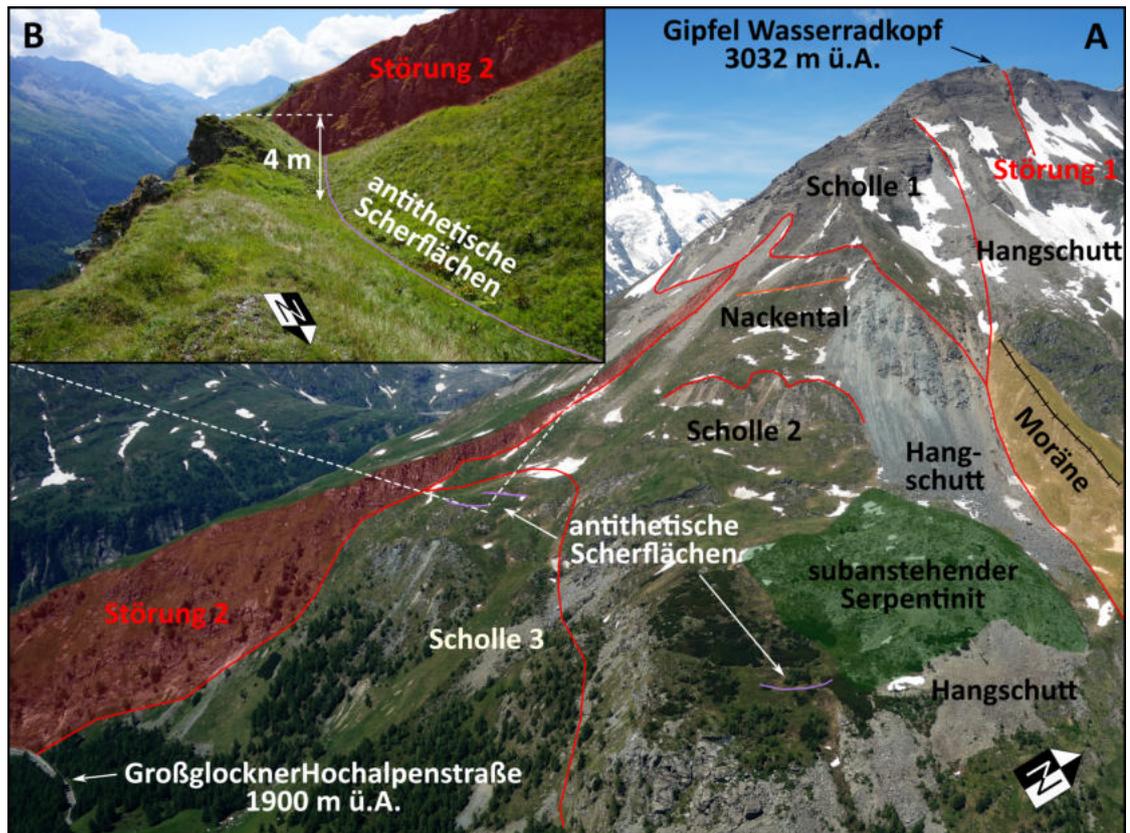


Abbildung 3.25.: A) Überblicksaufnahme der SE-Seite des Wasserradkopfs mit einigen geomorphologischen Anmerkungen. Die Bildunterkante entspricht ca. 800 m. B) Bild einer zu Tage tretenden antitethischen Scherfläche, die ein markantes Tälchen bildet.

die sich nach Norden hin verringert und auf einer Höhe von ca. 2600 m ü.A. ausläuft bzw. von Kalkglimmerschiefer-Hangschutt überlagert wird (Abb. 3.25).

3.3.2. Zone II - Felsgleitung

Hauptabrisskante



Abbildung 3.26.: A) Übersicht über den Gipfelbereich mit der Lithologie und den Strukturen eingezeichnet. Die Gleitmassen sind rot markiert. B) Parallel zu Störung 1 orientierte Störungsfläche, an der die Felsgleitung abrutscht. Die Originalaufnahme stammt von Gerald Valentin, aufgenommen am 07.08.2018 aus einem Hubschrauber.

Die Abrisskante der Felsgleitung beginnt am südfallenden Gipfelgrat des Wasserradkopfs auf einer Höhe von ca. 2970 m ü.A. und fällt mit ca. 70° Richtung SE ein. Die Abbildung 3.26 B zeigt den untersten Abschnitt der Abrissfläche (ca. 2900 m ü.A.), direkt am Kontakt mit der Gleitmasse. Die zu sehende Fläche weist eine meist ebene bzw. leicht wellige Oberfläche mit deutlich sichtbaren Linearen auf. Die Orientierung von ca. 140/70 stimmt mit der konjugierten Störung 1 (300/67 bzw. 120/60) am Gipfel gut überein. Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich die Abrissfläche der Felsgleitung im Gipfelbereich entlang einer Störungszone gebildet hat, da neben einer eher vertikal verlaufenden Striemung, die von der Gleitung selbst stammen könnte, auch flacher einfallende Lineare zu sehen sind.

Dieser Abschnitt war während der beiden Kartierungen 2022 aufgrund der akuten Stein-

3. Ergebnisse

schlaggefahr nicht direkt begehbar, weswegen keine konkreten Messwerte vorliegen.

Zerlegtes und aufgelockertes Gebirge der Felsgleitung

Dieser Teil schließt direkt an die Hauptabrisskante im höchstgelegenen Teil an (Abb. 3.5). Aufgrund der hohen Aktivität und der damit verbundenen Gefahr von Steinschlag, sowie dem unwegsamen Gelände konnten nur Aufschlüsse am Rand (Aufschlüsse 66, 91-93) direkt bearbeitet werden. Weitere Informationen wurden aus eigenen Drohnenaufnahmen, Bildern von Dritten, dem Laserscan aus dem Jahr 2018 (ALS, 2018) und dem Orthofoto aus dem Jahr 2018 (Orthofoto, 2018) entnommen.

In Abbildung 3.27 ist eine Drohnenaufnahme der stark zerlegten Gleitmasse zu sehen. Die beiden Kluffsets (K 1 307/88 und K 2 205/06) sind gut zu erkennen und zum Teil durch Extension bis zu ca. einem Meter weit geöffnet. Zudem zeigt das Deformationsbild, dass die Zerlegung des Gebirges entlang der Klüfte stattfindet. Ein planares Gleiten auf der Schieferungsfläche ist nur im Stirnbereich im rechten Teil der Abbildung zu beobachten. Die für diesen Versagensmechanismus notwendigen freien Flächen werden neben der Schieferung durch die beiden Kluffsets geschaffen.

Überschiebungsbereich

Einer der eindrucklichsten Bereiche der Felsgleitung befindet sich an deren Westrand auf einer Höhe zwischen ca. 2680 m ü.A. und ca. 2620 m ü.A. Hier ist der Kontakt zur Gleitung entlang einer sehr markanten Bruchfläche, die am westlichen Ende im anstehenden Festgestein des Kalkglimmerschiefers terminiert und sich am östlichen Ende direkt in den aufgelockerten Massen der Felsgleitung verliert (Abb. 3.28). Stark aufgelockerte, zerlegtes Gebirge der Felsgleitung überschiebt das anstehende Gebirge, wobei die Zerlegung zur Gleitung hin zunimmt.

Nackentäler

Nackentäler im allgemeinen konnten innerhalb der Felsgleitung häufig angetroffen werden. In Abbildung 3.29 sind deren Orientierungen in einem Rosendiagramm dargestellt. Dabei lassen sich zwei Richtungen unterscheiden: Die Schar 1 streicht NNE-SSW und die Schar 2 streicht ENE-WSW. Der Winkel zwischen den beiden Scharen beträgt ca. 35°. Auffallend ist, dass die Schar 1, die (NNE-SSW) streicht und Kluffset 1 das im Mittel mit 307/88 einfällt, parallel streichen. Die Schar 2 kann über die Orientierung keinen geologischen Strukturen zugeordnet werden. In Abbildung 3.25 B ist eine anitthetische Scherfläche mit einer Tiefe von vier Metern abgebildet. Die größten Nackentäler erstrecken sich über ca. 100 m und erreichen eine Tiefe von ca. 6 m. Bestimmte Nackentäler konnten aufgrund ihres Verschnitts mit der Oberfläche weiter differenziert werden und als antithetische Scherflächen bestimmt werden.

3.3. Beschreibung der geomorphologisch-geologischen Kartierung

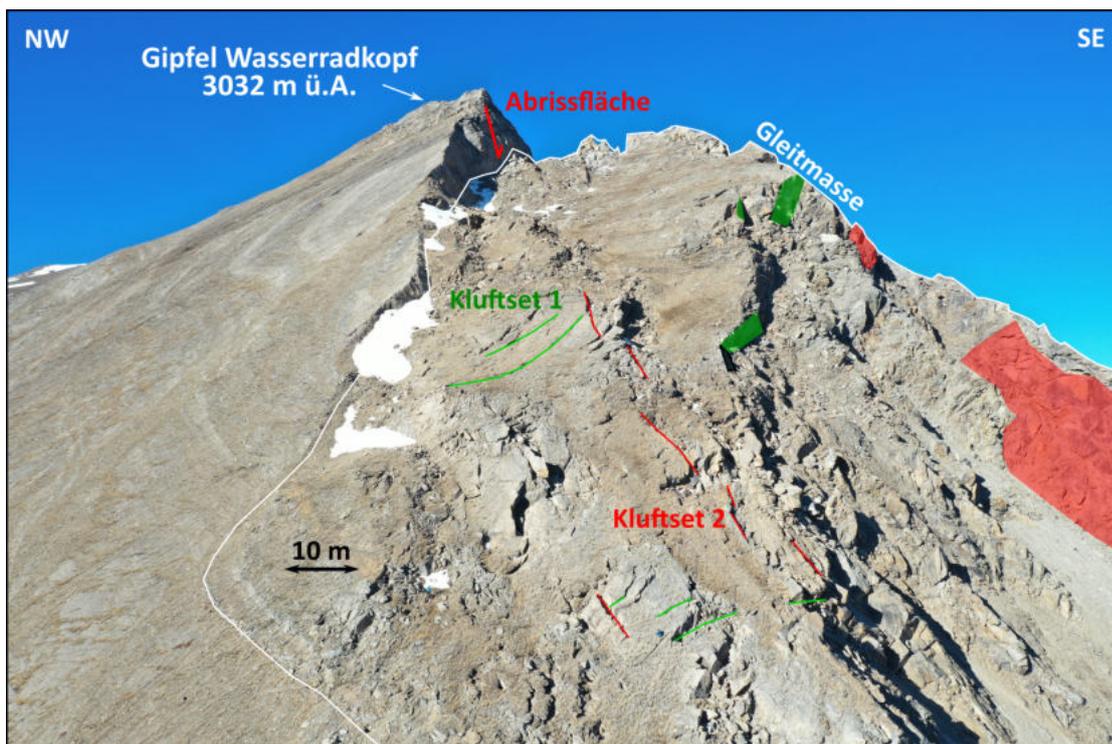


Abbildung 3.27.: Drohnenaufnahme vom 19.10.2022 des obersten Bereichs der Felsgleitung. Zu sehen sind aufgelockerte und entlang der Kluftflächen zerlegte Gleitmassen.

3. Ergebnisse

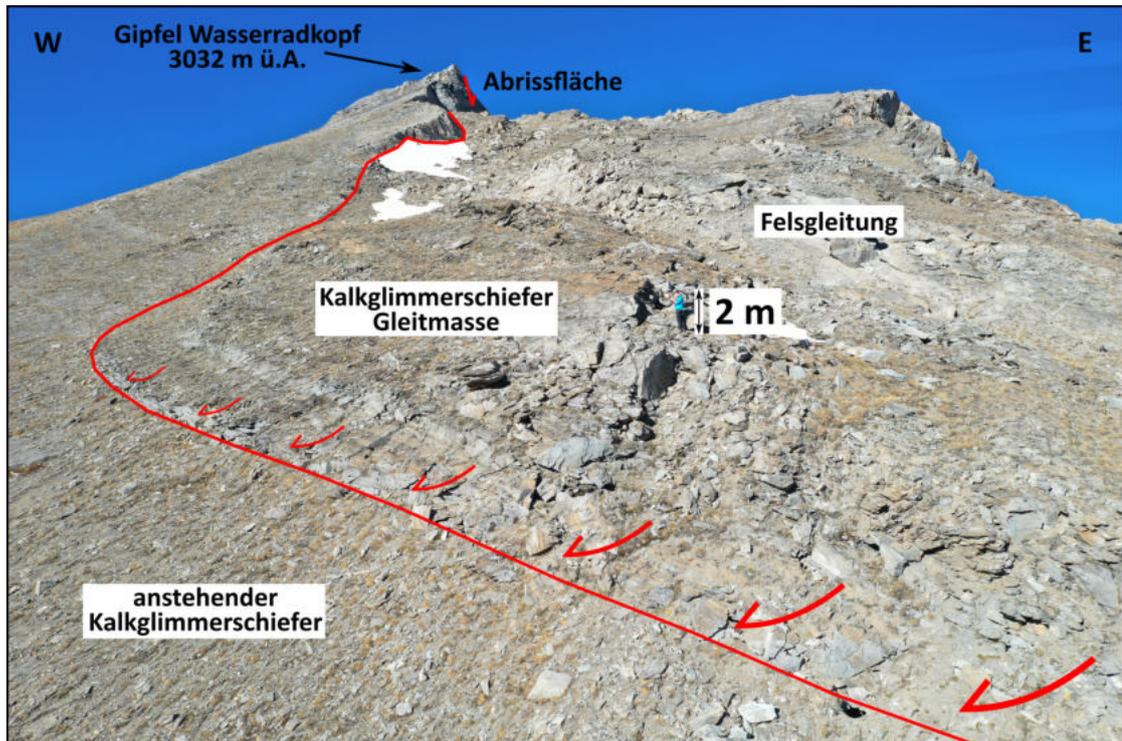


Abbildung 3.28.: Überschiebungsbereich am Westrand der Felsgleitung.

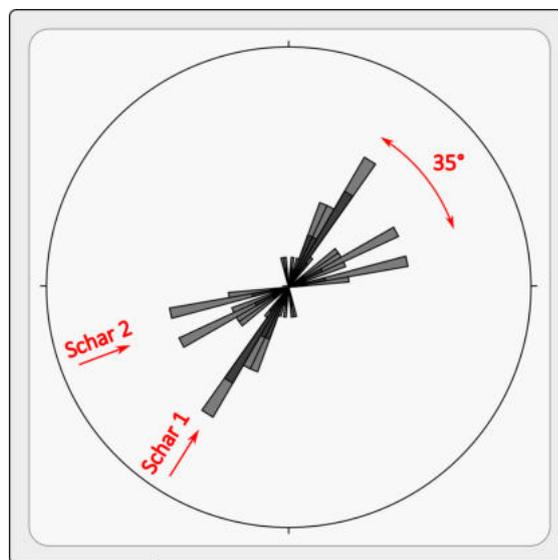


Abbildung 3.29.: Rosendiagramm der Orientierungen der Nackentäler. Es lassen sich zwei Scharen unterscheiden: Schar 1 streicht NNE-SSW, Schar 2 streicht ENE-WSW.

3.3.3. Zone III - Lockergesteine

Moräne

Am nördlichen Ende der Karte wurde eine große Moräne angetroffen, die sich über ca. 250 Höhenmeter erstreckt und bis zu ca. 40 m aus dem Gelände herausragt. Eine genaue Beschreibung erfolgte bereits im Kapitel 3.1.2, in dem sich auch mit der Abbildung 3.14 eine Darstellung findet.

Hang- und Verwitterungsschutt

Die Hang- und Verwitterungsschuttablagerungen finden sich mehr oder weniger unter allen steilen Felsabhängen. Eine Erklärung findet sich bereits in Kapitel 3.1.2, wo auch eine Abbildung (Abb. 3.14) zu sehen ist.

Schwemmfächer

Ein kleines Gerinne schüttet im Norden der Karte einen Schwemmfächer auf, der bis zum Guttalbach hinunter reicht. Während der Kartierung im Oktober 2022 war das Gerinne beinahe trockengefallen. Vier Quellaustritte mit einer gesamten Schüttung von ca. 5 - 10 l/s wurden bei Aufschluss 75 angetroffen. Oberhalb der Quellen war das Gerinne trocken. Bei Wasserführung wird es von den weiter oben liegenden großen Hangschutt-
ablagerungen gespeist, die wahrscheinlich auf anstehendem Kalkglimmerschiefer aufliegen. Oberhalb der Quelle konnte auch ein "fault gouge" angetroffen werden, der subparallel zur Schieferungsfläche orientiert ist und den Lithologiewechsel von Kalkglimmerschiefer im Liegenden und Serpentin im Hangenden markiert. Weitere Aussagen können aufgrund der schlechten Aufschlussituation nicht gemacht werden. Die Beobachtung, dass die lithologische Grenze als Störung ausgeprägt ist, passt zum größeren geologischen Setting von hochmetamorphen und stark tektonisch überprägten Gesteinen des Arbeitsgebiets.

Der Schwemmfächer selbst baut sich ab einer Höhe von ca. 2130 m ü.A. bis zum Guttalbach auf, wobei sich mehrere Generationen von Gerinnen erkennen lassen, die jeweils einen kleineren Teil des Schwemmfächers bilden. Der Schwemmfächer kommt gänzlich außerhalb der Felsgleitung zu liegen.

Blockschutt und Sturzblöcke

Innerhalb und außerhalb der Felsgleitung kommen immer wieder Blöcke mit einer Größe von bis zu ca. 10 m vor (Kap. 3.1.2).

3.4. Deformationsverhalten und Aktivität der Felsgleitung

Im gegenständlichen Kapitel sollen das Deformationsverhalten und die Aktivität der Felsgleitung genauer erläutert werden, um ein besseres Verständnis der vorherrschenden Prozesse zu erlangen. Die Ergebnisse in diesem Kapitel stützen sich auf die Erkenntnisse aus der Kartierung, der Auswertung von Orthofotos aus den Jahren 1999, 2003, 2006, 2012, 2015 und 2018, des luftgestützten Laserscans aus dem Jahr 2018, den historischen Aufzeichnungen, InSAR Daten, 3 Inklinometer und Verschiebemessungen.

3.4.1. Inklinometer- und tachymetrische Verschiebemessungen

Für die Auswertung des Deformationsverhaltens stehen unter anderem 3 Inklinometer-Messreihen (IK 1, IK 1-ALT und IK 3), durchgeführt vom Zivilingenieurbüro Dr. Peter Tschernutter, 9500 Villach, zur Verfügung (Tschernutter, 2021). Die Nullmessungen fanden am 06.05.2009 statt, die letzte Messung erfolgte am 25.05.2021. In diesem Zeitraum von 12 Jahren erfolgten jeweils 24 Folgemessungen, die meistens zweimal jährlich durchgeführt wurden. IK 1 ist auf dem beiliegenden Plan (Abb. 3.30) eingezeichnet und befindet sich westlich des Guttalbachs und somit innerhalb der Felsgleitung. Die Position von IK 1-ALT wurde leider nicht festgehalten, wobei aufgrund der ähnlichen Verschiebewerte wie IK 1 davon ausgegangen werden kann, dass er sich auch innerhalb der Felsgleitung befindet. IK 3 weist nur geringe Verschiebungen auf, was wegen der Lage östlich des Guttalbachs, außerhalb der Felsgleitung, so auch zu erwarten ist. IK 3 erreicht eine Tiefe von 40,0 m, IK 1 41,5 m und IK 1-ALT 50,0 m. Alle graphischen Darstellungen, aufbereitet durch das Ingenieurbüro Dr. Peter Tschernutter, sind im Appendix angehängt (Tschernutter, 2021). Die Genauigkeit der Inklinometermessungen wurde in den Unterlagen die zur Verfügung stehen nicht festgehalten.

Bei IK 3 wurde eine summierte Verschiebung in der A-Achse von ca. 10-15 mm über 12 Jahre an der Oberfläche gemessen, was ca. einem mm pro Jahr entspricht. In Richtung der B-Achse erreichen die Verschiebungen Werte von bis zu ca. 10 mm in die Richtung der negativen Achse und ca. 5 mm in die Richtung der positiven Achse. Die jährliche Bewegung in der B-Achse entspricht somit durchschnittlich weniger als einem mm Bewegung. Diese Messungen zeigen keinerlei tiefgründige Verformung in diesem Bereich an, zumal ein wesentlicher Teil der geringen Verformung in den obersten ca. 4 m unter GOK zustande kommt.

Bei IK 1 wurden deutlich größere Verschiebungen gemessen, als bei IK 3. Die A-Achse weist bei diesem Inklinometer eine Gesamtverschiebung von ca. 100 mm in den 12 Jahren zwischen 2009 und 2021 auf, was einer durchschnittlichen jährlichen Verschiebung von über 8 mm entspricht. Die Aufzeichnungen zeugen auch von einem deutlichen Sprung der Verschiebungen in einer Tiefe von ca. 37 m unter GOK. Dabei nimmt die Gesamtverschiebung innerhalb von ca. einem m um einen cm zu, was ca. 100% entspricht. In Richtung der B-Achse konnten Gesamtverschiebungen von bis zu knapp über 50 mm

3.4. Deformationsverhalten und Aktivität der Felsgleitung

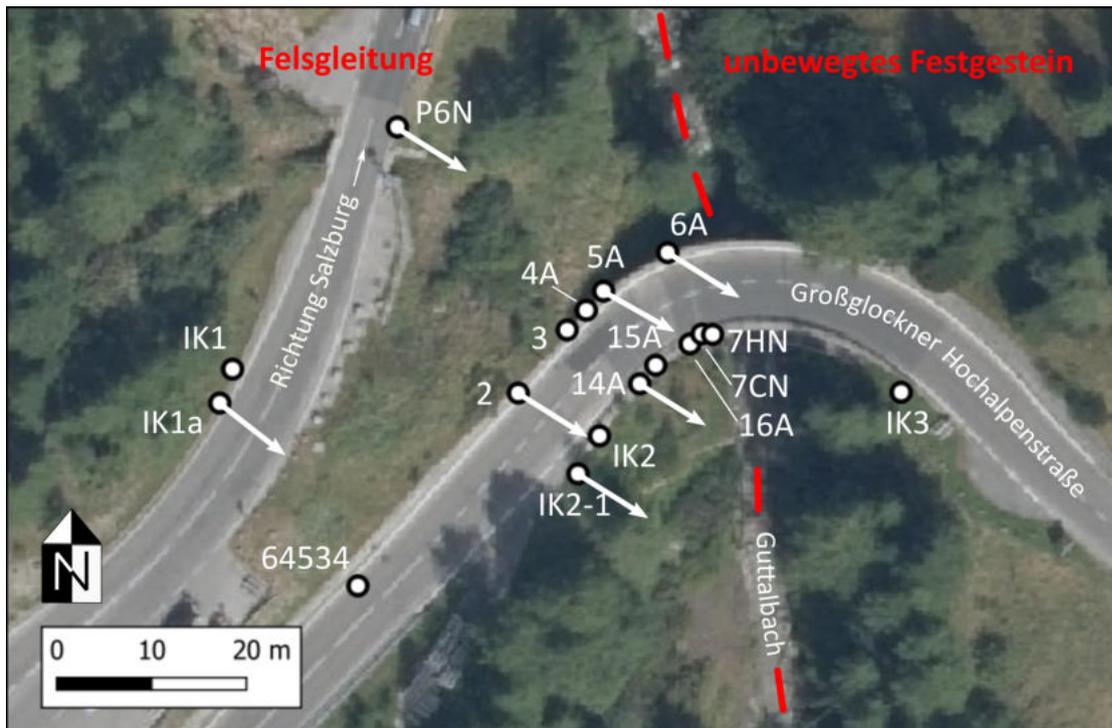


Abbildung 3.30.: Übersichtskarte der Messpunkte und Inklinometer im Umfeld der Guttalbrücke.

nachgewiesen werden, wobei ein beträchtlicher Teil in den obersten ca. 2 m zustande kommt. Eine klare Abgrenzung der Bewegung zur Basis hin, ist in dieser Achse nicht so eindeutig erkennbar wie in der A-Achse. Die unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten lassen sich ebenfalls nicht so einfach bestimmen, wie das in der A-Achse der Fall ist. Der horizontale Bewegungsvektor lässt sich über die beiden Verschiebungen in A- und B-Achse mit ca. 112 mm in 12 Jahren beziffern, sprich einer durchschnittlichen Bewegungsrate von knapp einem cm pro Jahr. Die Richtung dieses Vektor lässt sich aufgrund der fehlenden Einmessung der Inklinometer-Achsen nicht bestimmen.

IK 1-Alt weist mit ca. 155 mm Gesamtverschiebung in Richtung der A-Achse den größten Versatz der drei Inklinometer auf. Es lässt sich auch eine sehr scharfe Abgrenzung der Bewegungen zur Basis hin erkennen. Diese nehmen ab einer Tiefe von ca. 47 m sprunghaft zu, darunter weisen die Messungen bis in eine Tiefe von ca. 50 m keine Bewegung auf. Die basale Scherzone ist an der Stelle des Inklinometers IK 1-Alt dabei ca. einen m mächtig. Innerhalb der seichteren Bereichen des Inklinometers zeigen sich sehr unterschiedliche Bewegungsmuster. Die größte Verschiebung ist zwar an der Oberfläche messbar, dazwischen gibt es aber immer wieder einzelne Punkte die sich weniger bewegen als deren benachbarte Punkte weiter unten im Inklinometer.

In der B-Achse lässt sich keine eindeutige Abgrenzung nach unten hin vornehmen. Die

3. Ergebnisse

Verschiebungen nehmen ab einer Tiefe von ca. 50 m nach oben hin eher kontinuierlich zu, wenngleich im Bohrlochtiefsten, wie auch entlang der A-Achse, keine Bewegung registriert wurde. Die ungleichförmige Verformung in den bewegten Bereichen des Inklinometer kann in der B-Achse ebenso nachgewiesen werden, wobei sich die Punkte mit größeren bzw. kleineren Verformungen nicht immer exakt mit der A-Achse decken. Die Verschiebung in dieser Richtung erreicht bis zu ca. 35 mm. Dieser Höchstwert wird, anders als bei den bisherigen Inklinometern, nicht an der Oberfläche, sondern in einer Tiefe von ca. 7 m unter GOK erreicht. Ähnlich hohe Werte werden auch in einer Tiefe von ca. 16,5 m unter GOK und ca. 29 m unter GOK registriert.

Der horizontale Bewegungsvektor kann für dieses Inklinometer mit ca. 158 mm über 12 Jahre angegeben werden, was einer durchschnittlichen Bewegungsrate von ca. 13 mm pro Jahr entspricht.

3.4. Deformationsverhalten und Aktivität der Felsgleitung

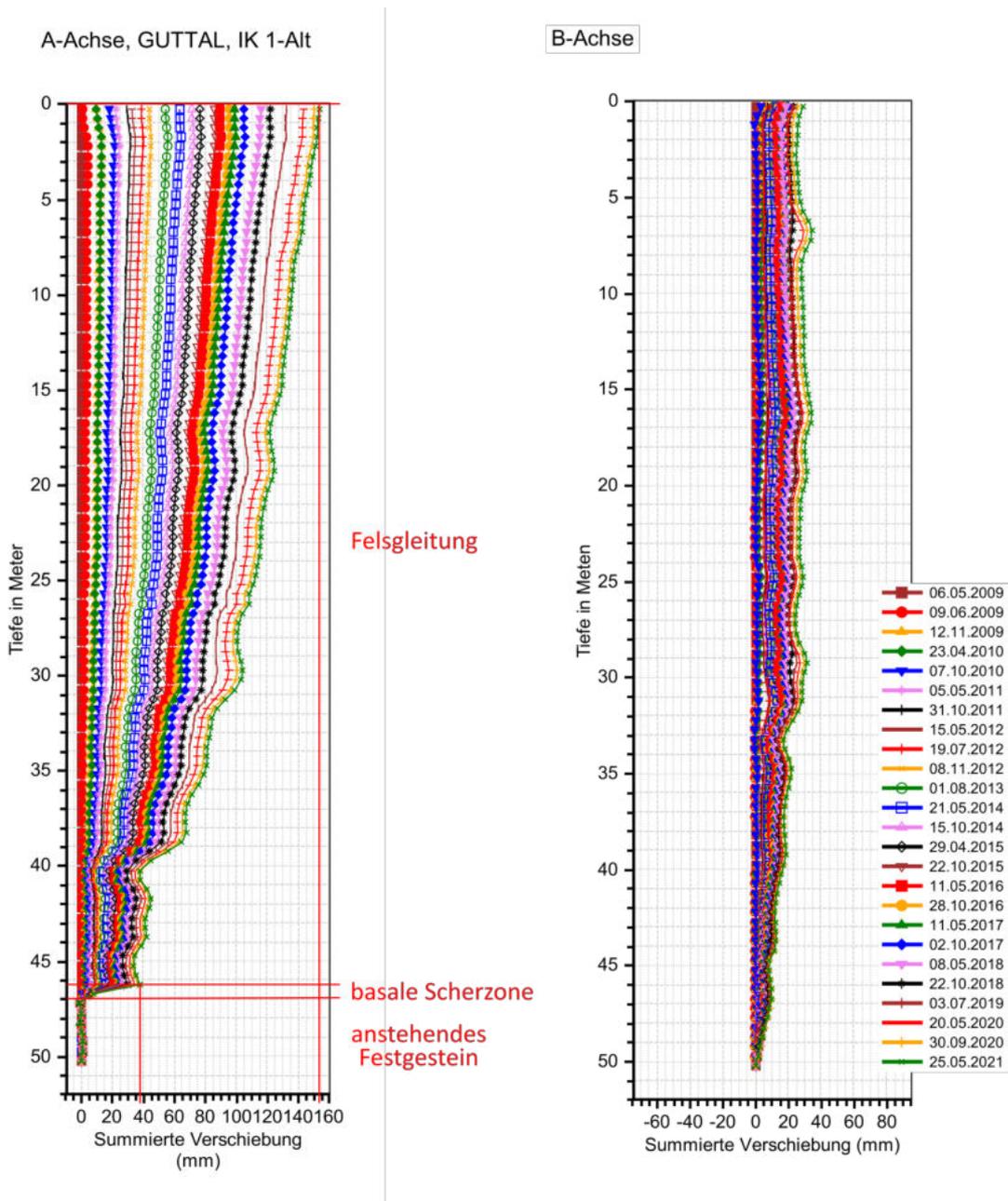


Abbildung 3.31.: Inclinometer IK1alt modifiziert nach Tschernutter (2021). Die basale Scherzone befindet sich in einer Tiefe von ca. 47 m unter GOK.

