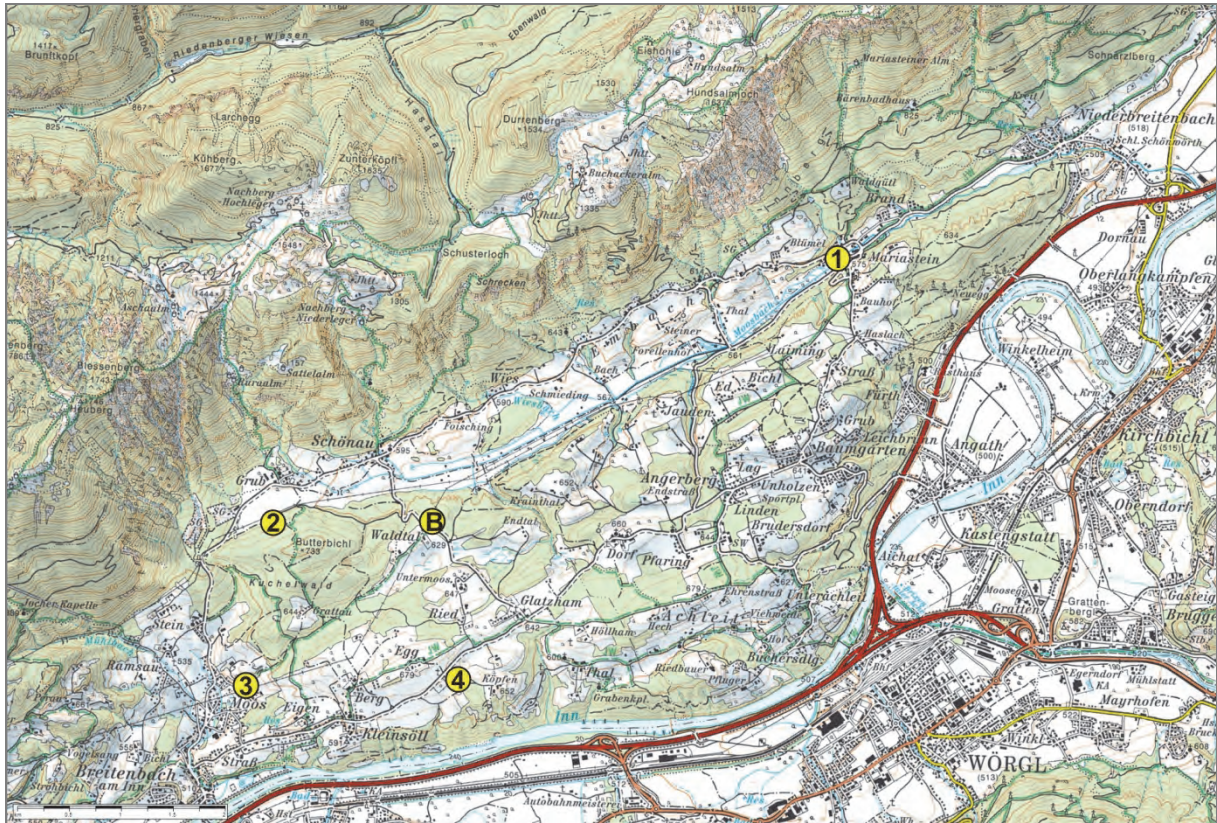


Exkursion E2b/I – Die prähochglazialen Felsgleitungen von Mariastein und vom Butterbichl am Unterangerberg Mittwoch 21. 09. 2011

J.M. REITNER, A. GRUBER und T. STRAUHAL
Führung: J.M. REITNER



Übersichtskarte mit Exkursionsstopps: Ausschnitt aus der ÖK 1:50.000, AMAP.
B = Lage der Bohrung P-KB 01/06 (B) am Unterangerberg.

1. Stopp: Unterhalb der Kirche von Mariastein

Hier wird eine Einführung in die Geologie und Morphologie der großen Felsgleitung von Mariastein gegeben.

Weiterfahrt über Embach, Schönau nach Grub bis zur großen Schottergrube

2. Stopp: Kurze Wanderung auf Waldwegen zum Nordabfall des Butterbichl („Butterbichlweg“)

Nach einer Einführung in die große Felsgleitung vom Butterbichl werden Aufschlüsse in der Gleitmasse mit verschiedenen Zerlegungsgraden diskutiert. In der weiteren Folge ist hier sehr schön die Überlagerung der Gleitmasse durch hochglaziale Grundmoräne zu erkennen.

Weiterfahrt nach Breitenbach/Moos, Aufstieg zur Schottergrube von Moos

3. Stopp: Schottergrube von Moos

Das ist der beste Aufschluss, um den Zerlegungsgrad der Gleitmasse und der Scherflächen zu studieren und die Mechanik der Massenbewegung zu besprechen. Hier werden auch die Eckdaten der Bohrung Butterbichl (P-KB 01/06; bei Waldthal Lokalität B) erläutert, die für das Verständnis der Felsgleitung von entscheidender Bedeutung sind.

Weiterfahrt nach Breitenbach – Abzweigung Richtung Angerberg – weiterfahrt über Kleinsöll bis südlich Egg.

4. Stopp: Drumlin von Egg

Mit Blick nach Nordwesten auf den größten Drumlin des Unterangerberges, jenen von Egg; auf dem großen Drumlin von Egg/Berg wird eine Erläuterung der glazialen Überformung und der lokalen Landschaftsentwicklung gegeben.

Einleitung

Ziel der Exkursion ist es, den Aufbau, Versagensmechanismus und die zeitliche Stellung von zwei großen pleistozänen karbonatischen Felsgleitmassen – jener von Mariastein und jener vom Butterbichl – darzulegen und sie im Kontext mit den vergangenen und heutigen tektonischen Vorstellungen zu diskutieren. Beide Beispiele zeigen weiters die möglichen Synergien von geologischer Kartierung unter besonderer Berücksichtigung von Struktur- und Quartärgeologie und der Auswertung geotechnischer Untersuchungen auf.

Im Zuge der Trassenfindung für die Zulaufstrecke des Brenner-Basistunnels im Unterinntal rückte das Gebiet des Angerberges in den Fokus des angewandt-geologischen Interesses. So wurden von der Brenner Eisenbahn Gesellschaft (BEG) detaillierte Geländeaufnahmen, geophysikalische Untergrunderkundungen und Bohrungen durchgeführt (SPITZER, 2005, 2006; KÖHLER, 2007; KÖHLER & POSCHER, 2007; POSCHER et al., 2008). Unabhängig davon wurde von der Geologischen Bundesanstalt im Zuge der Landesaufnahme für Blatt UTM 3213 Kufstein schwerpunktmäßig entlang des Pendlingzuges und am Unterangerberg kartiert. Weiters fanden für den Bereich des Butterbichls Gelände- und Laboruntersuchungen im Rahmen eines alpS-Forschungsprojekts statt (STRAUHAL, 2009). Im Fall der Butterbichl-Gleitmasse stützt sich diese Kurzzusammenfassung auf die Arbeit von GRUBER et al. (2009), in die sowohl Bohrergebnisse als auch Geländedaten eingeflossen sind. Für Mariastein liegt vorerst nur ein Kartierungsbericht vor (GRUBER, 2009). Eine detaillierte Analyse unter Berücksichtigung der Bohrergebnisse ist in Vorbereitung (Gruber & Reitner). Weiters ist gegenwärtig eine quartärgeologische Dissertation von R. Starnberger (Universität Innsbruck) in Ausarbeitung, die sich mit der Datierung (Radiokarbon und Lumineszenz) von Sedimenten im Kontakt zu den beiden Massenbewegungen beschäftigt.

Geomorphologischer und geologischer Rahmen

Beide Gleitmassen liegen am Unterangerberg, einer 600 m hohen Mittelgebirgsterrasse, die sich deutlich über die Talflur des Inntales (ca. 510 m ü. NN) erhebt. Die Nordbegrenzung des Unterangerberges ist mit dem Südabfall der Nördlichen Kalkalpen gegeben, der sich hier vom Heuberg/Kienberg (1746 m bzw. 1786 m) im Westen bis zum Pendling (1563 m) im Osten erstreckt. Da am Südabhang dieses Höhenzuges auch die Abrissnischen der beiden Gleitmassen liegen und auch die bisherigen Interpretationen eng mit den tektonischen verknüpft waren, wird hier ein kurzer Überblick zum geologischen Rahmen gegeben. Das hier vorliegende Tirolikum der Inntal-Decke weist einen komplexen Faltenbau auf, der großteils durch E-W-streichende Synklinalen und Antiklinalen bestimmt wird. Das Abbruchgebiet der Butterbichl-Gleitmasse und der Mariastein-Gleitmasse liegt am Südschenkel der hier ausgebildeten Guffert-Pendling-Antiklinale: Sie wird aus Wettersteinkalk, Nordalpinen Raibler Schichten, Hauptdolomit und Resten von Gosasedimenten aufgebaut. Am Südrand grenzt diese Faltenstruktur entlang der breiten, NE-SW-streichenden, sinistralen Inntal-Scherzone, hier auch als Em-

bach-Störung bezeichnet (EISBACHER & BRANDNER, 1996), an Gesteine des Unterinntal-Tertiärs (überwiegend Sandstein, Siltstein und Tonstein; ORTNER, 1996, 2003a; ORTNER et al., 2006; THÖNY, 2003; s. Abb. 2).

Das Inntal ist im Raum Kundl-Kufstein ein typisch glazial überformtes, inneralpines Tal, welches während des Würm-Hochglazials bis auf ca. 1900–1800 m Höhe mit Eis erfüllt war (vgl. v. KLEBELSBERG, 1935). Daraus resultierte zum einen eine glaziale Übertiefung im heutigen Inntal, die basierend auf der Bohrung Kramsach (Felssohle d. h. Top Unterinntal-Tertiär in 374 m u. GOK; s. ORTNER et al., 2006, PREUSSER et al., 2010) nicht mehr als 300–400 m beträgt. Zum anderen erhielt der Unterangerberg seine glaziale Prägung mit typischen Drumlins (elongierte Grundmoränenrücken mit teils komplexem Aufbau).

