

**Geotechnisch-geologische Untersuchung einer großen,
kriechenden Massenbewegung
am Beispiel Graukogel in Bad Gastein**

Masterarbeit zum Erwerb des
akademischen Titels Diplomingenieur der
Studienrichtung Bauingenieurwesen

Matthias Ebner, BSc

Verfasst am
Institut für Bodenmechanik und Grundbau
der Technischen Universität Graz

Betreuer der Masterarbeit:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte

Graz, Oktober 2013

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Statutory Declaration

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

Graz, am

.....

(Matthias Ebner)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte bedanken. Seine ausgezeichnete Betreuung, sein großes Interesse und seine Unterstützung haben das Gelingen dieser Arbeit erst ermöglicht.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Mag. Gerald Valentin vom geologischen Dienst der Salzburger Landesregierung für die umfangreiche Unterstützung bedanken.

Für die Unterstützung mit den Base-Friction Modellversuchen möchte ich meinem Studienkollegen Patrick Pichler besonderen Dank aussprechen.

Ein weiteres Dankeschön gilt meinen Freunden und Studienkollegen aus dem Wasserbauzeichensaal, denen ich eine unvergessliche Studienzeit verdanke. Ganz besonders gilt mein Dank Petra, Martin und Franz, deren Unterstützung und Freundschaft diesen Erfolg ermöglichten. Bei Klaus und Teresa möchte ich mich für die gemeinsamen Jahre und für das Heimatgefühl bedanken.

Der größte Dank gebührt meiner Familie. Ich danke euch für eure Unterstützung und euer Vertrauen.

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Untersuchung einer großen, kriechenden Massenbewegung am Graukogel in Bad Gastein im Bundesland Salzburg. Die Verschiebungsraten betragen bis zu mehrere Zentimeter pro Jahr und stellen langfristig eine Gefährdung von Bauwerke im Ortsgebiet von Bad Gastein dar.

Das Untersuchen der geologischen Randbedingungen ergab eine Übersicht über die Verhältnisse und Strukturen am Graukogel. Es konnten aufgrund von diversen Gutachten und Bohrproben die geologischen Bedingungen am unteren Hangfuß ermittelt werden. Die Aufarbeitung vorhandener Messungen gab einen globalen Trend der Verschiebung Richtung Nordwesten zu erkennen. Mithilfe eines Base-Friction Modellversuches wurden qualitative Untersuchungen zum Bewegungsablauf durchgeführt. All diese Ergebnisse wurden zusammengefasst um entlang von Geländeprofilen eine mögliche geotechnische Systemvorstellung aufzuzeigen.

Die Ergebnisse wurden abschließend in braupraktischer Hinsicht diskutiert und allgemeine Empfehlungen für das Bauen auf einem Kriechhang aus geotechnischer Sicht abgegeben.

Abstract

This thesis involves the investigation of a deep-seated gravitational slope deformation at the Graukogel Mountain in Bad Gastein, Austria. Ongoing deformation rates of several centimeters per year pose a threat to long-term serviceability of the structures of the municipality of Bad Gastein.

The investigation of the geological conditions and the analysis of several expert reports and drill cores were carried out. The processing of existing measurement data showed a general tendency of mass movement towards the northwest. Base-Friction modelling was used for a qualitative analysis of the systematic behaviour of the mass movement. The collected data was then combined and a possible geotechnical interpretation was presented.

Finally, the results were analysed regarding the construction of structures and recommendations were made for the future design of structures on a creeping slope.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.1	Geographische Beschreibung des Projektgebietes	1
2	Große Massenbewegungen	3
2.1	Begriffsdefinition	3
2.2	Systematik von Massenbewegungen	4
2.2.1	Fallen	4
2.2.2	Kippen.....	5
2.2.3	Gleiten	5
2.2.4	Driften.....	5
2.2.5	Fließen	6
2.3	Einflussfaktoren.....	8
2.3.1	Geologische Randbedingungen	8
2.3.2	Wasser	8
2.3.3	Zeit.....	9
2.3.4	Vegetation und Mensch	9
3	Geologische Randbedingungen	11
3.1	Geologie Tauernfenster.....	11
3.2	Geologische Verhältnisse im hinteren Gasteiner Tal	14
3.2.1	Tektonische Übersicht der Zentralgneise.....	14
3.2.2	Bau des Gasteiner Gebietes	14
3.2.3	Gletscher	17
3.3	Graukogel	21
3.3.1	Auswertung vorhandener Literatur und Unterlagen	24
3.3.2	Beobachtungen im Feld.....	34
3.4	Hydrogeologie und Thermalquellen.....	39
4	Massenbewegung Graukogel	43
4.1	Auswertung vorhandener Messdaten.....	43
4.1.1	Geodätische Vermessungen.....	44
4.1.2	GPS Messung	48

4.1.3	Inklinometermessungen Bauvorhaben Gasteinerhof	51
4.1.4	Geophysikalische Untersuchungen	58
4.2	Mögliche Ursachen und „Trigger“ der Massenbewegungen	62
4.2.1	Die Massenbewegung als interglazialer Bergsturz	63
4.3	Versuch einer geologisch/geotechnischen Modellierung im Modellversuch	64
4.3.1	Mechanische Grundlagen	65
4.3.2	Versuchsanordnung	67
4.3.3	Modellbeschreibung Versuch A	70
4.3.4	Modellversuch A – Auswertung	71
4.3.5	Modellbeschreibung Versuch B	73
4.3.6	Modellversuch B – Auswertung	74
4.3.7	Modellbeschreibung Versuch C	76
4.3.8	Modellversuch C – Auswertung	77
4.4	Einfache rechnerische Modellbildung und rechnerische Abschätzung	81
4.5	Interpretation der bisherigen Ergebnisse	84
5	Baupraktische Betrachtungen	90
5.1	Allgemeine Diskussion der Ergebnisse in baupraktischer Hinsicht	90
5.2	Kurze Beschreibung von Bewegungsmustern und Schadensbilder bestehender Bauwerke	92
5.3	Überlegungen zur Ausführungen von Gebäuden auf Rutschhängen am Beispiel Graukogel	96
6	Zusammenfassung und Ausblick	98
6.1	Ausblick	99
7	Verzeichnisse	101
8	Anhang	108

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Anhaltende Bewegungsraten in einer Größenordnung von mehreren cm/Jahr bezeichnen den Talfuß des Graukogels. Diese Bewegungen werden einer großen Massenbewegung, welche den gesamten Hang des Graukogels betrifft, zugeschrieben. Der Graukogel und das Gasteiner Tal befinden sich im Tauernfenster, einem geologisch höchst komplex aufgebauten Gebiet, in dem tiefliegende Großeinheiten der Alpen anzutreffen sind. Aufgrund dieser besonderen geologischen Verhältnisse, welche diese Massenbewegung begünstigen und ermöglichen, wird angenommen, dass der von Blockschutt und Lockermaterial aufgebaute Hang entlang von Gleitbahnen aus Kalkglimmerschiefer talwärts kriecht. Diese kontinuierlichen Verschiebungen können über längere Zeit große Bauwerksschäden bewirken und gefährden auch die wirtschaftlich enorm wichtigen Thermalquellen an der Talstufe im Ortszentrum. Durch Aufarbeiten gesammelter Daten über die Bewegungen und die Durchsicht von geologisch-geotechnischen Bearbeitungen im Gebiet Graukogel wird ein Versuch unternommen, die Systematik dieser großen Massenbewegung besser zu verstehen.

In einem modellhaften Laborversuch wurden mit dem System „Base Friction“ Versuche durchgeführt, um eine Annäherung an einen möglichen Bewegungsablauf dieser Massenbewegung zu modellieren. Dabei sind die speziellen Randbedingungen eingeflossen, welche auf den Graukogel zutreffen.

1.1 Geographische Beschreibung des Projektgebietes

Das zu untersuchende Projektgebiet befindet sich im Gasteiner Tal im Ortsgebiet von Bad Gastein.

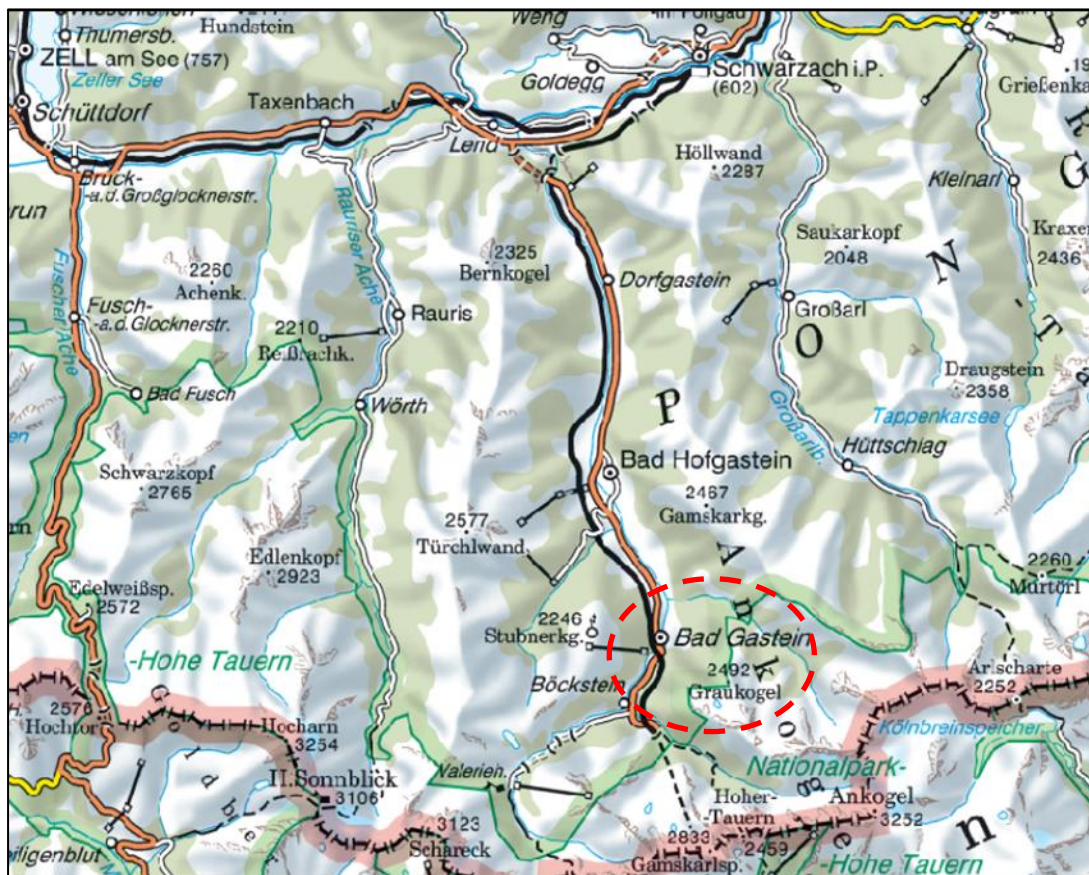


Abbildung 1 Übersichtskarte Gasteiner Tal (M1:500.000, BEV, 2013)

Das Gasteiner Tal ist ein Seitental des Salzach Tals im Bezirk Pongau. Die Gasteiner Ache fließt entlang des Tals nach Norden und mündet bei Lend in die Salzach ein. Es finden sich entlang der Gasteiner Ache drei Gemeinden: Bad Gastein, Bad Hofgastein und Dorfgastein. Das gesamte Gasteiner Tal ist bekannt für Wintersport mit Skigebieten wie der Skischaukel Schlossalm-Angertal-Stubnerkogel, der Skischaukel Großarl-Dorfgastein und dem Skigebiet in Sportgastein.

Die Gemeinde Bad Gastein, als südlichste Gemeinde im Tal, ist auch die höchstgelegene mit 1000m.ü.A. Sie liegt zwischen dem Stubnerkogel (2246 m) im Westen und dem Graukogel (2942 m) im Osten. Berühmt geworden ist die Gemeinde durch heilendes Thermalwasser und den Heilstollen



Abbildung 2 Gemeinde Badgastein (M1:50000, BEV, 2013)

im Radhausberg. Über 40 °C heißes Thermalwasser tritt mitten im Ortsgebiet von Bad Gastein aus dem Fels und Lockergestein aus, welches an die umliegenden Thermen verteilt wird. Ebenso nennenswert ist der Wasserfall im Ortszentrum. Die Gasteiner Ache überwindet im Ortsgebiet einen Höhenunterschied von ca. 200 m.

2 Große Massenbewegungen

Massenbewegungen sind fester Bestandteil alpiner Regionen. Immer wieder kommt es zu Bergstürzen, Hangrutschungen und Muren. Das Auftreten und das Ausmaß solcher Massenbewegungen hängen von verschiedensten Parametern ab. Auf diese Parameter, Mechanismen und auf die Ursachen derartiger Massenbewegung soll in diesem Kapitel kurz eingegangen werden. Zur allgemeinen Betrachtung von Massenbewegungen wurde das Buch Ingenieurgeologie von (Prinz und Strauss 2011) verwendet. Weitere Quellen sind im Text ausgewiesen.

2.1 Begriffsdefinition

Der Begriff Massenbewegung beschreibt eine schwerkraftbedingte Massenverlagerung von einem höheren Hangniveau auf ein tiefergelegenes. Die Begriffe Böschung und Hang beschreiben eine geneigte, natürlich oder künstlich entstandene Geländeoberfläche und werden im Allgemeinen als Synonyme verwendet.

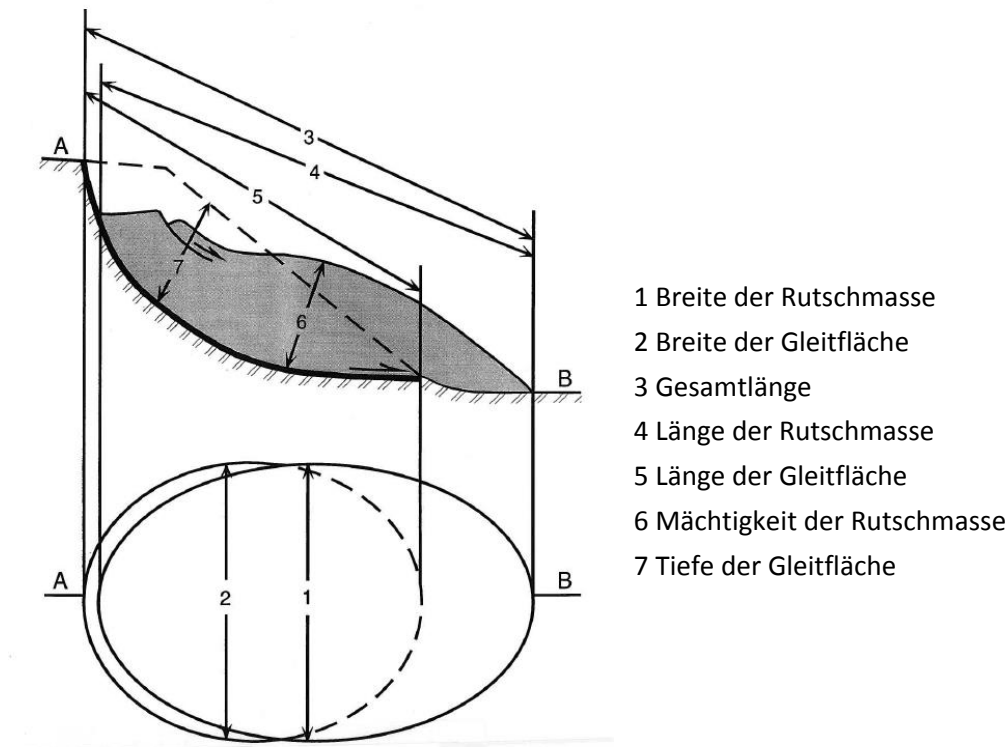


Abbildung 3 Dimensionen einer Rutschung (Multilingual landslide glossary 1993)

Die Begriffe „Mächtigkeit der Rutschmasse“ (6) und „Tiefe der Gleitfläche“ (7) in Abbildung 3 sind schräg eingetragen, wodurch die Angabe eines Winkels notwendig wird. Werden nur die Mächtigkeit der Rutschmasse bzw. die Tiefe der Gleitfläche angegeben, so kann dies zu Missverständnissen führen. Daher ist die Angabe dieser Werte als senkrechter Abstand von der Geländeoberkante zu empfehlen.

In der Literatur kommen auch die Begriffe Massenschwerebewegung und Massenselbstbewegung vor. Diese beziehen sich auf die Verlagerungen von Locker- und Festgesteinen durch Schwerkrafteinwirkung. Bei dem Begriff Massentransport oder Erosion wirkt Transportmittel (Wasser, Gletschereis, Luft) in Verbindung mit Schwerkraft (Krauter 2001).

Das Multilingual Landslide Glossary (1993) definiert Rutschungen (engl. „landslides“) als hangabwärts gerichtete Bewegungen von Boden-, Fels- und Schuttmassen. Demnach sind Massenschwerebewegungen und Massentransport durch Wasser dem Begriff Rutschung zuzuordnen.

2.2 Systematik von Massenbewegungen

Im Allgemeinen können Massenbewegungen in diverse Bewegungstypen aufgeteilt werden. Die drei Hauptarten von Bewegungen sind Fließen, Rutschungen und Sturzprozesse. Eine weitere Unterteilung kann wie folgt getroffen werden:

2.2.1 Fallen

Sturzmasse löst sich plötzlich entlang von Trennflächen und stürzt im freien Fall nach unten (engl. „fall“). Die Charakteristika (Orientierung im Raum, Durchgängigkeit, mechanische Eigenschaften, etc.) dieser Trennflächen, welche meist durch Verwitterung entstehen, sind entscheidend für die Größe der Sturzmasse. Auch Hangentspannungsprozesse können ein Grund für ein plötzliches Versagen sein.

Steinschläge, Fels- und Bergstürze fallen in diese Kategorie, wobei bei diesen Szenarien eine Unterscheidung in der Kubatur der anfallenden Massen getroffen wird. Ein Steinschlag bezieht sich auf einzelne Steine und Blöcke mit einer Gesamtmasse von weniger als 5 m^3 . Felsstürze sowie auch Bergstürze bezeichnen Gesteinspakete, die sich aus dem Gebirgsverband ablösen. Dabei haben Felsstürze meist ein Volumen von 100 bis mehrere 100.000 m^3 , Bergstürze hingegen Volumina von mehr als 1 Mio. m^3 .

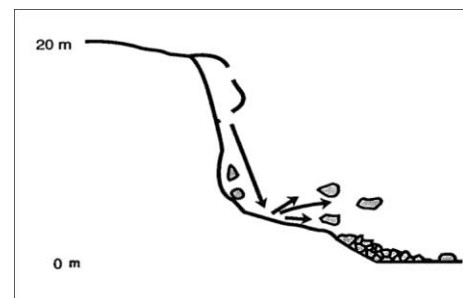


Abbildung 4 Fallen (Multilingual landslide glossary 1993)

2.2.2 Kippen

Als Kippen (engl. „topple“) wird die Vorwärtsrotation von Fels oder Boden bezeichnet. Diese Bewegung aus dem Hang ist vor allem bei Steilwänden vorzufinden. Durch das Aufsitzen von kompetentem Gestein auf inkompetentere Schichten („hart auf weich“) wird dieser Bewegungsmechanismus verstärkt. Zusätzlich entstehen Risse am Kopf der Rotationsmasse normal zur Bewegungsrichtung.

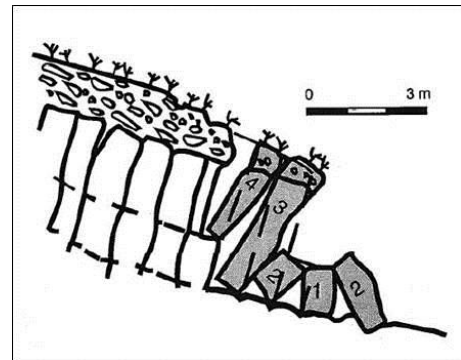


Abbildung 5 Kippen (Multilingual landslide glossary 1993)

2.2.3 Gleiten

Gleiten (engl. „slide“) beschreibt eine abwärts gerichtete Bewegung von Boden oder Fels entlang von Gleitflächen oder dünnen Zonen mit sehr starker Scherverformung. Dabei bleibt die Oberfläche der Rutschmasse oft ungestört. Je nachdem wie die Gleitfläche ausgeprägt ist, findet entweder eine Translationsrutschung, eine Rotationsrutschung, oder eine Kombination beider statt. Ein Gleithorizont ist oft bei geschichteten Trennflächen wie bei metamorphen Schiefen oder durch eine zwischengelagerte Schwächezone vorhanden. Bei Großrutschung sind meist verschieden gekrümmte und ebene Gleitflächen vorhanden, sowie eine starke Schub- und Zerrbeanspruchung des Gleitkörpers. Durch eine geradlinige Bewegung kann es zu einer Grabenbildung am oberen Abriss kommen.



Abbildung 6 Gleiten (Multilingual landslide glossary 1993)

2.2.4 Driften

Driften (engl. „spread“) bezeichnet eine Ausbreitung von kohäsiven Boden oder Fels, verbunden mit dem Einsinken der zerlegten Masse in die darunterliegende weichere Schicht, ohne große Scherbeanspruchung in der Bruchfläche. Ursache kann eine Liquefaktion, Fließen oder Auspressen der weichen Schicht sein.

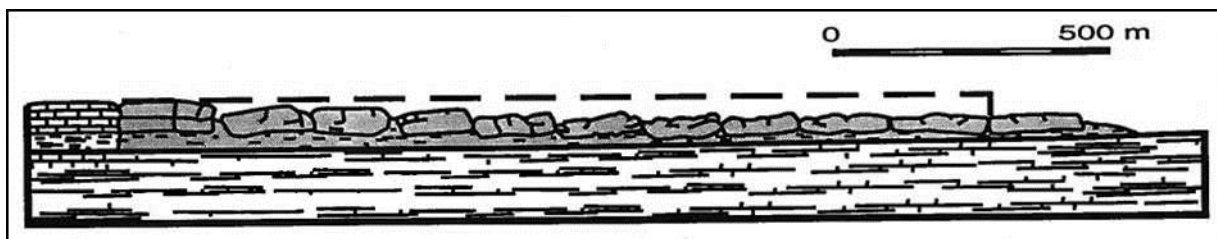


Abbildung 7 Driften (Multilingual landslide glossary 1993)

2.2.5 Fließen

Der Bewegungstyp Fließen (engl. „flow“) beschreibt eine räumlich kontinuierliche Bewegung, in der Scherflächen nur kurzzeitig auftreten, eng gestuft sind und normalerweise nicht erhalten bleiben. Die Geschwindigkeiten in der bewegten Masse haben Ähnlichkeit mit jenen einer viskosen Flüssigkeit (Multilingual landslide glossary 1993). Je nach Zusammensetzung der Fließmasse (Boden, Gestein, Geröll etc.) variiert auch das Fließverhalten stark. Prinzipiell wird beim Fließen ein hoher Wassergehalt im Boden (Verhältnis rund 1:1) vorausgesetzt. Es können aber auch Fließvorgänge in Böden auftreten, die einen geringen Wassergehalt aufweisen. Diese können auch durch Luft einschüsse verflüssigt werden.

Fließvorgänge mit überwiegend grobem Material (Kies, Steine, Felsen) werden als Geröllstrom- oder Schuttstromrutschungen bezeichnet, wohingegen Erd- und Schlammrutschungen mehr als die Hälfte Sand, Schluff und Tone mit sich führen. Hauptauslöser dieser Rutschungen sind Starkniederschläge und/oder Schneeschmelze.

Bei einer Solifluktion handelt es sich um eine Fließbewegung der obersten Bodenschichten bei Wasserübersättigung, wobei schon eine Hangneigung von 2° genügt, um eine Bewegung hervorzurufen. Diese Bewegungen sind vorwiegend im Hochgebirge (Permafrostzone) anzutreffen (Krauter 2001).

Quicktone (vorzufinden vor allem in Norwegen, Kanada und England) neigen ebenfalls zu Rutschungen und viskosem Fließen. Sie zeigen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Erschütterungen und hydrostatischen Wechselbelastungen, und zeigen eine zunehmende Verflüssigung bei zunehmender Beanspruchung.

Sonderfall Kriechen:

Kriechbewegungen (engl. „creep“) werden auch dem Typus Fließen zugeschrieben. Damit sind über lange Zeiträume anhaltende Verformung ohne bzw. mit nur geringen Spannungs- oder Laständerungen angesprochen. Diese Bewegungen können sowohl oberflächennah (zwischen 1 und 5 m tiefe Gleitfuge) als auch tiefreichend sein (über 100 m tiefe Gleitfuge). Die Bewegungsraten befinden sich im Bereich von wenigen mm/a bis einige cm/a. Derartige Verformungen verursachen auch kaum sichtbare Veränderungen in der Landschaft. Starkniederschlagsereignisse können einen kurzzeitigen Anstieg der Verformungsgeschwindigkeit oder aber eine progressive Beschleunigung (vor allem bei seichterem Gleithorizonten) bewirken, sofern ein Grenzzustand überschritten wurde.

Talzuschiebe bezeichnen tiefliegende schwerkraftbedingte Hangdeformationen (engl. „deep-seated gravitational slope deformations“) entlang von vorgegebenen Gleitzonen verschiedenster Art. Dabei sind die Geologie und die Struktur im Berg maßgebend für solche Bewegungen. Schiefer- und Schichtflächen, Kluffüllungen oder Trennflächen und Störzonen können derartig mächtige Verfor-

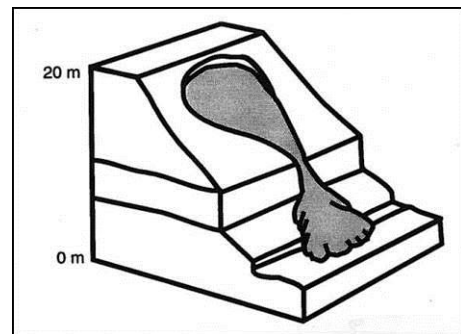


Abbildung 8 Fließen (Multilingual landslide glossary 1993)

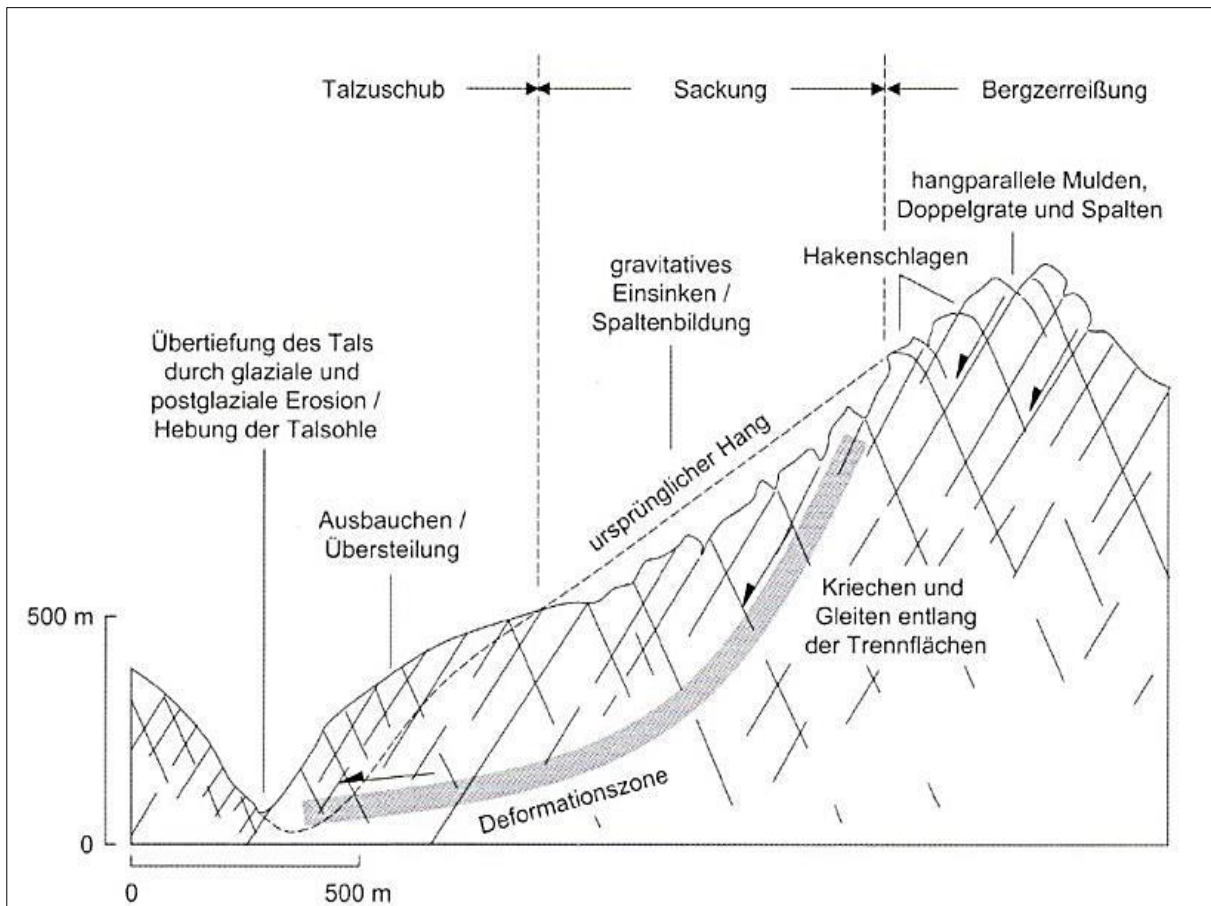


Abbildung 9 Talzuschiebung, Sackung und Bergzerreißung (Genske 2008)

mungen ermöglichen. Direkt in Zusammenhang mit Talzuschieben stehen oft Bergzerreißungen und Sackungen (Abbildung 9), welche die Deformationsvorgänge der oberen Hangbereiche beschreiben. Mit dem Aufwölben des Hangfußes kommt es zu einer Sackung, einem Einsinken und Abflachen des mittleren Hangabschnittes. Als Bergzerreißung werden die Öffnungsvorgänge im oberen Hangbereich bzw. um den Gipfel oder Grat bezeichnet. Dort können Zerrklüfte und Doppelgrate entstehen.

Die Hangmorphologie kann klare Hinweise für das Vorhandensein eines Talzuschiebens liefern. Dabei sprechen konkave Formen mit offenen Klüften im oberen Hangbereich und konvexe, ausbauchende Formen am Talfuß für eine solche Deformation. Dabei kann die Ausprägung dieser Formen in den einzelnen Hangabschnitten stark variieren. Durch den enormen Druck auf die Talsohle kann es zu einer Hebung kommen, indem sich plastische Schichten aufwölben.

Beeinflusst werden diese komplexen Kriechvorgänge von Niederschlägen (auch Schneeschmelze), Erosion, Erdbeben, Belastungen und Eingriffe durch den Menschen. Diese Vielzahl von möglichen Einflüssen verursacht eine stark zeitabhängige Kriechgeschwindigkeit (instationäres Kriechen). Genske (2008) teilt Kriechen in drei Stufen ein. Bei primärem Kriechen nimmt die Geschwindigkeit ab, bei sekundärem bleibt sie konstant, bei tertiärem Kriechen nimmt die Geschwindigkeit zu und führt zum Versagen. Für katastrophale Massenbewegungen ist das tertiäre Kriechen entscheidend, da sich das Versagen durch starken Anstieg der Verformungsgeschwindigkeit ankündigt (Genske 2008).

2.3 Einflussfaktoren

Um eine Massenbewegung herbeizuführen, ist eine Veränderung des Hanggleichgewichts durch diverse Einflüsse erforderlich. Die Schwerkraft steht als einzige Konstante dabei im Hintergrund, obwohl sie den eigentlichen Motor darstellt. Daneben wirken kurzfristige geogene Prozesse (Änderungen des Grundwasserspiegels, Niederschläge, Belastungsänderungen, Erdbeben, Unterspülungen und Untergrabungen) und langfristige geogene Prozesse (Verwitterung, Gebirgsentfestigung und –auflockerung). Die zwei Hauptursachen für die meisten Rutschungen sind eine Veränderung der Geometrie eines Hanges (Neigung, Höhe) und die Einwirkung von Wasser.

2.3.1 Geologische Randbedingungen

Begünstigend für große Massenbewegungen sind Diskontinuitäten, lithologische Übergänge und Grenzflächen. Wasserwegige Gesteine wie Basalte, Sandsteine, Kalksteine, Kiese und Sande auf einer Ton- bzw. Ton-Mergelschicht besitzen z.B. eine erhöhte Rutschanfälligkeit. Vor allem Wechsellagerungen dieser Gesteinsserien sind häufig anzutreffen. Die wichtigsten Aspekte bezüglich Geologie sind nach (Prinz und Strauss 2011) folgende:

- Schicht- und Schieferungsflächen, Großklüfte, Verwerfungen bzw. Störungszonen (Gebirgsauflockerung, Wasserführung), Verwitterungshorizonte
- Latente Schichtflächen oder dünne Lagen mit quellfähigen Tonmineralen, in Lockersedimenten Klufflächen oder Harnische
- mächtige tonig-schluffige Serien
- Unterschiedlich wasserwegsame Gemenge von feinkörnigen und steinig-blockigen Einheiten (z.B. bei Basaltblocklehm, Moränenablagerungen, Geröllströme)
- Tiefgründige Verwitterung (z.B. alte Landoberflächen), Verkarstungs- und Versturzmassen (z.B. tonige Füllungen fossiler Einbruchschlote), tiefreichender Bodenfrost in den Eiszeiten
- Vulkane, Erdbeben

Erdbeben ergeben eine dynamische Belastung auf Böschungen, wodurch das Grenzgleichgewicht überschritten werden und es zu katastrophalen Massenbewegungen kommen kann. Weitere dynamische Belastungen können durch Sprengungen, Verkehr und bautechnische Maßnahmen (z.B. Rammen von Pfählen) entstehen (Genske 2008).

2.3.2 Wasser

Die Wirkung von Wasser in Böden und Hängen ist sehr vielfältig. Durch Wassersättigung wird die Belastung auf den Hang gesteigert. Gleichzeitig verringern Porenwasserüberdrücke die Normalspannung im Boden und setzen die Scherfestigkeit herab. Gesteine und Böden aus Tonen können quellfähige Tonminerale enthalten, die bei Wasserzufuhr expandieren und eine Gefügauflockerung bewirken. Bindige Böden haben bei zunehmendem Wassergehalt eine weichere Konsistenz, was sich wiederum in niedrigeren Scherparametern niederschlägt. Strömungskräfte in feinkörnigen Böden erhöhen die treibenden Kräfte auf den Hang. Regen- und Schmelzwasser, welches in den Berg eindringt, verändert den Grund- und Bergwasserspiegel und ändert somit den Spannungszustand.

Ebenso können (Teil-)Sättigungsprozesse eine Veränderung im Spannungszustand hervorrufen. Auffällig ist auch die Anhäufung von Massenbewegungen nach Starkregenereignissen oder nach der Schneeschmelze, wodurch das Wasser als offensichtlicher Auslöser von beschleunigten Bewegungen hervorgeht (Genske 2008).

Bei einer Wechsellagerung von durchlässigen und undurchlässigen Schichten kann es zur Bildung von Grundwasserstockwerken kommen. Bei der Grenze zu einer undurchlässigen Schicht treten dabei häufig Hangquellen auf, wenn diese Schichten aus der Hangoberfläche ausbeißen. Dies bringt auch eine Durchnässung und eine destabilisierende Wirkung mit sich. Porenwasserdruck kann sich genauso in Klüften im Fels aufbauen und zusätzliche Belastungen auf das Gefüge bewirken. In Gleitflächen kann ein Wasserfilm allein genügen, um die Scherfestigkeit stark zu reduzieren. (Krauter 2001).

Ein Fließgewässer kann den Hangfuß erodieren und eine Veränderung der Neigung und Höhe bewirken. Dadurch wird die Standsicherheit negativ beeinflusst. Der heute vorzufindende Gletscherschwund birgt auch ein großes Gefahrenpotential, da durch die schwindenden Eismassen die Stützwirkung auf Bergflanken und Felswände abnimmt (Genske 2008). Weiters finden dadurch auch Veränderungen des Temperaturregimes im Untergrund statt, was ebenfalls einen Einfluss auf Massenbewegungen haben kann.

2.3.3 Zeit

Ermüdungserscheinungen im Gestein und Gebirgsverband sind von ebenfalls großer Bedeutung. Diese Vorgänge laufen jedoch in einem weit größeren Zeitfenster ab als die üblicherweise vorzufindenden Zeitspannen für Materialermüdung von Baustoffen. Das Gestein unterliegt ständigen Spannungsänderungen (z.B. Schwankung des Grundwasserspiegels und der Temperatur) wodurch das Material ermüdet und die Festigkeit reduziert wird (Krauter 2001).

Weitere festigkeitsmindernde Effekte sind die Vielzahl an Verwitterungsmechanismen. Es kommt zu einem Wirken von chemischen und mechanischen Verwitterungsprozessen. Chemische Verwitterungsprozesse sind Kohlensäureverwitterung, hydrolytische Verwitterung und Oxidationsverwitterung. Daneben gibt es mechanische Verwitterungsformen wie Frostverwitterung, Salzverwitterung und Temperaturverwitterung. Auch Pflanzen können durch Wurzelsprengung eine sogenannte biologische Verwitterung verursachen (Genske 2008).

Die Klimaänderung wirkt sich, wie oben schon erwähnt, auf die Gletscher bzw. auf die hochalpinen Regionen aus. Es kommt hier zu einem Auftauen der Permafrostzone, wodurch auch vermehrt Rutschungen und Felsstürze auftreten.

2.3.4 Vegetation und Mensch

Pflanzen beeinflussen den Wasserhaushalt und somit auch durch Wasser hervorgerufene Hangdeformationen. Neben den oben erwähnten Wurzelsprengungen wirken Pflanzen aber im Allgemeinen stabilisierend. Durch das Abholzen eines Hanges oder Waldsterben kann zur Folge haben, dass die Stabilität durch auftretende Bodenerosion und durch die Änderung des Wasserhaushalts verringert wird. Negativ kann auch die Bildung von Grabgängen und Viehtritt durch Überweidung sein. Die schützende Grasnarbe wird zerstört und Oberflächenwässer können weiter in den Boden eindringen (Krauter 2001; Prinz und Strauss 2011).

Durch Bauprojekte wie Verkehrswegebau und Hoch- und Tiefbauten greift der Mensch aktiv in den Hang ein. Oft wird eine Böschung übersteilt oder ein Hangfuß angeschnitten. Dämme und Gebäude, welche auf Hängen errichtet werden stellen ebenso eine unmittelbare Veränderung des Hanggleichgewichts dar.

Als bekanntes Beispiel für eine vom Menschen verursachte Massenbewegung sei hier die Rutschung von Vajont 1963 erwähnt. Durch den mehrmaligen Einstau und wiederholtes Absenken kam es zu einer Abminderung der Scherfestigkeiten in der Bergflanke des Monte Toc, wodurch rund 260 Mio. m³ Masse in einen Stausee rutschten und eine Flutwelle auslösten, welche sich über die Staumauer ergoss und die darunter liegende Ortschaft zerstörte (Genske 2008).

3 Geologische Randbedingungen

3.1 Geologie Tauernfenster

Im folgenden Kapitel wird ein grober Überblick über die Geologie des Tauernfensters gegeben. Die Informationen hierfür wurden aus dem Werk Geologische Karte von Salzburg 1:200.000 Erläuterungen von (Pestal et al. 2009) entnommen. Alle weiteren Quellen sind im Text angeführt.

Das Tauernfenster befindet sich zwischen Brenner und Katschberg und hat eine Ausdehnung in W-E Richtung von rund 160 km. Die im Land Salzburg angetroffenen Gesteine und Formationen können den Großeinheiten der Alpen zugeordnet werden. Diese Großeinheiten sind das Ostalpin, das Penninikum, das Subpenninikum und das Helvetikum (Abbildung 10). Im Tauernfenster sind unter dem Ostalpin tiefere Einheiten wie das Penninikum und das Subpenninikum (Milnes 1974) aufgeschlossen. Diese Einheiten besitzen jeweils einen vielschichtigen tektonischen Internbau.

Als tektonisch tiefste Einheit liegt im Subpenninikum das Venediger-Deckensystem (Frisch 1976, 1977). Darüber liegt, dem Penninikum zugehörig, das Glockner-Deckensystem (Staub 1924) und das Deckensystem der Matreier Schuppenzone und der Nordrahmenzone. Der Graukogel, als Bestandteil des Hochalm-Ankogel Massivs (Exner 1956), ist Teil des Venediger-Deckensystems (siehe Abbildung 10).

Ostalpin:

Das Ostalpin setzt sich aus kristallinen Gesteinen sowie aus gestapelten Decken paläozoischer und mesozoischer Sedimente zusammen. Das Ostalpin wurde während eoalpidischen und alpidischen tektonischen Vorgängen von der Unterkruste und Mantel abgetrennt und über die penninische Decke geschoben, wobei sich ein komplexes System an Decken formte. Die Nördlichen Kalkalpen, die Grauwackenzone sowie das Radstädter und das Schladming-Seckau Deckensystem zählen unter anderem zum Ostalpin.

Penninikum:

Zu dieser Großeinheit werden zahlreiche Deckensysteme gezählt. Die Decken entstanden aus dem ozeanischen Becken, welches sich gleichzeitig mit dem zentralen Atlantik ab dem mittleren Jura öffnete. Zwischen Oberkreide und Eozän schloss sich dieser Penninische Ozean, wobei auch die Decken entstanden. Das Ostalpin überschob dann die Penninischen Decken und drängte beide weit über den europäischen Schelf. Im Tauernfenster sind das Glockner-Deckensystem (Staub 1924) und die Matreier Schuppenzone – Nordrahmenzone aufgeschlossen.

Helvetikum:

Nachdem sich der Penninische Ozean geöffnet hatte, entstand das Helvetikum aus Sedimenten des helvetischen Schelf (=Südrand der europäischen Kontinentalplatte) welche von ihrer kristallinen Basis abgetrennt und als Deckenstapel über die subalpine Molasse geschoben wurden.

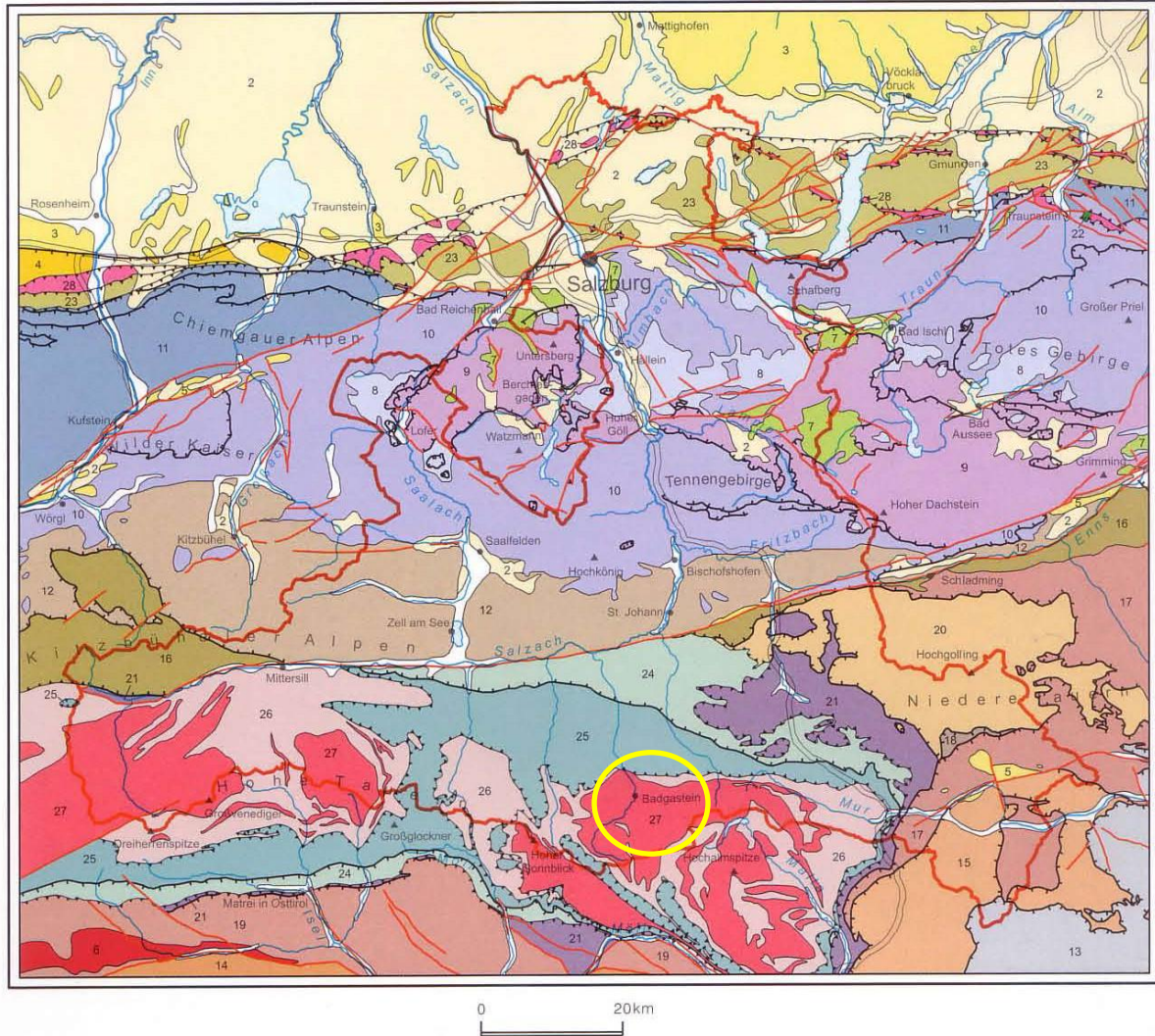
Subpenninikum:

Die Subpenninischen Decken bildeten den Südrand der Europäischen Kontinentalplatte und setzen sich aus jungpaläozoischen und mesozoischen Metasedimenten und der darunter liegenden variszisch geprägten kontinentalen Kruste zusammen. Mit dem Einsetzen der alpidischen Kontinentenkollision im Eozän wurden die Decken auf die europäische Platte geschoben. Das Venediger-Deckensystem (Frisch 1976, 1977) wird dem Subpenninikum zugeordnet.