3. Ergebnisse

Neben den oben beschriebenen Inklinometern steht von Dipl.-Ing. Ronald Humitsch der Bericht Guttalbrücke, km 40,2, DEFORMATIONSBEOBACHTUNG 2021, 28. Folgemessung, mit Verschiebemessungen von insgesamt 30 Messpunkten zur Verfügung (Humitsch, 2021). Anschließend folgt eine Beschreibung der Ergebnisse dieser Messpunkte im Hinblick auf deren Bewegungsraten, Bewegungsrichtungen sowie der räumlichen Gesamtverschiebung. Die vollständigen Daten finden sich in Tabellenform im Appendix angehängt.

Für jeden Messpunkt (Abb. 3.30) gibt es mehrere Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten, wobei die längsten Messreihen bis in das Jahr 2002 zurückreichen. Bei jeder Messkampagne wurde die Verschiebung zu der vorherigen Messung und zu der Nullmessung notiert. Die Gesamtverschiebungen für jeden Messpunkt sind in Richtung y , x und h entlang den drei Raumrichtungen für die Dauer der Messreihe gegeben. Wobei y die Verschiebung in N-S Richtung, x die Verschiebung in E-W Richtung und h die Verschiebung in der Vertikalen darstellen. Über diese Vektoren ist es möglich mittels der Formel

$$u = \sqrt{y^2 + x^2 + h^2} \quad (3.1)$$

den Betrag des resultierenden Raumvektors (3D), mit der Formel

$$\beta = \cos \left(\frac{\sqrt{y^2 + x^2}}{u} \right) \quad (3.2)$$

das Einfallen des Raumvektors zur Horizontalen und mit der Formel

$$\alpha = 90 + \left| \tan \left(\frac{x}{y} \right) \right| \quad (3.3)$$

den Azimuth des Raumvektors zu bestimmen.

In der unten angeführten Tabelle 3.6 sind die berechneten Ergebnisse zusammengefasst, die für die Bewertung dienlich sind. Die Orientierung der Bewegungsvektoren sind zusätzlich in einem Schmidt'schen Netz (Abb. 3.32) dargestellt.

Der Azimuth der Verschiebungsvektoren variiert zwischen ca. 120° und ca. 136° , was einer recht einheitlichen Fallrichtung gegen Südosten entspricht. Der Fallwinkel nimmt Werte zwischen ca. 1° und ca. 11° an. Die Messreihe des Punktes 64534, der einen sehr

3.4. Deformationsverhalten und Aktivität der Felsgleitung

Messpunkt	1. Messung	28. Messung	3D Verschiebung (u) [mm]	Neigung (β) [°]	Azimuth (α) [°]	Verschiebungsrate [mm/a]
14A	24.07.2002	21.05.2021	442	6,6	131,1	23
15A	24.07.2002	21.05.2021	440	7,1	132,9	23
16A	24.07.2002	21.05.2021	457	6,3	133,6	24
4A	24.07.2002	21.05.2021	442	8,2	132,6	23
5A	24.07.2002	21.05.2021	454	9,1	127,8	24
6A	24.07.2002	21.05.2021	492	11,3	129,5	26
7CN	29.04.2015	21.05.2021	138	4,1	119,5	23
7HN	29.04.2015	21.05.2021	139	7,0	123,5	23
IK1a	09.06.2009	21.05.2021	374	8,3	135,5	31
IK2-1	09.06.2009	21.05.2021	361	1,4	129,9	30
P11	09.06.2009	21.05.2021	414	2,2	135,9	35
P21	09.06.2009	21.05.2021	336	5,1	130,6	28
P104	09.06.2009	21.05.2021	432	6,4	134,3	36
P6N	25.07.2013	21.05.2021	210	6,9	129,7	26
2	24.07.2002	21.05.2021	490	3,2	129,8	26
3	24.07.2002	21.05.2021	444	6,1	132,1	23
13	24.07.2002	21.05.2021	506	2,8	132,1	42
64534	27.09.2019	21.05.2021	51	1,1	133,4	31

Tabelle 3.6.: Auswertung der Verschiebungen von 18 Messpunkten im Umfeld der Guttalbrücke. Lage siehe 3.30.



Abbildung 3.32.: Bewegungsvektoren der Messpunkte im Umfeld der Guttalbrücke im Schmidt'schen Netz. Die Mittlere Orientierung kann mit 131/06 angegeben werden.

flachen Fallwinkel von ca. 1° aufweist, erfolgte nur über einen Zeitraum von weniger als zwei Jahren, wodurch die Datenlage ungenügend ist.

Festzuhalten ist, dass die Inklinometerdaten wahrscheinlich nicht korrigiert wurden, wodurch sich während der 28 Messungen zwischen 2009 und 2021 ein beträchtlicher systematischer Fehler angehäuften könnte (Mikkelsen, 2003). Dadurch kann auch die

3. Ergebnisse

Diskrepanz zwischen den Verschiebungen an der Oberfläche und jenen der Inklinometer erklärt werden.

3.4.2. Radarinterferometrie Analyse (InSAR)

Im weiter oben gelegenen Bereich der Felsgleitung stehen keine Inklinometer oder Verschiebungsmessungen zur Verfügung. Hier muss auf InSAR Daten des Landes Salzburg und Orthofotos aus den Jahren 1999, 2003, 2006, 2012, und 2018 zurückgegriffen werden. Dazu gibt es frei verfügbare Daten, die über SAGIS (SAGIS, 2022) abgerufen werden können und in Dörfler et al. (2022) erklärt werden.

Die über SAGIS zugänglichen Daten wurden mit dem SqueeSAR Algorithmus generiert. Werden höhere Geschwindigkeiten, wie im Abrissbereich unterhalb des Gipfelgrats des Wasserradkopfs erreicht, muss auf den FASTVEL Algorithmus zurückgegriffen werden (Ferretti et al., 2011). Eine detaillierte Beschreibung wie diese Methodik funktioniert kann in Kapitel 2.2 nachgelesen werden.

Die InSAR Daten aus dem obersten Teil der Felsgleitung ergeben Bewegungen von bis zu ca. 40 cm/a. Hierbei handelt es sich um den Abschnitt von der Hauptabbrisskante auf ca. 2900 m ü.A. abwärts bis auf eine Höhe von ca. 2600 m ü.A. über die gesamte Breite der Felsgleitung. Weiter unten zwischen ca. 2400 m ü.A. und ca. 2000 m ü.A. werden Geschwindigkeiten von ca. 10 cm/a erreicht. In Abbildung 3.33 sind diese Ergebnisse der Analyse mittels FASTVEL Algorithmus und auch die Ergebnisse mittels SqueeSAR Algorithmus zu sehen (Dörfler et al., 2022). Die Bereiche, die grün sind, weisen keine oder nur eine sehr geringe Bewegung bis max. ca. 2 cm/a auf. Im unbewegten Festgestein werden dabei keine Bewegungen registriert. Diese Abgrenzung der Felsgleitung zu den umliegenden anstehenden Gesteinen deckt sich mit den Erkenntnissen aus der Kartierung und der Verbreitung von geomorphologischen Strukturen die im Zusammenhang mit der Felsgleitung stehen, wie z.B. Nackentäler. Zusätzlich passen die Überlegungen auch mit der Einordnung des strukturgeologischen Inventars in instabile Bereiche mit großer Streuung der Daten und unbewegte Bereiche mit geringer Streuung der Daten. Die InSAR Daten unterstützen auch die Befunde aus Kapitel 3.3, wo im Westen der Felsgleitung von einem sogenannten "Überschiebungsbereich" die Rede ist. Dabei konnte während der Kartierung beobachtet werden, dass die basale Scherzone hier auskeilt und an die Oberfläche tritt, wodurch die Felsgleitung das unbewegte Festgestein überschiebt. Die Bewegungsmessungen der InSAR Analyse weisen für diesen Bereich ebenfalls entsprechend höhere Geschwindigkeiten von bis zu ca. 10 cm/a aus. In weitere Folge verläuft die Westgrenze der Felsgleitung entlang der Störung 2 nach SE.

Überraschend ist, dass unmittelbar unterhalb der Hauptabbrisskante unterhalb des Gipfelgrats des Wasserradkopfs keine Bewegungen aus den InSAR Daten ablesbar sind. Direkt daran angrenzend im SE werden aber Bewegungen von ca. 40 cm/a angegeben, obwohl beide Abschnitte in der Kartierung als Teil der Felsgleitung ausgewiesen wurden.

3.4. Deformationsverhalten und Aktivität der Felsgleitung

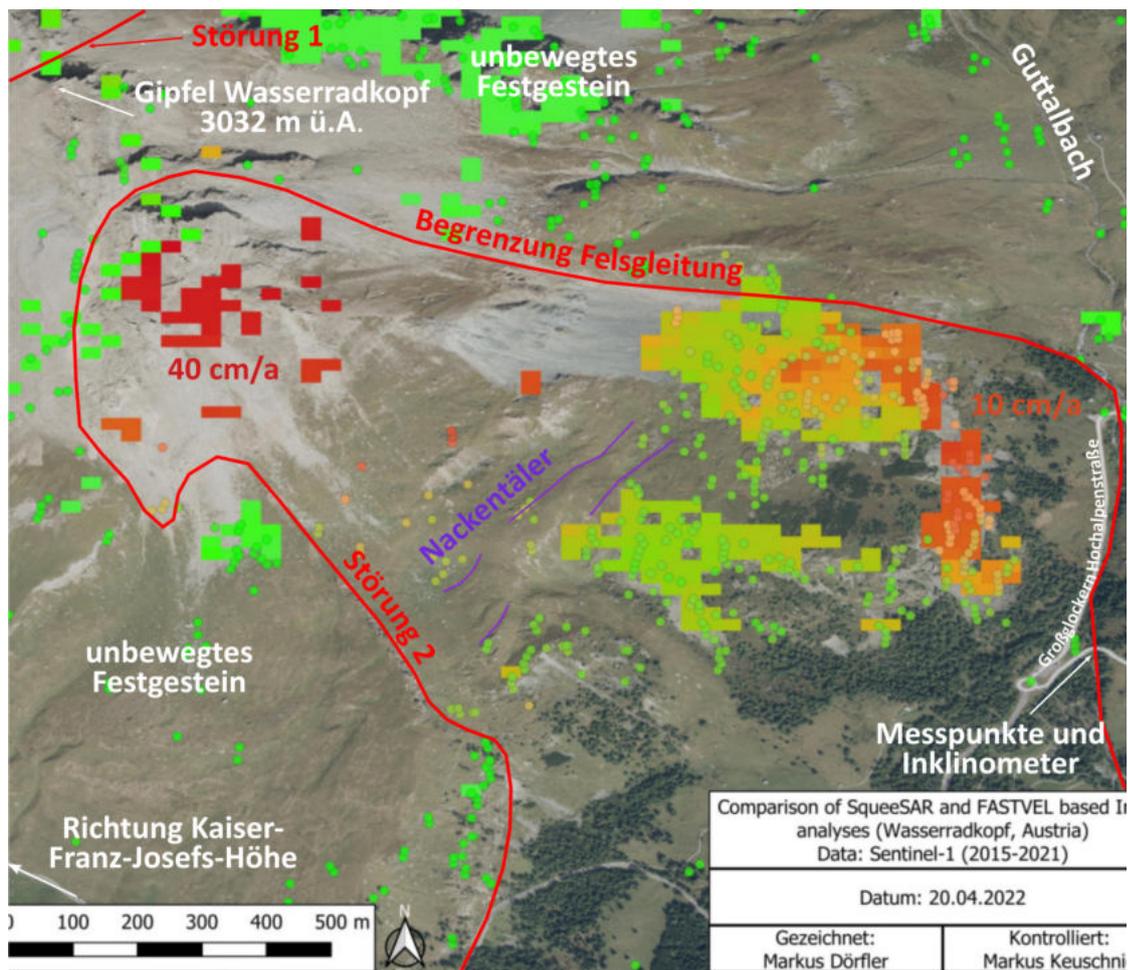


Abbildung 3.33.: Mittels InSAR generierte Bewegungsraten für den gesamten Bereich oberhalb der Großglockner Hochalpenstraße für den Zeitraum zwischen 2015 und 2021 (Dörfler et al., 2022).

Im zentralen Bereich der Felsgleitung von ca. 2400 m ü.A. bis knapp oberhalb der Großglockner Hochalpenstraße auf einer Höhe von ca. 2000 m ü.A. sind keine so hohen Bewegungen wie im oberen Abschnitt festzustellen. Die Felsgleitung erreicht hier laut den InSAR Analyse eine Geschwindigkeit von max. ca 10 cm/a.

In Abbildung 3.34A ist die Auswertung mittels SqueeSAR Algorithmus direkt von der Webseite des Landes Salzburg zu sehen (Salzburg, 2022). Im Bereich unterhalb des Gipfels sind keine Messwerte vorhanden, da dieser Algorithmus die hier sehr hohen Geschwindigkeiten nicht verarbeiten kann. Im etwas weiter unten gelegenen Teil zeigt die Auswertung Bewegungen von ca. 2,5 cm/a. Die generelle Begrenzung der Felsgleitung deckt sich mit den oben beschriebenen InSAR Daten aus der Abbildung 3.33 und somit auch wiederum

3. Ergebnisse

mit den kartierten Grenzen.

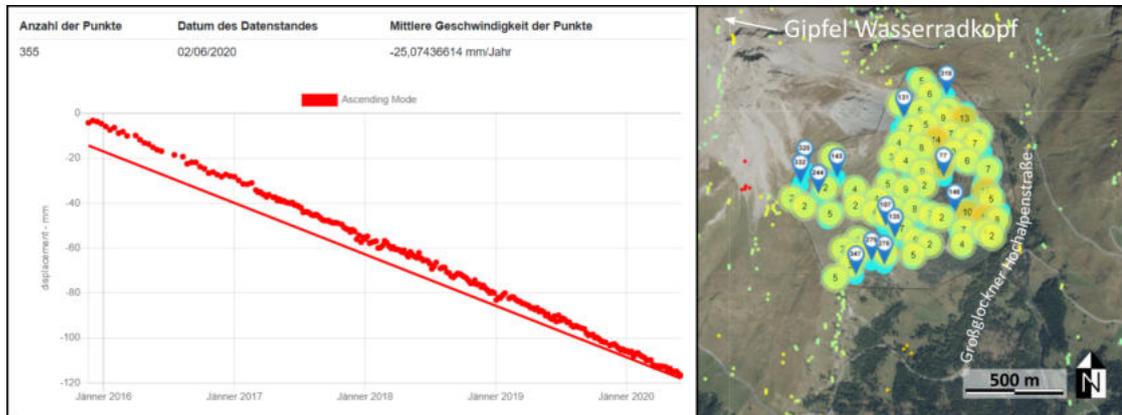


Abbildung 3.34.: Mittels InSAR generierte Bewegungsraten für den mittleren Bereich oberhalb der Großglockner Hochalpenstraße für den Zeitraum zwischen 2015 und 2021. Diese Auswertung stammt direkt von der Webseite des Landes Salzburg (SAGIS, 2022).

Die Bereiche welche bei der Kartierung im Gelände als stabil befunden wurden, decken sich auch mit den Ergebnissen der INSAR Daten. Die Abgrenzung gestaltet sich in den vegetationsreichen Teilen weiter unten jedoch sowohl im Gelände als auch mittels InSAR schwierig.

3.4.3. Auswertung multitemporaler Orthofotos

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Daten gibt es auch Orthofotos des Gebiets aus den Jahren 1999, 2003, 2006, 2012, 2015 und 2018. Über den Abgleich der Aufnahmen, lassen sich ebenfalls Aussagen über die Deformation und Aktivität der Felsgleitung treffen. In Abbildung 3.35 ist der exakt selbe Ausschnitt zu sechs unterschiedlichen Zeitpunkten (1999, 2003, 2006, 2012, 2015 und 2018) unmittelbar unter der Hauptabbrisskante zu sehen. Auf den Aufnahmen wurden markante und gut erkennbare geologische und geomorphologische Strukturen eingezeichnet, um deren Veränderung im Laufe der Zeit nachvollziehen zu können. Die Aufnahme aus dem Jahr 1999 weist eine zu geringe Auflösung auf, um genaue Aussagen über die Lage von markanten Strukturen treffen zu können.

Die Aufnahme aus dem September 2003 ist somit die erste, in der mit roter Farbe entsprechend auffällige geologische und geomorphologische Strukturen kartiert wurden. Anschließend sind immer die Markierungen der vorherigen Aufnahme und die der aktuellen Aufnahme eingezeichnet. Auf dem Orthofoto vom September 2018 ist zusätzlich zu der Markierung aus der vorherigen Aufnahme auch jene der ersten aus dem Jahr 2003 eingezeichnet.

Die Bilderserie zeigt eine generelle Bewegungsrichtung nach Südosten, was sich mit den Beobachtungen bei den geodätischen Messpunkten (Azimuth 131°) deckt. Diese Bewegungsrichtung steht somit ungefähr rechtwinkelig zur Störung 1, welche als konjugierte Flächen ausgebildet ist, die mit $300/67$ bzw. $120/60$ einfallen (Kap. 3.2). Eine vertikale Verschiebung lässt sich mit dieser Methode aus den Bildern nicht quantifizieren, da es sich um Orthofotos handelt. Aufgrund der Geometrie des Abrissbereichs (70° steil nach SE einfallend) ist aber davon auszugehen, dass der größte Teil des Versatzes in der Vertikalen zustande kommt.

Es kommt in diesem Abschnitt unmittelbar unterhalb der Hauptabbrisskante neben der generellen Bewegungsrichtung nach SE zu zahlreichen sekundären Prozessen. So treten oft Versagen auf, die in Sturzprozessen Richtung N münden, was der entgegengesetzten Richtung der Felsgleitung entspricht. Ebenso ist eine sehr aktive Internverformung zu beobachten. Innerhalb von größeren Felsverbänden können sich Klüfte öffnen und wieder schießen, ohne dass sich der gesamte Gesteinsverband nennenswert bewegt.

3. Ergebnisse

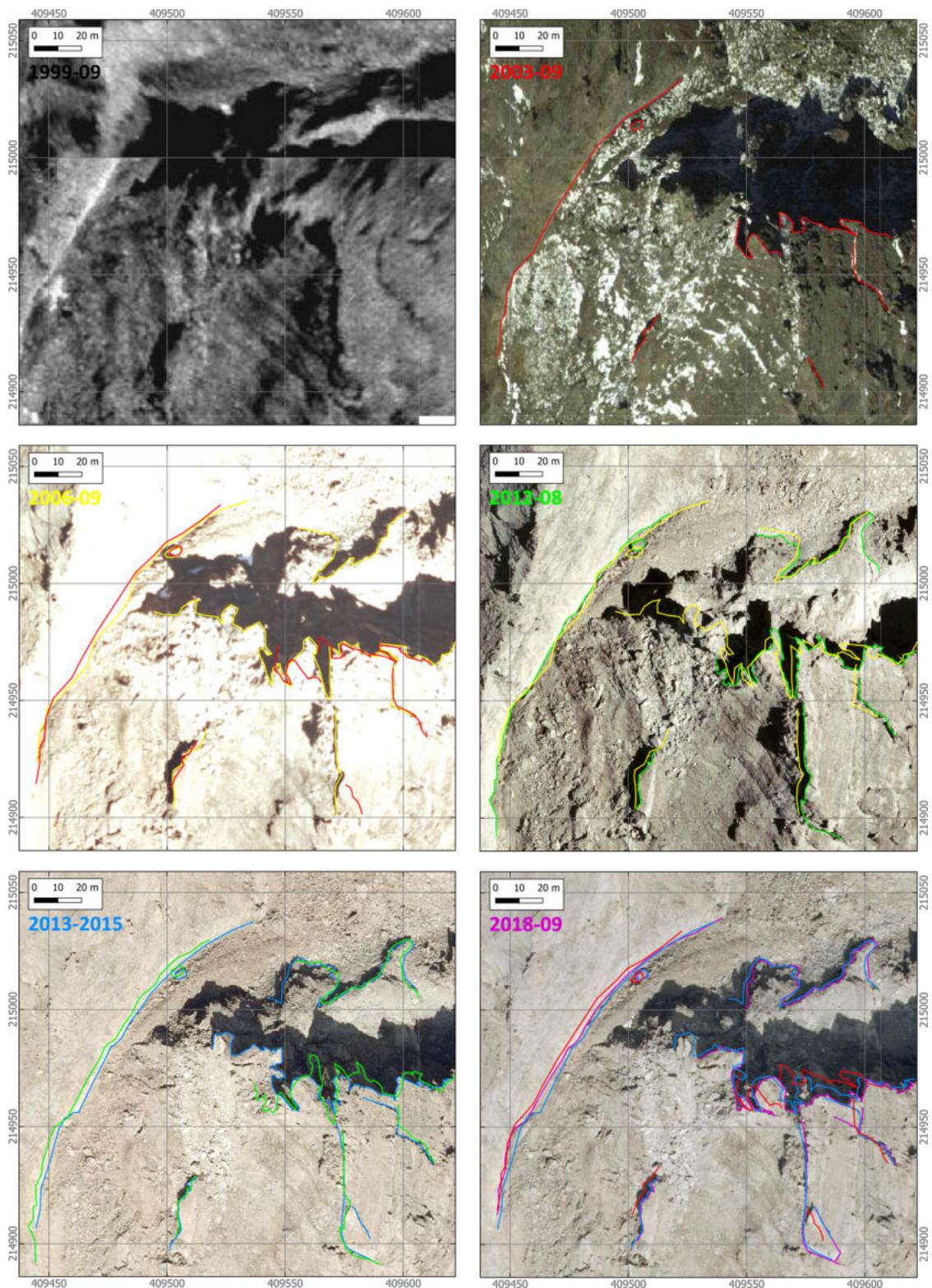


Abbildung 3.35.: Orthofotos direkt unterhalb der Hauptabbrisskante beim Gipfelgrat zu sechs unterschiedlichen Zeitpunkten. Ab der Aufnahme aus dem Jahr 2003 wurden markante Punkte eingezeichnet und deren Veränderung zum nächsten Foto festgehalten.

3.4.4. **Analyse geomorphologischer Strukturen**

Abschließend finden noch Erkenntnisse aus der geomorphologischen Kartierung Eingang in die Überlegungen zum Deformationsverhalten und zur Aktivität.

Während der Geländearbeit konnte eine Vielzahl an geomorphologischen Strukturen, die im Zusammenhang mit der Felsgleitung stehen, kartiert werden. So konnten Nackentäler beobachtet werden, die meistens rechtwinklig zur Hauptbewegungsrichtung orientiert sind (Kap. 3.3). Antithetische Scherflächen beißen an der Oberfläche aus und weisen dabei eine Krümmung auf. Über diese kann auch unterschieden werden, in welche Richtung die Flächen im Untergrund orientiert sind. Die geomorphologischen Strukturen lassen sich auf dasselbe Gebiet beschränken, das auch mittels InSAR als Felsgleitung identifiziert wurde.

Die struktureologischen Daten lassen sich ebenfalls sehr gut in einen bewegten und stabilen Teil gliedern. Die Daten aus 3.2 mit einer größeren Streuung decken sich mit den Auswertungen der InSAR Daten. Innerhalb der Felsgleitung findet sich ansonsten dasselbe struktureologische Inventar wie außerhalb der Felsgleitung, nur eben mit einer größeren Schwankung der Orientierung dieser.

Bereiche von denen intensiver Steinschlag ausgeht lassen sich auf steile Felswände der aktiven Teilschollen begrenzen. Eine bedeutende Ausnahme stellt hier der Überschiebungsbereich dar (Abb. 3.28). Dieser liefert stark zerlegtes, blockiges Material aus der Felsgleitung an den Rand derselben. Dieses Material gelangt dann außerhalb der eigentlichen Gleitung und kann die Großglockner Hochalpenstraße erreichen, wie Einschläge im Straßenbelag beweisen.

Die mittlere Hangneigung von der Abrisskante auf ca. 2900 m ü.A. bis ins Mölltal auf ca. 1300 m ü.A., wo die Felsgleitung endet beträgt entlang der Felsgleitung ca. 23,7°.

3.5. Geologisch-geometrisches Modell der Felsgleitung

In diesem Kapitel sollen die geometrischen Eigenschaften der Felsgleitung erläutert und mit den geologischen und strukturgeologischen Erkenntnissen zu Lithologie, Klüfte und Störungen in Verbindung gebracht werden. Insbesondere wird die Tiefe, flächenmäßige Ausbreitung und das Volumen der Felsgleitung abgeschätzt. Dazu stehen alle bereits besprochenen Unterlagen wie die lithologische und strukturgeologische Beschreibung (Kap. 3.2 und 3.1), die geologische Karte (Kap. 3.3) und die Erkenntnisse aus dem Kapitel Deformationsverhalten und Aktivität mit den darin angeführten geodätischen Messpunkten, Inclinometern und der InSAR Analyse, (Kap. 3.4) zur Verfügung.

Um die eingangs angeführten Ziele zu erreichen, wurden drei Profilschnitte auf Grundlage der geomorphologisch-geologischen Karte durch das Untersuchungsgebiet konstruiert. Die Lagen der Profile können aus der Abbildung 3.37 entnommen werden. Die Karte sowie die Profile sind in diesem Kapitel als DIN-A4 Ausgabe eingefügt, DIN-A3 Versionen sind im Appendix angehängt. Die Lagen der Profile wurden so gewählt, dass ein vollständiges Bild der Untergrundsituation gezeigt werden kann.

Profil A-A' wurde über einen möglichst langen Bereich der Felsgleitung gelegt, sodass die Situation am Gipfel des Wasserradkopfs genauso dargestellt wird wie die Situation im untersten Bereich. Dieses Profil erstreckt sich von über 3000 m ü.A. bis auf ca. 1300 m ü.A. und verläuft von 328° - 148° (Azimuth) (Abb. 3.38). Es schneidet dabei alle drei Teilschollen und die Felsgleitung erreicht in der dritten Teilscholle eine max. Mächtigkeit von ca. 150 m. Bis auf eine Höhe von ca. 2200 m ü.A. kommt das Profil im Kalkglimmerschiefer zu liegen. Von ca. 2200 m ü.A. bis ca. 1950 m ü.A. kommt Serpentin vor und daran anschließend tritt wieder der Kalkglimmerschiefer auf. Im untersten Abschnitt, bei einer Höhe von ca. 1450 m ü.A. schneidet das Profil in die Quarzite und Kalkglimmerschiefer des Modereck-Deckensystems, das durch eine Aufschiebung von den darüber liegenden Einheiten des Glockner-Deckensystems abgegrenzt wird. Die Störung 3 (113/74, Schrägabschiebung) trennt den Serpentin vom Kalkglimmerschiefer an der südöstlichen Grenze. Das Profil schneidet mehrere Abrissflächen der Felsgleitung, an denen sich zum Teil auch die drei Schollen abgrenzen lassen. Es kommt aber auch eine kleine Abrissfläche vor, die bei ca. 1950 m ü.A. die Geländeoberkante schneidet und nicht bis zur basalen Scherzone reicht.

Profil B-B' verläuft von 305° - 125° (Azimuth) und somit in die Bewegungsrichtung der beiden oberen Teilschollen. Es erstreckt sich von knapp unter 3000 m ü.A. bis auf ca. 1900 m ü.A (Abb. 3.39) und erreicht eine Mächtigkeit von ca. 150 m. Bei ca. 2200 m des Profils schneidet es zudem die Inclinometer und die tachymetrischen Messpunkte (Kap. 3.4.1). Diese Punkte liefern wichtige Daten, wie Tiefe der basalen Scherzone, Bewegungsrichtung und den Fallwinkel der Bewegungsvektoren, die in das Profil eingeflossen sind. Der Kalkglimmerschiefer reicht hier bis auf eine Höhe von ca. 2300 m ü.A. Anschließend folgt im Liegenden der Serpentin bis auf ca. 1950 m ü.A., bis wieder der Kalkglimmerschiefer aufgeschlossen ist. Am Ende des Profils in Richtung SE treten wieder Quarzite und

3.5. Geologisch-geometrisches Modell der Felsgleitung

Kalkglimmerschiefer des Modereck-Deckensystems auf. Bei ca. Profil-Meter 2200 sind die Inklinometer situiert. Hier ist die basale Scherzone bei ca. 47 m unter GOK anzunehmen. Die Bewegungsvektoren weisen dabei eine mittlere Orientierung von 131/06 auf. Auf einer Höhe von ca. 2600 m ü.A. ist eine Abrisskante ausgebildet, die bis zur basalen Scherzone reicht und die Teilscholle 1 von der Teilscholle 2 abgrenzt. Die Hauptabbrisskante liegt auf ca. 2900 m ü.A., weist einen Versatz von ca. 70 m auf und folgt bis ca. 2800 m ü.A. der Störung 1 ehe sie einen flacheren Verlauf einnimmt.

Profil C-C' verläuft von 270° - 090° (Azimuth) und somit quer zu den beiden vorherigen. So wurde sichergestellt, dass die seitlichen Begrenzungen der Felsgleitung dargestellt werden. Dieses Profil erstreckt von einer maximalen Höhe von ca. 2500 m ü.A. bis auf ca. 1900 m ü.A. (Abb. 3.40) und die Felsgleitung erreicht eine max. Mächtigkeit von ca. 150 m. Die Westhälfte des Profils wird oberflächlich von Kalkglimmerschiefer aufgebaut. Ab einer Höhe von ca. 2350 m ü.A. folgt eine bis zu ca. 100 m mächtige Serpentinlage. In der Osthälfte dominiert der Serpentin. Die Störung 2, die eine Orientierung von 090/70 hat, bildet die seitliche Begrenzung der Felsgleitung gegen Westen, im Osten wird diese wiederum vom Modereck-Deckensystem begrenzt.

