

EISLAST-ERSCHEINUNGEN UND INTRAKLASTEN IN DER HÖTTINGER BREKZIE (RIß-WÜRM INTERGLAZIAL) BEI INNSBRUCK (ÖSTERREICH)

FEATURES OF GLACIAL-ICE LOADING AND INTRACLASTS WITHIN THE HÖTTING BRECCIA (RIß-WÜRM INTERGLACIAL) NEAR INNSBRUCK (AUSTRIA)

Diethard Sanders

Mit 5 Abbildungen und 2 Tabellen

Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, A-6020 Innsbruck

Zusammenfassung

In der Höttinger Brekzie (Riß-Würm Interglazial) – einer Abfolge aus verfestigten alluvialen Schuttfächern und versteinerten Schutthängen, die sich an einer südexponierten Bergflanke ablagerten – wurden Eislast-Erscheinungen und verschiedene Arten von Intraklasten beobachtet. Die Höttinger Brekzie wird herkunftsgemäß unterteilt in (a) einen topographisch tieferen Anteil, der von der 'Roten Brekzie' gebildet wird, die auf sanft einfallenden, Gerinne-dominierten alluvialen Schuttfächern zur Ablagerung gelangte, welche durch Erosion von Rotsedimenten und Karbonatgesteinen triassischen Alters gespeist wurden, und (b) einen topographisch höheren Anteil, der von der 'Weißen Brekzie' eingenommen wird, die von vergleichsweise steilen alluvialen Schutt-Kegeln und von Schutthängen abgelagert wurde, und deren Klastenbestand ausschliesslich von triassischen Karbonatgesteinen gebildet wird. In schlecht zementierten, matrixlosen Lagen der versteinerten Schutthänge der Weißen Brekzie finden sich an vielen Stellen Lithoklasten, die, von Punktkontakten ausgehend, *in situ* zerbrochen oder zermalmt wurden sowie Frakturen, die vertikal über mehrere Lithoklasten durchsetzen. Diese Frakturmuster bildeten sich infolge der Last des Inntalgletschers wahrscheinlich während der Würm-Eiszeit.

Intraklasten wurden in der Roten und der Weißen Brekzie beobachtet, und werden unterteilt in (1) Einzeitige Intraklasten aus Schutthang-Fazies oder alluvialen Schuttfächer-Fazies, und (2) Mehrzeitige Intraklasten, die gerundete Fragmente von Metamorphiten sowie Einzeitige Klasten in gemeinsamer Matrix eines gelblichen Lime Mudstone enthalten. Zumindest die Mehrzahl der Einzeitigen Intraklasten wurde in voll lithifiziertem Zustand transportiert. Ein Reichtum einiger der Einzeitigen Intraklasten an gerundeten Fragmenten von Metamorphiten, als auch die Matrix der Mehrzeitigen Intraklasten legen Erosion von Grundmoräne des vorhergehenden Glazials (wahrscheinlich der Riß-Vereisung) nahe, während die Weiße und die Rote Brekzie zur Ablagerung gelangten. Die Einzeitigen Intraklasten aus Weißer und Roter Brekzie stammen von lithifizierten Hang-Ablagerungen, deren klastischer Eintrag vom selben Einzugsgebiet wie das der heute erhaltenen Höttinger Brekzie stammt. Dies macht das Auftreten von bisher im Feld nicht mit Sicherheit erkannten intra-sequenziellen Diskordanzen innerhalb der Abfolge der Höttinger Brekzie wahrscheinlich.

Abstract

In the Hötting Breccia (Riß-Würm Interglacial) north of Innsbruck, a well-preserved lithified succession deposited from alluvial fans and talus slopes along a south-facing mountain flank, different types of intraclasts as well as lithoclasts cracked *in situ* as a result of glacial ice-loading were observed. The Hötting Breccia is traditionally subdivided into a topographically lower part dominated by the 'Red Breccia' (RB) nourished from erosion of Triassic red beds and carbonate rocks, and deposited from stream-dominated alluvial fans, and a topographically higher 'White Breccia' (WB) accumulated from stream-dominated talus fans and talus slopes, and that consists exclusively of lithoclasts of Triassic carbonate rocks. Intraclasts were

found both in the Red and White Breccia, respectively. (A) Cracked lithoclasts: In the medial to apical part of lithified talus slopes of the White Breccia, lithoclasts cracked or spalled *in situ* probably formed upon ice loading during the Würm glacial. Cracked clasts seem to be present only in poorly cemented layers of openwork gravels to cobbles, whereas layers with fine-grained matrix and well-cemented layers of openwork breccias are devoid thereof. Clast fracturation radiated out from point contacts in the subvertical direction among clasts, and in many cases led to pervasive *in-situ* spallation or complete crushing of clasts into sharp-edged, spiny to platy rock fragments. In many cases, fractures extend vertically over several clasts. Frost action or other pertinent mechanisms of clast fracturation (earthquakes, sediment loading) appear inconsistent with the observed patterns of clast fracturation.

(B) Intraclasts: The intraclasts observed in the Hötting Breccia are subdivided into (1) single-cycle intraclasts that consist of only one type of deposit (talus facies or alluvial fan facies), and (2) multi-cycle intraclasts comprising both single-cycle intraclasts and metamorphic rock fragments embedded within a common matrix of yellow, argillaceous lime mudstone. *Single-cycle* intraclasts include (a) White-Breccia facies types such as talus breccias deposited from grain flows, breccias of matrix-bearing debris flows, and gravelly stream deposits, and (b) Red-Breccia facies types such as breccias of matrix-bearing debris flows and gravelly-stream deposits, and (c) conglobreccias to conglomerates that typically are rich in rounded fragments of metamorphic rocks, and that are supported by a matrix of yellow, argillaceous lime mudstone. Along the outer boundary of a few single-cycle intraclasts, both truncation of their component lithoclasts by brittle fracture as well as dissolution pits along the outer intraclast boundaries indicate that at least these intraclasts were transported in fully lithified state. For other single-cycle intraclasts with less indicative outer boundaries, transport either in a frozen state or in a lithified state can neither be proven nor discarded. *Multi-cycle* intraclasts include matrix-supported conglobreccias to conglomerates rich in well-rounded clasts of metamorphic rocks, and with WB and/or RB intraclasts. The matrix of the multi-cycle intraclasts is a slightly argillaceous, yellow lime mudstone. The matrix of the multi-cycle intraclasts perhaps was transported in a firm but plastic state. In some types of single-cycle intraclasts as well as in the matrix of multi-cycle intraclasts, the richness in rounded clasts of metamorphites suggests that glacial till of the preceding glaciation (probably the Riß Glacial) was subject to erosion during deposition of both the White and Red Breccia, respectively. Erosion of glacial till may have represented a significant source of lime-muddy matrices at least during the early stage of accumulation of the Hötting Breccia. The lithoclast inventory of the single-cycle WB and RB intraclasts indicates that they are derived from the same source area than that which nourished the preserved succession of the Hötting Breccia. The WB and RB intraclasts transported in a fully lithified state however indicate that vestiges of lithified slope deposits were subject to erosion during accumulation of the Hötting Breccia. This, in turn, strongly suggests that the succession commonly subsumed as Hötting Breccia may contain intra-sequence unconformities that to date could not be unequivocally located in the field.

Einleitung

Die Höttinger Brekzie bei Innsbruck (Fig. 1) ist ein Gestein, das bereits jahrhundertlang als dekorativer Baustein genutzt und ab dem 19. Jahrhundert auch in der wissenschaftlichen Erforschung des Eiszeitalters bekannt wurde (Stur, 1866; Blaas, 1885; Ampferer, 1914; Penck, 1921). Die Bekanntheit der Höttinger Brekzie in der Quartärgeologie stammt zum einen von der guten Erhaltung der Gesteinsabfolge, welche im wesentlichen aus Ablagerungen von alluvialen Schuttfächern und von Schutthängen besteht, zum anderen, weil sie als eines der besten Beispiele von zwischeneiszeitlicher Ablagerung

innerhalb der Alpen angesehen wurde (Blaas, 1889, 1890). Zum in der damaligen Sicht endgültigen Beweis der interglazialen Position der Höttinger Brekzie wurde 1913 ein Forschungsstollen – der nach dem Geographen Lepsius seitdem als Lepsiusstollen bezeichnet wird – in der Nähe der Weiherburg bei Innsbruck eine kurze Strecke weit vorgetrieben (Ampferer, 1914). Aus verschiedensten Feldbefunden konnte man schliessen, dass sich die Höttinger Brekzie während der Riß-Würm Zwischeneiszeit bildete (z.B. Ampferer, 1914; Wehrli, 1928; Katschthaler, 1930). Ablagerung sowie Versteinerung der Höttinger Brekzie spätestens vor der letzten Hochvereisung des Würms werden dadurch

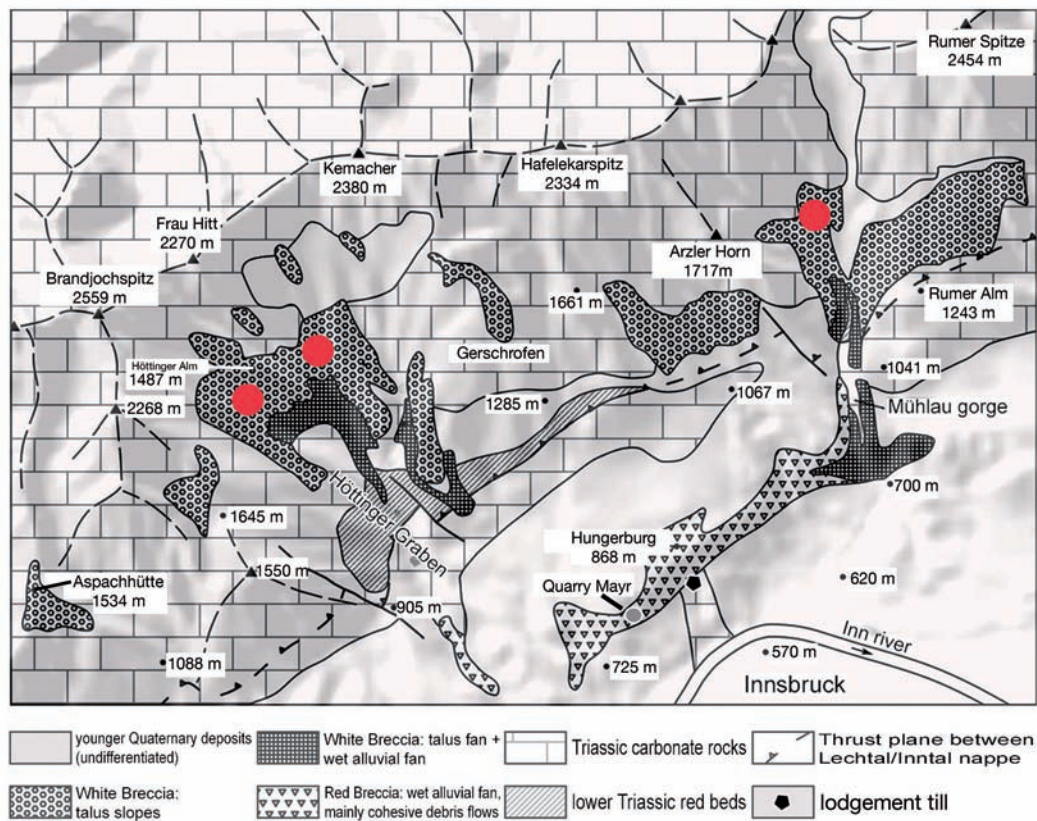


Fig. 1: Schematische geologische Karte der Höttinger Breckie (modifiziert nach Sanders & Ostermann, 2006). Die roten Punkte bezeichnen jene Aufschlussgebiete, in denen durch Eisauflast 'geknackte' Lithoklasten besonders häufig sind.