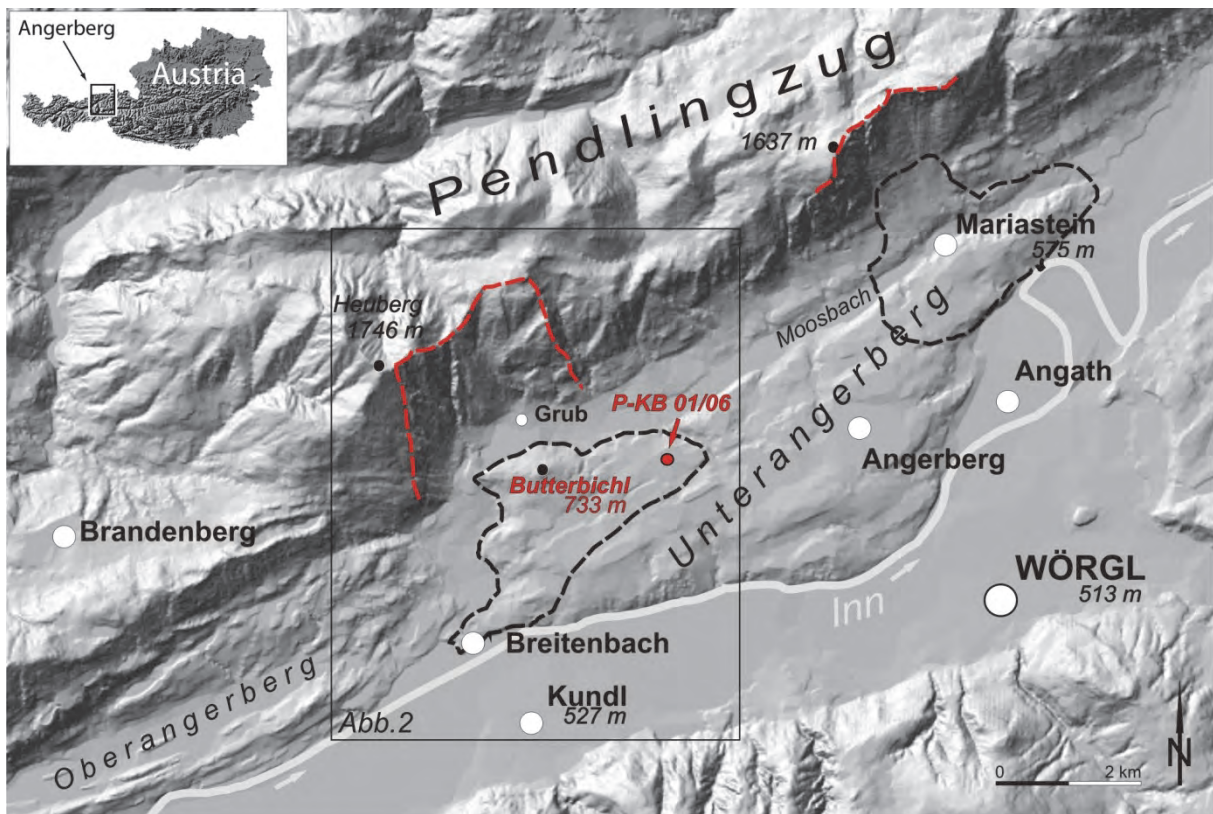
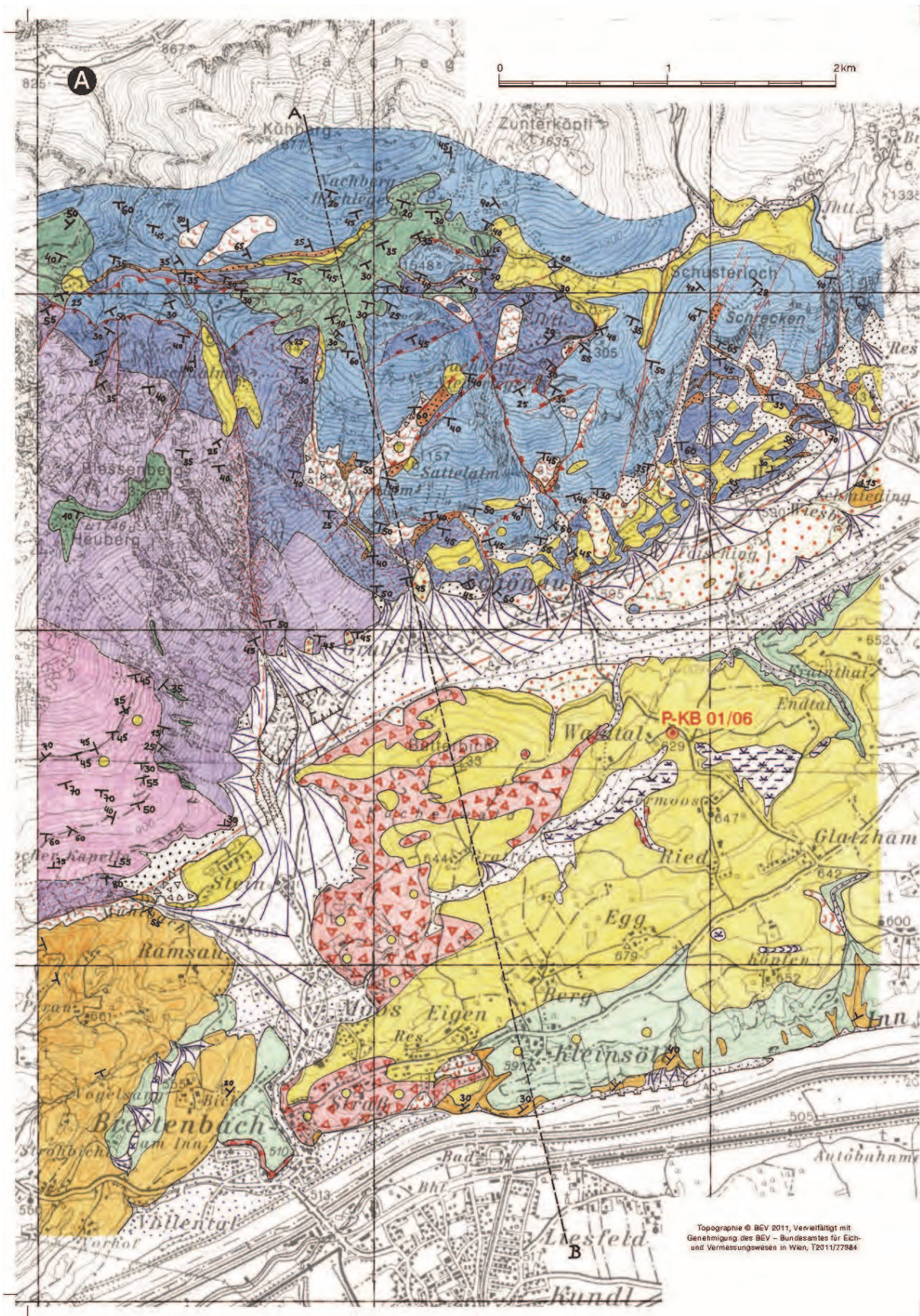


Abb. 1: Lage der Felsgleitungen des Butterbichl und von Mariastein am Unterangerberg im Unterinntal (Tirol) mit den Ausmaßen der Abrissnische und des Ablagerungsgebietes der Butterbichl- und der Mariastein-Massenbewegung sowie der Position der Kernbohrung P-KB 01/06. Der angezeigte Rahmen bezeichnet den Ausschnitt der geologischen Karte (siehe Abb. 2).

2A + 2B) pdf druckfert Brumon/Brandner/Gruber/E2/Jürgen-Fred volle ganze Seite

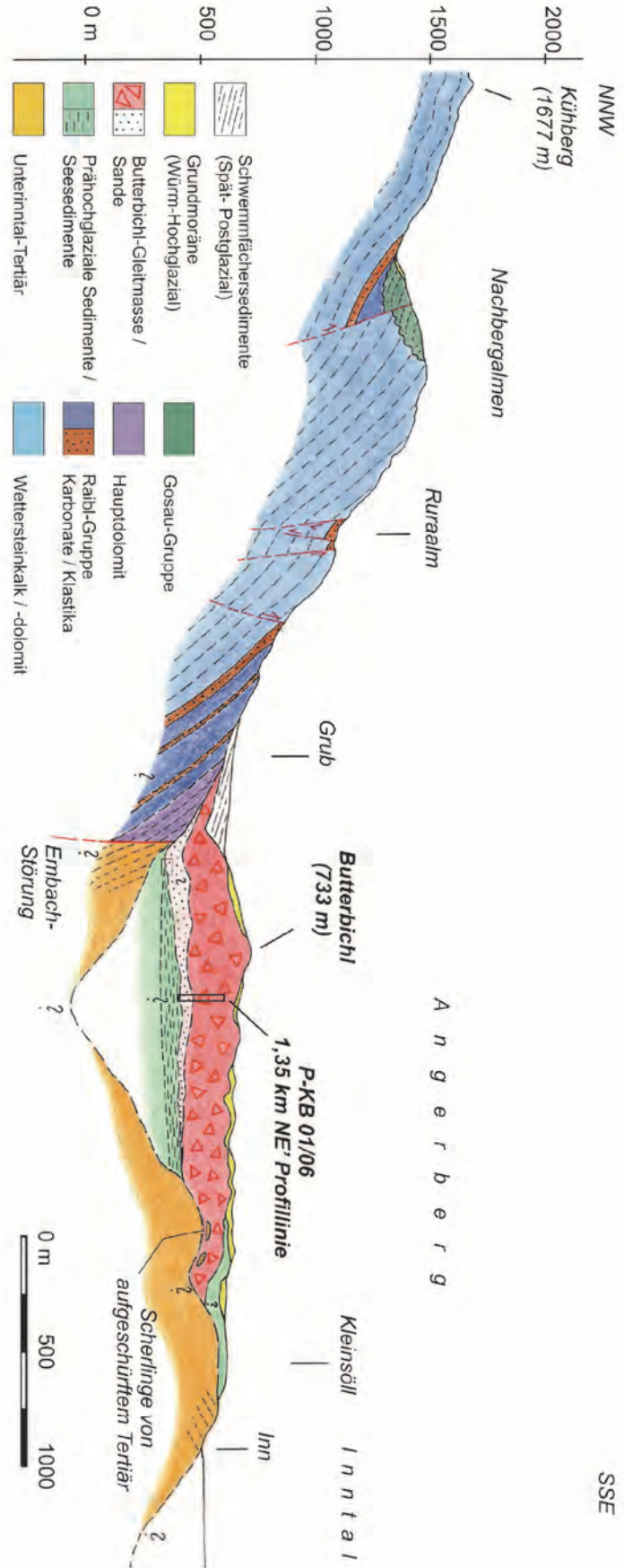


Kartenlegende

-  Hangschutt, Sturzschutt: grobblockig
-  Vernässungen, Moor- Torfablagerungen
-  Sinterbildungen
-  Rutschmasse, Erdstrom
-  Jüngste Talalluvionen, Wildbach- und Schwemmfächersedimente (-kegel)
-  Staukörper am Eisrand (Schotter, Kiese, Sande, Schluffe)(Spätglazial)
-  Grundmoräne des Inn- und Würmglazials, Grundmoränenstreu (Würm-Hochglazial/ LGM)
-  Prä-Hochglaziale Sedimente undiff. (Schotter, Kiese, Sande, Schluffe) (LGM und älter)
-  Ablagerungen der Massenbewegung Butterbichl (Prä-LGM)
-  Unterinntal-Tertiär (Unter-/Oberangerberg-Fm) (Oligozän)
-  Gosau-Gruppe undiff. (Oberkreide-Paläogen)
-  Plattenkalk (Nor, Rhät)
-  Hauptdolomit (Nor)
-  Raibl-Gruppe (Karbonate/Klastika) (Karn)
-  Wettersteinkalk / -dolomit (Ladin-Unterkarn)
-  Kataklasezonen
-  Störungen undiff. (Sicher / vermutet)
-  Auf- / Überschiebung
-  Abschiebung
-  Seitenverschiebung (sinistral / dextral)
-  Bohrung P-KB 01/06
-  Profilinie A-B

Fig. A: Vereinfachte geologische Karte der Butterbichl-Massenbewegung und ihrer näheren Umgebung, zusammengestellt aus aktuellen unveröffentlichten Kartierungen von A. Gruber, J. Reitner, C. Prager, T. Strauhal und R. Brandner unter Berücksichtigung der Arbeiten von AMPFERER (1921), SCHULZ (1993), ORTNER et al. (1997), SANDERS (1998), SPITZER (2005), KREUSS (2006, 2007).

