

# Wie alt sind Blockgletscher in den Österreichischen Alpen? Das Beispiel der Blockgletscher im Dösen Tal, Ankogelgruppe, datiert mit Hilfe der Schmidt-Hammer Methode

Andreas Kellerer-Pirklbauer

Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz

## *Abstract*

**What is the age of rock glaciers in the Austrian Alps? The example of the rock glaciers in the Dösen Valley, Ankogel Mountains, dated by the Schmidt-hammer method.**

Active rock glaciers are common large-scale flow features originating from thick debris accumulations (talus and/or till) in high-relief environments which are under permafrost conditions for a substantial period of time. Rock glaciers are characteristic landforms in mountain permafrost environments. More than one thousand rock glaciers formed in the Austrian Alps after the retreat of the Pleistocene glacier systems. Today, most of these rock glaciers are relict features without any ice content but still with the typical surface topography which makes them easy to identify in the field. These relict features indicate former permafrost conditions. Rock glaciers need hundreds to thousands of years to form, thus, datings on rock glaciers provide valuable information on palaeoclimatic conditions. This paper presents datings on three rock glaciers (containing permafrost) in the Dösen Valley, Ankogel Mountains, Hohe Tauern Range, derived with the Schmidt-hammer method. Results of this approach as well as additional palaeoclimatic information show that all three rock glaciers are old landforms. Their formation started already in the early Holocene. The largest of the three rock glaciers was constantly active during the last (at least) 8400 years. This indicates that permafrost conditions were present during this entire period in the Dösen Valley at elevations above 2350 m a.s.l and at coarse debris slopes facing west to north. Similar long formation periods can be assumed for many of the other Austrian rock glaciers. Additional relative and absolute datings on rock glaciers in Austria could help to validate the results from the Dösen valley as well as improve the understanding of rock glacier formation in the Austria during the last thousands of years.

## *Zusammenfassung*

Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Eis- und Schuttgemische, die sich lavastromartig langsam hang- oder talabwärts bewegen. Sie gelten als typisches Landschaftselement des alpinen Permafrosts (Dauerfrost). In den österreichischen Alpen haben sich nach dem Rückzug der Gletscher am dem Ende der letzten Eiszeit über tausend solcher Blockgletscherformen gebildet. Die meisten dieser Blockgletscher sind heute eisfrei und somit Zeugnis früherer Permafrostbedingungen. Bedenkt man, dass Blockgletscher für ihre Entwicklung hunderte bis tausende von Jahren mit Permafrostbedingungen benötigen, wird klar, dass Datierungen mit Bezug zur

Entstehungsgeschichte zusätzliche, wertvolle Hinweise über das Paläoklima geben können. Dieser Beitrag präsentiert Ergebnisse von Schmidt-Hammer Untersuchungen an drei Blockgletschern (mit Permafrost) im hinteren Dösener Tal, Ankogelgruppe, Hohe Tauern. Mit Hilfe dieser relativen Datierungsmethode und zusätzlichen paläoklimatischen Informationen wird gezeigt, dass die drei Blockgletscher alte Landschaftselemente sind, deren Entwicklung bereits im frühen Holozän begonnen hat. So hat sich der größte der drei untersuchten Blockgletscher wahrscheinlich kontinuierlich über einen Zeitraum von mindestens 8400 Jahren entwickelt. Dies bedeutet u.a., dass in diesem Zeitraum ab einer Seehöhe von 2350 m auf West- und Nordhängen mit Grobschuttauflage im Dösener Tal Permafrostbedingungen vorherrschend waren. Ähnlich lange Entwicklungsgeschichten sind für viele andere Blockgletscher in Österreich denkbar und weitere Datierungen (relative wie absolute) sind anzustreben, um einerseits die Ergebnisse dieser Untersuchung zu prüfen und andererseits die Entwicklung der österreichischen Blockgletscher im Laufe der letzten Jahrtausende besser zu verstehen.