angezeigt, dass das Dach der Höttinger Breckie vielerorts direkt durch die typische, Granatamphibolit-führende Grundmoräne des Inngletschers der letzten Hochvereisung überlagert wird. Die Ablagerung der Höttinger Breckie während des Riß-Würm Interglazials wird allerdings auch durch radiometrische Altersdaten zweier Arbeitsgruppen der Universität Innsbruck zwar nicht mit letzter Sicherheit bewiesen, so doch sehr wahrscheinlich gemacht (siehe Zusammenfassung in Sanders & Ostermann, 2006). Im ersten Teil der vorliegenden kurzen Abhandlung werden Lithoklasten in der Höttinger Breckie beschrieben, die an vertikalen Brüchen geknackt und zum Teil regelrecht zerquetscht wurden, während sie bereits innerhalb des Sedimentverbandes eingebettet lagen. Lithoklasten, die *in situ* geknackt und gequetscht sind, werden im Allgemeinen als Anzeiger sehr großer Auflast gedeutet, wie sie meist nur durch hochglaziale Eisströme erzeugt werden kann.

Wohl am meisten zur Bekanntheit der Höttinger Breckie aber haben die Funde einer reichhaltigen

fossilen Flora im sogenannten Rossfall-Lahner unterhalb der Höttinger Alm beigetragen (Ettingshausen, 1885; Wettstein, 1892). Diese Flora ist bis heute eine der ganz wenigen reichhaltigen fossilen Floren des inneralpinen Quartärs. Die sehr umsichtige paläoklimatische Deutung dieser Flora durch Murr (1926) als *möglicher* Anzeiger eines etwas wärmeren zwischeneiszeitlichen Klimas als heute wurde später allerdings jahrzehntelang übervereinfacht als *sicherer* Anzeiger eines wärmeren Klimas weiterzitiert. Dabei zeigte sich später, wie durch Denk (2006) ausgeführt, dass weder die systematische Stellung der stets als 'Beweis' eines wärmeren Klimas genannten *Rhododendron*-Taxa noch deren mögliche paläoklimatische Ansprüche vollständig geklärt sind. Des Weiteren legt eine sedimentologische Betrachtung der fossilführenden 'Rossfall-Lahner-Abfolge' nahe, dass diese nicht in dieselbe Abfolge wie die Höttinger Breckie zu stellen ist, sondern dass es sich dabei höchstwahrscheinlich um ein Erosionsrelikt handelt, das mit der Ablagerung der Höttinger Breckie in keinem unmittelbaren Zusam-

Gesteinstyp, Trivialname	Charakterisierung	Deutung
A: Weisse (Weiße Höttinger Brekzie) Beinhaltet nur Klaster von triassischen Karbonatgesteinen. Matrices: weissliche bis hellgraue Lime Mudstones bis lithische Packstones Herrscht entlang der Mühlauerklamm vor und baut den topographisch höheren Anteil der Höttinger Brekzie auf	A1: Schlecht bis gut sortierte, klastengestützte, matrixlose Brekzien, in Bankstößen mit 20-35° Schichtfallen	Ablagerung aus Kornströmen am proximalen bis medialen Abschnitt von Talus-Hängen
	A2: Sehr schlecht bis mäßig sortierte, klastengestützte Brekzien mit einer primären Matrix von Lime Mudstone bis lithischem Wackestone, in Bankstößen mit 5–35° Schichtfallen	Ablagerung aus matrixführenden Trümmerströmen im proximalen bis distalen Abschnitt von Talus-Hängen
	A3: Mäßig bis gut sortierte, klastengestützte Brekzien bis Konglobrekzien. Primär matrixlos mit Geopetalen aus sekundärer Matrix aus laminiertem Lime Mudstone, oder mit primärer Matrix aus ausgewaschenem lithischen Grainstone. Örtlich imbrizierte Klastengefüge.	Ablagerung von ephemeralem Oberflächen-Abfluss, hauptsächlich im distalen Abschnitt von Talus-Hängen
B: Rote (Rote Höttinger Brekzie) Beinhaltet Klaster von Alpinem Buntsandstein (Rotsedimente) sowie von triassischen Karbonatgesteinen. Primäre Matrix von hellrosa bis rot bis rotbraun gefärbt. Baut den westlichen und mittleren, topographisch tieferen Anteil der Höttinger Brekzie auf	B1: Extrem schlecht bis mäßig sortierte, klastengestützte Brekzien bis Konglobrekzien mit primärer Matrix aus Lime Mudstone bis lithischem Wackestone. In Bankstößen mit Schichtfallen von wenigen Grad bis etwa 10°	Ablagerung aus matrixführenden Trümmerströmen auf einem Bachdominierten alluvialen Schuttfächer
	B2: Ähnlich der Fazies A3, jedoch mit rötlichen Farben aufgrund des klastischen Eintrags aus den Rotsedimenten	Ablagerung von ephemeralen Hochwässern auf einem Bachdominierten alluvialen Schuttfächer
	B3: Sehr schlecht bis schlecht sortierte Konglomerate mit einer Matrix von lithischem Arenit (Grainstone-Textur)	Ablagerung von flachen, verzweigten Kanälen und flachen Kiesbarren, während ephemeraler Hochwässer auf einem Bachdominierten alluvialen Schuttfächer

Tab. 1: Charakterisierung der wichtigsten Faziesgruppen in der 'Höttinger Brekzie s. str.' (=Höttinger Brekzie ohne das 'Rossfall-Lahner Intervall'; siehe Text).

menhang steht (Sanders & Ostermann, 2006). Somit stellt sich die Abfolge dessen, was bisher unter dem Begriff Höttinger Brekzie subsummiert wurde, als ein komplexer zusammengesetzter Gesteinskörper dar. Im zweiten Teil dieser Arbeit werden Beobachtungen an Intraklasten beschrieben, die aufzeigen, dass während der Ablagerung der Höttinger Brekzie zumindest zwischenzeitlich Abtragung bereits verfestigter Hang-Ablagerungen stattfand. Die Intraklasten geben einen Fingerzeig auf bisher im Feld nicht mit Sicherheit erkannte,

mögliche intra-sequenzielle Diskordanzen innerhalb der Abfolge, die gemeinhin als Höttinger Brekzie zusammengefasst wird.

Geologischer Rahmen

Die Höttinger Brekzie liegt am Südhang der Nordkette bei Innsbruck, und besteht aus einer bis mindestens etwa 120 m dicken Abfolge von alluvialen Schuttfächern und – höher bergaufwärts – von

Schutthängen (Talus-Hängen) (Fig. 1, Fig. 2). Am Südhang der Nordkette sind Rotsedimente der Unteren Trias (Alpine Buntsandstein Formation) sowie hauptsächlich Kalke und Dolomite der Trias aufgeschlossen (Fig. 1). Die Nordkette besteht aus zwei Überschiebungsdecken. Die liegende Decke (Lechtal-Decke) besteht in ihrem höheren Teil aus tektonischen Scherlingskörpern, die aus Flachwasserkalken, Dolomitgesteinen und Rauhwacken der Unteren bis Oberen Trias bestehen. Die Abfolge der höheren, aufliegenden Decke (Inntal-Decke) reicht vom Alpenen Buntsandstein der Unteren Trias bis zum Wettersteinkalk der Mittleren Trias. Die Rotsedimente des Alpenen Buntsandsteins beißen in einem Ost-West verlaufenden Gürtel am Südhang der Nordkette zwischen etwa 1040 bis 1120 m Seehöhe aus. Die Rotfärbung dieser Sedimente stammt von diagenetisch neugebildetem Hämatit (Stingl, 1989). An mehreren Orten wird der Buntsandstein noch heute direkt von der Höttinger Brekzie überlagert.