Die Hauptabbrisskante unterhalb des Gipfels des Wasserradkopf auf ca. 2900 m ü.A. folgt den Profilen entsprechend einer ca. 70° steil nach SE einfallenden Störung, die subparallel zu den konjugierten Störungsflächen von Störung 1 (300/67 bzw. 120/60) orientiert ist. Die Störung, an der die Felsgleitung abrutscht endet im Festgestein, wohingegen die basale Scherzone einen flacheren Verlauf einschlägt. Der Kalkglimmerschiefer stellt hier das maßgebende Gestein dar. Die Schieferung fällt eher flach ein und ist stark von der liegenden Falte unterhalb des Gipfelgrats des Wasserradkopfs beeinflusst. Ca. 200 m weiter talwärts hat sich eine weitere Abrisskante ausgebildet. Ab dieser Höhe bildet die Störung 2 die westliche Begrenzung der Gleitung. Ungefähr im Schnittpunkt der Profile A-A' und C-C' hat sich eine kleinere Abrisskante ausgeformt. Am Ostrand wird die Gleitung vom Guttalbach bzw. den Einheiten des Modereck-Deckensystems begrenzt.

Auf der Basis der Erkenntnisse aus der Kartierung, der InSAR Analyse sowie der Inklinometer Daten konnte eine Gliederung der Felsgleitung am Wasserradkopf in drei Teilschollen vorgenommen werden:

Diese **Teilscholle 1** ist die oberste und besteht fast vollständig aus entfestigtem Kalkglimmerschiefer. Laut InSAR Analyse weist sie Bewegungsraten von bis zu 40 cm/a auf. Die Mächtigkeit der Teilscholle 1 erreicht bis zu 100 m und die basale Scherzone hat eine mittlere Neigung von ca. 40°, wobei sie im obersten Abschnitt bis zu 65° steil ist. Der Versatz beträgt ca. 70 m. Die basale Scherzone ist konvex nach unten geformt. Die Fläche der Teilscholle 1 kann mit ca. 241.000 m² abgeschätzt werden und das Volumen mit ca. 21.700.000 m³, wenn eine mittlere Mächtigkeit von 90 m angenommen wird.

An die Teilscholle 1 folgt im SE die **Teilscholle 2**, die bereits weniger aktiv ist als

3. Ergebnisse

die erste. Die InSar Analyse zeigt durchschnittliche Bewegungsraten von ca. 2,5 cm/a im Zeitraum zwischen Jänner 2016 und Jänner 2020. Maximale Bewegungsraten werden in der InSAR Analyse mit ca. 10 cm/a angegeben. Die maßgebenden Gesteine bilden in dieser Scholle Serpentine und Kalkglimmerschiefer. Die Teilscholle 2 erreicht eine Mächtigkeit von bis zu 150 m und die basale Scherzone hat eine eher planare Form mit einer mittleren Neigung von ca. 25°. Im Osten, an der Grenze der Felsgleitung zum Modereck-Deckensystem wird die basale Scherzone flacher. Die Verschiebemessungen ergeben eine Neigung in diesem Bereich von 6°. Die Fläche der Teilscholle 2 kann mit ca. 835.000 m² abgeschätzt werden und das Volumen mit ca. 100.200.000 m³, wenn eine mittlere Mächtigkeit von 120 m angenommen wird.

Die unterste **Teilscholle 3** kennzeichnet sich durch sehr geringe Bewegungsraten. Die Inklinometer ergeben durchschnittliche Bewegungen von ca. 1 cm/a. Durch die Inklinometer lassen sich auch Rückschlüsse auf die Tiefe der Felsgleitung ziehen. Es kann von einer Tiefe der basalen Scherzone von bis zu ca. 47 m ausgegangen werden, wobei es zu beachten gilt, dass sich die Bohrungen am Rand zu den stabilen Einheiten des Modereck-Deckensystems befinden. Oberflächenmessungen ergaben für den Zeitraum zwischen 2002 und 2021 Verschiebungsraten von 2,3 cm/a bis 4,2 cm/a. Die Teilscholle 3 erreicht eine Mächtigkeit von bis zu 150 m und die basale Scherzone weist eine leicht konvex nach unten geformte Geometrie auf mit einer mittleren Neigung von ca. 17°. Die Fläche der kann mit ca. 2.530.000 m² abgeschätzt werden und das Volumen mit ca. 303.600.000 m³, wenn eine mittlere Mächtigkeit von 120 m angenommen wird. Wie weit sich diese Teilscholle ins Tal zieht ist aufgrund der mangelnden Aufschlüsse nur mittels Geländemodell (ALS) abgeschätzt.

Die Abmessungen der gesamten Felsgleitung sind in der Abbildung 3.36 und in der Tabelle 3.7 dargestellt. Die Felsgleitung erstreckt sich über eine Fläche von ca. 3.606.000 m². Das Volumen konnte mit der Formel

$$V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D \cdot W \cdot L \quad (3.4)$$

auf ca. 355.700.000 m³ (ca. 0,356 km³) abgeschätzt werden (Cruden and Varnes, 1996).

W_d	Breite der Gleitung	1360 m
L_d	Länge der Gleitung	3330 m
D_d	Mächtigkeit der Gleitung	150 m
A	Fläche der Gleitung	3,606 km ²
V	Volumen der Gleitung	0,356 km ³

Tabelle 3.7.: Abmessungen der Felsgleitung am Wasserradkopf.

3.5. Geologisch-geometrisches Modell der Felsgleitung

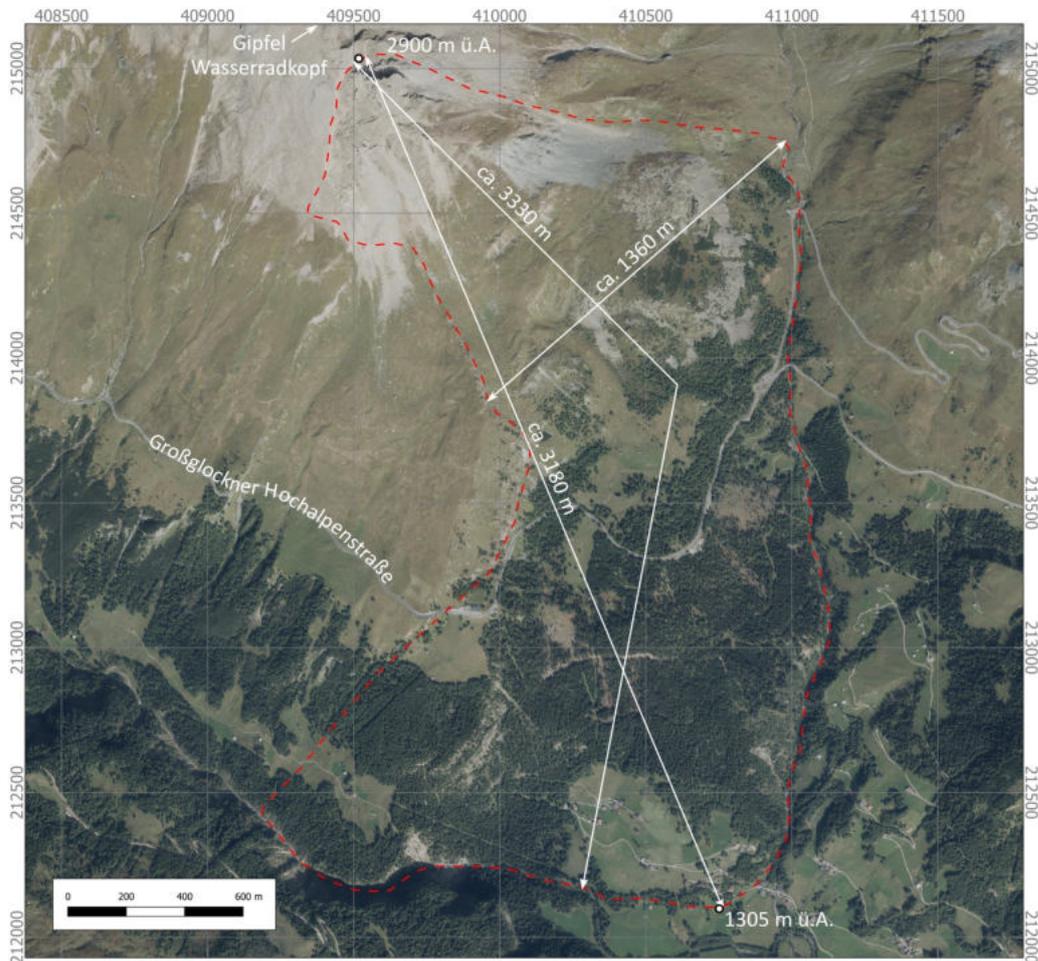


Abbildung 3.36.: Abmessungen der Felsgleitung am Wasserradkopf.

Zusammengefasst besteht das Arbeitsgebiet am Wasserradkopf aus Kalkglimmerschiefer und Serpentin mit untergeordnet vorkommendem Granatglimmerschiefer. Das mittlere Einfallen der Schieferung kann mit 191/32 angegeben werden. Im oberen Bereich um den Gipfel des Wasserradkopfs ist die Schieferung flacher orientiert und kann z.T. horizontal sein, wohingegen die Schieferung zur Großglockner Hochalpenstraße hin zu nimmt und eher der mittleren Orientierung entspricht.

Zwei Klüftsets sind am gesamten Wasserradkopf gut ausgeprägt, wobei das erste Klüftset K 1 eine mittlere Orientierung von 127/88 und das zweite Klüftset 025/84 aufweist. Manche dieser Klüfte sind mit Kalzit, einem Serpentinmineral oder Quarz gefüllt. Außerdem konnten drei größere Störungen angetroffen werden, von denen zumindest zwei Störungen eine wesentliche Rolle für die Felsgleitung spielen. Bei der Störung 1

3. Ergebnisse

handelt es sich um konjugierte Abschiebungen in der Nähe des Gipfels des Wasserradkopfs mit einer Orientierung von 300/67 bzw. 120/60. Die Störung 2 ist eine N-S streichende, topografie-bildende Abschiebung, die mit ca. 70° nach E einfällt (Kap. 3.2).

Eine Störung, die parallel zur Störung 1 (300/67) verläuft, bildet gleichzeitig die Hauptabrissfläche im SE des Gipfelsgrats des Wasserradkopfs. Diese konnte aber aufgrund des unwegsamen Geländes und des Steinschlags nicht gemessen werden. Die Hauptabrissfläche folgt der Störungsfläche ca. 150 m bis auf eine Höhe von ca. 2800 m ü.A. Anschließend nimmt die basale Scherzone einen flacheren Verlauf. Die Störung endet im unbewegten Festgestein. Die Störung 2 bildet die westliche Begrenzung der Felsgleitung.

Die steil stehenden bzw. sub-vertikal orientierten Klüfte bilden in Kombination mit der nach S einfallenden Schieferungsfläche ein quaderförmiges bis rhomboedrisches Zerlegungsmuster des Gebirges. Diese planaren Strukturen begünstigen das Versagen des Gebirges, sodass es häufig zur Ausbildung von "step-path-failure" kommt.

3.5. Geologisch-geometrisches Modell der Felsgleitung

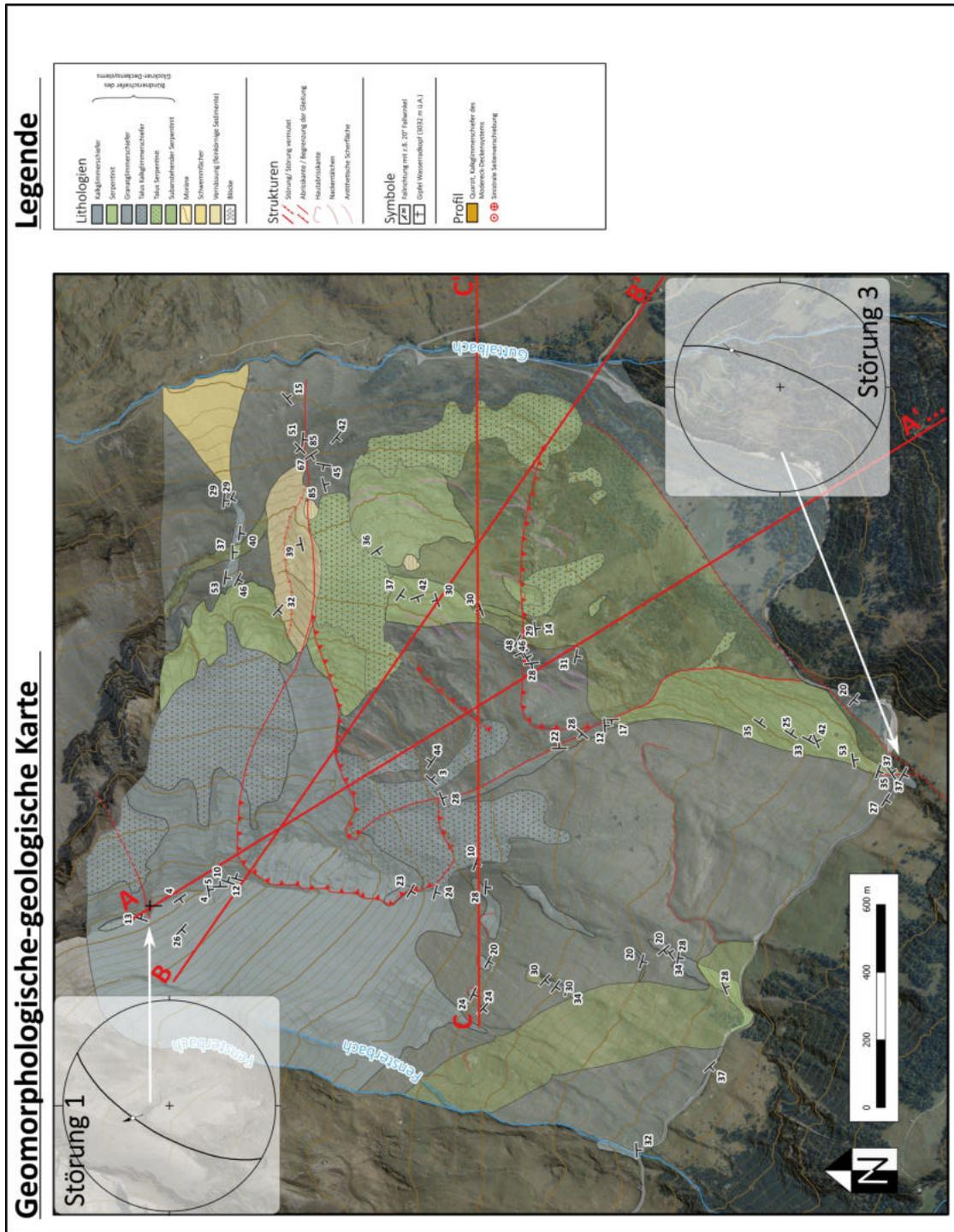


Abbildung 3.37.: Geomorphologische-geologische Karte mit den Profillinien eingezeichnet. Profil A-A' geht im SE noch bis ins Mölltal weiter. Für eine bessere Übersicht wurde aber der Fokus auf den oberen Teil der Felsgleitung gelegt.

3. Ergebnisse

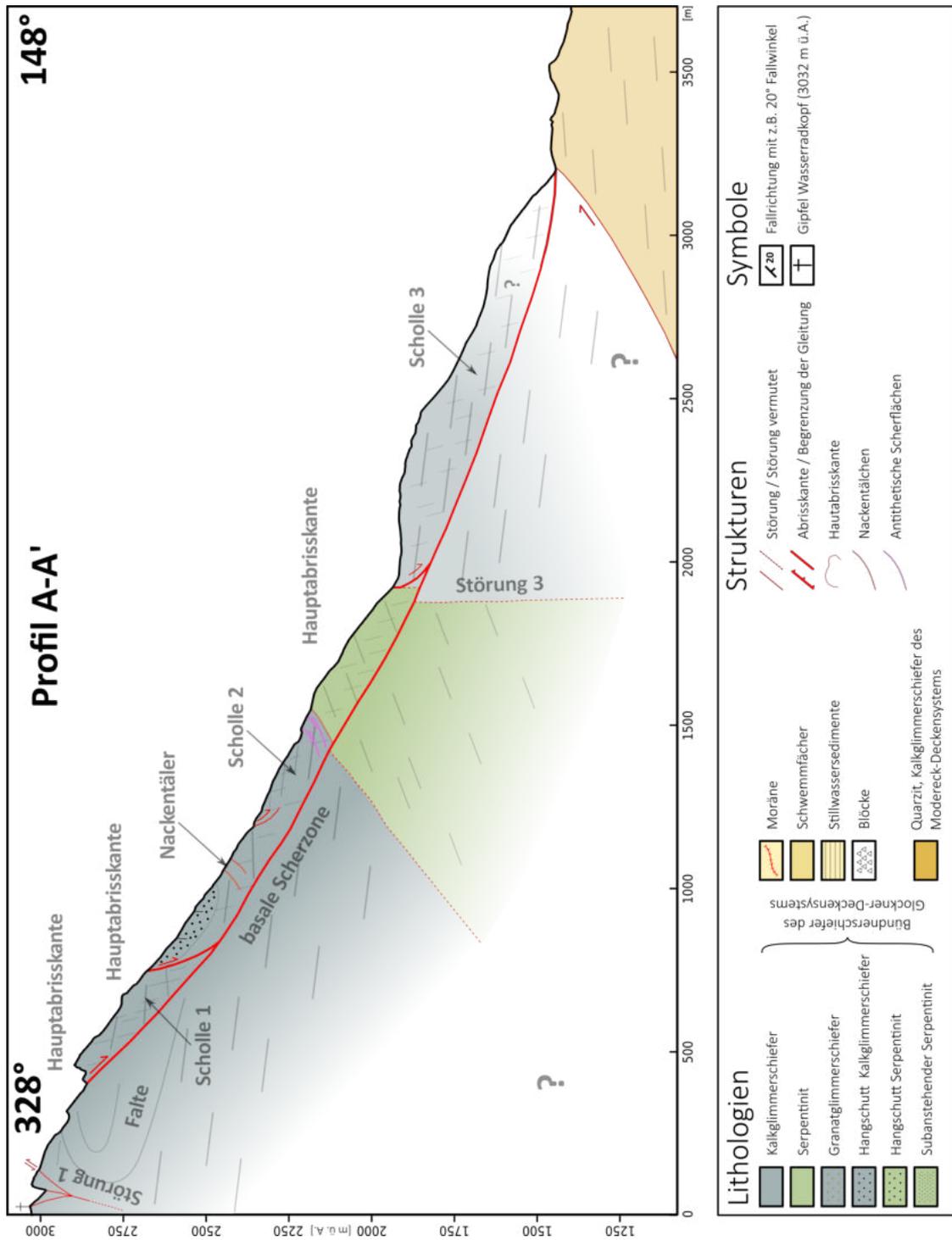


Abbildung 3.38.: Profil A-A'.

3.5. Geologisch-geometrisches Modell der Felsgleitung

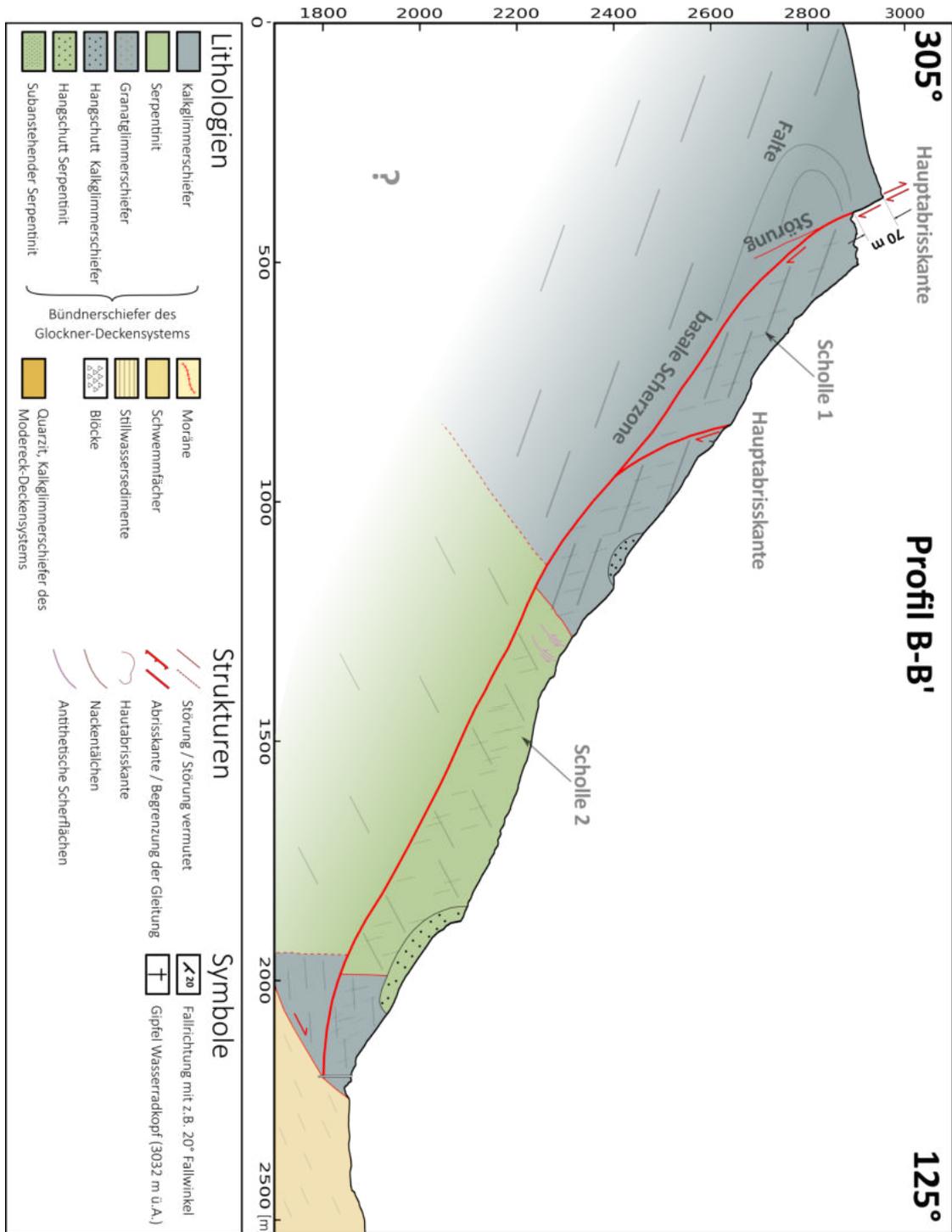


Abbildung 3.39.: Profil B-B'.

3. Ergebnisse

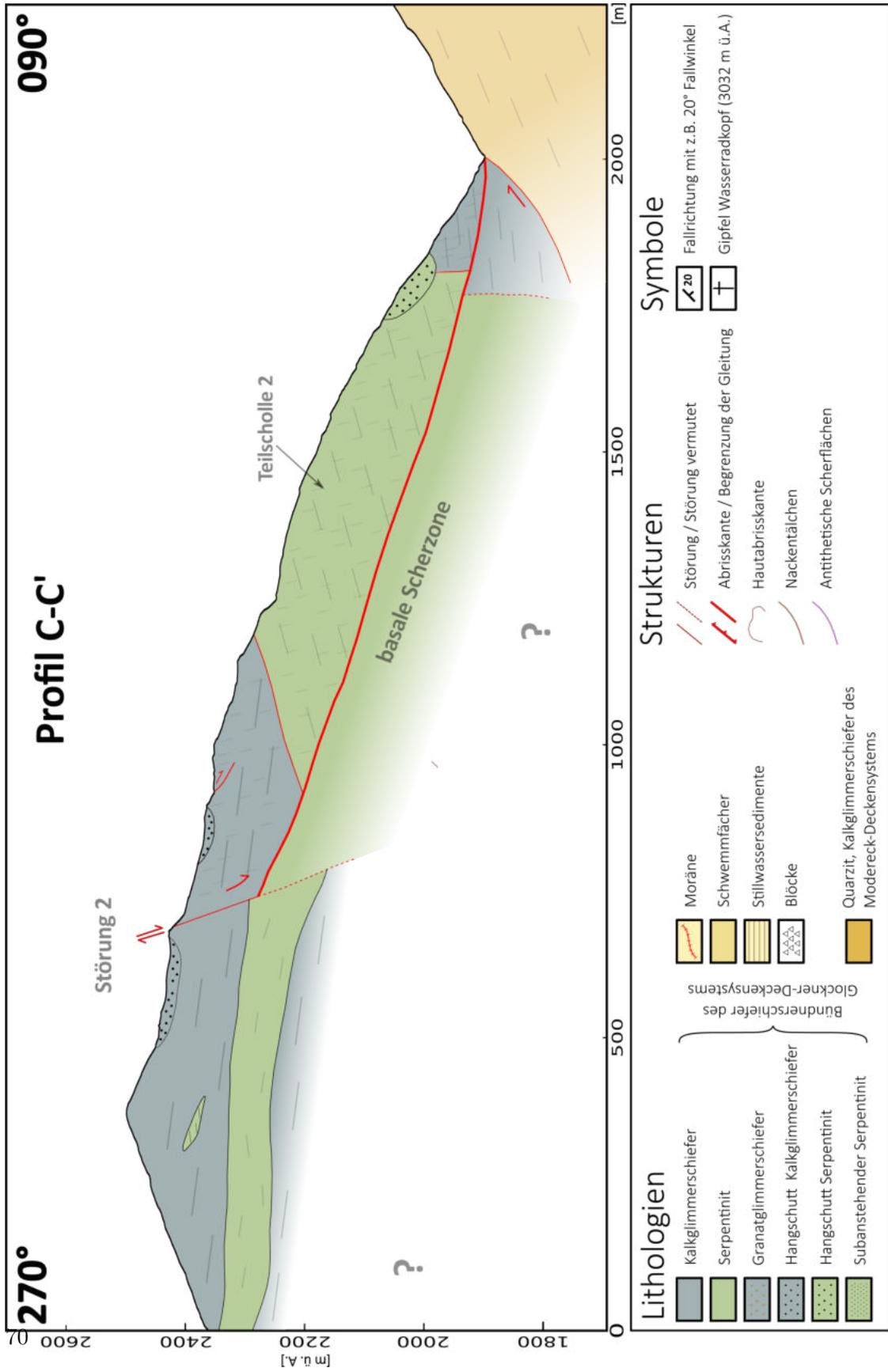


Abbildung 3.40.: Profil C-C'.

3.5. Geologisch-geometrisches Modell der Felsgleitung

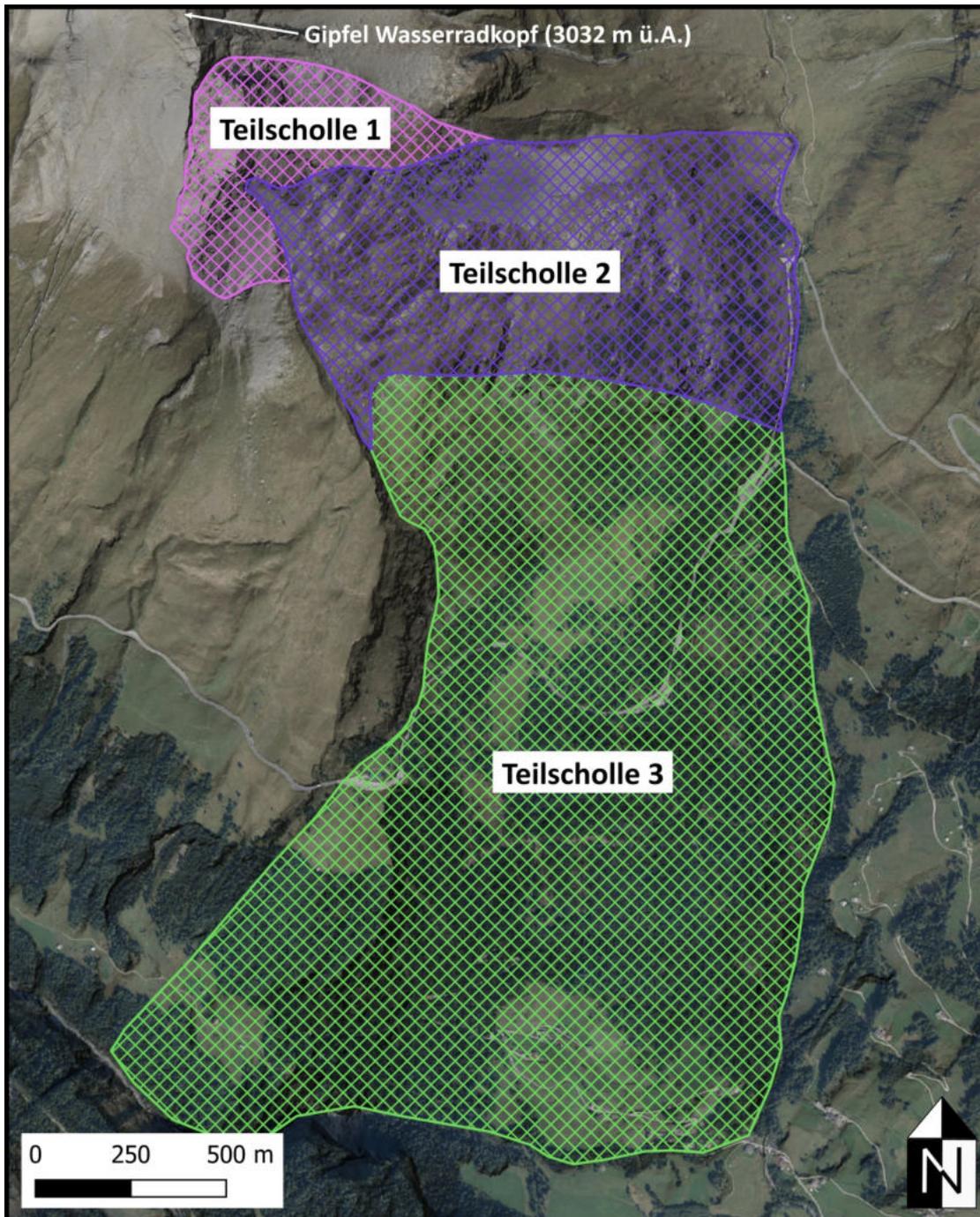


Abbildung 3.41.: Die Abbildung zeigt die Ausdehnungen der drei Teilschollen in die die Felsgleitung am Wasserradkopf unterteilt werden kann.