Fig. B: NNW-SSE-verlaufender geologischer Profilschnitt durch das Abbruch- und Ablagerungsgebiet der Felsleitung Butterbichl (Profilverlauf siehe auch geologische Karte Fig. A). Die Bohrung P-KB 01/06 wurde von Osten in das Profil hineinprojiziert.



aus: Gruber et al. 2009, Swiss Bull. angew. Geol., Vol. 14/1+2, S. 103-134

Bisherige Ansichten zur geologischen Stellung der beiden Dolomitschollen (Butterbichl und Mariastein)

AMPFERER (1921, 1922) deutete im Zuge seiner umfangreichen Kartierungen für die Geologische Landesaufnahme (Karte des Unterinntales 1:40.000 und die Blätter Rattenberg und Kufstein 1:75.000) die isolierten triassischen Dolomitkörper innerhalb der Angerbergterrasse – den Butterbichl, die Schollen von Mariastein, Angath – als Erosionsreste der Kaisergebirgs-Decke, die er vom Kaisergebirge östlich des Inn nach Westen mit der Inntal-Decke im Karwendelgebirge verband (Lage s. Abb. 2). Ampferer erkannte im Gelände zwar die flache Lagerung des Butterbichl-Dolomitkataklastits auf quartären Mehlsanden und tertiären Festgesteinen, sprach sich dennoch gegen die Deutung als Bergsturzmasse aus, die von PENCK & BRÜCKNER (1909) für den Dolomitkörper bei Mariastein am Ostende des Unterangerberges (s. Abb. 1) diskutiert wurde. HEISSEL (1951, 1955) beschrieb aus der Gegend von Breitenbach dolomitisches Bergsturzmaterial, auf quartären Sedimenten (Sanden, Schottern, Moränen) liegend und von Würm-Grundmoränen und Terrassenschottern überlagert, das er stratigraphisch in das Riß-Würm-Interglazial einstuft. Demgegenüber betrachtete er die weiter nördlich liegende Dolomitmasse des Kuchelwaldes (Butterbichl) als Teil eines tief reichenden Kataklastitkörpers, der über den gesamten Unterangerberg verbreitet war. ORTNER (1996, 2003a) und ORTNER & STINGL (2001) betrachteten die Dolomitmassen am Angerberg als einen großen Scherkörper entlang der Inntal-Scherzone. Die tektonische Platznahme führte er auf eine NNW-SSE-gerichtete Kompression zurück, die in der Schließung eines Pull-apart-Beckens mündete, in welchem vorher die Sedimentation des Unterinntal-Tertiärs erfolgte. SPITZER (2005) teilte weitgehend diese tektonische Interpretation, nahm allerdings im Gegensatz zu Heissel und Ortner mehrere, durch die Inntal-Scherzone entkoppelte Scherkörper an.

Butterbichl-Gleitmasse

Die Analyse dieser Massenbewegung stützt sich einerseits auf die geologische Kartierung und andererseits auf eine Reihe von Bohrungen der BEG, wobei die im Ablagerungsgebiet abgeteufte Rotationskernbohrung P-KB 01/06 die maßgebliche ist.

Abbruchgebiet

Geometrie

Das Abbruchgebiet der Butterbichl-Massenbewegung ist in den mehr als 1000 m hohen Hangflanken östlich des Heuberges (1746 m) als Hohlform erkennbar (s. Abb. 1, 3a, 4). Eine schroffe, Nord-Südverlaufende Geländestufe wird als Abrisskante bzw. Westbegrenzung der Massenbewegung angesehen, deren Anlage durch eine N-S-streichende, steil E-fallende Störungsfläche vorgegeben ist. Der zentrale Abrissbereich ist nördlich von Grub durch SSE-geneigte mittelsteile, schichtparallele Hänge gekennzeichnet, welche in etwa der basalen Abriss- bzw. Gleitfläche entsprechen. Diese Hänge sind weiters in schmale, trogartige Eintiefungen untergliedert, deren Anlage tektonisch vorgezeichnet ist, wie z. B. die grabenartige Einsenkung der Raibler Schichten (s. Abb. 2a, 2b). Der Nord- und Ostrand des Abbruchgebietes (Grat zwischen Blossenbergl und Aschaalm/Nachbergalmen) zeigt auffallend abgerundete Landschaftsformen, die typischerweise auf glaziale Erosion während des letzten Eishochstandes (Würm-Hochglazial; Höhe der Eisoberfläche ~1900 m ü. NN) zurückzuführen sind. Damit steht auch das gelegentliche Vorkommen von typischer Kristallin führender Inngletscher-Grundmoräne in der Abbruchnische in Einklang.

Entsprechend dieser Rekonstruktion weist die Ausbruchsnische der Massenbewegung „Butterbichl“ eine geschätzte Breite von ca. 2500 m, eine Tiefe von ca. 2000 m und Höhenunterschiede von mindestens ca. 1000 m auf (vgl. Abb. 1, 3b).

Unter der Annahme, dass sich die Abbruchnische geometrisch als ein Halbellipsoid beschreiben lässt, ergibt sich nach der unten angegebenen Formel (CRUDEN & VARNES, 1996) bzw. mit den nachfolgend angegebenen Werten der Halbachsen (Breite, Tiefe, Höhe) für das Volumen dieser Hohlform folgender Schätzwert:

$$V_{\text{Nische}} = \frac{1}{6} \times \pi \times \frac{2500}{2} \times \frac{2000}{2} \times \frac{1000}{2} = \text{ca. } 327 \text{ Mill. m}^3$$

Wird diese Hohlform durch ein annähernd hangparallel orientiertes Halbellipsoid beschrieben, reduzieren sich Tiefe und Höhe (i. e. Mächtigkeit der Gleitscholle) bzw. Volumen wie folgt:

$$V_{\text{Nische}} = \frac{1}{6} \pi \times (2500/2) \times (1125) \times (400) \text{ m} = \text{ca. } 295 \text{ Mill. m}^3$$

Jedenfalls beträgt das Gesamtvolumen der Bergsturzmasse mindestens 300 Mio. m³, bei Berücksichtigung der in Abb. 1 und Abb. 3a dargestellten vermuteten Verbreitung der Ablagerungen entsprechend mehr.

Lithologie des Abbruchgebietes

Folgende lithologische Einheiten sind im Abrissgebiet erfassbar (Details s. GRUBER et al., 2009):

a) Wettersteinkalk und -dolomit (Ladin bis Unterkarn)

Es handelt sich um dm- bis m-gebankte Wechselfolgen von weißen bis beigen Kalken und Millimeter-rhythmite mit stromatolithischen Gefügen sowie Loferiten. Im Abbruchgebiet ist die Wetterstein-Fm. auch in mittel- bis grobspätiger, dolomitischer Ausbildung vertreten. Die Dolomitisation ist stratiform gebunden und tritt im Wechsel mit Kalken auf. Teilweise scheint sie sich auch an Störungsbereiche zu halten. Entsprechend dem spröderen rheologischen Verhalten sind die dolomitischen Areale häufiger von Kataklasten durchsetzt.

Die Mächtigkeit der Wetterstein-Fm. beträgt im Pendlinggebiet mindestens 800–1000 m (THÖNY, 2003), bzw. beidseits der Brandenberger Ache ca. 1300 m (TÖCHTERLE, 2005).

b) „Raibl-Gruppe“ (Karn)

Sie setzen meist mit einem mehrere Meter mächtigen Tonschiefer-Horizont ein. Darauf folgen dünnbankige, dunkelgrau-braune Dolomite und Rauwacken, Onkolithe, dickerbankige grau-bräunliche dolomitische Kalke, die sich im Wechsel mit feinklastischen Lagen (Tonschiefer und Sandsteine) noch zweimal wiederholen. Den Abschluss der Schichtfolge bilden zumeist dickbankige, strukturlose Dolomite, Brekzien und Rauwacken. Verkieselungen sind in Bereichen mit wechselnd dünnbankigen, dunklen Dolomiten (Algenlaminite) und dünnen Tonschieferzwischenlagen, v. a. an der Basis der Schichtfolge, aber auch am Übergang zum Hauptdolomit zu finden (DONOFRIO et al., 2003). Die Raibler Schichten sind im Untersuchungsgebiet generell stark tektonisch deformiert worden, Kataklastite im Sinne von zementverheilten tektonischen Brekzien, Kakirite und feinkörniges Gesteinszerreibsel in Störungszonen (fault gouges) sind häufig anzutreffen (Abb. 3). Die Gesamtmächtigkeit kann in wenig gestörten Abschnitten bis 200 m betragen.



Abb. 3: Intensiv spröd deformierte, dünnbankige, laminierte Raibler Dolomite mit N-S-Störungen, an denen sich Felspakete ablösen; Lokalität Abrissgebiet südlich Pkt. 1444 m.

c) Hauptdolomit (Nor)

Helle bis dunkelgrau-bräunliche, dm-gebankte, strukturlose Dolosparite, aber auch laminierte und stromatolithische, bituminöse Dolomite sind die Hauptgesteinstypen. Die primäre Mächtigkeit des Hauptdolomits kann 2000 m übersteigen (DONOFRIO et al., 2003), beträgt im vorliegenden Gebiet jedoch nur einige 100 m, wobei die Basis des Hauptdolomits aufgrund der lithologischen Ähnlichkeit zu den Raibler Dolomiten bisher nicht eindeutig festgelegt werden konnte. In charakteristischer Weise zeigt der Hauptdolomit ein sprödes Materialverhalten gegenüber tektonischer Beanspruchung. Tektonische Brekzien, Kataklastite und Kakirite treten daher häufig auf.

d) Gosau-Gruppe (Oberkreide bis Paläogen)

Die synorogenen Gosausedimente (WAGREICH & FAUPL, 1994) liegen diskordant auf eoalpin gefaltetem triassischem Untergrund. Am Nordrand des Abbruchgebietes der Butterbichl-Gleitmasse (Nachbergalm) gibt es ein größeres Vorkommen (AMPFERER, 1921) der sogenannten Unteren Gosau-Subgruppe, das aus roten Brekzien und Konglomeraten, Kohlen, Sandsteinen, Mergeln und Kalken besteht (AMPFERER, 1921; AMPFERER & OHNESORGE, 1909; SANDERS, 1998; Abb. 2a), dessen Auftreten an ehemalige Dehnungsgräben im Scharnier der Pendling-Antiklinale gebunden ist (Abb. 2B).

e) Unterinntal-Tertiär (Unter- und Oberangerberg-Formation, Paläogen)

Orographisch links des Moosbachs erstreckt sich zwischen Mariastein (575 m) und Wiesbach (ca. 600 m) ein schmaler Zug von Unterinntal-Tertiär, der nach Westen von quartären Lockersedimenten (Eisrandsedimente, Schwemmfächer) verdeckt ist (s. Abb. 2a). Es handelt sich um eine marine, teils turbiditische Folge von Mergeln, Kalksandsteinen, Sandsteinen und Feinkonglomeraten (ORTNER & STINGL, 2001), die möglicherweise noch den Fuß des Abrissgebietes tangieren. Die Unterangerberg-Fm. wird auf der Linie Grub – Breitenbach von der marinen bis fluviatilen, vorwiegend aus Konglomeraten, Sand- und Siltsteinen zusammengesetzten Oberangerberg-Fm. überlagert.

Struktureller Bau

Das Gebiet wird von einer großen ENE-WSW-streichenden, antiklinalen Faltenstruktur, der sogenannten Pendling-Antiklinale, dominiert. Im Südschenkel der Antiklinale fallen die Schichtflächen durchschnittlich mit 30–50° gegen Süden ein, wodurch hiermit ein struktureller Hang vorliegt. N-S- und NE-SW- bis ENE-WNW-streichende Störungen zerhacken den Südschenkel (Abb. 2a, 2b). Die Störungssysteme waren mehrfach aktiv, u. a. als Abschiebungen, wobei als Hauptabscherhorizonte die inkompetenten Raibler Schichten dienten. Sie führten z. B. zur Bildung von schmalen Horst-Grabenstrukturen mit Einsenkung der Raibler Schichten und der Gosau (z. B. im Bereich Ruraalm). Im Tertiär wurde durch N-S-Einengung ein Teil der genannten Störungen als Überschiebungen genutzt, indem die alten Grabenbrüche aufschiebend invertiert bzw. durch neue Aufschiebungen plombiert wurden (vgl. SCHULZ, 1993). Im Zuge der Bildung großer E-W-Faltenstrukturen wurden diese Grabenbrüche mitverfaltet. Die weit verbreiteten dolomitischen Gesteine des Inntal-Nordrandes (Raibler Dolomite, Hauptdolomit, z. T. Wettersteindolomite) erfuhren dabei eine starke kataklastische Deformation (vgl. Abb. 3). Die NE-SW-streichenden Störungen waren im Zuge der miozänen Extrusion der Ostalpen (RATSCHBACHER et al., 1991) als konjugierte Störungen zur sinistralen, ENE-WSW-verlaufenden Inntal-Scherzone aktiv.