Nach dem Vorhandensein oder dem Fehlen einer rötlich gefärbten, feinkörnigen Matrix und von Gesteinsfragmenten aus dem Alpenen Buntsandstein wird die Höttinger Brekzie traditionell in zwei Gesteinstypen unterteilt (Penck, 1921; Paschinger, 1950). Die 'Rote' enthält mehr oder weniger zahlreiche rote Gesteinsfragmente des Alpenen Buntsandsteins, und meist auch eine rosafarbene bis dunkelrötlich gefärbte Matrix aus Kalklutit bis Kalksiltit. Die Rote Brekzie wurde hauptsächlich von Bachdominierten, sanft zum Inntal hin einfallenden alluvialen Schuttfächern abgelagert, die durch Erosion des Südhanges der Nordkette gespeist wurden (siehe Tabelle 1, sowie Fig. 1). Die Rote Brekzie bildet den Hauptanteil des westlichen, topographisch tieferen Anteils der Höttinger Brekzie (Fig. 2). Der beste Aufschluss der Roten Brekzie wird durch die etwa 40 m hohe Wand des Mayr'schen Steinbruchs gebildet (Sohle auf etwa 750 m Seehöhe), sowie von einigen kleineren aufgelassenen Steinbrüchen in der Umgebung der Hungerburg. Im Bereich der Mühlauer Klamm verzahnt die Rote Brekzie kartierbar mit dem anderen Lithotyp der Höttinger Brekzie, der 'Weißen' (Fig. 1). Die Weiße Brekzie besteht ausschliesslich aus grau bis weißlich oder gelblich anwitternden Gesteinsfragmenten aus Kalk, Dolomitstein und Rauhwacken der Nordkette. Dazu tritt in manchen Fazies der Weißen Brekzie noch eine Matrix aus weisslichem bis hellgrauem Kalklutit bis Kalksiltit. Die Weiße Brekzie bildet hauptsächlich

den topographisch höheren Anteil der Höttinger Brekzie sowohl im westlichen Aufschlussgebiet (Höttinger Graben ÷ Höttinger Alm) als auch im östlichen Aufschlussgebiet (Mühlauer Klamm bis Arzler Reisse). Die Gesteine des topographisch tieferen Anteils der Weißen Brekzie bildeten sich im wesentlichen auf Bach-dominierten, vergleichsweise steilen Schuttkegeln; die höheren Anteile der Weißen Brekzie dagegen gelangten auf mit etwa 25-35° einfallenden Schutthängen (Talus-Hängen) zur Ablagerung (Fig. 2). Die Talus-Ablagerungen der Weißen Brekzie bestehen hauptsächlich aus (a) matrixlosen Brekzien, die von Kornströmen abgelagert wurden, und (b) klastengestützten matrixhaltigen Brekzien, die sich von Kalkschlammführenden Murschuttströmen bildeten (Tabelle 1).

Im Rossfall-Lahner, auf etwa 1100-1120 m Seehöhe, wird die Höttinger Brekzie von einer Abfolge unterlagert, die die bekannte 'interglaziale Flora der Höttinger Brekzie' mit *Rhododendron* und *Vitis vinifera* führt (Fig. 2) (Murr, 1926; Denk, 2006). Die sedimentären Fazies und Faziesgemeinschaften des Rossfall-Lahner-Intervalls unterscheiden sich markant von denen der Höttinger Brekzie. Es ist wahrscheinlich, dass das Rossfall-Lahner Intervall einen Erosionsrest älterer Ablagerungen darstellt, der von der Höttinger Brekzie durch eine Diskordanz getrennt ist (Sanders & Ostermann, 2006). Alle bisherigen Untersuchungen zur Altersstellung der Höttinger Brekzie deuten darauf hin, dass diese während des Riß-Würm Interglazials zur Ablagerung gelangte und wenigstens mit dem Einsetzen der Würm-Vereisung bereits lithifiziert war. Das Rossfall-Lahner-Intervall ist daher ebenfalls zumindest dem Riß-Würm Interglazial oder einem älteren Zeitabschnitt zuzuordnen. Die erwähnten Intraklasten in der Höttinger Brekzie wurden sowohl in natürlichen als auch in künstlichen Aufschlüssen der Roten und der Weißen Höttinger Brekzie beobachtet. Der höchstgelegene natürliche Aufschluß in dem ein mehrere Meter großer Intraklast angetroffen wird befindet sich auf 1550 m Seehöhe im Pleisengraben, eingebettet in die mit etwa 30° einfallende Schichtfolge der versteinerten Talus-Hänge der Weißen Brekzie. In künstlichen Aufschlüssen wie etwa an bearbeiteten Bausteinen oder in Wandverkleidungen sind vor allem kleinere Intraklasten meist viel leichter zu erkennen. Alleine im Stadtgebiet von Innsbruck sind dem Autor acht Adressen bekannt, an denen Intraklasten in der Höttinger Brekzie zu sehen sind. Die besten Aufschlüsse von

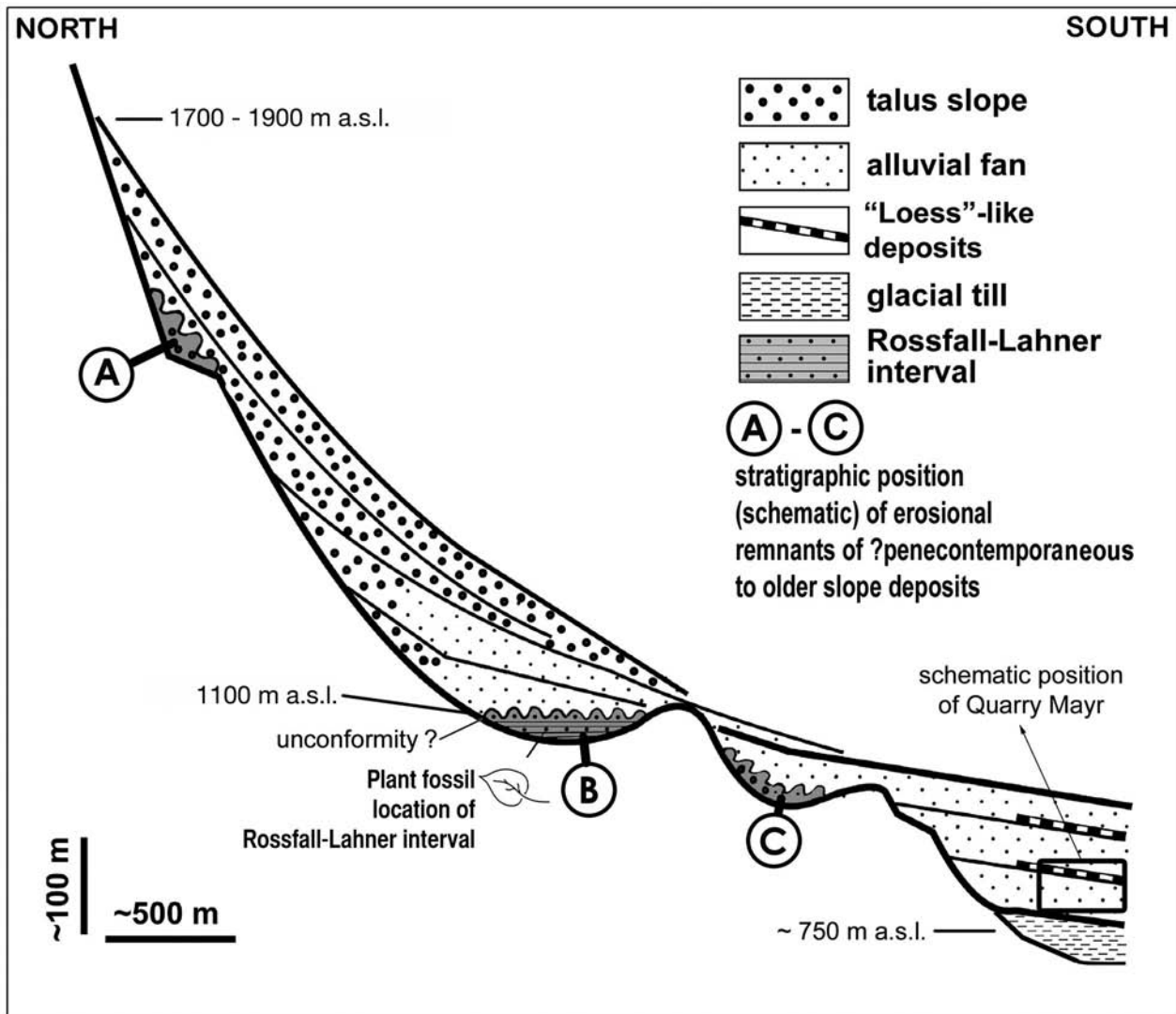


Fig. 2: Schematischer Nord-Süd-Schnitt durch den Westteil der Höttinger Breckie (modifiziert nach Sanders & Ostermann, 2006). Die von Wellenlinien begrenzten grauen Flächen A bis C bezeichnen die hypothetische Position von Erosionsresten penekontemporärer oder älterer lithifizierter Ablagerungen (vorwiegend Hang-Ablagerungen), von welchen die beschriebenen Intraklasten innerhalb der Höttinger Breckie stammen müssen. Das Rossfall-Lahner-Intervall (Erosionsrest B) wurde für seine fossile quartäre Pflanzenflora berühmt, ist aber nicht als Teil der Höttinger Breckie s. str. zu betrachten. Siehe Text für weitere Diskussion.

Intraklasten befinden sich jedoch in angeschliffenen Platten von Roter Höttinger Breckie einer Wand-Verkleidung am Spanischen Saal von Schloß Ambras bei Innsbruck. Die Rote Breckie für diese Platten wurde in den späten 1980ern aus dem Mayr'schen Steinbruch gewältigt.

Methoden

Sämtliche Aufschlüsse der Höttinger Breckie wurden vom Autor im Feld 1:10.000 neu kartiert. Des Weiteren wurden zahlreiche künstliche Aufschlüsse an Werksteinen und Fassadenplatten in der

Stadt und Umgebung von Innsbruck inspiziert. Die Felduntersuchung der Fazies wurde durch Anschliffe von insgesamt 95 Gesteinsproben und 52 Dünn-schliffe erweitert.