4. Diskussion

Mit Hilfe der vorgestellten Ergebnisse konnte ein umfangreicher Einblick in die Felsgleitung am Wasserradkopf gegeben werden. Im folgenden Kapitel werden diese Ergebnisse eingeordnet und diskutiert.

Geologie / Strukturgeologie

In den Kartierungskampagnen konnte festgestellt werden, dass die Gesteine des Arbeitsgebiets hauptsächlich aus Kalkglimmerschiefern und Serpentiniten des Glockner-Deckensystems gebildet werden (Pestal, 2009). Untergeordnet wurde auch Granatglimmerschiefer vorgefunden. An der Oberfläche sind in weiten Abschnitten Lockergesteine in Form von Hangschutt Ablagerungen, einer Moräne, feinkörnigen Stillwassersedimenten und Blöcke aufgeschlossen.

Das struktureologische Inventar wird durch eine moderat nach SSW einfallende Schieferung sowie durch steil stehende orthogonal zueinander orientierten Klüften gebildet. Das erste maßgebende Kluftset K 1 steht sehr steil und streicht NE-SW (127/88), das zweite wesentliche Kluftset K 2 steht ebenfalls sehr steil und streicht WNW-ESE (025/84). Der Raumwinkel zwischen den beiden Kluftsets beträgt knapp 80°. Drei große Störungen durchziehen das gesamte Arbeitsgebiet. Störung 1 hat eine Orientierung von 300/67, Störung 2 090/70 und Störung 3 113/74.

Die Granat-führenden Bereiche sind nicht scharf von den umliegenden Kalkglimmerschiefern begrenzt. Vielmehr stellen sie Zonen innerhalb des Kalkglimmerschiefers dar in denen häufiger bzw. sichtbar Granate auftreten. Aufgrund des diffusen Vorkommens und der räumlichen Anordnung innerhalb und außerhalb der Felsgleitung, kann davon ausgegangen werden, dass sie keinen Einfluss auf die Felsgleitung haben.

Für die Felsgleitung relevant ist hingegen das struktureologische, spröd-tektonische Inventar im Untersuchungsgebiet. Die steilstehenden Klüfte bilden Schwachstellen im Gebirge, die eine Vernetzung von Kluftflächen und Schieferungsflächen ermöglichen. In diesem Zusammenhang spielen die Schieferungsflächen, die der Axialebenenschieferung der Seidlwinkl Falte zuzuordnen ist, somit eine wichtige Rolle (Groß et al., 2020). Dieser Vorgang ist in Abbildung 3.20 dokumentiert. Sie zeigt den Aufschluss 12 mit einem ausgeprägten step-path-failure Mechanismus im unteren Bereich des Aufschlusses, wo die Schieferungsflächen die Topographie bilden und einen Übergang zum tension-failure Mechanismus im oberen Bereich des Aufschlusses, wo die beiden Kluftsets (K1 und K2) die Topographie bestimmen. Die Schieferung des Kalkglimmerschiefers ist sehr gut ausgeprägt und parallel zum Hang orientiert. Die beiden Kluftsets folgen dem großräumigen Trend,

4. Diskussion

indem sie steil nach NW und NE einfallen.

Die Klüfte zeigen in den stabilen Bereichen meistens keine oder nur sehr geringe Kluftöffnungsweiten. In manchen Abschnitten, wie z.B. bei Aufschluss 16, kommen Kluftöffnungen von mehreren dm vor. Diese grenzen aber direkt an die Felsgleitung und bilden die Topographie. Auch im geschieferten Serpentin um den Aufschluss 30 sind Kluftöffnungsweiten von ca. 20 cm vorzufinden, die das Gebirge in sehr große Blöcke zerlegen.

Ebenfalls wesentliche struktureologische Elemente sind die Störungen die das Gebiet durchziehen. Dabei sind vor allem die drei großen Störungen (Störung 1, Störung 2 und Störung 3) wichtig. Eine größere Störung am Gipfelgrat parallel zu Störung 1, die mit ca. 70° nach SE einfällt, bildet die Hauptabrissskante der Felsgleitung (Abb. 3.26). In den obersten ca. 150 m bildet die Störung selbst die scharf begrenzte Gleitfläche. Weiter unterhalb wird die basale Scherzone flacher, wohingegen die Störung ihre Orientierung beibehält.

Die Störung 2 bildet die westliche Begrenzung der Felsgleitung.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Festgesteine keine Auswirkung auf die Felsgleitung haben, umso mehr aber das struktureologische Gefüge. Die Störungen wirken als Begrenzung und fungieren im Fall von Störung 1 auch als Hauptabrisssfläche. Gleichzeitig begünstigt die Schieferung (191/32) in Kombination mit den Klüften K1 (127/88) und K2 (025/84) die Felsgleitung maßgeblich. Es können sich leicht quaderförmige bzw. rhomboedrische Blöcke aus dem Gebirge lösen und tiefere greifende Gleitzonen können sich entlang dieser Flächen ausbilden.

Die "Kluftbrekzie" (Kap. 3.1.1) stellt eine geologische Besonderheit dar, da sie aufgrund der unsicheren Genese nicht einfach zu bestimmen war (Vinx, 2015).

Die Mineralogie des untersuchten Gesteins ist sehr ähnlich zu jener des Kalkglimmerschiefers, der das häufigste Gestein in der Umgebung darstellt. Etwas weniger verbreitet aber dennoch sehr häufig im Untersuchungsgebiet ist Serpentin, der laut GMA fast ausschließlich aus Antigorit aufgebaut wird – diese Phase fehlt im gegenständlichen Gestein vollständig. Eine tektonische Entstehung ist demnach unwahrscheinlich, da das Hangende der Störung aus ebendiesem Serpentin besteht. Die Abwesenheit von Schersinnindikatoren und die intakten Muskovite unterstützen die Annahme einer nicht-tektonischen Entstehung.

Rein über den Porengehalt lassen sich in diesem Fall keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Bildung oder die Herkunft des Gesteins ziehen. Sehr wohl ist der idiomorphe Anwachssaum aus Kalzit um die Porenräume hilfreich. Dieser ist zeitlich sehr spät einzuordnen und ist erst nach einer etwaigen Zerlegung und Wiederverfestigung des Gesteins gewachsen. Die runden Formen der Poren und der angewachsenen Säume erinnert an Karstphänomene. Eine zunächst (vollständige) Zementierung mit Kalzit, eine spätere

Lösung desselben und eine erneute Ausfällung lässt sich nicht nachweisen.

Die einzelnen Körner, die das Gestein zusammen mit der Kalzitmatrix aufbauen, stehen geometrisch in keiner Beziehung zueinander. Teilweise lassen sich die einzelnen Körner nur mit viel Interpretation erkennen. Eine tektonische Entstehung aus einem festen Ausgangsgestein lässt sich daher kaum nachvollziehen und ausreichend argumentieren.

Aufgrund der eben diskutierten Punkte ist davon auszugehen, dass das gegenständliche Gestein nicht als klassisches Störungsgestein, wie beispielsweise in Woodcock and Mort (2008) vorgeschlagen, angesprochen werden kann, was wegen des makroskopischen Erscheinungsbildes nahe gelegen hätte. Denkbar ist eher ein Eintrag von Lockergestein der höher liegenden Umgebung in die Störungszone als diese noch keine Topographie bildete. Das würde die mineralische Zusammensetzung, den hohen Porenanteil, das Fehlen von Schersinnindikatoren und gescherten Muskoviten und die chaotische Stellung der Einzelkörner erklären. Das Gestein kann folglich als Klufthekzlie bezeichnet werden.

Felsgleitung

Der im Norden gelegene **Hauptabrisbereich** oberhalb der Teilscholle 1 ist an die Störung in diesem Bereich gebunden, die mit ca. 70° nach SE einfällt. Diese Störung ist bedeutend älter als die Felsgleitung und steht im Zusammenhang mit der Hebung des Tauernfensters, die den Höhepunkt im Miozän (23 - 5,3 Ma) hatte (Schmid et al., 2013). Derartig Orientierte Störungen finden sich auch weit über das Untersuchungsgebiet hinaus im zentralen Tauernfenster. Als spröde-tektonisches Gefüge, das die Falte im Gipfelbereich teilweise abschiebt ist die Störung jedoch jünger als die Verfaltung einzuordnen. Die Hauptabrisfläche konnte sich somit entlang einer präexistierenden Schwächezone ausbilden.

Im **Überschiebungsbereich** zwischen ca. 2620 m ü.A. und ca. 2680 m ü.A. im Westen der Felsgleitung bildet die Felsgleitung eine auffallend gerade Struktur, die gegen Westen im Festgestein des Kalkglimmerschiefers terminiert und sich im Osten in den aufgelockerten Gleitmassen verliert. Es wirkt dabei so, als würde die Felsgleitung den stabilen Bereich in einer scherenartigen Bewegung überschieben, wobei das Scharnier im Westen liegt. Von diesem Bereich geht laut Aussagen von Gerald Valentin (Landesgeologe des Landes Salzburg) vermehrter Steinschlag auf die weiter unten gelegenen Großglockner Hochalpenstraße aus. Die Aktivität dieses Bereichs scheint in direktem Zusammenhang mit der Bewegung der Felsgleitung selbst zu stehen. Die Lieferung von aufgelockertem Material, das sich an der Überschiebungsfrent leicht aus dem Felsverband lösen kann, hängt unmittelbar von der Aktivität der gesamten Felsgleitung ab. Es kann also von einer auskeilenden, an die Oberfläche tretenden Gleitfläche ausgegangen werden, die nach Osten hin abtaucht.

Die **Nackentäler** kommen in zwei Scharen vor die einen 35° Winkel einschließen. Die

4. Diskussion

erste Schar streicht NNE-SSW, was subparallel zu Kluffset 1 ist und kommen häufiger in den weiter oben gelegenen Bereichen vor. Die zweite Schar ist im Osten der Felsgleitung häufiger vertreten. Manche Nackentäler konnten näher bestimmt und als antithetische Scherflächen klassifiziert werden. Entlang dieser Flächen können sich die Gleitmassen intern verformen und die geometrisch bedingte Stauchung an der Geländeoberkante aufnehmen. Die Nackentäler sind meistens normal zur Hauptbewegungsrichtung orientiert.

Die **Bewegungsraten** der Messpunkte reichen von ca. 23 mm/a bis zu ca. 42 mm/a und wären somit entsprechend der Klassifikation von Cruden (1993) als extrem langsam einzustufen. Die Inklinometerdaten zeigen geringere Bewegungsraten von ca. 9 mm/a bei IK1 und ca. 13 mm/a bei IK1-Alt. Hier gibt es eine deutliche Diskrepanz zwischen den an der Oberfläche angebrachten Messpunkten und den Tiefenmessungen der Inklinometer. Eine mögliche Erklärung dafür konnte sein, dass ein Großteil der Bewegung in den obersten Zonen des Untergrundes zustande kommt. Die Verschiebemessungen ergeben einen mittleren 3D-Bewegungsvektor mit einer Orientierung von 131/06. Der relativ flache Einfallswinkel von 6° ist dabei auf die Randlage der Messpunkte zurückzuschließen. Die Tiefe der basalen Scherzone liegt mit ca. 47 m sehr seicht. Die Felsgleitung bewegt sich Richtung SE und trifft am Gegenhang auf die unbewegten Einheiten des Modereck-Deckensystems. Dabei wird die Felsgleitung nach S abgelenkt und die basale Scherzone, die eine max. Tiefe von ca. 150 m erreicht, steigt bis auf eine Tiefe von ca. 47 m auf.

Orthofotos lassen besonders im obersten Bereich der Gleitung auf komplexe Prozesse schließen. Die allgemeine Bewegungsrichtung der Scholle 1 weist zwar klar nach SE, lokal weichen die Bewegungen von dieser Richtung aber stark ab. Klüfte können sich weit öffnen und wieder schließen und dabei rotieren. Ebenso gibt es Sturzprozesse innerhalb der bewegten Massen, die nach N abgehen. Diese Beobachtungen können erklären, wieso die InSAR Daten aus Kapitel 3.4.2 im unmittelbaren Bereich unterhalb der Hauptabrissskante keine Gesamtbewegungen aufzeigen.

Die **Felsgleitung** selbst erstreckt sich von ca. 2900 m ü.A. bis hinunter ins Mölltal auf eine Höhe von ca. 1300 m ü.A. und bedeckt die gesamte SE-Flanke des 3032 m ü.A. hohen Wasserradkopfs. Sie erreicht dabei eine Mächtigkeit von bis zu ca. 150 m. Aufgrund der Ergebnisse aus der Kartierung, der InSAR Analyse, den Messpunkten und Inklinometern und den Orthofotos konnten drei Teilschollen innerhalb der Felsgleitung ausfindig gemacht werden. Welche der Teilschollen sich als erste ausgebildet hat, kann nicht mit ausreichender Sicherheit gesagt werden. Betrachtet man die Geschwindigkeiten der Teilschollen, so ist die oberste Teilscholle 1 mit bis zu ca. 40 cm/a die schnellste, gefolgt von der mittleren Teilscholle 2 mit durchschnittlich ca. 2,5 cm/a und die unterste Teilscholle 3 ist mit einigen mm/a im Mittel die langsamste.

Ausblick

Zur weiteren Erforschung der Felsgleitung am Wasserradkopf sind vor allem Unter-

grunddaten und Bewegungsmessungen notwendig. Tiefenaufschlüsse stehen ausschließlich durch die Inklinometer an der Guttalbrücke zur Verfügung. Wobei die Aussagekraft der Inklinometerdaten nur begrenzt ist, da wichtige Informationen nicht zugänglich waren. So standen für die hier vorgestellten Ergebnisse weder die Orientierung der Achsen, noch die genauen Standorte bzw. eine Vermessung des Mundlochs der jeweiligen Inklinometer zur Verfügung. Ebenso wenig waren die Bohrdaten bzw. das Bohrgut bekannt. Weitere Bohrungen mit Ausbau zu Inklinometern im zentralen Teil der Felsgleitung wären somit für eine vertiefende Erkundung notwendig. Bewegungen werden am Wasserradkopf bereits jetzt schon mittels InSAR ausgewertet. Aktuellere und mehr Daten, wie sie beispielsweise Vermessungspunkte über die gesamte Felsgleitung verteilt liefern könnten, sind dabei ebenfalls von großem Vorteil. Außerdem könnte über numerische Modellierung auf Gebirgsparameter zurückgeschlossen werden, was eine Verifizierung der Aussagen in dieser Arbeit darstellen würde.

5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Masterarbeit lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

Geologie / Strukturgeologie

- Im Arbeitsgebiet um die Felsgleitung am Wasserradkopf konnten hauptsächlich Kalkglimmerschiefer und Serpentinite des Glockner-Deckensystems angetroffen werden.
- Die Festgesteine haben nur geringe Auswirkungen auf die Entstehung der Felsgleitung.
- Das strukturgeologische Inventar ist durch eine mittelsteil nach S einfallende Schieferung (191/32) und zwei steil stehende Klufsets geprägt (K 1 127/88, K 2 025/84).

Felsgleitung

- Große Störungen haben wesentlichen Einfluss auf die Entstehung der Felsgleitung. Störung 1 (300/67 bzw. 120/60) bildet eine präexistierende Schwächezone für die Hauptabrissfläche und Störung 2 (090/70) stellt z.T. die westliche Begrenzung der Felsgleitung dar.
- Bei der Felsgleitung handelt es sich um den Übergang zwischen Rotations- zu Translationsgleitung (Hungr et al., 2014).
- Die Felsgleitung kann in drei Teilschollen gegliedert werden, die sich hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung unterscheiden.
- Die Felsgleitung umfasst eine Fläche von ca. 3,606 km², ein Volumen von ca. 0,356 km³ und erreicht eine Mächtigkeit von max. ca. 150 m.

5. Schlussfolgerungen

- Die Bewegungsraten der Felsgleitung am Wasserradkopf erreichen bis zu ca. 40 cm/a (Scholle 1). Die Teilscholle 2 weist eine Geschwindigkeit von bis zu ca. 10 cm/a auf und die Teilscholle 3 bewegt sich mit max. 4,2 cm/a.
- Die Bewegungsrichtung bei den Inklinometern und Messpunkten kann mit SE (131°) angegeben werden.
- Die Sturzprozesse, ausgehend vom "Überschiebungsbereich", stehen direkt im Zusammenhang mit der Aktivität der Felsgleitung.

Literaturverzeichnis

- Allmendinger, R. (2011). Stereonet 11, Abgerufen am 21.03.2020, von <https://www.rickallmendinger.net/>. *Rick Allmendinger's Stuff*.
- ALS (2018). AirbornW Laserscan Land Kärnten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8-Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoodination, ITU-Umwelddaten und KA-GIS.
- Bertrand, A., Rosenberg, C., Rabaute, A., Herman, F., and Fügenschuh, B. (2017). Exhumation mechanisms of the Tauern Window (Eastern Alps) inferred from apatite and zircon fission track thermochronology: EXHUMATION OF THE TAUERN WINDOW. *Tectonics (Washington, D.C.)*, 36(2):207–228.
- BEV (2022). Topographische Karten. Modifiziert von der Karte des Bundeseich- und Vermessungsamts.
- Bloss, F. (1999). Optical Crystallography. Mineralogical Society of America Monograph Series, Publication 5, 1999. 239 pp. *Mineralogical Magazine*, 64(4):777–778.
- Bock, H. and Paul, A. (2002). Empfehlung Nr. 21 des Arbeitskreises 3.3 - Versuchstechnik Fels - der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.: Verschiebungsmessungen quer zur Bohrlochachse - Inklinometer- und Deflektometermessungen. *Die Bautechnik*, 79(4):243–256.
- Brindley, G. W. and Brown, G. (1984). *Crystal structures of clay minerals and their x-ray identification*. Monograph / Mineralogical Society ; 5. Mineralogical Soc., London, 1. repr. with amendments edition.
- Clar, E. (1954). Ein zweikreisiger Geologen- und Bergmannskompass zur Messung von Flaechen und Linearen (mit Bemerkungen zu den feldgeologischen Messungsarten). *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt (Wien)*, 4:201–215.
- Cruden, D. (1993). UNESCO Working Party on World Landslide Inventory.
- Cruden, D. M. and Varnes, D. (1996). Cruden, DM, Varnes, DJ, 1996, Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, US National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75. *Landslides Eng. Pract*, 24:20–47.
- Dörfler, M., Geisler, T., Marcher, T., Valentin, G., and Goldschmidt, F. (2022). Deriving Landslide Movement and Grain Size Distribution from SB-InSAR and UAV Photogrammetry: Insights from the Wasserradkopf Landslide (Carinthia, Austria).

Literaturverzeichnis

- ESA (2007). ESA, Abgerufen am 21.03.2020, von <https://www.esa.int>. *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation (ESA TM-19)*.
- Favaro, S., Handy, M. R., Scharf, A., and Schuster, R. (2017). Changing patterns of exhumation and denudation in front of an advancing crustal indenter, Tauern Window (Eastern Alps). *Tectonics (Washington, D.C.)*, 36(6):1053–1071.
- Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., and Rucci, A. (2011). A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 49(9):3460–3470.
- Groß, P., Handy, M. R., John, T., Pestal, G., and Pleuger, J. (2020). Crustal-Scale Sheath Folding at HP Conditions in an Exhumed Alpine Subduction Zone (Tauern Window, Eastern Alps). *Tectonics (Washington, D.C.)*, 39(2).
- Groß, P., Pleuger, J., Handy, M. R., Germer, M., and John, T. (2021). Evolving temperature field in a fossil subduction channel during the transition from subduction to collision (Tauern Window, Eastern Alps). *Journal of metamorphic geology*, 39(2):247–269.
- Huet, B. (2020). *Hierarchisches Glossar planarer, linearer Strukturen und Bewegungsrichtungsindikatoren*. Berichte der Geologischen Bundesanstalt ; 138. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Huggel, C., Salzmann, N., Allen, S., Caplan-Auerbach, J., Fischer, L., Haeberli, W., Larsen, C., Schneider, D., and Wessels, R. (2010). Recent and future warm extreme events and high-mountain slope stability. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, physical, and engineering sciences*, 368(1919):2435–2459.
- Humitsch, R. (2021). DEFORMARIONSBEOBSACHTUNGEN 2021, 28. Folgemessung. Vermessungsbüros Dipl.-Ing. Ronald Humitsch, 9800 Spittal an der Drau.
- Hungr, O., Leroueil, S., and Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2):167–194.
- Höck, V. and Pestal, G. (1994). GEOLOGISCHE KARTE DER REPUBLIK ÖSTERREICH 1 : 50 000, 153 GROSSGLOCKNER.
- Inkscape (2018). Inkscape 0.92.4, Abgerufen am 25.10.2018, von <https://www.inkscape.org>. *Inkscape*.
- Kienholz, H., Krummenacher, B., Baumann, R., Bollinger, D., Rügger, E., Keuser, H., Loat, R., and Lateltin, O. (1995). Symbolbaukastenzur Kartierungder Phänomene. *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG)*.
- Kinter, E. B. (1955). A New Method for Preparation and Treatment of Oriented Aggregate Specimens of Soil Clays for X-Ray Diffraction Analysis1. *Clays and clay minerals*, 4(1):21–21.

- Kurz, W., Handler, R., and Bertoldi, C. (2008). Tracing the exhumation of the Eclogite Zone (Tauern Window, Eastern Alps) by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of white mica in eclogites. *Swiss Journal of Geosciences*, 101(1):191–206.
- Mikkelsen, P. E. (2003). Advances in Inclinometer Data Analysis. *Symposium on Field Measurements in Geomechanics*.
- Moore, D. M. and Reynolds, R. C. (1997). *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. Oxford Univ. Press, Oxford [u.a.], 2. ed. edition.
- Murawski, H. and Meyer, W. (2010). *Geologisches Wörterbuch*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 12. aufl. 2010 edition.
- Müller, G. (1987). *Methoden der Dünnschliffmikroskopie*. Clausthaller tektonische Hefte ; 14. Pilger, Clausthal-Zellerfeld, 4., neubearb. aufl. edition.
- Nesse, W. D. (1987). Introduction to optical mineralogy; book review. *American Journal of Science*, 287(4):399.
- Orthofoto (1999). Orthofoto Land Kärnten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8-Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoodination, ITU-Umwelddaten und KAGIS.
- Orthofoto (2003). Orthofoto Land Kärnten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8-Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoodination, ITU-Umwelddaten und KAGIS.
- Orthofoto (2006). Orthofoto Land Kärnten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8-Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoodination, ITU-Umwelddaten und KAGIS.
- Orthofoto (2012). Orthofoto Land Kärnten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8-Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoodination, ITU-Umwelddaten und KAGIS.
- Orthofoto (2015). Orthofoto Land Kärnten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8-Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoodination, ITU-Umwelddaten und KAGIS.
- Orthofoto (2018). Orthofoto Land Kärnten: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8-Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoodination, ITU-Umwelddaten und KAGIS.
- Pestal, G. (2009). *Geologische Karte von Salzburg : Erläuterungen (2009) : / Gerhard Pestal ... (Red.). Mit Beitr. von Rainer Braunstingl ...* Geolog. Bundesanstalt Land Salzburg, Wien Salzburg.
- QGIS (2019). QGIS, Abgerufen am 21.03.2020, von <https://qgis.org/en/site/>. *QGIS Association*.
- Reiter, F. and Acs, P. (2019). tectonicsfp, Abgerufen am 21.03.2020, von <https://tectonicsfp.com>. *tectonics fp*.
- Riedmüller, G. (1978). Neof ormations and transformations of clay minerals in tectonic shear zones. *Mineralogy and petrology*, 25(3):219–242.

Literaturverzeichnis

- SAGIS (2022). <https://www.salzburg.gv.at/sagis>. *Land Salzburg*.
- Salzburg, L. (2022). Salzburg GIS: InSAR.
- Sander, B. (1911). Geologische Studien am Westende der Hohen Tauern. Denkschrift Der Kaiserlichen Akademie Der Wissenschaften. Technical report.
- Schmid, S. M., Scharf, A., Handy, M. R., and Rosenberg, C. L. (2013). The Tauern Window (Eastern Alps, Austria): a new tectonic map, with cross-sections and a tectonometamorphic synthesis. *Swiss Journal of geosciences*, 106(1):1–32.
- SedInOut (2022). SedInOut, Abgerufen am 21.03.2020, von <https://www.provinz.bz.it/bauen-wohnen/oeffentliche-bauten/geologie/projekt-sedinout.asp>. *Entwicklung einer Methodik zum Risk Management durch standardisierte Abschätzung des Sedimenteintrages von Massenbewegungen im Gebirgsbereich*.
- Thorez, J. (1975). *Phyllosilicates and clay minerals : a laboratory handbook for their x-ray diffraction analysis*. Ed. Lelotte, Dison.
- Tributh, H. (1991). *Notwendigkeit und Vorteil der Aufbereitung von Boden- und Lagerstättentonen*. Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen, Berichte der DTTG, 1, 29-33.
- Tröger, W. E. (1969). *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. 2, Textband / mit Beitr. von Hans Ulrich Bambauer ...* Schweizerbart, Stuttgart, 2. aufl. edition.
- Tschernutter, P. (2021). Inklinometer, 24. Folgemessung. *Zivilingenieurbüro Dr. Peter Tschernutter, 9500 Villach*.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M. (2007). *Structural geology*. Freeman, New York, NY [u.a.], 2. ed., 2. print. edition.
- Van der Pluijm, B. A. and Marshak, S. (2004). *Earth Structure*. W. W. Norton Company, New York, NY [u.a.], 2. ed., 2. print. edition.
- Vinx, R. (2015). *Gesteinsbestimmung im Gelände*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 4., neu bearb. u. aktualisierte aufl. 2015 edition.
- Whittig, L. (1965). *X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition*. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Wilson, M. (1987). *A handbook of determinative methods in clay mineralogy*. Verlag Blackie, Glasgow and London.
- Woodcock, N. H. and Mort, K. (2008). Classification of fault breccias and related fault rocks. *Geological magazine*, 145(3):435–440.
- Zangerl, C., Prager, C., Brandner, R., Brückl, E., Eder, S., Fellin, W., Tentschert, E., Poscher, G., and Schönlaub, H. (2008). Methodischer leitfaden zur prozessorientierten bearbeitung von massenbewegungen. *Geo. Alp*, 5:1–51.