Das Venediger-Deckensystem

Die tektonisch tiefste Einheit im Tauernfenster ist das Venediger-Deckensystem. Dort lassen sich paläozoische und mesozoische Kristallinkomplexe sowie Metasedimentformationen finden. Aus lithostratigraphischer Sicht ist eine Unterteilung in prävariszische Gesteinskomplexe, variszische Intrusivgesteine und postvariszische Gesteinskomplexe möglich. Während der variszischen Gebirgsbildung erfuhren die prävariszischen Gesteinskomplexe eine hochgradige Metamorphose sowie eine partielle Migmatitbildung. Es erfolgte eine Intrusion der prävariszischen Gesteinskomplexe mit variszischen Tiefengesteinen, woraus die heute vorliegenden Zentralgneise entstanden (Pestal et al. 2009).

Tektonische Übersicht 1 : 1 000 000



QUARTÄR

- 1 Alluvium entlang der Hauptentwässerungslinien
- 2 Pleistozän i. Allg.

**ALPIDISCHE MOLASSE
VORLANDMOLASSE**

- 3 AUTOCHTHONE MOLASSE
- 4 ALLOCHTHONE MOLASSE

INNERALPINE MOLASSE

- 5 Ennstalertiär, Tertiär von Tamsweg und Unterinntal-Tertiär

**PERIADRIATISCHE
INTRUSIVGESTEINE**

OSTALPIN

- 7 Gosau-Gruppe
- 8 Oberjura – Unterkreide im Tirolikum
- 9 JUVAVIKUM
- 10 TIROLIKUM
- 11 BAJUVARIKUM

NÖRDLICHE KALKALPEN

- 12 GRAUWACKENZONE (Basis des Tirolikums, Norische Decke)
- DRUZUG-GURKTAL-DECKENSYSTEM**
- 13 GURKTALER DECKE (PFANNOCK-DECKE, STOLZALPEN-DECKE, MURAUER DECKE)
- 14 DEFEREGERGER- UND KREUZECKKRISTALLIN
- 15 ÖTZTAL-BUNDSCHUH-DECKENSYSTEM (Bundschuhkristallin und Stangalm-mesozoikum s. str.)
- KORALPE-WÖLZ-DECKENSYSTEM**
- 16 INNSBRUCKER QUARZPHYLLITZONE, WAG-RAINER PHYLLITZONE, ENNSTALER PHYLLITZONE
- 17 WÖLZER, RAPPOLD- UND RADENTHEINER GLIMMERSCHIEFER
- 18 LESSACHER PHYLLONITZONE
- 19 SCHOBERKRISTALLIN
- 20 SCHLADMING-SECKAU-DECKENSYSTEM WEISSPRIACH-, DUISITZ- UND OBERTAL-DECKE
- 21 RADSTÄDTER DECKENSYSTEM und UNTEROSTALPINE SCHUPPEN AM SÜDRAND DES TAUFENFENSTERS

PENNINIKUM

- 22 YBBSITZER KLIPPENZONE
- 23 RHENODANUBISCHE FLYSCHZONE
- 24 MATREIER SCHUPPENZONE UND NORDRAHMENZONE
- 25 GLOCKNER-DECKENSYSTEM

SUBPENNINIKUM

- 26 VENEDIGER-DECKENSYSTEM
- 27 Zentralgneiskörper darin

HELVETIKUM

- 20 ULTRAHELVETIKUM, SÜDHELVETIKUM
- Deckengrenze von Ostalpin, Penninikum, Subpenninikum und Helvetikum
- Decken- und Schuppengrenze
- Störung und Bruch i. Allg.

TAUFENFENSTER

Abbildung 10 Tektonische Übersicht der Geologie von Salzburg (Pestal et al. 2009)

3.2 Geologische Verhältnisse im hinteren Gasteiner Tal

Für die genauere geologische Betrachtung des Gebietes um den Graukogel wurde in erster Linie das Werk von Christof Exner aus 1956 – Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Gastein – verwendet. Weitere Quellen sind im Text separat vermerkt.

Der Graukogel, wie oben bereits erwähnt, befindet sich im Gebiet des Zentralgneis des Venediger-Deckensystems. Der Zentralgneis kann hier regional in mehrere Kerne und Strukturen eingeteilt werden, auf welche im Folgenden eingegangen wird.

3.2.1 Tektonische Übersicht der Zentralgneise

Die zwei vorherrschenden Gesteinskomplexe im Projektgebiet sind das Hochalm-Ankogelmassiv und der Sonnblickkern. Neben diesen großen Granitgneiskörpern gibt es auch dünne und kleinere Gneis-lamellen am Rand und in den Mulden (Schuppen am N- und NW- Rand des Hochalm-Ankogelmassivs, Romatedecke und Gasteiner Mulde und kleine Gneislamellen und Gneissplitter in der Mallnitzer Mulde). Durch mangelnde Platzverhältnisse um sich gegenseitig auszuweichen, wurden die großen Granitgneiskörper mit Bewegungen in mehrere Himmelsrichtungen und teilweise steil bis senkrecht stehende Flächenstrukturen dreidimensional beansprucht, was auf eine typische Einengungstektonik hinweist.

Die Tauernschieferhülle und die altkristalline Schieferserie wurden in den Mulden eingestülpt und können somit auch in mehrere Teilbereiche aufgeteilt werden. Es kann zwischen Hölltorkern, Siglitzlappen und Sonnblickkern unterschieden werden. Der Siglitzlappen und der Hölltorkern sind bei Bad Gastein miteinander verbunden. Die Mallnitzer Mulde trennt den Sonnblickkern von Hölltorkern und Siglitzlappen. „Die trennende Gasteiner Mulde hebt über dem Granitgneis bei Bad Gastein aus“ (Exner 1956). Der Granitgneis des Sonnblickkerns ist also schon in geringer Tiefe mit dem Siglitzlappen und dem Hölltorkern verbunden. Dies geht durch den synklinalen Schichtbau der Mallnitzer Mulde hervor.

3.2.2 Bau des Gasteiner Gebietes

Das Hochalm-Ankogelmassiv streicht im Allgemeinen NW-WNW. Jedoch weist es auch interne Strukturen auf, welche NS-NE streichen. Diese quer zur allgemeinen Streichrichtung vorhandenen Strukturen sind als Gasteiner Mulde und Ankogel Mulde bezeichnet. In diesem Fall relevant ist die Gasteiner Mulde, welche aus den Glimmerschiefern der Zone Woisgental – Haizing Alm- Hoher Stuhl - Hüttenkogel und Granosyenitgneis im Bereich Romatespitze – Weißenbachtal – Naßfelder Achental besteht. Durch die Gasteiner Mulde wird der Granitgneis des Hochalm-Ankogelmassivs in den Siglitzlappen im Westen und den Hölltor-Rotgülden kern im Osten geteilt (siehe Abbildung 11).

Gasteiner Mulde:

Glimmerschiefer der zentralen Schieferserie bauen diese Mulde auf, welche als eingefaltete Lappen der sedimentären Schieferhülle in das Hochalm-Ankogelmassiv zu interpretieren sind. Migmatische Gneisdecken (Granosyenitgneis, Amphibolite und Bändergneise) befinden sich auf diesen Schiefen und sind in diese eingefaltet. Während früheren Bewegungsphasen der Orogenese sind die Gneise-

cken vermutlich von Süden auf die Glimmerschiefer geschoben und dann in die Quermulden eingquetscht worden.

Mit vielen Schieferschollen verunreinigter (hybrider) Granitgneis des Siglitzlappens schließt im Nordwesten an den Hölltorkern an und wird durch die Gasteiner Mulde im Bereich des Radhausberg getrennt. Der Siglitzlappen sowie die Gasteiner Mulde sind von N-S Faltenachsen geprägt. Der Siglitzlappen reicht über die Gasteiner Mulde zum Radhausberg, der Hölltorkern taucht unter die Gasteiner Mulde ab.

Die zentrale Schieferserie beschreibt im Allgemeinen die stark metamorphen und vielfach zu Augengneisen umgewandelten Schiefer der Gasteiner- und Ankogel Mulde. Glimmerschiefer und Paragneise bauen die zentrale Schieferserie auf. Vereinzelt kommen kalkhaltige Partien und Grüngesteinszüge vor. Immer wieder kommen Graphitquarzit, Graphitphyllit und Granatquarzit, als auch Serizitphyllit, Serizitquarzit, Chloritserizitphyllit, Granatphyllite und Chloritoidphyllit vor.

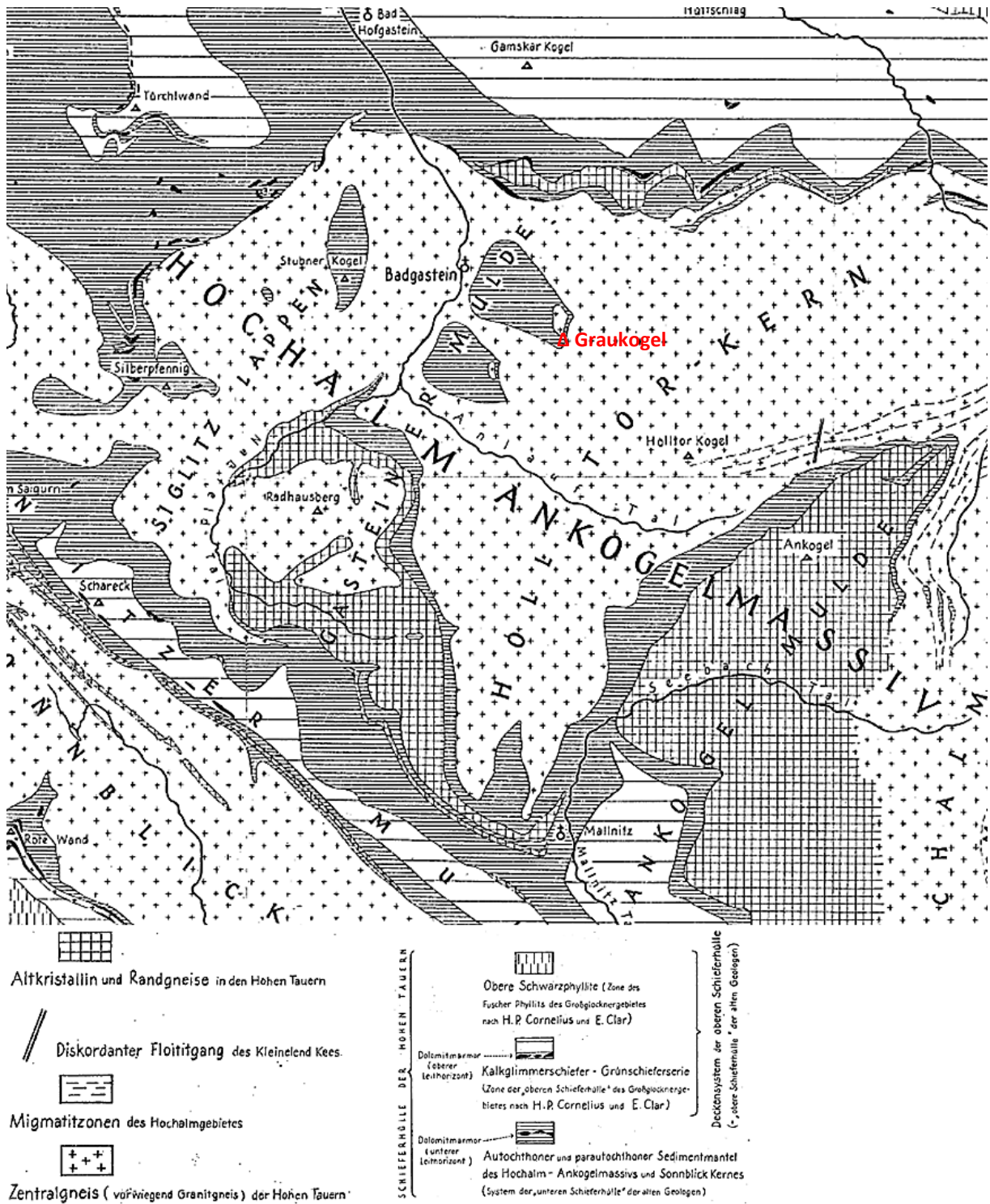


Abbildung 11 Tektonische Skizze der Hohen Tauern im Abschnitt von Gastein (Ausschnitt) (Exner 1956)

3.2.3 Gletscher

Während des Quartärs (Zeitraum von 1,64 Mio. Jahren bis heute) gab es mehrere große Vereisungsphasen. In den Alpen gab es konkret fünf große Vereisungsphasen, welche als Donau-, Günz-, Mindel-, Riß- und Würm-Glazial bezeichnet werden. Die letzte Kaltzeit in den Alpen (Würm) dauerte von rund 110.000 bis rund 10.000 Jahren vor heute. Ein mächtiger Eispanzer umhüllte die Alpen und nur die höchsten Gipfel ragten aus dem Eis. In den Haupttälern der Alpen (Salzach, Inn) befand sich Gletschereis mit mehr als 1000 m Mächtigkeit. Der Salzachgletscher wurde stark von den nördlichen Tauerntätern gespeist, wodurch er weit ins Alpenvorland vordringen konnte. Die Gletscherzunge endete rund 40 km nördlich von Salzburg. Das Abschmelzen der Gletscher fand von 17.000 bis 10.000 Jahren vor heute statt (Krainer 1994).

Diese mächtigen Eismassen durchliefen immer wieder Vorstoß- und Rückzugsphasen. Dadurch wurde die Landschaft maßgeblich beeinflusst. Die heutigen Alpentäler sind glazial überprägt, also aufgrund einer starken Beanspruchung durch Gletscher geformt (Krainer 1994).

3.2.3.1 Glazialerosion

Ein Gletscher besteht immer aus einem Nährgebiet (Akkumulationszone) und einem Zehrgebiet (Ablationszone). Diese zwei Bereiche sind durch die „Schneegrenze“ (oder Firnlinie) getrennt. Im Nährgebiet überdauert der in den Wintermonaten gefallene Schnee auch die Sommermonate. Im Zehrgebiet hingegen schmilzt das Eis ab. Überwiegt der Zuwachs an Schnee im oberen Bereich dem Abschmelzen im unteren Bereich so kann der Gletscher wachsen. Geschieht dies über mehrere Jahre hinweg, beginnt der Gletscher vorzustoßen (Krainer 1994).

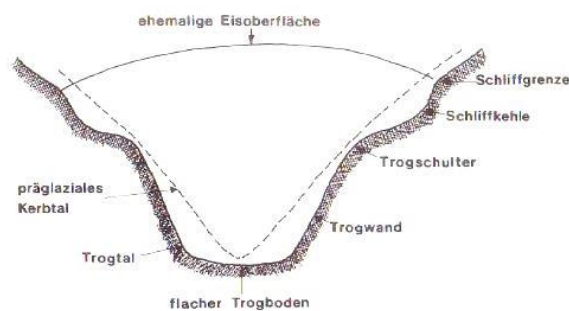


Abbildung 12 Schemaskizze - Formung eines Trogtals aus einem Kerbtal durch einen Gletscher (Krainer 1994)

Die sich talwärts bewegenden Eismassen beanspruchen den Untergrund stark und es kommt zur Glazialerosion. Dieser Prozess beschreibt die schürfende Wirkung des Gletschereises (auch kratzend oder schleifend). Hierfür sind die an der Gletschersohle festgefrorenen, unterschiedlich großen Gesteinsbrocken verantwortlich, das Eis selbst hat nur eine geringe Erosionskraft. Je nach Mächtigkeit des Eises und der Menge des mitgeführten Basisschutts variiert die Erosionsleistung des Gletschers. Ebenso kann das Eis am Untergrund festfrieren und nach und nach regelrechte Brocken herausreißen. In den Haupttälern ist demnach die schürfende Wirkung größer als in den Nebentälern. Durch diesen Unterschied kann ein Hängetal entstehen. Hängetäler sind vom Gletscher ausgeschliffene Täler, bei denen der Talboden über dem des Haupttales liegt. Das Eis weist hier eine geringere Mäch-

tigkeit auf, wodurch das Nebental weniger weit eingetieft wird. Oft mündet das Nebental über eine Steilstufe in das Haupttal ein (siehe Abbildung 13) (van Husen 1987a).

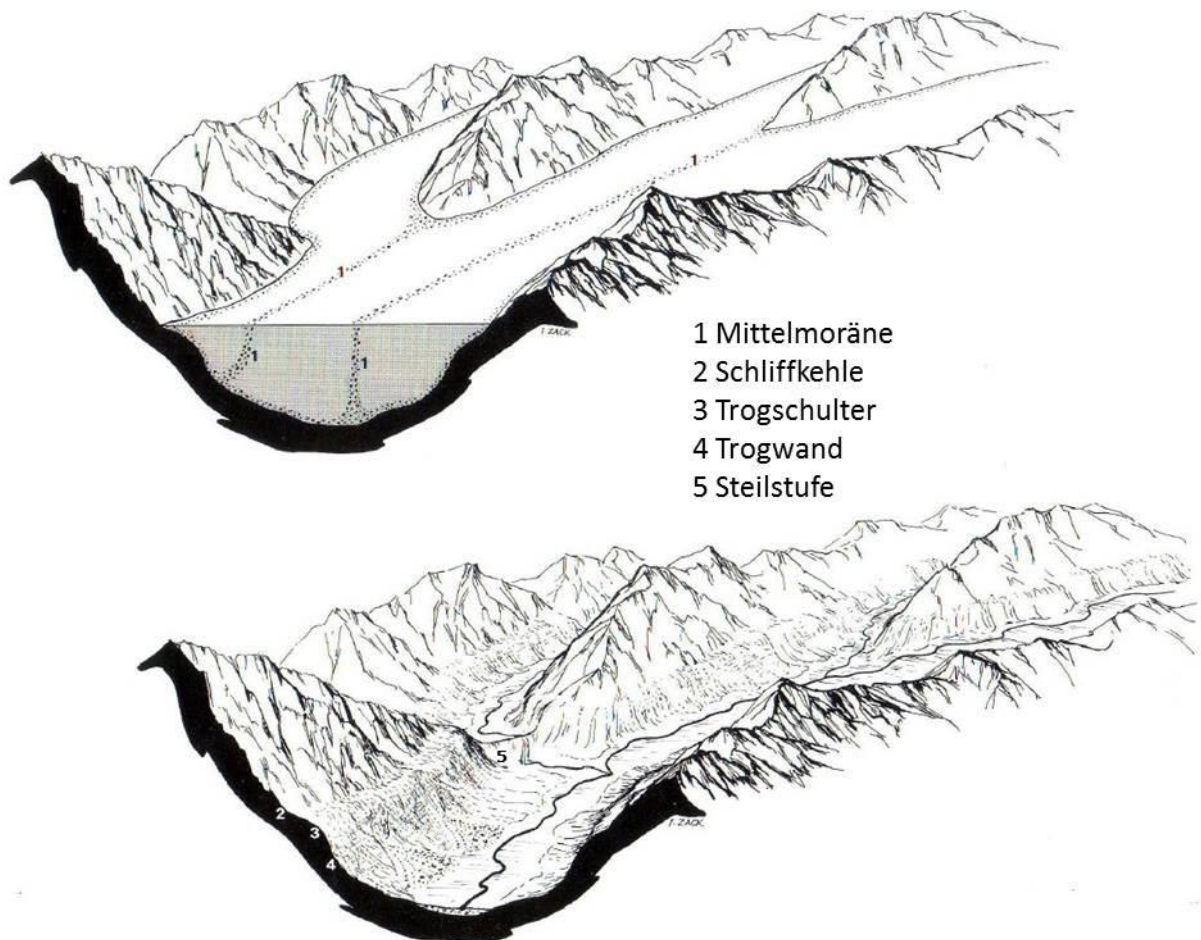


Abbildung 13 Glazialerosion in einem Tal (van Husen 1987a)

Durch den Gletscherschliff wird ein Kerbtal (V-Tal) in ein Trogtal (U-Tal) umgeformt. Speziell in kleineren Tälern der Alpen lassen sich diese ausgeprägten Formen feststellen. Große Täler weisen oft viel undeutlichere Formen auf. Ein Trogtal ist gekennzeichnet durch einen breiten Talboden mit steil bis senkrecht stehenden Flanken (Trogschulter). Die Flanken werden abgelöst von flacheren Hängen (Trogschulter), die dann zu einem steil aufragenden Gipfelbereich übergehen (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Diese werden als Nunutaker bezeichnet, dem grönländischen Wort für einen aus dem Eis aufragenden Gipfel. Die scharfen Formen der Gipfel ergeben sich auch durch die Frostverwitterung, welche über dem Gletscher wirkt (van Husen 1987a).

Eine weitere charakteristische Erscheinung ist die Karbildung. Durch die Eisbildung in kleinen, geschützten Mulden oberhalb der Schneegrenze kommt es verstärkt zu Frostverwitterung am Übergang zwischen Gestein und Eis. Das entstehende Lockermaterial wird durch den Gletscher und Schmelzwasser abtransportiert. Im Laufe der Zeit entsteht ein Kar mit steilen Flanken und relativ flachem Boden. Viele Kare sind durch die Gletscher übertieft und durch einen Felsriegel (Karschwelle) begrenzt. In diesen Mulden bildete sich auch oft mit dem Eisrückzug ein Karsee (Krainer 1994).

Beispiele für Karseen im Bereich des Graukogels sind der Reedsee (östlich), der Palfner See (südwestlich) und der Gamskarlsee (süd-östlich). Ein Kargletscher, das Tischlerkarkees, ist vom Graukogel Richtung Osten zu sehen.

3.2.3.2 Rückzug der Eismassen

Mit dem Abschmelzen eines Gletschers kommt es auch zu einer Entlastung der Talflanken. Diese übersteilten Hänge befinden sich ohne die stützende Wirkung des Eises in einem labilen Gleichgewichtszustand. Abhängig von der Gesteinsart und Struktur der Hänge kommt es zu einem Versagen entlang von Klüften oder Gleitflächen.

Wie in Abbildung 14 ersichtlich, kommt es je nach Art der Talflanke zu verschiedenen Versagensszenarien. In steilen Felswänden treten Bergstürze auf. An Flanken die von dünn-schichtigen, blättrigen Gesteinen aufgebaut werden lassen sich großräumige, kriechförmige Deformationen feststellen. Staukörper, die den Rand eines Gletschers markieren, werden durch einen Bach Richtung Hauptfluss transportiert und als Schwemmkegel abgelagert. Durch Talzuschübe oder Schwemmkegel kann auch der Hauptfluss gestaut werden, wodurch im oberen Talboden die Bildung von Torf und Anlandung von feinkörnigen Sedimenten möglich ist (van Husen 1987a).

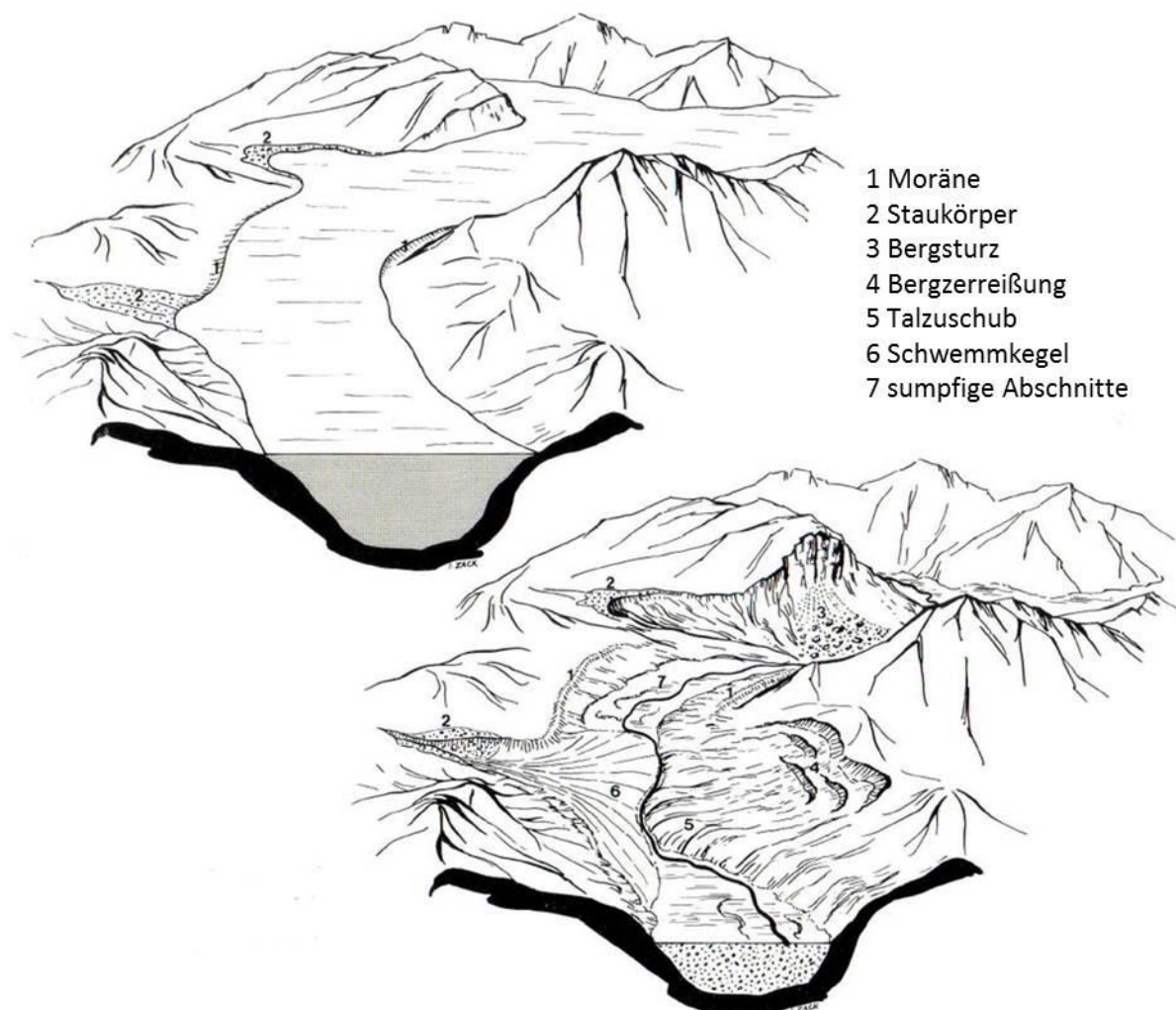


Abbildung 14 Entwicklung eines Tals nach Abschmelzen des Gletschers (van Husen 1987a)

3.2.3.3 Das Gasteiner Tal während und nach der letzten Eiszeit

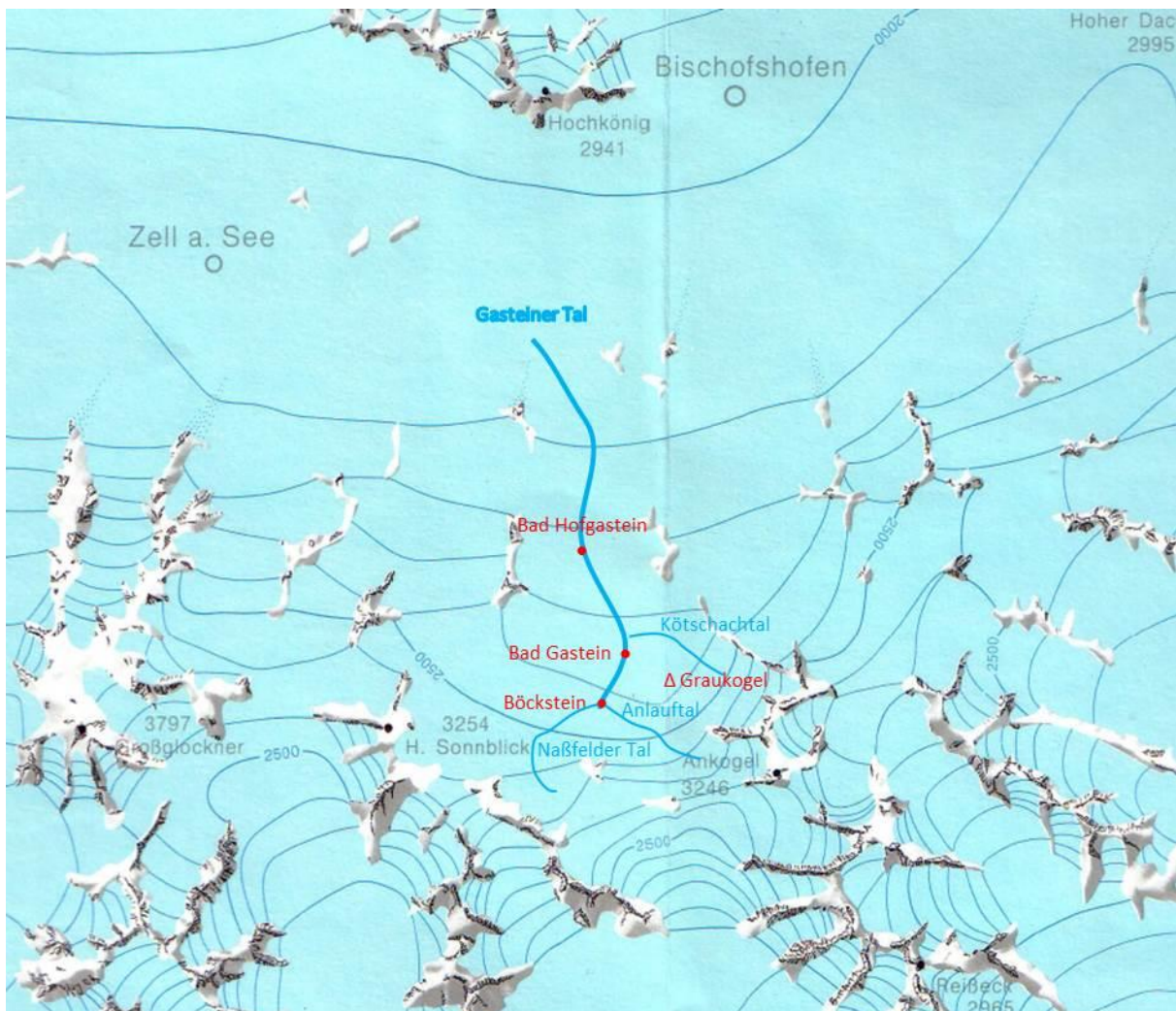


Abbildung 15 Bereich des Gasteiner Tals in der letzten Eiszeit (Ausschnitt aus van Husen 1987b)

Auch das Gasteiner Tal war während der Würm-Kaltzeit von mächtigen Eismassen ausgefüllt. Abbildung 15 zeigt das Gebiet rund um das Gasteiner Tal mit Höhenschichtlinien der Eisoberfläche. Nach dieser Darstellung von (van Husen 1987b) war die Eisoberfläche im Bereich von Badgastein und Graukogel in einer Höhe zwischen 2300 m und 2400 m. Nimmt man den Ort Bad Gastein mit einer Höhe von 1000 m.ü.A. an, so ergibt sich eine Eisüberdeckung von rund 1400 m. Der Gipfel des Graukogels (2492 m) hat nach dieser Interpretation rund 100 m aus dem Eis geragt.

Der Rückzug der Eismassen verlief mit einigen Unterbrechungen. Ständige Haltepunkte und kleinere Vorrückungsphasen markieren verschiedene Stadien des Rückzugs. Dabei hinterließ der Gletscher immer wieder Mörenenwälle, die den verschiedenen Phasen zugeordnet werden können. Ein Moränenwall sitzt dem Talriegel der Pyrkerhöhe und dem Fels beim Bahnhof auf. Beim Bahnhofsgelände wurden während der Errichtung der Tauernbahn zwei Wälle mit zwischengelagerten Sand- und Tonschichten angetroffen. Geschichtete Sande wurden auch am orographisch rechten Ufer der Ache im Bereich des Palfnerbaches aufgeschlossen. In Bad Gastein ist eine Moräne auf 1260 m Seehöhe im Bereich Schachenbauer anzutreffen. Diese erstreckt sich von der Windischgrätzhöhe zur Rudolfshöhe (Exner 1956).

3.3 Graukogel

Im Bereich des Graukogels sind drei verschiedene Gesteinsgruppen zu finden. Die oberste Gruppe zählt zu den Glimmerschiefern der zentralen Schieferserie. In der tektonischen Skizze (Abbildung 11) ist der Bereich des Graukogels und des Hohen Stuhls als autochtoner und parautochtoner Sedimentmantel des Hochalm-Ankogel Massivs und Sonnblickkernes eingetragen. Der Schiefermantel liegt auf den Gneisen des Siglitzlappens und des Hölltorkerns. Die Grenze der beiden Gneiseinheiten ist im Bereich des Graukogels zu finden.

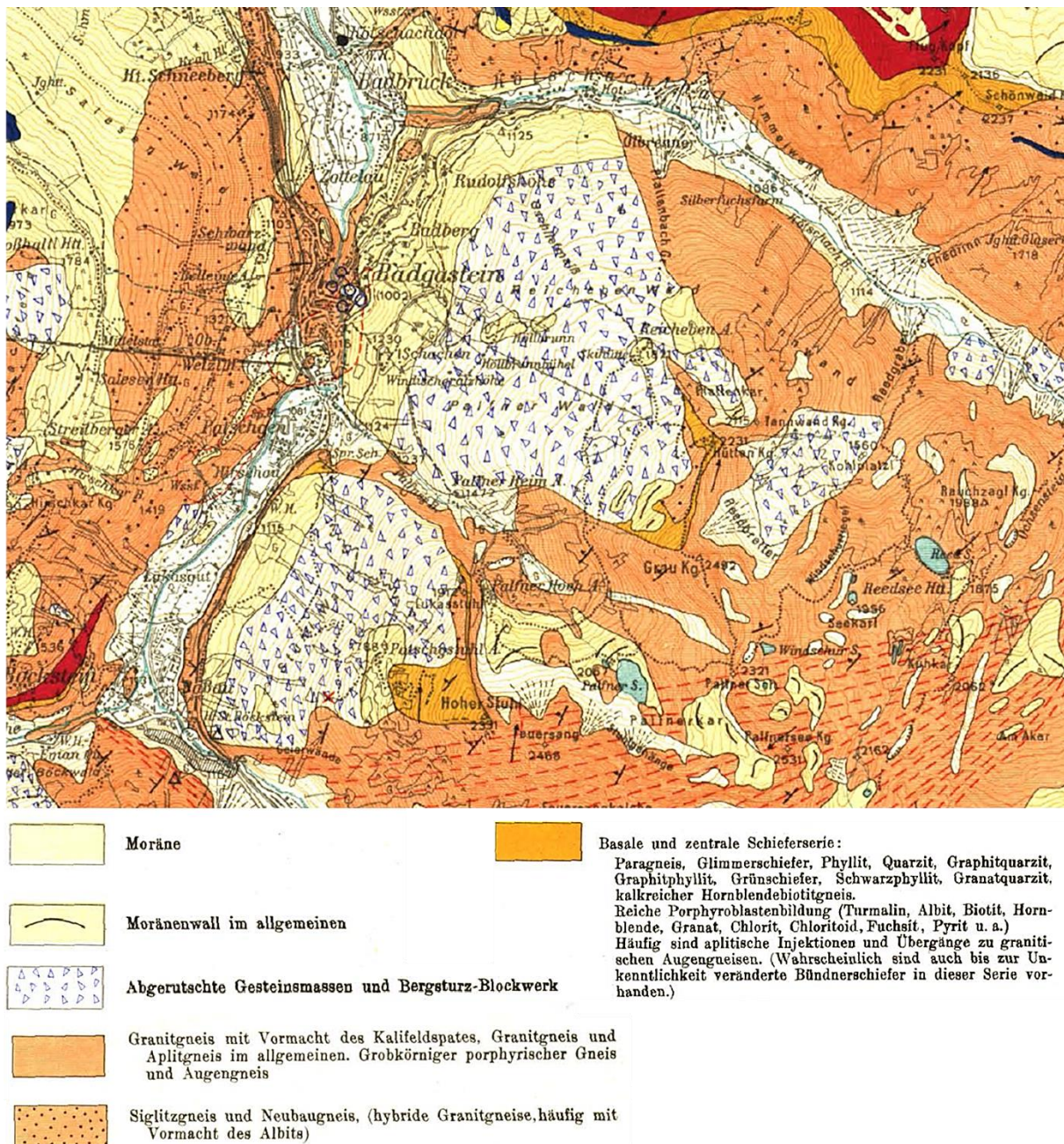


Abbildung 16 Geologische Karte der Umgebung von Gastein (Ausschnitt Badgastein) (Exner 1956)

Der Schiefermantel

Die Schiefer sind auf der gesamten NW-Flanke des Graukogels sowie entlang des Grates zum Hüttenkogel zu finden. Die markanten Schieferplatten sind mit hellen und dunklen Glimmern (Muskowit und Biotit) als auch mit grünlichen, glimmerartigen Flaserzügen bedeckt. Auffällig sind auch Graphit-



Abbildung 17 Blick vom Hüttenkogel zum Graukogel (von Nord nach Süd)

phyllite und Graphitquarzite (Exner 1950). Aufgeschlossen sind die Schiefer am Hüttenkogel bzw. am Grat hin zum Graukogel (siehe Abbildung 17). Vom Grat talwärts Richtung Bad Gastein (in Abbildung 17 rechts in Pfeilrichtung) fallen die Schieferplatten mit 40°-45° Grad ein und streichen NE-SW. Nach ca. 100-200 Höhenmetern werden die Schieferplatten dann von Blockwerk und Hangschutt bedeckt wodurch an der Geländeoberfläche weichere Geländeformen „entstehen“.

Der Siglitzgneis

Unter dem Schiefermantel befindet sich der Siglitzlappen, welcher vom Siglitzgneis aufgebaut wird (siehe Abbildung 16). Exner (1956) beschreibt diesen als hybriden Granitgneis. Dieser ist ein mittelkörniger plagioklasreicher Augengneis. Der Hauptbruch wird von Muskowitfasern überzogen und vereinzelt sitzen Biotit- und Chloritschüppchen auf. Ein Merkmal des Siglitzgneis sind reichliche Einlagerungen von Glimmerschiefern und basischen Gesteinen (Amphibolite und floititische Fische). In den Paragneisen, Glimmerschiefern und Amphiboliten sind aplitische und pegmatitische Injektionen (grobe Feldspatung) des Siglitzgneis vorhanden. Weitere Merkmale sind Phyllonitisation und Weißschieferbildung. Vor allem die alten Schieferlagen sind gute Gleithorizonte und oftmals phyllonitisch durchbewegt.

Flasriger hybrider aplitischer Gneis mit viel Glimmerschieferpartien, welcher auch zum Siglitzgneis gezählt wird, baut den Gipfel des Lukasstuhls am Kamm zum Hohen Stuhl auf.

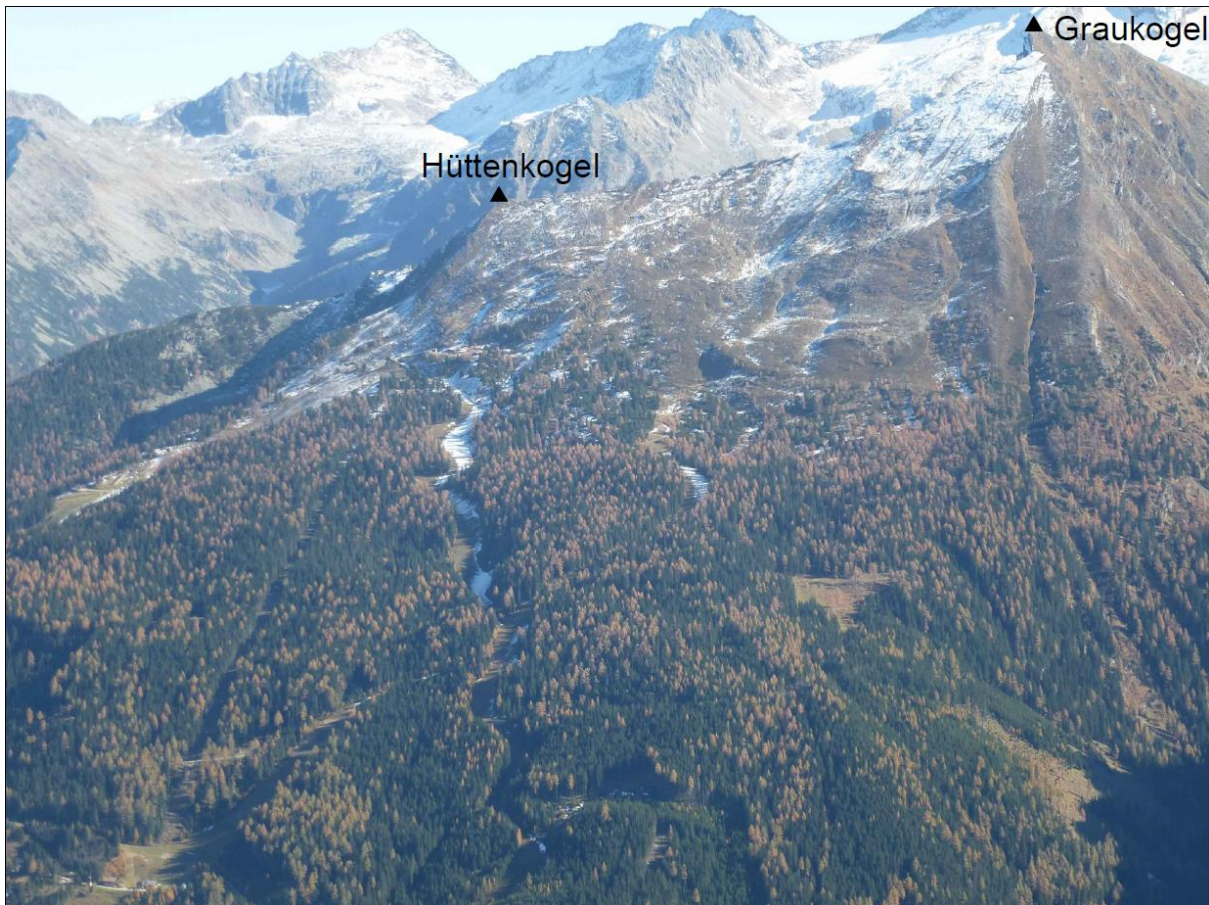


Abbildung 18 Nordwest-Flanke des Graukogels (Blickrichtung Ost)

Der Hölltorkern:

Im Osten an den Siglitzlappen anschließend befindet sich der Hölltorkern. Hier finden sich typische Zentralgneisvariätenen wie zum Beispiel flasriger, mittel- bis grobkörniger Granitgneis, welcher als porphyrischer Granitgneis bezeichnet wird. In der Gneiswalze kommen auch tiefere tektonische Lagen vor, in denen der porphyrische Granitgneis in einen granitähnlichen Gneis übergeht. Dieser wird als porphyrischer Gneisgranit angeführt.

Der Übergang von der Schieferzone zum Granitgneis befindet sich am WNW-Grat des Graukogels, welcher den letzten Teil des Anstiegs darstellt. Nach den Schieferplatten der NW-Flanke kommt man über den Vorgipfel zur Scharte zwischen Vor- und Hauptgipfel, wo man auch den Übergang zwischen Schiefer und Granitgneis findet (Exner 1950).

Die Schieferplatten sowie der Granitgneis fallen einheitlich nach NW mit einem Fallwinkel von rund 40° ein. An den Schneebanken im Kopfbereich des Graukogels in Abbildung 17 lässt sich die steil einfallende Schichtung bzw. Schieferung gut erkennen.

3.3.1 Auswertung vorhandener Literatur und Unterlagen

Im folgenden Kapitel werden mehrere repräsentative baugelogeische Daten aus Gutachten für jeweilige Bauvorhaben bzw. Sanierungsprojekte (siehe Abbildung 19) dargestellt. Diese wurden aus mehr als 30 verschiedenen geotechnischen und geologischen Unterlagen (Gutachten, Berichte, Bauprotokolle etc.) ausgewählt. Die Unterlagen wurden freundlicherweise vom Landesgeologischen Dienst Salzburg bereitgestellt.