Ablagerungsbereich

Festgesteine sind am Angerberg nur im Bereich des orographisch linken Innufers und links des Moosbaches aufgeschlossen (Sand-, Siltsteine und Mergel der Unterangerberg-Fm). Das flächenmäßig dominante Lockergestein ist eine Decke aus Grundmoräne mit stark schwankender Mächtigkeit (wenige bis 10er-Meter), die morphologisch als längliche Rücken (Drumlins) ausgebildet ist. Geländeaufschlüsse zeigen im Umkreis des Dolomitvorkommens des Butterbichls (v. a. bei Endtal, s. Abb. 2a, 6) eine monomikte Grundmoränenfazies mit rein karbonatischem, dominant aus subangularen hellen Dolomiten bestehendem Geschiebespektrum. Weiter gegen Osten ist in der Grundmoräne eine Zunahme an Kristallingeschieben (Gneis, Amphibolit) ersichtlich, bis schließlich eine typische polymikte Inn-gletscher-Grundmoräne vorliegt.



Abb. 4: Blick vom Heuberg nach Südosten auf den Unterangerberg mit den Ablagerungen der Butterbichl-Felsgleitung (bewaldetes Areal) und der Lage der Bohrung P-KB 01/06; deutlich erkennbar ist die glaziale Überprägung in Form von inntalparallelen Drumlins.

Im Großteil des Unterangerberges besteht in den Aufschlüssen und Bohrungen das stratigraphisch Liegende der Grundmoräne aus mächtigen, glaziolakustrinen Feinsedimenten, z. T. mit Dropstones und Sanden an der Basis, welche von glaziofluviatilen, polymikten sandig-steinigen Kiesen überlagert werden. Aus diesen Daten, v. a. aus den Bohrungen (insbesondere P-KB 01/06), lässt sich ein verfallener glazialer Trog parallel zum heutigen Inntal rekonstruieren, der mindestens 80 m tiefer als das heutige Inniveau ist (Abb. 2B). Der Trog ist das Resultat der glazialen Übertiefung während einer älteren Großvergletscherung (vermutlich Riß). Ein schmaler Rücken aus Unterangerberg-Fm. trennt ihn vom Inntal. Im topographisch höchsten Bereich des Angerberges, dem Butterbichl, ist unter einer lückenhaften Grundmoränenaufgabe ein zertrümmerter Dolomitkörper erkennbar. Dessen Internbau ist am Nord- und besonders am Südwestrand in Großaufschlüssen ersichtlich. Darin sind fließende Übergänge von noch zusammenhängenden, flach lagernden, stark zerrütteten Felsverbänden aus hellen und dunklen, laminierten und stromatolitischen, z. T. verkieselten (Steinbruch nordwestlich von Berg) Dolomiten – vermutlich Raibler Dolomite – zu Lockersedimenten mit petrographisch gleichartiger Zusammensetzung zu beobachten. Dieser Übergang erfolgt teils innerhalb von Dezimetern bis Metern. Es treten folgende Abstufungen zunehmender Gesteinsdesintegration auf:

- Intensiv geklüftete und spröde deformierte Körper im dm-m-Bereich, die durch Scherzonen oder vorgegebene Anisotropien wie Störungsflächen bzw. feinklastische (Tonschiefer-)Zwischenlagen getrennt sind (Abb. 7a). In den Grundzügen zeigen Kluft- und Störungsflächen das im Abrissgebiet vorhandene tektonische Muster noch an. Am West- und Südwestrand finden sich in diskreten Scherzonen ziegelrote Sand- und Siltsteine, die den Gosasedimenten am West- und Nordrand des Abrissgebietes zuordenbar sind.
- Lockergesteinskörper mit angularen Klasten, korrespondierenden Kontaktflächen, korngestütztem angularem bis subangularem Schutt mit sandigem bis schluffigem Matrixanteil (Abb. 5a, c)
- Matrixgestützte Diamikte mit angularen bis subangularen Klasten (Abb. 5a)
- Scherzonen und Schlierenstrukturen (Abb. 5c) finden sich generell in allen Zerrüttungsstadien. Je stärker zertrümmert und je matrixreicher, umso leichter grabbar ist das Material.

Die Butterbichl-Gleitmasse zeigt an ihrem Südrand bei Breitenbach basale Kontakte zu den Unterangerberger Schichten, die teilweise als Scherlinge in die Masse inkorporiert sind (Abb. 2b).

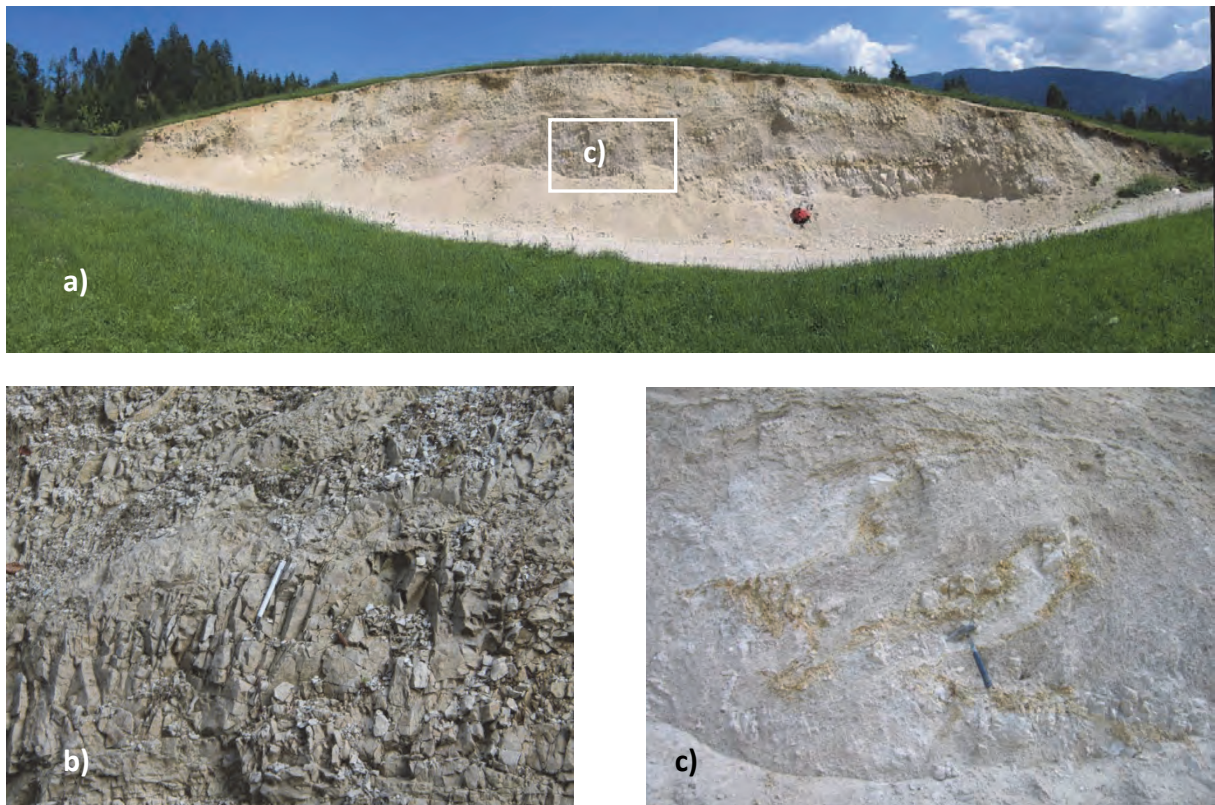


Abb. 5: Ablagerungen der Butterbichl-Felsgleitung im Aufschluss:

- a) Lockergesteinskörper mit angularen Klasten, korrespondierenden Kontaktflächen, korngestütztem angularem bis subangularem Schutt mit sandigem bis schluffigem Matrixanteil im Wechsel mit matrixgestützten Diamikten mit angularen bis subangularen Klasten aus Raibler Dolomit; Schottergrube nordöstlich Moos (Stopp 3); man beachte die glaziale Überformung des Aufschlusses.
- b) Dekametergroße, im Verband erhaltene Felsscholle aus intensiv geklüfteten und spröd deformierten, dünnbankigen, laminierten Dolomiten (Raibler Dolomite und/oder Hauptdolomit); Lokalität Forstweg an der Nordseite des Butterbichls.
- c) Detailausschnitt von a): Scherzonen und Schlierenstrukturen.

Bohrkernanalyse und -interpretation der Bohrung P-KB01/06 im Vergleich zur Geländesituation

Im Herbst 2006 wurde etwa 1300 m östlich des Butterbichls die Rotationskernbohrung P-KB01/06 (Abb. 1, 2a) ohne Kernverlust bis zu einer Endteufe von 202 m u. GOK (= 427 m ü. NN) vertikal abgeteuft. Der Grundwasserspiegel wurde in ca. 60 m u. GOK angetroffen, während der Bohrung traten durchwegs hohe Spülverluste auf (frdl. mündl. Mitt. M. Köhler, BEG).

Die lithofazielle Aufnahme des Bohrkernes P-KB 01/06 lehnte sich bezüglich Lockersedimente an die Klassifikation von KELLER (1996) an. Für die Festgesteine und die Übergänge zu den Lockersedimenten wurde eine eigene Gliederung (GRUBER & REITNER in GRUBER et al., 2009) unter Berücksichtigung des Auflockerungsgrades und des Matrix-Klasten-Verhältnisses (vgl. Abb. 6) aufgestellt: Die für jeden Bohrmeter angewandte Klassifizierung für zerlegten Fels wird graphisch in Tab. 1 dargestellt.

Im Rahmen dieser Klassifizierung kristallisierten sich basierend auf dem lithologischen Inhalt und dem Zerlegungsgrad neun Homogenbereiche heraus. Bezüglich der detaillierten makroskopischen und mikroskopischen Beschreibung sowie der Bestimmung der Granulometrie und geotechnischer Parameter wird auf die ausführliche Arbeit in GRUBER et al. (2009) verwiesen. Im Folgenden wird daher nur das lithologische und strukturelle Inventar im Bohrgut soweit wie möglich im Konnex mit den obertägigen Verhältnissen diskutiert.

Die glaziale Bedeckung (0–15 m u. GOK, Homogenbereich I):

Der überkonsolidierte massive, matrixgestützte Diamikt mit gekritzten und polierten Geschieben der obersten 8,4 m entspricht einer sehr markanten Fazies innerhalb der Grundmoränendecke des Angerberges östlich des Butterbichls. Trotz des monomikten, rein karbonatischen und dominant aus Dolomit bestehenden Geschiebespektrums handelt es sich hierbei um eine Ablagerung des Würm-hochglazialen Inngletschers, der zuletzt die Landschaft großflächig überformte (Drumlins). Auch der Bereich des korngestützten Diamiktes bis 11,8 m u. GOK ist noch als Grundmoräne s. l. anzusprechen, auch wenn diese einem verhältnismäßig eingeschränkten Transport bzw. einer geringen Deformation an der Gletscherbasis unterlag. Der Abschnitt zwischen 11,8 m und 15 m u. GOK ist aufgrund der dominanten Angularität der Klasten und der sandigen Matrix wahrscheinlich als über kurze Strecken umgelagertes Material im Sinne von Hang- oder Murenschutt anzusehen.

Der zerlegte Dolomitmörper im Verband (15–148 m u. GOK, Homogenbereiche II–VII):

In diesem Abschnitt ist, trotz der offenbaren Zerlegung, generell eine subhorizontal gelagerte stratigraphische Abfolge erhalten geblieben:

Hauptdolomit und/oder Raibler Dolomite, über weite Bereiche als tektonische Brekzien vorliegend.

Die makroskopische Beschreibung hat gezeigt, dass der Zerlegungsgrad über die Klassifikation als Z4 weiter glieder- und charakterisierbar ist (Zerlegungsgrad der Bohrkerne angegeben nach ÖNORM B4401-4 (1990) in 4 Klassen, von Z1 [gering zerlegt] bis Z4 [vollständig zerlegt]). Dabei stellen Bereiche mit erkennbaren primären sedimentären und tektonischen Strukturen und jene mit matrixgestütztem Gefüge mit angularen bis subangularen, meist nur 1–2 cm großen Klasten in einer sandigen Matrix die Extreme in der Palette der Desintegration dar. Diese Abstufung der Fragmentierung entspricht den Verhältnissen im Gelände.