A. Appendix

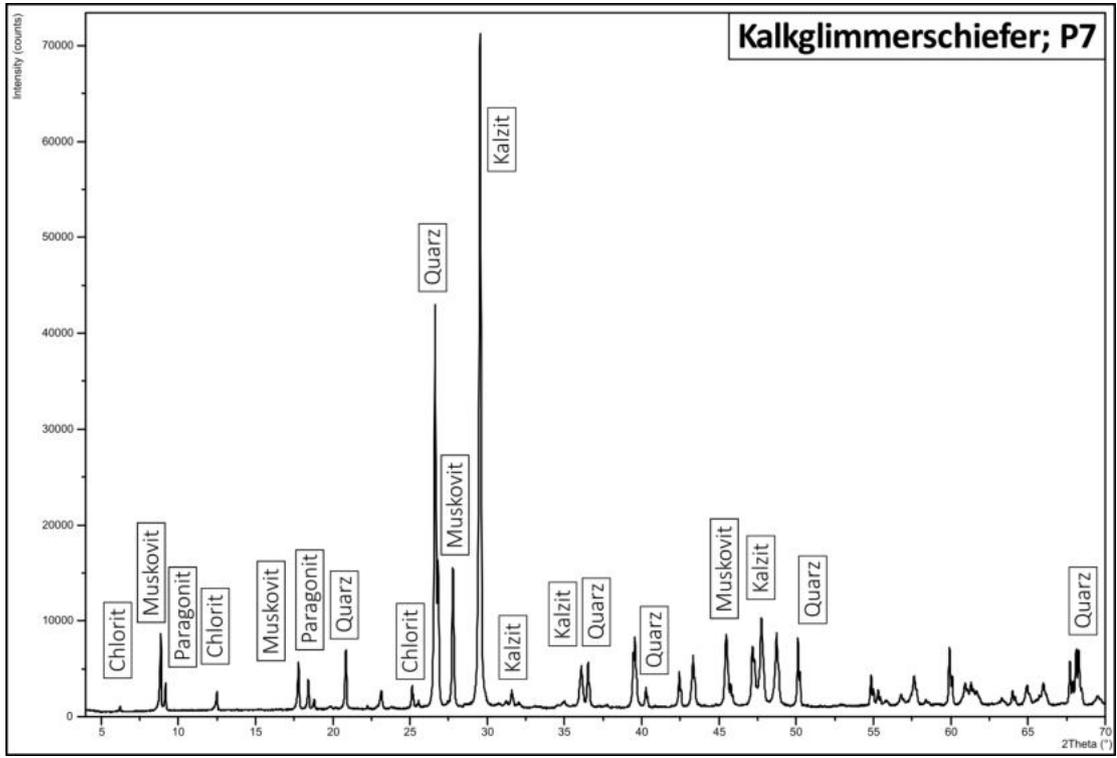
A.1. Daten aus der Kartierung

A. Appendix

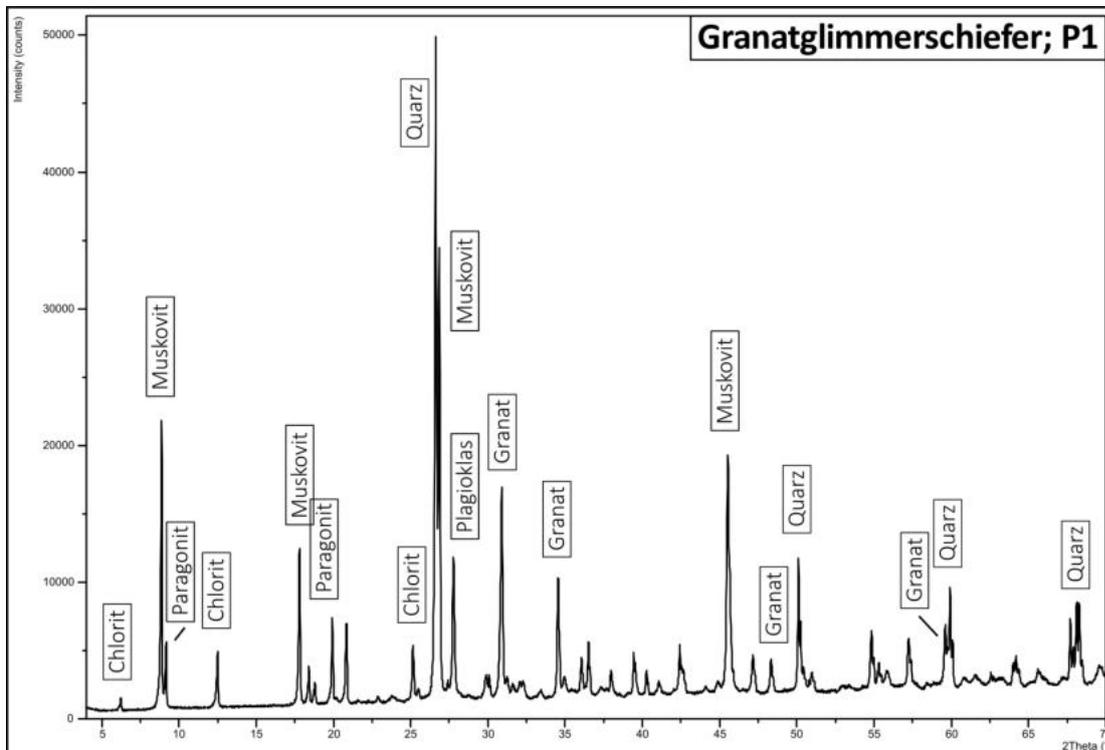
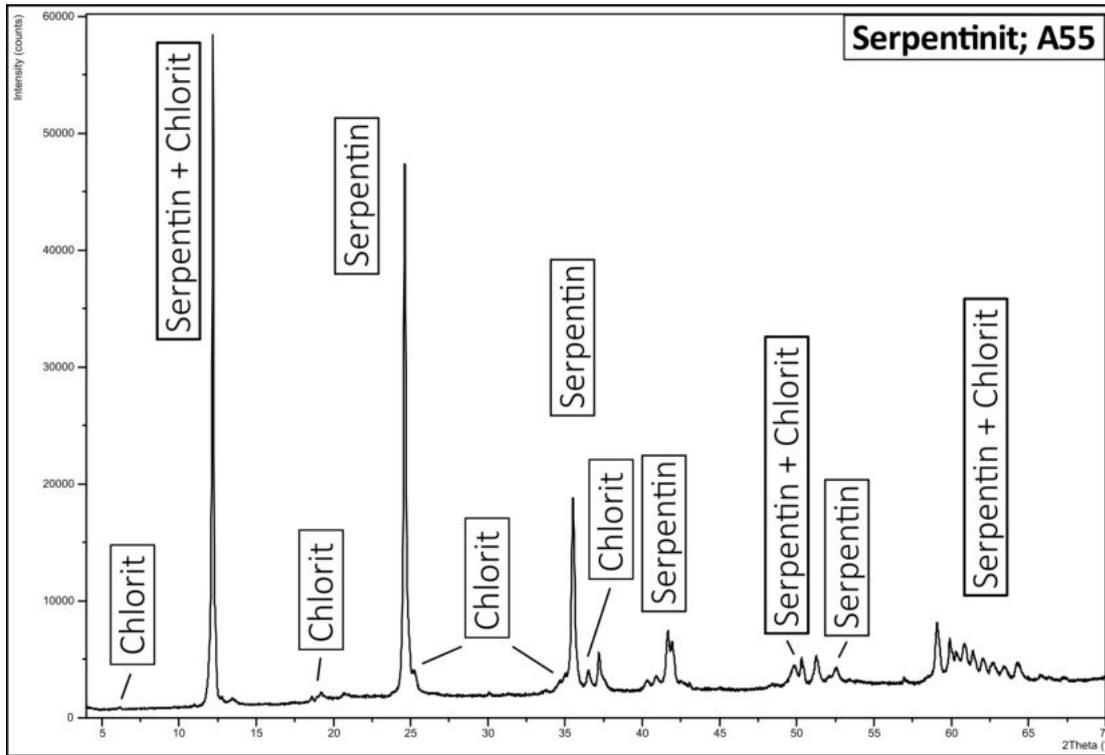
Aufschluss Nr.	Nord	Ost	Höhe [m ü.A.]	Lithologie	Sf		K		Hf		St		V		SZ		st		Probe	Anmerkung
					Az.	Fallw.														
1				S	125	42	312	83	078	60	046	57								cc auf Hf
2				S	081	24			274	44	291	44								
3	4706026	1279479	2064	S	207	27	027	88	170	62	233	28								wellige Hf
4	4706059	1279501	2091	Übergang S-KGS	127	41	030	85	162	69	227	41								
5				S	193	27														
6	4706149	1279595	2131	KGS	189	34	119	89					264	62						Topo
7	4706172	1279612	2149	KGS	162	37	200	76					031	85	214	47				
8	4706187	1279625	2168	KGS	256	37	113	89												anstehernd?
9	4706245	127958	2205	KGS	165	16	291	83												
10	4706413	1279712	2292	KGS	190	20	201	84												
11	4706459	1279749	2316	KGS	202	19	198	90												Topo
12	4706483	127978	2330	KGS	197	20	019	86												step-path-failure
13	4706658	1279864	2468	KGS			034	84												
14	4706685	1279957	2458	GGS			292	84												P 1
15	4706692	1280055	2453				143	50												

A. Appendix

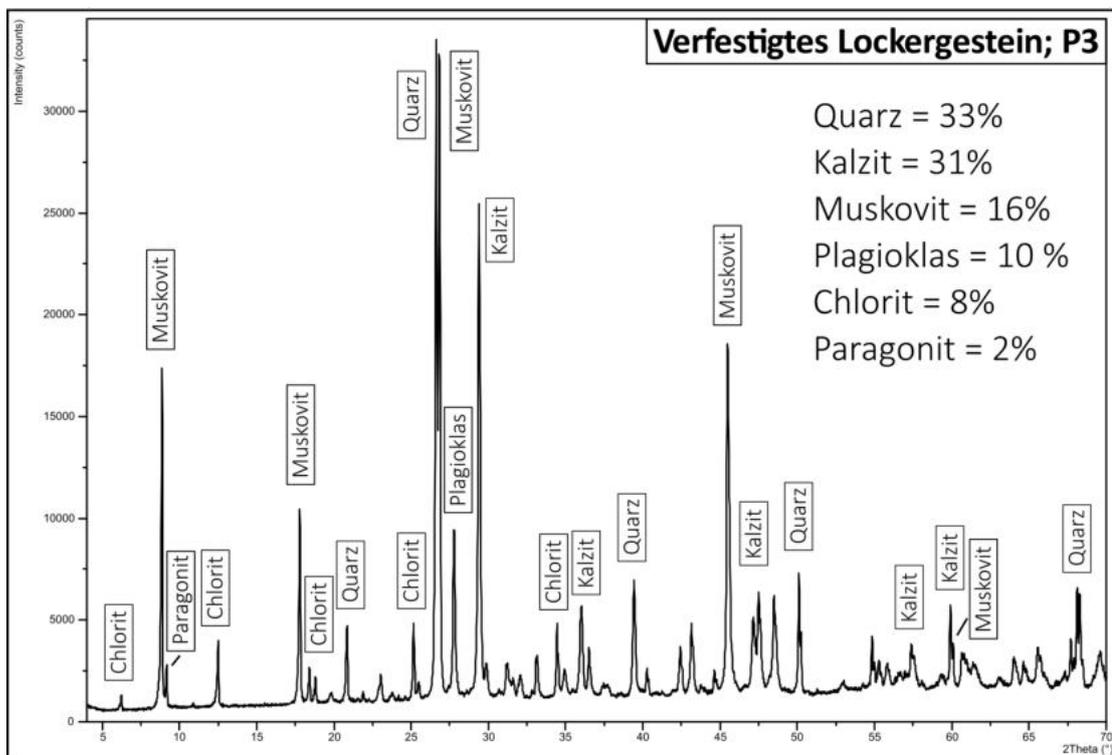
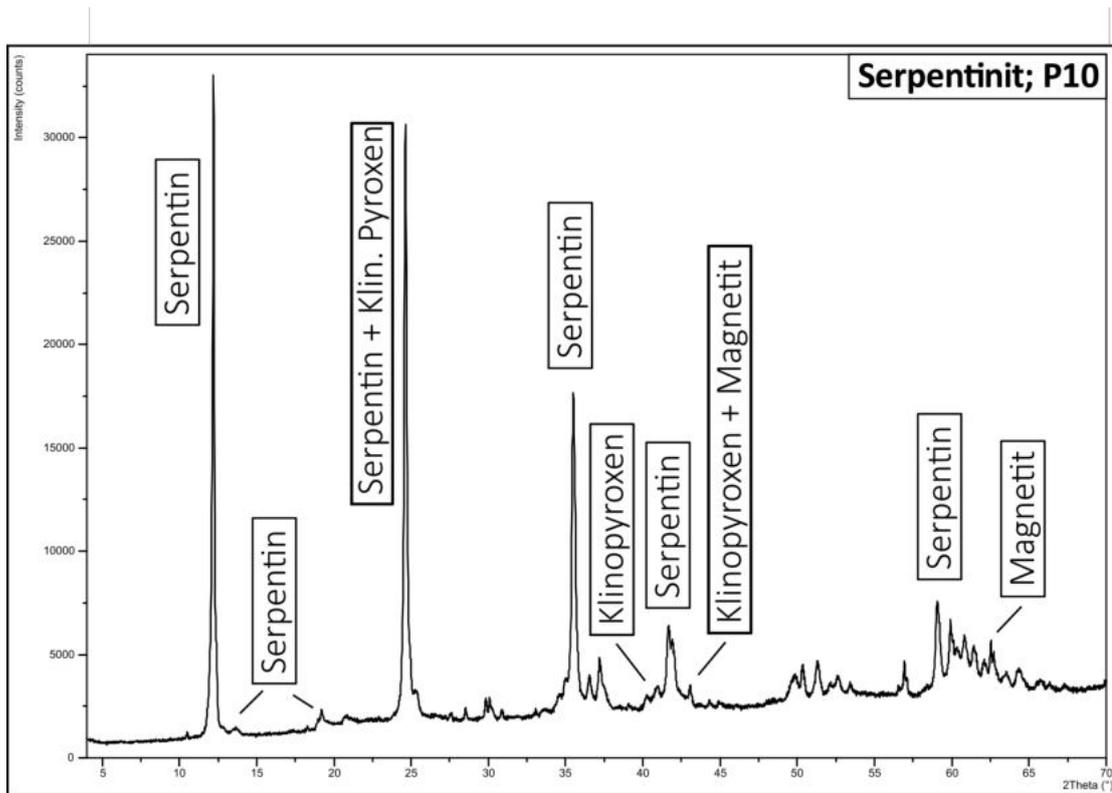
A.2. Diffraktogramme



A.2. Diffraktogramme



A. Appendix



A.3. Verschiebemessungen

A.3. Verschiebemessungen

25.07.2013	1011.717	1019.142	1000.651	-0,002	-0,039	0,003	0,172	-0,188	0,032	47.952	137.059	82.842	0,257	7,158	-47.545	137.545
22.05.2014	1011.729	1019.132	1000.654	0,012	-0,010	0,003	0,184	-0,198	0,035	47.538	136.591	82.622	0,273	7,378	-47.099	137.099
30.09.2014	1011.741	1019.123	1000.657	0,012	-0,009	0,003	0,196	-0,207	0,038	47.037	136.036	82.407	0,288	7,593	-46.564	136.564
29.04.2015	1011.745	1019.118	1000.657	0,005	-0,005	0,000	0,200	-0,212	0,038	47.120	136.161	82.572	0,294	7,428	-46.668	136.668
12.10.2015	1011.760	1019.110	1000.659	0,014	-0,009	0,002	0,215	-0,220	0,040	46.124	135.171	82.591	0,310	7,409	-45.659	135.659
10.05.2016	1011.766	1019.104	1000.661	0,006	-0,005	0,002	0,221	-0,226	0,042	46.127	135.133	82.431	0,319	7,569	-45.641	135.641
17.10.2016	1011.778	1019.097	1000.662	0,012	-0,008	0,001	0,233	-0,233	0,043	45.480	134.520	82.565	0,332	7,435	-45.000	135.000
16.05.2017	1011.783	1019.092	1000.663	0,006	-0,004	0,001	0,238	-0,238	0,044	45.481	134.519	82.552	0,339	7,448	-45.000	135.000
09.10.2017	1011.792	1019.086	1000.664	0,009	-0,007	0,001	0,247	-0,244	0,045	45.129	134.182	82.615	0,350	7,385	-44.650	134.650
11.05.2018	1011.801	1019.080	1000.666	0,009	-0,006	0,001	0,256	-0,250	0,047	44.818	133.846	82.517	0,361	7,483	-44.321	134.321
11.10.2018	1011.815	1019.071	1000.667	0,015	-0,009	0,001	0,280	-0,268	0,048	44.292	133.364	82.689	0,377	7,311	-43.809	133.809
11.06.2019	1011.825	1019.062	1000.668	0,010	-0,009	0,001	0,280	-0,268	0,049	44.216	133.314	82.795	0,391	7,205	-43.746	133.746
27.09.2019	1011.835	1019.054	1000.669	0,010	-0,007	0,001	0,290	-0,276	0,050	44.045	133.164	82.881	0,403	7,119	-43.583	133.583
20.05.2020	1011.843	1019.049	1000.671	0,008	-0,005	0,001	0,298	-0,281	0,052	43.800	132.890	82.765	0,413	7,235	-43.318	133.318
08.10.2020	1011.856	1019.041	1000.672	0,013	-0,009	0,001	0,311	-0,289	0,053	43.373	132.491	82.884	0,428	7,116	-42.900	132.900
21.05.2021	1011.865	1019.033	1000.673	0,008	-0,008	0,001	0,320	-0,297	0,054	43.330	132.464	82.949	0,440	7,051	-42.865	132.865
16A																
24.07.2002	1015.197	1021.652	1000.640													
28.09.2004	1015.245	1021.629	1000.646	0,048	-0,023	0,006	0,048	-0,023	0,006	26.345	115.430	83.568	0,054	6,432	-25.602	115.602
17.07.2006	1015.273	1021.612	1000.652	0,028	-0,017	0,006	0,076	-0,040	0,012	28.788	117.469	82.046	0,087	7,954	-27.759	117.759
17.09.2007	1015.282	1021.595	1000.644	0,009	-0,077	-0,008	0,085	-0,117	0,004	54.018	143.972	88.416	0,145	1,584	-54.002	144.002
31.07.2008	1015.298	1021.527	1000.651	0,016	-0,008	0,007	0,101	-0,125	0,011	51.170	140.897	86.084	0,161	3,916	-51.062	141.062
09.06.2009	1015.308	1021.527	1000.660	0,010	-0,000	0,009	0,111	-0,125	0,020	48.754	137.940	83.178	0,168	6,822	-48.395	138.395
18.11.2009	1015.322	1021.522	1000.658	0,014	-0,005	-0,002	0,125	-0,130	0,018	46.395	135.829	84.300	0,181	5,700	-46.123	136.123
26.05.2010	1015.326	1021.521	1000.664	0,004	-0,001	0,006	0,129	-0,131	0,024	45.913	134.953	82.563	0,185	7,437	-45.441	135.441
12.10.2010	1015.337	1021.520	1000.665	0,011	-0,001	0,001	0,140	-0,132	0,025	43.819	132.867	82.597	0,194	7,403	-43.315	133.315
11.05.2011	1015.342	1021.518	1000.665	0,005	-0,002	0,000	0,145	-0,134	0,025	43.231	132.324	82.783	0,199	7,217	-42.742	132.742
02.11.2011	1015.352	1021.513	1000.668	0,011	-0,005	0,003	0,155	-0,139	0,028	42.452	131.428	82.340	0,210	7,660	-41.885	131.885
30.05.2012	1015.360	1021.513	1000.670	0,008	-0,001	0,002	0,163	-0,139	0,030	41.101	129.986	82.028	0,216	7,972	-40.456	130.456
19.07.2012	1015.364	1021.511	1000.672	0,004	-0,002	0,002	0,167	-0,141	0,032	40.885	129.666	81.670	0,221	8,330	-40.175	130.175
08.11.2012	1015.368	1021.507	1000.674	0,004	-0,003	0,002	0,171	-0,145	0,034	41.054	129.749	81.377	0,227	8,623	-40.296	130.296
25.07.2013	1015.383	1021.442	1000.675	0,015	-0,065	0,001	0,186	-0,210	0,035	48.857	137.973	82.888	0,283	7,112	-48.468	138.468
22.05.2014	1015.394	1021.433	1000.678	0,011	-0,009	0,002	0,197	-0,219	0,038	48.449	137.506	82.649	0,297	7,351	-48.027	138.027
30.09.2014	1015.405	1021.425	1000.679	0,011	-0,008	0,002	0,208	-0,227	0,039	47.916	137.008	82.781	0,310	7,219	-47.501	137.501
29.04.2015	1015.411	1021.412	1000.679	0,006	-0,004	0,000	0,214	-0,231	0,039	47.589	136.721	82.940	0,317	7,060	-47.188	137.188
12.10.2015	1015.425	1021.412	1000.682	0,014	-0,009	0,003	0,228	-0,240	0,042	46.900	135.991	82.769	0,334	7,231	-46.469	136.469
10.05.2016	1015.430	1021.408	1000.683	0,006	-0,004	0,001	0,233	-0,244	0,043	46.759	135.842	82.737	0,340	7,263	-46.321	136.321
17.10.2016	1015.441	1021.401	1000.684	0,011	-0,007	0,000	0,244	-0,251	0,044	46.243	135.352	82.836	0,353	7,164	-45.810	135.810
16.05.2017	1015.447	1021.397	1000.684	0,006	-0,004	0,000	0,250	-0,255	0,044	45.987	135.130	82.976	0,360	7,024	-45.567	135.567
09.10.2017	1015.456	1021.390	1000.685	0,009	-0,007	0,001	0,259	-0,262	0,045	45.746	134.904	83.036	0,371	6,964	-45.330	135.330
11.05.2018	1015.464	1021.385	1000.686	0,008	-0,005	0,001	0,267	-0,267	0,046	45.419	134.581	83.054	0,380	6,946	-45.000	135.000
11.10.2018	1015.479	1021.375	1000.686	0,016	-0,010	0,000	0,282	-0,277	0,046	44.877	134.111	83.362	0,398	6,638	-44.488	134.488
11.06.2019	1015.489	1021.367	1000.687	0,009	-0,008	0,001	0,292	-0,285	0,047	44.689	133.939	83.429	0,411	6,571	-44.305	134.305
27.09.2019	1015.498	1021.359	1000.687	0,009	-0,008	0,000	0,301	-0,293	0,047	44.592	133.884	83.616	0,423	6,384	-44.228	134.228
27.05.2020	1015.506	1021.355	1000.688	0,008	-0,004	0,001	0,309	-0,297	0,048	44.235	133.524	83.610	0,431	6,390	-43.866	133.866
08.10.2020	1015.518	1021.347	1000.689	0,013	-0,007	0,001	0,321	-0,305	0,049	43.901	133.206	83.685	0,445	6,315	-43.536	133.536
21.05.2021	1015.526	1021.339	1000.690	0,008	-0,008	0,000	0,329	-0,313	0,050	43.933	133.246	83.717	0,457	6,283	-43.572	133.572

A.3. Verschiebemessungen

29.04.2015	1004.192	1024.764	1001.540	0,007	-0,005	0,001	0,211	-0,200	0,045	44,174	132,831	81,201	0,294	8,799	-43,467	133,467
12.10.2015	1004.203	1024.753	1001.542	0,011	-0,012	0,002	0,222	-0,211	0,047	44,238	132,918	81,276	0,310	8,724	-43,545	133,545
10.05.2016	1004.208	1024.748	1001.544	0,006	-0,005	0,002	0,227	-0,216	0,049	44,296	132,926	81,112	0,317	8,888	-43,578	133,578
17.10.2016	1004.219	1024.739	1001.545	0,011	-0,009	0,001	0,238	-0,225	0,050	44,081	132,774	81,320	0,331	8,680	-43,392	133,392
16.05.2017	1004.224	1024.734	1001.546	0,005	-0,004	0,001	0,243	-0,230	0,051	44,113	132,810	81,333	0,338	8,667	-43,426	133,426
09.10.2017	1004.233	1024.727	1001.547	0,009	-0,007	0,001	0,252	-0,237	0,052	43,916	132,647	81,452	0,350	8,548	-43,243	133,243
11.05.2018	1004.241	1024.720	1001.549	0,007	-0,007	0,002	0,260	-0,244	0,054	43,866	132,578	81,388	0,361	8,612	-43,182	133,182
11.10.2018	1004.256	1024.711	1001.550	0,015	-0,010	0,001	0,275	-0,253	0,055	43,274	132,055	81,627	0,375	8,373	-42,614	132,614
11.06.2019	1004.265	1024.702	1001.551	0,009	-0,009	0,001	0,284	-0,262	0,056	43,331	132,148	81,754	0,390	8,246	-42,693	132,693
27.09.2019	1004.275	1024.694	1001.553	0,010	-0,009	0,002	0,294	-0,270	0,058	43,208	132,019	81,733	0,403	8,267	-42,563	132,563
20.05.2020	1004.282	1024.688	1001.555	0,007	-0,006	0,002	0,301	-0,276	0,060	43,179	131,964	81,642	0,413	8,358	-42,519	132,519
08.10.2020	1004.295	1024.678	1001.558	0,014	-0,010	0,003	0,314	-0,286	0,063	43,005	131,766	81,563	0,429	8,437	-42,328	132,328
21.05.2021	1004.303	1024.668	1001.558	0,007	-0,010	0,001	0,322	-0,296	0,063	43,224	132,055	81,803	0,442	8,197	-42,591	132,591
5A																
24.07.2002	1005.772	1027.067	1001.518													
28.09.2004	1005.813	1027.019	1001.525	0,041	-0,048	0,007	0,041	-0,048	0,007	49,795	139,090	83,672	0,064	6,328	-49,497	139,497
17.07.2006	1005.837	1027.002	1001.532	0,024	-0,017	0,007	0,065	-0,065	0,014	45,649	134,551	81,340	0,093	8,660	-45,000	135,000
17.09.2007	1005.896	1027.006	1001.525	0,059	0,004	-0,007	0,124	-0,061	0,007	26,343	116,158	87,100	0,138	2,900	-26,194	116,194
31.07.2008	1005.902	1026.990	1001.535	0,006	-0,016	0,010	0,130	-0,077	0,017	31,240	120,426	83,580	0,152	6,420	-30,639	120,639
09.06.2009	1005.906	1026.979	1001.543	0,004	-0,011	0,008	0,134	-0,088	0,025	34,321	122,845	81,136	0,162	8,864	-33,294	123,294
18.11.2009	1005.914	1026.962	1001.543	0,008	-0,016	0,000	0,142	-0,105	0,025	37,239	126,063	81,943	0,178	8,057	-36,481	126,481
26.05.2010	1005.916	1026.959	1001.548	0,001	-0,003	0,005	0,144	-0,108	0,030	37,897	126,287	80,538	0,182	9,462	-36,870	126,870
12.10.2010	1005.921	1026.950	1001.549	0,005	-0,009	0,001	0,149	-0,117	0,031	39,088	127,552	80,707	0,192	9,293	-38,140	128,140
11.05.2011	1005.924	1026.942	1001.549	0,004	-0,007	0,000	0,152	-0,125	0,031	40,274	128,861	81,048	0,199	8,952	-39,433	129,433
02.11.2011	1005.931	1026.931	1001.551	0,007	-0,011	0,003	0,159	-0,136	0,033	41,353	129,946	81,037	0,212	8,963	-40,542	130,542
30.05.2012	1005.934	1026.924	1001.554	0,003	-0,007	0,002	0,162	-0,143	0,036	42,310	130,751	80,541	0,219	9,459	-41,435	131,435
19.07.2012	1005.936	1026.920	1001.555	0,002	-0,004	0,001	0,164	-0,147	0,037	42,747	131,165	80,463	0,223	9,537	-41,871	131,871
08.11.2012	1005.941	1026.911	1001.557	0,005	-0,009	0,002	0,169	-0,156	0,039	43,576	131,969	80,376	0,233	9,624	-42,709	132,709
25.07.2013	1005.992	1026.914	1001.560	0,050	0,003	0,003	0,220	-0,153	0,042	35,798	124,338	81,092	0,271	8,908	-34,817	124,817
22.05.2014	1006.001	1026.903	1001.565	0,010	-0,012	0,004	0,229	-0,164	0,047	36,686	125,051	80,527	0,286	9,473	-35,609	125,609
30.09.2014	1006.011	1026.893	1001.568	0,010	-0,010	0,003	0,239	-0,174	0,050	37,144	125,474	80,400	0,300	9,600	-36,056	126,056
29.04.2015	1006.019	1026.888	1001.569	0,007	-0,005	0,001	0,247	-0,179	0,051	36,999	125,364	80,508	0,309	9,492	-35,931	125,931
12.10.2015	1006.030	1026.877	1001.572	0,011	-0,010	0,002	0,258	-0,190	0,054	37,438	125,785	80,434	0,325	9,566	-36,369	126,369
17.10.2016	1006.045	1026.862	1001.575	0,011	-0,009	0,001	0,273	-0,205	0,057	37,933	126,318	80,521	0,346	9,559	-36,659	126,659
16.05.2017	1006.049	1026.858	1001.576	0,004	-0,005	0,001	0,277	-0,209	0,058	38,062	126,446	80,511	0,352	9,489	-37,035	127,035
09.10.2017	1006.058	1026.850	1001.578	0,009	-0,007	0,001	0,286	-0,217	0,060	38,210	126,597	80,512	0,364	9,488	-37,189	127,189
11.05.2018	1006.065	1026.843	1001.579	0,007	-0,007	0,002	0,293	-0,224	0,061	38,391	126,813	80,609	0,374	9,391	-37,398	127,398
11.10.2018	1006.082	1026.835	1001.581	0,017	-0,009	0,002	0,310	-0,232	0,063	37,793	126,256	80,759	0,392	9,241	-36,811	126,811
11.06.2019	1006.090	1026.826	1001.583	0,008	-0,008	0,002	0,318	-0,241	0,065	38,130	126,594	80,747	0,404	9,253	-37,157	127,157
27.09.2019	1006.101	1026.818	1001.585	0,011	-0,008	0,002	0,329	-0,249	0,067	38,088	126,561	80,777	0,418	9,223	-37,120	127,120
20.05.2020	1006.107	1026.812	1001.587	0,006	-0,006	0,002	0,335	-0,255	0,069	38,258	126,692	80,692	0,427	9,308	-37,278	127,278
08.10.2020	1006.120	1026.802	1001.589	0,013	-0,010	0,002	0,348	-0,265	0,071	38,251	126,727	80,780	0,443	9,220	-37,289	127,289
21.05.2021	1006.126	1026.792	1001.590	0,006	-0,010	0,001	0,354	-0,275	0,072	38,765	127,280	80,875	0,454	9,125	-37,841	127,841
6A																
24.07.2002	1012.675	1031.296	1001.468													
28.09.2004	1012.707	1031.261	1001.474	0,032	-0,035	0,006	0,032	-0,035	0,006	47,977	137,070	82,789	0,048	7,211	-47,564	137,564
17.07.2006	1012.727	1031.248	1001.483	0,020	-0,013	0,009	0,052	-0,048	0,015	44,042	131,570	78,033	0,072	11,967	-42,709	132,709