### *1. Einleitung*

Aktive Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Eis- und Schuttgemische, die sich mit Geschwindigkeiten von wenigen Zentimetern bis Metern pro Jahr hang- oder talabwärts bewegen. Solche Kriechformen sind charakteristisch für den alpinen Permafrost (oder Dauerfrost) und weisen eine charakteristische Oberflächenformung (z.B. steile und labile Stirn und Ränder, Wulst- und Stauchformen konkav zur Fließrichtung) auf, welche eine morphologische Vergleichbarkeit mit Lavaströmen zulässt. Reliktische Blockgletscher weisen eine ähnliche Oberflächenformung auf, sind jedoch eisfrei und zum Teil bewachsen. Blockgletscher entstehen aus mächtigen Sedimentakkumulationen (Moränenmaterial und/oder Hangschutt) in welchen Permafrostbedingungen über einen längeren Zeitraum vorherrschen (Barsch 1996). Oberflächenstruktur, Form sowie räumliche Ausdehnung sind das kumulative Ergebnis ihrer gesamten Bildungszeit und dadurch ihrer klimatisch-gesteuerten Vergangenheit. Blockgletscher treten in den österreichischen Alpen häufig auf. Lieb (1996) kartierte flächendeckend für Zentral- und Ostösterreich 1451 Blockgletscher, wovon 1169 aufgrund ihres Erscheinungsbildes als reliktsch klassifiziert wurden (siehe Abb. 1A). Datierungen mit Bezug zur Entstehungsgeschichte können wertvolle Hinweise über das Paläoklima geben. Eine präzise Datierung von Blockgletschern ist schwierig und kann am besten durch einen kombinierten Ansatz von relativen (z.B. Schmidt-Hammer Methode) und absoluten Datierungsmethoden (z.B. Expositionsdatierung) erreicht werden (vgl. Haeberli *et al.* 2003). In dieser Studie wurde die Schmidt-Hammer Methode zur relativen Oberflächendatierung dreier Blockgletscher im Dösener Tal, Ankogelgruppe angewendet und mit dem absoluten

Alter benachbarter Moränenablagerungen verglichen. Datierungsergebnisse sowie das Potential der Schmidt-Hammer Methode für die Blockgletscherdatierung werden diskutiert.

## 2. *Arbeitsgebiet Dösener Tal*

Das Arbeitsgebiet umfasst den hinteren Bereich des glazial geprägten, trogförmigen und Ost-West ausgerichteten Dösener Tales (46°59'N, 13°26'E, Abb. 1A), Ankogelgruppe, Hohe Tauern, und umfasst darin die Höhenzone zwischen ca. 2250 m und 2650 m. Geologisch liegt das Arbeitsgebiet in der Zentralgneiszone des Hochalmkernes mit vorherrschenden nach Westen einfallenden Biotitaugengneisen (Lieb 1996). Dieser Teil des Dösener Tals ist landschaftlich durch vier Nord bis West ausgerichtete Blockgletscher, einem Karssee, markanten Felswänden beidseits der Talachse, sowie einer Karschwelle, welche zum Teil von einem grobblockigen Endmoränenwall überlagert ist, bestimmt (Abb. 1B und 2). Übertagt wird das Dösener Tal vom 3086 m hohen, pyramidenartigen Säuleck. Der Endmoränenwall wurde wahrscheinlich während des Egesen-Vorstoßes im ausgehenden Spätglazial abgelagert (Lieb 1996) und ist somit der früheren Jüngerer Dryas (Grönland Stadial 1) vor ca. 12.300-12.400 Jahren vor heute zuzuordnen (Kerschner & Ivy-Ochs 2008). Drei der vier Blockgletscher (DOE-A, B and C in Abb. 1B und 2) gelten als aktiv, einer (DOE-D in Abb. 1B und 2A) als klimatisch inaktiv (d.h. enthält noch Permafrost bewegt sich jedoch nicht mehr) (Lieb 1996). In dieser Studie lag der räumliche Fokus auf den beiden aktiven Blockgletscher DOE-A (Fläche 0,19 km<sup>2</sup>) und DOE-C (0,007 km<sup>2</sup>) sowie auf den inaktiven Blockgletscher DOE-D (0,17 km<sup>2</sup>). Frühere Arbeiten zum Thema Permafrost und Blockgletscher (inklusive Blockgletscherdynamik) fokussierten im speziellen auf den Blockgletscher DOE-A (siehe u.a. Lieb 1996 oder Kaufmann *et al.* 2007).