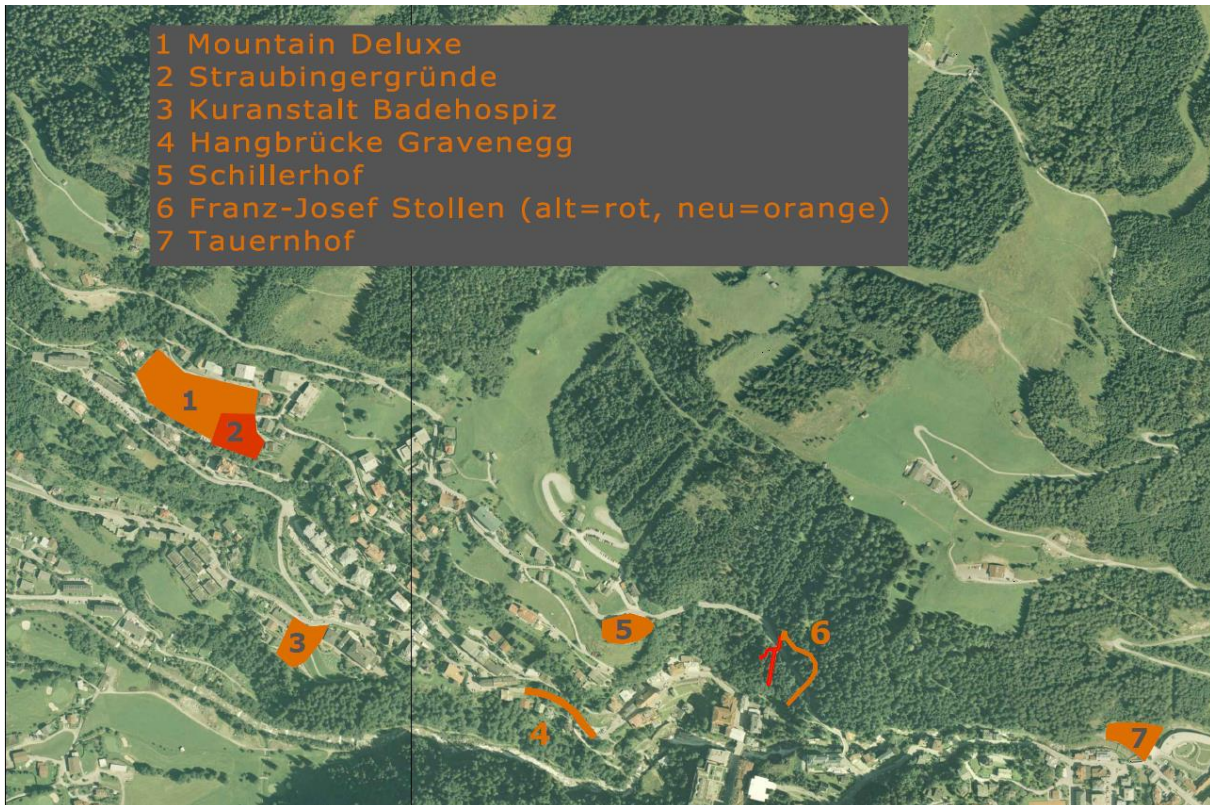


Abbildung 19 Lageplan ausgewählter Bauprojekte im Ortsgebiet von Bad Gastein

3.3.1.1 Mountain Deluxe

Zur Errichtung des Bauvorhaben Mountain Deluxe wurde ein geologisches Gutachten eingereicht (Intergeo ZT 2008) aus dem die folgenden Daten entnommen sind.

Insgesamt wurden 5 Kernbohrungen durchgeführt mit Tiefen zwischen 10 und 15m. Die Aufnahme der Bohrkerne ergab ein recht einheitliches Bild:

- Steinig-blockiges Sand-Kies Gemisch, vermutlich umgelagertes weitgestuftes Moränenmaterial
- Im Bereich der Blöcke bohren mit Spülung (geringer Fortschritt), Lagerungsdichte in übrigen Abschnitten mitteldicht (lt. Bohrmeister)

In Abbildung 20 sind 2 Bohrkernaufnahmen abgebildet. Sofort ersichtlich ist, dass die Bohrungen mit maximal 15m Tiefe keinen anstehenden Fels bzw. größere Felskörper erreichen. Der ständige Wechsel zwischen Blöcken aus Granit und Glimmerschiefer und Feinsand – Mittelsand beschreibt die typi-

schen Gegebenheiten am Graukogel. Weiters wurden in den Bohrungen nur vereinzelt Hangwässer beobachtet.

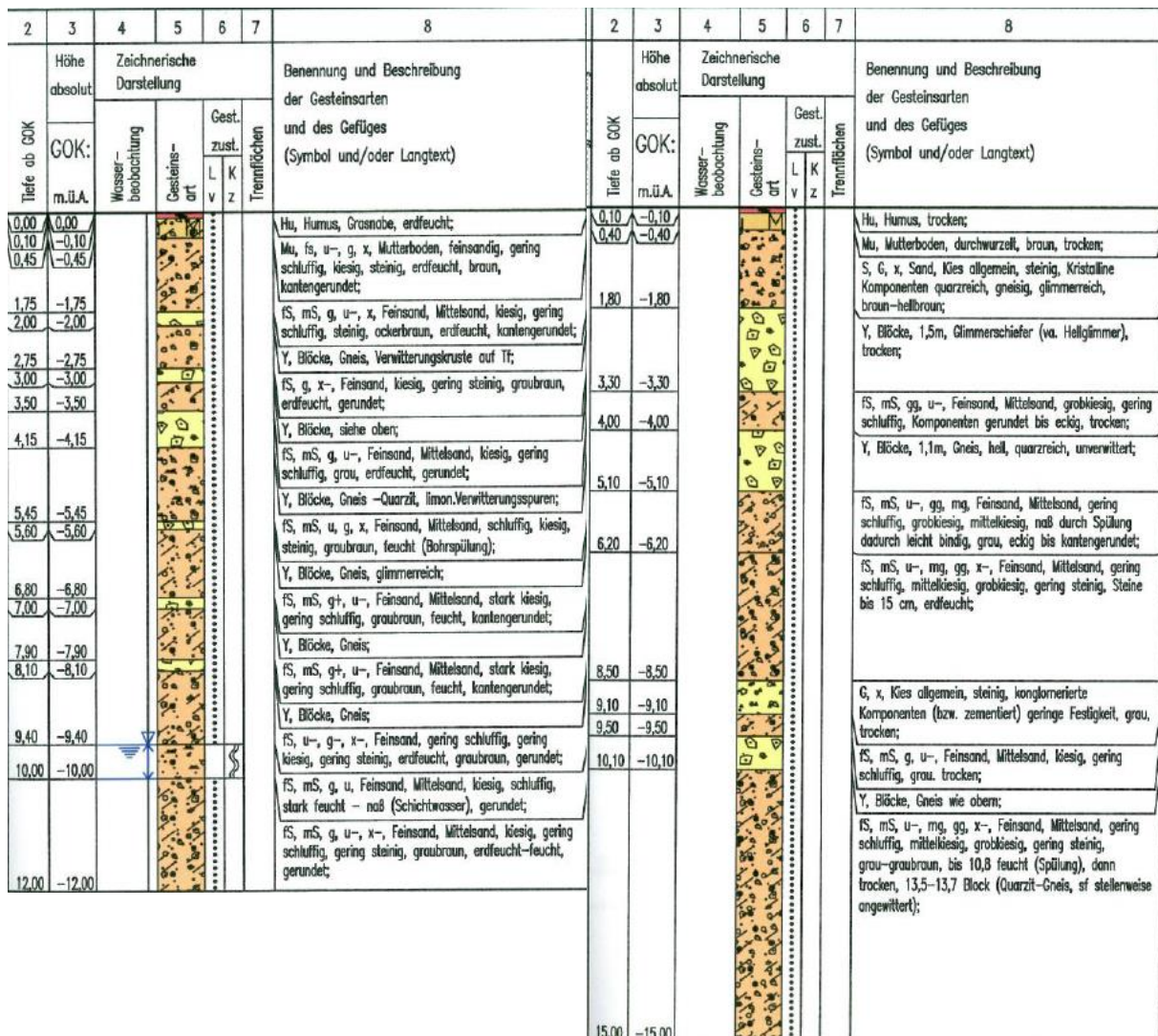


Abbildung 20 Bohrkernaufnahmen des BV Mountain Deluxe (Intergeo ZT 2008)

3.3.1.2 Straubingergründe

Für ein Bauvorhaben auf den Straubingergründen (unmittelbar östlich des Mountain Deluxe Baugrundes situiert) wurde im Zuge eines Baugrundgutachtens auch eine Baugrunderkundung mittels Baggerschürfen durchgeführt (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG & 3P-Geotechnik ZT GmbH 2008). Die insgesamt 6 Schürftgruben gaben Aufschluss zu den anstehenden Bodenverhältnissen.

Ab einer Grabungstiefe von 0,5m bis 1,5m wurde ein unregelmäßig steinig-blockig durchsetztes Gemisch aus Kies und Sand angetroffen. In allen Grabungen wurde Lockermaterial mit einer mitteldichten Lagerung festgestellt.

3.3.1.3 Kuranstalt Badehospiz (950müA) GZ 247/1

Für die geplante Aufschüttung für die Kuranstalt wurde von der Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg ein Prüfbericht (bvfs 2000) über die Baugrundverhältnisse verfasst. Neben Kernbohrungen wurden auch weitere Tests (SPT, Schwere Rammsondierung, Röschen etc.) durchgeführt, auf die hier aber nicht weiter eingegangen wird.

Die Kernbohrungen (Abbildung 21) zeigen wieder ein für den Graukogel typisches Bild. Hier wird der angetroffene Boden als Hangschutt bezeichnet, ein Gemisch aus groben Blöcken und Kiesen. Auffällig ist bei diesen Kernbohrungen, dass sehr wohl Fels angetroffen wurde. Dieser gestaltet sich laut Bodenprofil als allgemeiner Gneis mit verwitterten Kluftflächen, stückig zerbrochen mit Stücken bis 30cm. Von den insgesamt 4 Kernbohrungen treffen 2 davon nach ca. 11m bzw. 22m auf Gneiskörper. Auffällig ist der doch beachtliche Unterschied von ca. 10m in der Tiefe in der größere Gneiskörper angetroffen wurden, obwohl die Bohrlöcher nur einen Abstand von rund 35m haben.

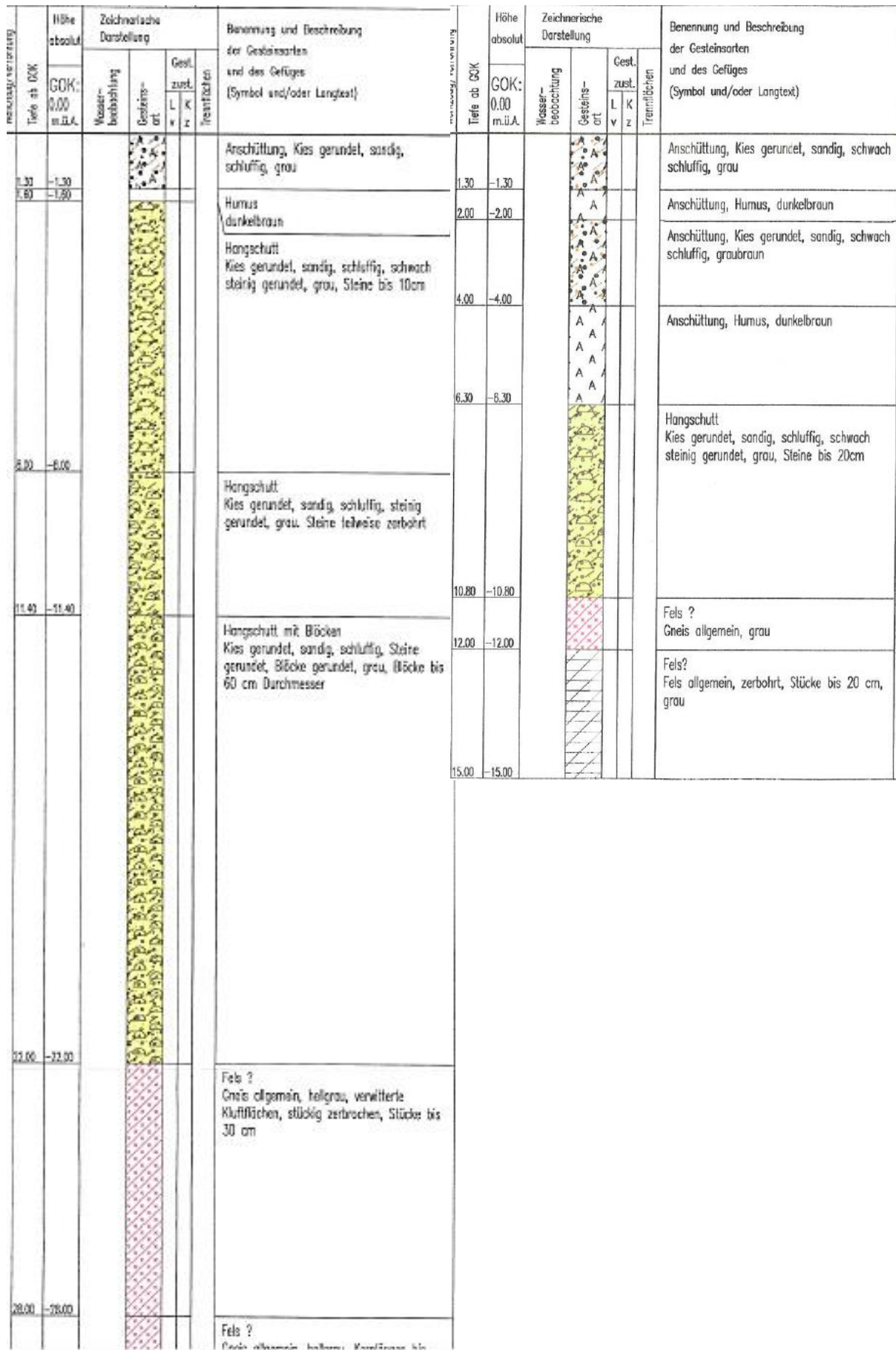


Abbildung 21 Bodenprofile für BV Kuranstalt Badehospiz (bvfs 2000)

3.3.1.4 Hangbrücke Gravenegg

Vom Bauvorhaben der Gravenegg Brücke sind aus dem Jahr 1982 ein Bohrprofil und aus dem Jahr 1984 mehrere Bohrprofile aus Erkundungsbohrungen vorhanden.

Die Bohrung von 1982 hat eine Endteufe von ca. 40m. Die Bohrungen von 1984 hingegen weisen nur Tiefen zwischen 23 und 29m auf.

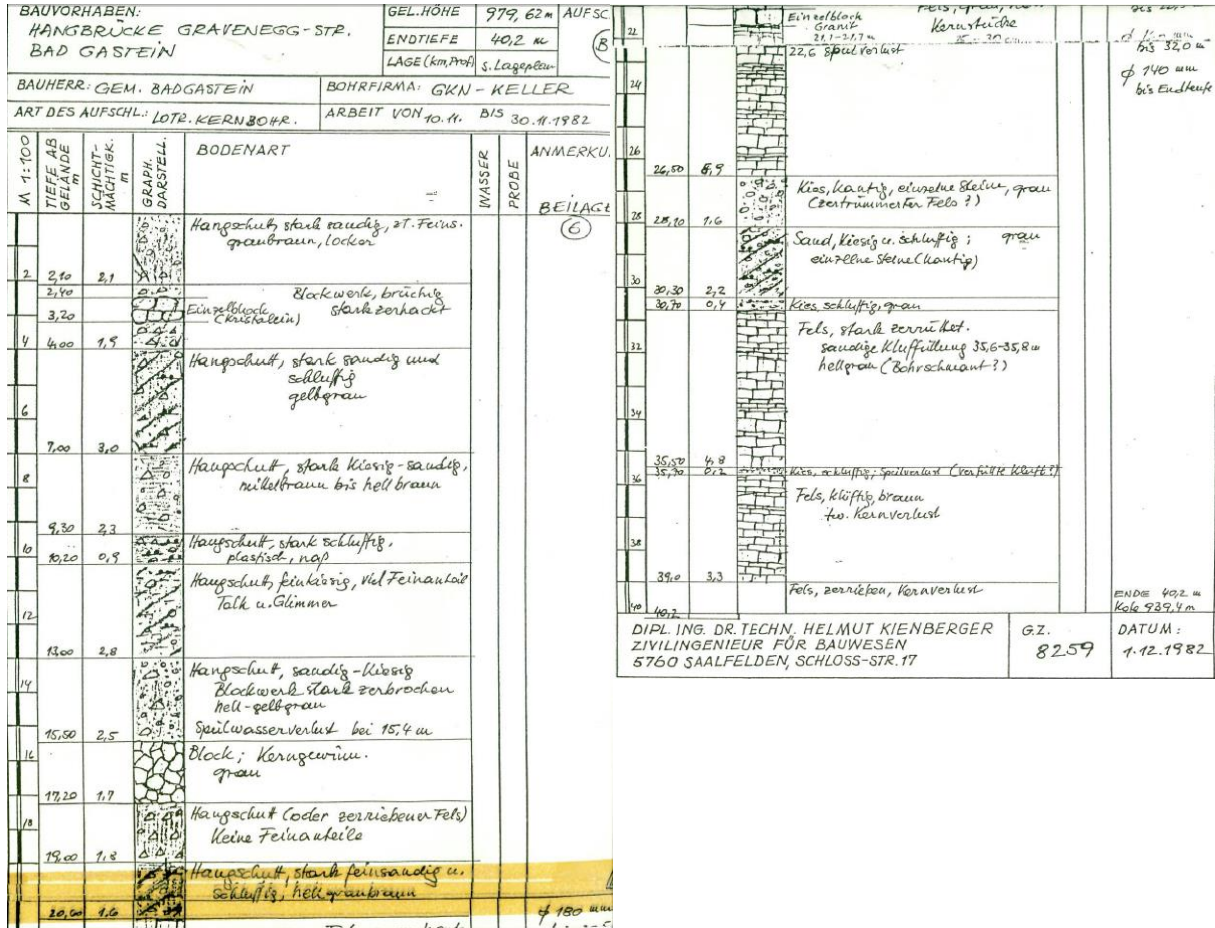


Abbildung 22 Bohrprofil Hangbrücke Gravenegg aus 1982 (Kienberger 1982)

Die Bohrprofile aus 1984 sind des Weiteren von dem benachbarten Bauvorhaben Grand Hotel Gasteinerhof. Dieses Gebäude war am südlichen Ende der Brücke situiert.

In den Bohrungen wird Fels angetroffen, der teilweise zerrüttet, stark zerlegt und dann doch wieder kompakt erscheint. Die Bohrung aus 1982 trifft erst nach gut 30 m auf Fels der stark zerrüttet ist, vorher wechseln sich Hangschutt und Blockwerk ab. Bei der weiter südlich situierten Bohrung von 1984 hingegen wird ab 15 m Teufe der Felsbeginn ausgewiesen. Dieser zieht sich durch bis zur Endteufe von 23m. Der kompakte Fels weist hier aber immer wieder stärker zerlegte Abschnitte auf.

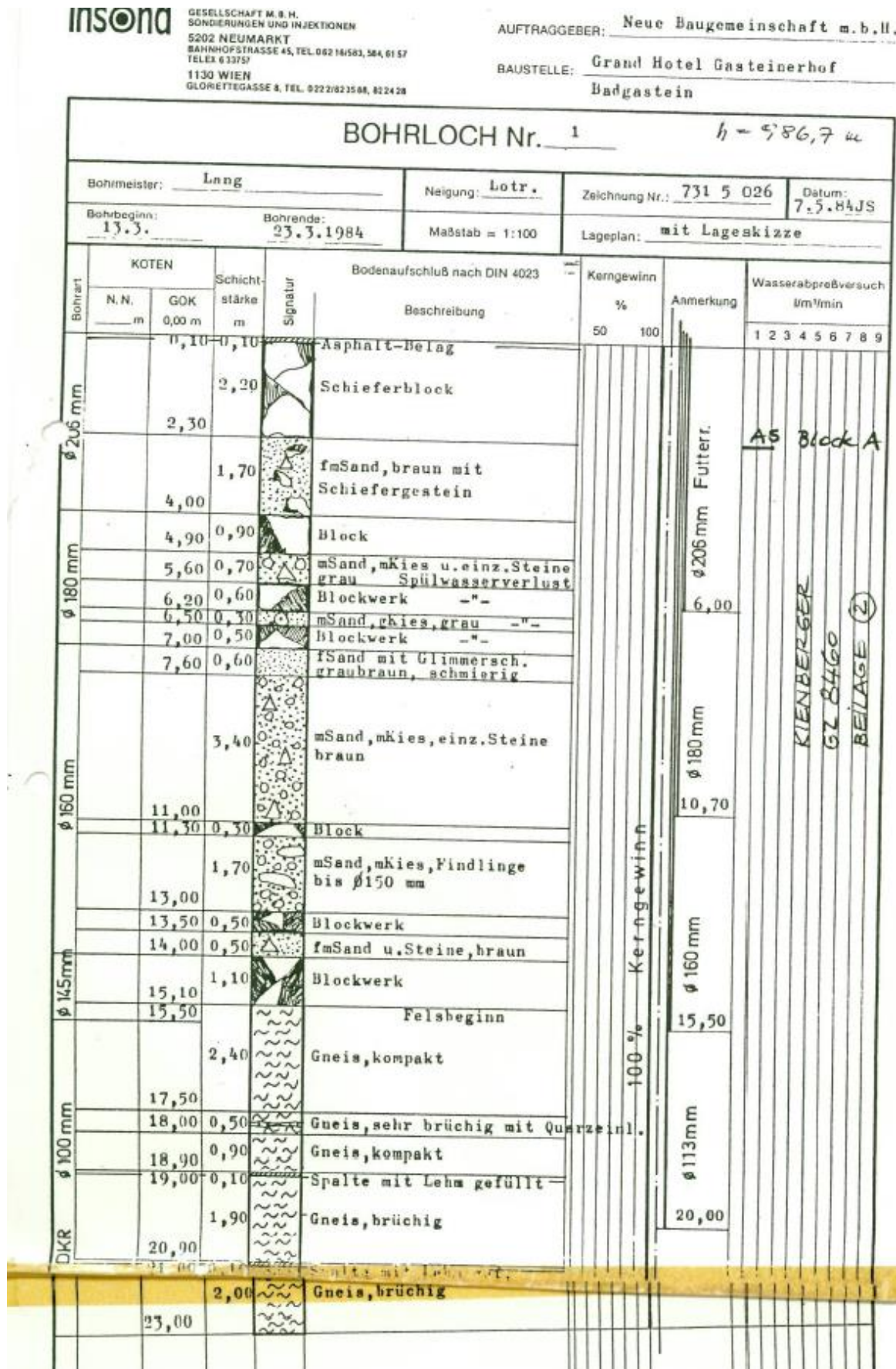


Abbildung 23 Bohrprofil Hangbrücke Gravenegg Bereich Gasteinerhof von 1984 (Insond Ges.m.b.H. 1984)

3.3.1.5 Schillerhof

Für eine Umbaumaßnahme des Objektes Schillerhof wurde ein Gutachten erstellt, welches die geologischen und gründungstechnischen Daten (bvfs 2003) zusammenfasst.

Als Baugrunderkundung wurden Baggerschürfe aus dem Jahr 1998 für einen geplanten Zubau zum Schillerhof verwendet. Die Schürfruben lieferten das wohlbekannte Bild: Unter einer ca. 1,0 m mächtigen Deckschicht wurde sandiger Hangschutt, welcher mit Steinen und Blöcken durchsetzt ist, angetroffen. Grund- oder Sickerwasserzutritte wurden in den Schürfen nicht festgestellt. Weitere Erkundungsmaßnahmen sind im Bereich Schillerhof nicht durchgeführt worden.

Es wird auf bereits vorhandene Inklinometermessungen und geodätische Vermessungen hingewiesen, die zeigen, dass sowohl oberflächennahe, als auch tiefgreifende Talzuschubbewegungen vorhanden sind. Als Deformationsraten werden ca. 11mm/a für die oberflächennahen horizontalen Verschiebungen und ca. 3mm/a für die tiefliegenden Verschiebungen angegeben.

Im selben Gutachten wird die Situation der Hangbrücke Gravenegg angesprochen, bei der auch Hangbewegungen erfasst wurden. Hier wird für einen Messzeitraum von 16 Jahren für den tiefen Bewegungshorizont eine Deformationsrate von 0,01 mm/d ($\approx 3,7\text{mm/a}$) angeführt und mit geodätisch ermittelten Horizontalverschiebungen verglichen, welche aber in einem Zeitraum von 8 Jahren eine Deformationsrate von 0,03 mm/d ($\approx 11\text{mm/a}$) aufweisen.

3.3.1.6 Franz-Josef Stollen

Im Zuge der Sanierung des Franz-Josef Stollen um 1970 wurden auch weitere Erkundungen durchgeführt und über die geologischen und geophysikalischen Verhältnisse rund um den Stollen berichtet (Janschek und Kahler 1990).

Der alte Franz-Josef Stollen war durch den stark drückenden Hang gefährdet und verlangte eine Sanierung. Reissacher hat den alten Stollen beim damaligen Vortrieb Mitte des 19. Jahrhunderts auf „gut Glück“ in jener Höhenlage angesetzt, damit er sein Badeschloss ohne Pumpbetrieb mit Thermalwasser versorgen konnte. Der Stollen befindet sich entlang von 60 Metern in der Überlagerung aus Hangschutt und Moränenmaterial, danach erst wird Fels angetroffen. Unterhalb der Stollensohle konnte der anstehende Fels in einer Tiefe von 7 m festgestellt werden. Die Felsoberfläche ist hier nur schwach geneigt und fällt einige Meter vor dem Portal steil ab. Besonders zu erwähnen ist, dass der bewegte Teil des Stollens vor allem horizontale Verschiebungen erfuhr.

Der Flügelstollen des alten Franz-Josef Stollen wurde nach dem ersten Weltkrieg vorgetrieben, jedoch traf man hier auf Sand, welcher, wie sich später herausstellte, eine Schluchtausfüllung darstellt.

Um den Vortrieb im Fels zu gewährleisten, wurde der neue Franz-Josef Stollen in einem Bogen ausgeführt, dadurch konnten auch steil abwärts verlaufende, mit Lockermaterial gefüllte Rinnen umgangen werden. Der vorliegende Schiefergneis besitzt im gesamten Bereich eine flache Schieferung, wobei die Schieferungsflächen einen stark welligen Feinbau aufweisen. Jedoch wurde auch beim neuen Stollen eine ca. 5 m breite, parallel zum Hang stehende Schlucht angetroffen. Diese ist mit großen Blöcken und Grobsand gefüllt und wurde schon beim Vortrieb des alten Stollens angetroffen, jedoch nicht vollständig durchörtert, wodurch auch die Berichte des Wasser- und Sandeinbruchs von Reissacher nur schwer interpretierbar waren.

Diese Schlucht wird von Kahler (1991) als ursprüngliche Trennfuge einer Bergzerreißung aufgefasst. Durch das Abschmelzen des Gletschers in der Randkluft wurde die Trennfuge zu einer Klamm geformt, verschüttet und schließlich vom Hangschutt überschoben.

In einem früheren Bericht über die Problematik der Sanierung (Kahler 1979) werden fünf Bohrungen angeführt, welche im Bereich der Lainer-, Doktor- und Fledermausquelle abgeteuft wurden. Diese zeigten, dass der gut sichtbare Fels bei diesen Quellen weiter steil abfällt, also die Steilstufe sich weiter fortsetzt und von den Rutschmassen überlagert wird. Weiters führt Kahler an, dass der Franz-Josef Stollen auf einer Felsnase sitzt, wodurch sich die rein horizontalen Verschiebungen des alten Stollens erklären lassen.

3.3.1.7 Tauernhof

Für das neue Gemeindegebäude „Tauernhof“ wurde im Jahr 2006 eine Baugrunderkundung durch das ZT-Büro Dr. Werner Furlinger durchgeführt. Im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen wurden drei Kernbohrungen mit je 10 m Tiefe hergestellt. Die Ergebnisse sind im schematischen geologischen Längsschnitt (Abbildung 24) eingetragen. Die Baugrunderkundung brachte für den Graukogelhang das gewohnte Bild. Kiesig steiniger, schwach sandiger Hangschutt stellt die oberste Schicht dar. Darunter liegt eine Moräne aus sandig kiesigem Schluff. Die unterste Schicht wird durch blockigen Gneis mit Steinen und schluffigen Einschaltungen aufgebaut. Der Talboden selbst ist durch fluviatile Sedimente aufgebaut. Besonders erwähnenswert sind die feinsandig, tonigen Schluffe, da diese Stillwassersedimente darstellen (ZT-Büro Dr. Werner Furlinger 2008).

Auf dem benachbarten Grundstück wurde der Neubau des Seniorenheims errichtet. Im Zuge der Erkundungsarbeiten stieß man auch hier auf „Seeton“. Unterhalb einer 0,8 m mächtigen Aufschüttung wurde bis zu einer Tiefe von 8,6 m unter GOK steifer, teils weicher „Seeton“ aufgeschlossen. (Landesgeologischer Dienst Land Salzburg 2004)

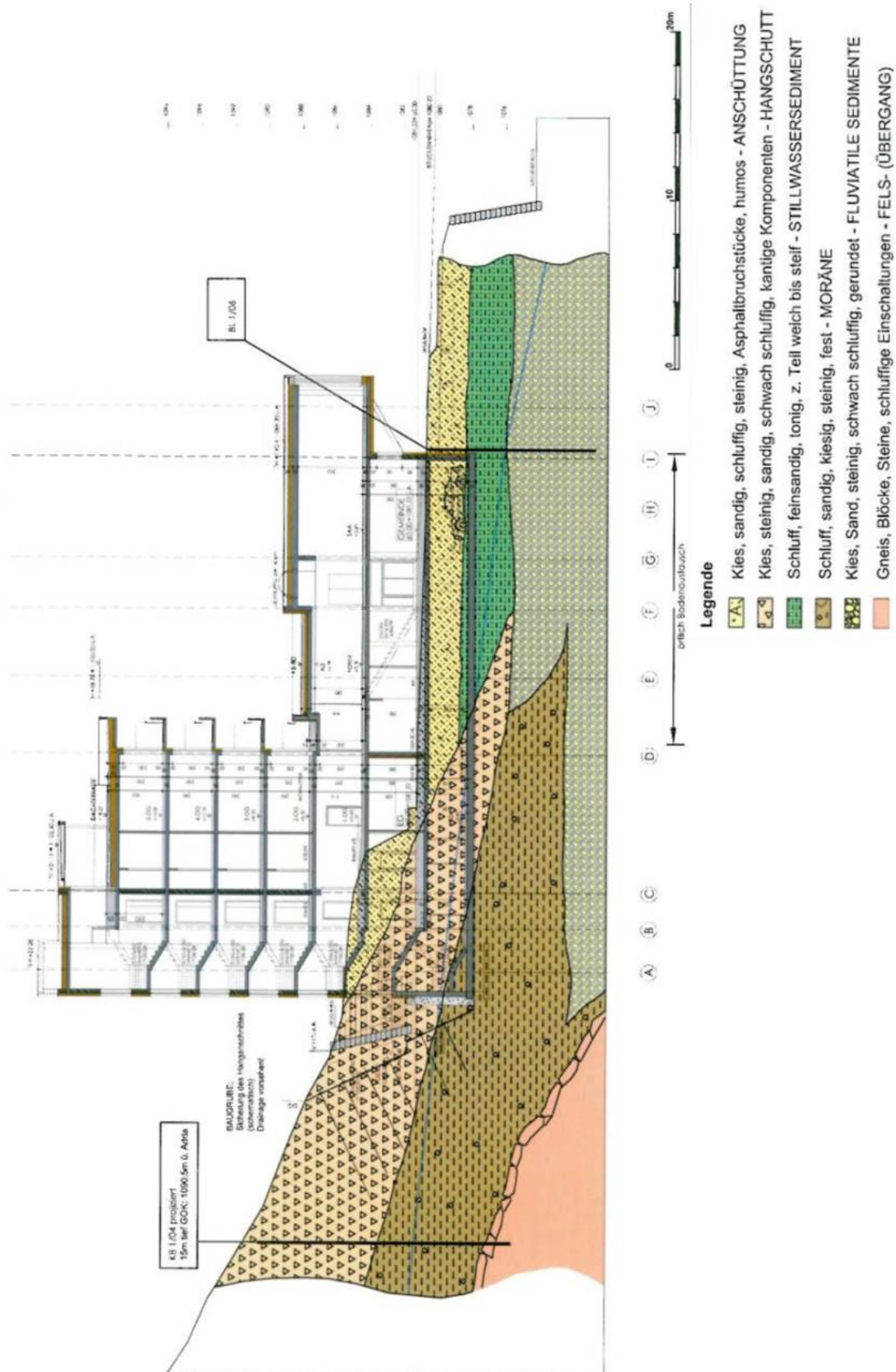


Abbildung 24 Schematischer geologischer Längsschnitt für das BVH Tauernhof auf Grundlage der Braugrunderkundung 2006 (ZT-Büro Dr. Werner Furlinger 2008)

3.3.2 Beobachtungen im Feld

Im Zuge dieser Arbeit wurde auch eine Begehung des Projektgebietes durchgeführt. Ende Oktober und Ende November 2012 wurden Eindrücke über den Graukogel vor Ort gesammelt.

Hierzu wurden eine Befahrung der Forststraße, welche über den gesamten Graukogel bis zur Bergstation des Sessellifts führt, sowie eine Begehung entlang des Wanderweges durchgeführt. Im Bereich der Forststraße konnte kein anstehender Fels beobachtet werden. Der Wanderweg auf den Graukogel bietet ein ähnliches Bild. Lediglich im obersten Bereich (Hüttenkogel – Grat entlang zum Graukogel - Graukogel) ist der anstehende Fels anzutreffen. Ebenso talwärts entlang der markanten Abrisslinie, welche vom Hüttenkogel Richtung Kötschachtal (Abbildung 26) führt, stößt man auf anstehenden Fels beziehungsweise Felsblöcke, welche verrutscht sind.

Entlang der Forststraße ist kein anstehender Fels auszumachen. Auch bei größeren Anschnitten kommt nur Lockergestein und Geröll zum Vorschein. Hin und wieder lässt sich auch Moränenmaterial entlang der Forststraße finden. Der gesamte Hang ist also von Lockergestein, Blockwerk und Moränenmaterial bedeckt.

3.3.2.1 Hüttenkogel



Abbildung 25 Schieferplatten unter dem Gipfel des Hüttenkogels

Von der Bergstation führt ein Wanderweg zum Hüttenkogel. Entlang des Wanderwegs liegt Blockschutt und Haufwerk. Kommt man zu den letzten 100 – 200 Höhenmeter trifft man auf die anstehenden Felsplatten (siehe Abbildung 25). Das Gestein weist eine teilweise sehr feine Schieferung auf, es lassen sich sehr dünne Plättchen von nur wenigen Millimetern ablösen. Andererseits sind auch

Schieferbänke zu erkennen, so zum Beispiel entlang der Abrisskante vom Hüttenkogel talwärts, die eine wesentlich gröbere Schieferung aufweisen (Abbildung 26).



Abbildung 26 Schiefer unterhalb des Hüttenkogels

Direkt beim Hüttenkogel, entlang des Grates und ca. 600 m nördlich vom Hüttenkogel (Punkt P1) (siehe Abbildung 29) konnten auch Gefügebildungen gemacht werden. Die gemessenen Einfallswinkel der Schieferungen und Schichtungen schwanken zwischen 30° und 45° , die Fallrichtung zwischen 290° und 330° . Die aufgenommenen Orientierungen sind in Abbildung 28 dargestellt. Neben der Polpunktdarstellung mit den zugehörigen Schichtflächen ist auch ein Polpunktdichtediagramm angeführt, um die geringe Streuung der Orientierungen zu verdeutlichen. Die Skala des Polpunktdichtediagramms hat die folgende Einteilung:

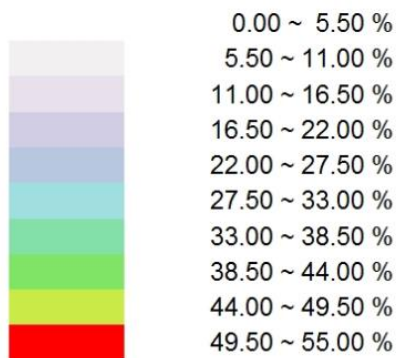


Abbildung 27 Skala des Polpunktdichtediagramms

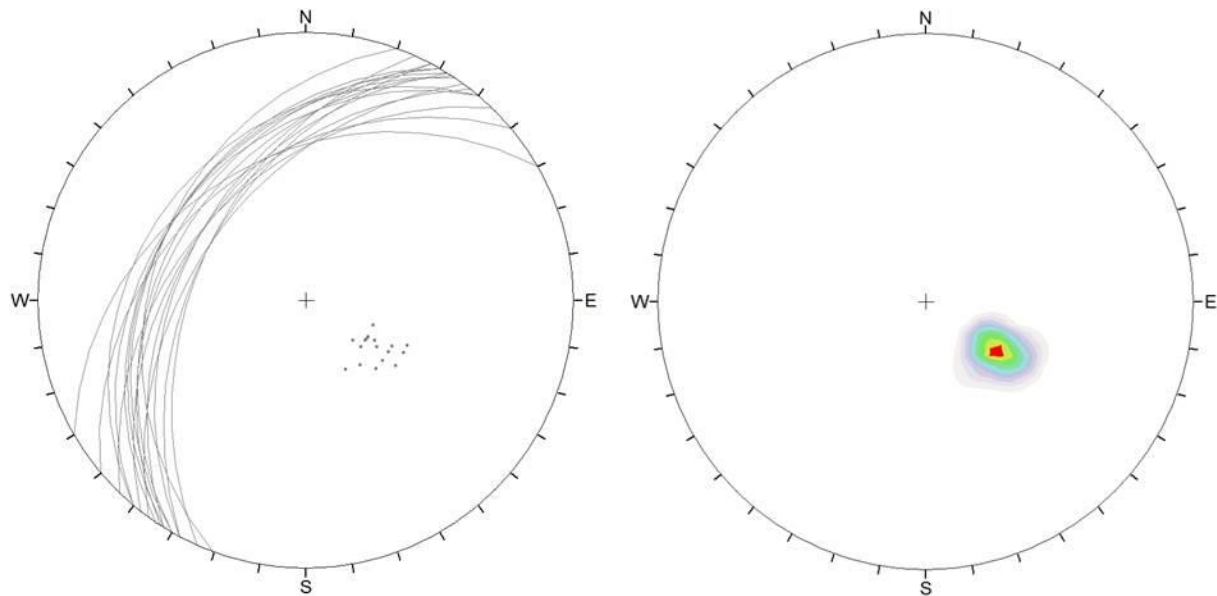


Abbildung 28 Orientierung der Schieferungsflächen und Polpunktdichtediagramm

Auffällig ist auch das Fehlen von Bächen entlang des Hanges. Lediglich der Palfnerbach, der auch die südwestliche Begrenzung des Hanges darstellt, sowie der Plattenbachgraben (vom Hüttenkogel Richtung Norden verlaufend) sind nennenswerte Oberflächenwässer. Quellen lassen sich auf dem Hang nur vereinzelt finden. Mit Ausnahme der Schachenquelle, die eine Schüttung von über 170 l/s aufweist, fallen die übrigen Quellen nur sehr spärlich aus und werden rein für die Trinkwasserversorgung von Einzelnen oder Gruppen verwendet (Wasserbuch Land Salzburg 2013). Die Gewässer und Quellen sind in Abbildung 29 mit blauer Farbe eingetragen. Die Thermalquellen im Ortsgebiet von Bad Gastein sind rot markiert.

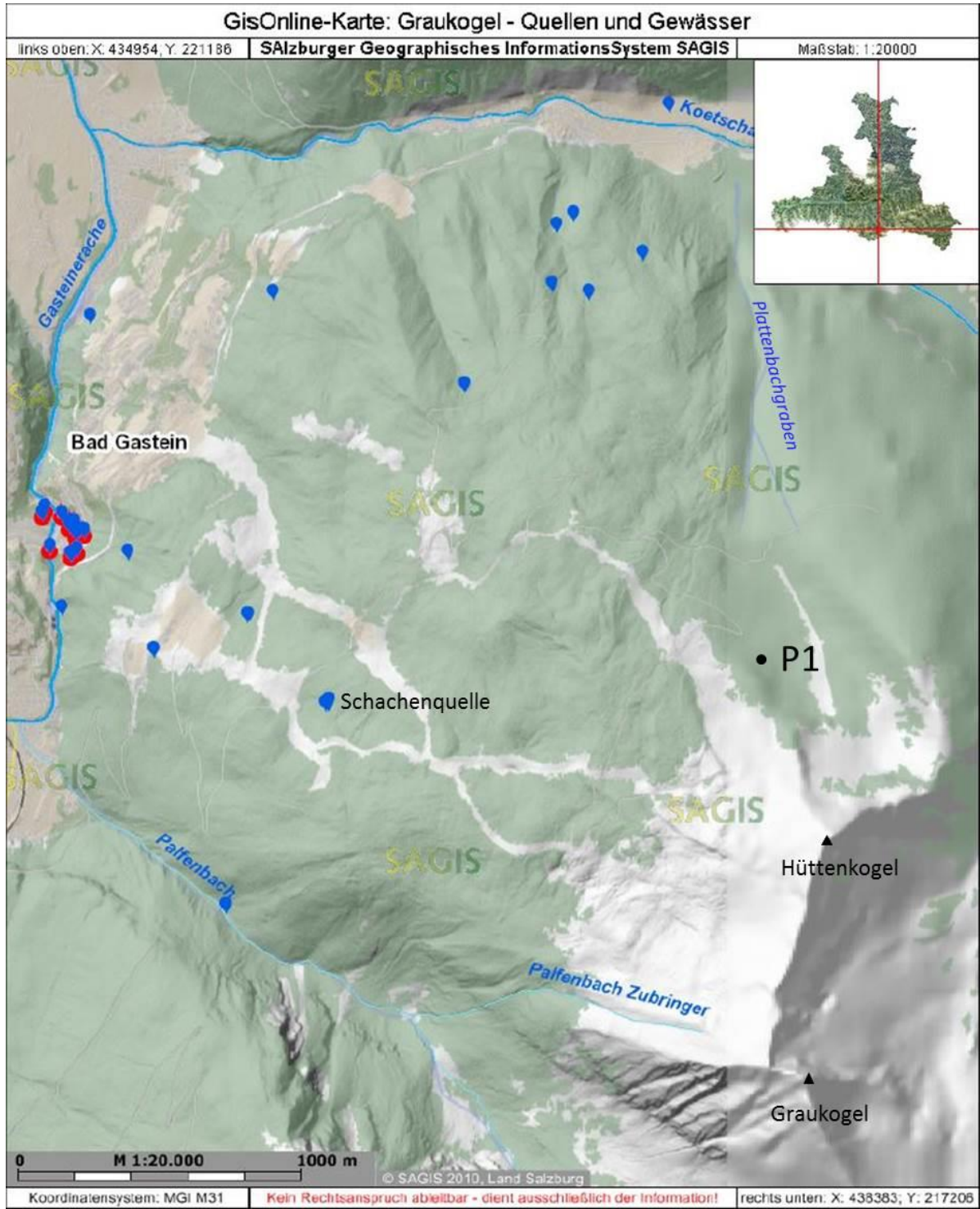


Abbildung 29 Gewässer und Quellen am Graukogel (Blau = Kaltwasser, Rot=Thermalwasser) (SAGIS 2010)



Abbildung 30 Anstehender Gneis ca. 600 m nördlich vom Hüttenkogel (Punkt P1 in Abbildung 29)

3.3.2.2 Franz Josef Stollen

Anfang Februar 2013 konnte auch die Gelegenheit genutzt werden, mit einem Grazer Hydrogeologen den Franz Josef Stollen zu begehen. Der neue Franz Josef Stollen wurde im Fels angeschlagen. Im Inneren erhält man den Eindruck, sich bis auf wenige Meter im kompakten Fels zu bewegen. Die Quellfassung des Thermalwassers erfolgt in einer kleinen Kaverne am Ende des Stollens, von der aus durch einen Bohrfächer das Thermalwasser zufließt und gesammelt wird. Spritzbeton wurde nur in einem kurzen Abschnitt auf halber Strecke verwendet. Ansonsten sind vereinzelt Nägel zur Sicherung eingebaut. In der Kaverne ist die flach einfallende Schieferung des Gneis zu erkennen. Die Temperatur im Stollen beträgt um die 40°C und die relative Luftfeuchtigkeit 100%.