Durch Eislast geknackte Lithoklasten

Beschreibung

Im Gesteinsverband *in situ* geknackte Klasten finden sich in den versteinerten Schutthängen der Weißen Breckie. Die geknackten Klasten wurden ausschließlich in schlecht zementierten, matrixlosen

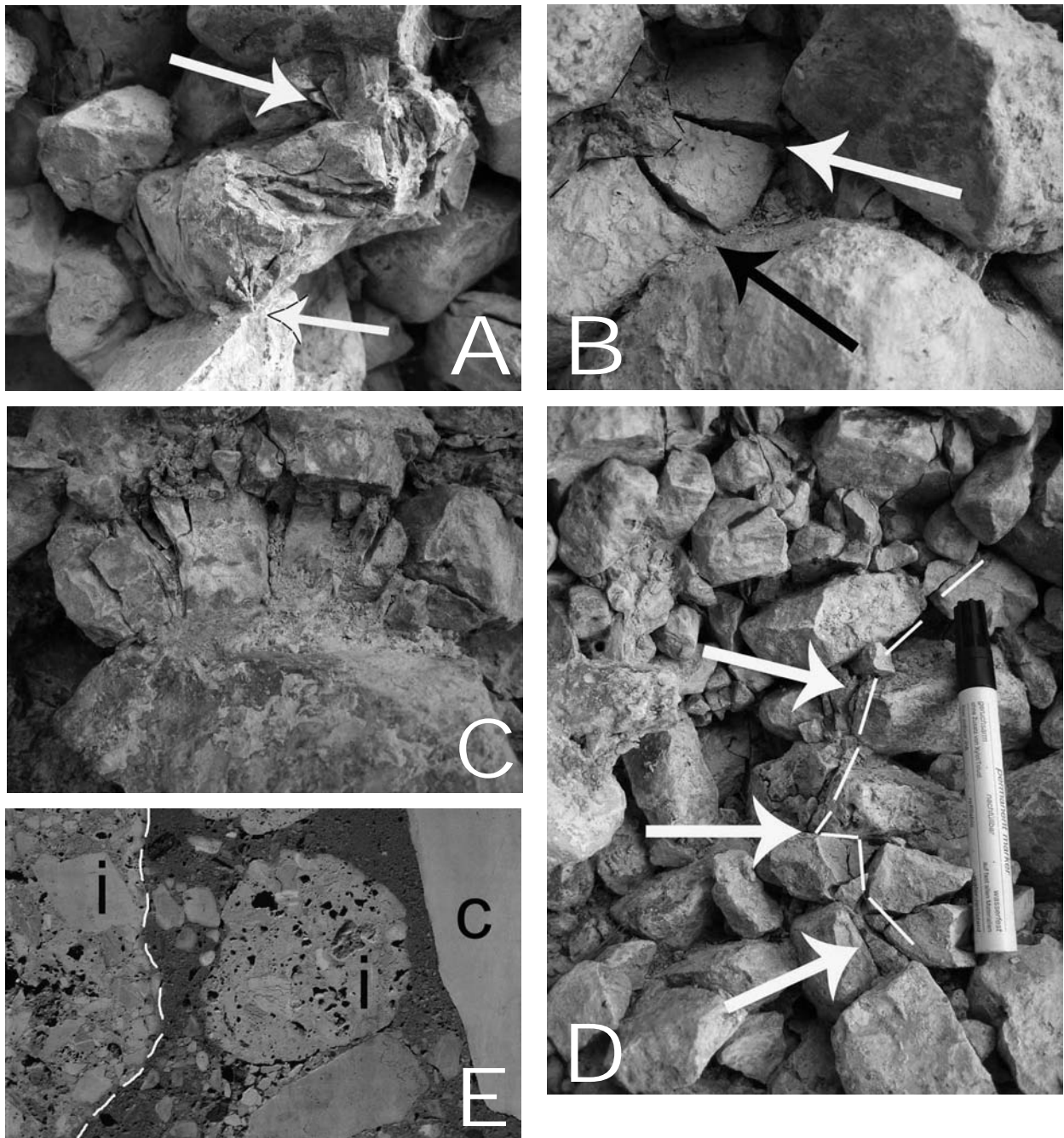


Fig. 3: *In situ* zerbrochene Klasten und Intraklasten in der Höttinger Brekzie.

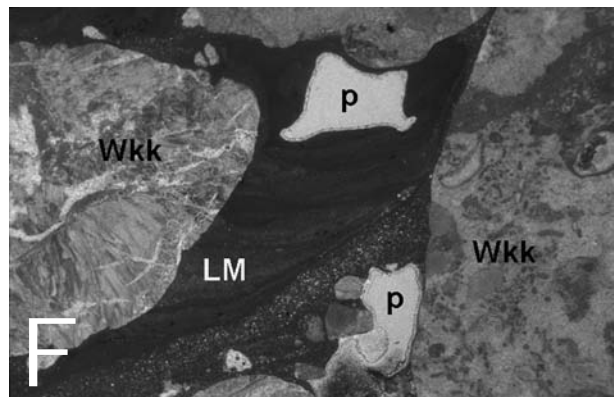
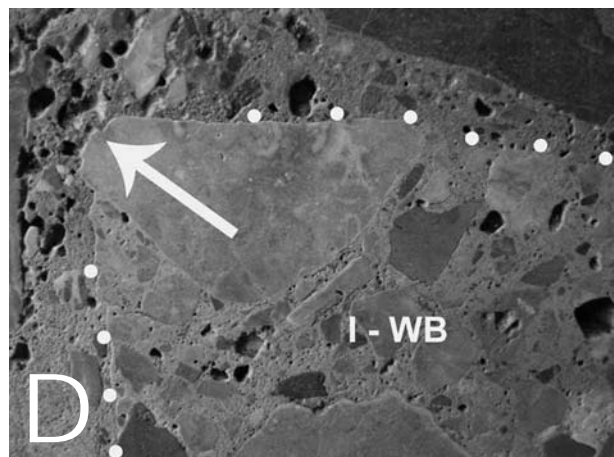
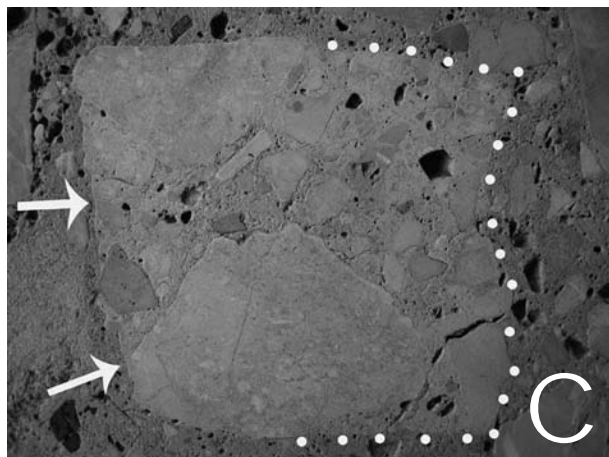
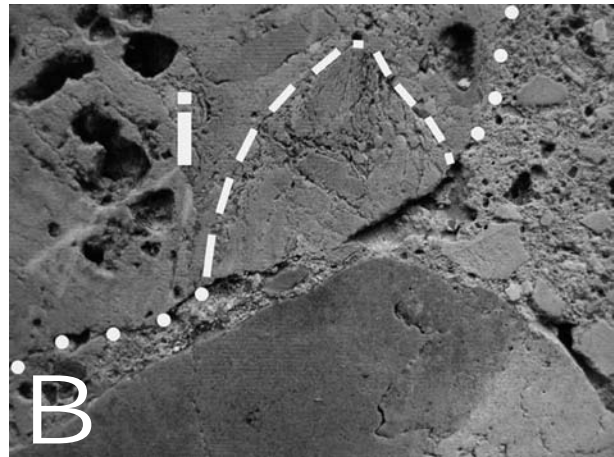
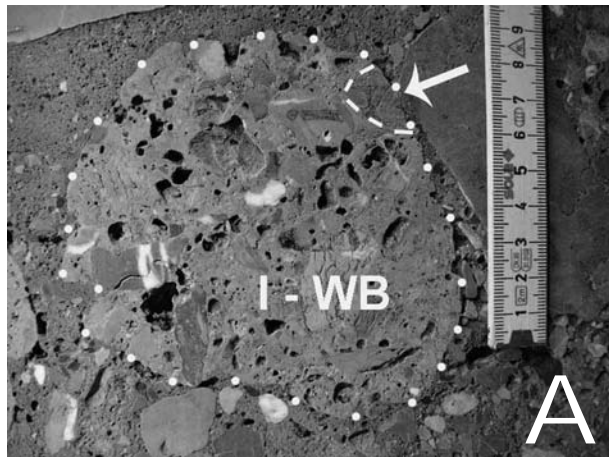
A) Zerbrochener Klast von triassischem Kalk. Die Frakturen gehen von Punktkontakten (mit weißen Pfeilen markiert) mit unter- und überliegenden Klasten aus. Höttinger Brekzie, 1460 m Seehöhe.

B) Zerbrochener Klast von triassischem Kalk. Beachte die keilförmig geöffneten Frakturen (Pfeile). Der mit der gestrichelten schwarzen Linie eingefasste Bereich stellt den Rest eines durch vertikalen Druck völlig in kleine Stücke zerbrochenen Lithoklasten dar. Höttinger Brekzie, 1460 m Seehöhe.

C) Klast aus triassischem Kalk, der zwischen unter- und überliegenden Klasten zerquetscht wurde. Die geöffneten Frakturen sind mit unlithifiziertem, brekziösem Material gefüllt, das vom Vorgang des Zerbrechens stammt. Höttinger Brekzie, 1450 m Seehöhe.

D) Fraktur, markiert mit Pfeilen und mit gestrichelter weißer Linie neben der Fraktur hervorgehoben, die sich vertikal über mehrere Klasten hinweg erstreckt. Höttinger Brekzie, 1465 m Seehöhe. Stift ist 14 cm lang.

E) Rote Höttinger Brekzie mit zwei Intraklasten (i) aus Weißer Brekzie. Der Klast 'c' besteht aus Karbonatgestein. Fassadenplatte am Spanischen Saal, Schloss Ambras bei Innsbruck. Bildbreite etwa 25 cm.



Brekzien von Kornstrom-Ablagerungen (siehe Tabelle 1) beobachtet. Geknackte Gesteinstrümmel sind am häufigsten in den oberen (proximalen) Anteilen der Talus-Hänge der Weißen Breckzie, und wurden in mehreren Aufschlüssen zwischen etwa 1400–1700 m Seehöhe beobachtet, hauptsächlich an drei Örtlichkeiten (Fig. 1).

Die Frakturen durchsetzen die Klasten stets in subvertikaler Richtung, und gehen von Punktkontakten zwischen den Klasten entlang der Senkrechten aus (Fig. 3A). Das Zerknacken mancher

Klasten kann so ausgeprägt sein, dass diese durchgehend, oder fast durchgehend, in scharfkantige Plättchen und nadelige Splitter zerquetscht sind. Wo die [a,b]-Achsenebene eines zerbrochenen Klasten deutlich schräg zur vertikalen Druckrichtung orientiert war, öffnet sich keilförmig-offene Frakturen infolge einer Differentialbewegung während des Zerknackens (Fig. 3B). Kleinere Klasten, die auf einem größeren Klasten auflagen, wurden oft durchgehend in splittige Fragmente von Feinkies bis hin zu Sandkorngröße zerdrückt (Fig. 3C). Die

Fig. 4: Intraklasten in der Höttinger Brekzie.

A) Intraklast aus Weißer Brekzie (I-WB), vom vorigen Photo (Fig. 3E). Aussengrenze des Intraklasten mit weißen Punkten markiert. Man beachte die leicht gebuchtete, scharfe Außengrenze des Intraklasten. Der mit einer gestrichelten weißen Linie umrandete und mit Pfeil markierte Lithoklast wird im nächsten Photo (Fig. 4B) näher gezeigt. Maßstab in Zentimetern.