## 3. *Methodik und Lage der Messpunkte*

Der Schmidt-Hammer ist ein leichtes, tragbares Instrument welches Anfang der 1950er Jahre in der Baubranche für Betonhärte tests entwickelt wurde (Schmidt 1950). Dabei wird ein Rückprallwert (*Rebound* oder *R-Wert*) eines durch eine Feder gespannten Schlagbolzens, welcher auf eine horizontale Oberfläche einschlägt, gemessen. In geomorphologischen Fragestellungen wird der Schmidt-Hammer verwendet, um die Härte von Gesteinsoberflächen (Felsen, Moränenablagerungen,

## Klima im Wandel - 20 000 Jahre Klimaentwicklung in Österreich

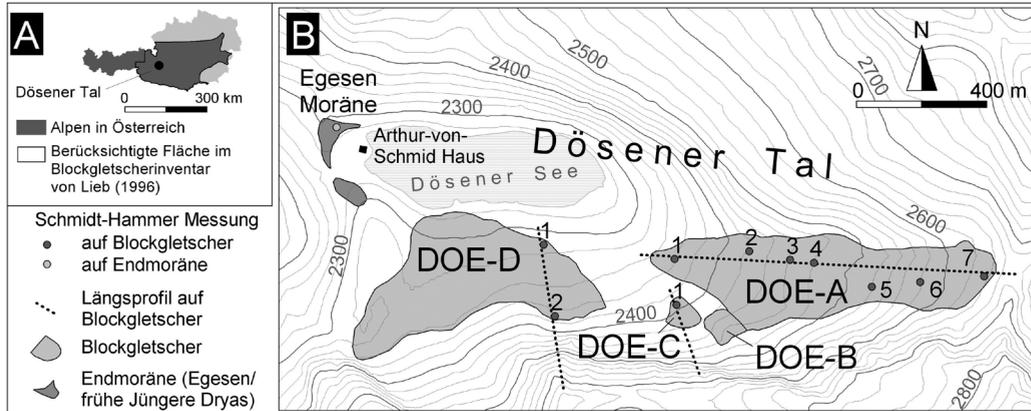


Abb. 1: Das Arbeitsgebiet im Dösenertal: (A) Überblickskarte sowie räumliche Ausdehnung des 1451 Blockgletscher umfassenden Inventars der zentralen und östlichen österreichischen Alpen nach Lieb (1996); (B) Detailkarte des Arbeitsgebietes mit Lage der vier im Text erwähnten Blockgletscher sowie der Egesen-zeitlichen Endmoräne nahe dem Arthur-von-Schmid Haus. Lagepunkte und Codierungen der Schmidt-Hammer Messungen (je 50 gültige Einzelmessungen) auf den Blockgletschern (als Längsprofil ausgerichtete bei DOE-A und DOE-D) sowie auf der Endmoräne sind verortet.

Fig. 1: Study area Dösen Valley: (A) overview map as well as spatial extent of the rock glacier inventory in the central and eastern Alps in Austria by Lieb (1996) including 1451 rock glaciers; (B) detailed map showing the four rock glaciers mentioned in the text and the Egesen (Younger Dryas) terminal moraine close to the Arthur-von-Schmid hut. Locations and codes of the Schmidt-hammer measurements are indicated at the rock glaciers and the terminal moraine. The measurement points at rock glaciers DOE-A and DOE-D are arranged along longitudinal profiles. At each location 50 valid individual Schmid-hammer measurements were carried out.