A. Appendix

17.09.2007	1012.824	1031.190	1001.478	0.097	-0.058	-0.005	0.149	-0.106	0.010	35.548	125.368	86.870	0.183	3.130	-35.428	125.428
31.07.2008	1012.827	1031.182	1001.489	0.003	-0.008	0.011	0.152	-0.114	0.021	37.330	126.610	83.693	0.191	6.307	-36.870	126.870
09.06.2009	1012.827	1031.179	1001.498	0.000	-0.003	0.009	0.152	-0.117	0.030	38.472	127.059	81.111	0.194	8.889	-37.587	127.587
18.11.2009	1012.829	1031.169	1001.498	0.002	-0.009	0.000	0.154	-0.127	0.030	40.277	128.989	81.453	0.202	8.547	-39.512	129.512
26.05.2010	1012.829	1031.169	1001.503	-0.001	0.000	0.005	0.154	-0.127	0.035	40.544	128.805	80.055	0.203	9.945	-39.512	129.512
12.10.2010	1012.831	1031.165	1001.507	0.002	-0.004	0.004	0.156	-0.131	0.039	41.224	129.169	79.162	0.207	10.838	-40.022	130.022
11.05.2011	1012.832	1031.162	1001.506	0.001	-0.003	0.000	0.157	-0.134	0.038	41.578	129.677	79.569	0.210	10.431	-40.481	130.481
02.11.2011	1012.835	1031.156	1001.511	0.003	-0.006	0.004	0.160	-0.140	0.043	42.469	130.198	78.566	0.217	11.434	-41.186	131.186
30.05.2012	1012.836	1031.154	1001.514	0.001	-0.002	0.003	0.161	-0.142	0.046	42.834	130.300	77.906	0.220	12.094	-41.412	131.412
19.07.2012	1012.837	1031.152	1001.517	0.001	-0.002	0.003	0.162	-0.144	0.049	43.196	130.392	77.261	0.222	12.739	-41.634	131.634
08.11.2012	1012.839	1031.145	1001.521	0.002	-0.007	0.004	0.164	-0.151	0.053	44.298	131.222	76.627	0.229	13.373	-42.637	132.637
25.07.2013	1012.921	1031.099	1001.528	0.083	-0.046	0.007	0.246	-0.197	0.060	39.934	127.883	79.221	0.321	10.779	-38.688	128.688
22.05.2014	1012.930	1031.090	1001.534	0.009	-0.009	0.006	0.255	-0.206	0.066	40.308	128.028	78.617	0.334	11.383	-38.933	128.933
30.09.2014	1012.941	1031.080	1001.537	0.011	-0.010	0.003	0.266	-0.216	0.069	40.446	128.168	78.615	0.350	11.385	-39.078	129.078
29.04.2015	1012.945	1031.075	1001.539	0.003	-0.005	0.002	0.270	-0.221	0.071	40.686	128.365	78.498	0.356	11.502	-39.301	129.301
12.10.2015	1012.957	1031.066	1001.542	0.012	-0.009	0.003	0.282	-0.230	0.074	40.589	128.270	78.506	0.371	11.494	-39.201	129.201
10.05.2016	1012.961	1031.062	1001.544	0.003	-0.004	0.002	0.286	-0.234	0.076	40.704	128.335	78.378	0.377	11.622	-39.289	129.289
17.10.2016	1012.971	1031.053	1001.545	0.010	-0.009	0.001	0.296	-0.243	0.077	40.734	128.467	78.632	0.391	11.368	-39.384	129.384
16.05.2017	1012.974	1031.050	1001.546	0.003	-0.003	0.001	0.299	-0.246	0.078	40.798	128.523	78.610	0.395	11.390	-39.446	129.446
09.10.2017	1012.983	1031.043	1001.548	0.008	-0.007	0.002	0.308	-0.253	0.080	40.745	128.486	78.651	0.407	11.349	-39.401	129.401
11.05.2018	1012.989	1031.037	1001.550	0.006	-0.006	0.002	0.314	-0.259	0.082	40.866	128.593	78.610	0.415	11.390	-39.517	129.517
11.10.2018	1013.006	1031.027	1001.553	0.017	-0.010	0.003	0.331	-0.269	0.085	40.441	128.208	78.729	0.435	11.271	-39.100	129.100
11.06.2019	1013.015	1031.019	1001.556	0.009	-0.008	0.003	0.340	-0.277	0.088	40.525	128.263	78.654	0.447	11.346	-39.170	129.170
27.09.2019	1013.024	1031.010	1001.557	0.010	-0.009	0.002	0.349	-0.286	0.089	40.638	128.452	78.842	0.460	11.158	-39.334	129.334
20.05.2020	1013.030	1031.005	1001.560	0.005	-0.005	0.003	0.355	-0.291	0.092	40.686	128.432	78.667	0.468	11.333	-39.342	129.342
08.10.2020	1013.041	1030.996	1001.563	0.012	-0.009	0.003	0.366	-0.300	0.095	40.689	128.428	78.649	0.483	11.351	-39.341	129.341
21.05.2021	1013.047	1030.989	1001.564	0.006	-0.007	0.001	0.372	-0.307	0.096	40.849	128.628	78.743	0.492	11.257	-39.532	129.532
7A																
24.07.2002	1015.784	1032.224	1001.433													
28.09.2004	1015.780	1032.207	1001.436	-0.004	-0.017	0.003	-0.004	-0.017	0.003	103.046	163.610	80.253	0.018	9.747	76.759	166.759
17.07.2006	1015.770	1032.201	1001.444	-0.010	-0.006	0.008	-0.014	-0.023	0.011	118.772	142.256	67.779	0.029	22.221	58.671	148.671
17.09.2007	1015.787	1032.234	1001.448	0.017	0.033	0.004	0.003	0.010	0.015	80.552	56.827	34.839	0.018	55.161	73.301	163.301
31.07.2008	1015.784	1032.229	1001.458	-0.003	-0.005	0.010	0.000	0.005	0.025	90.000	78.690	11.310	0.025	78.690	#DIV/0!	#DIV/0!
09.06.2009	1015.785	1032.232	1001.467	0.001	0.003	0.009	0.001	0.008	0.034	88.360	76.765	13.340	0.035	76.660	82.875	172.875
18.11.2009	1015.786	1032.227	1001.467	0.000	-0.006	0.000	0.002	0.003	0.034	86.647	84.966	6.053	0.034	83.947	56.310	146.310
26.05.2010	1015.783	1032.227	1001.471	-0.002	0.001	0.004	-0.001	0.003	0.038	91.503	85.488	4.757	0.038	85.243	-71.565	161.565
12.10.2010	1015.785	1032.227	1001.474	0.002	-0.001	0.004	0.001	0.003	0.041	88.607	85.816	4.410	0.041	85.590	71.565	161.565
11.05.2011	1015.785	1032.225	1001.474	0.000	-0.001	0.001	0.001	0.001	0.041	88.603	88.603	1.976	0.041	88.024	45.000	135.000
02.11.2011	1015.784	1032.223	1001.478	0.000	-0.002	0.004	0.000	-0.001	0.045	90.000	91.273	1.273	0.045	88.727	#DIV/0!	#DIV/0!
30.05.2012	1015.784	1032.222	1001.480	0.000	-0.001	0.002	0.000	-0.002	0.047	90.000	92.437	2.437	0.047	87.563	#DIV/0!	#DIV/0!
19.07.2012	1015.781	1032.221	1001.483	-0.003	-0.003	0.003	-0.003	-0.003	0.050	93.427	93.427	4.850	0.050	85.150	45.000	135.000
08.11.2012	1015.781	1032.217	1001.487	-0.001	-0.004	0.003	-0.003	-0.007	0.054	93.153	97.375	8.028	0.055	81.972	66.801	156.801
22.05.2013	1015.791	1032.232	1001.503	0.010	0.014	0.016	0.007	0.008	0.070	84.326	83.512	8.635	0.071	81.365	48.814	138.814
22.05.2014	1015.790	1032.225	1001.508	-0.001	-0.007	0.005	0.006	0.001	0.075	85.426	89.239	4.637	0.075	85.363	9.462	99.462
30.09.2014	1015.786	1032.217	1001.512	-0.004	-0.007	0.004	0.002	-0.007	0.079	88.555	98.562	5.265	0.079	84.735	-74.055	164.055
29.04.2015	1015.784	1032.214	1001.513	-0.001	-0.004	0.001	0.000	-0.010	0.080	90.000	97.125	7.125	0.081	82.875	#DIV/0!	#DIV/0!
12.10.2015	1015.780	1032.206	1001.516	-0.004	-0.008	0.003	-0.004	-0.018	0.083	92.697	102.222	12.525	0.085	71.475	77.471	167.471
10.05.2016	1015.778	1032.203	1001.517	-0.002	-0.003	0.002	-0.006	-0.021	0.084	93.964	104.002	14.574	0.087	75.426	74.055	164.055

A.3. Verschiebemessungen

17.10.2016	1015.774	1032.196	1001.519	-0,004	-0,007	0,002	-0,010	-0,028	0,086	96.309	107.921	19.071	0,091	70.929	70.346	160.346
16.05.2017	1015.772	1032.193	1001.521	-0,002	-0,003	0,001	-0,012	-0,031	0,088	97.329	109.241	20.694	0,094	69.306	68.839	158.839
09.10.2017	1015.769	1032.188	1001.523	-0,003	-0,005	0,002	-0,015	-0,036	0,090	98.797	111.532	23.429	0,098	66.571	67.380	157.380
11.05.2018	1015.767	1032.184	1001.525	-0,002	-0,002	0,002	-0,017	-0,040	0,092	99.618	113.149	25.287	0,102	64.713	66.975	156.975
11.10.2018	1015.795	1032.221	1001.527	0,028	0,037	0,002	0,011	-0,003	0,094	83.829	91.843	6.916	0,095	83.084	-15.255	105.255
11.06.2019	1015.793	1032.216	1001.529	-0,003	-0,005	0,002	0,009	-0,008	0,096	84.663	94.743	7.149	0,097	82.851	-41.634	131.634
27.09.2019	1015.792	1032.213	1001.532	-0,001	-0,003	0,003	0,008	-0,011	0,099	85.408	96.320	7.823	0,100	82.177	-53.973	143.973
20.05.2020	1015.791	1032.210	1001.534	-0,001	-0,003	0,002	0,007	-0,014	0,101	86.073	97.873	8.809	0,102	81.191	-63.435	153.435
08.10.2020	1015.789	1032.204	1001.537	-0,002	-0,006	0,002	0,005	-0,020	0,104	87.297	100.873	11.212	0,106	78.788	-75.964	165.964
21.05.2021	1015.785	1032.199	1001.538	-0,003	-0,005	0,002	0,001	-0,025	0,105	89.469	103.392	13.403	0,108	76.597	-87.709	177.709
7CN																
29.04.2015	1016.518	1022.691	994.726													
12.10.2015	1016.533	1022.684	994.727	0,015	-0,007	0,001	0,015	-0,007	0,001	25.239	114.968	86.543	0,017	3.457	-25.017	115.017
10.05.2016	1016.538	1022.681	994.728	0,005	-0,004	0,001	0,019	-0,011	0,002	30.474	119.932	84.795	0,022	5.205	-30.069	120.069
17.10.2016	1016.551	1022.673	994.729	0,013	-0,007	0,001	0,033	-0,018	0,003	28.942	118.511	85.437	0,038	4.563	-28.610	118.610
16.05.2017	1016.556	1022.671	994.729	0,005	-0,002	0,000	0,038	-0,020	0,003	28.022	117.685	86.004	0,043	3.996	-27.759	117.759
09.10.2017	1016.566	1022.665	994.729	0,010	-0,006	0,001	0,048	-0,026	0,004	28.724	118.560	85.809	0,055	4.191	-28.443	118.443
11.05.2018	1016.574	1022.660	994.731	0,008	-0,005	0,001	0,055	-0,031	0,005	29.723	119.306	85.472	0,063	4.528	-29.407	119.407
11.10.2018	1016.590	1022.653	994.731	0,016	-0,008	0,000	0,071	-0,038	0,005	28.361	118.097	86.447	0,081	3.553	-28.156	118.156
11.06.2019	1016.599	1022.646	994.732	0,010	-0,006	0,002	0,081	-0,045	0,007	29.346	118.964	85.680	0,093	4.320	-29.055	119.055
27.09.2019	1016.611	1022.640	994.733	0,011	-0,007	0,001	0,092	-0,051	0,007	29.229	118.932	86.193	0,105	3.807	-29.002	119.002
20.05.2020	1016.618	1022.637	994.734	0,007	-0,003	0,001	0,100	-0,054	0,008	28.630	118.293	85.973	0,114	4.027	-28.369	118.369
08.10.2020	1016.631	1022.629	994.736	0,013	-0,008	0,002	0,113	-0,062	0,010	29.064	118.658	85.564	0,129	4.436	-28.752	118.752
21.05.2021	1016.638	1022.623	994.736	0,007	-0,006	0,000	0,120	-0,068	0,010	29.802	119.454	85.853	0,138	4.147	-29.539	119.539
7GN																
29.04.2015	1024.922	1024.155	991.151													
12.10.2015	1024.922	1024.156	991.151	0,000	0,001	-0,001	0,000	0,001	-0,001	90.000	45.000	135.000	0,001	45.000	#DIV/0!	#DIV/0!
10.05.2016	1024.921	1024.156	991.151	-0,001	0,000	0,001	-0,001	0,001	0,000	135.000	45.000	90.000	0,001	0,000	-45.000	135.000
17.10.2016	1024.922	1024.156	991.152	0,001	0,000	0,001	-0,001	0,001	0,001	125.264	54.736	54.736	0,002	35.264	-45.000	135.000
16.05.2017	1024.922	1024.156	991.152	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,001	125.264	54.736	54.736	0,002	35.264	-45.000	135.000
09.10.2017	1024.921	1024.156	991.152	0,000	0,000	-0,001	-0,001	0,001	0,000	135.000	45.000	90.000	0,001	0,000	-45.000	135.000
11.05.2018	1024.921	1024.154	991.152	0,000	-0,002	0,000	-0,001	-0,001	0,000	135.000	135.000	90.000	0,001	0,000	45.000	135.000
11.10.2018	1024.922	1024.156	991.150	0,001	0,001	-0,002	-0,001	0,001	-0,001	125.264	54.736	125.264	0,002	35.264	-45.000	135.000
11.06.2019	1024.922	1024.154	991.152	-0,001	-0,002	0,001	0,000	-0,001	0,000	90.000	180.000	90.000	0,001	0,000	#DIV/0!	#DIV/0!
27.09.2019	1024.922	1024.154	991.151	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,000	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20.05.2020	1024.922	1024.156	991.152	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	90.000	90.000	90.000	0,001	0,000	#DIV/0!	#DIV/0!
08.10.2020	1024.922	1024.156	991.152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	135.000	45.000	90.000	0,001	0,000	-45.000	135.000
21.05.2021	1024.922	1024.154	991.153	0,001	-0,002	0,001	0,000	-0,001	0,002	90.000	116.565	26.565	0,002	63.435	#DIV/0!	#DIV/0!
7HN																
29.04.2015	1017.651	1022.717	999.328													
12.10.2015	1017.646	1022.709	999.329	0,015	-0,009	0,001	0,015	-0,009	0,001	31.119	120.908	86.728	0,018	3.272	-30.964	120.964
10.05.2016	1017.650	1022.705	999.331	0,003	-0,004	0,001	0,019	-0,012	0,002	32.631	122.133	84.914	0,023	5.086	-32.276	122.276
17.10.2016	1017.664	1022.699	999.332	0,014	-0,006	0,001	0,033	-0,018	0,003	28.942	118.511	85.437	0,038	4.563	-28.610	118.610
16.05.2017	1017.667	1022.695	999.332	0,003	-0,004	0,000	0,036	-0,022	0,003	31.665	121.341	85.933	0,042	4.067	-31.430	121.430
09.10.2017	1017.679	1022.688	999.333	0,011	-0,006	0,001	0,048	-0,029	0,004	31.378	121.051	85.920	0,056	4.080	-31.139	121.139
11.05.2018	1017.686	1022.683	999.334	0,007	-0,005	0,001	0,055	-0,034	0,005	31.998	121.618	85.578	0,065	4.422	-31.724	121.724
11.10.2018	1017.703	1022.675	999.333	0,017	-0,008	-0,001	0,072	-0,042	0,004	30.369	120.218	87.253	0,083	2.747	-30.256	120.256
11.06.2019	1017.712	1022.667	999.335	0,009	-0,008	0,002	0,081	-0,050	0,006	31.870	121.616	86.393	0,095	3.607	-31.686	121.686

A. Appendix

	27.09.2019	1017.724	1022.661	999.335	0.012	-0.006	0.001	0.093	-0.056	0.007	31.251	120.983	86.311	0.109	3.689	-31.054	121.054
	20.05.2020	1017.731	1022.658	999.336	0.007	-0.003	0.001	0.100	-0.059	0.007	30.716	120.479	86.550	0.116	3.450	-30.541	120.541
	08.10.2020	1017.745	1022.651	999.338	0.014	-0.007	0.002	0.114	-0.067	0.010	30.720	120.348	85.675	0.133	4.325	-30.444	120.444
	21.05.2021	1017.746	1022.642	999.311	0.001	-0.009	-0.026	0.115	-0.076	-0.017	34.106	123.175	97.031	0.139	7.031	-33.460	123.460
ZIN	29.04.2015	1026.999	1023.762	998.586													
	12.10.2015	1026.999	1023.763	998.586	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	90.000	0.000	90.000	0.001	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!
	10.05.2016	1026.998	1023.764	998.586	-0.001	0.001	0.000	-0.001	0.002	0.000	116.565	26.565	90.000	0.002	0.000	-63.435	153.435
	17.10.2016	1026.997	1023.764	998.587	-0.001	0.000	0.001	-0.001	0.001	0.000	114.095	35.264	65.905	0.002	24.095	-63.435	153.435
	16.05.2017	1026.998	1023.764	998.586	0.001	0.000	-0.001	-0.001	0.002	0.000	116.565	26.565	90.000	0.002	0.000	-63.435	153.435
	09.10.2017	1026.998	1023.764	998.586	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.001	0.000	135.000	45.000	90.000	0.001	0.000	-45.000	135.000
	11.05.2018	1026.998	1023.763	998.586	0.000	-0.001	0.000	-0.001	0.001	0.000	135.000	45.000	90.000	0.001	0.000	-45.000	135.000
	11.10.2018	1026.999	1023.763	998.585	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.001	-0.001	90.000	45.000	135.000	0.001	45.000	#DIV/0!	#DIV/0!
	11.06.2019	1026.998	1023.761	998.586	0.000	-0.002	0.001	0.000	-0.001	0.000	90.000	180.000	90.000	0.001	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!
	27.09.2019	1026.999	1023.763	998.586	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	90.000	0.000	90.000	0.001	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!
	20.05.2020	1026.998	1023.763	998.585	0.000	0.001	-0.001	0.000	0.001	0.000	90.000	0.000	90.000	0.001	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!
	08.10.2020	1026.999	1023.763	998.586	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	90.000	0.000	90.000	0.001	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!
	21.05.2021	1026.998	1023.762	998.586	-0.001	-0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	90.000	90.000	0.000	0.001	90.000	#DIV/0!	#DIV/0!
IK3	09.06.2009	1038.144	1016.999	1001.471													
	18.11.2009	1038.146	1016.998	1001.468	0.002	-0.002	-0.003	0.002	-0.002	-0.003	60.983	119.017	136.686	0.004	46.686	-45.000	135.000
	26.05.2010	1038.149	1016.997	1001.472	0.003	-0.001	0.004	0.005	-0.002	0.001	24.095	111.417	79.480	0.005	10.520	-21.801	111.801
	12.10.2010	1038.147	1016.997	1001.473	-0.002	0.000	0.001	0.003	-0.002	0.001	36.699	122.312	74.499	0.004	1.501	-33.690	123.690
	11.05.2011	1038.146	1016.997	1001.469	-0.001	0.000	-0.003	0.002	-0.002	-0.002	54.736	125.264	125.264	0.003	35.264	-45.000	135.000
	02.11.2011	1038.145	1016.995	1001.470	-0.001	-0.002	0.001	0.001	-0.005	-0.001	78.904	164.207	101.096	0.005	11.096	-78.690	168.690
	30.05.2012	1038.149	1016.992	1001.470	0.004	-0.002	0.000	0.004	-0.007	-0.001	60.504	149.501	97.071	0.008	7.071	-60.255	150.255
	19.07.2012	1038.146	1016.994	1001.471	-0.003	0.002	0.001	0.002	-0.006	0.000	71.565	161.668	90.000	0.006	0.000	-71.565	161.565
	08.11.2012	1038.147	1016.995	1001.471	0.001	0.001	0.000	0.003	-0.005	-0.001	59.530	147.688	99.731	0.006	9.731	-59.036	149.036
	25.07.2013	1038.146	1016.995	1001.472	0.000	0.000	0.001	0.002	-0.005	0.001	68.583	155.905	79.480	0.005	10.520	-68.199	158.199
	22.05.2014	1038.146	1016.993	1001.471	0.000	-0.002	0.000	0.002	-0.007	0.000	74.055	164.055	90.000	0.007	0.000	-74.055	164.055
	30.09.2014	1038.146	1016.994	1001.473	0.000	0.001	0.002	0.002	-0.005	0.002	69.625	150.504	69.625	0.006	20.375	-68.199	158.199
	29.04.2015	1038.145	1016.993	1001.469	-0.001	-0.002	-0.004	0.001	-0.007	-0.002	82.179	162.285	105.793	0.007	15.793	-81.870	171.870
	12.10.2015	1038.147	1016.991	1001.473	0.002	-0.001	0.004	0.003	-0.008	0.002	70.008	155.739	76.825	0.009	13.175	-69.444	159.444
	10.05.2016	1038.146	1016.992	1001.470	-0.001	0.001	-0.003	0.002	-0.007	-0.001	74.207	162.285	97.821	0.007	7.821	-74.055	164.055
	17.10.2016	1038.146	1016.992	1001.473	0.000	0.000	0.003	0.002	-0.007	0.002	74.639	157.998	74.639	0.008	15.361	-74.055	164.055
	16.05.2017	1038.145	1016.991	1001.470	-0.001	-0.001	-0.004	0.001	-0.008	-0.002	83.086	164.384	103.932	0.008	13.932	-82.875	172.875
	09.10.2017	1038.145	1016.991	1001.472	0.000	0.000	0.002	0.001	-0.008	0.001	82.929	169.975	82.929	0.008	7.071	-82.875	172.875
	11.05.2018	1038.144	1016.992	1001.473	-0.001	0.001	0.000	0.000	-0.008	0.001	90.000	172.875	82.875	0.008	7.125	#DIV/0!	#DIV/0!
	11.10.2018	1038.145	1016.991	1001.473	0.001	0.001	0.000	0.001	-0.008	0.002	83.086	164.384	76.068	0.008	13.932	-82.875	172.875
	11.06.2019	1038.145	1016.991	1001.473	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.008	0.001	82.929	169.975	82.929	0.008	7.071	-82.875	172.875
	27.09.2019	1038.145	1016.993	1001.474	0.000	0.002	0.001	0.001	-0.006	0.002	81.015	159.561	71.799	0.006	18.201	-80.538	170.538
	20.05.2020	1038.141	1016.990	1001.472	-0.004	-0.004	-0.002	-0.003	-0.010	0.001	106.621	162.452	84.529	0.010	5.471	73.301	163.301
	08.10.2020	1038.144	1016.991	1001.472	0.003	0.001	0.000	0.000	-0.009	0.001	90.000	173.660	83.660	0.009	6.340	#DIV/0!	#DIV/0!
	21.05.2021	1038.140	1016.990	1001.472	-0.004	-0.001	0.000	-0.004	-0.010	0.001	111.703	157.593	84.695	0.011	5.305	68.199	158.199
IK1a	09.06.2009	964.272	1014.220	1010.362													
	18.11.2009	964.288	1014.201	1010.361	0.016	-0.019	-0.001	0.016	-0.019	-0.001	49.938	139.844	92.305	0.025	2.305	-49.899	139.899
	26.05.2010	964.290	1014.196	1010.363	0.002	-0.005	0.002	0.018	-0.024	0.002	53.225	142.961	86.186	0.030	3.814	-53.130	143.130

A.3. Verschiebemessungen

12.10.2010	964,301	1014,189	1010,366	0,011	-0,007	0,003	0,028	-0,031	0,005	48,277	137,463	83,175	0,042	6,825	-47,911	137,911
11.05.2011	964,310	1014,178	1010,363	0,009	-0,011	-0,003	0,038	-0,042	0,001	47,870	137,853	88,989	0,057	1,011	-47,862	137,862
02.11.2011	964,322	1014,166	1010,366	0,013	-0,012	0,003	0,050	-0,054	0,005	47,324	137,060	86,113	0,074	3,887	-47,203	137,203
30.05.2012	964,328	1014,157	1010,368	0,006	-0,009	0,002	0,066	-0,063	0,006	48,495	138,204	85,928	0,085	4,072	-48,366	138,366
19.07.2012	964,332	1014,152	1010,371	0,004	-0,005	0,003	0,060	-0,067	0,009	48,823	138,260	84,332	0,091	5,668	-48,576	138,576
08.11.2012	964,336	1014,143	1010,372	0,004	-0,009	0,001	0,063	-0,077	0,010	50,945	140,361	84,260	0,100	5,740	-50,711	140,711
25.07.2013	964,364	1014,126	1010,377	0,028	-0,017	0,004	0,091	-0,094	0,015	46,289	135,545	83,460	0,132	6,540	-45,929	135,929
30.09.2014	964,374	1014,113	1010,381	0,011	-0,013	0,004	0,102	-0,107	0,019	46,814	135,882	82,676	0,149	7,324	-46,370	136,370
30.09.2014	964,388	1014,099	1010,385	0,014	-0,014	0,004	0,105	-0,121	0,024	47,008	135,846	81,819	0,169	8,181	-46,456	136,456
29.04.2015	964,393	1014,091	1010,386	0,005	-0,008	0,000	0,121	-0,129	0,024	47,319	136,281	82,272	0,178	7,728	-46,833	136,833
12.10.2015	964,406	1014,075	1010,391	0,013	-0,016	0,005	0,134	-0,145	0,029	47,817	136,604	81,644	0,200	8,356	-47,258	137,258
10.05.2016	964,415	1014,067	1010,392	0,009	-0,008	0,001	0,143	-0,153	0,030	47,474	136,319	81,848	0,212	8,152	-46,935	136,935
17.10.2016	964,426	1014,056	1010,394	0,010	-0,012	0,002	0,153	-0,165	0,032	47,688	136,549	81,906	0,227	8,094	-47,161	137,161
16.05.2017	964,433	1014,048	1010,396	0,007	-0,008	0,002	0,160	-0,172	0,035	47,649	136,402	81,526	0,238	8,474	-47,070	137,070
09.10.2017	964,444	1014,037	1010,398	0,012	-0,010	0,002	0,172	-0,183	0,036	47,317	136,161	81,843	0,254	8,157	-46,775	136,775
11.05.2018	964,454	1014,028	1010,400	0,010	-0,009	0,002	0,182	-0,192	0,039	47,110	135,889	81,614	0,267	8,386	-46,532	136,532
11.10.2018	964,474	1014,016	1010,402	0,020	-0,012	0,002	0,202	-0,204	0,041	45,849	134,704	81,872	0,290	8,128	-45,282	135,282
11.06.2019	964,487	1014,002	1010,406	0,013	-0,015	0,003	0,215	-0,218	0,044	45,969	134,809	81,822	0,309	8,178	-45,397	135,397
27.09.2019	964,498	1013,991	1010,410	0,011	-0,011	0,004	0,226	-0,229	0,048	45,993	134,746	81,515	0,325	8,485	-45,378	135,378
20.05.2020	964,508	1013,982	1010,410	0,010	-0,009	0,001	0,236	-0,239	0,049	45,951	134,757	81,700	0,339	8,300	-45,362	135,362
08.10.2020	964,522	1013,970	1010,414	0,014	-0,012	0,003	0,250	-0,250	0,052	45,607	134,393	81,633	0,357	8,367	-45,000	135,000
21.05.2021	964,531	1013,956	1010,416	0,009	-0,014	0,002	0,259	-0,264	0,054	46,135	134,938	81,693	0,374	8,507	-45,548	135,548
IK2-1																
09.06.2009	1003,283	1007,533	1001,163													
18.11.2009	1003,298	1007,520	1001,160	0,015	-0,013	-0,004	0,015	-0,013	-0,004	42,201	129,943	101,393	0,020	11,393	-40,914	130,914
26.05.2010	1003,304	1007,514	1001,163	0,006	-0,006	0,003	0,021	-0,019	0,000	42,138	132,138	90,000	0,028	0,000	-42,138	132,138
12.10.2010	1003,313	1007,504	1001,168	0,010	-0,009	0,005	0,030	-0,028	0,005	43,474	132,634	83,053	0,041	6,947	-43,025	133,025
11.05.2011	1003,323	1007,497	1001,168	0,010	-0,008	-0,001	0,040	-0,036	0,005	42,260	131,766	84,692	0,054	5,308	-41,987	131,987
02.11.2011	1003,336	1007,487	1001,171	0,013	-0,009	0,003	0,053	-0,046	0,008	41,379	130,636	83,497	0,071	6,503	-40,956	130,956
30.05.2012	1003,342	1007,479	1001,171	0,006	-0,008	0,000	0,059	-0,054	0,007	42,704	132,267	84,998	0,080	5,002	-42,466	132,466
19.07.2012	1003,345	1007,474	1001,173	0,003	-0,005	0,002	0,062	-0,059	0,009	43,909	133,281	83,997	0,086	6,003	-43,580	133,580
08.11.2012	1003,354	1007,466	1001,172	0,008	-0,008	0,000	0,071	-0,066	0,009	43,173	132,682	84,696	0,097	5,304	-42,910	132,910
25.07.2013	1003,376	1007,450	1001,174	0,022	-0,016	0,002	0,093	-0,082	0,011	41,657	131,206	84,930	0,124	5,070	-41,403	131,403
30.09.2014	1003,405	1007,427	1001,176	0,014	-0,010	0,002	0,122	-0,106	0,013	41,198	130,826	85,401	0,162	4,599	-40,986	130,986
29.04.2015	1003,412	1007,418	1001,173	0,007	-0,009	-0,003	0,129	-0,115	0,010	41,823	131,631	86,688	0,173	3,312	-41,716	131,716
12.10.2015	1003,426	1007,406	1001,174	0,014	-0,012	0,001	0,143	-0,127	0,011	41,715	131,525	86,708	0,192	3,292	-41,609	131,609
10.05.2016	1003,435	1007,400	1001,173	0,009	-0,006	-0,001	0,152	-0,133	0,010	41,266	131,125	87,166	0,202	2,834	-41,186	131,186
17.10.2016	1003,446	1007,389	1001,174	0,011	-0,011	0,000	0,163	-0,144	0,010	41,527	131,405	87,368	0,218	2,632	-41,459	131,459
16.05.2017	1003,453	1007,383	1001,172	0,007	-0,006	-0,002	0,170	-0,150	0,008	41,464	131,392	87,979	0,227	2,021	-41,424	131,424
09.10.2017	1003,464	1007,374	1001,174	0,011	-0,008	0,002	0,181	-0,159	0,011	41,366	131,245	87,386	0,241	2,614	-41,298	131,298
11.05.2018	1003,475	1007,366	1001,173	0,011	-0,009	-0,002	0,192	-0,167	0,009	41,058	130,985	87,974	0,255	2,026	-41,016	131,016
11.10.2018	1003,492	1007,355	1001,173	0,017	-0,010	0,001	0,209	-0,177	0,010	40,306	130,229	87,909	0,274	2,091	-40,261	130,261
11.06.2019	1003,505	1007,345	1001,173	0,012	-0,011	0,000	0,222	-0,188	0,010	40,299	130,231	88,031	0,291	1,969	-40,259	130,259
27.09.2019	1003,515	1007,336	1001,173	0,011	-0,009	0,000	0,232	-0,197	0,010	40,372	130,310	88,118	0,305	1,882	-40,336	130,336
20.05.2020	1003,528	1007,326	1001,172	0,012	-0,011	-0,002	0,245	-0,207	0,008	40,215	130,179	88,571	0,321	1,429	-40,194	130,194
08.10.2020	1003,543	1007,313	1001,172	0,015	-0,013	0,001	0,260	-0,220	0,009	40,260	130,219	88,486	0,341	1,514	-40,236	130,236
21.05.2021	1003,560	1007,301	1001,172	0,017	-0,012	-0,001	0,277	-0,232	0,009	39,969	129,933	88,573	0,361	1,427	-39,948	129,948