B) Detail der Oberfläche des Intraklasten (i) vom vorigen Photo (Fig. 4A). Außengrenze des Intraklasten mit Punkten markiert. An der Außengrenze befindet sich ein Lithoklast (mit gestrichelter weißer Linie umrandet), der entlang der Außengrenze anscheinend scharf abgebrochen ist. Bildbreite 3.5 cm.

C) Intraklast aus Weißer Brekzie (rechter Teil der Außengrenze des Intraklasten mit Punkten markiert), die aus Klasten von Wettersteinkalk besteht. Der Intraklast ist eingebettet in einen matrixführenden Trümmerstrom der Roten Brekzie. An der linken Außenseite des Intraklasten (Pfeile) beachte man das scharf gezeichnete Kleinrelief der Oberfläche. Fassadenplatte am Spanischen Saal, Schloss Ambras bei Innsbruck. Bildbreite etwa 30 cm.

D) Detail des Außenrands des Intraklasten aus dem vorigen Photo (Fig. 4C). Man beachte den kleingebuchteten und spitzkantigen Umriss sowohl der Matrix als auch der Lithoklasten (Wettersteinkalk) (mit Pfeil markiert) des Intraklasten. Bildbreite etwa 7 cm.

E) Südende eines mindestens 6 m grossen Intraklasten (Umriss durch Punkte markiert) von Weißer Brekzie, der in Roter Brekzie eingebettet ist. Fahrweganriss auf rechter Seite des Höttinger Grabens, 1070 m Seehöhe. In diesem Aufschluss ist der Ausstrich des Streichens der Höttinger Brekzie subhorizontal. Im Intraklast-Block dagegen ist die Schichtung (weiße strichlierte Linie s) überkippt, wie durch Geopetale (siehe folgendes Photo, Fig. 4F) innerhalb des Blocks angezeigt. Hammer ist 33 cm lang.

F) Dünnschliffbild einer Probe aus dem geschichteten Teil (etwa beim 's') des Intraklast-Blocks vom vorigen Photo (Fig. 4E). Gerundete Klasten von Wetterstein-Riffkalk (Wkk), dazwischen eine geopetal laminierte sekundäre Matrix aus Lime Mudstone (LM) bis lithischem Kalzilsiltit. Die sekundäre Matrix ist von Lösungsporen (p) durchsetzt, die mit einem dünnen Kalzizementsaum ausgekleidet sind. Parallele Nicols. Bildbreite 17 mm.

Frakturen beziehungsweise Frakturierung sind in vielen Fällen nicht nur auf einzelne Klasten beschränkt, sondern dieselbe Fraktur lässt sich in vielen Fällen vertikal über mehrere Lithoklasten hinweg verfolgen (Fig. 3D). Sowohl an der Unter- als auch an der Obergrenze der schlecht zementierten matrixlosen Lagen, in denen die geknackten Klasten auftreten, setzen die Frakturen stets aus.

Deutung

Die subvertikale Orientierung der Frakturen beziehungsweise die stets in der Vertikalen ausgerichteten Klastenkontakte, von denen Frakturierung ausging, sowie die Frakturen die über mehrere Klasten hinwegsetzen, und weiters die Beobachtung, dass geknackte Klasten nur in matrixlosen *und* schlecht zementierten Lagen häufig sind, legen Klastenfraktur durch Auflast eines glazialen Eisstroms nahe (vgl. Edwards, 1986; Benn & Evans, 1996). Außer Gletscherauflast hätte auch die Fortpflanzung seismischer Wellen zu Fraktur führen können. Im Spröd-Deformationsbereich von Gesteinen ist Fraktur während der Fortpflanzung tektonischer Störungen und den damit verbundenen Erdbeben der Normalfall (z. B. Ramsay & Huber, 1987; Lin et al., 2007). Auch aus unverfestigten weichen Sedimenten sind Störungsflächen, die sich in Verbindung mit

Erdbeben bildeten, wohl bekannt, doch sind solche Flächen offenbar nur äußerst selten mit Fraktur von Gesteinsklasten verbunden (z. B. Allen, 1986; Vittori et al., 1991). In einem unverfestigten Sediment können sich die Klasten bei Beschleunigung (wie sie bei Durchgang von Erdbebenwellen auftritt) noch vergleichsweise frei bewegen. Vor allem bei relativ geringer Sedimentauflage ist die 'Einspannung' der Klasten also recht schwach. Daher muss eine Erdbebenwelle, die zu Fraktur der Klasten führen kann, eine sehr hohe lokale Differential-Beschleunigung an Punktkontakten aufweisen, um die Klasten (ausgehend von deren Punktkontakten) bis jenseits der Gesteins-Scherfestigkeit zu belasten. Dies scheint mit der insgesamt eher diffusen Verteilung der geknackten Klasten sowohl im West- als auch im Ostaufschluss der Höttinger Brekzie, sowie mit ihrer Position wenige Meter bis wenige Zehnermeter unter der heutigen Oberfläche der Brekzie kaum konsistent. Die eher diffuse Verteilung der geknackten Klasten pro Lokalität und Schicht und die stets subvertikale Orientierung der Frakturen sprechen daher ebenfalls für Zerbrechen infolge einer großen Auflast. Im Prinzip könnte dies auch Sedimentauflast gewesen sein. Jedoch ist dem Autor auch aus dicken post-glazialen Talus-Abfolgen eine Fraktur zumindest von Klasten aus kompetenten Sedimentiten durch reine Sedimentauflast nicht bekannt. Auch aus dicken globklastischen

Sedimentabfolgen der geologischen Vergangenheit (etwa Abfolgen von alluvialen Schuttfächern, die bis mehrere Kilometer dick werden können) ist nicht bekannt, dass wenigstens die kompetenten Klasten durch bloße Sedimentauflast in solchem Ausmaß zerbrochen wären. Wenn Klasten kompetenter Gesteine durch bloße Sedimentauflast zerbrächen dann müssten geknackte Klasten überall und auch in nicht-vergletscherten Gebieten sehr häufig sein; das ist aber nicht der Fall. Somit verbleibt als zwanglose Deutung der geknackten Klasten die Auflast des Inntal-Eisstromes jener Vereisung(en), die auf die zwischeneiszeitliche Ablagerung der Höttinger Brekzie folgte(n).

Intraklasten

(1) Einzeitige Intraklasten, Beschreibung

Es können zwei Typen von Intraklasten unterschieden werden, (1) Einzeitige Intraklasten, und (2) Mehrzeitige Intraklasten (siehe Tabelle 2). Unter den Einzeitigen Intraklasten sind (1a) Klasten von Talus-Fazies der Weißen Brekzie vergleichsweise häufig innerhalb der Roten Brekzie. Die Klasten aus Weißer Brekzie sind durch Krusten von Mikrit und/

oder von einer geopetal-laminierten, sekundären Matrix aus karbonatlithischem Wackestone bis Lime Mudstone verfestigt. Die geopetale Lamination in den sekundären Matrices ist deutlich gegenüber der sedimentären Schichtung des einbettenden Sediments verkippt. In Hinsicht auf den Ablauf der Diagenese und die Art der diagenetischen Erscheinungen konnten keine kennzeichnenden Unterschiede zwischen den Intraklasten und den einbettenden anderen Sedimenten der Höttinger Brekzie beobachtet werden. Klasten aus Weißer Brekzie wurden sowohl einzeln (Fig. 3E, Fig. 4A) als auch als Klasten innerhalb von Mehrzeitigen Klasten beobachtet. Entlang der Außengrenze wenigstens einiger der Klasten aus Weißer Brekzie sind deren 'primäre' Komponenten-Lithoklasten an scharfer Grenze abgebrochen (Fig. 4A, Fig. 4B). Des Weiteren sind viele der Intraklasten aus Weißer Brekzie, auch jene bis Stein-Größe, mäßig bis gut gerundet, und zeigen örtlich eine unregelmäßig gebuchtete Außengrenze (Fig. 4C, Fig. 4D).

(1b) Auf 1070 m Seehöhe befindet sich in einem künstlichen Aufschluss im Höttinger Graben ein mindestens etwa 6 m großer Block aus Weißer Brekzie knapp über der örtlichen Basis der Höttinger Brekzie (hier auf Alpinem Buntsandstein aufliegend). Der Block besteht hauptsächlich aus deutlich

Fig. 5: Intraklasten in der Höttinger Brekzie.

A) Aufschluß eines Intraklast-Blocks in der lithifizierten Talus-Abfolge der Weißen Höttinger Brekzie, Pleisengraben, 1550 m Seehöhe. Die sedimentäre Schichtung (ss) im Block steht fast vertikal, und ist somit stark diskordant zur Schichtung im lithifizierten Schutthang-Körper (schwarzer Pfeil zeigt örtliches Streichen und Fallen des Talus-Hanges der Weißen Brekzie). Der Block besteht aus geschichteten, klastengestützten Brekzien (Weiße Brekzie) mit einer primären Matrix von karbonatlithischem Packstone bis Lime Mudstone.

B) Dünnschliffbild einer Gesteinsprobe aus dem Intraklasten von Fig. 5A. Klastengestützte Brekzie aus Lithoklasten vor allem von Wettersteinkalk (Wkk), dazwischen eine Matrix von karbonatlithischem Wackestone bis Packstone. Man beachte die Lösungsporen (helle Flecken). Parallele Nicols. Bildbreite 10 mm.

C) Mehrzeitiger Intraklast in Roter Brekzie (RB). Der Intraklast besteht aus einer Lage von matrixgestütztem Konglomerat (msC) mit vielen gut gerundeten Fragmenten von Metamorphiten (einige davon mit Pfeilen markiert), sowie mit einem Intraklasten (1) aus grobsandigem Arenit mit reichlich Gesteinsfragmenten aus dem Alpinen Buntsandstein, einem Intraklasten aus Roter Höttinger Brekzie (2), sowie einem weiteren möglichen Intraklasten aus Roter Höttinger Brekzie (3). Fassadenplatte am Spanischen Saal, Schloss Ambras bei Innsbruck. Maßstab in Zentimetern.