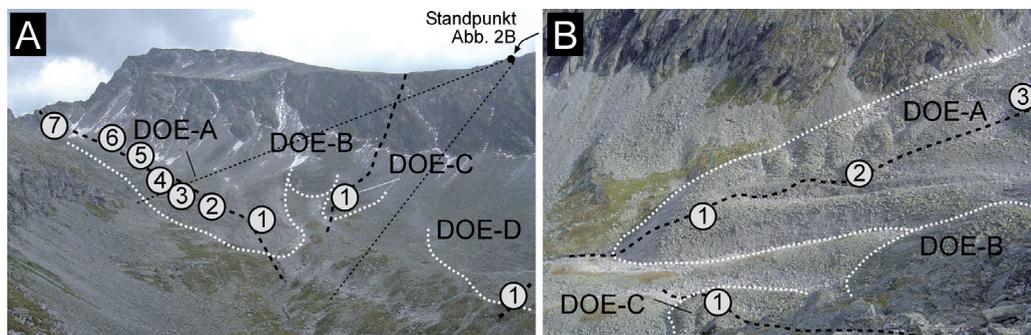


Abb. 2: Das hintere Dösenertal mit seinen vier Blockgletschern: (A) Blick nach SO, (B) Blick nach N. Zu beachten die großflächige Felswand südlich der Blockgletscher in (A), welche als dominantes Schuttliefergebiet fungiert, die perennierenden Schneeflecken sowie die Wulst- und Stauchformen in (B). Längsprofile sowie Lagepunkte der Schmidt-Hammer Messungen sind eingezeichnet (Aufnahmedatum: (A) 2.9.2006, (B) 3.9.2006).

Fig.2: The inner Dösen Valley and its four rock glaciers: (A) view towards SE, (B) view towards N. The extensive rock face south of the rock glaciers in (A) is the major source for debris. The small snow patches in (A) are perennial. Numbers indicate Schmidt-hammer measurement sites. (Photographs taken on: (A) 2.9.2006, (B) 3.9.2006).

etc.) zu testen und dadurch das Grad der Verwitterung und folglich Alter der Gesteinsoberfläche zu bestimmen. Der gemessene *R*-Wert ist proportional zur Druckfestigkeit der Gesteinsoberfläche und gibt ein relatives Maß der Härte einer Gesteinsoberfläche und damit der Zeit seit Beginn sowie Grad der Verwitterung dieser Oberfläche wieder. Hohe Werte deuten auf ein junges Alter, niedrige Werte hingegen auf ein hohes Alter hin. Die absoluten *R*-Werte werden aber auch von der Mineralzusammensetzung bzw. der Gesteinsart beeinflusst weshalb nur Oberflächen gleichen Gesteins verglichen werden sollen. Seit Beginn der 1980er Jahre wird diese Methode erfolgreich für glaziale und periglaziale Fragestellungen eingesetzt (z.B. Matthews & Shakesby 1984, McCarroll 1989). Erst seit wenigen Jahren setzt man den Schmidt-Hammer auch für die Datierung von Blockgletschern ein (z.B. Aoyama 2005, Frauenfelder *et al.* 2005, Kellerer-Pirklbauer *et al.* 2007).

In dieser Studie wurde ein analoger Schmidt-Hammer (L-Typ) der Firma *Controls*, Italien, an 11 Messpunkten (10 auf Blockgletscher, 1 auf Moränenwall) verwendet. Auf jeden der drei untersuchten Blockgletscher wurde an 1 bis 7 Punkten Schmidt-Hammer Messungen durchgeführt. Bei DOE-A (7 Punkte) und DOE-D (2 Messpunkte) lagen diese Messpunkte entlang eines Längsprofils zwischen der Wurzelzone (oberes Ende) und der Stirn des Blockgletschers (unteres Ende) (Abb. 1B und 2). Die einzelnen Messpunkte wurden so kleinräumig als möglich gehalten (<10 m<sup>2</sup>) und lediglich auf Vollformen (z.B. Rücken) durchgeführt, um den Einfluss von lange liegendebleibenden Schneeflecken auf die Verwitterung zu reduzieren. Eine ergänzende Messung erfolgte auf der Egesen-zeitlichen Moräne. Sämtliche Blöcke, an denen Schmidt-Hammer Messungen durchgeführt wurden, waren stabil, wackelten nicht während der Messung und wurden auf möglichst gleiche Gesteinsart ausgewählt.