A.3. Verschiebemessungen

09.10.2017	938.424	930.629	1004.795	0,015	-0,014	0,000	0,193	-0,212	-0,008	47.706	137.661	91.598	0,287	1.598	-47.686	137.686
11.05.2018	938.437	930.618	1004.795	0,013	-0,011	0,000	0,206	-0,222	-0,008	47.159	137.119	91.513	0,303	1.513	-47.141	137.141
11.10.2018	938.454	930.613	1004.791	0,017	-0,006	-0,004	0,223	-0,228	-0,012	45.675	135.594	92.155	0,319	2.155	-45.635	135.635
11.06.2019	938.474	930.594	1004.790	0,020	-0,018	-0,001	0,243	-0,246	-0,013	45.391	135.311	92.153	0,346	2.153	-45.352	135.352
27.09.2020	938.482	930.586	1004.794	0,008	-0,009	0,004	0,251	-0,255	-0,009	45.451	135.433	91.441	0,358	1.441	-45.453	135.453
20.05.2020	938.497	930.574	1004.787	0,015	-0,011	-0,007	0,266	-0,266	-0,016	45.052	134.948	92.435	0,377	2.435	-45.000	135.000
08.10.2020	938.506	930.564	1004.785	0,009	-0,010	-0,002	0,274	-0,276	-0,018	45.269	135.147	92.650	0,389	2.650	-45.208	135.208
21.05.2021	938.519	930.544	1004.788	0,014	-0,020	0,002	0,288	-0,297	-0,016	45.923	135.837	92.215	0,414	2.215	-45.881	135.881
P13																
09.06.2009	1064.468	997.041	1000.920													
26.05.2010	1064.469	997.042	1000.918	0,001	0,002	-0,002	0,001	0,002	-0,002	70.529	48.190	131.810	0,003	41.810	63.435	153.435
12.10.2010	1064.467	997.038	1000.917	-0,002	-0,004	-0,001	-0,001	-0,003	-0,003	103.263	133.492	133.492	0,004	43.492	71.565	161.565
11.05.2011	1064.467	997.041	1000.914	-0,001	0,003	-0,003	-0,002	0,000	-0,006	108.435	90.000	161.565	0,006	71.565	0,000	90.000
02.11.2011	1064.465	997.039	1000.914	-0,002	-0,002	0,001	-0,003	-0,002	-0,005	119.122	108.932	144.204	0,006	54.204	33.690	123.690
30.05.2012	1064.468	997.038	1000.914	0,003	-0,001	-0,001	0,000	-0,002	-0,006	90.000	108.435	161.565	0,006	71.565	#DIV/0!	#DIV/0!
19.07.2012	1064.467	997.037	1000.914	-0,001	-0,001	0,001	0,001	-0,003	-0,003	99.731	120.470	147.688	0,006	57.688	71.565	161.565
08.11.2012	1064.469	997.038	1000.915	0,001	0,001	0,000	0,001	-0,002	-0,005	79.480	111.417	155.905	0,005	65.905	-63.435	153.435
25.07.2013	1064.467	997.037	1000.913	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,003	-0,007	97.481	112.990	155.689	0,008	65.689	71.565	161.565
22.05.2014	1064.469	997.037	1000.915	0,002	0,000	0,002	0,001	-0,004	-0,005	81.124	128.113	140.490	0,006	50.490	-75.964	165.964
30.09.2014	1064.469	997.039	1000.915	0,001	0,002	0,000	0,001	-0,002	-0,004	77.396	115.877	150.794	0,005	60.794	-63.435	153.435
29.04.2015	1064.469	997.036	1000.915	-0,001	-0,003	0,000	0,001	-0,005	-0,005	81.951	134.438	134.438	0,007	44.438	-78.690	168.690
12.10.2015	1064.470	997.034	1000.916	0,001	-0,001	0,001	0,002	-0,006	-0,004	74.499	143.301	122.312	0,007	32.312	-71.565	161.565
10.05.2016	1064.469	997.036	1000.916	-0,001	0,001	0,000	0,001	-0,005	-0,004	81.124	140.490	128.113	0,006	38.113	-78.690	168.690
17.10.2016	1064.471	997.036	1000.915	0,002	0,000	-0,001	0,003	-0,004	-0,004	62.062	128.660	128.660	0,006	38.660	-53.130	143.130
16.05.2017	1064.470	997.036	1000.917	-0,001	0,000	0,001	0,001	-0,004	-0,003	78.690	141.671	126.040	0,005	36.040	-75.964	165.964
09.10.2017	1064.470	997.035	1000.916	0,000	-0,001	0,000	0,002	-0,006	-0,003	73.398	148.997	115.377	0,007	25.377	-71.565	161.565
11.05.2018	1064.469	997.036	1000.916	0,000	0,001	0,000	0,001	-0,005	-0,003	80.269	147.688	120.470	0,006	30.470	-78.690	168.690
11.10.2018	1064.467	997.036	1000.915	-0,002	0,001	-0,001	-0,001	-0,004	-0,005	98.876	128.113	140.490	0,006	50.490	75.964	165.964
11.06.2019	1064.468	997.037	1000.915	0,001	0,001	0,000	0,000	-0,003	-0,005	90.000	120.964	149.036	0,006	59.036	#DIV/0!	#DIV/0!
27.09.2019	1064.467	997.039	1000.914	0,000	0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,006	98.985	108.201	159.561	0,006	69.561	63.435	153.435
20.05.2020	1064.466	997.038	1000.914	-0,001	0,000	0,001	-0,002	-0,002	-0,005	110.375	150.504	150.504	0,006	60.504	45.000	135.000
08.10.2020	1064.467	997.038	1000.914	0,001	0,000	0,000	0,001	-0,003	-0,006	98.479	116.252	152.209	0,007	62.209	71.565	161.565
21.05.2021	1064.467	997.039	1000.915	0,000	0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,005	100.520	111.417	155.905	0,005	65.905	63.435	153.435
P21																
09.06.2009	989.426	1019.282	1007.810													
18.11.2009	989.441	1019.267	1007.807	0,015	-0,015	-0,003	0,015	-0,015	-0,003	45.562	134.438	98.049	0,021	8.049	-45.000	135.000
26.05.2010	989.446	1019.265	1007.811	0,005	-0,002	0,004	0,020	-0,017	0,001	40.413	130.329	87.818	0,026	2.182	-40.365	130.365
12.10.2010	989.457	1019.257	1007.812	0,010	-0,008	0,000	0,031	-0,025	0,001	38.907	128.870	88.562	0,040	1.438	-38.884	128.884
11.05.2011	989.465	1019.249	1007.810	0,009	-0,007	-0,002	0,039	-0,033	-0,001	40.249	130.227	91.121	0,051	1.121	-40.236	130.236
02.11.2011	989.477	1019.238	1007.812	0,011	-0,011	0,002	0,051	-0,044	0,001	40.793	130.780	89.149	0,067	0,851	-40.786	130.786
30.05.2012	989.482	1019.231	1007.813	0,005	-0,007	0,001	0,056	-0,051	0,003	42.374	132.284	87.732	0,076	2.268	-42.325	132.325
19.07.2012	989.486	1019.229	1007.814	0,004	-0,002	0,001	0,060	-0,053	0,004	41.536	131.392	87.140	0,080	2.860	-41.455	131.455
08.11.2012	989.492	1019.219	1007.815	0,006	-0,010	0,001	0,066	-0,063	0,005	43.758	133.586	86.863	0,091	3.137	-43.668	133.668
25.07.2013	989.514	1019.205	1007.818	0,021	-0,014	0,002	0,088	-0,077	0,007	41.303	131.096	86.574	0,117	3.426	-41.186	131.186
22.05.2014	989.528	1019.194	1007.820	0,015	-0,012	0,003	0,102	-0,089	0,010	41.284	130.971	85.775	0,136	4.225	-41.106	131.106
30.09.2014	989.540	1019.182	1007.823	0,012	-0,012	0,003	0,114	-0,100	0,013	41.495	131.074	85.100	0,152	4.900	-41.257	131.257
29.04.2015	989.547	1019.176	1007.824	0,006	-0,006	0,001	0,121	-0,106	0,014	41.465	131.031	85.026	0,161	4.974	-41.219	131.219
12.10.2015	989.560	1019.162	1007.826	0,014	-0,014	0,002	0,135	-0,120	0,016	41.884	131.435	84.938	0,181	5.062	-41.634	131.634

A. Appendix

22.05.2014	1002.105	1022.650	1001.463	0.012	-0.011	0.003	0.199	-0.186	0.030	43.433	132.745	83.715	0.274	6.285	-43.066	133.066
30.09.2014	1002.116	1022.640	1001.465	0.010	-0.010	0.003	0.210	-0.196	0.032	43.401	132.697	83.644	0.289	6.356	-43.025	133.025
29.04.2015	1002.121	1022.634	1001.466	0.005	-0.005	0.000	0.215	-0.202	0.033	43.501	132.882	83.617	0.297	6.383	-43.214	133.214
12.10.2015	1002.133	1022.623	1001.468	0.012	-0.011	0.002	0.227	-0.213	0.035	43.559	132.842	83.585	0.313	6.415	-43.178	133.178
10.05.2016	1002.138	1022.618	1001.468	0.005	-0.005	0.001	0.232	-0.218	0.035	43.582	132.896	83.726	0.320	6.274	-43.218	133.218
17.10.2016	1002.150	1022.609	1001.470	0.012	-0.010	0.001	0.244	-0.227	0.037	43.308	132.608	83.665	0.335	6.335	-42.933	132.933
16.05.2017	1002.156	1022.606	1001.470	0.006	-0.003	0.001	0.250	-0.230	0.037	42.979	132.305	83.784	0.342	6.216	-42.614	132.614
09.10.2017	1002.163	1022.597	1001.471	0.007	-0.009	0.001	0.257	-0.239	0.038	43.278	132.613	83.820	0.353	6.180	-42.922	132.922
11.05.2018	1002.172	1022.592	1001.473	0.009	-0.005	0.002	0.266	-0.244	0.040	42.909	132.211	83.677	0.363	6.323	-42.530	132.530
11.10.2018	1002.187	1022.582	1001.474	0.015	-0.010	0.002	0.281	-0.254	0.041	42.478	131.811	83.822	0.381	6.178	-42.111	132.111
11.06.2019	1002.197	1022.573	1001.475	0.009	-0.009	0.001	0.291	-0.263	0.042	42.466	131.813	83.888	0.394	6.112	-42.107	132.107
27.09.2019	1002.206	1022.565	1001.476	0.010	-0.008	0.001	0.300	-0.271	0.043	42.444	131.803	83.929	0.407	6.071	-42.093	132.093
20.05.2020	1002.214	1022.560	1001.478	0.008	-0.006	0.002	0.308	-0.276	0.045	42.237	131.563	83.790	0.416	6.210	-41.864	131.864
08.10.2020	1002.226	1022.549	1001.480	0.011	-0.011	0.002	0.320	-0.287	0.047	42.265	131.584	83.760	0.432	6.240	-41.888	131.888
21.05.2021	1002.234	1022.540	1001.480	0.008	-0.009	0.001	0.328	-0.296	0.047	42.419	131.775	83.928	0.444	6.072	-42.064	132.064
8	24.07.2002	1024.099	1032.932	1001.324												
28.09.2004	1024.096	1032.929	1001.320	-0.003	-0.003	-0.004	-0.003	-0.003	-0.004	120.964	120.964	133.314	0.006	43.314	45.000	135.000
17.07.2006	1024.080	1032.925	1001.316	-0.016	-0.004	-0.004	-0.019	-0.007	-0.008	150.774	108.755	111.559	0.022	21.559	20.225	110.225
17.09.2007	1024.099	1032.933	1001.307	0.019	0.008	-0.009	0.000	0.001	-0.017	90.000	86.634	176.634	0.017	86.634	#DIV/0!	#DIV/0!
31.07.2008	1024.099	1032.930	1001.314	0.000	-0.003	0.007	0.000	-0.002	-0.010	90.000	101.310	168.690	0.010	78.690	#DIV/0!	#DIV/0!
09.06.2009	1024.096	1032.932	1001.318	-0.003	0.002	0.004	-0.003	0.000	-0.006	116.565	90.000	153.435	0.007	63.435	0.000	90.000
18.11.2009	1024.097	1032.928	1001.315	0.001	-0.004	-0.004	-0.002	-0.004	-0.009	101.479	113.454	153.577	0.010	63.577	63.435	153.435
26.05.2010	1024.097	1032.930	1001.315	0.000	0.002	0.001	-0.002	-0.002	-0.009	102.240	102.240	162.554	0.009	72.554	45.000	135.000
12.10.2010	1024.097	1032.930	1001.314	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.010	101.096	101.096	164.207	0.010	74.207	45.000	135.000
11.05.2011	1024.096	1032.932	1001.314	-0.001	0.002	0.000	-0.003	0.000	-0.010	106.699	90.000	163.301	0.010	73.301	0.000	90.000
02.11.2011	1024.098	1032.930	1001.313	0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.011	95.111	100.263	168.510	0.011	78.510	63.435	153.435
30.05.2012	1024.095	1032.931	1001.313	-0.002	0.001	0.000	-0.004	-0.001	-0.011	109.907	94.883	159.453	0.012	69.453	14.036	104.036
19.07.2012	1024.094	1032.932	1001.313	-0.002	0.001	0.000	-0.005	0.000	-0.011	114.444	90.000	155.556	0.012	65.556	0.000	90.000
08.11.2012	1024.094	1032.931	1001.313	0.001	-0.001	0.000	-0.005	-0.001	-0.011	114.355	94.731	155.130	0.012	65.130	11.310	101.310
25.07.2013	1024.105	1032.931	1001.313	0.011	-0.001	0.000	0.006	-0.001	-0.011	61.489	94.563	151.058	0.013	61.058	-9.462	99.462
22.05.2014	1024.102	1032.931	1001.313	-0.003	0.000	0.000	0.003	-0.001	-0.011	74.805	95.012	163.961	0.011	73.961	-18.435	108.435
30.09.2014	1024.098	1032.931	1001.313	-0.004	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.011	95.173	95.173	172.674	0.011	82.674	45.000	135.000
12.10.2015	1024.090	1032.931	1001.313	-0.004	0.001	0.000	-0.009	-0.001	-0.011	129.174	94.025	140.538	0.014	50.538	6.340	96.340
10.05.2016	1024.088	1032.928	1001.314	-0.002	-0.003	0.001	-0.011	-0.004	-0.010	135.604	105.060	130.509	0.015	40.509	19.983	109.983
17.10.2016	1024.084	1032.926	1001.314	-0.004	-0.002	-0.001	-0.015	-0.006	-0.010	142.136	108.408	121.757	0.019	31.757	21.801	111.801
16.05.2017	1024.082	1032.926	1001.314	-0.002	0.000	0.000	-0.017	-0.006	-0.010	145.550	106.920	119.017	0.021	29.017	19.440	109.440
09.10.2017	1024.078	1032.924	1001.314	-0.004	-0.002	0.000	-0.021	-0.008	-0.010	148.624	108.980	113.989	0.025	23.989	20.854	110.854
11.05.2018	1024.076	1032.921	1001.314	-0.003	-0.003	0.000	-0.023	-0.011	-0.010	147.123	113.682	111.417	0.027	21.417	25.560	115.560
11.10.2018	1024.106	1032.931	1001.313	0.031	0.009	-0.001	0.007	-0.001	-0.011	57.636	94.386	147.266	0.013	57.266	-8.130	98.130
11.06.2019	1024.104	1032.929	1001.313	-0.003	-0.002	0.000	0.005	-0.003	-0.011	66.321	103.944	152.073	0.012	62.073	-30.964	120.964
27.09.2019	1024.101	1032.929	1001.312	-0.003	0.001	0.000	0.002	-0.003	-0.012	80.815	103.853	163.276	0.013	73.276	-56.310	146.310
20.05.2020	1024.099	1032.926	1001.313	-0.002	-0.003	0.000	0.000	-0.006	-0.011	90.000	118.610	151.390	0.013	61.390	#DIV/0!	#DIV/0!
08.10.2020	1024.095	1032.926	1001.313	-0.005	0.000	0.000	-0.004	-0.006	-0.011	107.705	117.140	146.753	0.013	56.753	56.310	146.310
21.05.2021	1024.093	1032.924	1001.312	-0.002	-0.002	-0.001	-0.006	-0.008	-0.012	112.589	120.807	140.194	0.016	50.194	53.130	143.130
9	24.07.2002	1024.519	1032.903	1001.339												

A. Appendix

10.05.2016	1027.871	1032.655	1001.341	0.001	-0.002	0.001	-0.005	0.003	-0.008	120.336	72.359	143.913	0.010	53.913	-30.964	120.964
17.10.2016	1027.871	1032.657	1001.340	0.000	0.002	-0.001	-0.005	0.005	-0.009	115.903	64.097	141.844	0.011	51.844	-45.000	135.000
16.05.2017	1027.870	1032.657	1001.341	-0.001	0.000	0.001	-0.006	0.005	-0.008	122.456	63.495	135.688	0.011	45.688	-39.806	129.806
09.10.2017	1027.871	1032.657	1001.340	0.001	0.000	0.000	-0.005	0.005	-0.009	115.903	64.097	141.844	0.011	51.844	-45.000	135.000
11.05.2018	1027.871	1032.656	1001.341	0.000	-0.001	0.000	-0.005	0.004	-0.008	119.206	67.023	141.327	0.010	51.327	-38.660	128.660
11.10.2018	1027.871	1032.657	1001.340	0.000	0.000	-0.001	-0.005	0.005	-0.009	115.903	64.097	141.844	0.011	51.844	-45.000	135.000
11.06.2019	1027.872	1032.656	1001.340	0.001	-0.001	0.000	-0.004	0.004	-0.009	112.104	67.896	147.849	0.011	57.849	-45.000	135.000
27.09.2019	1027.872	1032.657	1001.339	0.000	0.001	-0.001	-0.004	0.005	-0.010	109.686	65.097	147.368	0.012	57.368	-51.340	141.340
20.05.2020	1027.871	1032.656	1001.340	-0.001	-0.001	0.001	-0.005	0.004	-0.009	116.916	68.768	144.570	0.011	54.570	-38.660	128.660
08.10.2020	1027.872	1032.657	1001.340	0.001	0.001	0.000	-0.004	0.005	-0.009	111.232	63.084	144.570	0.011	54.570	-51.340	141.340
21.05.2021	1027.871	1032.656	1001.339	-0.001	-0.002	0.000	-0.005	0.004	-0.010	114.903	70.314	147.368	0.012	57.368	-38.660	128.660
13																
24.07.2002	1005.576	1011.651	1000.395													
28.09.2004	1005.624	1011.606	1000.382	0.048	-0.045	-0.013	0.048	-0.045	-0.013	44.299	132.142	101.177	0.067	11.177	-43.152	133.152
17.07.2006	1005.653	1011.574	1000.379	0.029	-0.032	-0.003	0.077	-0.077	-0.016	45.605	134.395	98.359	0.110	8.359	-45.000	135.000
17.09.2007	1005.674	1011.560	1000.370	0.021	-0.014	-0.009	0.098	-0.091	-0.025	43.919	131.979	100.588	0.136	10.588	-42.879	132.879
31.07.2008	1005.691	1011.542	1000.374	0.017	-0.018	0.004	0.115	-0.109	-0.021	43.987	132.997	97.550	0.160	7.550	-43.466	133.466
09.06.2009	1005.700	1011.529	1000.378	0.009	-0.013	0.004	0.124	-0.122	-0.017	44.810	134.268	95.582	0.175	5.582	-44.534	134.534
18.11.2009	1005.717	1011.517	1000.374	0.017	-0.012	-0.004	0.141	-0.134	-0.021	43.889	133.228	96.162	0.196	6.162	-43.542	133.542
26.05.2010	1005.717	1011.517	1000.374	0.000	0.000	0.000	0.141	-0.134	-0.021	43.889	133.228	96.162	0.196	6.162	-43.542	133.542
12.10.2010	1005.731	1011.498	1000.375	0.014	-0.019	0.001	0.155	-0.153	-0.020	44.871	134.391	95.247	0.219	5.247	-44.628	134.628
11.05.2011	1005.741	1011.485	1000.373	0.010	-0.004	-0.001	0.165	-0.156	-0.022	43.676	133.142	95.534	0.228	5.534	-43.594	133.594
02.11.2011	1005.752	1011.485	1000.374	0.011	-0.009	0.001	0.176	-0.166	-0.021	43.552	133.123	94.961	0.243	4.961	-43.325	133.325
30.05.2012	1005.757	1011.478	1000.373	0.006	-0.007	-0.001	0.181	-0.173	-0.022	43.935	133.496	95.021	0.251	5.021	-43.705	133.705
19.07.2012	1005.761	1011.473	1000.374	0.004	-0.005	0.000	0.185	-0.178	-0.021	44.093	133.712	94.676	0.258	4.676	-43.895	133.895
08.11.2012	1005.766	1011.466	1000.374	0.005	-0.008	0.000	0.190	-0.185	-0.021	44.419	134.062	94.528	0.266	4.528	-44.236	134.236
25.07.2013	1005.789	1011.451	1000.373	0.023	-0.015	0.000	0.213	-0.200	-0.022	43.369	133.043	94.306	0.293	4.306	-43.197	133.197
22.05.2014	1005.801	1011.439	1000.374	0.013	-0.012	0.001	0.225	-0.212	-0.021	43.436	133.172	93.886	0.310	3.886	-43.296	133.296
30.09.2014	1005.816	1011.430	1000.375	0.014	-0.009	0.001	0.240	-0.221	-0.020	42.756	132.541	93.508	0.327	3.508	-42.640	132.640
29.04.2015	1005.820	1011.421	1000.374	0.005	-0.008	-0.001	0.244	-0.230	-0.021	43.427	133.203	93.584	0.336	3.584	-43.308	133.308
12.10.2015	1005.835	1011.410	1000.374	0.015	-0.012	0.001	0.259	-0.241	-0.021	43.046	132.845	93.397	0.354	3.397	-42.938	132.938
10.05.2016	1005.843	1011.402	1000.374	0.008	-0.008	0.000	0.267	-0.249	-0.021	43.103	132.914	93.292	0.366	3.292	-43.002	133.002
17.10.2016	1005.855	1011.392	1000.374	0.011	-0.010	0.000	0.279	-0.259	-0.021	42.965	132.790	93.157	0.381	3.157	-42.871	132.871
16.05.2017	1005.861	1011.385	1000.373	0.007	-0.006	-0.001	0.285	-0.266	-0.022	43.122	132.940	93.230	0.390	3.230	-43.025	133.025
09.10.2017	1005.872	1011.370	1000.373	0.011	-0.008	0.000	0.296	-0.273	-0.022	42.778	132.607	93.127	0.403	3.127	-42.685	132.685
11.05.2018	1005.880	1011.370	1000.373	0.008	-0.008	0.000	0.304	-0.281	-0.022	42.836	132.674	93.042	0.415	3.042	-42.749	132.749
11.10.2018	1005.897	1011.359	1000.373	0.017	-0.011	0.000	0.321	-0.292	-0.022	42.372	132.225	92.902	0.434	2.902	-42.291	132.291
11.06.2019	1005.907	1011.350	1000.372	0.011	-0.009	-0.001	0.331	-0.301	-0.023	42.365	132.214	92.943	0.448	2.943	-42.282	132.282
27.09.2019	1005.918	1011.340	1000.372	0.011	-0.010	0.000	0.342	-0.311	-0.023	42.360	132.218	92.848	0.463	2.848	-42.282	132.282
20.05.2020	1005.926	1011.334	1000.372	0.008	-0.006	0.000	0.350	-0.317	-0.023	42.242	132.106	92.788	0.473	2.788	-42.168	132.168
08.10.2020	1005.941	1011.322	1000.371	0.015	-0.012	-0.001	0.365	-0.329	-0.024	42.106	131.969	92.796	0.492	2.796	-42.031	132.031
21.05.2021	1005.951	1011.312	1000.370	0.010	-0.010	-0.002	0.375	-0.339	-0.025	42.191	132.050	92.831	0.506	2.831	-42.114	132.114
18																
24.07.2002	1025.018	1023.752	1000.606													
28.09.2004	1025.020	1023.750	1000.602	0.002	-0.002	-0.004	0.002	-0.002	-0.004	65.905	114.095	144.736	0.005	54.736	-45.000	135.000
17.07.2006	1025.018	1023.749	1000.601	-0.002	-0.001	-0.001	0.000	-0.003	-0.003	90.000	120.964	149.036	0.006	59.036	#DIV/0!	#DIV/0!
17.09.2007	1025.005	1023.750	1000.589	-0.013	0.001	-0.012	-0.013	-0.002	-0.017	127.216	95.339	142.271	0.021	52.271	8.746	98.746
31.07.2008	1025.007	1023.751	1000.595	0.002	0.001	-0.006	-0.011	-0.001	-0.011	134.882	93.678	134.882	0.016	44.882	5.194	95.194

A.3. Verschiebemessungen

09.06.2009	1025.007	1023.753	1000.600	0.000	0.002	0.005	-0.011	0.001	-0.006	151,058	85,437	118,511	0.013	28,511	-5,194	95,194
26.05.2010	1025.008	1023.753	1000.598	0.001	0.000	-0.002	-0.010	0.001	-0.008	141,123	85,535	128,521	0.013	38,521	-5,711	95,711
12.10.2010	1025.009	1023.752	1000.598	0.002	-0.001	0.000	-0.009	0.000	-0.008	138,366	90,000	131,634	0.012	41,634	0.000	90,000
11.05.2011	1025.011	1023.751	1000.595	0.001	-0.001	-0.003	-0.007	-0.001	-0.011	122,364	94,386	147,266	0.013	57,266	8,130	98,130
02.11.2011	1025.011	1023.750	1000.595	0.001	-0.001	0.000	-0.007	-0.002	-0.011	122,051	98,721	146,502	0.013	56,502	15,945	105,945
30.05.2012	1025.013	1023.751	1000.595	0.002	0.001	0.000	-0.005	-0.001	-0.011	114,355	94,731	155,130	0.012	65,130	11,310	101,310
19.07.2012	1025.013	1023.751	1000.594	-0.001	0.000	0.000	-0.005	-0.001	-0.012	112,550	94,399	156,978	0.013	66,978	11,310	101,310
08.11.2012	1025.013	1023.753	1000.594	0.000	0.002	0.000	-0.005	0.001	-0.012	112,550	85,601	156,978	0.013	66,978	-11,310	101,310
25.07.2013	1025.006	1023.746	1000.592	-0.006	-0.007	-0.002	-0.012	-0.006	-0.014	128,232	108,025	136,219	0.019	46,219	26,565	116,565
22.05.2014	1025.013	1023.745	1000.594	0.007	-0.001	0.001	-0.005	-0.007	-0.012	109,794	118,301	144,365	0.015	54,365	54,462	144,462
30.09.2014	1025.016	1023.745	1000.594	0.003	0.000	0.000	-0.002	-0.007	-0.012	98,192	119,916	148,756	0.014	58,756	74,055	164,055
29.04.2015	1025.017	1023.746	1000.594	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.006	-0.012	94,263	116,486	153,120	0.013	63,120	80,538	170,538
12.10.2015	1025.019	1023.746	1000.594	0.002	0.000	0.000	0.001	-0.006	-0.012	85,737	116,486	153,120	0.013	63,120	-80,538	170,538
10.05.2016	1025.019	1023.744	1000.595	0.000	-0.001	0.001	0.001	-0.008	-0.011	85,795	125,915	143,761	0.014	53,761	82,875	172,875
17.10.2016	1025.019	1023.744	1000.594	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.008	-0.012	86,034	123,599	146,105	0.014	56,105	-82,875	172,875
16.05.2017	1025.019	1023.743	1000.595	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.009	-0.011	85,975	129,174	140,538	0.014	50,538	-83,660	173,660
09.10.2017	1025.020	1023.741	1000.594	0.001	-0.002	0.000	0.002	-0.011	-0.012	82,996	132,120	137,025	0.016	47,025	-79,695	169,695
11.05.2018	1025.019	1023.740	1000.595	0.000	-0.002	0.000	0.001	-0.012	-0.011	86,485	137,372	132,412	0.016	42,412	-85,236	175,236
11.10.2018	1025.017	1023.745	1000.593	-0.003	0.005	-0.001	-0.001	-0.007	-0.013	93,875	118,230	151,457	0.015	61,457	81,870	171,870
11.06.2019	1025.018	1023.743	1000.593	0.001	-0.002	0.000	0.000	-0.009	-0.013	90,000	124,695	145,305	0.016	55,305	#DIV/0!	#DIV/0!
27.09.2019	1025.019	1023.743	1000.592	0.001	0.000	-0.001	0.001	-0.009	-0.014	86,562	122,669	147,105	0.017	57,105	-83,660	173,660
20.05.2020	1025.020	1023.742	1000.593	0.001	-0.001	0.001	0.002	-0.010	-0.013	83,048	127,245	141,887	0.017	51,887	-78,690	168,690
08.10.2020	1025.021	1023.741	1000.592	0.001	-0.001	-0.001	0.003	-0.011	-0.014	80,436	127,534	140,840	0.018	50,840	-74,745	164,745
21.05.2021	1025.020	1023.740	1000.593	-0.001	-0.001	0.000	0.002	-0.012	-0.013	83,550	132,376	136,899	0.018	46,899	-80,538	170,538
19																
24.07.2002	1025.520	1023.705	1000.605													
28.09.2004	1025.520	1023.705	1000.601	0.000	0.000	-0.004	0.000	0.000	-0.004	90,000	90,000	180,000	0.004	90,000	#DIV/0!	#DIV/0!
17.07.2006	1025.516	1023.703	1000.598	-0.004	-0.002	-0.003	-0.004	-0.002	-0.007	118,786	103,932	147,426	0.008	57,426	26,565	116,565
17.09.2007	1025.518	1023.704	1000.588	0.002	0.001	-0.010	-0.002	-0.001	-0.017	96,698	93,343	172,507	0.017	82,507	26,565	116,565
31.07.2008	1025.518	1023.703	1000.594	0.000	-0.001	0.006	-0.002	-0.002	-0.011	100,142	100,142	165,580	0.011	75,580	45,000	135,000
09.06.2009	1025.516	1023.704	1000.600	-0.002	0.001	0.006	-0.004	-0.001	-0.005	128,113	98,876	140,490	0.006	50,490	14,036	104,036
26.05.2010	1025.517	1023.704	1000.598	0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.001	-0.007	112,990	97,481	155,689	0.008	65,689	18,435	108,435
12.10.2010	1025.516	1023.703	1000.597	0.000	0.000	-0.001	-0.004	-0.002	-0.008	115,877	102,604	150,794	0.009	60,794	26,565	116,565
11.05.2011	1025.516	1023.703	1000.595	-0.001	-0.001	-0.002	-0.004	-0.002	-0.010	111,417	100,520	155,905	0.011	65,905	26,565	116,565
02.11.2011	1025.516	1023.703	1000.594	0.000	-0.001	0.000	-0.001	-0.004	-0.010	109,686	99,697	157,875	0.012	67,875	26,565	116,565
30.05.2012	1025.516	1023.703	1000.595	0.000	0.000	0.000	-0.004	-0.002	-0.010	111,417	100,520	155,905	0.011	65,905	26,565	116,565
19.07.2012	1025.515	1023.704	1000.595	-0.001	0.001	0.000	-0.005	-0.001	-0.011	114,355	94,731	155,130	0.012	65,130	11,310	101,310
08.11.2012	1025.513	1023.706	1000.584	-0.002	0.002	-0.010	-0.007	0.001	-0.021	108,415	87,413	161,391	0.022	71,391	-8,130	98,130
25.07.2013	1025.514	1023.702	1000.583	0.001	-0.005	-0.001	-0.006	-0.003	-0.022	105,122	97,495	163,043	0.023	73,043	26,565	116,565
22.05.2014	1025.515	1023.703	1000.584	0.001	0.001	0.001	-0.005	-0.002	-0.021	103,334	95,293	165,617	0.022	75,617	21,801	111,801
30.09.2014	1025.516	1023.703	1000.584	0.001	0.000	0.000	-0.004	-0.002	-0.021	100,737	95,345	167,978	0.021	77,978	26,565	116,565
29.04.2015	1025.514	1023.703	1000.585	-0.002	0.000	0.000	-0.006	-0.002	-0.020	106,621	106,621	162,452	0.021	72,452	18,435	108,435
10.10.2015	1025.515	1023.703	1000.585	0.001	0.000	0.000	-0.005	-0.002	-0.020	103,969	95,541	164,930	0.021	74,930	21,801	111,801
10.05.2016	1025.515	1023.702	1000.585	0.000	0.000	0.001	-0.005	-0.003	-0.020	103,887	98,280	163,746	0.021	73,746	30,964	120,964
17.10.2016	1025.515	1023.703	1000.584	0.000	0.000	-0.001	-0.005	-0.002	-0.021	103,334	95,293	165,617	0.022	75,617	21,801	111,801
16.05.2017	1025.516	1023.702	1000.585	0.001	-0.001	0.000	-0.004	-0.003	-0.020	101,188	98,367	165,964	0.021	75,964	36,870	126,870
09.10.2017	1025.516	1023.702	1000.584	0.000	0.000	0.000	-0.004	-0.003	-0.021	100,678	97,988	166,608	0.022	76,608	36,870	126,870
11.05.2018	1025.516	1023.702	1000.584	0.000	-0.001	0.000	-0.004	-0.003	-0.021	100,678	97,988	166,608	0.022	76,608	36,870	126,870