Die Betrachtung der Abfolgen im Detail zeigt, dass Bereiche mit größter ersichtlicher Fragmentierung und dementsprechender hoher Feinkörnigkeit sowohl gegen das Hangende wie auch das Liegende meist graduell in kompaktere Bereiche übergehen. Somit tritt unter Betrachtung der Komponenten-größen in Analogie zu Sedimentgesteinen das Erscheinungsbild von „coarsening upward“- bzw. „fining upward“-Sequenzen auf.

Daneben gibt es gerade im oberen Bereich Kontakte von Felsabschnitten zu matrixhaltigem Material (K 2/2 – K 2/3) an schrägen bis zu 45° steilen Flächen. Derartige Phänomene sind mit Zerbohren definitiv nicht erklärbar.

Ein solches Muster der Desintegration mit zwei Scherflächensystemen – ein subhorizontales mit normaler und inverser Gradierung und ein steil darauf stehendes engständiges Schersystem – wurde auch von POLLET & SCHNEIDER (2004) bei der Felsgleitung von Flims beschrieben.

Neben diesen Detailbeobachtungen lassen sich im Bohrprofil im größeren Maßstab Homogenbereiche mit unterschiedlicher Fragmentierung ausscheiden, deren Verteilung Trends erkennen lässt:

Auffallend ist der verhältnismäßig „intakte“ Homogenbereich VI (108–138 m u. GOK), der kein matrixgestütztes Gefüge aufweist und auch sonst, abgesehen von einem kurzen deformierteren Abschnitt (118–123 m ü. NN), matrixfrei ist. Möglicherweise ist diese Gegebenheit lithologisch bedingt, da hier eine massive tektonische Brekzie vorliegt, die bei der Fragmentierung ein relativ kompetentes Verhalten zeigte.

Weitere Abschnitte weitgehend ohne matrixgestütztes Gefüge sind die Homogenbereiche II (15–36 m u. GOK) und III (36–51 m u. GOK).

Die Deformation konzentrierte sich offenbar auch großmaßstäbig auf distinkte Bereiche, wie auf die Homogenbereiche IV (51–96 m u. GOK) und VII (138–148 m u. GOK). Besonders letzterer Abschnitt zeigt intensivste Zerschneidung, wobei der Felsverband, bestehend aus Dolomit und mergelig-toniger Lithologie, noch erkennbar ist.

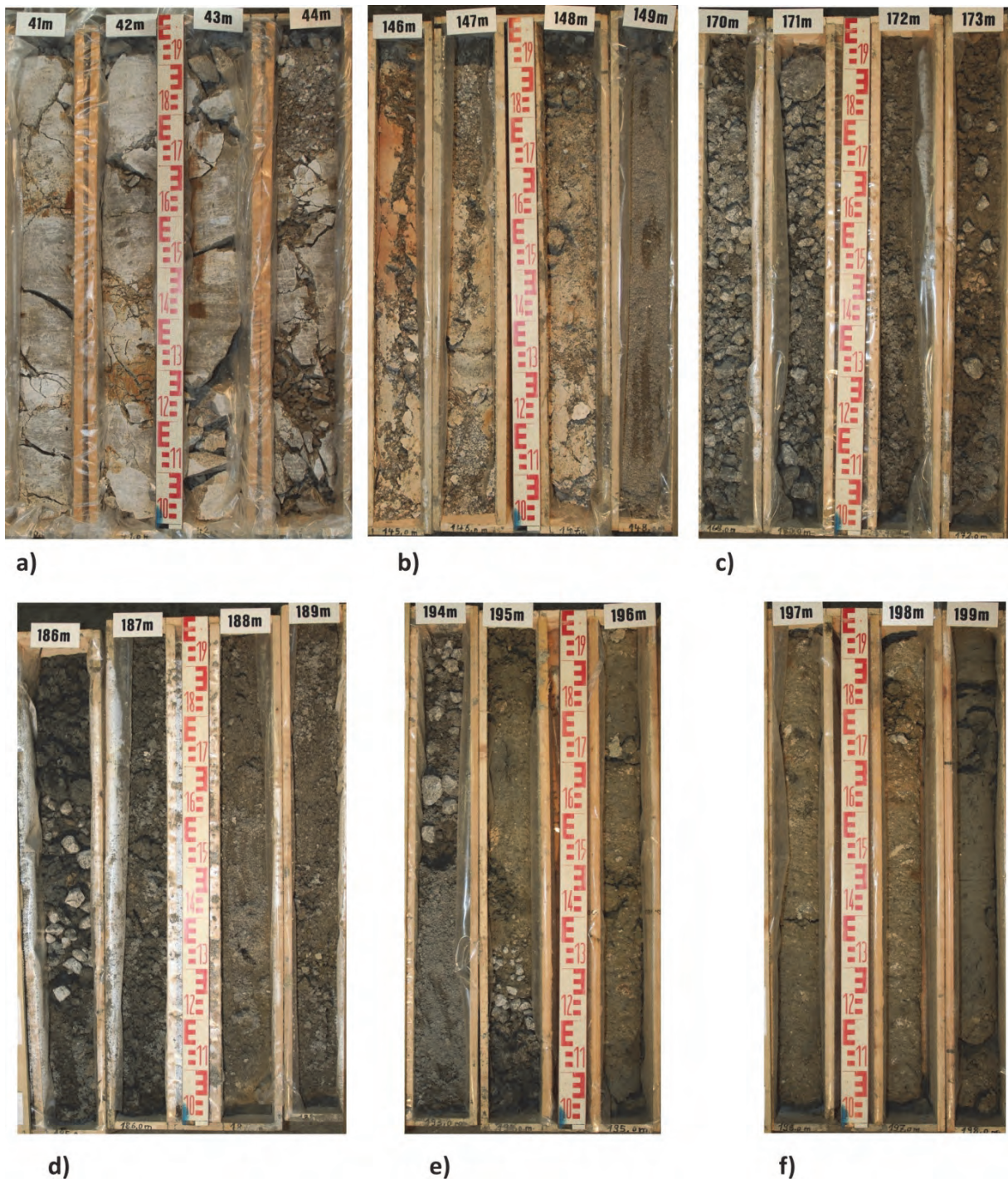
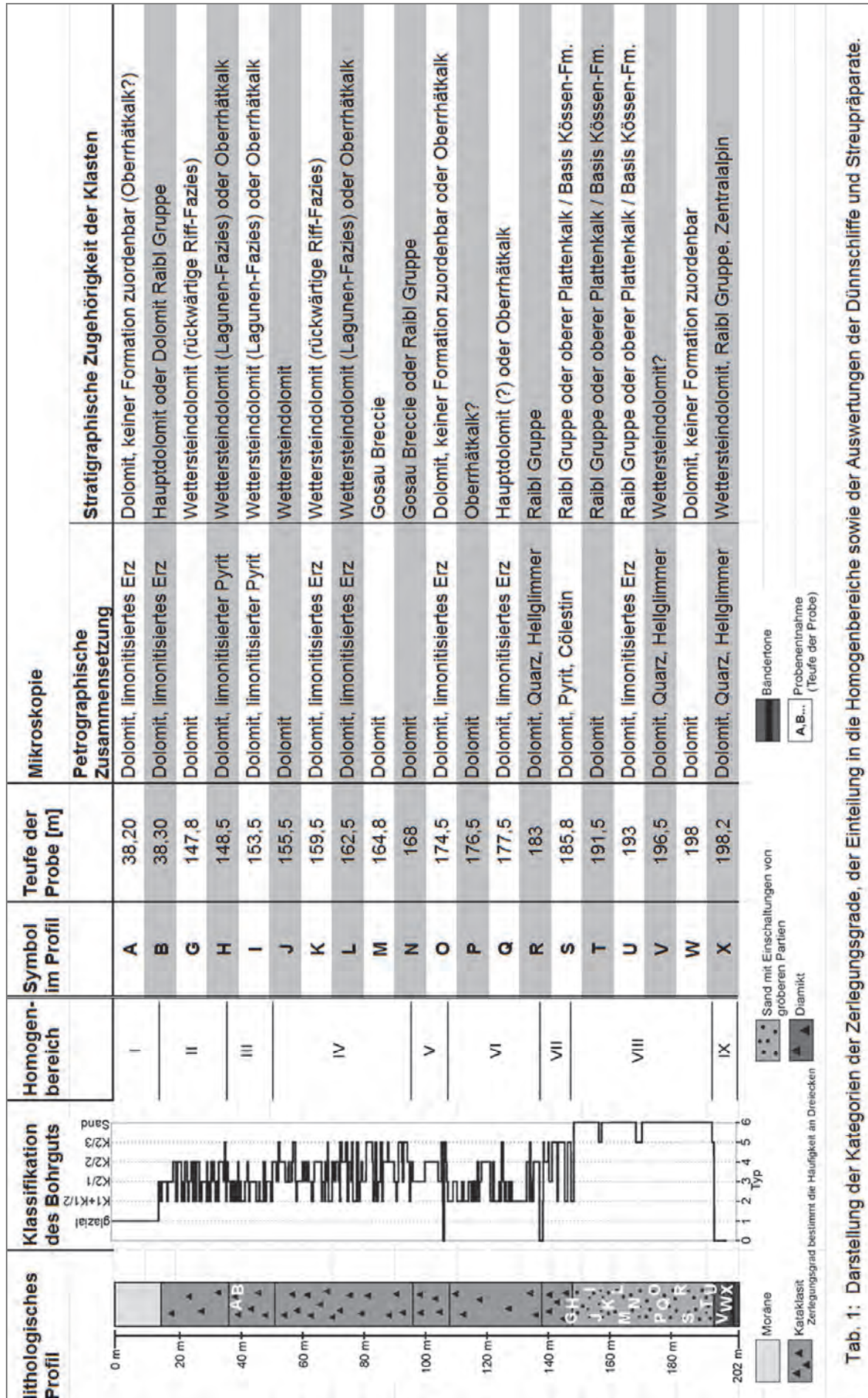


Abb. 6: Repräsentative Ausschnitte aus den verschiedenen Homogenbereichen des Bohrkernes P-KB 01/06 (Erklärung im Text):

- a) Zerlegter Dolomit in Homogenbereich II, Teufe 40–44 m.
- b) Übergang der verschieden stark fragmentierten Butterbichl-Gleitscholle (Homogenbereich VII) in den Sandabschnitt (Homogenbereich VIII), Teufe 145–149 m.
- c) Wechsel von Lagen aus Lithoklasten (Kataklastiten), Sanden und Sanden bis Silten mit einzelnen größeren Dolomitklasten, Teufe 170–173 m.
- d) Dunkle Sande und Kakirit- bzw. Lithoklasten in dunkler, schluffig-bindiger Matrix, Teufe 186–189 m.
- e) Wechsel des Sand- in den diamiktischen Abschnitt von Homogenbereich IX, Teufe 193–196 m.
- f) Massive Schluffe (glaziolakustrine Sedimente) an der Basis der Bohrung, Teufe 196–199 m.



Tab. 1: Darstellung der Kategorien der Zerlegungsgrade, der Einteilung in die Homogenbereiche sowie der Auswertungen der Dünnschliffe und Streupräparate.

Der Sand-Abschnitt (148–194 m u. GOK, Homogenbereich VIII):

Für die Genese der Sande sind Einschaltungen von gröberen Partien aufschlussreich, ohne dass deren Auftreten mit einem markanten farblichen Wechsel innerhalb der insgesamt dunkelsten Bereiche der Bohrung verbunden ist. Das Auftreten von Lithoklasten korrespondiert bisweilen auch mit dem Vorhandensein einer schluffig-bindigen, grün-grauen Matrix. Aus dem Vergleich mit dem Abrissgebiet (Ruraalm/Rurabach) lässt sich die lithologische Beziehung zu den Dolomit-Sanden folgendermaßen erklären: Im Niveau der dort anstehenden Raibler Schichten beobachtet man einerseits einen Wechsel von kompetenteren Dolomit-Bänken und dünnplattigen bituminösen Dolomit-Laminiten und andererseits dunkelgrauen Dolomitmergeln bis Tonsteinen. Ein wesentliches Merkmal der Gesteine im Abrissgebiet ist die tektonische Zerrüttung samt der damit verbundenen Zementierung. Genau der beschriebene lithologische Wechsel spiegelt sich einerseits in der Bohrung gerade im Vorkommen von Lithoklasten in einer schluffigen Matrix im Sinne einer tektonischen „Melange“ wider. Die ausgeprägte Angularität des zu Sandgröße zerrütteten Materials (s. Abb. 7a) andererseits, in dem auch Zementfragmente der ehemals verheilten tektonischen Brekzien auftreten, belegt die zusätzliche Fragmentierung an der Basis des Gleitkörpers. Die Sande, welche auch Übergänge zu zerdrückbaren Kakiriten zeigen und obertags in dieser Ausbildung und Mächtigkeit nicht vorliegen, werden untenstehend in der Diskussion gesamtkonzeptionell besprochen.