3.4 Hydrogeologie und Thermalquellen

Die Thermalquellen halfen Bad Gastein zu weltweiter Berühmtheit. Direkt im Ortsgebiet im Bereich des Wasserfalls tritt im Quellquark bis zu 46,6°C heißes Thermalwasser aus. Eine Besonderheit stellt auch der natürliche Radongehalt im Thermalwasser dar. Insgesamt sind 19 Quellaustritte bekannt, die alle in einem Bereich von 937 m und 1034 m Seehöhe austreten. Die Gesamtwasserspende beläuft sich auf rund 5 Millionen Liter pro Tag. Das Thermalwasser wird im Quellpark gesammelt, in einen Hochbehälter geleitet und auf die Kurhäuser aufgeteilt. Der Nachbarort Bad Hofgastein bezieht 1 Million Liter Thermalwasser pro Tag über eine 7 km lange Leitung. Die bedeutendsten Quellen sind die Franz-Josef Quelle, Rudolfsquelle, Elisabethquelle, Wasserfallquelle und Reissacherquelle. Die ergiebigste Quelle ist die Elisabethquelle mit rund 2500 m³/Tag. Besonders erwähnenswert ist die Konstanz der Quellen im Hinblick auf Schüttung und Temperatur. Diese haben sich seit Beginn der Messungen vor 100 Jahren nicht feststellbar verändert (Lafenthaler 2007).

Die Thermalquellen, als großer wirtschaftlicher Faktor für die Gemeinde Bad Gastein, liegen in einem labilen Hangbereich. Die größten Wassermengen werden im Lockerstein in kurzen Stollen gefasst. Gerade in diesem Gebiet ist es immer wieder zu Hangrutschungen und Murgängen gekommen. Fehlende Spuren auf eine römische Siedlung deuten darauf hin, dass die Quellen früher verborgen gewesen sind. Ein im Murenschutt angetroffener Lärchenstamm wurde im Zuge der Sanierung des Elisabethstollens entdeckt. Die Datierung des Holzes ergab, dass die Mure noch vor dem Einmarsch der Römer niedergegangen ist (Janschek und Kahler 1990). Mit immer wieder auftretenden Naturereignissen (Murgängen, Starkregen) und durch die fluviatile Erosion der Gasteiner Ache wurde der Hang nach und nach erodiert und die Quellen schließlich wieder freigelegt.

Die genaue Herkunft des Thermalwassers ist bis heute ungeklärt. Eine weit verbreitete Anschauung ist, dass sich das Haupteinzugsgebiet des Thermalwassers vom Ortsgebiet nach Osten erstreckt. Es wird vermutet, dass dieses Gebiet um den Graukogel und Reedsee als Einzugsgebiet für die Thermalquellen dienen. Das Wasser soll hier über Kluftstrukturen im Zentralgneis in eine Tiefe von 2000 m absinken um dann als erhitztes Thermalwasser in Bad Gastein auszutreten (Gasteinertal Tourismus GmbH 2013).

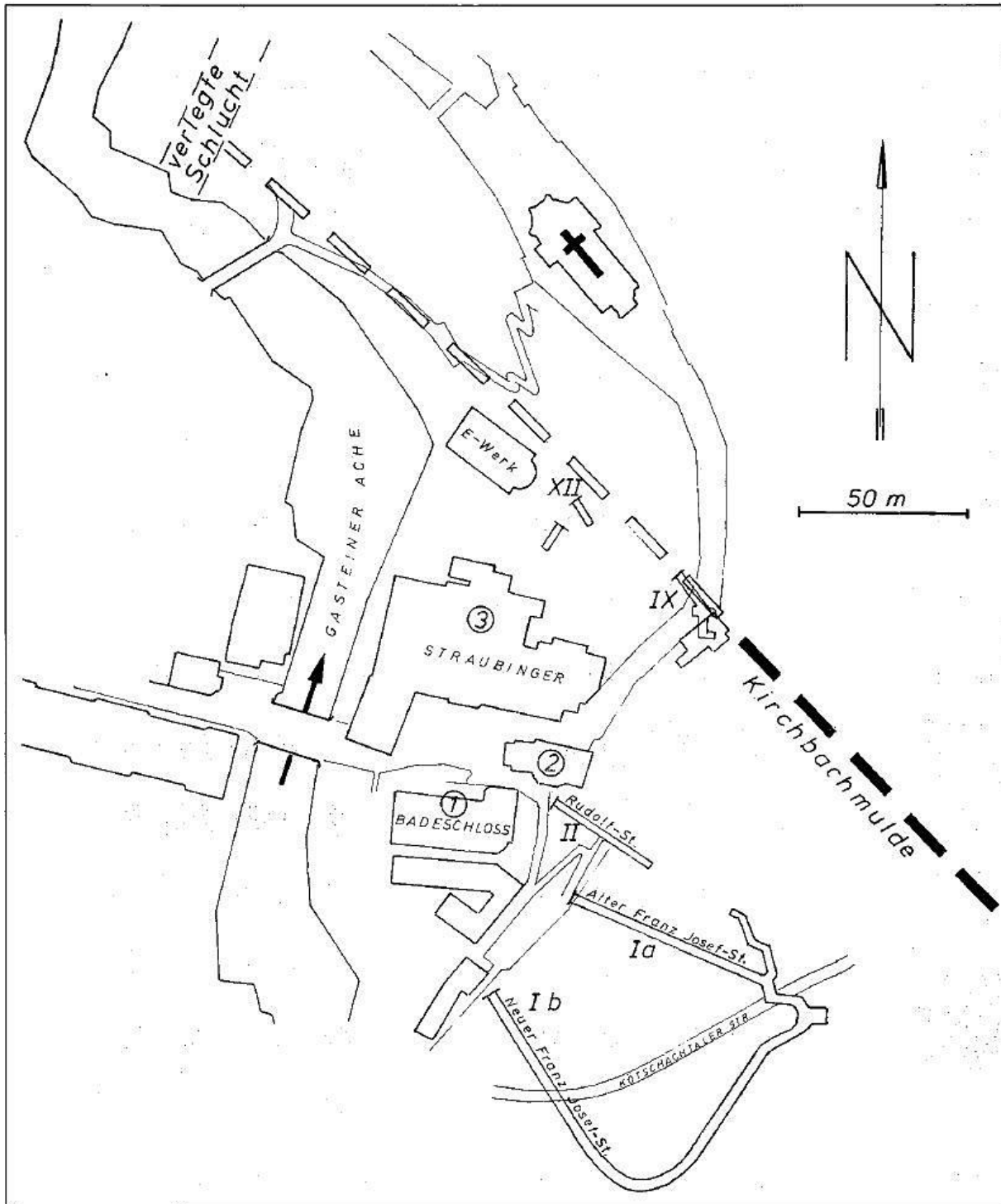




Abbildung 31 Vereinfachte Übersicht Thermalgebiet Bad Gastein.

Quellen: Ia alter Franz-Josef Stollen, Ib neuer Franz-Josef Stollen, II Rudolfstollen, IX Elisabethstollen, XII Reissacherstollen;  vermuteter Verlauf der Zerrüttungszone,  festgestellter Verlauf der Zerrüttungszone—(Janschek und Kahler 1990)

Eine weitere Theorie zur Herkunft des Wassers hängt mit den tektonischen Strukturen im hinteren Gasteiner Tal zusammen. Ein NNE-streichendes steiles Kluftsystem wird als Hauptweg des Thermalwassers angesehen. Im Zuge der Errichtung des neuen Franz-Josef Stollens in den 1970er Jahren stieß man auf eine 5 m breite, mit Grobsand und ungewöhnlich großen Blöcken verfüllte Schlucht. Diese Schlucht wird von Kahler (1990) als ursprüngliche Trennfuge einer Bergzerreißung interpretiert, die zu einer Klamm ausgeformt, verschüttet und schließlich von Hangschutt überkrochen wurde. Das vorherrschende Kluftsystem ist Nord 10 Grad Ost gerichtet und fällt steil ein. Dazu kommen ebenso häufige West-Ost verlaufende Klüfte. Richtung Nord-West verlaufend wird eine schwere Zerrüttungszone im Hang östlich der Ache vermutet. Es ist möglich, dass diese steil stehende Zerrüttungszone die anderen Kluftsysteme schneidet und somit die Thermalwasseraustritte genau im Ortsgebiet möglich macht. Die große Ergiebigkeit der Elisabethquelle, die im Lockergestein gefasst ist, spricht ebenso für eine breite Zerrüttungszone. Jedoch konnte diese Zerrüttungszone noch nicht definitiv nachgewiesen werden (Janschek und Kahler 1990). Die Frage nach dem Alter des Wassers ist auch noch ungeklärt. Vor allem die Tatsache, dass Radon eine Halbwertszeit von 3,8 Tagen hat, macht eine Interpretation der Herkunft sehr schwierig.

Nach der Fertigstellung des neuen Franz-Josef Stollens wurde in der Bohrnische ein Bohrfächer mit ca. 80 m Länge vorgetrieben. Es konnte festgestellt werden, dass dem 15 m unterhalb liegenden Rudolfstollen ca. 40 m³/Tag durch die Fassung im Franz-Josef Stollen entzogen wurde. Somit konnte nachgewiesen werden, dass das Thermalwasser dem Fels in größerer Höhe entspringt und dann im Hang abwärts fließt, was sich entscheidend auf den Radongehalt auswirkt (Janschek und Kahler 1990).

Mit einer Bohrung des Bohrfächers konnte die Schwächezone gerade noch erreicht werden, welche auch beim Elisabethstollen anzutreffen ist. Da diese erst am Ende der Bohrung erreicht wurde und das Bohrloch ungestützt war, konnte kein Kernmaterial gewonnen werden. Das Thermalwasser hatte mit 48,4°C den höchsten Wert in diesem Gebiet (Abbildung 32) (Janschek und Kahler 1990).

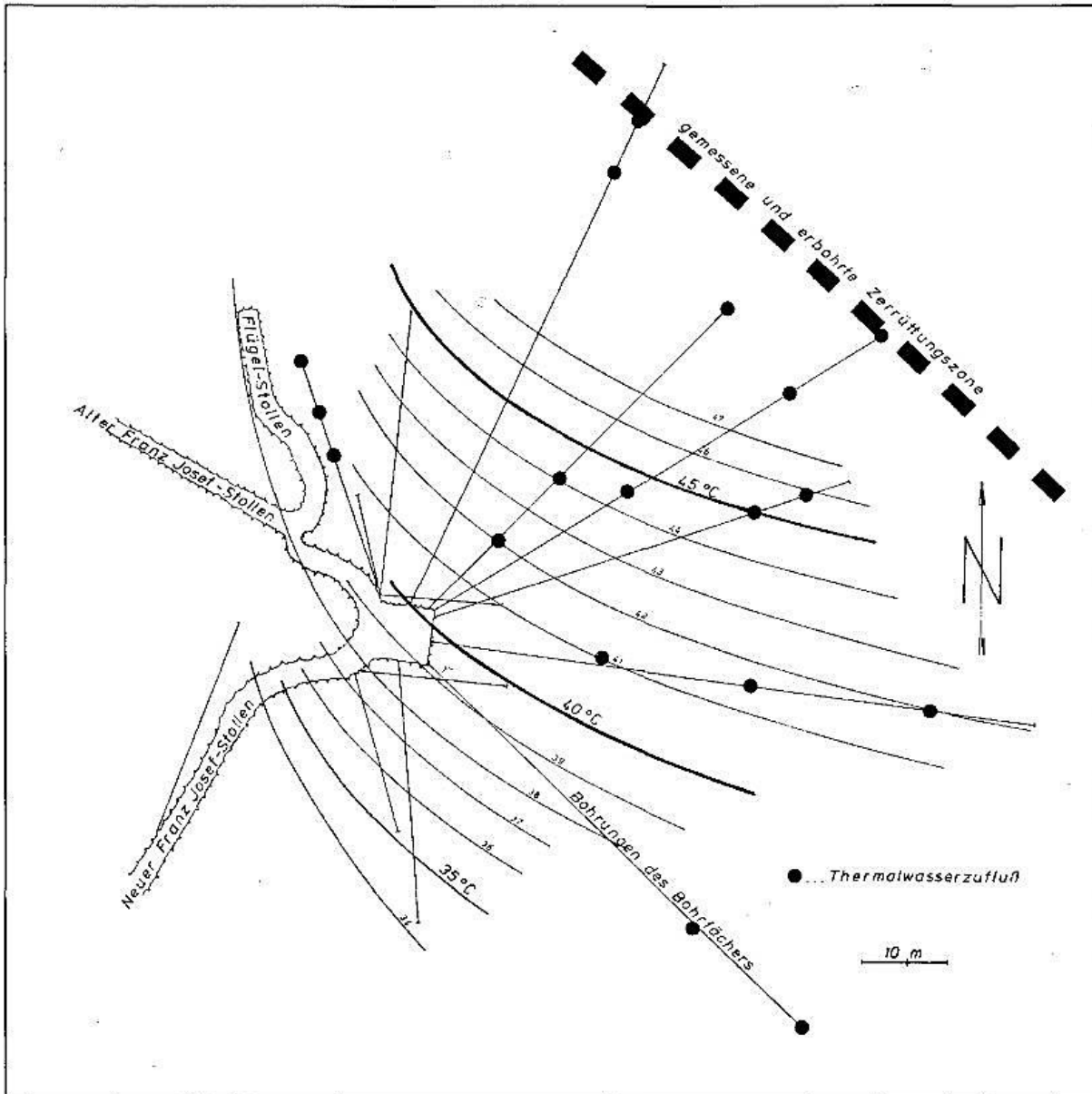


Abbildung 32 Bohrfächer im neuen Franz-Josef Stollen mit geothermischen Messungen (Janschek und Kahler 1990)

4 Massenbewegung Graukogel

4.1 Auswertung vorhandener Messdaten

Messdaten am Graukogel sind nur sehr einseitig verteilt vorhanden. So gibt es rund 100 Messpunkte am Hangfuß bzw. im Ortszentrum (nahe Pfarrkirche), kaum jedoch Messdaten über den gesamten Hang oder den oberen Hangbereich betreffend.

Die Messergebnisse zeigen, dass im Hangfußbereich verstärkt Deformationen auftreten. Was jedoch nicht hervorgeht, sind Hinweise auf die Tiefenlage einer Gleitfläche. Daher muss zwangsläufig angenommen werden, dass sich die Verschiebungen am Hangfuß aus oberflächennahen Verschiebungen aufgrund der Übersteilung des Hangfußes sowie aus einer tiefgreifenden Hangdeformation zusammensetzen.

Alle Messergebnisse im Bereich des Hangfuß zeigen dasselbe Bild: der Hang bewegt sich. Jedoch fällt auf, dass genau im Bereich der Steilstufe im Ortsgebiet nach Süden hin die Bewegungsraten abnehmen und sogar zu null werden, nach Norden hin im Bereich der Pfarrkirche und Gravenegg Brücke jedoch die höchsten Verschiebungen auftreten. Geht man weiter nach Norden werden die Bewegungsraten wieder geringer. Das führt zu der Folgerung, dass der Sprung des Höhenunterschieds der Gasteiner Ache die Verformungen begünstigt. Es scheint als ob im höher gelegenen Ortsgebiet der Hang ein „Widerlager“ gefunden hat, wohingegen der rund 130 m tiefere Talboden Richtung Norden keinen bzw. einen geringeren Widerstand bieten kann und der Hang freier nach unten kriechen kann.

4.1.1 Geodätische Vermessungen

In den Jahren 1932 und 1976 wurden vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen im Bereich von Bad Gastein geodätische Vermessungen durchgeführt. Da 1973 schon ein Verdacht auf Hangbewegung bestand, wurde bei dieser Vermessung Rücksicht darauf genommen und die Punkte bei der Messung wie Neupunkte behandelt. In Tabelle 1 sind die Messdaten dieser Messung angeführt. Die Angabe der Punktlagefehler gibt einen nützlichen Hinweis über die tatsächliche Verschiebung der Punkte. Da in allen Punkten (außer Pyrkerhöhe) der Betrag des horizontalen Verschiebungsvektors größer ist als die Summe der Punktlagefehler, zeigt sich eine signifikante Änderung der Lage (Scheidegger und Hauswirth 1980).

Tabelle 1 Verschiebung von Festpunkten um Bad Gastein von 1932 bis 1973 (Scheidegger und Hauswirth 1980)

Punkt	Bezeichnung	Landeskoordinaten 1973 GK M31		Änderungen zwischen 1932 und 1973			Mittlere Punktlagefehler Absolutwerte [cm]			Differenzvektor [cm]		Verschiebung pro Jahr [cm/a]
		y	x	Δy [cm]	Δx [cm]	Δh [cm]	1932	1973	Summe	Horizontal	Gesamtlänge	
KT 44 -155	Windischgrätzhöhe	-14575.99	219126.94	-38.8	15.5	-17	4	1.6	5.6	41.8	45.1	1.0
KT 45 -155	Pyrkerhöhe	-15067.26	219139.59	4.4	1.0	-2	3	1.6	4.6	4.5	4.9	0.1
KT 47 -155	Höllbrunnlift	-14268.47	219448.85	-55.0	45.7	-25	3	2.1	5.1	71.5	75.8	1.7
Kn 48 -155	Bad Gastein, Pfarrkirche	-14798.50	219617.36	-21.9	31.3	-9	2	2.0	4.0	38.2	39.2	0.9
Kn 49 -155	Bad Gastein, Evang. Kirche	-15025.94	219756.62	7.4	0.7	0	2	2.8	4.8	7.4	7.4	0.2
KT 50 -155	Nikolauskirche	-14696.93	220036.53	-21.7	31.0	3	1	2.1	3.1	37.8	38.0	0.9
KT 51 -155	Schwarzwandalm	-15320.76	220125.75	9.2	2.8	2	2	2.2	4.2	9.6	9.8	0.2
KT 54 -155	Badbruck, Friedhofskapelle	-14557.34	220692.99	-1.6	-3.2	-29	1	2.2	3.2	3.6	29.2	0.1
KT 55 -155	Zanettiwiese	-13693.16	220716.14	3.6	7.3	1	3	3.0	6.0	8.1	8.2	0.2

Die Messpunkte mit Darstellung der horizontalen Verschiebungsvektoren sind in Abbildung 33 eingetragen. Die Bewegungsraten pro Jahr belaufen sich auf maximal 1,7 cm/a bei KT 47 und 0,9 cm/a bei KT 50. Alle Messpunkte (KT45, 49, 51, 54, 55), die eine geringere Verschiebungsrate aufweisen liegen nicht auf dem Graukogelhang. Somit ist die Bewegungsrichtung des Hanges in Richtung NW festzulegen.

Die Abteilung für Geophysik der TU Wien führte zusammen mit dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 1986 weitere photogrammetrische Aufnahmen durch. Die Ergebnisse beschränken sich hier auf die Punkte KT 44, 47, 48 und 50. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 2 ersichtlich. Durch diese Daten wird deutlich, dass auch über einen Zeitraum von mehr als 50 Jahren die Bewegungsraten nahezu konstant sind. Auffällig sind vor allem die geringen Höhenveränderungen bei der Pfarrkirche und Nikolauskirche. Diese erfahren in erster Linie eine Horizontalverschiebung. Solch ein Bewegungsvorgang kann nur aus einer weitestgehend horizontal liegenden Bewegungsform kommen, da oberflächennahe Hangrutschungen der Falllinie folgen würden (Figdor et al. 1990).

Tabelle 2 Messergebnisse von 4 Messpunkten im Ortsgebiet von Bad Gastein für den Zeitraum 1932 bis 1986 (Figdor et al. 1990)

Punkt	Bezeichnung	Änderungen zwischen 1932 und 1973			Änderungen zwischen 1973 und 1986			Änderungen zwischen 1932 und 1986		
		ds [cm]	dh [cm]	ds/a	ds [cm]	dh [cm]	ds/a	ds [cm]	dh [cm]	ds/a
KT 44 -155	Windischgrätzhöhe	41.8	-17.0	1.0	9.5	-5	0.7	51.3	-22	0.9
KT 47 -155	Höllbrunnlift	71.5	-25.0	1.7	19.7	-8	1.5	91.2	-33	1.7
Kn 48 -155	Bad Gastein, Pfarrkirche	38.2	-9.0	0.9	22.3	-4	1.7	60.5	-13	1.1
KT 50 -155	Nikolauskirche	37.8	3.0	0.9	9.4	-1	0.7	47.2	2	0.9

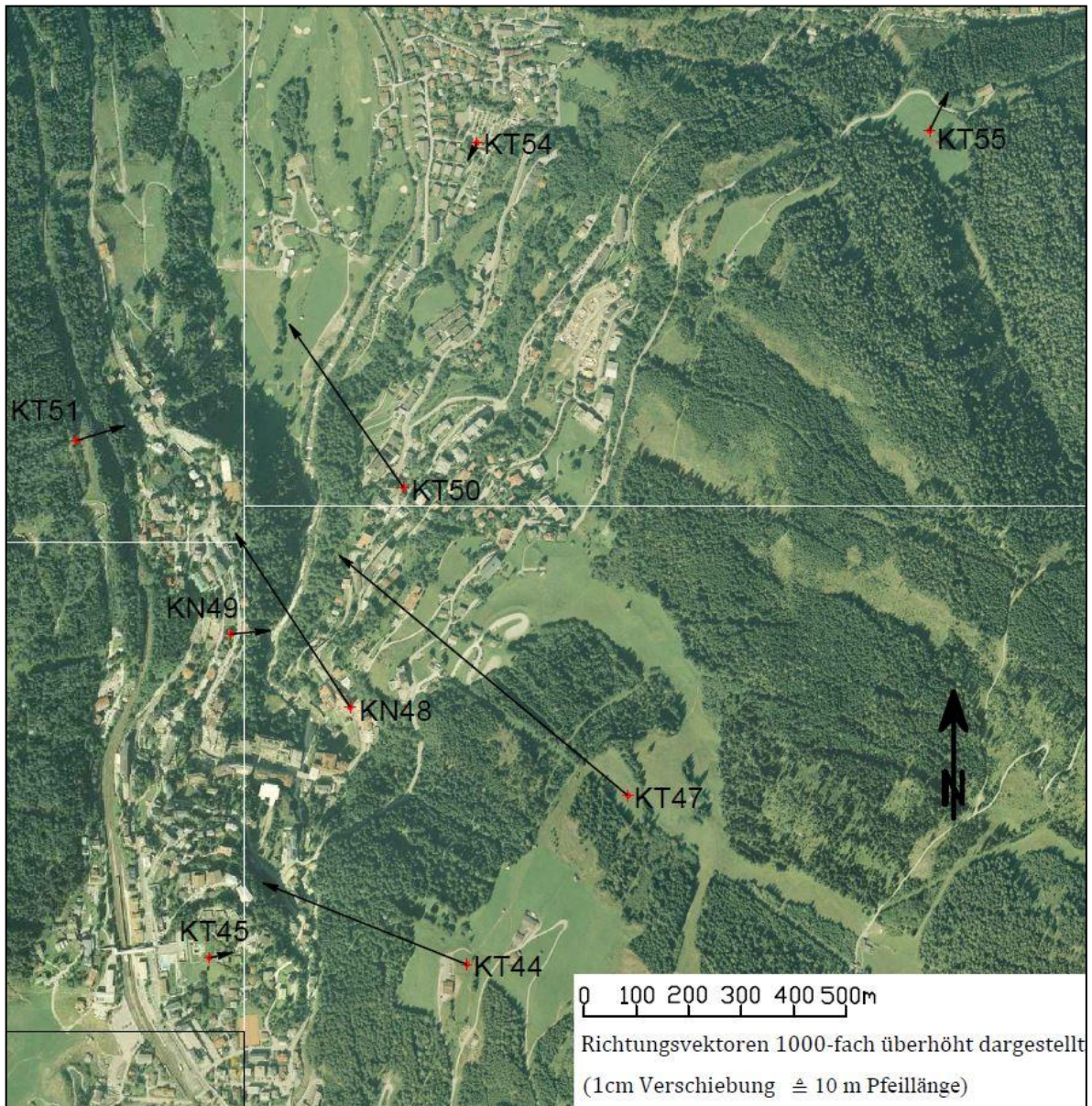


Abbildung 33 Richtungsvektoren der Festpunkte im Raum Bad Gastein für den Zeitraum 1932-1976

Zwischen 1978 und 1986 wurde im Auftrag der Gemeinde Bad Gastein die Hangbrücke Gravenegg messtechnisch überwacht. In einem kleinräumigen Präzisionsnetz wurden 36 Punkte auf verschiedene Bauteile der Brücke verteilt und eingemessen. Zur Höhenbestimmung wurde bei den Kontrollmessungen ein Präzisionsnivelement eingesetzt. Das Ergebnis dieser Messkampagne zeigt ein einheitliches Bild. Die Brücke verschiebt sich als Gesamtes zur Gasteiner Ache hin. Die Verschiebungen in der Lage sind wiederum um einiges größer als die in der Höhe (Figdor et al. 1990). Die Verschiebungsbeträge und Bewegungsgeschwindigkeiten sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3 Verschiebungen der Hangbrücke Gravenegg (Figdor et al. 1990)

7. 1978 – 11. 1980			11. 1980 – 11. 1986			7. 1978 – 11. 1986		
ds	ds/Jahr	dh	ds	ds/Jahr	dh	ds	ds/Jahr	dh
3,7	1,5	-0,2	8,7	1,5	-1,9	12,6	1,5	-2,1

Monitoring

Das ZT Büro Fleischmann Vermessung lieferte für das 2005 abgeschlossene Monitoring am NW-Hang des Graukogels Messdaten zu 80 Messpunkten entlang des Fußes des Graukogels. Alle Daten aus diesem Abschnitt sind dem Bericht von (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG 2005) entnommen.

Der Beobachtungszeitraum der 80 Messpunkte erstreckt sich unterschiedlich zwischen 1932 und 2005. Aus den Ergebnissen der Messungen gingen die Horizontalverschiebungen der jeweiligen Punkte hervor. Daten zu vertikalen Verschiebungen für das untersuchte Gebiet sind jedoch kaum vorhanden. Lediglich für die Pfarrkirche, welche seit 1971 mit einem Präzisions-Höhennivellement aufgenommen wird, den Kaiserhof und die Hangbrücke Gravenegg existieren verwertbare Daten. Sonstige Höhenmessungen aus dem Ortsgebiet sind wegen ihrer großen Ungenauigkeit bzw. Streuung nicht verwertbar (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG 2005). Die gesamten Messergebnisse sind im Anhang I (Seite 108) aufgelistet.

Tabelle 4 Punkte mit Horizontalverschiebung >1,5cm/a (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG 2005)

IDNr.	Objektname	Punkt	Beginn	Ende	Jahre	gesamte Differenz horizontal [cm]	mittlere Bewegung pro Jahr [cm/a]
9	Rudolfshöhe	NW-Ecke	1995	2005	10	15	1.50
47	Haus n. Villa Grav., .205/2	NW-Ecke	1932	2000	68	107	1.57
48	Haus n. Villa Grav., .205/2	SW-Ecke	1932	2000	68	106	1.56
51	Haus .191, s Villa Gravenegg	N-Ecke	1932	2000	68	108	1.59
52	Haus .191, s Villa Gravenegg	W-Ecke	1932	2000	68	142	2.09
61	Schillerhof	Mitte-Punkt	1997	2005	8	12	1.50
62	Schillerhof	S-Ecke	1997	2005	8	15	1.88
63	Hochbehälter Schillerhöhe	W-Ecke	1932	1995	63	115	1.83
64	Hochbehälter Schillerhöhe	S-Ecke	1932	1995	63	104	1.65
65	Gasteinerhof	W-Ecke	1932	2005	73	114	1.56
66	Gasteinerhof	SW-Punkt	1932	2005	73	114	1.56

In Tabelle 4 sind alle Punkte ab einer Verschiebungsrate von 1,5 cm/a angeführt. Alle Punkte, mit Ausnahme von Punkt 9 (Rudolfshöhe) befinden sich nördlich der Talstufe und bilden eine Linie hangaufwärts von der Villa Gravenegg (Punkte 47, 48, 51,52) über Gasteinerhof (Punkte 65, 66) zum Schillerhof (Punkte 61, 62, 63, 64) (siehe Abbildung 34). Der Maximalwert liegt bei Punkt 52 (Villa Gravenegg) mit 2,09 cm/a. Dies ist auch der einzige Punkt, welcher eine Verschiebung von mehr als 2 cm pro Jahr aufweist. Von diesem Maximalbereich aus nehmen sowohl nach Süden als auch nach Norden hin die Bewegungsraten ab. Der nördlichste Bereich, in dem auch Punkt 9 (Rudolfshöhe) situiert ist, weist wieder eine Zunahme an Bewegung auf (siehe Abbildung 34).

Die vertikale Verformungsraten belaufen sich auf 0,16 cm/a (Punkt 54) und 0,27 cm/a (Punkt 53) bei der Hangbrücke für eine Zeitraum von 1992 bis 2005. Im Bereich des Kaiserhofs (Punkt 24) wurde für einen Zeitraum von 1998 -2005 eine Setzungsrate von 0,27 cm /a festgestellt. Die Pfarrkirche, mit dem längsten Beobachtungszeitraum, weist eine mittlere Vertikalverformung von 0,13 cm /a auf.

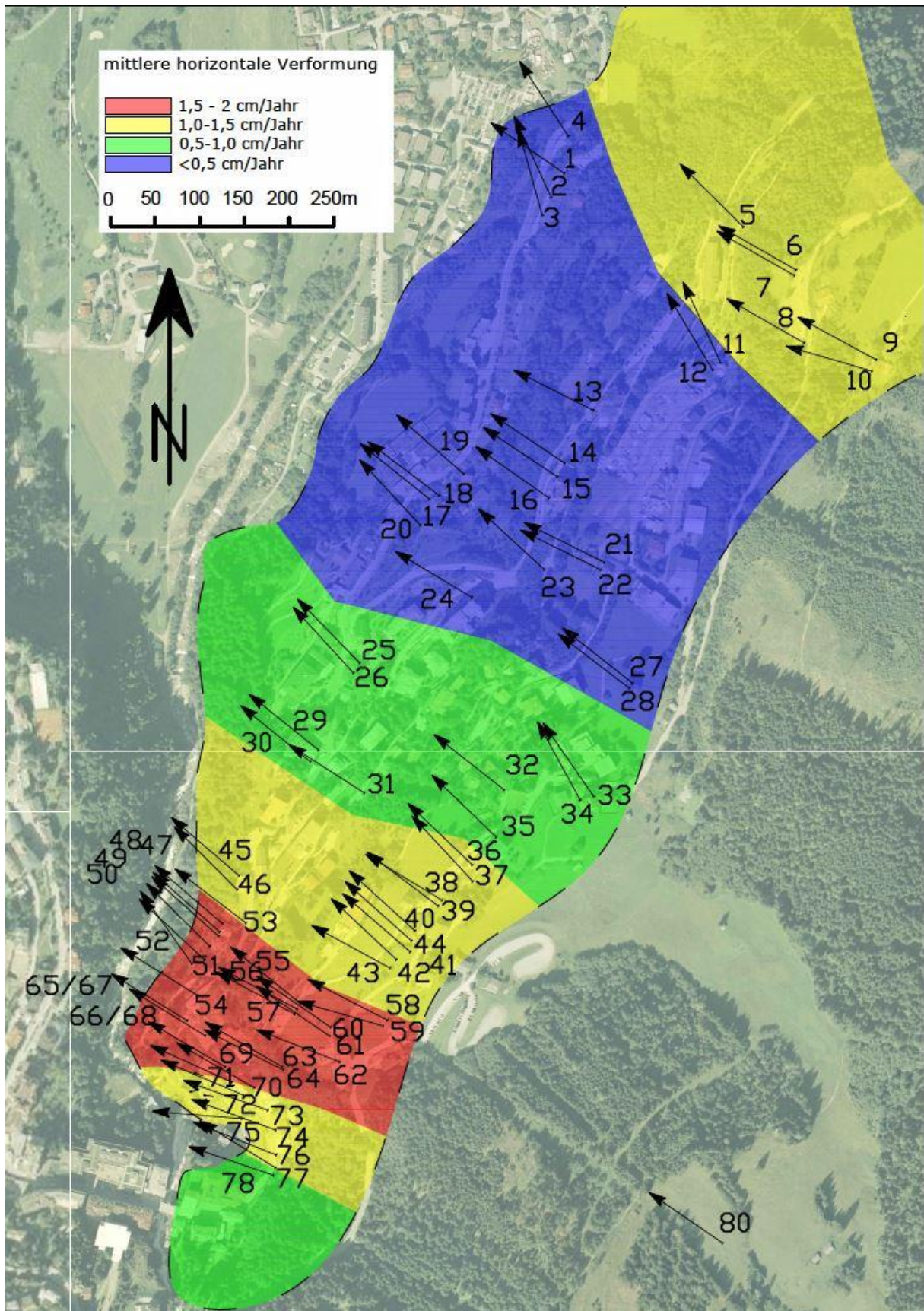


Abbildung 34 Messpunkte mit Richtungsvektoren und Verformungsraten (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG 2005)

4.1.2 GPS Messung

Der Vermessungsdienst des Landes Salzburg führt eine GPS-Vermessung am Graukogel durch. Die ersten Messungen wurden am 18.10.2010 durchgeführt. Zur ersten Folgemessung kam es am 18.11.2011, zur zweiten Folgemessung am 03.09.2013. Die Unterlagen hierfür wurden freundlicherweise vom Geologischen Dienst und Vermessungsdienst des Landes Salzburg bereitgestellt.

Die Ergebnisse dieser Messung sind teilweise schwer interpretierbar. Die Ergebnisse sind hier aber Mangel sonstiger großflächiger Messkampagnen angeführt, da mittels GPS Vermessung sicherlich über einen längeren Zeitraum ein Projektgebiet mit diesem Ausmaß effizient beobachtet werden kann. Leider hat aber die Situierung des Projektgebietes in einer Gebirgsregion einen großen Einfluss auf die Anwendbarkeit von GPS Systemen. Die Messung mittels GPS im Gasteiner Tal kann sehr große Ungenauigkeiten annehmen. Die topographischen Verhältnisse (Gebirgsregion) können dazu führen, dass zu wenig Satelliten zur Verfügung stehen. Die Genauigkeiten der Lagemessung, vor allem aber jene für die Höhenmessung kann dadurch stark beeinflusst werden.

Die Messpunkte sind über den Hangfuß verteilt und folgen bergauf der Liftrasse.

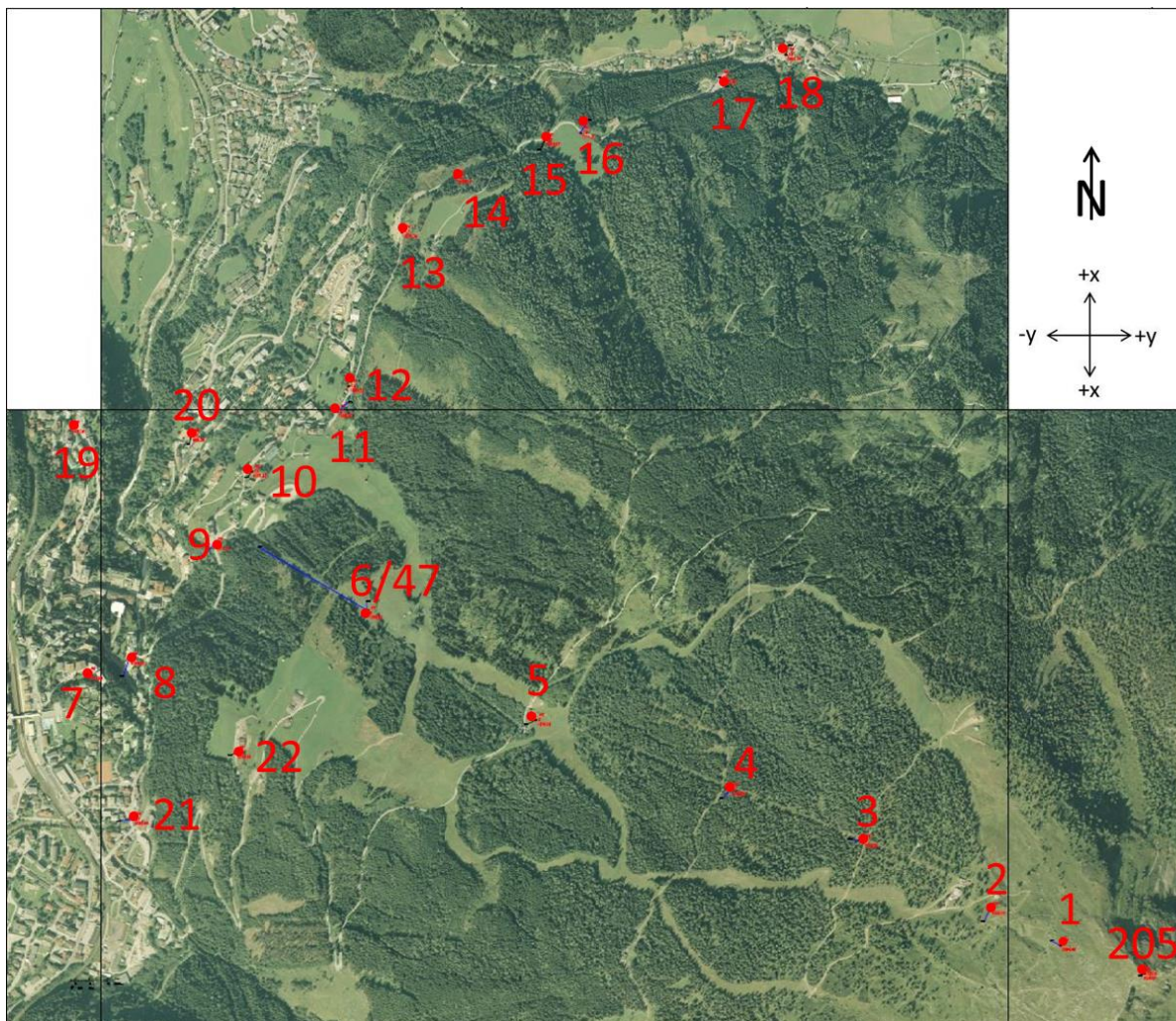


Abbildung 35 Übersichtplan der GPS Vermessung

Die Messergebnisse sind in Tabelle 5 aufgelistet. Die Werte dy und dx beziehen sich auf die Änderung der Lage in der Ebene eines Punktes. Der Wert dh beschreibt die höhenmäßige Änderung für einen

Punkt. Der Gesamtbetrag der Verschiebung in der Ebene ist mit dem Betrag des Richtungsvektor ds als Resultierende aus dy und dx angegeben.

Punkt KT 47 muss gesondert betrachtet werden, da diese Messdaten sich auf die Nullmessung am 01.08.1986 beziehen. Alle anderen Messpunkte beziehen sich auf die Nullmessung vom 18.10.2011 und die Folgemessung vom 18.11.2012. Die Werte aller anderen Messpunkte können also als Verformungsraten pro Jahr angesehen werden. Für den Punkt KT 47 beträgt die Höhenänderung ca. 1,9 mm/a und die Lageänderung ca. 13 mm/a.

Die Punkte 7,12,13,14,19 sind nicht in der Tabelle aufgelistet, da sie aus technischen Gründen nicht messbar waren. Im Zuge der 2. Folgemessung waren einige Punkte ebenfalls nicht messbar oder gingen verloren.

Die Richtung, in der die Verformung stattfindet, ist zu der angenommenen Verformungsrichtung des Hanges teilweise sehr widersprüchlich. So zeigen Punkte NG 2, 4, 8, 10, 11 Verschiebungen normal zur Fallrichtung (NW-SO) des Hanges bzw. zur angenommenen Bewegungsrichtung. Vier Punkte weisen nach der 2. Folgemessung erhebliche Richtungsänderungen auf. Punkt 3 ändert die Richtung um ca. 105° , Punkt 10 um ca. 51° , Punkt 15 um ca. 67° und Punkt 22 um 106° .

Tabelle 5 Ergebnisse der GPS Messung

Nullmessung 18.10.2011	Folgemessung 1 18.11.2012				Folgemessung 2 03.09.2013			
	dy	dx	dh	ds	dy	dx	dh	ds
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
KT 47	-297	173	51	343.71				
KT 205	0	-4	-6	4.00	0	-2	-3	2.00
NG 1	-27	13	40	29.97	-19	25	-3	31.40
NG 2	-15	-33	9	36.25	-19	-34	-27	38.95
NG 3	-39	5	138	39.32	4	-27	37	27.29
NG 4	-19	-22	131	29.07	-6	-15	26	16.16
NG 5	-22	-11	40	24.60	-48	-10	-48	49.03
NG 6	-2	33	102	33.06				
NG 8	-15	-46	100	48.38				
NG 9	-34	-34	105	48.08				
NG 10	-8	-15	97	17.00	-28	-5	-2	28.44
NG 11	33	26	52	42.01	42	12	-16	43.68
NG 15	-11	-25	92	27.31	26	-27	-54	37.48
NG 16	20	35	57	40.31				
NG 17	14	-24	-22	27.78				
NG 18	8	26	47	27.20	16	32	-52	35.78
NG 20	-5	-22	1	22.56				
NG 21	-34	-5	137	34.37				
NG 22	-12	-6	-1	13.42	-46	50	52	67.94

Die Messergebnisse zeigen, dass die Lageänderung der Punkte erhebliche Werte annimmt (bis zu 5 cm /a). Die Höhenänderung nimmt zwar teils sehr große Werte an (13,6 mm/a), jedoch sind diese gemessenen Verformungen aufgrund der oben erwähnten Ungenauigkeiten eher unrealistisch. Die

Ergebnisse der 2. Messreihe erschweren die Interpretation erheblich. Punkt 3 und Punkt 4 weisen sogar einen geringeren Verschiebungswert auf als bei der ersten Messung. Aufgrund der großen Ungenauigkeit und Streuung in diesem Gebiet ist eine Fortführung der GPS – Messung nicht zweckmäßig. Seitens des Landesvermessungsdienstes wird daher diese Kampagne eingestellt.

4.1.3 Inklinometermessungen Bauvorhaben Gasteinerhof

Die hier angeführten Messergebnisse beziehen sich auf Inklinometermessungen im Bereich des ehemaligen Hotels Gasteinerhof (Abriss erfolgte im Oktober 2006) und der Hangbrücke Gravenegg (siehe Abbildung 36). Es wurden Folgemessungen im September und November 2006 durchgeführt und mit Messdaten aus 2001 bzw. 1989 verglichen. Das vorrangige Ziel dieser zwei Folgemessungen war, den Einfluss der Abrissarbeiten auf die Hangdeformation festzuhalten. Alle Daten zu den Messungen wurden dem Bericht von 2006 entnommen (bvfs 2006).