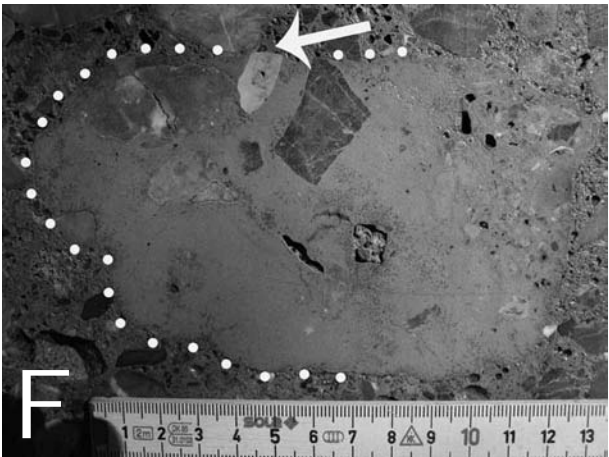
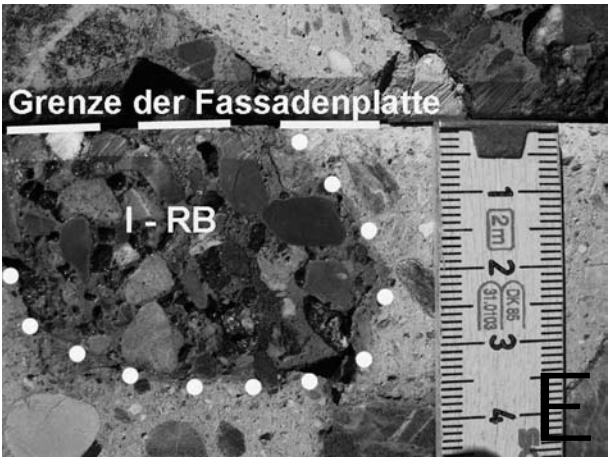
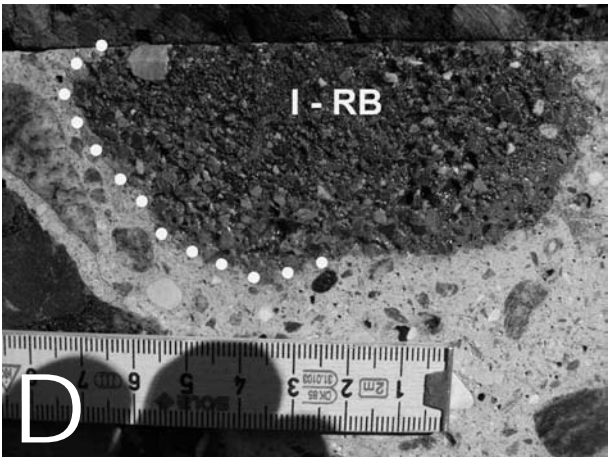
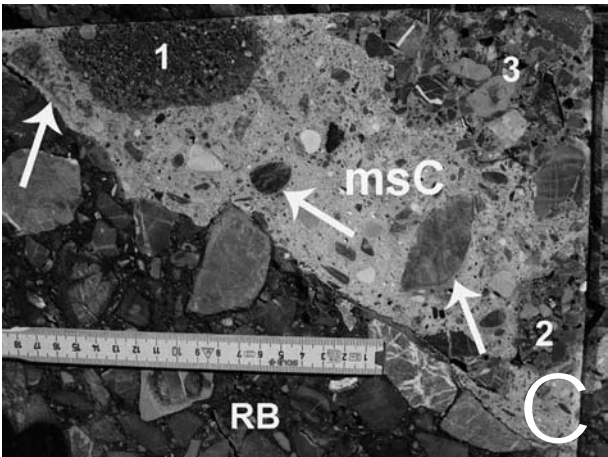
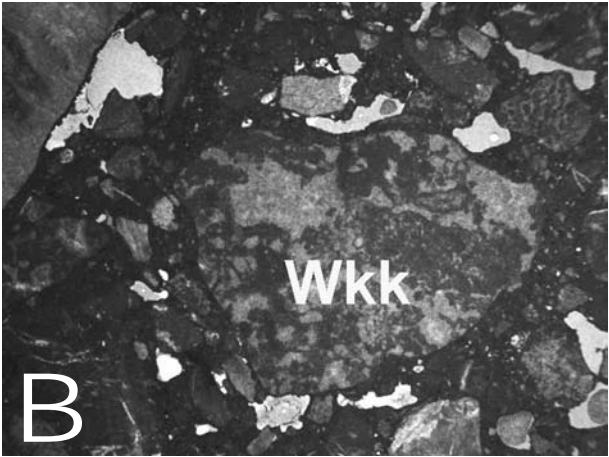
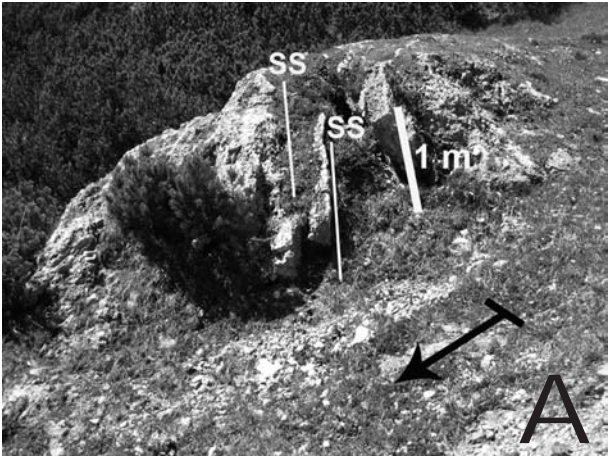
D) Detail des Intraklasten 1 von Fig. 5C. Der Intraklast (I-RB, Außengrenze z.T. mit Punkten markiert) ist ein grobsandiger Arenit mit reichlich Gesteinsfragmenten aus dem Alpinen Buntsandstein. Maßstab in Zentimetern.

E) Detail des Intraklasten 2 von Fig. 5C. Der Intraklast (I-RB, Außengrenze mit Punkten markiert) besteht aus Roter Höttinger Brekzie. Maßstab in Zentimetern.

F) Intraklast (linker Teil mit Punkten markiert) aus matrixgestützter Brekzie, eingebettet in Rote Höttinger Brekzie. Die Matrix des Intraklasten ist ein gelber Lime Mudstone ('Gelbe Brekzie', siehe Tafel 2). Die Lithoklasten innerhalb der matrixgestützten Brekzie bestehen aus Karbonatgesteinen, wie sie sich am Südhang der Nordkette finden. Man beachte den an der Außengrenze des Intraklasten scharf endenden Karbonatlithoklasten (Pfeil). Fassadenplatte am Spanischen Saal, Schloß Ambras bei Innsbruck. Maßstab in Zentimetern.

stratifizierten, gut sortierten Brekzien und konglomeratischen Brekzien (Konglobrekzien) von ephemeralen Schichtfluten. Die Brekzien und Konglobrekzien enthalten eine sekundäre Matrix aus geopetal laminiertem Lime Mudstone. Die geopetale Lamination zeigt, dass die Schichtung des Blocks überkippt liegt. Die sekundäre Matrix ist von Lösungsporen durchsetzt, die von einem dünnen

Kalzit-Zementsaum ausgekleidet sind, der jedoch für eine Beprobung zur U/Th-Datierung zu dünn ist (Fig. 4E, Fig. 4F). Neben Schichtflutablagerungen enthält dieser Block noch extrem schlecht sortierte, stein- bis blockführende Brekzien mit einer spärlichen Matrix von Karbonat-lithischem Arenit, und mit interstitialen Geopetalen aus Lime Mudstone bis kalzolithischem Wackestone.



Intraklast-Typ Definition	Bezeichnung Charakteristika	Deutung
1: EINZEITIGE INTRAKLASTEN Intraklasten aus einem einzigen Typ von Ablagerung (Weiße/Rote), ohne weitere Intraklasten	1a: Intraklasten aus Weisser Klastengestützte Brekzien, meist der Faziesgruppen A1 und A2 Lithoklasten der Brekzien sind an Außengrenze der Intraklasten durchgebrochen	Erosion einer versteinerten Talus- Hangabfolge
	1b: Intraklasten aus Roter Klastengestützte Brekzien der Faziesgruppen B1 bis B3	Erosion einer versteinerten Abfolge eines alluvialen Schuttfächers
	1c: Block von Weißer auf 1070 m Seehöhe Boulder aus Konglomeraten und Brekzien der Faziesgruppen A2 und A3	Erosion einer voll lithifizierten Abfolge von ephemeral-alluvial beeinflussten ?Hang/?Schuttfächer- Ablagerungen
	1d: Block von Weißer auf 1550 m Seehöhe Block besteht aus Brekzien der Faziesgruppe A2	Abtragung einer versteinerten Abfolge oder Abtragung von gefrorenen Hang-Ablagerungen
	1e: Matrixgestützte 'Gelbe Brekzien' Matrixgestützte Konglobrekzien aus angularen bis gerundeten Karbonatlithoklasten in einer gelben Matrix aus leicht tonmineralhaltigem Lime Mudstone	Abtragung von 'Rossfall-Lahner- artiger' Gesteinsabfolge(?)
	1f: Gelbe Kristallin- Konglomerate Matrixgestützte Konglomerate aus vielen, gut gerundeten Fragmenten von Metamorphiten, in einer Matrix aus gelbem, leicht tonmineralhaltigem Lime Mudstone bis lithischen Wackestone	Aufarbeitung von glazialen Till (Moräne) des Pleniglaziales vor Ablagerung der Höttinger Brekzie
2: MEHRZEITIGE INTRAKLASTEN Klasten, die mehrere Einzeitige Intraklasten in einer gemeinsamen Matrix enthalten, und die wiederum selbst (= Matrix + Einzeitige Intraklasten) als Klasten vorliegen	Klasten mit Einzeitigen Intraklasten von (a) Weißer/Roter Höttinger Brekzie, (b) matrixgestützten Kristallin- Konglomeraten oder (c) matrixgestützten 'Gelben Brekzien', eingebettet in einer gemeinsamen Matrix aus matrixgestützter Brekzie bis Konglobrekzie mit isolierten Karbonat-Lithoklasten und mit gerundeten Kristallinklasten	Aufarbeitung von glazialen Till (=Matrix der Mehrzeitigen Klasten) gleichzeitig mit Abtragung versteinerten Hang- Ablagerungen

(1c) Auf etwa 1550 m Seehöhe wurde im Pleisengraben in der versteinerten Talus-Fazies der Weißen Brekzie ein mehrere Meter großer Intraklast ebenfalls knapp über der örtlichen Basis der Höttinger Brekzie gefunden. Die Schichtung in diesem Block steht praktisch vertikal zur Schichtung der Weißen Brekzie. Der Block besteht durchgehend aus deutlich geschichteten Brekzien, die eine primäre (strukurlose) Matrix aus Lime Mudstone bis kalzolithischem Wackestone führen (Fig. 5A). Die Matrix ist voll lithifiziert und – wie für derartige Ablagerungen sehr bezeichnend – mit Lösungsporen durchsetzt. Es konnte jedoch kein Zement gefunden werden. Zwei Dünnschliffe von diesem Block untermauerten den Feldbefund (Fig. 5B).