Die Gesteinsoberflächen selbst waren möglichst horizontal, flach, trocken, sauber und frei von Flechten, sichtbaren Rissen und Klüften (McCarroll 1989, Haeberli *et al.* 2003, Shakesby *et al.* 2006). Das arithmetische Mittel von 50 *R*-Werten eines Messpunktes (vier Schmidt-Hammer Messungen pro Block; nur die beiden mittleren Werte wurden in eine Liste eingetragen; in Summe somit 25 Blöcke pro Messpunkt) sowie das 95%-Konfidenzintervall wurde für alle 11 Messpunkte ermittelt (Matthews & Shakesby 1984, Shakesby *et al.* 2006). Das arithmetische Mittel gibt Auskunft über das Alter der Gesteinsoberfläche und das 95%-Konfidenzintervall ist ein Indikator für statistisch signifikante Altersunterschiede zwischen zwei Messpunkten.

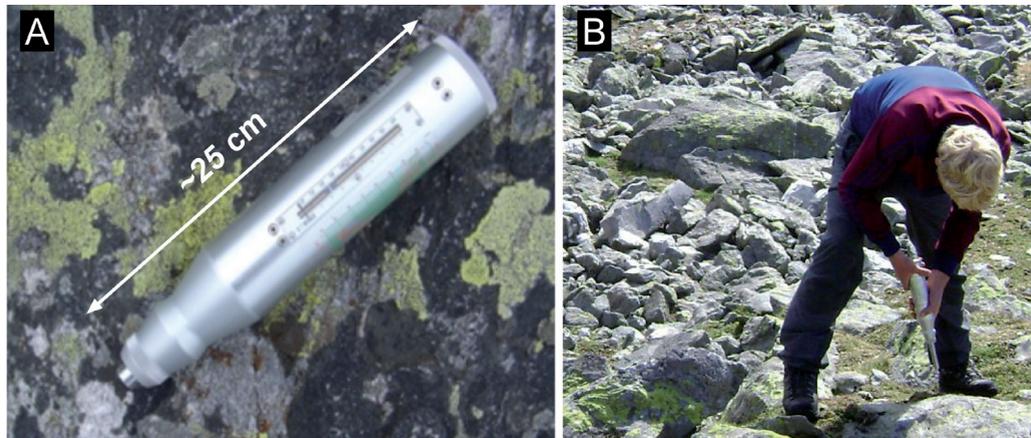


Abb. 3: (A) Der verwendete analoge L-Typ Schmidt-Hammer der Firma Controls, Italien und (B) dessen Einsatz im Gelände auf einer horizontalen Oberfläche (Aufnahmedatum: (A) 3.9.2007, (B) 24.9.2007).

Fig. 3: (A) The L-type Schmidt-hammer as supplied by the company *Controls*, Italy, which was used in this investigation. (B) Application of the Schmidt-hammer on a horizontal surface. (Photographs: (A) 3.9.2007, (B) 24.9.2007).