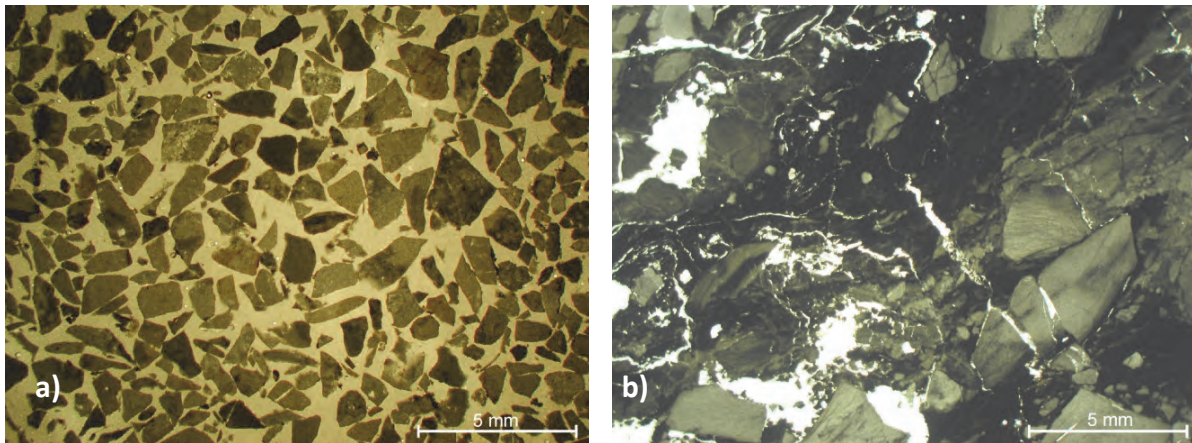


Abb 7: a) Typisches Streupräparat mit angularen bis subangularen Dolomitklasten in Sandkornfraktion, Homogenbereich VIII, Teufe 177,8 m.
b) Dünnschliff von kataklastisch deformierten dunklen Raibler Dolomitklasten, Homogenbereich VIII, Teufe 185,8 m.

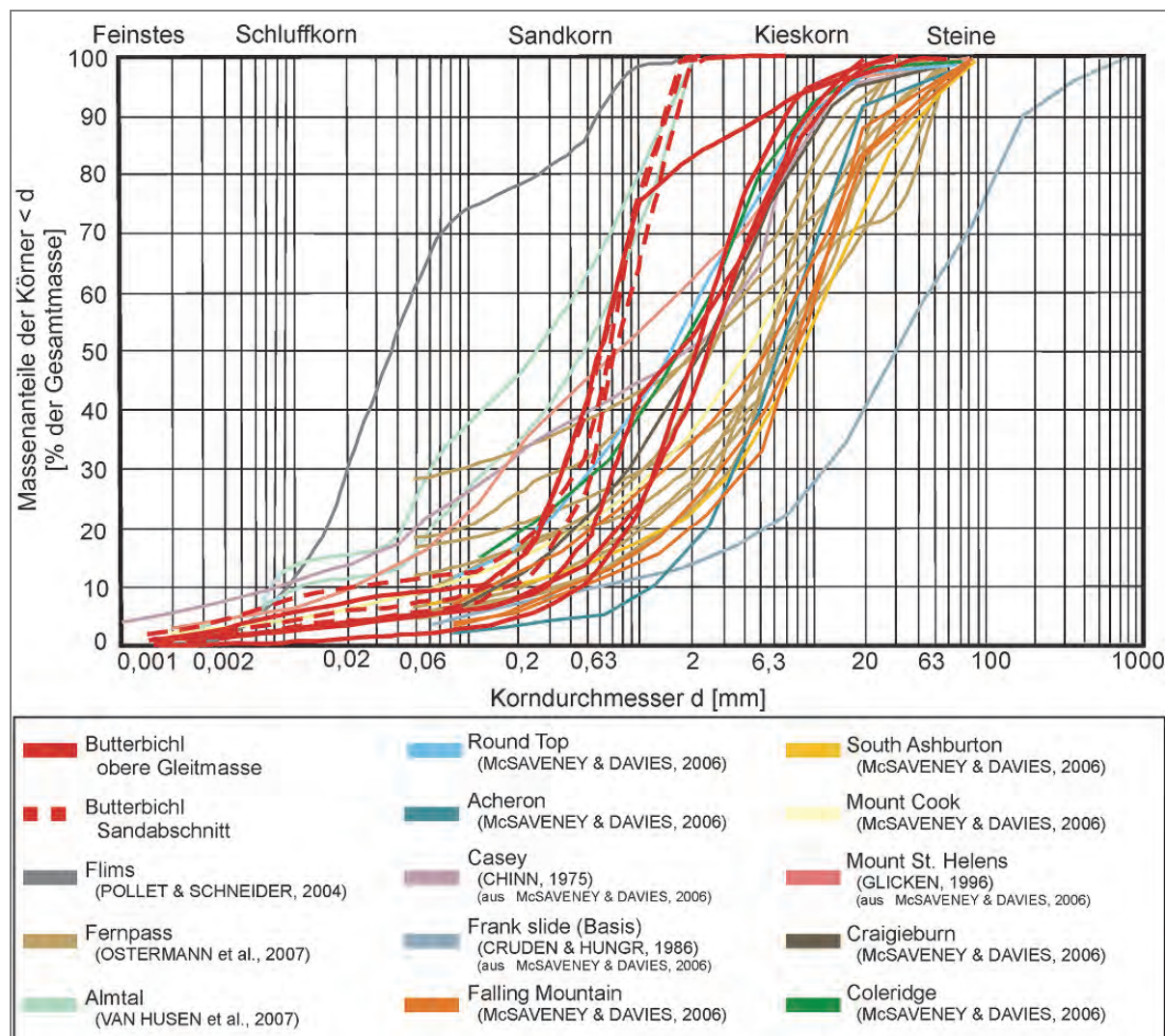


Abb. 8: Kornsummenkurven des Sandabschnittes (Homogenbereich VIII) der Bohrung Butterbichl (P-KB 01/06) und von anderen tiefgründigen Felsgleitungen in Karbonatgesteinen.

Glaziolakustriner Abschnitt (194–202 m u. GOK, Homogenbereich IX)

Die mit scharfer Grenze einsetzenden, massiven, matrixgestützten grauen Diamikte mit polymiktem Geschiebespektrum, bestehend aus gerundeten und überwiegend eckigen Klusten, werden als sub-aquatische Debris flows mit Sedimenteintrag von Norden interpretiert. Diese Ansicht wird durch mehrmals zwischengeschaltete Schluffe untermauert.

Diese Fazies in Kombination mit den massiven, glaziolakustrinen, siliziklastisch beeinflussten, grau-grünen Schluffen (Bänderschuffe) an der Basis passt zum Sedimentationsmilieu in einem glazialen Trog, wie es in benachbarten Bohrungen und wie es auf der Südseite des Angerberges in Aufschlüssen auftritt.

Diskussion

Die Anlage der Massenbewegung Butterbichl lässt sich prinzipiell auf folgende Bedingungen und Gründe zurückführen:

Der strukturelle Bau dieses Abschnittes des Pendlingzuges weist eine große, ENE-WSW-streichende, fast symmetrische Antiklinalstruktur auf, deren Scharnier mit dem Kammscheitel zusammenfällt. Hieraus resultiert ein generelles hangparalleles Südfallen des gut geschichteten triassischen Sedimentpa-

ketes, das sich morphologisch als ein „struktureller Hang“ bzw. „Isoklinalhang“ manifestiert. E-W-streichende, subvertikale Dehnungsbrüche parallel zum Scharnier (B-C-Klüfte), N-S- und NE-SW-streichende Seitenverschiebungen und Grabenbrüche sowie hangparallele Aufschiebungsstrukturen ermöglichten das Herausbrechen und En-bloc-Abgleiten einer großen zusammenhängenden Felsmasse. Zu diesen strukturellen Elementen, die die E-, W-, und N-Begrenzung definieren, tritt im Süden noch die große ENE-WSW-streichende, sinistrale Inntal-Scherzone hinzu, die die kompetenteren triassischen Schichtglieder im Norden gegen die leicht erodierbaren feinklastischen Sedimente der tertiären Unterangerberg-Fm. im Süden begrenzt.

Der lithologische Grund für die Lage und Geometrie der Abgleitfläche ist durch die Präsenz von feinklastischen Lagen innerhalb der 30–40° südfallenden Raibler Schichten gegeben.

Dieses strukturelle und lithologische Muster wurde jedenfalls schon vor der letzten Großvergletscherung, dem Würm-Hochglazial, flächenhaft erosiv herauspräpariert: Vermutlich während des Reißglazials fand die entscheidende Reliefgestaltung mit der Bildung eines glazial übertieften Troges und Übersteilung am Südfuß des Pendlingzuges statt. Die Ausräumung durch den Inngletscher konzentrierte sich auf die relativ weichen Unterangerberger Schichten. Durch die glaziale Erosion wurde die Inntal-Störung (Embach-Störung; EISBACHER & BRANDNER, 1996) morphologisch als Steilstufe herausgeformt. Allerdings ist zu bedenken, dass der Reliefunterschied zwischen Kamm (nachmaliger Abrisskante) und Vorfeld (nachmaligem Ablagerungsraum) größer war, als die heutige Oberfläche erkennen lässt.

Mehrphasige Bohrkampagnen und geophysikalische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Felsoberkante dieses Troges weit unter dem heutigen Innniveau liegt und der Trog durch inntalparallele NE-SW-streichende Felsschwellen aus Unterangerberger Schichten bis auf Höhe von Angath vom heutigen übertieften Inntal getrennt ist. Der Trog wurde in der Folge bis zum Zeitpunkt des Massenbewegungsereignisses mindestens bis auf 431 m ü. GOK (immerhin 70 m unter heutigem Inn-Niveau) mit glaziolakustrinen Feinsedimenten aufgefüllt. Aus diesen Gründen erfolgte die Massenbewegung sehr wahrscheinlich in einen See, wobei nicht auszuschließen ist, dass ein Teil der Seesedimente im Zuge der Platznahme der Massenbewegung weggeräumt wurde. Aufgrund dieser stratigraphischen Unwägbarkeit kann nicht gesagt werden, ob die Massenbewegung noch innerhalb der Abschmelzphase des Reißglazials als Folge des Wegfalls des stützenden Widerlagers erfolgt ist bzw. ob das Materialversagen durch andere Faktoren wie interglaziale Starkniederschläge oder Erdbeben ausgelöst worden ist.

Trotz der glazialen Überformung während des Würm-Hochglazials spiegelt die Geometrie der Ablagerungsmasse diejenige des Abrissgebietes wider, d. h. Hohl- und Vollform sind komplementär. Die Lithologie und das strukturelle Inventar in der Bohrung und in den Aufschlüssen am Butterbichl dokumentieren eine zusammenhängende Masse, deren Rückabwicklung mittels einer basalen Gleitfläche vom Ablagerungsgebiet ins Abrissgebiet eindeutig möglich ist.