(1d) Die beobachteten Einzeitigen Intraklasten aus Roter Brekzie bestehen aus Brekzien bis Konglomeraten aus schlecht bis mäßig sortierten Fein- bis Grobkiesen aus angularen bis mäßig gerundeten Lithoklasten. Die Intraklasten von Roter Brekzie wurden von Trümmerströmen (debris flows) und aus fließendem Wasser (fluid flows) abgelagert. Intraklasten aus Roter Brekzie wurden bisher nur in Roter Brekzie und als Komponenten in Mehrzeitigen Klasten beobachtet (Fig. 5C, Fig. 5D, Fig. 5E).

(1e) Ein recht seltener Typ von Intraklast wird dargestellt durch Karbonat-lithische Brekzien, die von einer Matrix aus hellgelbem Lime Mudstone gestützt werden. Diese Klasten sind auch deshalb bemerkenswert, weil matrixgestützte Brekzien dieses Typs *in situ* bisher nur im Rossfall-Lahner-Intervall im Liegenden der Höttinger Brekzie beobachtet wurden (Fig. 5F) (vgl. Sanders & Ostermann, 2006). An den Außengrenzen auch dieser Intraklasten sind einige der Komponenten-Lithoklasten an scharfer Grenze gebrochen.

(1 f) Ein weiterer seltener Typ von Einzeitigen Intraklasten wird vertreten durch Klasten von bis zu mehreren Dezimetern Größe aus matrixgestützten Konglomeraten, die aus reichlich gut gerundeten, fein- bis grobkies-großen Fragmenten aus Metamorphiten bestehen (Quarzite, Grünschiefer, Amphibolite, Marmore). Die Matrix ist wiederum ein hellgelber Lime Mudstone. Außerhalb dieser Intraklasten sind Fragmente von Metamorphiten in der Höttinger Brekzie zwar schon lange bekannt, doch stets sehr selten. Ich konnte weder in der Höttinger

Brekzie noch im heute sehr schlecht aufgeschlossenen Rossfall-Lahner-Intervall diesen Konglomeraten vergleichbare Gesteine beobachten. Einige der Typ 1f-Intraklasten sind von plattig-gelängter Form.

(2) Mehrzeitige Intraklasten, Beschreibung

Mehrzeitige Intraklasten wurden bisher nur in den Platten an der Fassade des Spanischen Saales (Schloss Ambras) beobachtet. Insgesamt zeigen diese Klasten alle in etwa dieselben Eigenarten. Die 'Matrix' der Mehrzeitigen Intraklasten besteht aus Matrix-gestütztem Metamorphit-Konglomerat wie für die Typ 1f Intraklasten beschrieben. In dieser 'Matrix' schwimmen darüber hinaus jedoch noch größere Einzeitige Intraklasten von Weißer und Roter Höttinger Brekzie (Fig. 5C bis 5E).

Deutung

Die Einzeitigen Intraklasten aus Weißer in Roter Brekzie zeigen Versteinerung und Abtragung von Schutthang-Ablagerungen und/oder von alluvialen Schuttfächern während Ablagerung der Roten Brekzie an. Wie erwähnt, zeigt der Diageneseablauf der Weiße-Intraklasten keine entscheidenden Unterschiede zur Diagenese wie in der restlichen Weißen Brekzie beobachtet. Gleiches wie für die Intraklasten der Weißen Brekzie gilt für die Einzeitigen Intraklasten aus Roter Brekzie. Wichtig ist, dass die Komponenten-Zusammensetzung der Einzeitigen Intraklasten sowohl von Weißer als auch Roter Brekzie in Feld, Anschliff und Dünnschliff keinerlei Unterschiede zum Spektrum zeigt, wie es sich in der restlichen Höttinger Brekzie darstellt. Dies erlaubt den Schluss, dass diese Intraklasten nicht etwa durch 'Ferntransport' verbracht wurden, sondern es sich tatsächlich um Reste von Sedimentgesteinen handelt, die sich am gleichen Hang der Nordkette bildeten wie die Höttinger Brekzie selbst. Man könnte vielleicht annehmen, dass alle diese Intraklasten in gefrorenem Zustand verfrachtet wurden. Viele der Einzeitigen Intraklasten bestehen jedoch aus hochporösen kiesigen Sedimenten von Talus-Hängen und von alluvialen Schuttfächern. Wären diese Klasten nur in eiszementiertem Zustand verfrachtet worden, könnte dies nicht die beschriebenen verkippten Geopetal-Sedimente im Interstitialraum der Intraklasten erklären. Weiters

Tab. 2: Charakterisierung der Intraklasten in der Höttinger Brekzie. Bezeichnung der Faziesgruppen bezieht sich auf Tab. 1.

wären Merkmale von Weichsediment-Verformung nach dem Auftauen vor allem der größeren Intraklasten zu erwarten, wenn diese lediglich in gefrorenem Zustand verbracht wurden. Auch das beschriebene scharfkantige Abbrechen von Komponenten-Lithoklasten an den Außengrenzen der Intraklasten sowie die Lösungsbuchten an der Außengrenze einiger Komponenten-Lithoklasten legen nahe, dass wenigstens diese Intraklasten in lithifiziertem Zustand verfrachtet wurden. Ich nehme daher an, dass zumindest die meisten der Einzeitigen Intraklasten von Weißer und Roter Brekzie in lithifiziertem Zustand transportiert wurden.

Wie erwähnt, sind die selteneren Einzeitigen Intraklasten vom Typ 1e ähnlich Ablagerungen, die *in situ* bisher nur im Rossfall-Lahner-Intervall gesehen wurden. Abtragung von 'Rossfall-Lahner-artigen' Gesteinen während Ablagerung der Höttinger Brekzie würde zur früheren Annahme (Sanders & Ostermann, 2006) einer Erosionsdiskordanz zwischen dem Rossfall-Lahner-Intervall und der Höttinger Brekzie passen. Zu den Einzeitigen Intraklasten vom Typ 1f dagegen wurde keine Entsprechung in Aufschlüssen gesehen. Da die Höttinger Brekzie jedoch, wie lange bekannt (Ampferer, 1914), örtlich eine kristallreiche Fern-Grundmoräne überlagert, ist Abtragung dieser Grundmoräne während Ablagerung der Höttinger Brekzie zu erwarten. Auffallend ist jedoch der Reichtum dieser Intraklasten in Metamorphit-Fragmenten, der keine Entsprechung innerhalb der Höttinger Brekzie findet. Es könnte sich daher bei diesen Intraklasten um Brocken von umgelagerter Moräne handeln. Die beschriebenen Eigenschaften der Mehrzeitigen Intraklasten werden am zwanglosesten erklärt durch Umlagerung von kristallreicher Grundmoräne unter gleichzeitiger Beimischung von Einzeitigen Intraklasten aus Weißer und Roter Brekzie.

Erörterung

Die Einzeitigen Intraklasten zeigen, dass während der Ablagerung der Höttinger Brekzie eine ältere Generation - oder Generationen - von versteinerten Hangablagerungen zur Abtragung gelangte (Fig. 2). Die Frage bleibt, um wieviel die Intraklasten älter sind als die einbettende Höttinger Brekzie. Dazu scheinen zwei Möglichkeiten naheliegend. (1) Die

Intraklasten zeigen Abtragung einer älteren Sequenz von Hangablagerungen an, die sich *vor* jener Vereisung (höchstwahrscheinlich das Riß, siehe oben) bildeten, *nach* der die Höttinger Brekzie abgelagert wurde. Diese Hypothese kann derzeit weder bewiesen noch verworfen werden. (2) Die Intraklasten wurden während desselben Ablagerungszyklus wie die Höttinger Brekzie gebildet, sind also in etwa gleich alt (penekontemporär) wie diese. Dieser zweite Lösungsansatz würde Versteinerung der Hangablagerungen, gefolgt von vorübergehender Abtragung, bedingen. Sehr rasche nennenswerte Zementation von Hangablagerungen binnen weniger Jahre wurde von mir in den Alpen bis dato ausschließlich im Zusammenhang mit kalkabscheidenden Quellen beobachtet. Die diagenetischen Gefüge, die sich bei Versteinerung von Hangablagerungen durch kalkabscheidende Quellen bilden, sind von jenen der 'normalen' meteorischen Versteinerung von Hangablagerungen jedoch deutlich verschieden, und es konnte in den Intraklasten kein Hinweis in Richtung kalkabscheidender Quellen gesehen werden.

Bleibt die Möglichkeit, dass 'normale' meteorische Lithifikation von Hangablagerungen von Erosion gefolgt wurde. Soweit dokumentiert, benötigt 'normale' meteorische Versteinerung von Hangablagerungen wenigstens einige hundert bis einige tausend Jahre Zeit, um zu genügender Verfestigung zu führen (Ostermann et al., 2006). Dies gilt besonders für die Versteinerung der primären und sekundären Matrices aus kalzitischem Kalkschlamm, der offenbar vergleichsweise lange Zeit benötigt, um voll verfestigt zu werden. Des Weiteren legt die Untersuchung post-glazialer, teilweise versteinerter Hangablagerungen (nicht im Zusammenhang mit Kalkquellen) der Nördlichen Kalkalpen nahe, dass die 'normale' meteorische Versteinerung von Hangablagerungen in Niveaus innerhalb der Sedimentsäule, zumindest mehr als 10 m tief, vor sich geht (Ostermann, 2006). Angewandt auf Deutungs-Hypothese 2 der Intraklasten der Höttinger Brekzie, würde dies bedeuten, dass während der Ablagerung der Höttinger Brekzie zwischenzeitlich Phasen tiefergreifender Abtragung auftraten, somit sich 'Intra-Sequenz-Diskordanzen' von begrenzter seitlicher Ausdehnung bildeten. Betrachtet man die heutigen Talus- und Schuttfächer-Systeme der Nördlichen Kalkalpen, so fällt vor allem auf, dass sich heute fast alle im Zustand mehr oder weniger starker