#### 4. Ergebnisse der Schmidt-Hammer Messungen

Die Ergebnisse der Schmidt-Hammer Messungen sind in Abbildung 4 sowie Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt. An allen 11 Messpunkten sind die 50 Einzelmessungen normal verteilt (d.h. keine bimodale Verteilung) und die Schiefe aller Verteilungen ist relativ gering. Eine Verteilung nach links (negative Schiefe) gibt an, dass der wahre mittlere R-Wert geringer sein kann als der gemessene (also Hinweis auf ein höheres Alter der Felsoberfläche als das tatsächlich gemessene), wohingegen eine Verteilung nach rechts (positive Schiefe) angibt, dass der wahre mittlere R-Wert höher sein kann als der gemessene (also ein geringeres Alter der Felsoberfläche möglich ist). Dies bedeutet, dass auf Basis der Verteilung und Schiefe davon ausgegangen werden kann, dass die 50 Einzelmessungen sehr gut das wahre Alter der Gesteinsoberfläche wiedergeben.

Das arithmetische Mittel der 50 R-Werte aller 11 Messpunkte liegt zwischen 29,7 an der Egesen-Moräne und 47,7 in der Wurzelzone des Blockgletschers DOE-A (Punkt 7) und umfasst damit eine R-Wert Spanne von 18,0. Die 95%-Konfidenzintervalle sind im Allgemeinen unter  $\pm 1,00$  wodurch sich signifikante Altersunterschiede für viele Messpunkte zueinander ergeben. Auffallend ist, dass für die Blockgletscher DOE-A und DOE-D eine statistisch signifikante Abnahme der R-Werte

von der Blockgletscherfront zum oberen Ende – also zur Wurzelzone – zu erkennen ist. Diese Abnahme ist für die 7 Messpunkte auf DOE-A stetig und umfasst dabei eine Spanne von 12,3 auf der R-Werte Skala. Auf den inaktiven Blockgletscher DOE-D umfasst diese Abnahme immerhin noch 4,5 R-Werte. Auffallend niedrig ist der mittlere R-Wert an der Egesen-Moräne (Unterschied von mindestens 3,6 in R-Werten), was auf ein deutlich höheres Alter im Vergleich zu allen anderen gemessenen Oberflächen schließen lässt.

### 5. Altersabschätzung der Blockgletscher

Wie aus der einschlägigen Schmidt-Hammer Literatur hervor geht, ist die Abnahme von gemessenen R-Werten über die Zeit sehr heterogen und stark von klimatischen wie geologischen Gegebenheiten bestimmt. Trotzdem kann festgestellt werden, dass bei einem R-Wertunterschied von >10 ein Altersunterschied von mehreren Tausend bis über Zehntausend Jahre angenommen werden kann (z.B. Aa & Sjästad 2000, Aoyama 2005, Frauenfelder *et al.* 2005, Kellerer-Pirklbauer *et al.* 2007).