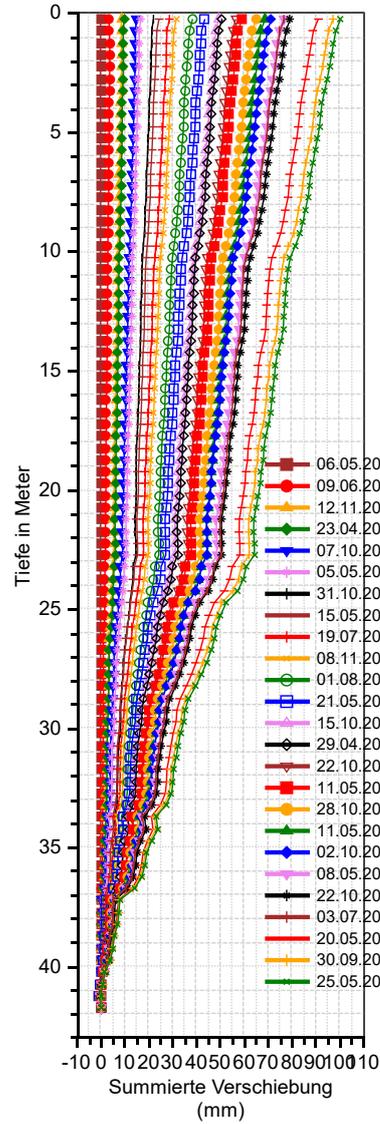
A. Appendix

	11.10.2018	1025.515	1023.701	1000.585	-0.001	0.000	0.000	-0.005	-0.004	-0.020	103.774	100.981	162.247	0.021	72.247	38.660	128.660
	11.06.2019	1025.516	1023.702	1000.584	0.001	0.000	0.000	-0.004	-0.003	-0.021	100.678	97.988	166.608	0.022	76.608	36.870	126.870
	27.05.2020	1025.516	1023.702	1000.584	0.000	0.000	0.000	-0.004	-0.003	-0.021	100.678	97.988	166.608	0.022	76.608	36.870	126.870
	20.05.2020	1025.517	1023.702	1000.584	0.001	0.001	0.001	-0.003	-0.003	-0.021	98.049	98.049	168.578	0.021	78.578	45.000	135.000
	08.10.2020	1025.515	1023.701	1000.584	-0.001	-0.001	0.000	-0.005	-0.004	-0.021	103.164	100.498	163.043	0.022	73.043	38.660	128.660
	21.05.2021	1025.517	1023.702	1000.583	0.001	0.001	-0.001	-0.003	-0.003	-0.022	97.695	97.695	169.085	0.022	79.085	45.000	135.000
	24.07.2002	1035.482	1020.229	1000.623													
20	28.09.2004	1035.481	1020.228	1000.619	-0.001	-0.001	-0.004	-0.001	-0.001	-0.004	103.633	103.633	160.529	0.004	70.529	45.000	135.000
	17.07.2006	1035.479	1020.229	1000.618	-0.002	0.001	-0.001	-0.003	0.000	-0.005	120.964	90.000	149.036	0.006	59.036	0.000	90.000
	17.09.2007	1035.480	1020.230	1000.606	0.001	0.001	-0.012	-0.002	0.001	-0.017	96.698	86.657	172.507	0.017	82.507	-26.565	116.565
	31.07.2008	1035.480	1020.228	1000.612	0.000	-0.002	0.006	-0.002	-0.001	-0.011	100.263	95.111	168.510	0.011	78.510	26.565	116.565
	09.06.2009	1035.478	1020.229	1000.618	-0.002	0.001	0.006	-0.004	0.000	-0.005	128.660	90.000	141.340	0.006	51.340	0.000	90.000
	18.11.2009	1035.478	1020.229	1000.615	0.000	-0.001	-0.003	-0.004	0.000	-0.008	116.565	90.000	153.435	0.009	63.435	0.000	90.000
	26.05.2010	1035.479	1020.228	1000.617	0.001	0.000	0.002	-0.003	-0.001	-0.006	116.252	98.479	152.209	0.007	62.209	18.435	108.435
	12.10.2010	1035.479	1020.227	1000.615	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.002	-0.008	109.992	103.175	155.739	0.009	65.739	33.690	123.690
	11.05.2011	1035.479	1020.227	1000.612	0.000	0.000	-0.002	-0.003	-0.002	-0.011	105.020	99.949	161.852	0.012	71.852	33.690	123.690
	02.11.2011	1035.478	1020.227	1000.612	-0.001	0.001	0.000	-0.004	-0.002	-0.011	109.686	99.697	157.875	0.012	67.875	26.565	116.565
	30.05.2012	1035.480	1020.226	1000.612	0.002	-0.002	0.000	-0.002	-0.003	-0.011	99.949	105.020	161.852	0.012	71.852	56.310	146.310
	19.07.2012	1035.481	1020.228	1000.612	0.000	0.002	0.000	-0.001	-0.001	-0.011	95.173	95.173	172.674	0.011	82.674	45.000	135.000
	08.11.2012	1035.477	1020.228	1000.613	-0.003	0.001	0.001	-0.005	-0.001	-0.010	116.451	95.111	152.983	0.011	62.983	11.310	101.310
	25.07.2013	1035.481	1020.227	1000.612	0.003	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.011	95.111	100.263	168.510	0.011	78.510	63.435	153.435
	30.09.2014	1035.479	1020.227	1000.614	0.000	0.001	0.002	-0.003	-0.002	-0.010	100.845	106.393	160.173	0.011	70.173	56.310	146.310
	29.04.2015	1035.479	1020.226	1000.614	0.000	0.000	-0.001	-0.003	-0.003	-0.009	108.025	101.905	158.168	0.010	68.168	33.690	123.690
	12.10.2015	1035.480	1020.227	1000.614	0.000	0.000	-0.002	-0.002	-0.002	-0.009	107.548	107.548	154.761	0.010	64.761	45.000	135.000
	10.05.2016	1035.482	1020.227	1000.613	0.002	0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.010	102.240	102.240	162.554	0.009	72.554	45.000	135.000
	17.10.2016	1035.480	1020.229	1000.613	-0.002	0.001	0.000	-0.002	-0.002	-0.010	90.000	101.310	168.690	0.010	78.690	#DIV/0!	#DIV/0!
	16.05.2017	1035.481	1020.227	1000.613	0.001	-0.002	0.000	-0.001	-0.002	-0.010	101.310	90.000	168.690	0.010	78.690	0.000	90.000
	09.10.2017	1035.479	1020.226	1000.614	-0.002	-0.001	0.001	-0.003	-0.003	-0.009	107.548	107.548	154.761	0.010	77.396	63.435	153.435
	11.05.2018	1035.480	1020.226	1000.614	0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.003	-0.009	101.905	108.025	158.168	0.010	68.168	56.310	146.310
	11.10.2018	1035.481	1020.227	1000.613	0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.010	95.600	101.255	167.396	0.010	77.396	63.435	153.435
	11.06.2019	1035.480	1020.226	1000.612	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.003	-0.011	99.949	105.020	161.852	0.012	71.852	56.310	146.310
	27.09.2020	1035.480	1020.227	1000.612	0.000	0.001	0.000	-0.002	-0.002	-0.011	100.142	100.142	165.580	0.011	75.580	45.000	135.000
	20.05.2020	1035.481	1020.227	1000.613	0.000	0.000	0.001	-0.001	-0.002	-0.010	95.600	101.255	167.396	0.010	77.396	63.435	153.435
	08.10.2020	1035.480	1020.227	1000.612	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.011	100.142	100.142	165.580	0.011	75.580	45.000	135.000
	21.05.2021	1035.481	1020.227	1000.612	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.010	95.111	100.263	168.510	0.011	78.510	63.435	153.435
64534	27.09.2019	979.398	995.164	1001.160													
	20.05.2020	979.408	995.155	1001.160	0.011	-0.009	0.000	0.011	-0.009	0.000	39.289	129.289	90.000	0.014	0.000	-39.289	129.289
	08.10.2020	979.422	995.143	1001.161	0.014	-0.012	0.001	0.024	-0.021	0.001	41.218	131.161	88.204	0.032	1.796	-41.186	131.186
	21.05.2021	979.435	995.128	1001.161	0.013	-0.015	0.000	0.037	-0.035	0.001	43.421	133.398	88.875	0.051	1.125	-43.409	133.409

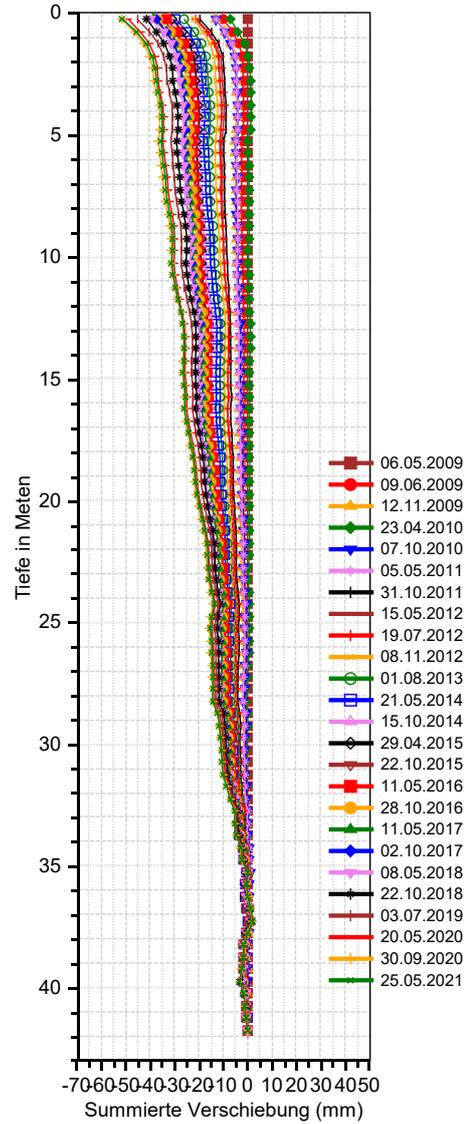
A.4. Inklinometer

A. Appendix

A-Achse, GUTTAL, IK 1



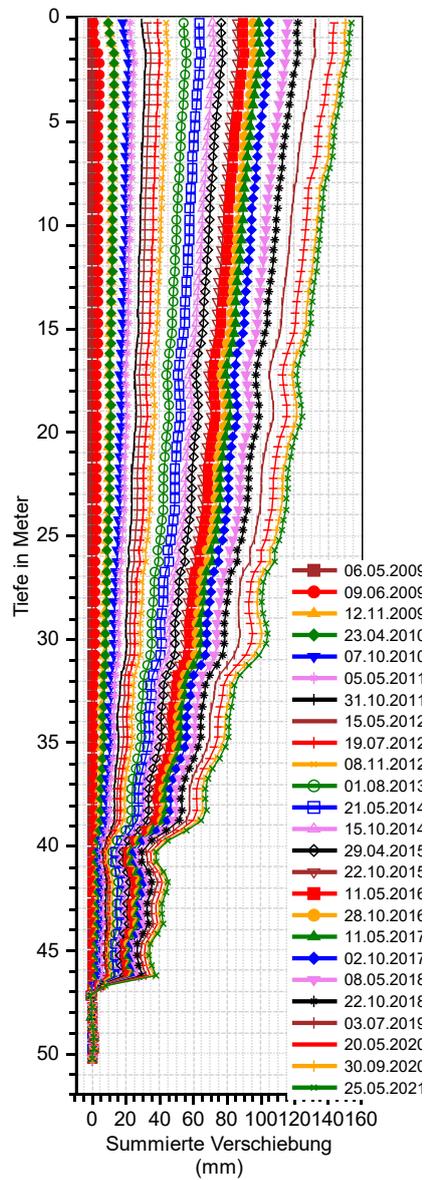
B-Achse



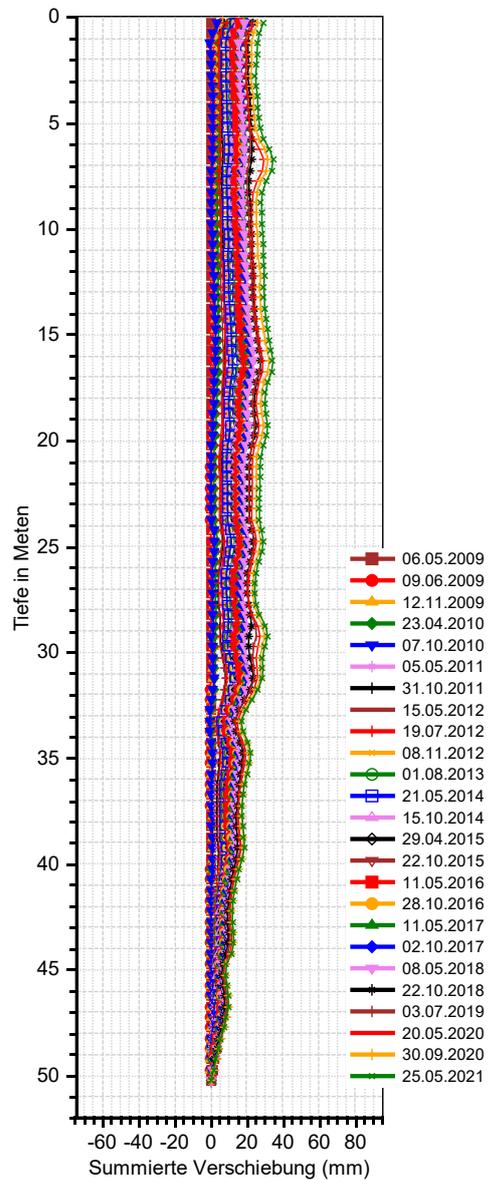
GROHAG
 Inklinometer 1, Tiefe 41,5 m, Nullmessung vom 06.05.2009
 24. Folgemessung, File: GROHAG 1

Zivilingenieurbüro Dr. Peter Tschernutter, 9500 Villach

A-Achse, GUTTAL, IK 1-Alt



B-Achse

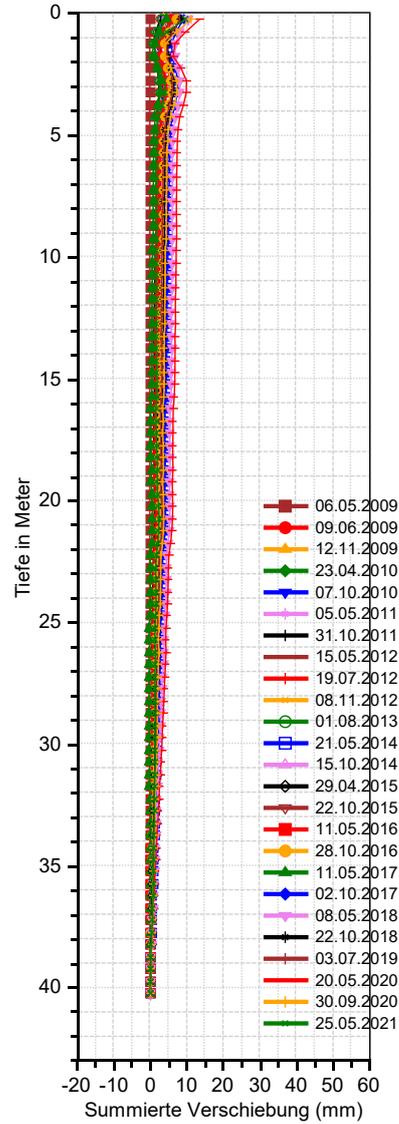


GROHAG
 Inklinometer 1-Alt, Tiefe 50,0 m, Nullmessung vom 06.05.2009
 24. Folgemessung, File: GROHAG 1-H9II
 Hüllrohr von 25,54 m bis 45,1 m verblieben

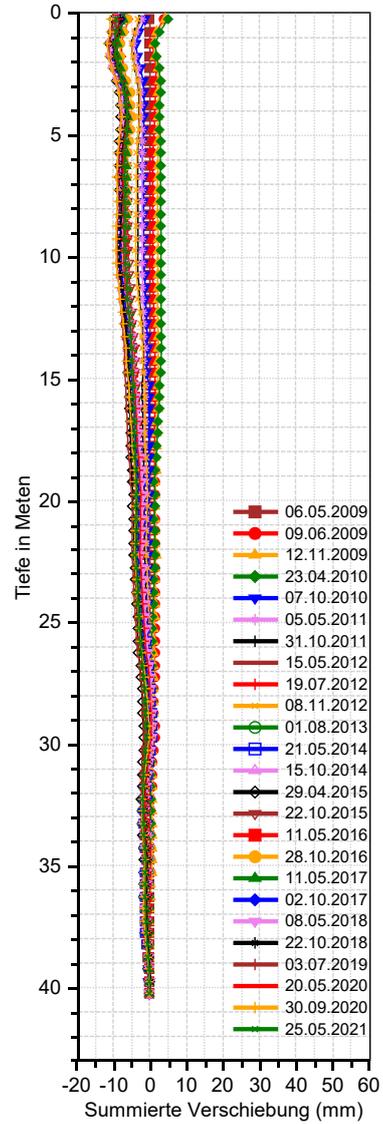
Zivilingenieurbüro Dr. Peter Tschernutter, 9500 Villach

A. Appendix

A-Achse, GUTTAL, IK 3



B-Achse



GROHAG
 Inklinometer 3, Tiefe 40,0 m, Nullmessung vom 06.05.2009
 24. Folgemessung, File: GROHAG 3

Zivilingenieurbüro Dr. Peter Tschernutter, 9500 Villach

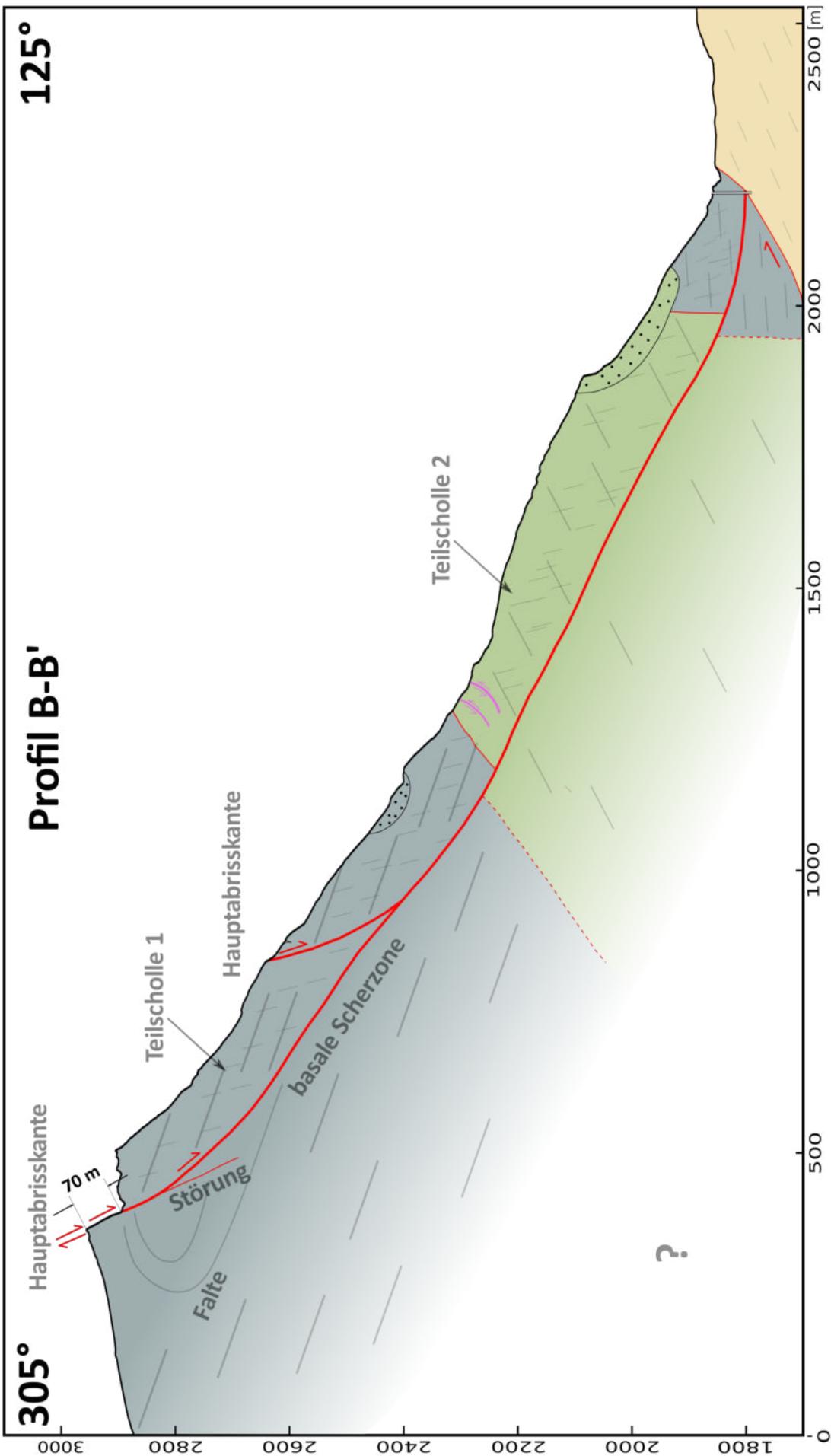
A.5. Karte und Profilschnitte M 1:10.000

A. *Appendix*

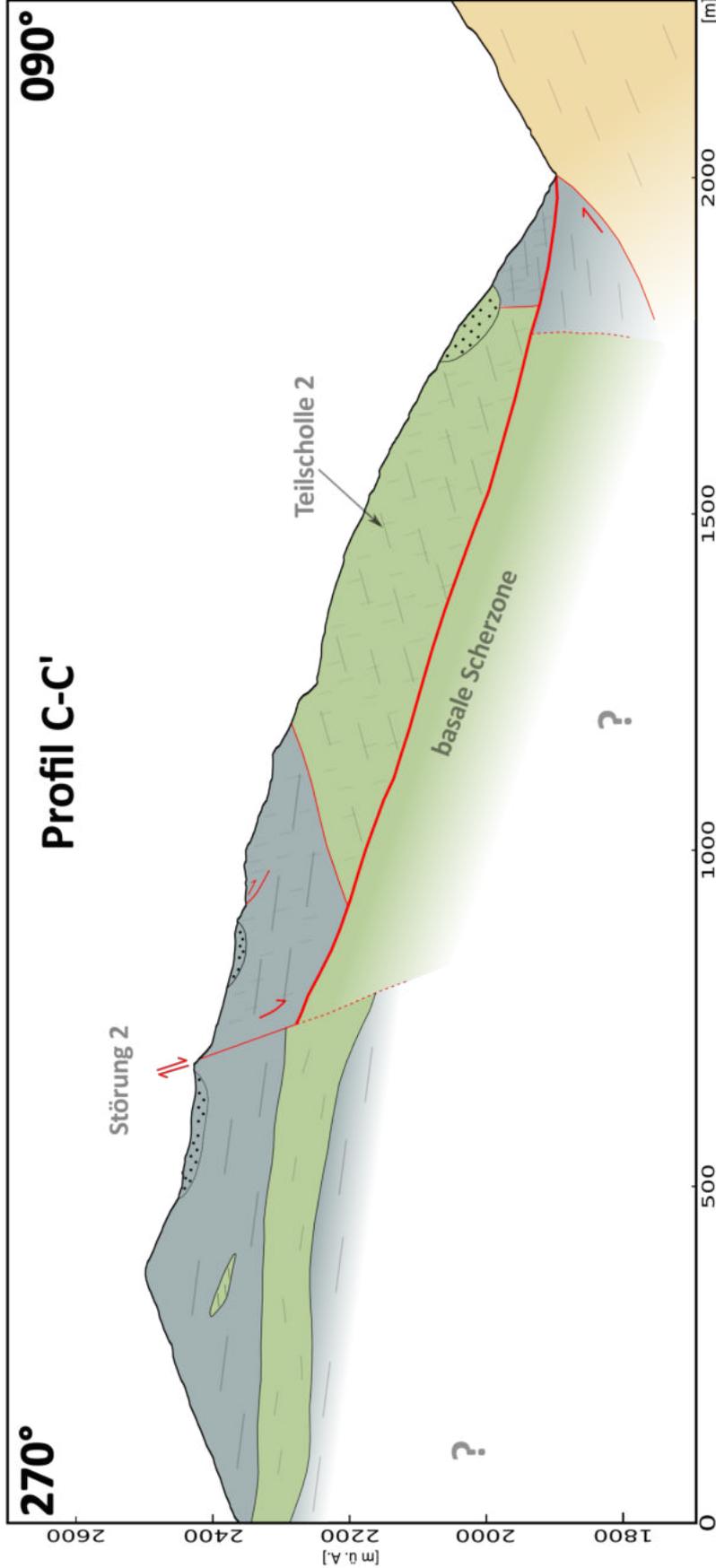
Karte

A.5. Karte und Profilschnitte M 1:10.000

A-A



Lithologien	Strukturen	Symbole
Kalkglimmerschiefer	Störung / Störung vermutet	Fallrichtung mit z.B. 20° Fallwinkel
Serpentinit	Abrisskante / Begrenzung der Gleitung	Gipfel Wasserradkopf (3032 m ü.A.)
Granatglimmerschiefer	Hautabbrisskante	
Hangschutt Kalkglimmerschiefer	Nackentälchen	
Hangschutt Serpentinit	Antithetische Scherflächen	
Subanstehender Serpentinit		
Bündlerschiefer des Glockner-Deckensystems		
Moräne		
Schwemmfächer		
Stillwassersedimente		
Blöcke		
Quarzit, Kalkglimmerschiefer des Modereck-Deckensystems		



Lithologien	Strukturen	Symbole
<ul style="list-style-type: none"> Kalkglimmerschiefer Serpentinit Granatglimmerschiefer Hangschutt Kalkglimmerschiefer Hangschutt Serpentinit Subansteher Serpentinit 	<ul style="list-style-type: none"> Störung / Störung vermutet Abrisskante / Begrenzung der Gleitung Hautabrissskante Nackentälchen Antithetische Scherflächen 	<ul style="list-style-type: none"> Fallrichtung mit z. B. 20° Fallwinkel Gipfel Wasserradkopf (3032 m ü. A.)
<ul style="list-style-type: none"> Moräne Schwemmfächer Stillwassersedimente Blöcke Quarzit, Kalkglimmerschiefer des Modereck-Deckensystems 		
<ul style="list-style-type: none"> Bündnerschiefer des Glockner-Deckensystems 		

B. Abkürzungsverzeichnis

a.s.l.	above sea level
E	Osten
GMA	Gesamtmineralanalyse
GOK	Geländeoberkante
GPS	Global Positioning System
Ma	Millionen Jahre
N	Norden
S	Süden
SE	Südosten
SW	Südwesten
m ü.A.	Meter über Adria
rpm	revolutions per minute (dt. Umdrehungen pro Minute)
W	Westen
XRD	X-ray diffraction (dt. Röntgenbeugung)