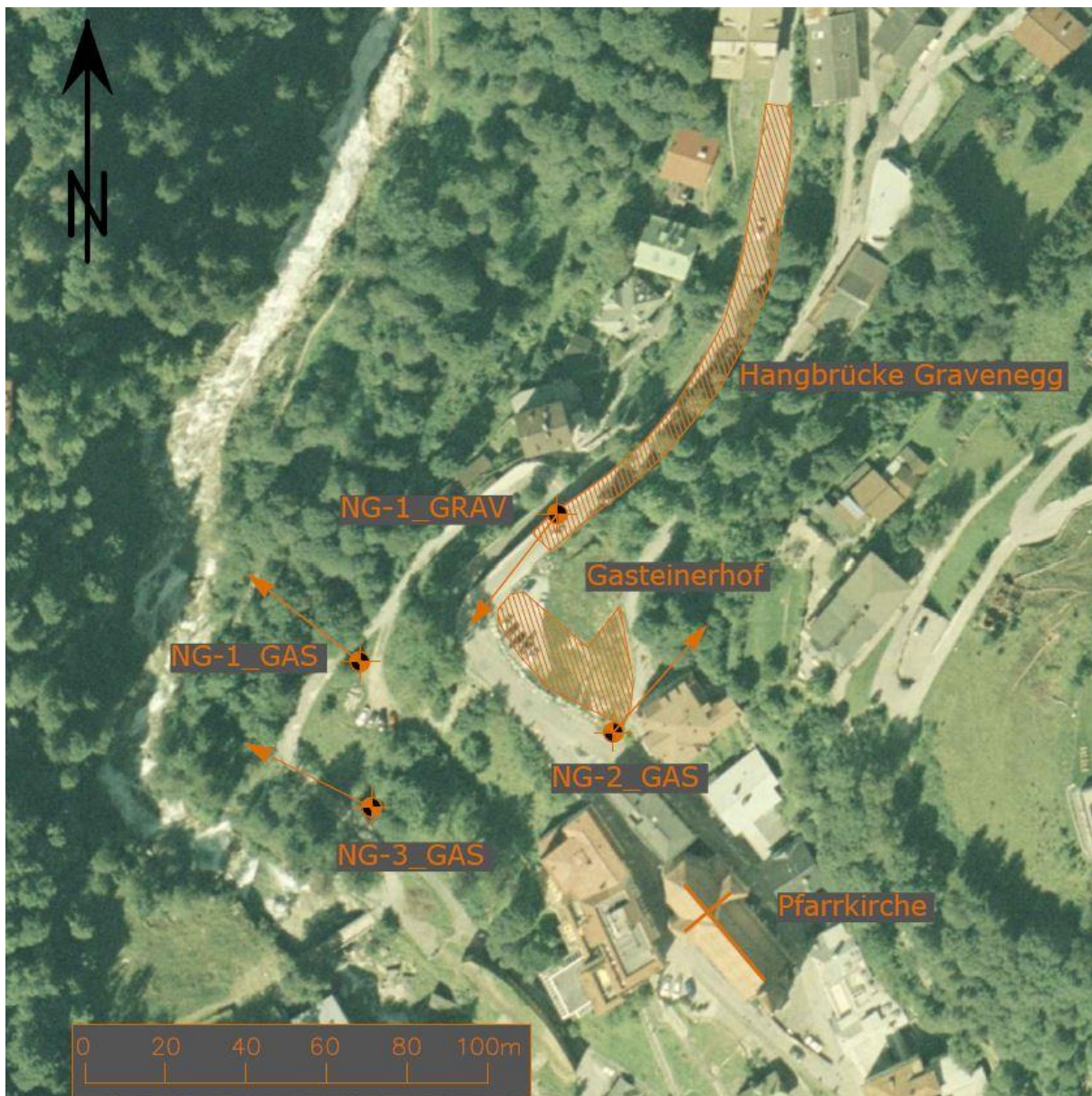


Abbildung 36 Lage und Richtungsvektoren der Neigungsmessstellen in Bad Gastein Ort

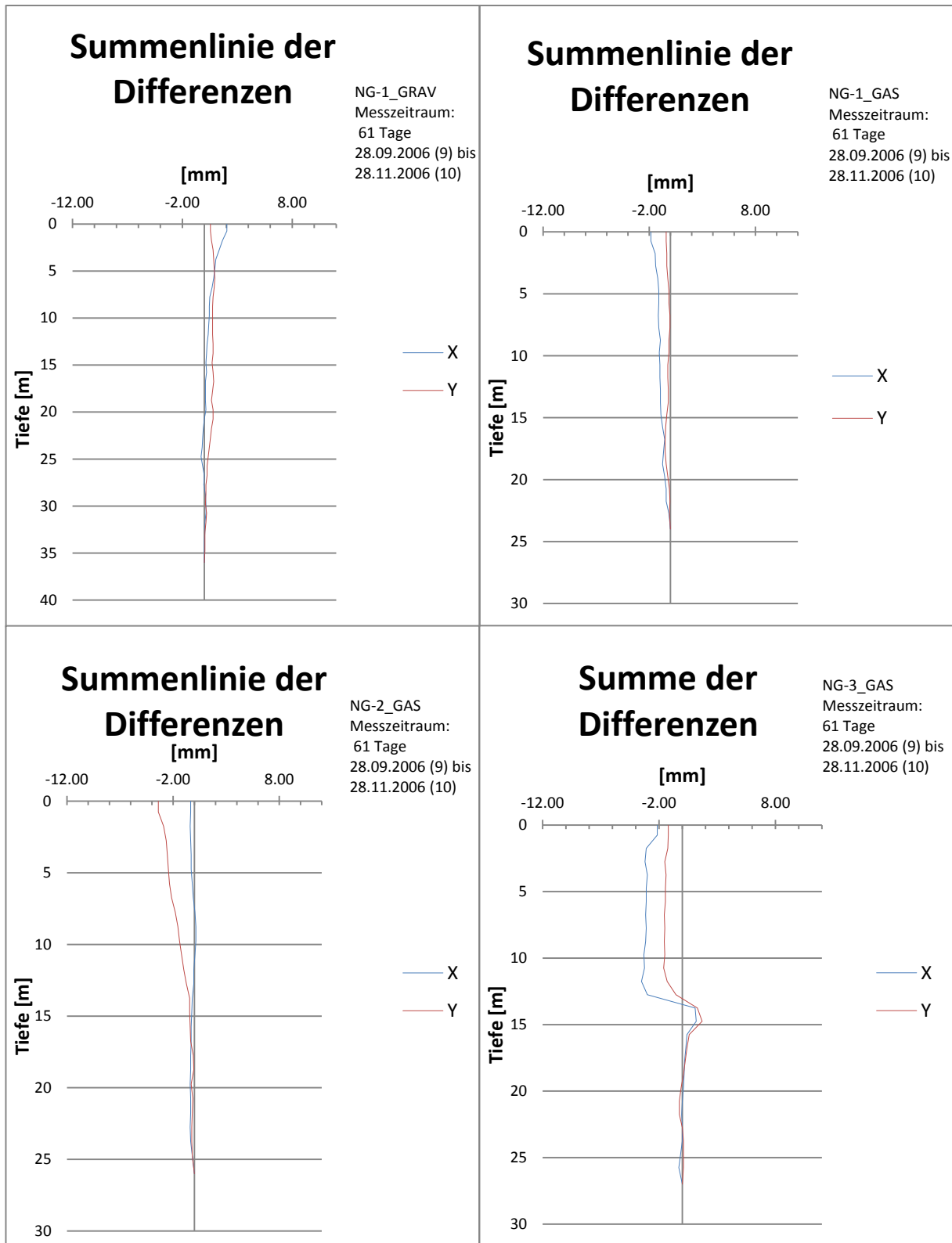


Abbildung 37 Summenlinien über einen Messzeitraum von 62 Tagen für die Messpunkte NG-1_GRAV, NG-1_GAS, NG-2_GAS und NG-3_GAS (bvfs 2006)

Die Inklinometermessung erfolgte mittels eines speziellen Aluminiumpräzisionsrohrs mit acht längslaufenden Nuten. Die Messergebnisse zeigen jeweils die x und y Richtung der Messung. Die Lage zur Nordrichtung wurde mittels Kompass festgelegt.

Die Verformungen während der Abrissarbeiten betragen zwischen 1,89 mm (NG-1_GAS) und 3,42 mm (NG-2-GAS) in einem Zeitraum von 61 Tagen.

Betrachtet man die Verschiebungswerte der Summenlinien (Abbildung 38, Abbildung 39, Abbildung 40, Abbildung 41) in Zusammenhang mit den angegebenen Richtungsvektoren der Verschiebung, können nur NG-1_GAS und NG-3_GAS zur weiteren Interpretation herangezogen werden. NG-1_GRAV weist eine Kopfverschiebung von ca. 11 mm Richtung Süd-West, und NG-2_GAS rund 10 mm Richtung Nord-Ost auf. Diese zwei Punkte stehen normal zur Bewegungsrichtung, die der Hang in diesem Bereich aufweist. Auch die gemittelte Kopfverschiebung pro Jahr liegt mit 2,2 mm/a bzw. 0,6 mm/a weit unterhalb der geodätisch ermittelten Werte (vgl. Kapitel 4.1.1).

Die Punkte NG-1_Gas und NG-3_GAS weisen Verschiebungsbeträge von rund 100 mm auf. Für den Messzeitraum von 17 Jahren entspricht das einer Verschiebungsrate von 6 mm/a. Die Richtungen der Verschiebungsvektoren sind nahezu ident und entsprechen auch den Verschiebungsrichtungen der geodätischen Messungen. Die Klaffung in den Verschiebungsraten zwischen Inklinometermessungen und geodätischen Messungen lässt sich dadurch erklären, dass die Inklinometerrohre den Gleithorizont nicht erreichen und sich über die gesamte Länge in der bewegten Masse befinden. Oberflächlich auftretende sekundäre Rutschungen können den gekrümmten Verlauf von NG-1_GAS erklären. Die Kurve von NG-3_GAS weist in 13-14 m Tiefe einen deutlichen Sprung auf, der einen Gleithorizont darstellt. Dieser Horizont kann den Übergang zum anstehenden Felsen darstellen, da aus der Höhenlage des Punktes NG-3_GAS (ca. 967 m.ü.A.) in einer Tiefe von 13- 14 m anstehender Fels vermutet werden kann (entspricht dem Niveau der Gasteiner Ache nahe der Fußgängerbrücke).

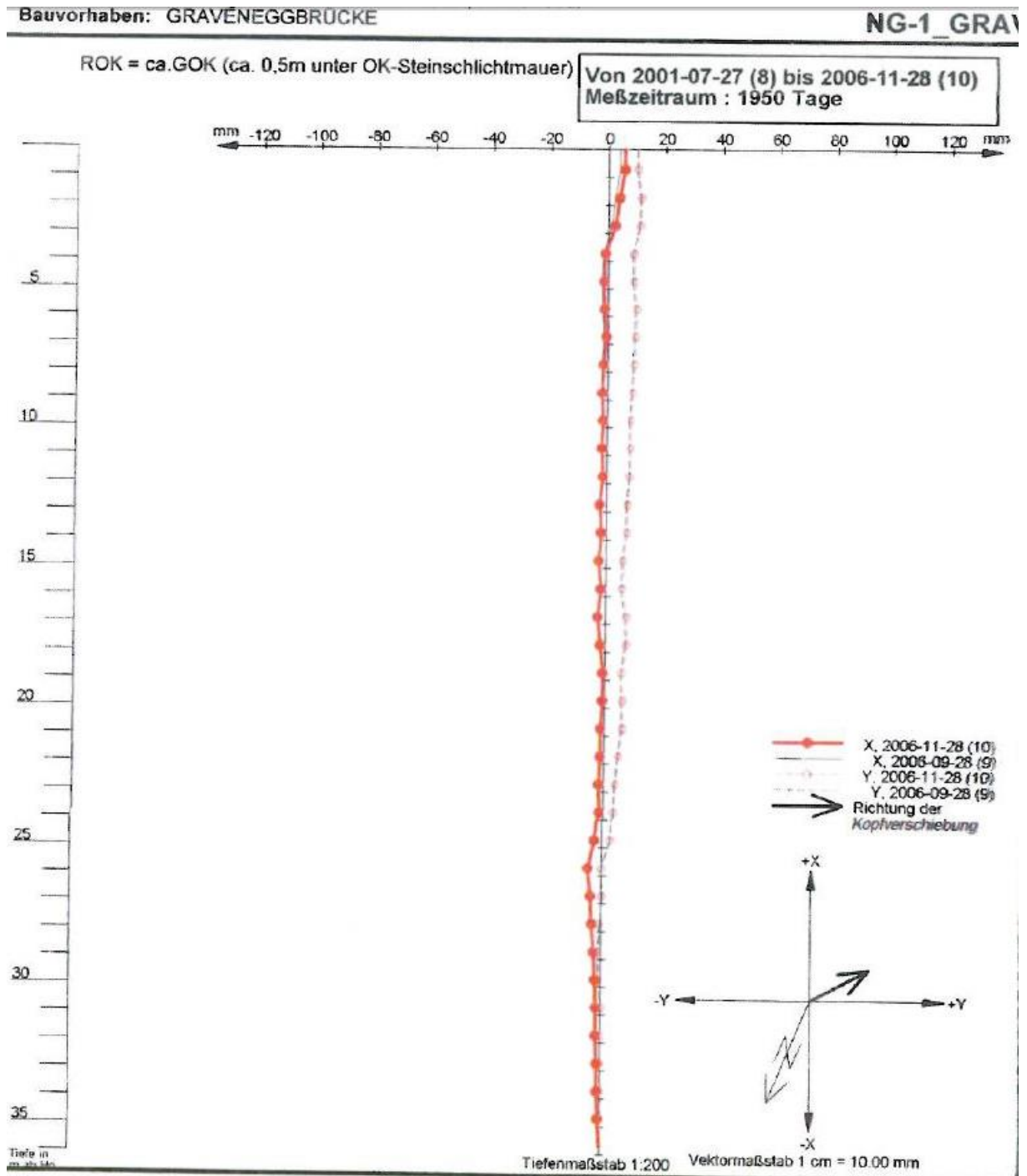


Abbildung 38 Summenlinie NG-1_GRAV, Messzeitraum 2001-2006 (1950 Tage) (bvfs 2006)

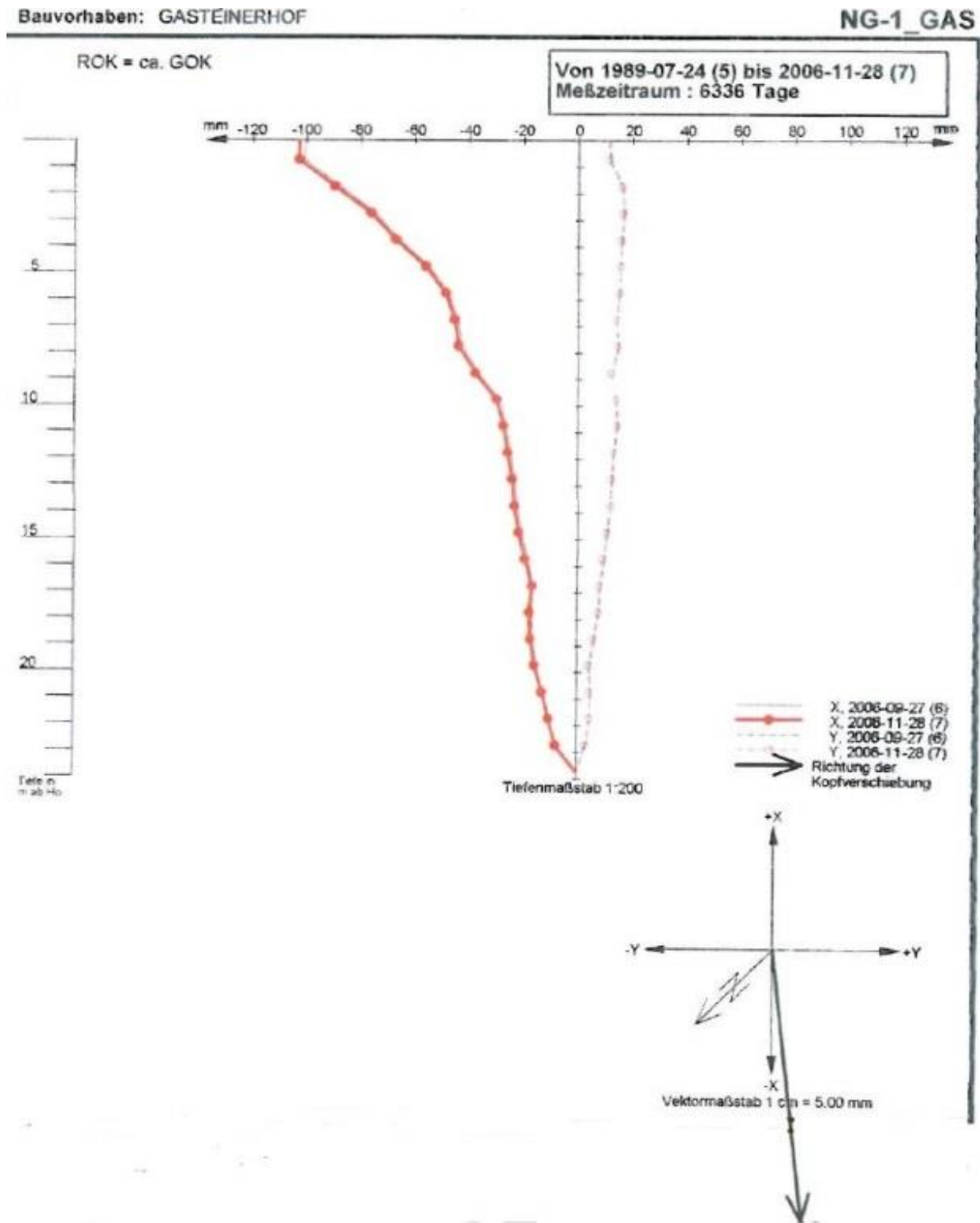


Abbildung 39 Summenlinie NG-1_GAS, Messzeitraum 1989-2006 (6336 Tage) (bvfs 2006)

Bauvorhaben: GASTEINERHOF

NG-2_GAS

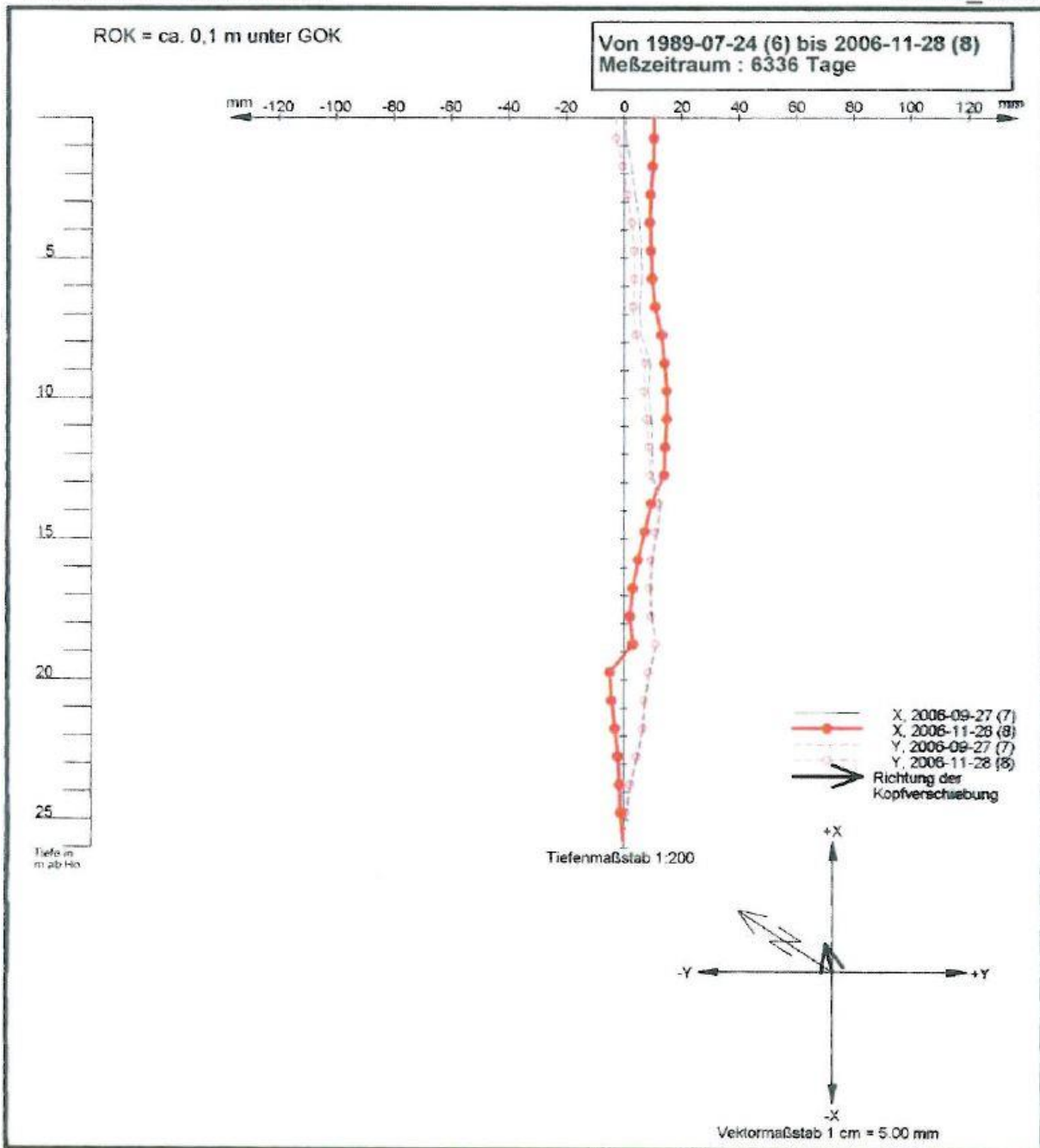


Abbildung 40 Summenlinie NG-2_GAS, Messzeitraum 1989-2006 (6336 Tage) (bvfs 2006)

Bauvorhaben: Gasteinerhof

NG-3

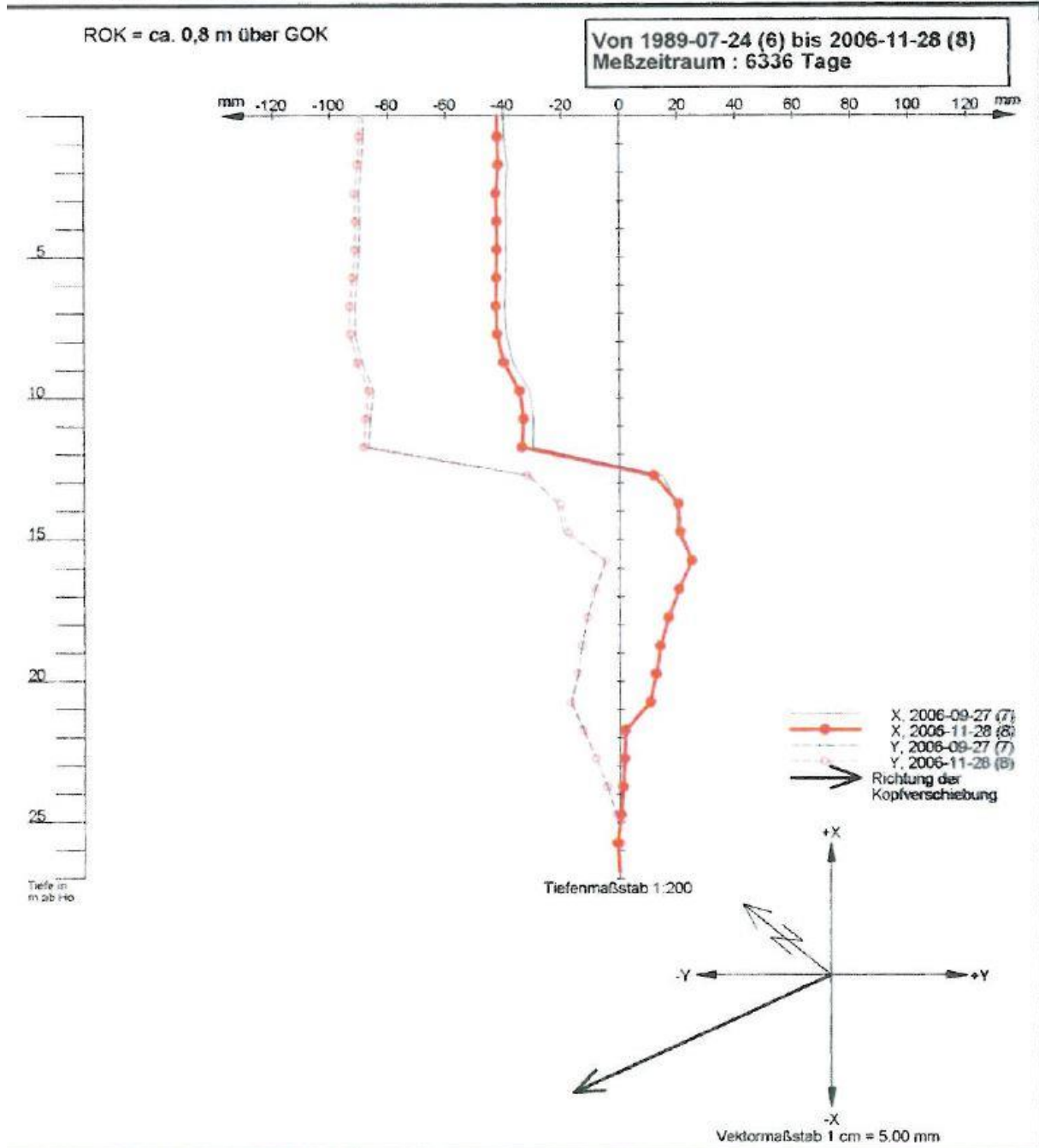


Abbildung 41 Summenlinie NG-3_GAS, Messzeitraum 1989-2006 (6336 Tage) (bvfs 2006)

4.1.4 Geophysikalische Untersuchungen

Zur Erfassung des Schichtaufbaus und Festlegung des Felshorizontes wurden auch refraktionsseismische und gravimetrische Untersuchungen durchgeführt. Bei refraktionsseismischen Untersuchungen werden die Laufzeiten von direkten und refraktierten seismischen Wellen gemessen. Dadurch kann die Tiefenlage einer Grenzfläche (Refraktor) bestimmt werden, sofern die seismische Geschwindigkeit des Refraktors höher ist. Ist also die Geschwindigkeit einer Schicht geringer als die der darüber liegenden Schicht, bleibt diese unsichtbar. Sobald der Schichtverlauf von Hangschutt über mehr oder weniger aufgelockertes Festgestein bis zu kompakten Fels stetig verläuft, sind die Messungen schwer zu interpretieren (Prinz und Strauss 2011).

Im Bereich des Rudolfs- und Franz Josef Stollens wurden 1977/78 refraktionsseismische Untersuchungen durchgeführt, um den Verlauf des anstehenden Fels festzustellen (siehe Abbildung 42). Die oberste Schicht stellt eine Verwitterungsschicht (Hangschutt) mit einer Mächtigkeit zwischen 1,5 m und 3 m dar. Die zugehörigen Wellengeschwindigkeiten belaufen sich auf 0,6 bis 0,95 km/s. Unterhalb können die Geschwindigkeiten von 4,5 bis 5,0 km/s anstehendem Fels zugeordnet werden. Die Felsoberkante besitzt dort ein starkes Relief und kann in ausgeprägten Eintiefungen teilweise überhaupt nicht festgestellt werden. Die Ergebnisse dieser Messung deuten aber darauf hin, dass die Überlagerung des Fels mit Hangschutt hangaufwärts an Mächtigkeit zunimmt (Figdor et al. 1990).

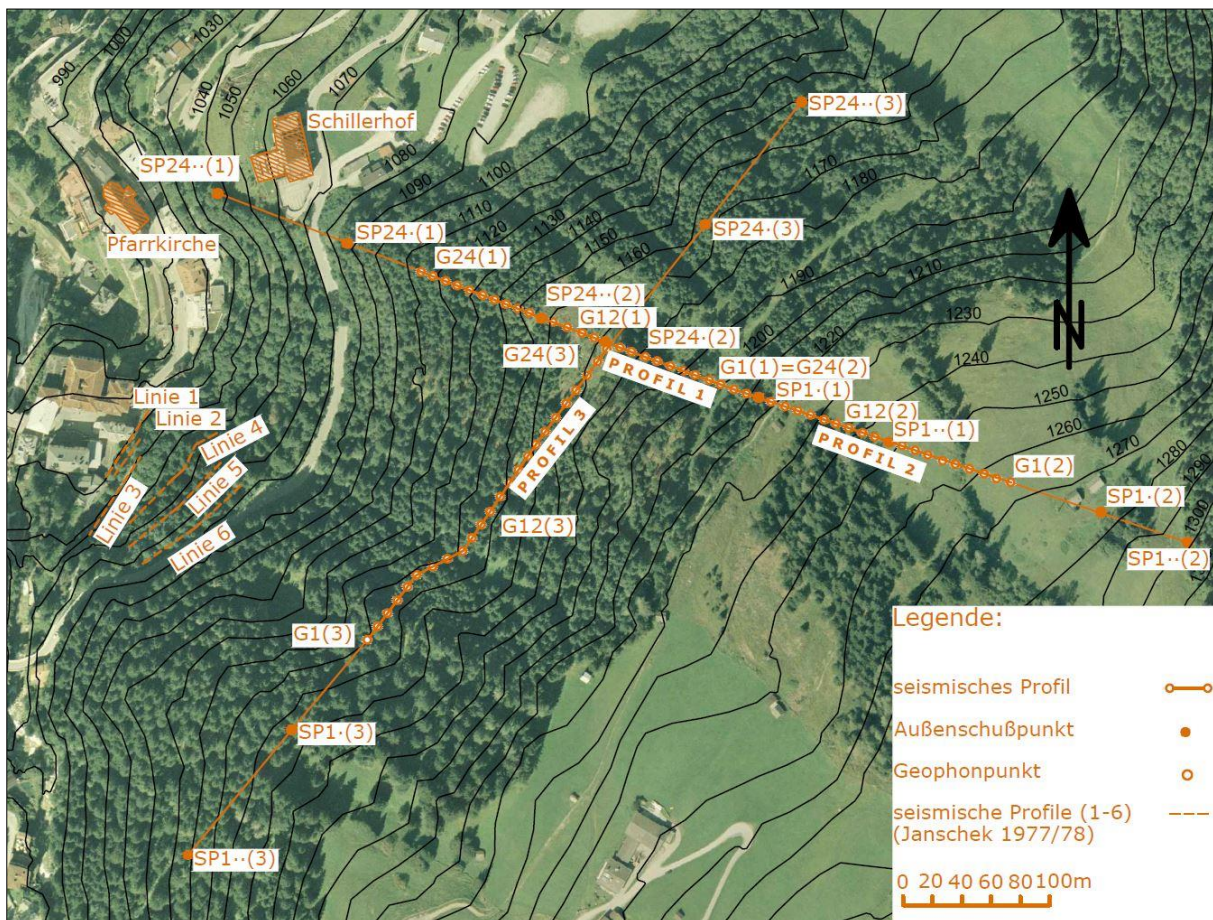


Abbildung 42 Seismische Profile in Bad Gastein (Figdor et al. 1990)

Die Messungen im Bereich des Hotels Gasteinerhof zeigen ebenso, dass die geringmächtige Überlagerung nahe der Gasteiner Ache abrupt auf eine Mächtigkeit von 40 bis 50 m zunimmt. Mit zunehmender Höhe ist die Felsoberkante dann gar nicht mehr zu sondieren (Figdor et al. 1990).

Eine weitere Messkampagne wurde von der Abteilung Geophysik der TU Wien durchgeführt. Es wurden entlang von drei Profillinien refraktionsseismische Untersuchungen durchgeführt. Profil 1 startet etwas oberhalb vom Schillerhof und läuft ca. 230 m quasi entlang der Falllinie hangaufwärts. In Verlängerung zu Profil 1 wurde Profil 2 ebenfalls mit ca. 230 m Länge angelegt. Das dritte Profil wurde quer zur Fallrichtung mit einer Länge von rund 280 m angeordnet (siehe Abbildung 42). Für jedes Profil wurden 24 Geophone im Abstand von 10 m (Profil 1 und 2) bzw. 12 m (Profil 3) angeordnet.

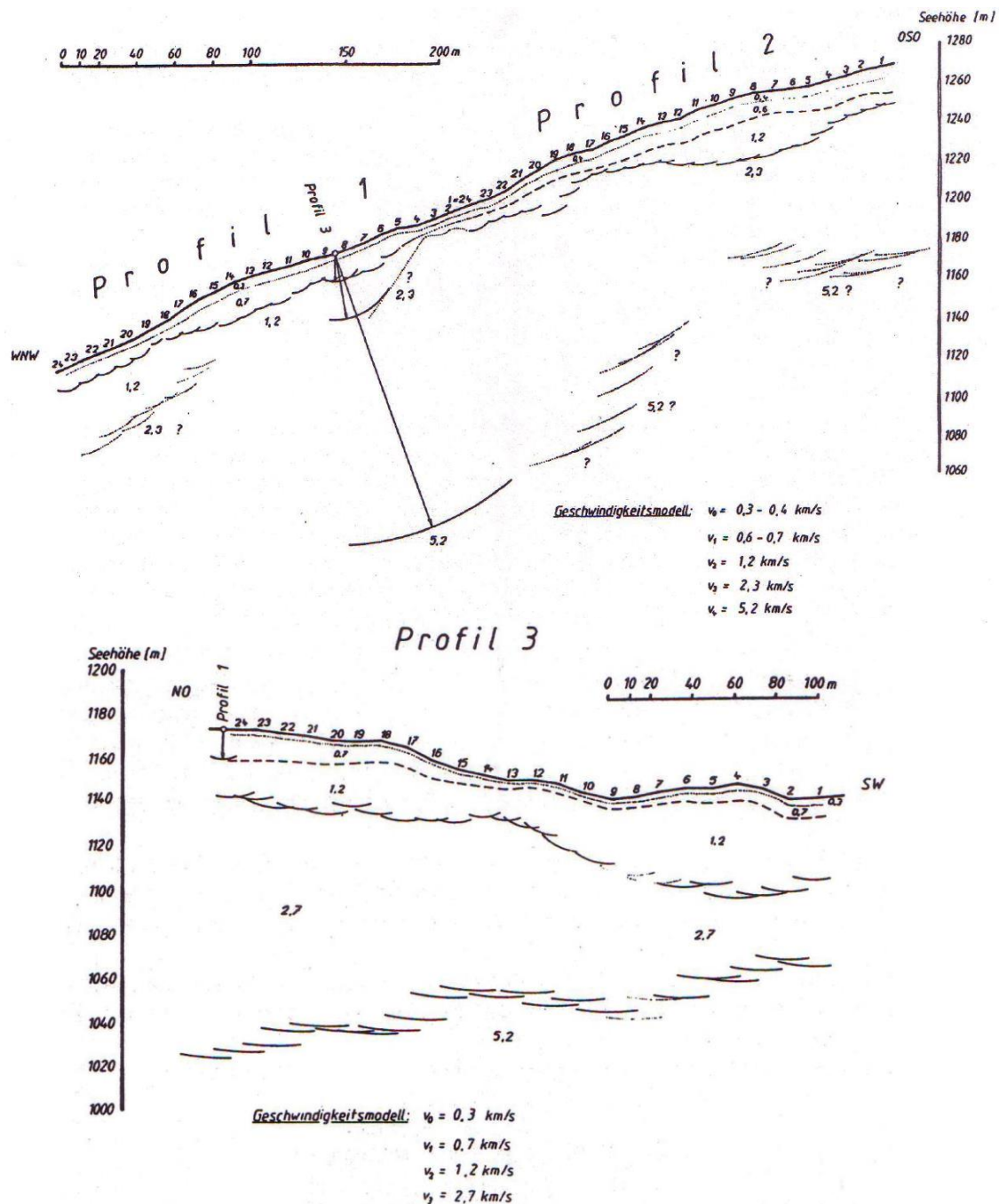


Abbildung 43 Geschwindigkeits-Tiefenmodelle für Profile 1, 2, 3 (Figdor et al. 1990)

Die folgenden Messergebnisse dieser refraktionsseismischen Untersuchung sind alle der Publikation von (Figdor et al. 1990) entnommen.

Für die Profile 1 und 2 ließen sich aufgrund der verschiedenen Ausbreitungsgeschwindigkeiten fünf unterschiedliche Schichten ableiten (Abbildung 43):

Die oberste Schicht mit einer Wellengeschwindigkeit von nur 0,3-0,4 km/s ist eine Lage Verwitterungsmaterial mit einer Mächtigkeit von 3 - 6 m. Die nächste Schicht, mit Geschwindigkeiten von 0,6-0,7 km/s, ist als Hangschutt zu deuten und reicht bis in Tiefe von 10-14 m. Diese Tiefen sind jedoch berechnete Schichtgrenzen aus den Interceptzeiten bei den Schußpunkten, da der Geophonabstand nicht dafür ausgelegt war, oberflächennahe Schichten zu erfassen.

Unterhalb dieser Schichten folgt eine Lage mit 1,2 km/s, welche im Bereich von Profil 1 sehr gut erfasst werden konnte. Im Bereich von Profil 2 sind die Messdaten unzureichend, daher ist die Schichtgrenze gestrichelt dargestellt. Der nächste Geschwindigkeitshorizont von 2,3 km/s lässt sich im Profil 2 und im oberen Bereich von Profil 1 feststellen. Eine mögliche Erklärung für das Fehlen dieses Horizonts im unteren Bereich (Geophon 5 bis 24) ist ein steiles Abtauchen dieser Schicht.

Für das Profil 3 ergibt sich ein ähnlicher Schichtaufbau wie für Profil 1 und 2. Der anstehende Fels konnte jedoch im Profil 3 durchgehend ausgemacht werden. Der kompakte Fels ist mit Wellengeschwindigkeiten von 5,2 km/s eingetragen.

Die Ergebnisse dieser Messung zeigen, dass sich der anstehende Fels etwa 100 m (max. 140 m) unter der Geländeoberkante befindet. Außerdem geht hervor, dass der Felsverlauf wohl stufenförmig ist. Die doch beachtlichen Lücken in den Tiefenmodellen können durch steil abfallende Felslinien oder aber auch Klüfte hervorgerufen werden. Die darüber liegende Schicht mit 2,3 km/s Wellengeschwindigkeit deutet auf aufgelockerten Felsen hin. Teils stark zerklüftete Bereiche sind möglich, da die Messungen ja teilweise keine eindeutigen Horizonte ausmachen konnten.

4.2 Mögliche Ursachen und „Trigger“ der Massenbewegungen

Die letzte Eiszeit steht in engem Zusammenhang mit der Massenbewegung. Durch den Rückzug der Gletscher und das Entlasten der Bergflanken konnte die Bewegung starten. Es besteht die Möglichkeit, dass die Gasteiner Ache früher ein Flussbett weiter östlich hatte. Das bedeutet, dass der früher vorzufindende Talboden etwas breiter ausgebildet war. Die Eiszeit bewirkte eine Übersteilung der Hänge, was nach dem Abschmelzen des Eispanzers wiederum zu Hangrutschungen und Bergstürzen führte. Es ist möglich, dass der Graukogel nach und nach das alte Flussbett der Gasteiner Ache überkroch und schließlich den Fluss bei der Pyrkerhöhe komplett abgeschnitten hat. Die Pyrkerhöhe stellt einen Härtling dar, also einen härteren Felsabschnitt, welcher mehr Widerstand gegen die Glazialerosion leisten konnte. Durch das Verlegen des Flussbettes wurde die Gasteiner Ache aufgestaut, was durch die Stillwassersedimente im oberen Bereich (z. B. Bahnhof, Gemeinde) belegt ist. Nach und nach wurde das Becken aufgefüllt, während die Ache nach dem Talriegel der Pyrkerhöhe den Fuß des Graukogels erodierte, da das alte Bett zugelegt war. In Abbildung 44 ist eine Modellvorstellung zu diesem Bewegungsablauf dargestellt. Exner (1956) bezeichnet diesen Härtling als mögliche tektonisch verstellte Scholle.

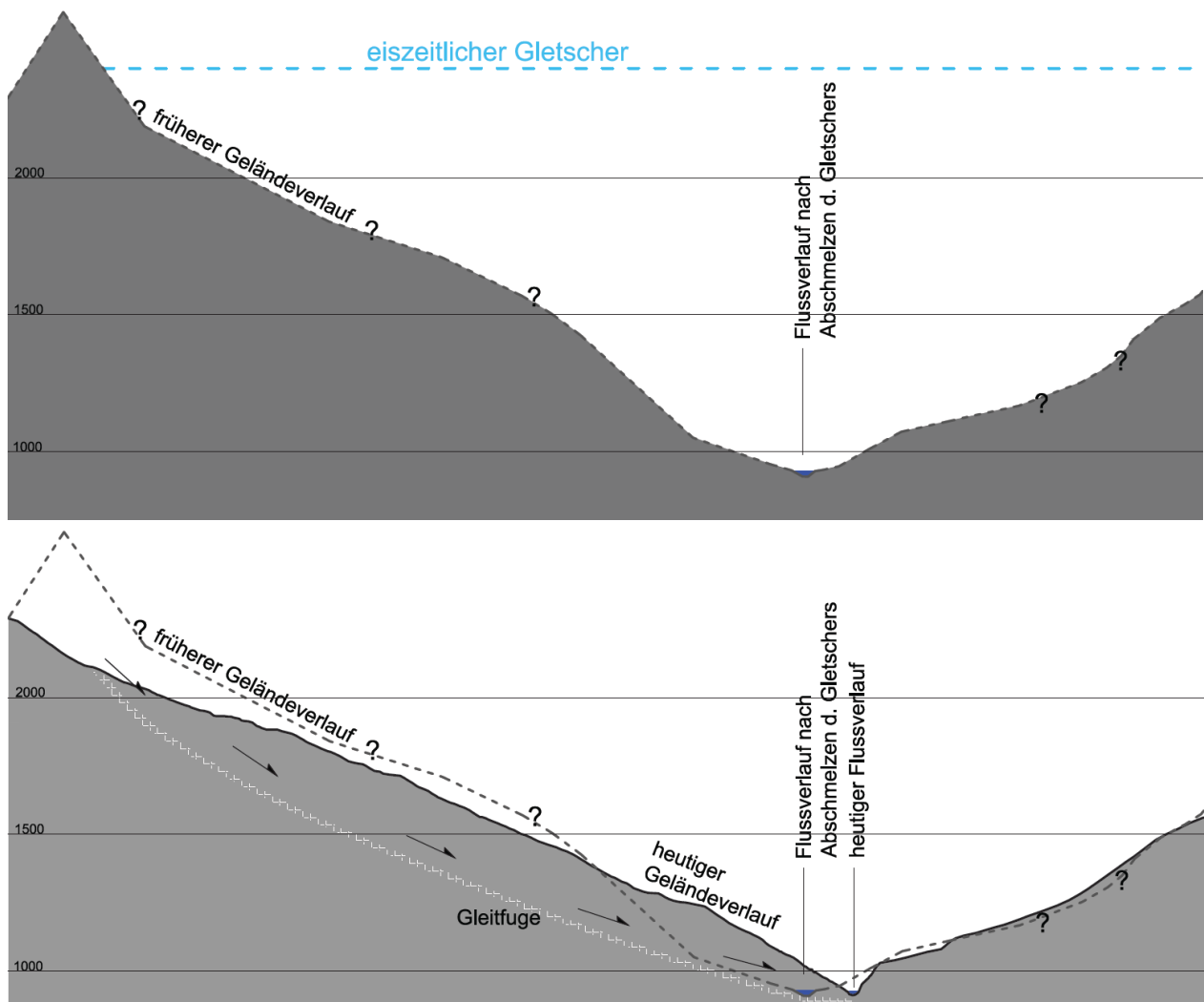


Abbildung 44 Modellvorstellung zum Ablauf der Massenbewegung - Geländeverlauf unmittelbar nach Abschmelzen des Eispanzers (oben), Geländeverlauf nach Talzusub (unten)

4.2.1 Die Massenbewegung als interglazialer Bergsturz

Die Granitgneise sind auf den Glimmerschiefern der Woisgenzone abgerutscht und liegen nun als Bergsturzblockwerk vor. Die Abrissfuge am Graukogel befindet sich in der NW-Flanke (Abbildung 45). In der Abrisszone lassen sich glaziale Kritzer auf den Glimmerschieferplatten in der NW-Flanke auf 2100 m Seehöhe feststellen. In Tal und Bergregion lassen sich Reste der Moräne mit Zentralgneisfindlingen (Forellengneis und porphyrischer Gneisgranit aus dem Anlaufstal) feststellen, womit die Bewegung als interglaziales und postglaziales Ereignis eingestuft werden kann (Exner,1956).

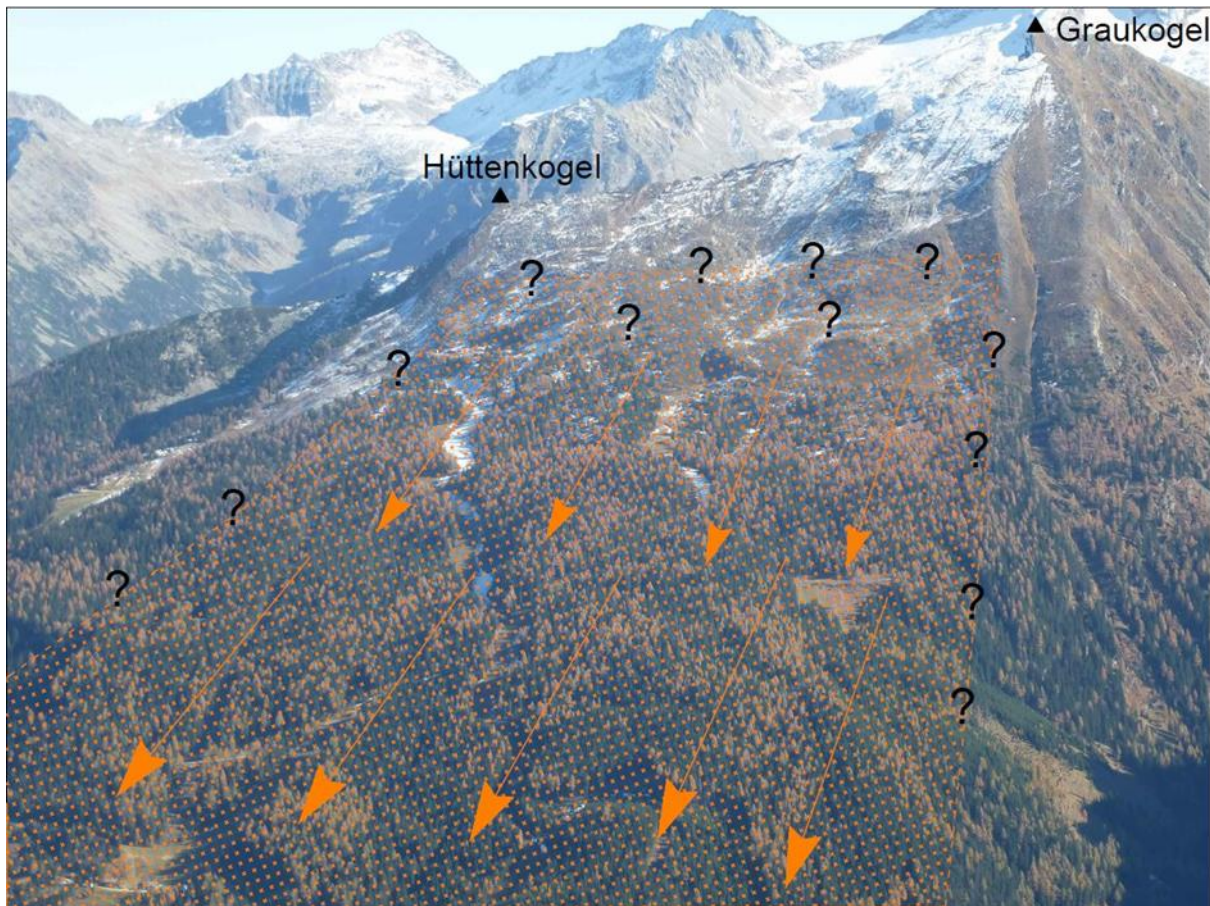


Abbildung 45 Nordwestflanke mit möglicher Abrisszone und Verschiebungsrichtung

4.3 Versuch einer geologisch/geotechnischen Modellierung im Modellversuch

Als unterstützende Arbeit wurde im Zuge dieser Masterarbeit ein Masterprojekt „Base Friction Modellversuch – Modellierung und qualitative Untersuchungen zu Massenbewegungen im Gasteinertal“ erstellt. Die Informationen in diesem Kapitel bauen auf (Pichler 2013) und (Goricki 1999). Weitere Quellen sind im Text separat vermerkt.