linearer Erosion befinden. Die typische Dicke der post-glazialen Talus- und Schuttfächerablagerungen von einigen Zehnermetern bis über 100 Metern (z.B. Schrott et al., 2004, sowie eigene Beobachtungen) zeigt aber auch, dass knapp nach der letzten Eiszeit die Rate der Sediment-Akkumulation sehr hoch gewesen sein muss. Dies wird örtlich auch durch U/Th-Altersdaten von Zementen unterstützt (Ostermann, 2006) und ist konsistent mit einer Fülle von Feldbeobachtungen, die alle anzeigen, dass die Erzeugung von grobklastischem Hangschutt zur Bildung von Schuttfächern und Talus-Hängen in kühl-feuchten peri-glazialen Klimata am schnellsten vor sich geht, wogegen während gleichmäßig warmer Interglazial-Bedingungen in den meisten Höhenlagen wieder lineare Erosion vorherrscht. In mehreren, lagenweise bereits lithifizierten, post-glazialen Talus- und Schuttfächer-Abfolgen der Nördlichen Kalkalpen wurden im Zuge unserer Untersuchungen Einzeitige Intraklasten gefunden, die sich eindeutig aus relativ 'früher' (U/Th-datierter) Versteinerung im Inneren der Sedimentkörper ableiten lassen, die aber infolge der interglazialen Erosion bereits wieder abgetragen werden (Ostermann, 2006, und unpubl. Daten). Wie bereits in Sanders & Ostermann (2006) diskutiert, weisen die sehr dicken Talus-Abfolgen der Weißen Höttinger Brekzie auf ein kühles (peri-glaziales) Klima hin. Bereits van Husen (1983 a, b) hat in einem Konzept zum fluviatilen Sedimentationsverlauf während glazial-interglazialer Wechsel darauf verwiesen, dass die Produktion von grobklastischem Sediment sowohl knapp *nach* als auch knapp *vor* einer Vereisung weitaus am höchsten ist. Unsere Daten untermauern dieses Konzept. Somit erscheint es möglich, dass sich knapp nach der Riß-Vereisung und vor Ablagerung der Hauptmasse der Höttinger Brekzie zuerst rasch ein Mantel aus Hangablagerungen bildete, der während des nachfolgenden Riß-Würm Interglazials wenigstens lagenweise versteinerte und zum großen Teil wieder abgetragen wurde. Während der Abkühlung, die die nachfolgende Würm-Eiszeit einleitete, akkumulierten erneut dicke Hangschuttkörper auf; diese 'zweite' Generation von Hangschuttkörpern würde heute den Großteil vor allem der Weißen Brekzie ausmachen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fazies der Einzeitigen Intraklasten eine Erosion von verschiedenen Hang-Ablagerungen aus verschiedenen topographischen Höhenlagen am Südhang der

Nordkette anzeigt, wie in Figur 2 schematisch gezeigt. Mit Ausnahme des Rossfall-Lahner Intervalls ist es mir bis dato jedoch trotz vieler Feldbegehungen bisher nicht gelungen, entsprechende intra-sequenzielle Erosionsdiskordanzen mit Sicherheit auszumachen.

Schlussfolgerungen

Die beschriebenen *in-situ* geknackten Lithoklasten in der Weißen Höttinger Brekzie entstanden durch die Auflast des Inn-Eisstromes während der Vereisungen (höchstwahrscheinlich der Würm-Vereisungen), die auf die Ablagerung der Höttinger Brekzie folgten. Geknackte Lithoklasten sind auf Lagen von matrixlosen, schlecht zementierten Brekzien beschränkt.

Verschiedene Typen von Intraklasten (Einzeitige Klasten von Weißer und Roter Höttinger Brekzie) und von Mehrzeitigen Intraklasten in der Höttinger Brekzie weisen auf Abtrag älterer quartärer Sedimente (Moränen- und Hangablagerungen) während Bildung der Höttinger Brekzie hin.

Zusammensetzung und Fundlage der Einzeitigen Intraklasten, und der Vergleich mit (a) der sie einbettenden Höttinger Brekzie oder (b) mit der Zusammensetzung der sie enthaltenden Mehrzeitigen Klasten zeigen, dass sich die Intraklasten im selben geographischen Gebiet wie die Höttinger Brekzie bildeten. Zumindest manche der Einzeitigen Intraklasten bzw. die Abfolgen, von denen sie stammten, waren zum Zeitpunkt der Abtragung lithifiziert.

Die Einzeitigen Intraklasten wurden im Verlauf einer Phase zwischenzeitlicher Abtragung vielleicht während desselben Interglazials wie der Rest der Höttinger Brekzie gebildet, könnten daher Ausdruck von intra-sequenziellen Erosionsdiskordanzen sein, die im Feld bisher aber nicht mit Sicherheit erkannt werden konnten. In jedem Fall stellt sich damit die Höttinger Brekzie nicht als ein einheitlicher sondern als ein komplexer zusammengesetzter Gesteinskörper dar.

Danksagung

Karl Krainer, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, wird für Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

Literatur

- Allen, J. R. L. (1986): Earthquake magnitude-frequency, epicentral distance, and soft-sediment deformation in sedimentary basins. – *Sediment. Geol.*, 46: 67–75.
- Ampferer, O. (1914): Über die Aufschliessung der Liegendmoräne unter der Höttinger Brekzie im östl. Weiherburggraben bei Innsbruck. – *Z. f. Gletscherkd.*, 8: 145–159.
- Benn, D. I. & Evans, D. J. A. (1996): The interpretation and classification of subglacially-deformed materials. – *Quaternary Sci. Rev.*, 15: 23–52.
- Blaas, J. (1885): Über die Glazialformation im Inntale. – *Zeitschr. Ferdinandeum Innsbruck*, 4. Folge, XXIX: p. 32 + p. 114.
- Blaas, J. (1889): Über sogenannte interglaziale Profile. – *Jb. k. k. geol. Reichsanst.*, XXXIX: p. 477–478.
- Blaas, J. (1890): Erläuterungen zur geologischen Karte der diluvialen Ablagerungen in der Umgebung von Innsbruck. – *Jb. k. k. geol. Reichsanst.*, XL: p. 21, p. 43–48.
- Denk, T. (2006): *Rhododendron ponticum* L. var. *sebinense* (SORDELLI) SORDELLI in the Late Pleistocene flora of Hötting, Northern Calcareous Alps: witness of a climate warmer than today? – *Veröff. Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum*, 86: 43–66.
- Edwards, M. (1986): Glacial Environments. – In: Reading, H. G. (Ed.): *Sedimentary Environments and Facies*, pp. 445–470. Blackwell, Oxford.
- Ettingshausen, C. v. (1885): Ueber die fossile Flora der Höttinger Breccia. – *Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wissenschaft*, Bd. XC, Abt. I: 260 ff.
- Katschthaler, H. (1930): Neue Beobachtungen im Gelände der Höttinger Brekzie. – *Jb. geol. B.-A.*, 80: 17–44.
- Lin, A., Maruyama, T. & Kobayashi, K. (2007): Tectonic implications of damage zone-related fault-fracture networks revealed in drill core through the Nojima fault, Japan. – *Tectonophysics*, 443: 161–173.
- Ostermann, M. (2006): Thorium-uranium age-dating of „impure“ carbonate cements of selected Quaternary depositional systems of western Austria: results, implications, problems. – Unpubl. Ph. D. thesis, Univ. of Innsbruck, 173 pp. (including appendices).
- Ostermann, M., Sanders, D. & Kramers, J. (2006): U-Th age dating of carbonate cement in Quaternary talus successions, Northern Calcareous Alps (Austria). – *Innsbruck University Press, Conference Series, Pangeo 2006*, p. 235–236 (Innsbruck).
- Paschinger, H. (1950): Morphologische Ergebnisse einer Analyse der Höttinger Brekzie bei Innsbruck. – *Schlern-Schriften*, 75: 7–86.
- Penck, A. (1921): Die Höttinger Breccie und die Inntalerrasse nördlich Innsbruck. – *Abh. preuss. Akad. Wiss., phys.-math. Kl.*, 1920: 1–136.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I. (1987): The techniques of modern structural geology. Volume 1: Strain Analysis, pp. 1–307. Volume 2: Folds and Fractures, pp. 308–700. Academic Press, New York.
- Sanders, D. & Ostermann, M. (2006): Depositional setting of the sedimentary rocks containing the „warm-interglacial“ fossil flora of the Höttinger Brekzie (Pleistocene, Northern Calcareous Alps, Austria): a reconstruction. – *Veröff. Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum*, 86: 91–118.
- Schrott, L., Hufschmidt, G., Hankammer, M., Hoffmann, T. & Dikau, R. (2004): Spatial distribution of sediment storage types and quantification of valley fill deposits in an alpine basin, Reintal, Bavarian Alps, Germany. – *Geomorphology*, 55: 45–63.
- Stingl, V. (1989): Marginal marine sedimentation in the basal Alpine Buntsandstein (Scythian) in the western part of the Northern Calcareous Alps (Tyrol/Salzburg, Austria). – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 72: 249–262.
- Stur, D. (1866): Beitrag zur Kenntniss der Flora des Kalktuffes und der Kalktuff-Brekzie von Hötting bei Innsbruck. – *Abh. k. k. geologischen Reichsanst.*, 12: 33–56.
- Van Husen, D. (1983a): A model of valley bottom sedimentation during climatic changes in a humid alpine environment. – In: Evenson, E. B., Schlüchter, Ch. & Rabassa, J. (Eds.): *Tills and Related Deposits*, 341–344. Balkema, Rotterdam.
- Van Husen, D. (1983b): General sediment development in relation to the climatic changes during Würm in the Eastern Alps. – In: Evenson, E. B., Schlüchter, Ch. & Rabassa, J. (Eds.): *Tills and Related Deposits*, 345–349. Balkema, Rotterdam.
- Vittori, E., Sylos Labini, S. & Serva, L. (1991): Paleoseismology: review of the state-of-the-art. – *Tectonophysics*, 193: 9–32.
- Wehrli, H. (1928): Monographie der interglazialen Ablagerungen im Bereich der nördlichen Ostalpen zwischen Rhein und Salzach. – *Jb. geol. B.-A.*, 78: 357–495.
- Wettstein, R. v. (1892): Die fossile Flora der Höttinger Breccie. – *Denkschriften d. kaiserl. Akad. d. Wissenschaft*, LIX: 1–48.

Manuskript eingereicht: 21.1.2008

Überarbeitetes Manuskript angenommen: 30.4.2008