Innerhalb der Gleitmasse kann man Unterschiede in der Deformation erkennen, die sich im Zerlegungsgrad äußern. Dieser ist einerseits definiert über präexistente transportierte Trennflächenelemente wie Schichtung und Störungen, die im Zuge des Gleitvorganges aus der ursprünglichen in eine subhorizontale Lagerung übergeführt wurden. Weiters wurden bestehende Deformationsstrukturen reaktiviert und weiterbewegt. So bildeten sich neue subhorizontale Scherflächen und Scherzonen in Bewegungsrichtung, die zu progressiver Materialzertrümmerung (dynamische Fragmentierung, POLLET & SCHNEIDER, 2004) führten. Vom Aufschlussbereich lassen sich diese Scherflächen auch im gesamten Bohrkern verfolgen, deren Verteilung allerdings lithologieabhängig ist. Aufschlüsse im Westen und Südwesten der Butterbichlmasse zeigen Scherstrukturen in der Art von Überschiebungen und senkrecht darauf stehenden Scherflächen mit lokalen basalen Aufschürfungen des Untergrundes. Diese in der gesamten Gleitmasse verteilte penetrative Deformation führen wir auf deren Blockade am Südrand des Ablagerungsgebietes durch besagte trog- und inntalparallele Felsschwelle aus Unterangerberger Schichten zurück. Infolge des frontalen Aufpralles der Gleitmasse auf dieses Hindernis kam es möglicherweise zur lateralen Ausgleichsbewegung parallel zur Trogachse.

Mit dieser Argumentationslinie sind die Anlage der Gleitmasse und ihr Zerlegungsgrad bis auf 148 m u. GOK erklärbar.

Genese des sandreichen Abschnittes (Homogenbereich VIII): Prä-, syn- und postkinematische Erklärungsmodelle

Das Auftreten der Sande zwischen 148 und 194 m u. GOK, das bisher in dieser Gleichförmigkeit und Mächtigkeit noch nie an der Basis einer Massenbewegung beobachtet wurde, wirft Fragen über ihre Genese auf.

Die Bohrqualität und die Bohrfortschritte zeigen, dass dieses Material vor dem Bohren zerlegt war und keineswegs als ein Produkt dieses technischen Prozesses anzusehen ist.

a) Argumente für präkinematische Genese

Eine Möglichkeit der Sandgenese bestünde prinzipiell darin, dass die Sande bereits als Sediment vor dem Massenbewegungsereignis, sprich präkinematisch, vorlagen. Hierfür käme einerseits eine am Hangfuß schon existierende Schutthalde in Frage, welche im Zuge des Ereignisses zumindest teilweise mitgerissen und überfahren worden wäre. Alternativ dazu könnte im Vorfeld der Gleitmasse theoretisch auch ein größerer Sandkörper als Teil der Trogfüllung im Sinne eines distalen Schwemmfächers oder Deltakomplexes vorgelegen haben. Allerdings fehlen Faziesverzahnungen mit den glaziolakustrinen Sedimenten – wie in progradierenden Deltas oder Schwemmfächern üblich – völlig. Betrachtet man zudem das Hinterland derartiger Schwemmfächer, charakterisiert durch die vielfältige Geologie des Abrissbereiches, so ist v. a. die zweite präkinematische Variante sehr unwahrscheinlich.

b) Argumente für eine synkinematische Genese

Ein wichtiger Punkt zum Verständnis der sanddominierten Fazies ist ihre einheitliche Lithologie aus dunklem monomiktem Dolomitmaterial, welches im Abrissgebiet als cm-dm-gebankte Raibler Dolomite in Mächtigkeiten von Zehnermetern vorliegt.

Aufgrund der primär schon starken tektonischen Zerlegung im Abrissgebiet (s. Abb. 6b) liegt hier schon kleinstückig zertrümmertes Material vor, das den unteren Abschnitt der Gleitmasse bildete, an dessen Basis und innerhalb dessen die Hauptbewegung abgelaufen ist. Die bindigen, völlig zerlegten Lagen mit Mergel- und Tonsteinklasten innerhalb der Sandabfolge entsprechen genauso der lithologischen Varianz im Abrissgebiet. Die Sande mit einer bimodalen Kornverteilung und mit durchwegs sehr eckigen Körnern lassen sich ebenfalls durch eine penetrative Zerschering und Zermahlung im Zuge der Bewegung erklären. Die Ausgangslithologie (dünngebankte Dolomite) und der Grad der bereits vorhandenen tektonischen Zertrümmerung gaben damit das Größtkorn der nachfolgenden Materialzerlegung durch die Massenbewegung vor, womit die Kornsummenkurve eine materialspezifische Abhängigkeit zeigt. So deutet weiters die Angularität der Partikel auf ein in situ zerlegtes Material mit vielen korrespondierenden Korngrößen hin, dessen Zusammenhalt nur durch die Bergung des Bohrmaterials verloren ging.

Die wenigen gerundeten Klasten sind durch Desintegration von kataklastisch verformten Gesteinen zu erklären, in denen bekanntlich während der Deformation Klasten gerundet und poliert werden können. Dieses Phänomen beschreibt beispielsweise GRUBER (1997) von vielen Kataklasten aus einem benachbarten Gebirgszug (Kaisergebirge) mit äquivalenten Lithologien. Kornabnutzung gibt es jedoch auch während des Transportes der Gleitmasse selbst.

Dieses Erklärungsmodell steht im Einklang mit der zunehmenden Fragmentierung, die bereits über dem Sandpaket mit einem hohen Matrixgehalt einsetzt.

Das Gesamtbild ergibt hiermit für die Lokalität der Bohrung eine über 180 m mächtige Felsgleitmasse, die in den untersten 60 Metern auch einen progressiven, lithologisch bedingten Deformationsgrad aufweist. Die große Mächtigkeit dieses untersten sandbetonten Abschnittes entspricht größenordnungsmäßig der Mächtigkeit der Ausgangsgesteine im Abrissgebiet.

c) Argumente für postkinematische Genese

Vergleicht man die Korngrößenverteilungen der Sande an der Basis der Butterbichl-Scholle mit jenen von anderen bekannten Bergstürzen, so fällt vor allem bei den Sanden an der Basis des Butterbichls ein deutlich höherer Sortierungsgrad auf (Abb. 10). Auch der Feinanteil ist geringer als der der meis-

ten anderen Proben. Dies könnte eventuell als Hinweis auf Suffusions- und Umlagerungsprozesse an der Basis der Butterbichl-Scholle angesehen werden. Die für diese Prozesse nötigen hydraulisch permeablen Hohlraumbildungen sind in Massenbewegungsablagerungen z. B. in Form von Erdfällen (POSCHER & PATZELT, 2000) bekannt.

Bei Berücksichtigung der großen Mächtigkeit der Sande an der Basis der Butterbichlscholle müsste der Hohlraum, in dem die Sande abgelagert worden wären, eine vertikal orientierte, schlotförmige oder eine subhorizontale, schlauchförmige Geometrie aufweisen. Subrosion wäre im Sinne von Lösungserweiterter Hohlraumbildung (Karst) ein denkbarer Prozess hierfür. Allerdings gibt es einen als Folge von vertikaler Kalklösung und anschließender Kalkausfällung in Frage kommenden Zementationshorizont schon unmittelbar unter der Grundmoräne (33 m u. GOK, vergleiche Ergebnisse der Sedimentpetrographie). In den tieferen Abschnitten sind keine Hinweise für Verkarstung vorhanden, weder in den Aufschlüssen noch in der Bohrung. Karstschlote als klassische Bildung der phreatischen Zone würden zudem ein Grundwasserbezugsniveau voraussetzen, das deutlich unter dem heutigen Inniveau (513 m bei Kundl) liegen müsste. Betrachtet man die sukzessive Eintiefung der Alpentäler im Laufe des Quartärs und auch die Sedimentationsgeschichte im letzten Interglazial-Glazial-Zyklus (VAN HUSEN, 2000), so ist ein derart tief liegendes Grundwasserniveau, wie oben postuliert, während vergangener Interglaziale und Interstadiale auszuschließen.

Zudem tritt an der Basis der Sande mit den lakustrinen Sedimenten ein Stauhorizont auf, welcher sicherlich die Basis eines Grundwasserkörpers bildete (vgl. heutiges Grundwasserniveau in der Bohrung 60 m u. GOK = Absoluthöhe von 570 m ü. NN).

Weiters wirft der progressive Zerlegungsgrad die Frage nach der Stabilität eines derartigen Hohlraumes in dieser Tiefe auf, sofern dieser in diesem Material überhaupt gebildet werden konnte (s. o.). Die relative Gleichförmigkeit der Sande erscheint durch das Nachbrechen eher unwahrscheinlich zu sein.

Ein weiterer Aspekt einer alternativen Erklärung wäre die Bereitstellung des sandigen Materials durch Suffusion (Definition s. EISSMANN, 2008). Der hierfür in Frage kommende Prozess setzt im Allgemeinen ein ungleichkörniges Gemisch voraus, welches grundsätzlich durch Zertrümmerung von Material im Zuge von Massenbewegungen ähnlich dem Butterbichl vorhanden sein kann (vgl. PATZELT & POSCHER, 1993; HARTLEITNER, 1993).

Allerdings ist die Monomiktie der dunklen Sande mit der Suffusion der darüber gelegenen aufgelockerten Gesteinspakete, bestehend aus überwiegend hellen Dolomiten, nicht erklärbar. Für Einschwemmungen eines durch die Gleitmasse fließenden Gewässers (z. B. ein Bach von den Abhängen des Heuberges oder ein Ableger des Inn) mit Deutung der größeren Abschnitte innerhalb des Sandkörpers als Rinnenbildungen gibt es keine Hinweise aus der Geländesituation und der Bohrung.

Schlussfolgerungen

Neue struktur- und quartärgeologische Geländedaten, insbesondere die Durchteufung des Butterbichls belegen, dass es sich bei dieser kataklastischen Dolomitmasse weder um einen auf das Unterinntal-Tertiär aufgeschobenen Deckenrest, noch um eine tief reichende tektonische Schuppe handelt. Hingegen liegen hier die Ablagerungen einer der mächtigsten und größten fossilen Felsgleitungen Tirols (vgl. ABELE, 1974) mit einer kartierten Fläche von rund 4 km² und einem geschätzten Volumen von mindestens 300 Mio. m³ sowie einem Fahrböschungswinkel von 12° vor. Die Überdeckung der Butterbichl-Gleitmasse und ihrer Umgebung mit Würm-Grundmoräne impliziert ein zumindest prä-hochglaziales Alter dieser Massenbewegung. Die Aufnahme der geologischen Verhältnisse im Abrissbereich zeichnet das Bild einer lithologisch und strukturell vorgezeichneten, tiefgründigen Translationsgleitung nach.

Die Gleitscholle war lithologisch und strukturell vorgezeichnet durch

- i) wechselnde Lithofaziestypen im Bereich der obersten Wetterstein-Fm. bzw. Raibl-Gruppe
- ii) hangparallel einfallende Schichtflächen und
- iii) zahlreiche Störungszonen und Großklüfte.

An der Basis der eigentlichen, ca. 150 m mächtigen Gleitscholle aus völlig zerrüttetem Haupt- und Raibler Dolomit befinden sich 50 m mächtige, relativ enggestufte, dunkle Dolomitsande im Wechsel mit dunklen Kakiriten. Deren Bildung ist nach GRUBER & REITNER (in GRUBER et al., 2009) am plausibelsten mit dynamischer Gesteinszerlegung während des gravitativen Gleitprozesses erklärbar. Dies wird einerseits durch das Vorkommen von dünnbankigen, dunklen Dolomitlaminiten, Dolomitmergeln und dünnen Tonschieferzwischenlagen, die der Raibl-Gruppe zuordenbar sind, im Abbruchgebiet belegt. Andererseits weist gerade die bimodale Kornverteilung (s. Abb. 8) und die auffallende Eckigkeit der Körner bzw. Kongruenz vieler Kornflächen der basalen Ablagerungen der Butterbichl-Gleitmasse auf eine Fragmentierung der schon tektonisch deformierten Ausgangsgesteine im Abbruchgebiet (Kataklyse) hin.