Die Idee des Base Friction Konzepts ist die durch Gravitation entstehenden vertikalen Körperkräfte durch analog wirkende, horizontale Reibungskräfte zu ersetzen. Dazu wird gedanklich eine dünne vertikale Scheibe einer in der Natur vorkommenden Gebirgsmasse herausgeschnitten, in die horizontale Ebene geklappt und in weiterer Folge ebenenparallel belastet.

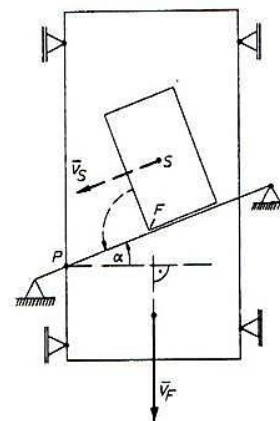
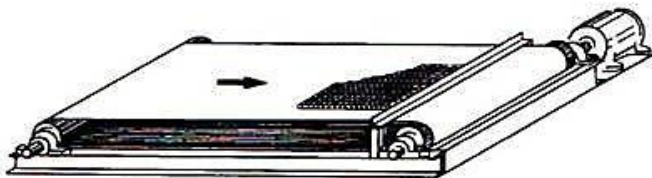


Abbildung 46: Links: Versuchsprinzip nach (Egger 1984), Rechts: Schematischer Grundriss Base Friction Apparat (Spang 1976)

Dieses Modell basiert auf der horizontalen Flächenkraft, die durch einen Reibungsuntergrund auf den Modellkörper aufgebracht wird. Ein endloses Reibungsband wird unter dem Versuchskörper horizontal verschoben und belastet den in vertikale Richtung nur durch Eigengewicht beeinflussten Körper durch Reibungskräfte. Aufgrund dieser Relativbewegung wird der Versuchskörper horizontal mit einer Kraft beaufschlagt (siehe Abbildung 46, links). Die in der Natur wirkenden Gravitationskräfte können durch diese Reibungskräfte qualitativ simuliert werden.

Abbildung 46 (rechts) zeigt den Grundriss eines Base Friction Geräts. Der Modellkörper liegt an einem fest verankerten Balken, der mit dem Winkel α zur Normalen auf die Vorschubrichtung v_f geneigt ist. Somit ergeben sich zwei mögliche Bewegungen des Modellkörpers:

- Gleiten entlang des Balkens mit der Geschwindigkeit v_s
- Kippen um den Fußpunkt F.

4.3.1 Mechanische Grundlagen

Statischer Zustand

Wie in Abbildung 46 (rechts) beschrieben, wird das Modell durch die Basisreibungskraft R in der horizontalen Ebene belastet:

$$G = \gamma * t * l * b$$

R ergibt sich unter der Einwirkung des Eigengewichts zu:

$$R = \mu_0 * \gamma * t * l * b = \mu_0 * \gamma * V = \mu_0 * G$$

μ_0 Reibungswiderstand zwischen Basisfläche und Modell

γ Wichte des Modellmaterials

t, l, b Dicke, Länge, Breite des Modells

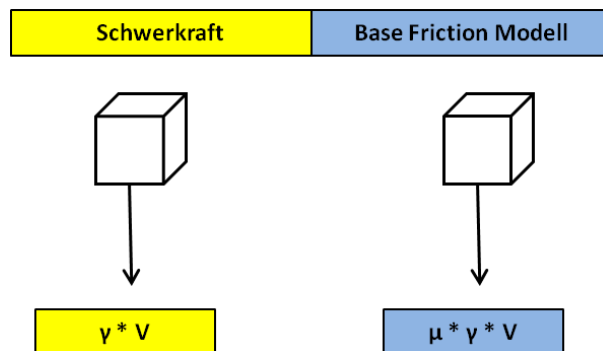


Abbildung 47: Analogie Base Friction Modell zum natürlichen Schwerkraftsystem, vgl. (Goricki 1999)

In Abbildung 47 ist die Analogie des Base Friction Modells zum natürlichen Schwerkraftsystem dargestellt.

Zustand an der schiefen Ebene

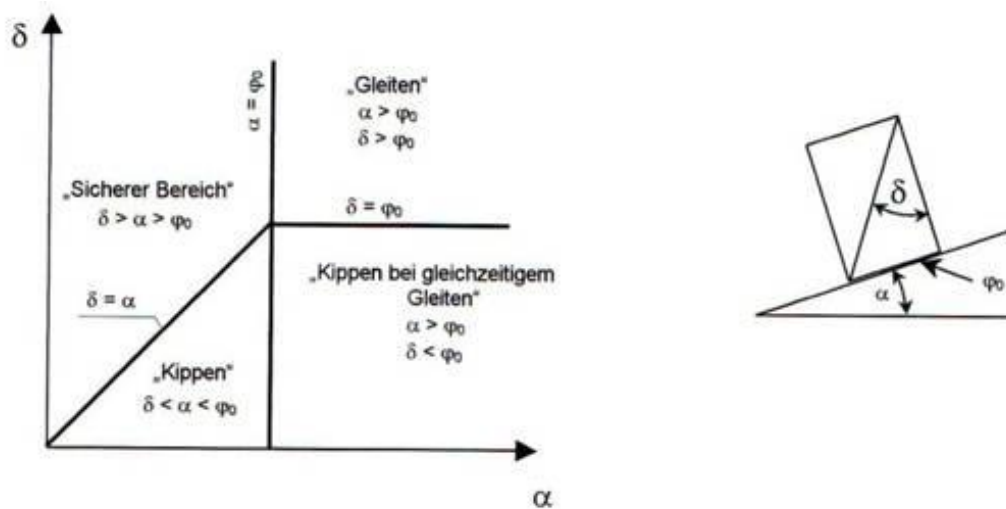


Abbildung 48: Bewegungszustände an der schiefen Ebene (Goricki 1999)

Zur einfacheren Darstellung wird das Stabilitätsdiagramm für ein Einkörpersystem an der Schiefen Ebene, wie in Abbildung 48 dargestellt, betrachtet. In Abhängigkeit von den variablen Winkeln α , δ und φ_0 kann man die entstehenden Bewegungen in vier verschiedene Bereiche unterteilen: "Kippen", "Gleiten", "Kippen bei gleichzeitigem Gleiten" und "sicherer Bereich" ohne Bewegung. Abbildung 48 zeigt die Berücksichtigung variabler Winkel im Modell, dadurch lassen sich die Bereiche der jeweiligen Mechanismen klar abgrenzen.

4.3.2 Versuchsanordnung

Base Friction Apparat

Das Gerät besteht aus einem stabilen Tragrahmen mit einer Holzplatte, auf der ein Endlosband um zwei Tragrollen läuft (siehe Abbildung 49 links). Eine dieser Tragrollen wird über eine Kette von einem Motor elektrisch angetrieben, der es erlaubt, variable Umdrehungsgeschwindigkeiten einzustellen. Die andere Rolle ist mit einer Vorrichtung zum Spannen des Reibungsbandes versehen. Auf das Reibungsband wird ein Rahmen aufgelegt und am unteren Tragrahmen befestigt. Dieser Rahmen hat eine Abmessung von 60 mal 70 cm, in den das Modell eingebaut wird. Der Versuchsrahmen wurde zur einfachen Handhabung auf eine mobile Unterkonstruktion aufgebaut. Zur Dokumentation kam eine hochauflösende, computergesteuerte Kamera zum Einsatz.



Abbildung 49: Base Friction Maschine (links); Steuerungseinheit (rechts)

Modellmaßstab

Die durchgeführten Versuche am Base Friction Gerät stellen nicht den Anspruch, Spannungen maßstäblich zwischen Modell und Prototyp zu vergleichen, sondern sollen Bruchmechanismen und Versagensszenarien von den in der Natur vorkommenden Gebirgsstrukturen qualitativ darstellen. Es ist nicht möglich, die im Modell erzeugten Spannungszustände exakt mit jenen des Prototyps zu vergleichen. Um dennoch die Abhängigkeitsbeziehungen der wirkenden Kräfte beschreiben zu können, ist es notwendig, sich der Modellgesetze zu bedienen. Ihre Aufgabe ist es, eine Beziehung zwischen den geometrischen und zeitlichen Größen der beiden Vergleichsvorgänge zu beschreiben.

Dynamisches Grundgesetz:

$$\mathbf{Kraft} = \mathbf{Masse} \times \mathbf{Beschleunigung}$$

Voraussetzung für einen mechanisch ähnlichen Verlauf ist es, dass die Bewegungen des Prototyps und des Modells dem dynamischen Grundgesetz folgen. Des Weiteren müssen folgende Ähnlichkeiten erfüllt werden:

- **Geometrische Ähnlichkeit** $L_{Modell} = \Lambda * L_{Prototyp}$
- **Kräfteähnlichkeit** $K_{Modell} = \Pi * K_{Prototyp}$
- **Zeitliche Ähnlichkeit** $T_{Modell} = T * T_{Prototyp}$
- **Thermische Ähnlichkeit** $C_{Modell} = Z * C_{Prototyp}$

Da in dieser Versuchsreihe die relevanten Größen weitgehend zeitinvariant sind, beschränkt sich die Einhaltung der Modellgesetze ausschließlich auf die geometrischen Maßstabsfaktoren. Somit ist die Riabucinski-Buckingham-Beziehung erfüllt, welche besagt, dass sämtliche dimensionslosen Größen (Reibungswinkel, Poisson-Zahl, Winkel, Drehungen) sowohl im Prototyp, als auch im Modell den gleichen Wert aufweisen müssen. Eine ausführlichere Beschreibung dieser Ähnlichkeitsbeziehungen liefert Goricki (1999).

Modellmaterial

Um die in der Natur auftretenden Gesteinstypen so realitätsnah wie möglich nachbilden zu können, ist es wichtig, dass richtige Modellmaterial auszuwählen.

Folgende Anforderungen und Eigenschaften soll das Modellmaterial aufweisen:

- Es dürfen keine Bewegungen aus der Modellebene heraus stattfinden (in y -Richtung)
- Die Eigenschaften natürlicher Gesteinstypen sollen bestmöglich simuliert werden
- Es darf zu keiner zeitabhängigen Änderung der Modelleigenschaften kommen
- Die Herstellung soll sich einfach und nachvollziehbar gestalten
- Die Modelleigenschaften können durch Variation der Anteile der Gemischkomponenten gesteuert werden.

Diese Versuchsreihe wurde in Anlehnung an (Goricki 1999) mit einer Mischung aus Sand, Mehl und Öl durchgeführt. Die Mischung der Komponenten wurde nach folgendem Gewichtsverhältnis vorgenommen:

1 kg Mehl – 1 kg Sand – 0,2 l Öl

Der Einbau des Materials hat großen Einfluss auf den Versuchsablauf, da Reibungswinkel, Kohäsion und Dichte stark variieren können. Der innere Reibungswinkel lässt sich mit $\varphi=40^\circ$ abschätzen. Um die Strukturen im Graukogel so realistisch wie möglich nachzubilden, wurden Keile aus Holz verwendet, um den festen Fels zu simulieren. Die darauf lagernden Schichten aus Schiefer, Gneis und Hangschutt wurden mit dem oben angeführten Modellmaterial eingebaut. Für eine detaillierte Darstellung (z.B. Unterscheidung Blockwerk – Lockergestein) war jedoch der Modellmaßstab zu klein. Es wurde in erster Linie darauf Wert gelegt, die geometrischen Rahmenbedingungen zu erfüllen (Verhältnis Höhe – Länge des Hanges). Durch Einlegen von glatten Kunststoffplättchen konnte die Reibung zwischen den Schichten herabgesetzt werden.

4.3.3 Modellbeschreibung Versuch A

In diesem Modellversuch werden Gebirgsmassen aus Lockergestein, Blockwerk und Schieferpaketen als weiche Schichten modelliert. Diese weichen Schichten liegen auf vordefinierten gerundeten Gleitbahnen auf. Auch hier wurde versucht, mittels glatter Kunststoffplättchen die Reibung innerhalb der Schicht zu minimieren und somit die in der Natur auftretenden Kalkglimmerschiefergleitbahnen zu simulieren. Diese Gleitbahnen flachen auf ca. 20° ab, was eine Annäherung auf die flach einfallende Schieferung im Tal darstellen soll.

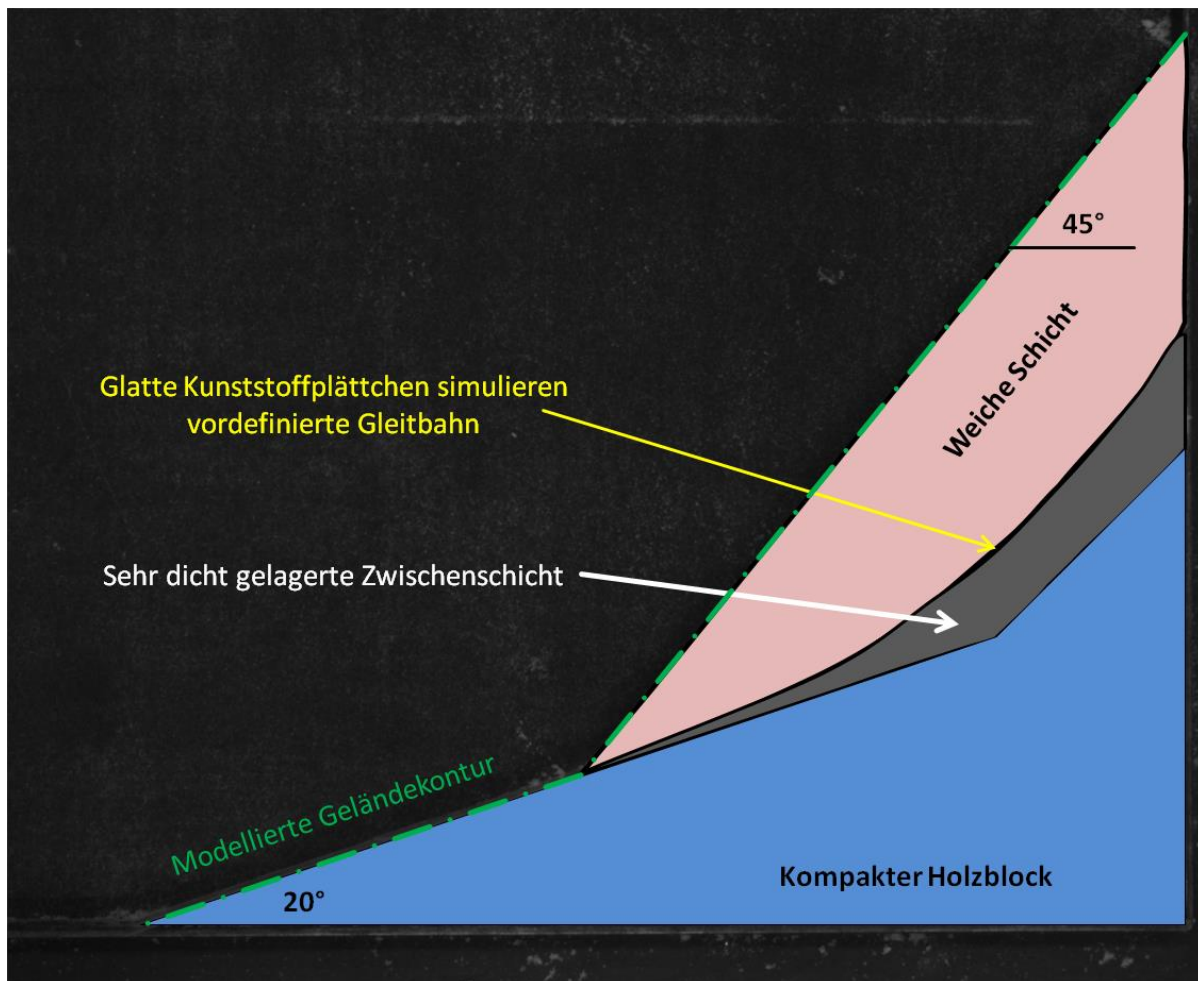


Abbildung 50: Modell Versuch A (Pichler 2013)

Es kann angenommen werden, dass das Lockergestein und Blockwerk am Hang früher den Grat und Gipfel des Graukogels aufgebaut haben. Der Gipfel war somit wesentlich höher als heute. Die steile NW-Flanke des Graukogels wird von den steil stehenden Schieferplatten (ca. $40-45^\circ$) dominiert. Durch Abrutschen an den Gleitbahnen wurden Schieferpakete zerstört und stellen jetzt, auch aufgrund von Verwitterung und Erosion, den Hangschutt am Graukogel dar.

4.3.4 Modellversuch A – Auswertung

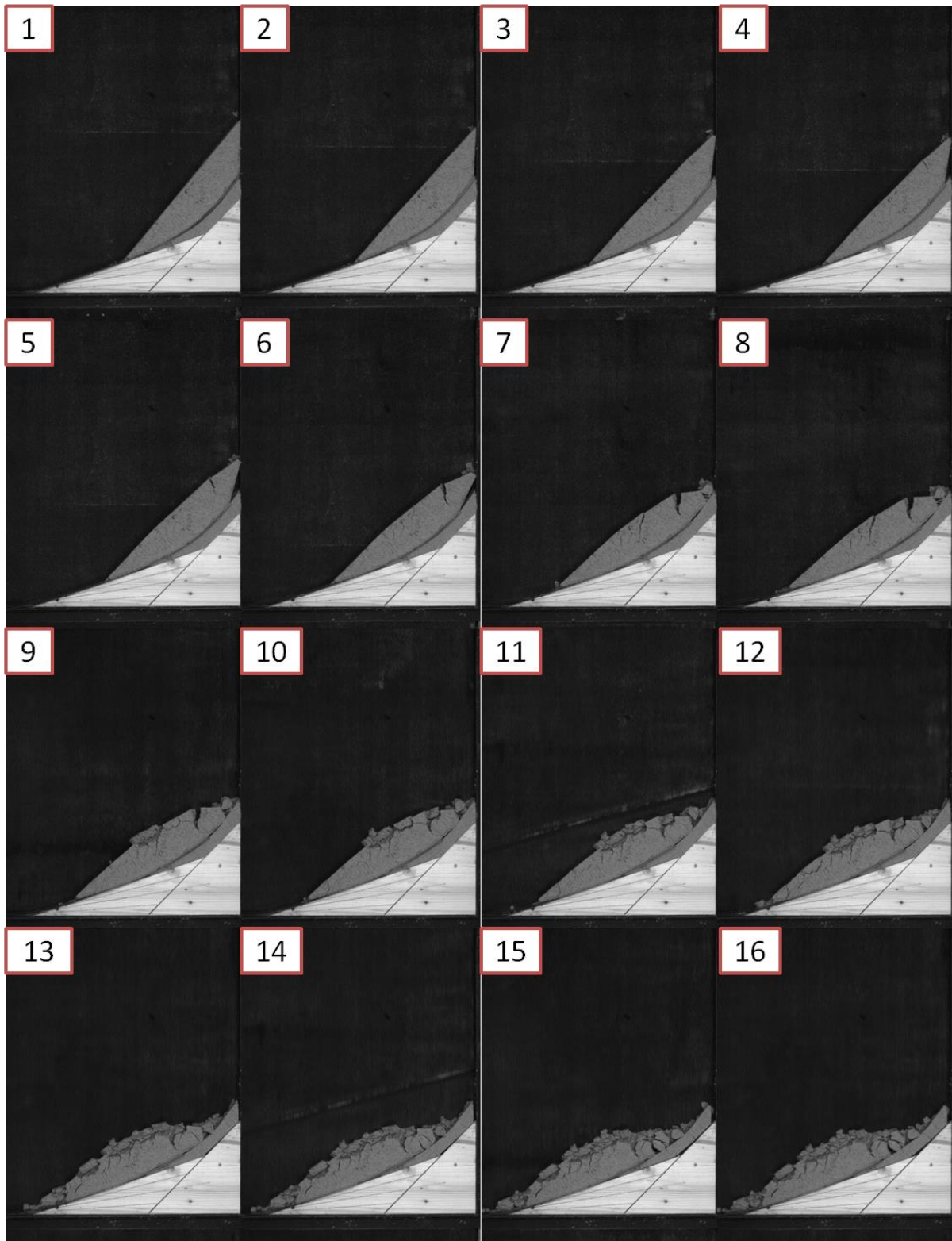


Abbildung 51: Aufnahmen während Durchführung Versuch A (Pichler 2013)

1**2****3**

Das gesamte, noch zusammenhängende Schichtpaket beginnt entlang der vordefinierten Gleitbahn abzurutschen.

4**5****6**

Es kommt zu ersten Rissbildungen im oberen Bereich. Aufgrund der Talbewegung kippt der obere Bereich nach rechts weg.

7**8**

Erste Rissbildungen, mittlerweile auch im unteren Bereich. Vor allem im oberen Bereich werden die Risse immer größer. Das gesamte Paket bewegt sich zusammenhängend Richtung Tal.

9**10****11****12****13****14**

Die Zerrüttung an der Oberfläche der weichen Schicht nimmt zu und es kommt zu einer kontinuierlichen Bildung weiterer Risse.

15**16**

Mittlerweile ziehen sich Risse durch den gesamten Modellkörper und es kommt zur Auflösung des kompakten Materials. Die endgültige Modellkontur weist im oberen Bereich eine leichte Plateaubildung auf.

Interpretation Versuch A

Die nach Beendigung des Versuchs erhaltene Form entspricht annähernd dem Abbild des Graukogels mit seinen steilen Schieferplatten im Kopfbereich und anschließender Verflachung weiter talwärts. Weiters zeigt sich sowohl die Zerrüttung, als auch die Auflockerung der Gesteinspakete. Die endgültige Kontur des Modellversuchs entspricht annähernd der heutigen, natürlichen Form des Graukogels.

4.3.5 Modellbeschreibung Versuch B

Diese Versuchsanordnung kann als Variantenstudie zu Modell A angesehen werden. Hierbei wurde versucht, das weiche Schichtpaket durch Einlegen glatter Kunststoffplättchen in mehrere voneinander unabhängige Einzelpakete zu unterteilen. Durch Herabsetzen der "inneren" Reibung sollten die Relativverschiebungen zwischen den einzelnen Schichtpaketen veranschaulicht werden.

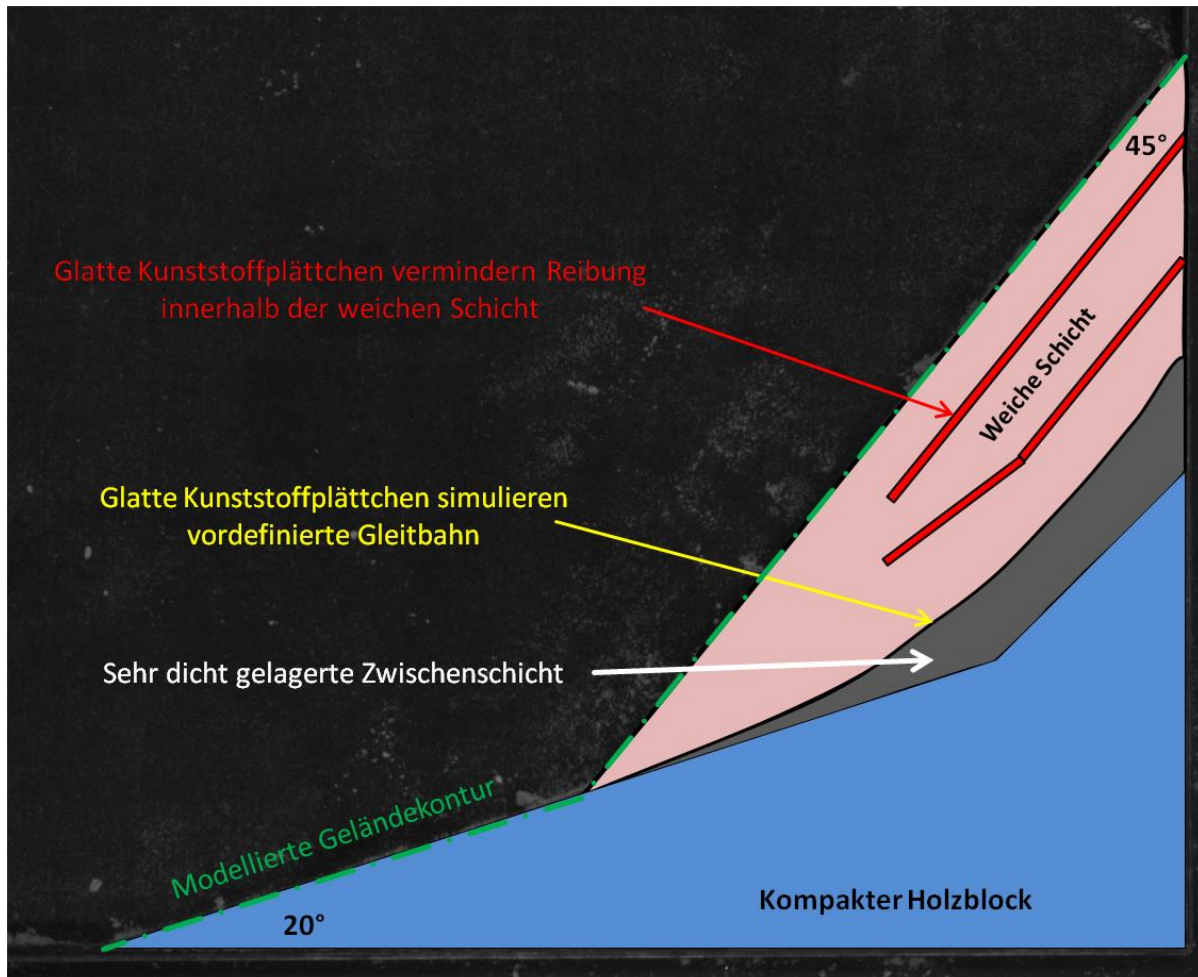


Abbildung 52: Modell Versuch B (Pichler 2013)

4.3.6 Modellversuch B – Auswertung

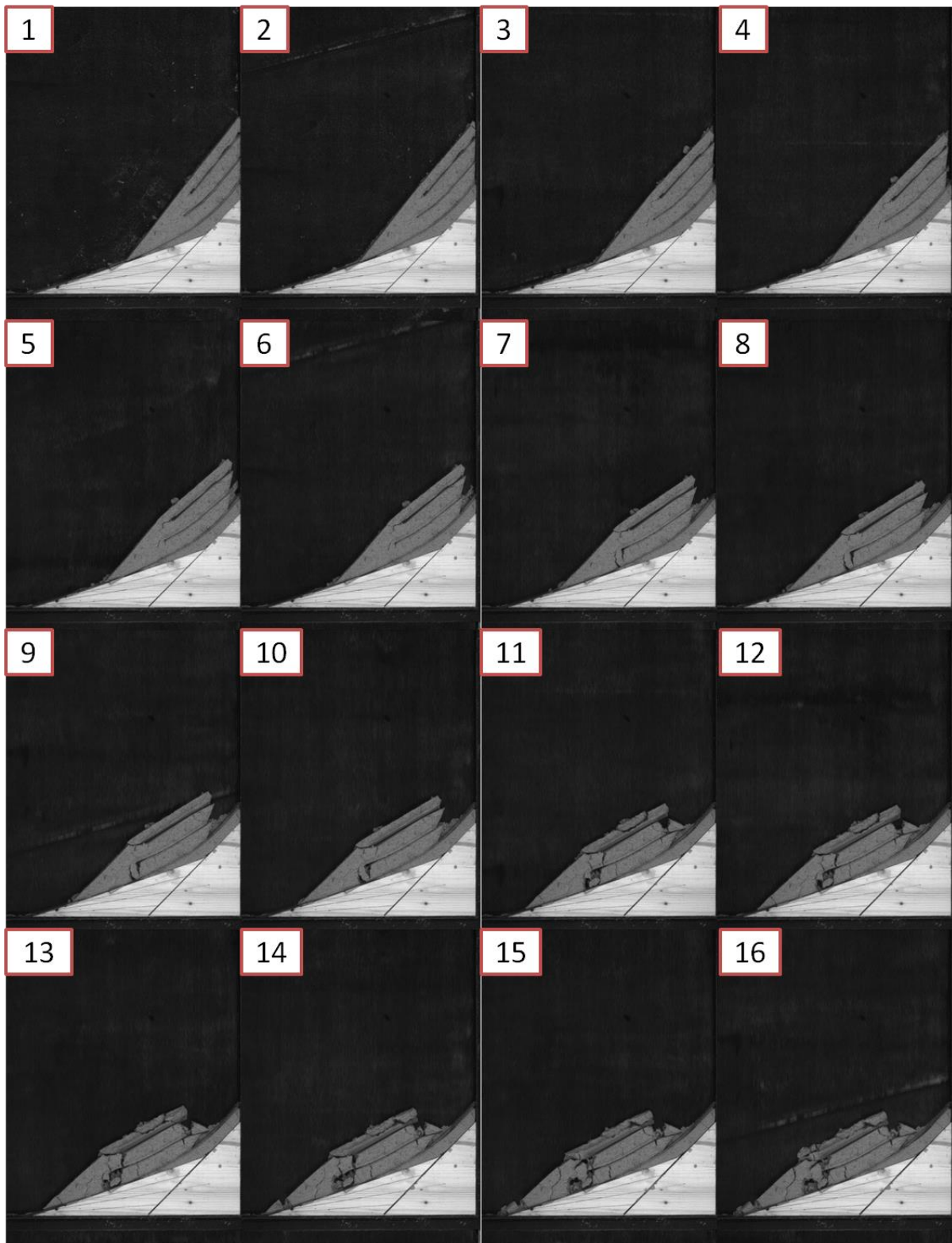


Abbildung 53: Aufnahmen während Durchführung Versuch B (Pichler 2013)

- 1** Es kommt zum Abrutschen des gesamten Schichtpakets. Es sind keine relativen Verschiebungen zwischen den einzelnen Schichten ersichtlich, allerdings kommt es zu leichten Rissbildungen zwischen dem durch Kunststoffplättchen getrennten und "stützenden" homogenen Bereich.
- 2**
- 3** Unter kontinuierlichem Abrutschen des gesamten Modellkörpers kommt es zu einer fortschreitenden Rissbildung im Übergangsbereich zwischen dem geteilten und dem zusammenhängenden Modellbereich.
- 4**
- 5**
- 6**
- 7**
- 8** Das oberste Schichtpaket beginnt nach unten zu wandern, es kommt zu ersten Relativverschiebungen. Innerhalb des getrennten Bereichs kommt es zu ersten Rissbildungen. Vor allem der Übergangsbereich weist eine verstärkte Rissbildung auf.
- 9**
- 10**
- 11** Während es zu ersten oberflächlichen Zerlegungserscheinungen im oberen Modellkörper kommt, rutscht das durch Plättchen getrennte Schichtpaket weiter nach unten, wird allerdings vom "homogenen" Modellkörper gestützt.
- 12**
- 13**
- 14** Aufgrund der enormen Rissbildung, nahezu durch den gesamten Modellkörper, kommt es zu Auflösungserscheinungen.
- 15**
- 16**

Interpretation Versuch B

Aufgrund von Relativverschiebungen gleitet das oberste Schichtpaket stärker als die darunterliegenden. Obwohl der gesamte Modellkörper mit durchgehenden Rissen durchzogen ist, werden die einzelnen Zwischenschichten zusammengehalten. Die eingelegten Kunststoffplättchen führen quasi zu

einer "Bewegungswirkung". Im Vergleich zu Versuch A zeigt die Endkontur in diesem Versuch, aufgrund vorher genannter Probleme, nur annäherungsweise die naturnahe Form des Graukogels.

4.3.7 Modellbeschreibung Versuch C

In diesem Versuch wurde unter Verwendung von Gewichten ein "Unterströmen" des Holzblockes mit weicher Modellmasse verhindert. Ein zusätzlicher Abstand zum Versuchsrahmen, hergestellt mit Abstandhaltern aus Holz, soll den Einfluss bereits abgetragenen Modellmaterials auf die Versuchsanordnung minimieren. Dies kann als Erosionswirkung eines Gewässers interpretiert werden.

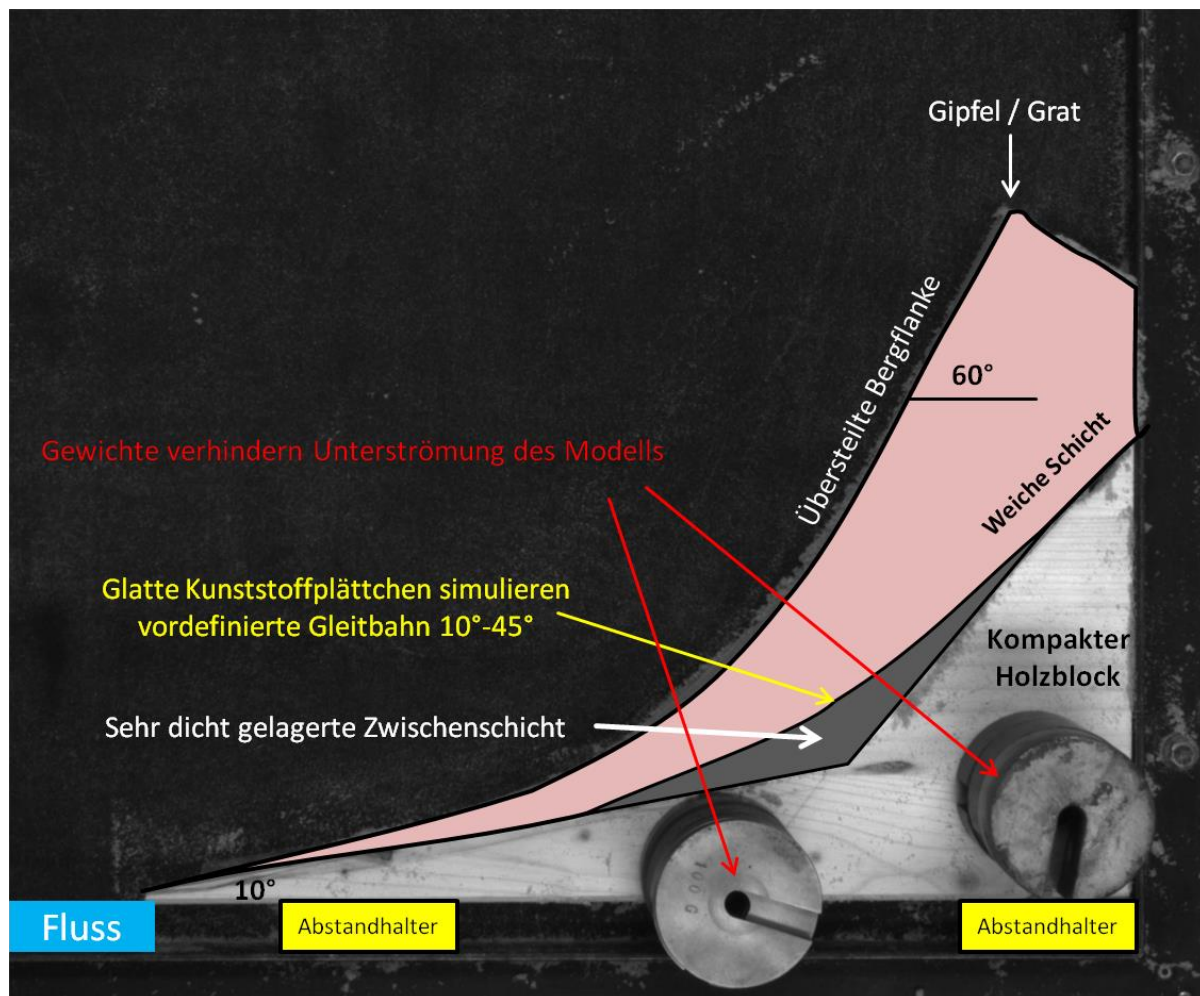


Abbildung 54: Modell Versuch C (Pichler 2013)

Wie in Abbildung 54 dargestellt, soll eine übersteilte Bergflanke (bis zu 60°) einen postglazialen Zustand darstellen, bevor es in weiterer Folge zu einem Talzusub gekommen ist. Durch die Erosionswirkung des Gletschers wurde der Hang übersteilt und nach Abschmelzen der Eismassen instabil. Der Holzkeil wurde auf 10° abgeflacht um die im Tal vorherrschende Orientierung des Gneis besser zu modellieren. Die Gleitbahn weist einen abgerundeten Übergang vom Tal (10°) bis zum Gipfel (45°) auf.

4.3.8 Modellversuch C – Auswertung

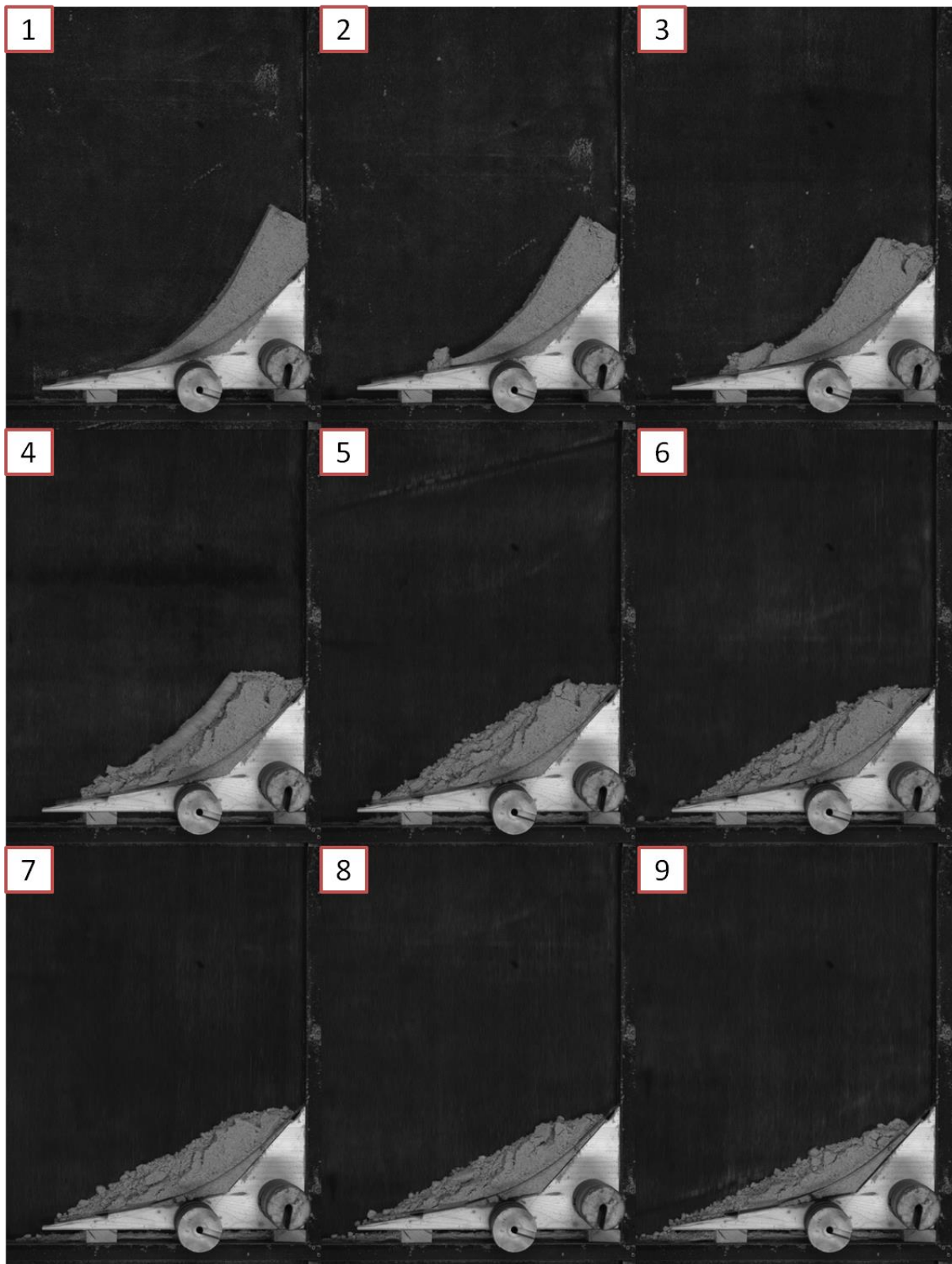


Abbildung 55: Aufnahmen während Durchführung Modell C (Pichler 2013)

1**2**

Die Rutschung des gesamten Modellkörpers beginnt.

3

Es kommt zu ersten Rissbildungen im Kopfbereich und einem Abreißen erster Modellmassen im Fußbereich.

4**5****6**

Der Modellkörper zeigt ein kontinuierliches Abflachen der steilen Flanken, was die Ausbildung eines Plateaus im ehemaligen Bereich des Gipfels zur Folge hat.

7**8****9**

Durch den zusätzlichen Abstand zum Modellrahmen und dem Einfluss des simulierten Gewässers kommt es zu fortschreitenden Verlusten von Modellmaterial. Das Modell weist nun viel weniger Masse als im Anfangszustand auf. Das Plateau löst sich allmählich auf und es kommt zu einer finalen Flankenneigung von ungefähr 25°.

Interpretation Versuch C

Der Einfluss des Gewässers auf den Graukogel kann in diesem Versuchsablauf sehr gut beobachtet werden. Dadurch entfällt, im Gegensatz zu Versuch A und B, die "Stützwirkung" bereits abgetragenen Materials. Die allmähliche Selbstregulierung der steilen Talflanken zu der finalen Neigung von 25° im Endzustand ist gut ersichtlich. Diese Versuchsanordnung zeigt eine realistische Nachbildung, wie es zur momentanen Gebirgskontur des Graukogels kommen hätte können. Wie bei den übrigen Versuchen ging auch hier hervor, dass mit längerem Andauern des Versuchs immer ein – „Gleichgewichtszustand“ erreicht wird. Ab diesem Zeitpunkt ändert sich die Hangneigung nicht mehr.

Vergleich mit Längsprofilen am Graukogel

Für einen Vergleich wurden die Profile aus dem digitalen Höhenmodell über die Geländeform aus Versuch C gelegt. Es soll hier gezeigt werden, dass mit einem Base-Friction Versuch durchaus Massenbewegungen modelliert werden können. Teilweise kann an die bestehende Geländeform eine sehr gute Annäherung getroffen werden. Die Vergleiche sind aber rein qualitativer Natur und zeigen eine rein qualitative Annäherung an die heutige Geländeform.

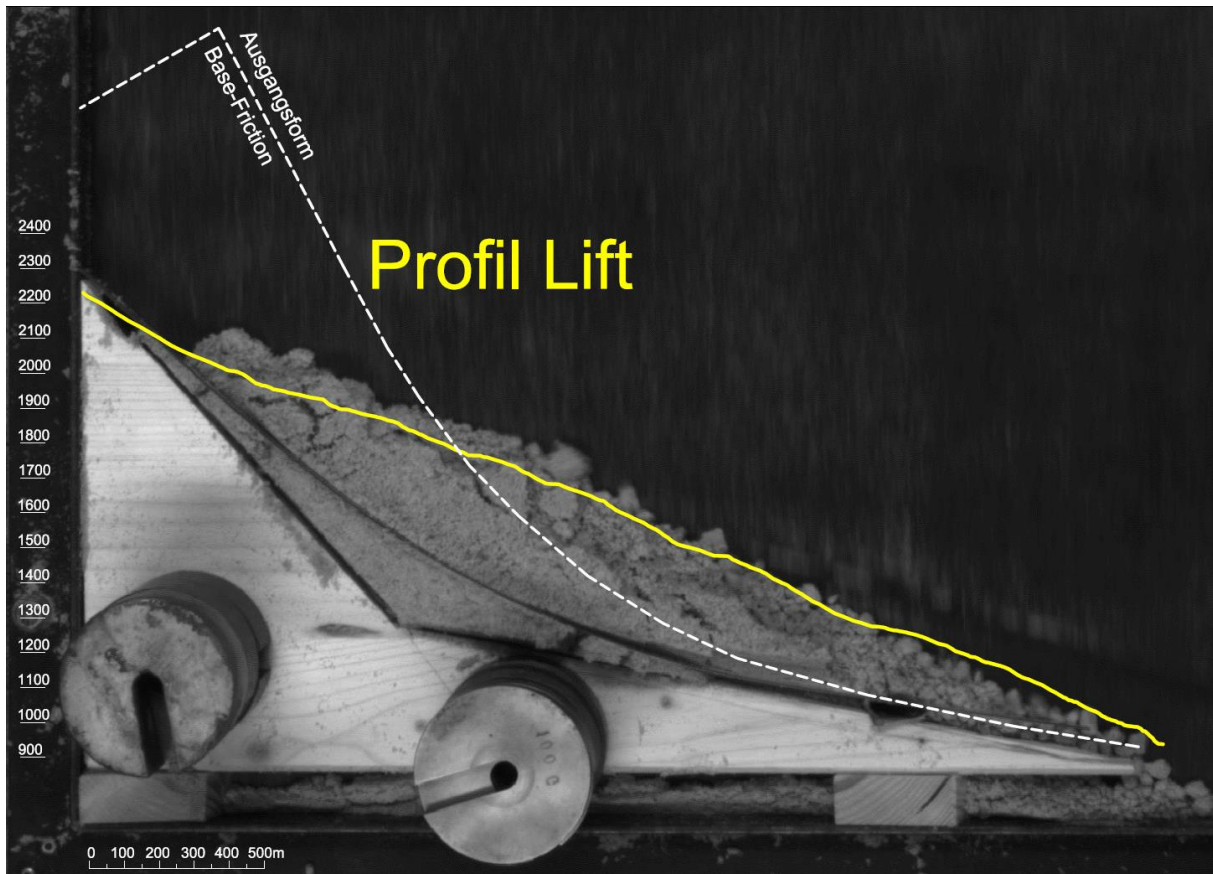


Abbildung 56 Vergleich Base-Friction Modell mit Profil Lift

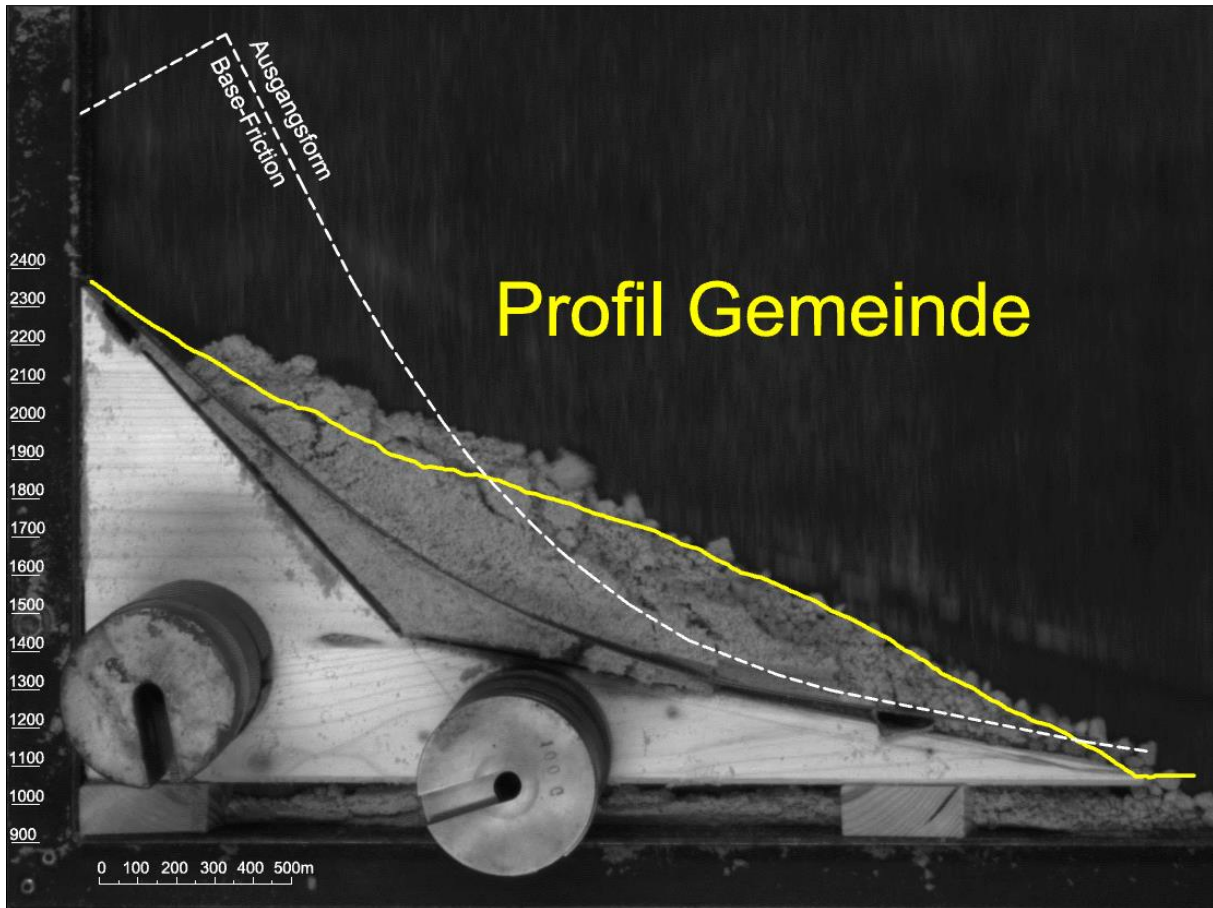


Abbildung 57 Vergleich Base-Friction Modell mit Profil Gemeinde

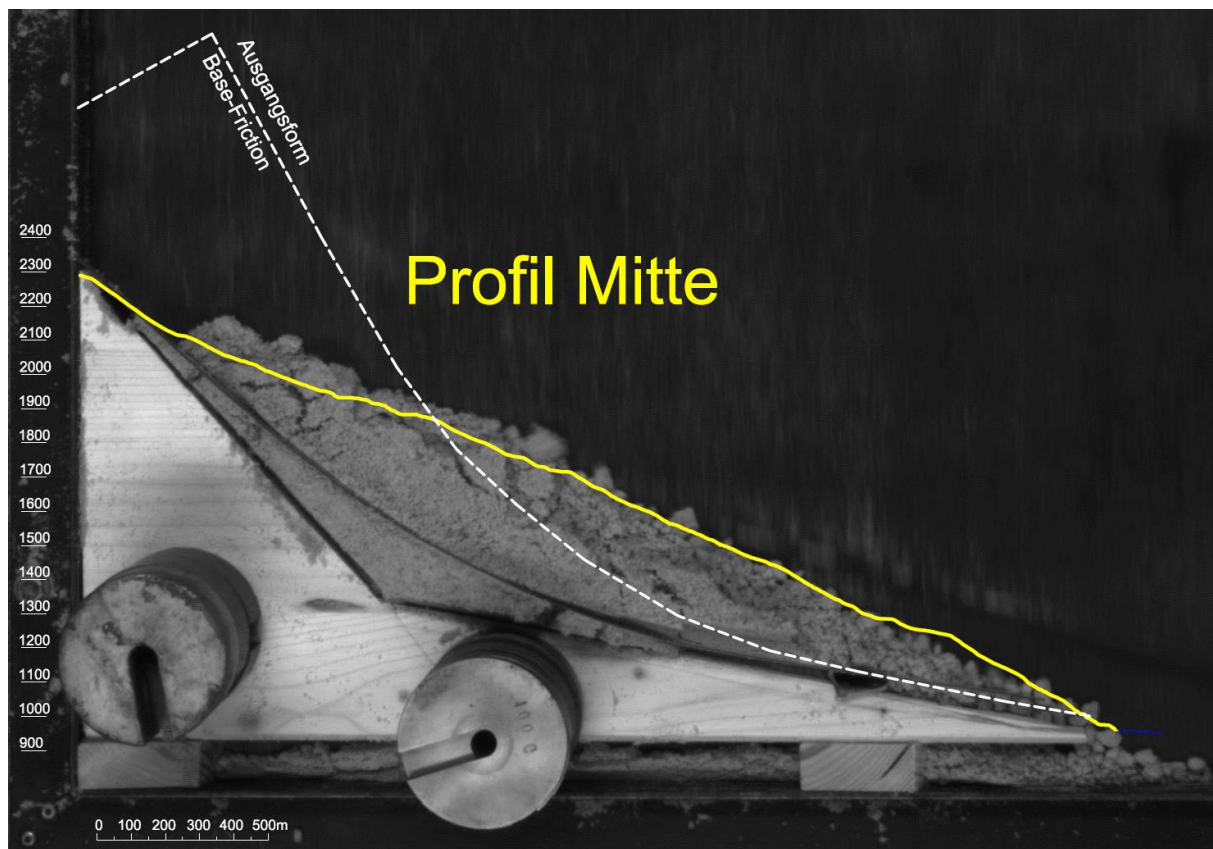


Abbildung 58 Vergleich Base-Friction Modell mit Profil Mitte

4.4 Einfache rechnerische Modellbildung und rechnerische Abschätzung

Den Graukogel rechnerisch zutreffend zu erfassen ist mit dem derzeitigen Wissensstand kaum möglich. Für eine Berechnung fehlen zum einen schon die grundlegendsten Parameter (φ , c , γ für die einzelnen Schichtpakete), zum anderen fehlen auch wesentliche geometrische Randbedingungen wie z.B. die Tiefe der Gleitfuge.

Ein sehr grober Vergleich zwischen zwei am Graukogel herrschenden Zuständen ist jedoch möglich. Der Bereich der Gemeinde Bad Gastein südlich ab der Pyrkerhöhe weist nur mehr sehr geringe (wenige mm/a) bis überhaupt keine Verschiebungswerte auf. So ist durch den amtlichen Festpunkt auf der Pyrkerhöhe belegt (siehe Kapitel 4.1.1), dass dort keine Anzeichen für die Massenbewegung vorliegen. Die Verschiebungswerte nehmen von der Hangbrücke Gravenegg aus Richtung Süden rapide ab.

Durch den Höhenunterschied zwischen Quellpark und Gemeinde von ca. 130 m und die nicht mehr vorhandenen Bewegungen, kann vermutet werden, dass der Hang im oberen Talboden ein Widerlager angetroffen hat. Inwiefern sich diese ca. 130 m „Widerlager“ auf den globalen Sicherheitswert einer Massenbewegung auswirken können, soll hier grob abgeschätzt werden.

Der Begriff globale Sicherheit beschreibt hier den allgemeinen Zustand eines Kriechhanges im Hinblick auf das Verhältnis der rückhaltenden zu treibenden Kräften. Ist die Sicherheit $\eta \geq 1,0$ ist der Hang stabil, bewegt sich jedoch mit einer gewissen Geschwindigkeit. So bewegt sich ein Hang mit $\eta \approx 1,2$ erfahrungsgemäß nicht, mit $\eta \approx 1,10$ mit bis zu wenige Millimeter pro Jahr und ein Hang mit $\eta \approx 1,05$ unter gewissen Umständen bereits einige Zentimeter pro Jahr. Diese Verknüpfung von Sicherheitszahlen und Bewegungsraten ist jedoch umstritten und mehr im Sinne einer qualitativen (und durchaus auch subjektiven) Zuordnung zu verstehen.

Hangdeformationen, welche kriechförmig verlaufen, sind nahe dem Grenzgleichgewicht. Die Hänge weisen einen globalen Sicherheitswert von 1,0 bis ca. 1,10 auf und können sehr empfindlich auf Veränderungen von Randbedingungen reagieren (Ausweger 2013).

Dazu wurde das System der Massenbewegung mit einer gekrümmten Gleitfläche zu einer Starrkörpertranslation vereinfacht. Der gesamte Rutschhang wird durch einen langen, starren Block dargestellt. Durch das Davorsetzen eines Keils kann die rückhaltende Komponente des Hanges minimal erhöht werden. Dies wirkt sich in einer Erhöhung der globalen Sicherheit aus.

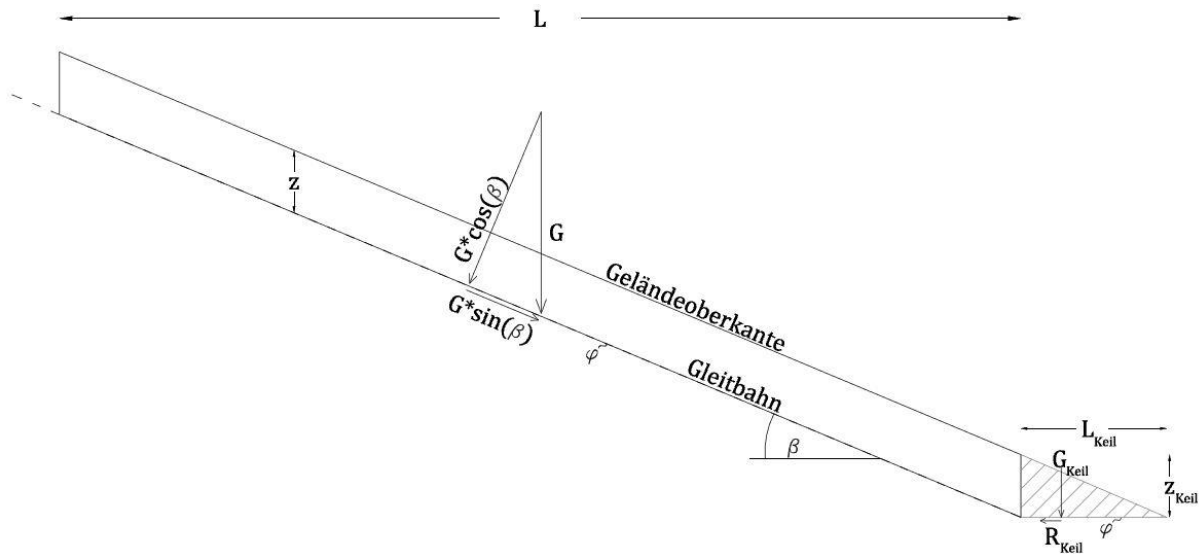


Abbildung 59 Systemskizze Starrkörpertranslation

Der globale Sicherheitsfaktor η ist angelehnt an das statische Berechnungsverfahren einer böschungparallelen Gleitfläche nach (ÖNORM B 4433). Dieser lässt sich errechnen aus dem Verhältnis der Rückhaltenden Kräfte (R) zu den treibenden Kräften (T) bzw. des Tangens des Reibungswinkels in der Gleitfläche φ und der Geländeneigung β .

$$\eta = \frac{R}{T} = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta}$$

Bei dieser Vereinfachung wird davon ausgegangen, dass es sich um einen reinen Reibungsboden handelt (Kohäsion $c=0$).

Es wird angenommen, dass der Reibungswinkel in der Gleitfläche etwas höher ist als die Geländeneigung, wodurch sich eine globale Sicherheit von $\eta = 1.049$ ergibt. Die Länge von 2300 m, die Höhe von 150m und der Hangneigungswinkel von 23° ergeben sich näherungsweise aus dem Profil Lift (Abbildung 62). Die Wichte für den Block ist mit 23 kN/m^3 sehr hoch angenommen, jedoch ist wegen der Mächtigkeit von 150 m ein beachtlicher Festgesteinsanteil denkbar.

Tabelle 6 Globale Sicherheit des Starrkörpers mit und ohne Keil

Starrkörper									
L	z	β	γ	φ	G_{Hang}	G_N	$T_{\text{Hang}} = G \cdot \sin \varphi$	$R_{\text{Hang}} = G_N \cdot \tan \varphi$	η
[m]	[m]	[°]	[kn/m ³]	[°]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
2300	150	23	23	24	7935000	7304206.012	3100451.505	3252042.04	1.049

Keil						
L_{Keil}	Z_{Keil}	γ_{Keil}	$\varphi_{\text{Keil}} = \varphi$	G_{Keil}	$R_{\text{horizontal}}$	R_β
[m]	[m]	[kn/m ³]	[°]	[kN]	[kN]	[kN]
300	150	20	24	450000	200352.91	184425.8246

globale Sicherheit				
T_{Hang}	R_{Hang}	$R_{\text{Keil},\beta}$	R_{Gesamt}	η
[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
3100451.505	3252042.04	184425.8246	3436467.865	1.108

Durch die Erhöhung der Rückhaltenden R_{Hang} um R_{Keil} wird die globale Sicherheit um knappe 5 Prozentpunkte von ca. 1,05 auf 1,10 gesteigert.

Dieser doch sehr deutliche Unterschied in der Sicherheitszahl ist durchaus realistisch, da die Verschiebungsraten im unteren Bereich bei bis zu ca. 2 cm/Jahr liegen und im oberen Bereich quasi nicht vorhanden sind bzw. im Bereich von maximal Bruchteilen von mm/Jahr liegen dürften.

Eine bessere Abbildung der geometrischen Verhältnisse im oberen Talboden erhält man, wenn man den Keil durch einen Quader ersetzen würde. Dieser Quader wäre dann zwischen Graukogel und Stubnerkogel „eingespannt“. Verschiebungen würden dann auftreten, wenn plastisches Versagen entlang von sekundären Gleitflächen auftreten und der Quader „überschoben“ wird. Bis es zu einem plastischen Versagen kommt, resultiert der Widerstand den der Quader dem Hang entgegengesetzt aus dem passiven Erddruck. Um wenigstens die Größenordnung festzustellen, in der sich der passive Erddruck bewegt, müsste man die bereits stattgefundenen Verschiebungen kennen. Eine andere Möglichkeit, um den auftretenden Erddruck zu untersuchen wäre die Verwendung von Inklinometer bzw. Inklinodeformometer. Durch diese Messmethoden lässt sich einerseits die Verschiebung, andererseits die Veränderung des Kriechdrucks des Hanges feststellen.

4.5 Interpretation der bisherigen Ergebnisse

Alle Messergebnisse am Hangfuß zeigen, dass NW-gerichtete Deformationen vorhanden sind. Dies gilt für den gesamten Hangfuß bis in eine Höhe von ca. 1200 m. Ab dieser Höhe sind keine Messdaten außer den GPS Punkten vorhanden. Die Aussagekraft dieser ist aufgrund der bereits erwähnten Probleme sehr fragwürdig.

Ob die Verformungsraten sich über die Zeit ändern ist nur an ein paar wenigen Punkten zu bestimmen. Dies sind die Punkte bei der Pfarrkirche, der Nikolauskirche (KT50 und 29,30 Poly-Schule), der Messpunkt KT47 und die Messpunkte um den Gasteinerhof.

Für die Nikolauskirche wurde zum Vergleich der Messpunkt KT50 und der Messpunkt 29+30 aus Kapitel 4.1.1 herangezogen. Die Messungen zeigen eine mittlere Verformungsrate von 0,9 cm/a zwischen 1932 und 1986 und 0,78 cm/a zwischen 1932 und 2005.

Die Messdaten für die Pfarrkirche lassen eine Unterteilung in 3 Zeiträume zu. Zwischen 1932 und 1973 lag die mittlere Verformungsrate bei 0,9 mm/a, zwischen 1932-1995 bei 1,4 mm/a und zwischen 1997 und 2005 bei 1,13 mm/a.

Der Messpunkt KT47 weist eine mittlere Verformungsrate von 1,7 mm/a zwischen 1932 und 1973, und 1,17 mm/a zwischen 1973 und 2003 auf.

Der Bereich des Gasteinerhofs weist zwischen 1932 und 2005 eine mittlere Verformungsrate von 1,56 mm/a und zwischen 1990 und 2005 ca. 0,9 mm/a auf.

Die Auswertung zeigt keinen eindeutigen Trend. Teilweise Abnahme der Bewegungsrate, teilweise Zunahme. Z.B. lässt die zeitliche Aufteilung bei der Pfarrkirche vermuten, dass zwischen 1973 und 1995 die Verformungen wieder zugenommen haben. Es scheint Phasen der Abnahme und auch er Zunahme der Bewegungsraten zu geben. Da jedoch nur sehr wenige Punkte eine solche zeitliche Betrachtung zulassen, kann keine allgemeine Aussage gemacht werden.

Die 5 m breite Schlucht, welche beim Vortrieb des Franz-Josef Stollen angetroffen wurde, könnte eine Trennfuge zwischen oberem Hangbereich und unterem Hangbereich sein. Kahler (1991) vermutete, dass es die ursprüngliche Trennfuge einer Bergzerreißung ist. Der Bewegungsunterschied des oberen und unteren Talgebietes könnte den Berg genau im Bereich der Steilstufe „zerrissen“ und eine Trennscherfuge ausgebildet haben. Diese Trennscherfuge müsste also parallel zur Verschiebungsrichtung laufen. Bohrungen in der Bohrnische des Franz-Josef Stollen zeigten, dass diese Zerrüttungszone Richtung NW-SO verläuft (siehe Kapitel 3.4 und Abbildung 32).

Der Verlauf der Felsoberkante bleibt weitestgehend ungeklärt. Die Kernbohrungen der Bauprojekte am Fuß des Graukogels konnten mit bis zu 40 m Endteufe keinen anstehenden Fels aufschließen. Die geophysikalischen Messungen zeigen entlang der Profile, dass der Fels stufenartige Horizonte formt und die Überlagerung nach oben sehr schnell an Mächtigkeit zunimmt. Die Orientierung des Gneises im Flussbett der Ache beim Quellpark ist sehr flach geneigt und unterstützt somit die Vermutung, dass der Felshorizont flach in den Berg eintaucht. Dann versteilen sich die Schieferungsflächen wohl allmählich, um beim Gipfel des Hüttenkogels bzw. entlang des Grates mit rund 40°-45° Fallwinkel unter dem Hangschutt aufzutauchen. Dies deutet auf einen synklinalen Schichtaufbau hin.

Die Massenbewegung am Graukogel hat eine flächenmäßige Ausdehnung zwischen ca. 5 und 6 km². Die Überlagerung nimmt im Fußbereich schnell stark zu, wodurch eine Mächtigkeit von über 100 m wahrscheinlich ist. Die volumsmäßige Ausdehnung dürfte zwischen 500 Mio. m³ und ca. 1 Mrd. m³ liegen.

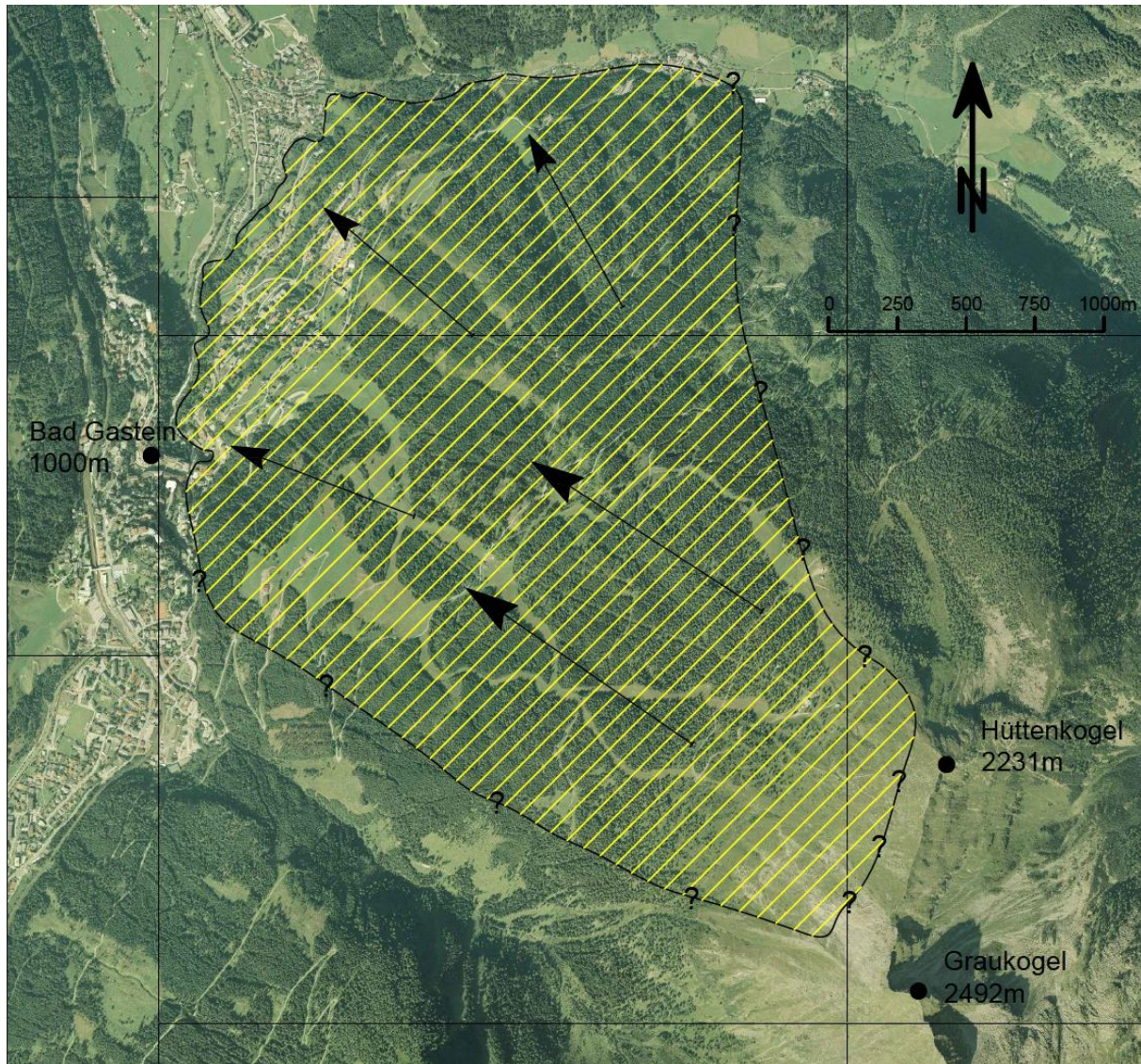


Abbildung 60 Mögliches Ausmaß der Massenbewegung, schraffierte Fläche deckt ca. 5,5 km² ab

Ein Großteil des Projektgebietes wurde bereits mit der ALS Methode (Airborne Laserscanning) vermessen. Dies ermöglicht eine Generierung eines digitalen Geländemodells mit einem Höhenschichtlinienraster von 1 m, welches freundlicherweise vom Land Salzburg zur Verfügung gestellt wurde.

Aus dem Geländemodell wurden mehrere Schnitte generiert, welche das genaue Geländeprofil entlang der Schnittführung wiedergeben. Die Profile sind im Lageplan (Abbildung 61) dargestellt. Durch die exakte Erfassung der Geländeform wurde auch eine Interpretation in Bezug auf die Massenbewegung möglich. Die Informationen in den Profilen ergeben sich aus den oben gesammelten Daten und einer Interpretation dieser.

Die in den Profilen interpretierten gekrümmten Gleitfugen resultieren aus den steil einfallenden Schieferplatten am Gipfel bzw. Grat und aus den vorherrschenden horizontalen Verformungen und

der flach einfallenden Schichtung im Talbereich. Aus der Geländeform ergeben sich dann die sekundären Bewegungsbahnen. Die geologischen Eintragungen Gneis und Granitgneis beziehen sich ganz allgemein auf die beiden Einheiten der Gasteiner Mulde. Der Übergang zwischen den Einheiten ist aber nicht bekannt.



Abbildung 61 Übersicht Profile am Graukogel

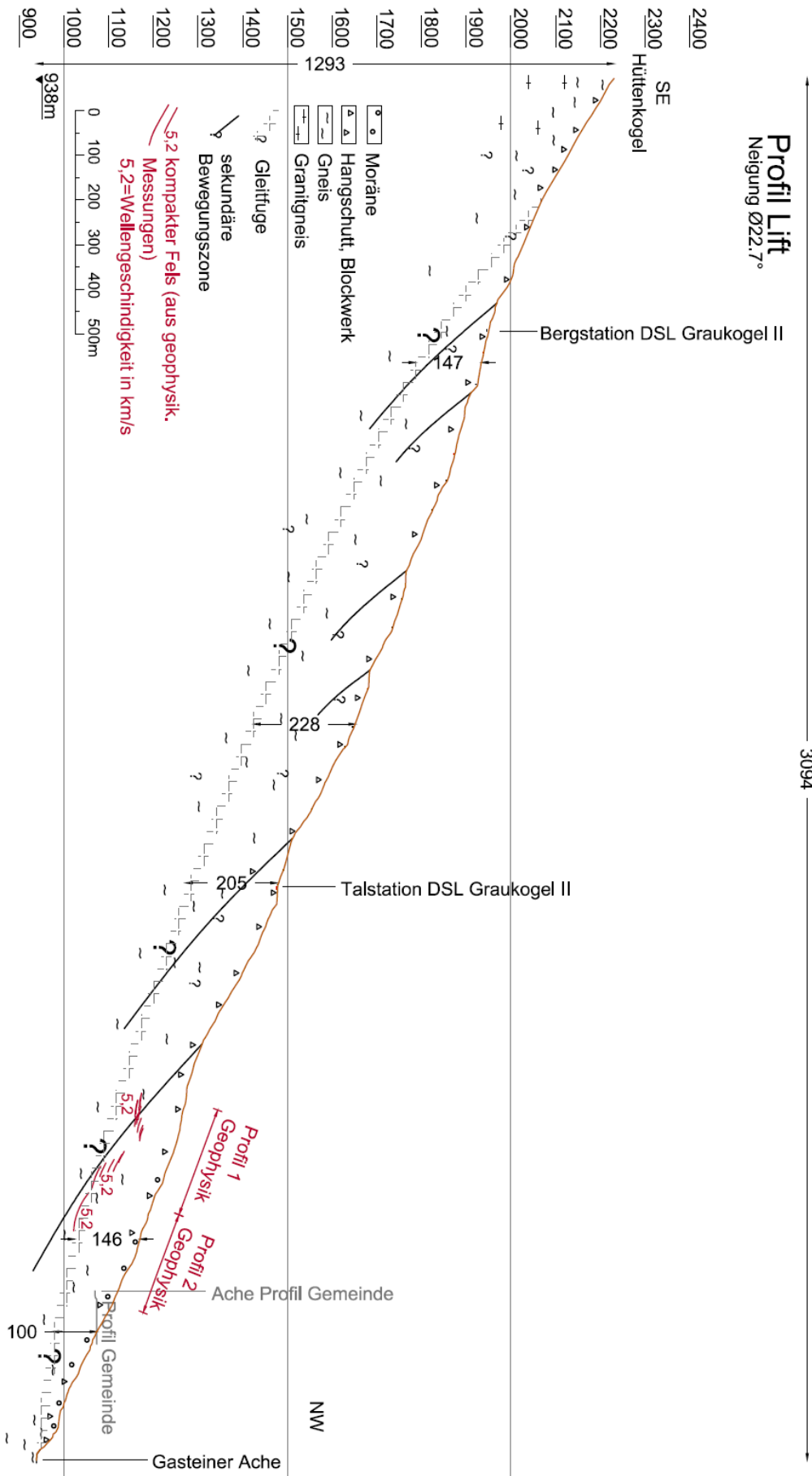
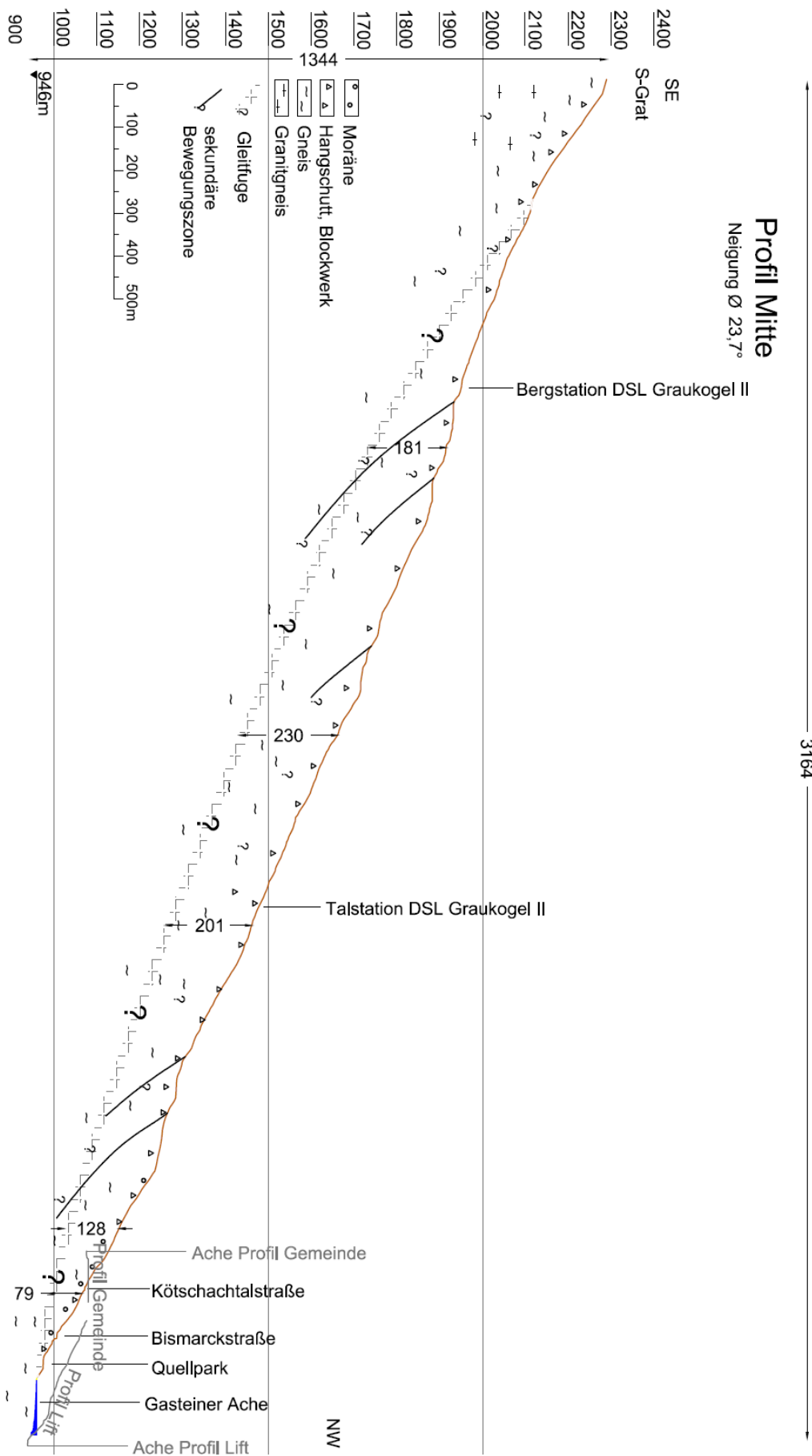


Abbildung 62 Profil Lift



3164

Abbildung 63 Profil Mitte

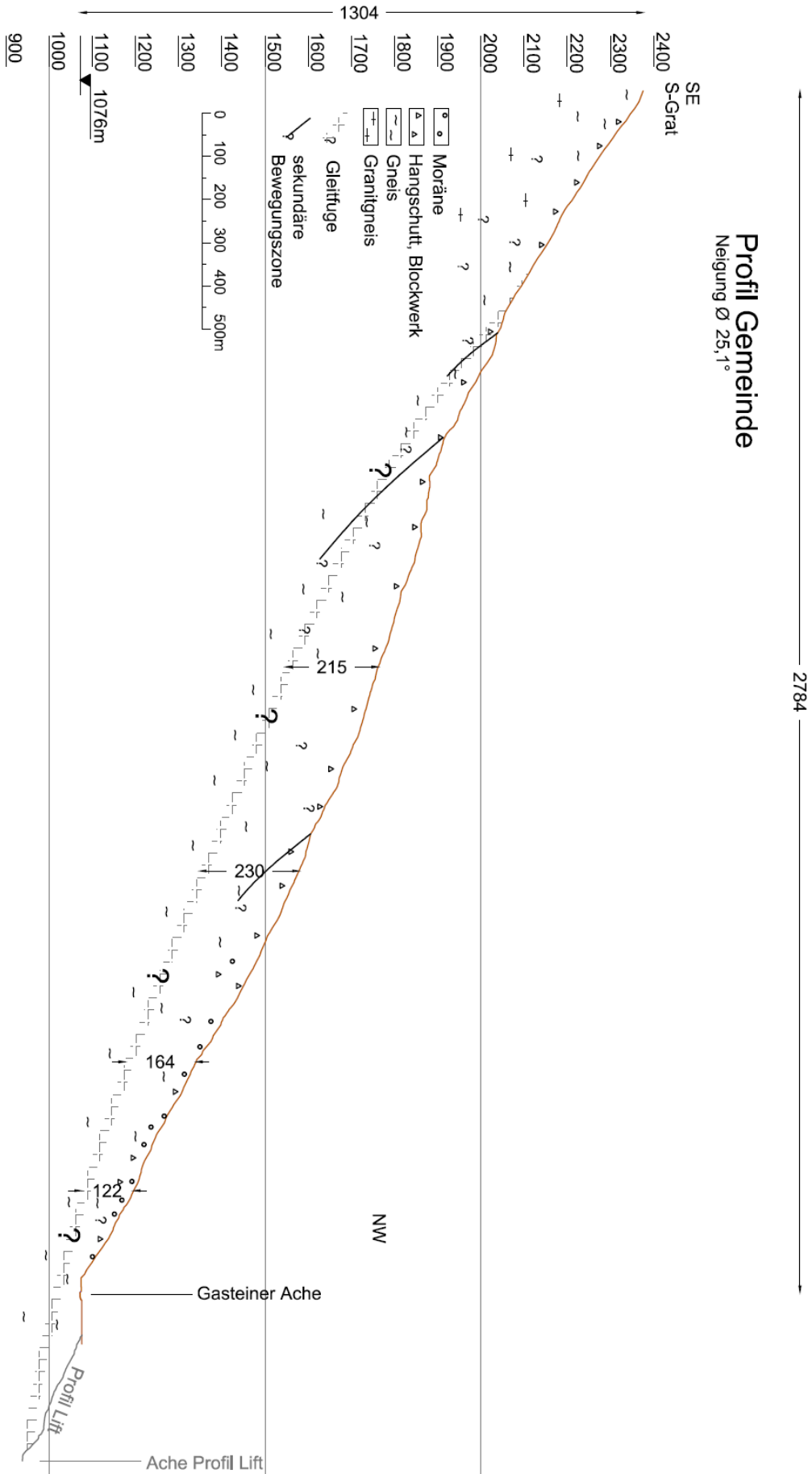


Abbildung 64 Profil Gemeinde

5 Baupraktische Betrachtungen

Das Ortsgebiet von Bad Gastein erstreckt sich zu einem großen Teil über den Hang des Graukogels. Vor allem im Bereich der Steilstufe im Ortszentrum weisen viele Gebäude Schäden auf. Die primäre Schadensursache bilden differentielle Verschiebungen. Diese Bewegungen können ein Gebäude regelrecht „zerreißen“ und die Tragstruktur soweit schwächen, dass ein Abriss des Gebäudes unausweichlich wird. Anhaltende Bewegungen im Baugrund wie im Falle des Graukogels begünstigen das Auftreten von ungleichmäßigen Verformungen.

5.1 Allgemeine Diskussion der Ergebnisse in baupraktischer Hinsicht

Da von der Steilstufe aus Richtung Norden die Bewegungsraten zunehmen, ist besonders dieser Bereich für Bauwerke kritisch. Abbildung 65 zeigt den Bereich, in dem Verschiebungen bis zu ca. 2 cm/a (vgl. Kapitel 4.1.1) gemessen wurden (Villa Gravenegg unter Hangbrücke). Die Gebäude sind in diesem Bereich nicht nur einer tiefgreifenden Hangdeformation ausgeliefert, sondern auch durch die Lage in einem übersteilten Gebiet oberflächennahen Bewegungen ausgesetzt. Hier überlagern sich die Bewegungen der kriechenden Massenbewegung mit oberflächennahen Bewegungen in den übersteilten Hangpartien. Dieser Vorgang wird zudem durch die Erosion der Ache begünstigt. Die Pfarrkirche und die benachbarten Gebäude sitzen zu dem auf einem Hangabschnitt, dessen Neigungsrichtung von der sonstigen Richtung der Hangneigung bzw. der globalen Verformungsrichtung abweicht

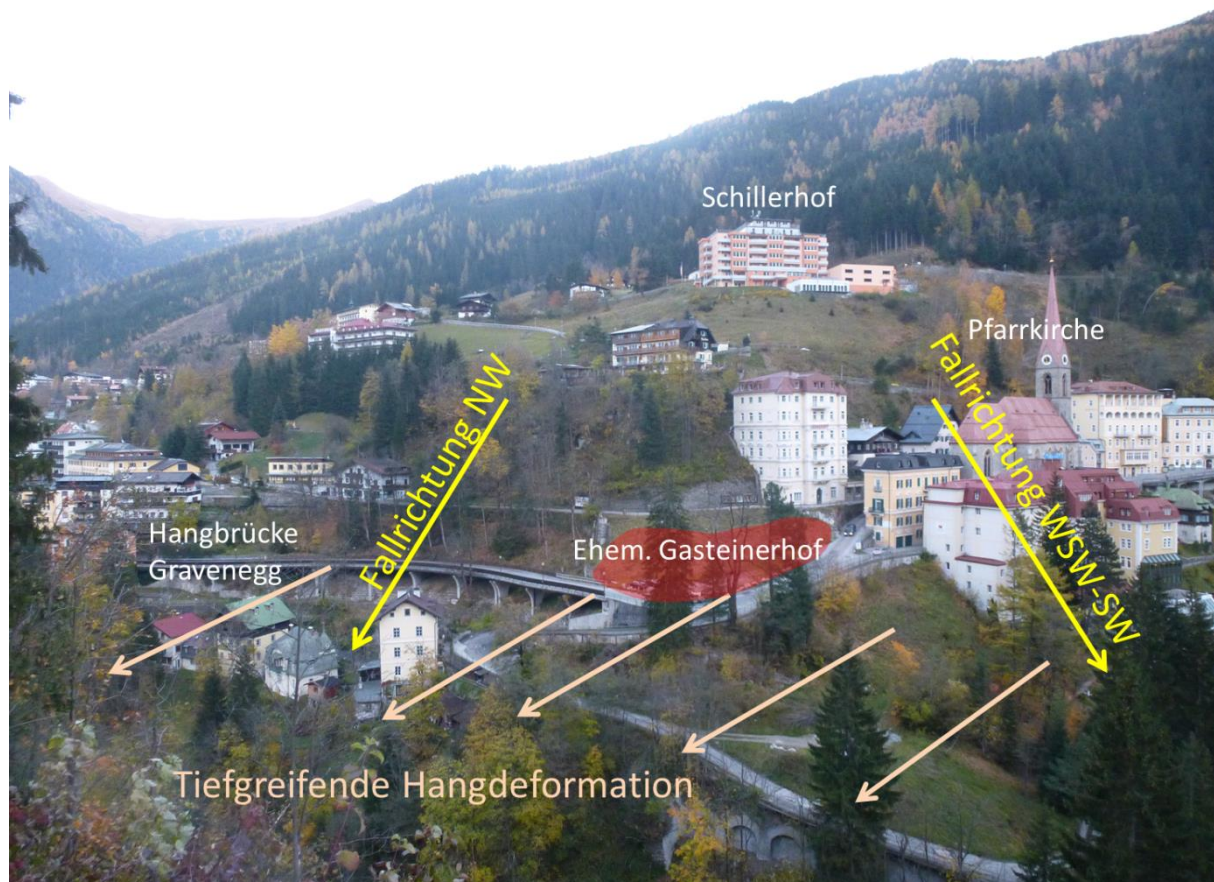


Abbildung 65 Bereich mit größten Verformungsraten von Pfarrkirche bis Hangbrücke

(siehe Abbildung 65). Dies kann durch Überlagerung von oberflächennahen und tiefgreifenden Bewegungen differentielle Setzungserscheinungen begünstigen.

In kleinen bis mittelgroßen Rutsch- und Kriechhängen können konstruktive Maßnahmen getroffen werden, um Hangbewegungen auf ein erträgliches Maß zu reduzieren oder überhaupt zu unterbinden. Im Falle des Graukogels sind aber die üblichen Lösungsansätze aufgrund der großen Kubatur und der großen Massenbewegung technisch und wirtschaftlich praktisch nicht möglich. Um den Hang erfolgreich zu verlangsamen bzw. zu stoppen müsste man den bewegten Teil durch die Gleitfuge hindurch in den festen Fels rückverankern und/oder verdübeln. Dabei ist nicht nur die Mächtigkeit der Rutschmasse, sondern auch die Kubatur von entscheidender Bedeutung. Die Ungewissheit über den Verlauf der Gleitfuge macht es äußerst schwierig, eine gute Abschätzung für den Kriechdruck bzw. Bemessungsansätze für Stützmittel zu treffen. Im Falle des Graukogels können aus technisch/wirtschaftlicher Sicht Stütz- bzw. Sicherungsmittel eher nur für eine lokale Vergleichmäßigung von Deformationen Anwendung finden, nicht aber für eine generelle Hangstabilisierung.

Sinnvoller und wesentlich kosteneffizienter als Hangstabilisierungsmaßnahmen ist es, wenn zukünftige Projekte schon in der Konzept- und Planungsphase die geringen, aber kontinuierlichen Hangdeformationen miteinbeziehen.