Die Co-Autoren der Arbeit GRUBER et al. (2009), PRAGER, STRAUHAL, BRANDNER und ZANGERL, bevorzugen – angesichts der vorhandenen Daten sowie von Vergleichen mit anderen Fallbeispielen – ein mehrphasiges Erklärungsmodell für die Genese der bemerkenswerten sandreichen Abfolge im Bohrkern:

- 1) bereits primär Akkumulation eines Schuttkörpers am Paläo-Hangfuß,
- 2) möglicherweise (Teil-)Mobilisierung und dynamische Überprägung dieses prä-kinematischen Schuttkörpers durch die darüber fahrende Gleitscholle (i. e. die eigentliche Massenbewegung) und
- 3) eventuell post-kinematische Umlagerung bzw. Abtransport feinklastischer Anteile durch unterirdische Fließgewässer.

Das Beispiel Butterbichl zeigt exemplarisch, wie ein bisher nur auf Oberflächengeologie bzw. im konkreten Fall auf tektonischen Modellvorstellungen beruhendes Untergrundmodell aufgrund einer Bohrung drastisch umgestoßen wurde. Durch die damit verbundenen neuen hydrogeologischen und ingenieurgeologischen Risiken wurde die ursprünglich in diesem Abschnitt geplante Eisenbahntrasse als nicht mehr optimal betrachtet.

Mariastein – zusammenfassende Betrachtungen

(aus GRUBER, 2009)

- Bei der Massenbewegung Mariastein handelt es sich um eine der größten Felsgleitungen der Nördlichen Kalkalpen Tirols.
- Sie entwickelte sich im Wettersteinkalk auf dem Südschenkel der E-W-streichenden Pendling-Antiklinale entlang von N-S-streichenden Seitenverschiebungen, parallel zum Scharnier der Antiklinale und auf dem 40° S-fallenden Wettersteinkalk heraus.
- Die Ausbruchsnische ist bereits von Weitem in der Hohlform zwischen Hundsalmjoch im Westen und Kegelhörndl im Osten erkennbar.
- Die Abgleitfläche ist noch reliktsch erhalten, der Großteil ist mit Gleit-/Sturzbrekzien verdeckt.
- Das Ablagerungsgebiet besteht überwiegend aus dekametermächtigem, teils zementiertem Blockschutt, der sich von Blümel im Westen über 2,5 km bis Niederbreitenbach im Osten, von Waldgütl im Nordwesten bis zur Innschleife bei Neuegg im Südosten, vielleicht sogar bis Kötsching östlich des Inntales (mehr als 6 km Distanz von der Abrissnische) erstreckt.
- Die Frage der Zugehörigkeit des Felsriegels nördlich der Autobahnraststätte Angath zur Massenbewegung bleibt offen.
- Die Gleitmassen liegen teils auf Festgesteinen (Wettersteinkalk, Raibler Schichten? Unterangerberger Schichten?), teils auf glazio-lakustrinen (Sande, Schluffe) und fraglich auf glazio-fluviatilen (Schotter, Kiese, Sande) Sedimenten des Inntales, von denen sie, zusammen mit lokalen Murschuttsedimenten, auch wieder überlagert bzw. eingesedimentiert wurden. Über diesen Sedimenten liegt an vielen Stellen Grundmoräne des hochglazialen Inngletschers.
- Die Gleitmassen von Mariastein sind daher altersmäßig in das Prähochglazial einzuordnen.

Literatur

(die komplette Liste siehe GRUBER et al., 2009):

- ABELE, G. (1974): Bergstürze in den Alpen – ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen. – 230 S., München (Univ.-Verl. Wagner).
- AMPFERER, O. (1921): Über die kohleführenden Gosauschichten des Brandenberger und Thierseer Tales in Tirol. – Jb. geol. Staatsanst., 71, 3/4, 149–158, Wien.
- AMPFERER, O. (1922): Zur Geologie des Unterinntaler Tertiärs. Mit einem Beitrag von Bruno Sander. – Jb. Geol. B.-A., 72, 105–150, mit 1 Geol. Karte 1:40.000, Wien.
- AMPFERER, O. & OHNESORGE, Th. (1910): Über exotische Gerölle in der Gosau und verwandten Ablagerungen der tirolischen Nordalpen. – Jb. k. u. k. geol. Reichsanst., 59/2, 289–332, Wien.
- CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996): Landslide Types and Processes. – In: TURNER, A.K. & SCHUSTER, R.L. (Eds.): Landslides, Investigations and Mitigation, Nat. Res. Council, Spec. Rep., 247, 36–75.
- EISBACHER, G. & BRANDNER, R. (1996): Superposed fold thrust structures and high angle faults, northwestern Calcareous Alps, Austria. – *Eclogae geologicae Helveticae*, 89, 553–571, Basel.
- GRUBER, A. (1997): Stratigraphische und strukturelle Analyse im Raum Eiberg (Nördliche Kalkalpen, Unterinntal, Tirol) unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung in der Oberkreide und im Tertiär. – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, 22, 159–197, Innsbruck.
- GRUBER, A. (2009): Bericht 2005–2008 über geologische, strukturelle und insbesondere quartärgeologische Aufnahmen auf Blatt UTM 3213 Kufstein. – *Jb. Geol. B.-A.*, 149, 550–564, Wien.
- GRUBER, A., STRAUHAL, T., PRAGER, C., REITNER, J.M., BRANDNER, R. & ZANGERL, C. (2009): Die „Butterbichl-Gleitmasse“ – eine große fossile Massenbewegung am Südrand der Nördlichen Kalkalpen (Tirol, Österreich). – *Swiss Bulletin für angewandte Geologie*, Vol. 14/1+2, 103–134.
- HEISSEL, W. (1951): Beiträge zur Tertiärstratigraphie und Quartärgeologie des Unterinntales. – *Jb. Geol. B.-A.*, 94, 207–222, Wien.
- HEISSEL, W. (1955): Zur Geologie des Unterinntaler Tertiärgebietes. – *Mitt. Geol. Ges.*, 48, 49–70, Wien.
- KELLER, B. (1996): Lithofazies-Codes für die Klassifikation von Lockergesteinen. – *Mitt. d. Schweiz. Ges. f. Boden- u. Felsmechanik*, 132, 5–12.
- v. KLEBELSBERG, R. (1935): Geologie von Tirol. – 831 S., Berlin (Gebr. Bornträger).
- KÖHLER, M. (2007): Die geologischen Verhältnisse der Angerbergterrasse. – Angerberger Gemeindeformationen Herbst 2007, 10–11, Angerberg.
- KÖHLER, M. & POSCHER, G. (2007): Geologische und hydrogeologische Charakteristika der Unterinntalstraße. – *Int. Symp. Brenner Basistunnel und Zulaufstrecken*, Bd. 1, 111–117, Innsbruck (Univ. Press, Innsbruck).
- McSAVENY, M.J. & DAVIES, T.R.H. (2006): Rapid rock-mass flow with dynamic fragmentation. – In: EVANS, S.G., SCARASCIA-MUGNOZZA, G., STROM, A. & HERMANN, R.L. (Eds.): *Advanced Research Workshop: Landslides from massive rock slope failure*. NATO Science Series, IV Earth and Environmental Sciences, Vol. 49, 285–304, June 16–21, Celano, Italy.
- ÖNORM B 4401-2 (1974): Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Korngrößenverteilung.
- ÖNORM B 4401-3 (1985): Erd- und Grundbau; Erkundung durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Protokollierung.
- ÖNORM B 4401-4 (1990): Erkundung durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben, Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse. – *Österr. Normungsinstitut*, 17 S., Wien.
- ORTNER, H. (1996): Deformation und Diagenese im Unterinntaler Tertiär (zwischen Rattenberg und Durchholzen) und seinem Rahmen. – Unveröff. Diss., 234 S., Univ. Innsbruck.
- ORTNER, H. (2003a): Cementation and Tectonics in the Inneralpine Molasse of the Lower Inn Valley. – *Geol. Paläontol. Mitt. Innsbruck*, 26, 71–89, Innsbruck.
- ORTNER, H. (2003b): Local and far-field stress-analysis of brittle deformation in the western part of the Northern Calcareous Alps. – *Geol. Paläontol. Mitt. Innsbruck*, 26, 109–136, Innsbruck.

- ORTNER, H. & STINGL, V. (2001): Facies and Basin Development of the Oligocene in the Lower Inn Valley, Tyrol/Bavaria. – In: PILLER, W. & RASSER, M. (Eds.): Paleogene in Austria, Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen, 14, 153–196.
- ORTNER, H., REITER, F. & BRANDNER, R. (2006): Kinematics of the Inntal shear zone – sub-Tauern ramp fault system and the interpretation of the TRANSALP seismic section, Eastern Alps, Austria. – *Tectonophysics* 414 (2006), 241–258.
- PATZELT, G. & POSCHER, G. (1993): Der Tschirgant-Bergsturz. – In: HAUSER, C. & NOWOTNY, A. (Eds.): Arbeitstagung 1993 Geol. B.-A., Geologie des Oberinntaler Raumes, Schwerpunkt Blatt 144 Landeck. – 208–213, Wien.
- PENCK, A. (1902): Die Innthalterrasse. – In: PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. Bd. 1. – Tauchnitz, 315–332, Leipzig.
- POLLET, N. & SCHNEIDER, J.-L. (2004): Dynamic disintegration processes accompanying transport of the Holocene Flims sturzstrom (Swiss Alps). – *Earth and Planetary Science Letters*, 221, 433–448, Amsterdam.
- POSCHER, G. & PATZELT, G. (2000): Sink-hole collapses in soft rocks: sedimentological and hydrogeological aspects of groundwater induced erosion processes. – *Felsbau*, 18, 36–40, Salzburg.
- POSCHER, G. & EDER, S., MARSCHALLINGER, R. & SEDLACEK, C. (2008): Geologie und Geotechnik des Angerbergs, Trassenstudien im Abschnitt Brannenbug – Kundl/Radfeld. – *Int. Symp. Brenner Basistunnel und Zulaufstrecken*, Bd. 2, 103–114, Innsbruck (Univ. Press, Innsbruck).
- PRAGER, C., ZANGERL, C., PATZELT, G. & BRANDNER, R. (2008): Age distribution of fossil landslides in the Tyrol (Austria) and its surrounding areas. – *Natural Hazards Earth Science Systems* 8/2, 377–407.
- SCHULZ, K.-H. (1993): Tektonik und Kinematik des Heuberg-Massivs zwischen Brandenburg und Niederbreitenbach, Tirol, Österreich. – Unveröff. Diplomarb., 70 S., Univ. Karlsruhe.
- SPITZER, R. (2005): Die Angerberg Terrasse: „Vom quartärgeologischen Rahmen zum hydrogeologischen Modell“. – Unveröff. Diplomarb., 116 S., Univ. Innsbruck.
- SPITZER, R. (2006): Bericht 2005 über geologische und hydrogeologische Aufnahmen der Angerberg-Terrasse auf den Blättern 89 Angath und 120 Wörgl (UTM 3213 Kufstein und UTM 2218 Kundl). – *Jb. Geol. B.-A.*, 146/1-2, 78–79, Wien.
- STRAUHAL, T. (2009): Mineralogische und geotechnische Eigenschaften von tektonisch und massenbewegungsbedingten Kakiriten. – Unveröff. Diplomarb., Univ. Innsbruck.
- THÖNY, W. (2003): Analyse der Pendling Antiklinale sowie der Thiersee-Mulde im Bereich NW von Kufstein (Tiroler Unterinntal) unter Verwendung sedimentologischer, strukturgeographischer und paläomagnetischer Arbeitsmethoden. – Unveröff. Diplomarb., 120 S., Univ. Innsbruck.
- TÖCHTERLE, A. (2005): Tektonische Entwicklungsgeschichte des Südteiles der Nördlichen Kalkalpen entlang der Transalp-Tiefenseismik anhand bilanzierter Profile. – Unveröff. Diplomarb., 91 S., Univ. Innsbruck.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich. Bd. 2. – 710 S., Wien.
- VAN HUSEN, D. (2000): Geological processes during the Quaternary. – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 92 (1999), Wien.