5.2 Kurze Beschreibung von Bewegungsmustern und Schadensbilder bestehender Bauwerke

In der Regel sind alle Gebäude im Bereich des Graukogels von Hangdeformationen betroffen. Solange das Bauwerk gleichmäßige Verschiebungen erfährt, ist die Tragfähigkeit nicht gefährdet. Treten aber differentielle Verschiebungen auf, kommt es zu einer zusätzlichen Beanspruchung der Bauteile. Je nachdem wie sich die Deformationen ausbilden und wie steif oder schlaff eine Konstruktion ausgeführt wird, kann das Bauwerk Schaden erleiden. Diese Schäden äußern sich unter anderem als sichtbare Risse in den Bauteilen (siehe Abbildung 66).

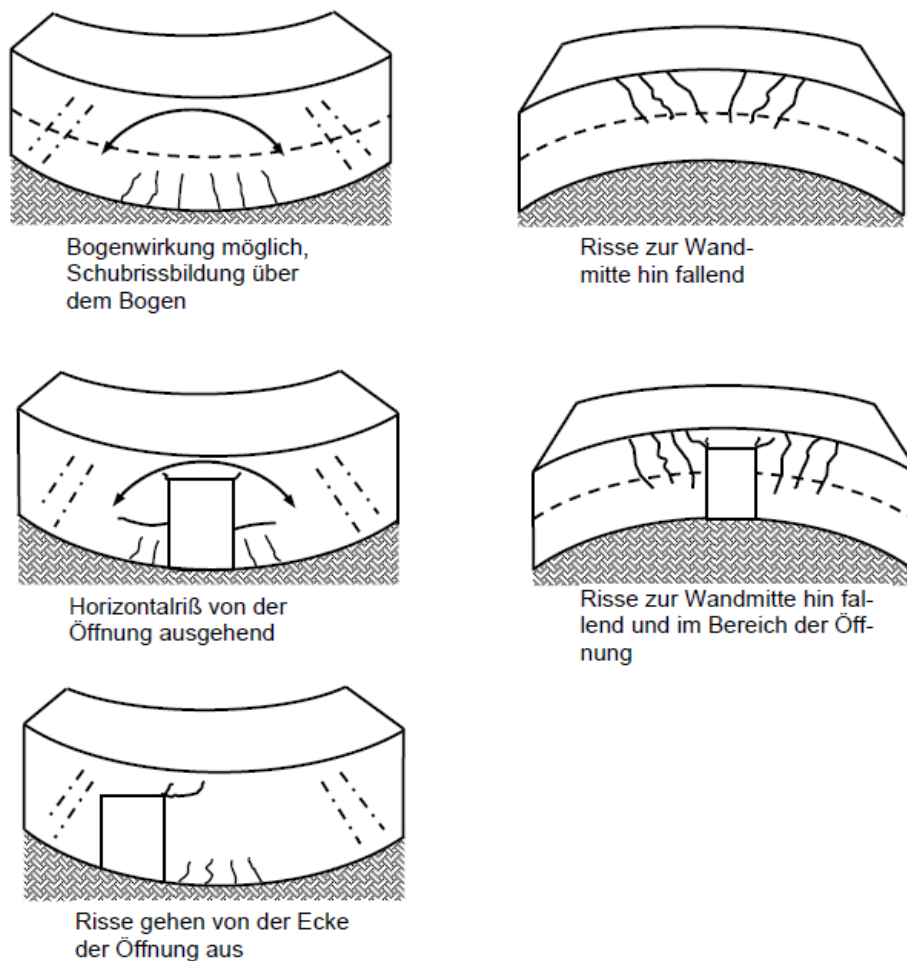


Abbildung 66 Rissbildung in Mauerwerksbauten durch differentielle Setzungen (Fischer 2010)

Durch eine Krümmung der Gründungsfläche kommt es abhängig von der Steifigkeit der Bauteile zu einer zusätzlichen Beanspruchung im Bauwerk (Fischer 2010).

Im Bereich des Graukogels in Bad Gastein sind Risse im Mauerwerk der Gebäude auffallend häufig. Die Risse lassen sofort auf ungleichmäßige Verformungen schließen. Große Mauerwerksschäden haben (Scheidegger und Hauswirth 1980) beim Grabnerwirt und in der Pfarrkirche festgehalten. Der Grabnerwirt (Abbildung 67) befand sich direkt unterhalb des Gasteinerhofs, also ebenfalls in dem Bereich mit den größten Bewegungsraten.



Abbildung 67 Risse im Mauerwerk des Grabenwirt in den 1970er (befand sich nordwestlich unterhalb des Gasteinerhofs) (Scheidegger und Hauswirth 1980)



Abbildung 68 Risse durchziehen gesamte Fassade (Nachbargebäude nordwestlich der Pfarrkirche) (2012)



Abbildung 69 Risse sichtbar in der kürzlich neu gestrichenen Fassade der Villa Elisabeth (unmittelbar talseitig der Hangbrücke Gravenegg) (2012)



Abbildung 70 Risse im Mauerwerk der Wasserfallstraße (direkt unterhalb des südlichen Widerlagers der Hangbrücke Gravenegg) (2012)

5.3 Überlegungen zur Ausführungen von Gebäuden auf Rutschhängen am Beispiel Graukogel

Das Errichten von Bauwerken auf einem Kriechhang stellt eine besondere Herausforderung dar. Das Bauwerk muss darauf ausgelegt werden, ein gewisses Maß an Verschiebungen möglichst schadlos zu ertragen. Im Falle des Graukogels muss davon ausgegangen werden, dass die Verschiebungen über die gesamte Lebensdauer des Bauwerkes anhalten. Diese Tatsache muss unbedingt von Beginn an in den Planungsprozess eingehen.

Um den Einfluss von differentiellen Verschiebungen gering zu halten, sollten Bauwerke möglichst kleine Abmessungen haben. Bei großen Bauten, wie z.B. Hotelanlagen mit Seitenlängen von mehreren 10er Meter, können die Unterschiede in lokalen Verschiebungsrichtungen solche Ausmaße annehmen, dass es zur Beschädigung der Tragelemente kommen kann. Durch die Anordnung von kleinflächigen Bauwerken kann man diesen Effekt entschärfen. Dabei ist eine Ausführung der Tiefgeschosse unbedingt in Stahlbetonbauweise vorzusehen, um die nötige Steifigkeit zu erreichen. Die kleinen Bauwerke müssen in sich steif genug sein, um die Verschiebungen mitzumachen ohne Schaden zu erleiden. Für die Errichtung von kleinen Bauwerken (z.B. Einfamilienhaus) ohne Untergeschoß soll die Fundamentplatte ebenfalls möglichst steif ausgeführt werden. Dadurch kann das Bauwerk mit dem Hang „mitschwimmen“.

Bleibt man bei einem Konzept mit kleinflächigen Baukörpern, will aber dennoch ein größeres Gebäude (z.B. Mehrfamilienhaus, Hotel, etc.), sollte man dies durch die Anordnung von mehreren kleinflächigen Bauwerken nebeneinander realisieren. Durch Verbindungsbauwerke, die in den Anschlüssen gelenkig bzw. frei verschieblich gelagert sind, können differentiellen Verschiebungen weitestgehend schadlos aufgenommen werden.

Lassen sich aber größere Bauwerke (z.B. ab einer Länge von rund 20 m) nicht vermeiden, so sind Bewegungs- bzw. Bauwerksfugen vorzusehen. Durch eine klare, einfache und einheitliche Trennung in den Fugen können die einzelnen Elemente gewisse Verschiebungen aufnehmen, ohne dass es zu unkontrollierten Schäden und Rissen kommt.

Die Größe des Bauwerks hängt auch direkt mit der Gründungsmethode zusammen. Am Graukogelhang sind Tiefgründungen sehr vorsichtig auszulegen bzw. zu vermeiden, da der anstehende Fels oft erst in Tiefen >40 m erreicht wird, was einen hohen technischen und wirtschaftlichen Aufwand bedeutet. Gründet man ein Bauwerk in den anstehenden Fels so besteht die Gefahr, dass durch die anhaltende Kriechbewegung des Hanges die Gründungselemente entlang der Gleitfuge abscheren.

Aufgrund der gegebenen Topographie im Ortsgebiet resultieren größere Bauwerke am Graukogel auch in größeren Hanganschnitten. Das Anschneiden des Hanges beeinflusst direkt das (oberflächennahe) Hanggleichgewicht und kann zu sekundären (oberflächennahen) Rutschungen führen. Außerdem kann es zu einer Auflockerung der Bodenschichten kommen und so ebenfalls Rutschungen begünstigen. Tiefere Anschnitte führen auch zu aufwendigeren Sicherungsmaßnahmen und stellen so einen zusätzlichen wirtschaftlichen Faktor dar.

Für die Realisierung neuer Projekte sollten die übersteilten Hangbereiche (z.B. im Bereich Hangbrücke Gravenegg, Pfarrkirche) vermieden werden und die Situierung weiter bergauf und weiter nördlich erfolgen (z.B. nördlich vom Schillerhof). Entfernt man sich von den untersten übersteilten Hangabschnitten, wird auch der Einfluss der oberflächennahen Hangbewegungen geringer. Damit ist das

Bauwerk „nur“ der tiefgreifenden Kriechbewegung ausgesetzt und muss weniger zusätzliche Beanspruchung aufnehmen. Außerdem ist es empfehlenswert, neue Projekte nicht direkt im Bereich Hangbrücke – Pfarrkirche - Schillerhof zu errichten. Neue Bauwerke würden dort, aufgrund der höchsten Verschiebungsraten im Gebiet, einem deutlich erhöhtem Sanierungs- und Instandhaltungsaufwand unterliegen.

Neben Schäden an Gebäuden können auch Versorgungsleitungen (Wasserversorgung und Abwasserentsorgung) durch die Verschiebungen Schaden erleiden. Leitungsstränge, welche quer über den Hang führen sind dabei besonders gefährdet. Da die Hangbewegungen aber als Randbedingung für die Dimensionierung angesehen werden müssen, ist die Ausführung der Leitungsrohre z.B. in duktilem Material (z.B. Stahl) zu empfehlen. Eine weitere Möglichkeit wäre, die Leitungsrohre in einem Hüllrohr zu verlegen. Dieses Hüllrohr weist dabei einen größeren Durchmesser als das Leitungsrohr auf, damit sich das Hüllrohr mit dem Hang verschieben kann, das Leitungsrohr dadurch jedoch keine Zwänge erfährt. Sammelleitungen mit mehreren Rohren bzw. großen Rohrdurchmessern könnte man in einem Hohlkasten gegen die Bewegung abschirmen. Eine dichtere Anordnung von Kontrollschächten kann die Überprüfung der Leitungen und das Erfassen von Fehlstellen erleichtern. Allerdings bleibt bei Leitungssystemen in einem Kriechhang ein erhöhter Erhaltungsaufwand, da auch die oben genannten Möglichkeiten die Verschiebungen nur bis zu einem gewissen Grad zulassen.

Schongebietsverordnung

Neben den schwierigen Baugrundverhältnissen stellen die Thermalquellen eine weitere Besonderheit am Graukogel dar. Um die Thermalquellen nachhaltig zu schützen wurde die Schongebietsverordnung – Gasteiner Thermalquellen (LGBl Nr. 102/1999) erlassen. Darin sind 3 Bereiche unterschiedlicher Priorität definiert. Die Schongebietszone I stellt das Ursprungsschongebiet, Schongebietszone II das engere Schongebiet und Schongebietszone III das weitere Schongebiet dar. Diese Bereiche sind mit unterschiedlich strengen Auflagen verbunden. Für geplante Bauvorhaben in der Schongebietszone I (ca. nördliches Ende Hangbrücke Gravenegg bis Pyrkerhöhe im Süden) erfordern folgende Maßnahmen eine wasserrechtliche Bewilligung:

- Die Vornahme von Bodeneingriffen aller Art über 3 m Tiefe;
- Die Durchführung von Sprengungen aller Art
- Die Durchführung von Maßnahmen, die die Beschaffenheit, den Lauf, das Gefälle oder die Menge von Oberflächenwässern beeinflussen können
- Die Erschließung, Ableitung oder Entnahme von Grund- oder Quellwasser
- Die Durchführung von baulichen Maßnahmen, durch die Verunreinigungen des Untergrundes oder des in diesen einsickernden Oberflächenwassers herbeigeführt werden können
- Die Lagerung von flüssigen Brenn- oder Treibstoffen mit einem Stockpunkt von weniger als 25 °C ab einer Menge von 200 l.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zu Beginn dieser Arbeit wurden die verschiedenen Arten von Massenbewegungen beschrieben. Die kriechförmig verlaufende Massenbewegung am Graukogel wird dem Typus Fließen zugeschrieben. Kriechen ist dabei eine Sonderform von Fließen, bei der sich Verformungen über einen langen Zeitraum einstellen und keine oder nur geringe Spannungs- und Laständerungen auftreten. Erreicht die Kriechbewegung eine Mächtigkeit von mehreren 10er bzw. 100er Metern, wird in alpinen Regionen der Begriff Talzusub verwendet. Dabei handelt es sich um eine tiefgreifende, schwerkraftbedingte Hangdeformation, welche sich über einen Zeitraum von mehreren tausend Jahren erstrecken kann.

Das Betrachten der geologischen Randbedingungen brachte eine Übersicht über die Verhältnisse und Strukturen am Graukogel. Es konnten aufgrund von diversen Gutachten und Bohrproben die geologischen Bedingungen am unteren Hangfuß festgehalten werden. Weiters ist durch Berichte über den Bau der Thermalstollen die Lage einer Störzone direkt an der Steilstufe bekannt, welche in direktem Zusammenhang mit der Bewegung und mit den Thermalquellen stehen dürfte.

Die vorhandenen Messungen, welche sich fast ausschließlich auf den unteren Hangfuß konzentrieren, gaben einen globalen Trend der Verschiebung Richtung Nordwesten zu erkennen. Die geodätischen Messungen im unteren Hangbereich zeigen, dass der Bereich Hangbrücke Gravenegg – Pfarrkirche – Schillerhof die größten Bewegungsraten mit bis zu ca. 2,1 cm/a aufweist. Die Bewegungsraten nehmen jeweils in südlicher und nördlicher Richtung ab. Weiter im Norden ist dann allerdings wieder eine Zunahme der Verschiebungsraten im Bereich der Rudolfshöhe festzustellen. Aus den geophysikalischen Messungen ergibt sich, dass die Überlagerung von Lockergestein bergauf schnell an Mächtigkeit zunimmt. Diese Ergebnisse sind konsistent mit den Bohrproben am Hang, mit welchen der anstehende Fels nicht aufgeschlossen werden konnte. Zur genauen Abgrenzung der Massenbewegung fehlen derzeit aber vor allem im mittleren und oberen Hangabschnitt Messdaten.

Für eine rein qualitative Betrachtung wurden Base-Friction Versuche im Labor durchgeführt, um zu untersuchen, wie es zur heutigen Hangmorphologie gekommen sein könnte. Dabei flossen verschiedene Erkenntnisse aus der geologischen Bearbeitung ein. Das Verhalten einer großen Massenbewegung konnte qualitativ gut mit dem Modellversuch erfasst werden.

All diese Ergebnisse wurden zusammengefasst, um entlang von Geländeprofilen eine mögliche geotechnische Systemvorstellung aufzuzeigen. Eine globale Sicherheitsbetrachtung zeigte den möglichen Einfluss eines Widerlagers, was im Fall des Graukogels den oberen Talbereich (Pyrkerhöhe – Gemeinde) beschreibt.

Da die anhaltenden Bewegungen am Hangfuß schon große Schäden verursacht haben, wurden die Ergebnisse in baupraktischer Hinsicht diskutiert. Zur Projektierung von Bauwerken auf einem Kriechhang müssen unbedingt die Bewegungsraten mit in den Planungsprozess einbezogen werden. Dies kann mit einem Konzept von kleingliedrigen Bauwerken, welche erforderlichenfalls mit gelenkigen Elementen verbunden sind, erreicht werden. Dadurch kann der Instandhaltungsaufwand enorm gesenkt und eine Benützung über die gesamte Lebensdauer des Bauwerkes sichergestellt werden.

6.1 Ausblick

Die Massenbewegung am Graukogel ist derzeit vor allem im Hangfußbereich untersucht. Um aber Aussagen über den gesamten Hang zu treffen, fehlen derzeit notwendige Messdaten im mittleren und oberen Hangbereich. Messpunkte entlang der Liftrasse und Skipiste können zur Aufklärung über die Verhältnisse im mittleren und oberen Hangbereich beitragen. Neben der Lagemessung ist es auch empfehlenswert, Höhenmessungen der Punkte vorzusehen, um die tatsächlichen Verschiebungen im Raum abbilden zu können.

Die derzeit größte Unbekannte am Graukogel ist der genaue Verlauf der Gleitfläche. Da schon am Hangfuß die Überlagerungen schnell an Mächtigkeit zunehmen, wäre es sinnvoll, eine Erkundung mit einzelnen Tiefenkernbohrungen (100-200 m Endteufe) durchzuführen. Damit wäre es zudem möglich, das vermutete alte Flussbett der Ache und auch die verfüllte Schlucht („Trennscherfuge“) neben dem Franz-Josef Stollen zu erkunden. Bohrungen im oberen Hangbereich (z.B. bei der Bergstation) würden ebenso dazu beitragen, die Gleitfuge zu erforschen und Daten zum strukturgeologischen Aufbau liefern. Interessante Punkte für tiefe Kernbohrungen wären z.B. in der Nähe der Tal-, Mittel- und Bergstation des Sessellifts, der Rudolfshöhe und Schachenbauer bzw. Windischgrätz. Die Kernbohrungen müssten trotz der großen Tiefe mit einer Messausrüstung ausgestattet sein, die die Erfassung der Gleithorizonte erlaubt. Dies könnten glasfaseroptische Methoden oder z.B. auch adaptierte Inklinometermessmethoden sein.

Weitere Erkundungsmaßnahmen für die Erforschung der Gleitfuge liegen bei geophysikalischen Methoden. Mit Reflexionsseismik wäre es möglich, die tieferen Schichten zu erfassen und ein Strukturmodell zu generieren. Man könnte mit einem Profil den ganzen Hang z.B. entlang der Liftrasse aufnehmen und in unterschiedlichen Höhen Querprofile (etwa Tal-, Mittel-, Bergstation) anordnen um klare Ergebnisse zu erzielen.

Die Beobachtung von Bewegungsmustern am Hang ist mittels Radarinterferometrie (engl. „terrestrial InSAR“) möglich. Diese Technik kam 2013 beim Ingelsberg in Bad Hofgastein zum Einsatz und gab Aufschluss über die dort herrschenden Bewegungsmuster im Felssturzgebiet. Im Fall des Graukogels könnte man damit die freien Flächen am Hang (Skipisten und Wiesen) kontinuierlich beobachten und so Bewegungsmuster erkennen.

Zur weiteren Überwachung der Verschiebungsraten wäre eine Anordnung von Inklinometer am Hangfuß gut geeignet. Diese sollten dort installiert werden, wo die Überlagerung gering ist (bis ca. 50m). Damit kann sichergestellt werden, dass die Gleitfuge durch ein ausreichend tiefes Inklinometer erfasst wird und die gemessenen Verschiebungen den Verschiebungswerten der kriechförmig verlaufenden Massenbewegung entsprechen (und nicht etwa den mit sekundären Bewegungen überlagerten Verschiebungswerten). Für einen Inklinometereinbau eignen sich daher Punkte, die höhenmäßig nahe der Gasteiner Ache liegen wie z.B. die Wasserfallstraße (Unterhalb Hangbrücke Gravenegg) und der Bereich nördlich der Kuranstalt. Weitere geeignete Punkte für die Überwachung mit Inklinometern sind z.B. im Bereich „Altes Krankenhaus“ und Richtung Kötschachtal nördlich der Zanettiwiese. Inklinometermessungen im obersten Hangbereich (etwa Bergstation Sessellift bzw. darüber) könnten Aufschluss geben, wie weit die Massenbewegung bergauf reicht.

Die Inklinometermessungen könnten außerdem mit einem Inklinodeformometer (IDM) ausgestattet werden. Dieses Messinstrument ermöglicht neben der gewöhnlichen Inklinometermessung auch eine Aussage über die Abnahme oder Zunahme des Kriechdrucks. Die Betrachtung des oberen Ortsteils (Bereich Gemeinde) mit dieser Methode bringt Aufschluss darüber, in welchem Kriechzustand sich der Hang befindet bzw. ob der Widerstand gegen die Bewegung in Form von passivem Erddruck zu- oder abnimmt. Ein bis zwei Bohrungen mit Inklinometerrohre Nahe der Gemeinde bzw. des Wasserfalls könnten die gewünschten Messdaten liefern. Außerdem würde sich der Vergleich von Messpunkten am Hangfuß nahe der Gemeinde und etwas nördlich der Gemeinde mit Messpunkten im Bereich der Hangbrücke Gravenegg, der Pfarrkirche und nördlich der Kuranstalt hinsichtlich der Veränderung des Kriechdrucks eignen. Eine messtechnische Erfassung aller oben genannten Inklinometermesspunkte mittels IDM würde dabei die besten und aufschlussreichsten Ergebnisse liefern.

7 Verzeichnisse

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Verschiebung von Festpunkten um Bad Gastein von 1932 bis 1973 (Scheidegger und Hauswirth 1980)	44
Tabelle 2 Messergebnisse von 4 Messpunkten im Ortsgebiet von Bad Gastein für den Zeitraum 1932 bis 1986 (Figdor et al. 1990)	44
Tabelle 3 Verschiebungen der Hangbrücke Gravenegg (Figdor et al. 1990)	45
Tabelle 4 Punkte mit Horizontalverschiebung >1,5cm/a (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG 2005)	46
Tabelle 5 Ergebnisse der GPS Messung	49
Tabelle 6 Globale Sicherheit des Starrkörpers mit und ohne Keil	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersichtskarte Gasteiner Tal (M1:50000, BEV, 2013).....	1
Abbildung 2 Gemeinde Badgastein (M1:50000, BEV, 2013).....	2
Abbildung 3 Dimensionen einer Rutschung (Multilingual landslide glossary 1993).....	3
Abbildung 4 Fallen (Multilingual landslide glossary 1993).....	4
Abbildung 5 Kippen (Multilingual landslide glossary 1993).....	5
Abbildung 6 Gleiten (Multilingual landslide glossary 1993).....	5
Abbildung 7 Driften (Multilingual landslide glossary 1993).....	5
Abbildung 8 Fließen (Multilingual landslide glossary 1993).....	6
Abbildung 9 Talzusub, Sackung und Bergzerreißung (Genske 2008).....	7
Abbildung 10 Tektonische Übersicht der Geologie von Salzburg (Pestal et al. 2009).....	13
Abbildung 11 Tektonische Skizze der Hohen Tauern im Abschnitt von Gastein (Ausschnitt) (Exner 1956).....	16
Abbildung 12 Schemaskizze - Formung eines Trogtals aus einem Kerbtal durch einen Gletscher (Krainer 1994).....	17
Abbildung 13 Glazialerosion in einem Tal (van Husen 1987a).....	18
Abbildung 14 Entwicklung eines Tals nach Abschmelzen des Gletschers (van Husen 1987a).....	19
Abbildung 15 Bereich des Gasteiner Tals in der letzten Eiszeit (Ausschnitt aus van Husen 1987b).....	20
Abbildung 16 Geologische Karte der Umgebung von Gastein (Ausschnitt Badgastein) (Exner 1956)..	21
Abbildung 17 Blick vom Hüttenkogel zum Graukogel (von Nord nach Süd).....	22
Abbildung 18 Nordwest-Flanke des Graukogels (Blickrichtung Ost).....	23
Abbildung 19 Lageplan ausgewählter Bauprojekte im Ortsgebiet von Bad Gastein.....	24
Abbildung 20 Bohrkernaufnahmen des BV Mountain Deluxe (Intergeo ZT 2008).....	25
Abbildung 21 Bodenprofile für BV Kuranstalt Badehospiz (bvfs 2000).....	27
Abbildung 22 Bohrprofil Hangbrücke Gravenegg aus 1982 (Kienberger 1982).....	28
Abbildung 23 Bohrprofil Hangbrücke Gravenegg Bereich Gasteinerhof von 1984 (Insond Ges.m.b.H. 1984).....	29
Abbildung 24 Schematischer geologischer Längsschnitt für das BVH Tauernhof auf Grundlage der Braugrunderkundung 2006 (ZT-Büro Dr. Werner Frlinger 2008).....	33
Abbildung 25 Schieferplatten unter dem Gipfel des Hüttenkogels.....	34
Abbildung 26 Schiefer unterhalb des Hüttenkogels.....	35
Abbildung 27 Skala des Polpunktdichtediagramms.....	35
Abbildung 28 Orientierung der Schieferungsflächen und Polpunktdichtediagramm.....	36

Abbildung 29 Gewässer und Quellen am Graukogel (Blau = Kaltwasser, Rot=Thermalwasser) (SAGIS 2010).....	37
Abbildung 30 Anstehender Gneis ca. 600 m nördlich vom Hüttenkogel (Punkt P1 in Abbildung 29) ..	38
Abbildung 31 Vereinfachte Übersicht Thermalgebiet Bad Gastein.	40
Abbildung 32 Bohrfächer im neuen Franz-Josef Stollen mit geothermischen Messungen (Janschek und Kahler 1990)	42
Abbildung 33 Richtungsvektoren der Festpunkte im Raum Bad Gastein für den Zeitraum 1932-1976	45
Abbildung 34 Messpunkte mit Richtungsvektoren und Verformungsraten (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG 2005).....	47
Abbildung 35 Übersichtsplan der GPS Vermessung.....	48
Abbildung 36 Lage und Richtungsvektoren der Neigungsmessstellen in Bad Gastein Ort	51
Abbildung 37 Summenlinien über einen Messzeitraum von 62 Tagen für die Messpunkte NG-1_GRAV, NG-1_GAS, NG-2_GAS und NG-3_GAS (bvfs 2006)	52
Abbildung 38 Summenlinie NG-1_GRAV, Messzeitraum 2001-2006 (1950 Tage) (bvfs 2006)	54
Abbildung 39 Summenlinie NG-1_GAS, Messzeitraum 1989-2006 (6336 Tage) (bvfs 2006)	55
Abbildung 40 Summenlinie NG-2_GAS, Messzeitraum 1989-2006 (6336 Tage) (bvfs 2006)	56
Abbildung 41 Summenlinie NG-3_GAS, Messzeitraum 1989-2006 (6336 Tage) (bvfs 2006)	57
Abbildung 42 Seismische Profile in Bad Gastein (Figdor et al. 1990).....	58
Abbildung 43 Geschwindigkeits-Tiefenmodelle für Profile 1, 2, 3 (Figdor et al. 1990).....	60
Abbildung 44 Modellvorstellung zum Ablauf der Massenbewegung - Geländeverlauf unmittelbar nach Abschmelzen des Eispanzers (oben), Geländeverlauf nach Talzusub (unten)	62
Abbildung 45 Nordwestflanke mit möglicher Abrisszone und Verschiebungsrichtung.....	63
Abbildung 46: Links: Versuchsprinzip nach (Egger 1984), Rechts: Schematischer Grundriss Base Friction Apparatur (Spang 1976)	64
Abbildung 47: Analogie Base Friction Modell zum natürlichen Schwerkräftesystem, vgl. (Goricki 1999)	65
Abbildung 48: Bewegungszustände an der schiefen Ebene (Goricki 1999)	66
Abbildung 49: Base Friction Maschine (links); Steuerungseinheit (rechts).....	67
Abbildung 50: Modell Versuch A (Pichler 2013).....	70
Abbildung 51: Aufnahmen während Durchführung Versuch A (Pichler 2013)	71
Abbildung 52: Modell Versuch B (Pichler 2013).....	73
Abbildung 53: Aufnahmen während Durchführung Versuch B (Pichler 2013)	74
Abbildung 54: Modell Versuch C (Pichler 2013).....	76
Abbildung 55: Aufnahmen während Durchführung Modell C (Pichler 2013)	77
Abbildung 56 Vergleich Base-Friction Modell mit Profil Lift	79

Abbildung 57 Vergleich Base-Friction Modell mit Profil Gemeinde.....	80
Abbildung 58 Vergleich Base-Friction Modell mit Profil Mitte	80
Abbildung 59 Systemskizze Starrkörpertranslation	82
Abbildung 60 Mögliches Ausmaß der Massenbewegung, schraffierte Fläche deckt ca. 5,5 km ² ab	85
Abbildung 61 Übersicht Profile am Graukogel	86
Abbildung 62 Profil Lift	87
Abbildung 63 Profil Mitte	88
Abbildung 64 Profil Gemeinde	89
Abbildung 65 Bereich mit größten Verformungsraten von Pfarrkirche bis Hangbrücke	90
Abbildung 66 Rissbildung in Mauerwerksbauten durch differentielle Setzungen (Fischer 2010)	92
Abbildung 67 Risse im Mauerwerk des Grabenwirt in den 1970er (befand sich nordwestlich unterhalb des Gasteinerhofs) (Scheidegger und Hauswirth 1980).....	93
Abbildung 68 Risse durchziehen gesamte Fassade (Nachbargebäude nordwestlich der Pfarrkirche) (2012)	94
Abbildung 69 Risse sichtbar in der kürzlich neu gestrichenen Fassade der Villa Elisabeth (unmittelbar talseitig der Hangbrücke Gravenegg) (2012).....	95
Abbildung 70 Risse im Mauerwerk der Wasserfallstraße (direkt unterhalb des südlichen Widerlagers der Hangbrücke Gravenegg) (2012)	95

Literaturverzeichnis

Ausweger, Georg (2013): Kriechdruckberechnung bei Massenbewegungen. Vergleich von analytischen Modellen an praktischen Beispielen. Masterarbeit. Technische Universität Graz. Institut für Bodenmechanik und Grundbau.

bvfs (2000): Prüfbericht Baugrunderkundung, Aufschüttung auf der Gpz. 247/1 KG Bad Gastein. Unveröff. Gutachten.

bvfs (2003): Gutachten - Zusammenfassung geologischer und gründungstechnischer Daten. Bauvorhaben Umbau Schillerhof, Badgastein. Unveröff. Gutachten.

bvfs (2006): Neigungsmessungen, Messzeitraum September-November 2006 Bauvorhaben: Gasteinerhof. Unveröff. Prüfbericht. Salzburg.

Egger, P (1984): Geomechanische Modellversuche für den Entwurf oberflächennaher Tunnel. In: *Felsbau* 2 (3), S. 166–169.

Exner, Christof (1950): Ein geologischer Ausflug zu den Schieferplatten am Hüttenkogel-Graukogel (Badgasteiner Badeblatt, 9).

Exner, Christof (1956): Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Gastein. Wien: Geolog. Bundesanstalt.

Figdor, H; Hauswirth, E. K.; Lindner, H.; Roch, K. H.; Scheidegger, A. E. (1990): Geodätische und geophysikalische Untersuchungen am NW-Hang des Graukogels bei Badgastein. In: *Österr. Z. Vermessungswes. und Photogrammetrie* 78 (2).

Forstinger+Stadlmann ZT-OEG (2005): Geotechnisches Beobachtungsprogramm ("Monitoring") Graukogel Nordwesthang Bad Gastein. Baugeologisch-geotechnische Bearbeitung. Unveröff. Gutachten.

Forstinger+Stadlmann ZT-OEG & 3P-Geotechnik ZT GmbH (2008): BVH Straubingergründe/Bad Gastein, Baugeologisches und bodenmechanisches Gutachten. Unveröff. Gutachten.

Frisch, W. (1976): Ein Modell zur alpidischen Evolution und Orogenese des Tauernfensters. In: *Geol Rundsch* (65), S. 375–393.

Frisch, W. (1977): Der alpidische Internbau der Venedigerdecke im westlichen Tauernfenster. In: *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* (11), S. 675–696.

Genske, Dieter D. (2008): Massenbewegungen. In: Karl Josef Witt (Hg.): *Geotechnische Grundlagen*. 7. Aufl. Berlin: Ernst (Grundbau-Taschenbuch, 1), S. 719–794.

Goricki, Andreas (1999): Base Friction Versuche für felsmechanische Kluftkörpermodelle. Diplomarbeit. Technische Universität Graz, Graz. Institut für Felsmechanik und Tunnelbau.

Insond Ges.m.b.H. (1984): Bohrkernaufnahmen Grandhotel Gasteinerhof. unveröff. Protokoll.

Intergeo ZT (2008): Ingenieurgeologisch-hydrogeologische Begutachtung BV Mountain DeLuxe Bad Gastein. Unveröff. Gutachten.

Janschek, Heinrich; Kahler, Franz (1990): Geologische und geophysikalische Ergebnisse im Thermalwassergebiet von Badgastein (Salzburg, Österreich). Wien (Mitt. österr. geol. Ges., 83).

Kahler, Franz (1979): Probleme des Thermalgebietes von Badgastein in Hinblick auf die Sanierung der Franz-Josef Quelle.

Kienberger, Helmut ZT (1982): Bohrkernaufnahmen Hangbrücke Gravenegg,. unveröff. Protokoll.

Krainer, Karl (1994): Die Geologie der Hohen Tauern. Klagenfurt: Univ.-Verl. Carinthia (Nationalpark Hohe Tauern, wissenschaftliche Schriften).

- Krauter, Edmund (2001): Phänomenologie natürlicher Böschungen (Hänge) und ihrer Massenbewegungen. In: Ulrich Smoltczyk (Hg.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 1: Geotechnische Grundlagen. 6. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn, S. 613–665.
- Landesgeologischer Dienst Land Salzburg (2004): Wohnbau Bergland, Neubau Seniorenwohnheim Bad Gastein, geologisches Gutachten. Befund. unveröff. Schreiben.
- Milnes, A.G. (1974): Structure of the Pennine Zone (Central Alps). A New Working Hypothesis. In: *Geol. Soc. Am. Bull.* (85), S. 1727–1732.
- ÖNORM B 4433, 01.12.1987: Erd- und Grundbau; Böschungsbruchberechnung.
- Pestal, Gerhard; Hejl, Ewald; Braunstingl, Rainer; Schuster, Ralf (2009): Geologische Karte von Salzburg 1:200.000. Erläuterungen. Wien: Geologische Bundesanstalt.
- Pichler, Patrick (2013): Base Friction Laborversuche. Modellierung und qualitative Untersuchungen zu Massenbewegungen im Gasteinertal. Masterprojekt. Technische Universität Graz, Graz. Institut für Bodenmechanik und Grundbau.
- Prinz, Helmut; Strauss, Roland (2011): Ingenieurgeologie. 5. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Spang, R. M. (1976): Möglichkeiten und Grenzen des Base Friction Konzepts. In: *Rock Mechanics* (8), S. 185–198.
- Staub, R. (1924): Der Bau der Alpen (Beitr. Geol. Kt. Schweiz, 52).
- van Husen, Dirk (1987a): Die Ostalpen in den Eiszeiten. Wien: Geologische Bundesanstalt.
- van Husen, Dirk (1987b): Die Ostalpen und ihr Vorland in der letzten Eiszeit (Würm). 1:500.000. Wien: Geologische Bundesanstalt.
- ZT-Büro Dr. Werner Füllinger (2008): BVH Tauernhof der GSWB - Bad Gastein. Ansuchen auf nachträgliche wasserrechtliche Genehmigung des Bauvorhabens. unveröff. Schreiben.

Internetquellen

BEV (2013): Österreichische Karte M1:500.000 (ÖK 500), Österreichische Karte 1:50.000 (ÖK50), Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Online verfügbar unter www.austrianmap.at. Zuletzt geprüft am 27.08.2013

Fischer, Daniel (2010): Interaktion zwischen Baugrund und Bauwerk. Zulässige Setzungsdifferenzen sowie Beanspruchung von Bauwerk und Gründung. Kassel: Kassel Univ. Press (Schriftenreihe Geotechnik, 21). Online verfügbar unter <http://d-nb.info/1003941133/34>. Zuletzt geprüft am 27.08.2013.

Gasteinertal Tourismus GmbH (2013): Heil- und Thermalwasser in Österreich. Gasteiner Thermalwasser. Online verfügbar unter <http://www.gastein.com/de/thermen-gesundheit/gasteiner-kur/radontherapie/gasteiner-thermalwasser>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 27.08.2013.

Lafenthaler, Anton Ernst (2007): Gasteinertal/Menschenwerke: Thermalquellen. Online verfügbar unter <http://gastein-im-bild.info/gequelle.html>, zuletzt aktualisiert am 21.05.2007, zuletzt geprüft am 27.08.2013.

Multilingual landslide glossary (1993): Multilingual landslide glossary. Richmond, B.C., Canada: BiTech Publ. Online verfügbar unter <http://www.cgs.ca/pdf/heritage/Landslide%20Glossary.pdf>, zuletzt geprüft am 17.06.2013.

SAGIS (2010): Graukogel - Übersicht Quellen. Salzburger Geographisches Informationssystem. Salzburg. Online verfügbar unter <http://www.salzburg.gv.at/sagis/>, zuletzt geprüft am 19.03.2013.

Scheidegger, A. E.; Hauswirth, E. K. (1980): Tektonische Vorzeichnung von Hangbewegungen im Raume von Badgastein. Hg. v. Interpraevent. Online verfügbar unter http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/1980_1_159.pdf, zuletzt geprüft am 11.08.2013.

Wasserbuch Land Salzburg (2013). Online verfügbar unter http://service.salzburg.gv.at/wisonline/wbo_main.aspx, zuletzt geprüft am 26.08.2013.

8 Anhang

Anhang I

Messergebnisse aus geodätischer Messung (Forstinger+Stadlmann ZT-OEG 2005)

IDNr.	Objektname	Punkt	Beginn	Ende	Jahre	gesamte Differenz horizontal [cm]	mittlere Bewegung pro Jahr [cm/a]
1	Altes Krankenhaus	NE-Punkt	1994	2005	11	2	0.18
2	Altes Krankenhaus	Mitte-Punkt	1994	2005	11	2	0.18
3	Altes Krankenhaus	SW-Punkt	1994	2005	11	2	0.18
4	Haus .355 30m N "Altes KH"	N-Ecke	1934	2005	71	2	0.03
5	Hütte KWP oberhalb Habsbugerhof	N-Ecke	1932	2005	73	85	1.16
6	Haus .102, 30m N Schwarze Liesl	N-Ecke	1932	1995	63	87	1.38
7	Haus .102, 30m N Schwarze Liesl	S-Ecke	1932	1995	63	87	1.38
8	Schwarze Liesl	SE-Ecke	1932	1995	63	76	1.21
9	Rudolfshöhe	NW-Ecke	1995	2005	10	15	1.50
10	Rudolfshöhe	SW-Punkt	1995	2005	10	13	1.30
11	Forsthaus .222	N-Ecke	1932	2005	73	35	0.48
12	Forsthaus .222	W-Ecke	1932	2005	73	46	0.63
13	Haus Hirt	W-Ecke	1932	2005	73	34	0.47
14	Hotel Astoria	N-Ecke	1932	2005	73	37	0.51
15	Hotel Astoria	Mitte-Punkt	1932	2005	73	35	0.48
16	Hotel Astoria	S-Ecke	1932	2005	73	33	0.45
17	Dr. Greinwald	N-Ecke	1932	1996	64	28	0.44
18	Dr. Greinwald	W-Ecke	1932	1996	64	30	0.47
19	Haus .221, N Dr. Greinwald	NW-Ecke	1932	1996	64	43	0.67
20	Pfeil 6 - 30m SW Dr. Greinwald		1998	2005	7	2	0.29
21	Haus Reitl, 85/1	N-Ecke	1932	2005	73	34	0.47
22	Haus Reitl, 85/1	W-Ecke	1932	2005	73	34	0.47
23	Pfeiler 5 - Kaiser Wilhelm Denkmal		1998	2005	7	2	0.29
24	Kaiserhof	N-Ecke	1932	2005	73	29	0.40
25	Haus .82 Badbruckstraße	E-Ecke	1932	2005	73	49	0.67
26	Haus .82 Badbruckstraße	SE-Ecke	1932	2005	73	50	0.68
27	Wasserbehälter u. Kötschachtalstraße	N-Ecke	1932	2005	73	47	0.64
28	Wasserbehälter u. Kötschachtalstraße	W-Ecke	1932	2005	73	47	0.64
29	Poly-Schule	E-Ecke	1932	2005	73	57	0.78
30	Poly-Schule	S-Ecke	1932	2005	73	57	0.78
31	Pfeiler 7		1998	2005	7	4	0.57
32	Haus .341 u. Kötschachtalstraße	S-Ecke	1932	2002	70	63	0.90
33	Haus .330 o. Kötschachtalstraße	NE-Ecke	1932	2005	73	60	0.82
34	Haus .330 o. Kötschachtalstraße	NW-Ecke	1932	2005	73	59	0.81
35	Heleneburg	N-Ecke	1932	1996	64	63	0.98
36	Heleneburg	W-Ecke	1932	1996	64	66	1.03
37	Gebäude .72/6 neben Heleneburg	W-Ecke	1932	1996	64	64	1.00
38	Thermalwasserbehälter o. Kötschacht.	N-Ecke	1934	1996	62	61	0.98
39	Thermalwasserbehälter o. Kötschacht.	W-Ecke	1934	1996	62	67	1.08
40	Haus n. Reitbauer, 72/7	NE-Ecke	1934	1996	62	76	1.23
41	Haus n. Reitbauer, 72/7	SE-Ecke	1934	1996	62	79	1.27
42	Reitbauer .72/2	N-Ecke	1934	1996	62	85	1.37
43	Reitbauer .72/2	W-Ecke	1934	1996	62	87	1.40
44	Gebäude 7m neben Reitbauer	N-Ecke	1934	1996	62	88	1.42
45	Postwohnhaus .206	NW-Ecke	1932	2000	68	84	1.24
46	Postwohnhaus .206	SW-Ecke	1932	2000	68	73	1.07
47	Haus n. Villa Grav., .205/2	NW-Ecke	1932	2000	68	107	1.57
48	Haus n. Villa Grav., .205/2	SW-Ecke	1932	2000	68	106	1.56

IDNr.	Objektname	Punkt	Beginn	Ende	Jahre	gesamte Differenz horizontal [cm]	mittlere Bewegung pro Jahr [cm/a]
49	Villa Gravenegg .205/1	N-Ecke	1932	2000	68	97	1.43
50	Villa Gravenegg .205/1	W-Ecke	1932	2000	68	96	1.41
51	Haus .191, s Villa Gravenegg	N-Ecke	1932	2000	68	108	1.59
52	Haus .191, s Villa Gravenegg	W-Ecke	1932	2000	68	142	2.09
53	Hangbrücke PF 600		1992	2005	13	11	0.85
54	Hangbrücke PF 500		1992	2005	13	13	1.00
55	Haus .208, unterhalb Schillerhof	N-Ecke	1932	1999	67	94	1.40
56	Haus .208, unterhalb Schillerhof	W-Ecke	1932	1999	67	92	1.37
57	Gebäude s. Haus .208, u. Schillerhof	W-Ecke	1932	1999	67	88	1.31
58	Talstation Graukogellift	N-Ecke	2000	2005	5	4	0.80
59	Talstation Graukogellift	W-Ecke	2000	2005	5	5	1.00
60	Schillerhof	NW-Ecke	1997	2005	8	11	1.38
61	Schillerhof	Mitte-Punkt	1997	2005	8	12	1.50
62	Schillerhof	S-Ecke	1997	2005	8	15	1.88
63	Hochbehälter Schillerhöhe	W-Ecke	1932	1995	63	115	1.83
64	Hochbehälter Schillerhöhe	S-Ecke	1932	1995	63	104	1.65
65	Gasteinerhof	W-Ecke	1932	2005	73	114	1.56
66	Gasteinerhof	SW-Punkt	1932	2005	73	114	1.56
67	Gasteinerhof 1)	W-Punkt	1990	2005	15	14	0.93
68	Gasteinerhof 1)	SW-Punkt	1990	2005	15	14	0.93
69	Pfarrkirche Bad Gastein	NW-Ecke	1932	1995	63	88	1.40
70	Pfarrkirche Bad Gastein	SE-Ecke	1932	1995	63	88	1.40
71	Pfarrkirche Bad Gastein 1)	NW-Ecke	1997	2005	8	9	1.13
72	Pfarrkirche Bad Gastein 1)	SE-Ecke	1997	2005	8	9	1.13
73	Q 10 Haus .58 o. STM Quellpark	S-Ecke	1997	2005	8	10	1.25
74	Q 7 Haus .59 o. STM Quellpark	S-Ecke	1997	2005	8	11	1.38
75	Q 12 Gebäude .37/2, Quellpark	W-Ecke	1997	2005	8	8	1.00
76	Q 4 Mirabell	S-Ecke	1997	2005	8	10	1.25
77	Q 3, GN 157		1997	2005	8	7	0.88
78	Q 2, Dunstbad	N-Ecke	1997	2005	8	1	0.13
79	KT 44-155 Windischgrätz		1934	2005	71	79	1.11
80	KT 47-155 Höllbrunn		1973	2003	30	35	1.17