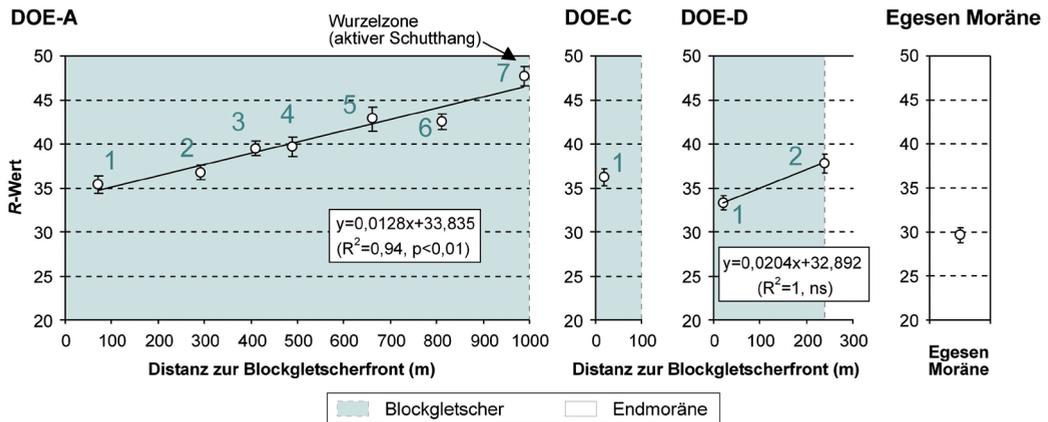


Abb. 4: Ergebnisse der Schmidt-Hammer Messungen an den 11 Messpunkten im Dösener Tal: Die R-Werte zeigen die arithmetischen Mittelwerte sowie das 95%-Konfidenzintervall an allen Messpunkten. Bei den drei Blockgletschern DOE-A, DOE-C und DOE-D sind die Ergebnisse der einzelnen Messpunkte in Abhängigkeit vom Abstand zum Blockgletscherende dargestellt. Für DOE-A und DOE-D wurde auch die Ausgleichsgerade ermittelt (für beide sehr ähnlich), wobei diese lediglich für DOE-A als statistisch signifikant einzustufen ist. Abkürzungen: R<sup>2</sup>=Bestimmtheitsmaß oder Determinationskoeffizient, p=Signifikanz, ns=nicht signifikant.

Fig. 4: Results of the Schmidt-hammer measurements from 11 points in the Dösen Valley: R-values are given as arithmetic means of 50 individual readings (4 impacts per boulder; only the two middle values were noted) with 95% confidence interval. R-values are plotted against the distance from the terminus at the two rock glaciers DOE-A and DOE-D. The regression line is significant for DOE-A only ( $p < 0.01$ ).

*Tabelle 1: Zusammengefasste Ergebnisse der Schmidt-Hammer Messungen an den 11 Messpunkten im Dösener Tal.*

Table 1: Summarised results of the Schmidt-hammer measurements at the 11 points in the Dösen Valley.

Landform	Standort	Mittleres R ± 95% CI (n=50)	Schiefe der Verteilung
Blockgletscher DOE-A	DOE-A1	35,4±1,00	-0,26
	DOE-A2	36,8±0,83	-0,04
	DOE-A3	39,5±0,84	0,56
	DOE-A4	39,7±1,11	0,47
	DOE-A5	42,8±1,36	0,01
	DOE-A6	42,5±0,86	0,70
	DOE-A7	47,7±1,14	-0,23
Blockgletscher DOE-C	DOE-C1	36,2±0,94	-0,18
Blockgletscher DOE-D	DOE-D1	33,3±0,80	-0,33
	DOE-D2	37,8±1,05	-0,83
Egesen-Moräne		29,7±0,89	0,00

Die untersuchten Blockgletscher im Dösener Tal haben sich erst nach erfolgreichem Rückzug des späteiszeitlichen Dösener Gletschers in höhere Lagen bilden können. Wie die kartierten Egesen-zeitlichen Moränen im Nahbereich des Arthur-von-Schmid Hauses zeigen, kann die Entwicklung der untersuchten Blockgletscher somit nur nach dem Egesen-Vorstoß im ausgehenden Spätglazial begonnen haben. Wie absolute Datierungen von Egesen-zeitlichen Moränen in den westlichen österreichischen Alpen zeigen, erfolgte die Stabilisierung dieser Moränen in der früheren Jüngeren Dryas vor ca. 12.300-12.400 Jahren vor heute (absolut datiert mit Hilfe der Expositionsdatierung von kosmogen *in situ* produzierten Radionukliden <sup>10</sup>Be durch Kerschner & Ivy-Ochs 2008). Dies bedeutet, dass der niedrigste R-Mittelwert im Dösener Tal von 29,7 an der Egesen-Moräne einem Alter von ca. 12.350 Jahren entspricht. Für den höchsten gemessenen mittleren R-Wert von 47,7, welcher am hoch aktiven Schutthang in der Wurzelzone des Blockgletschers DOE-A gemessen wurde, kann ein Alter von null bzw. wenigen Jahren angenommen werden. Erwähnenswert ist, dass zwischen dem Moment, in dem sich ein Riss in einer Felswand bildet (und somit die Verwitterung einer Gesteinsoberfläche beginnt) und dem Steinschlagereignis (Transport des Blocks von der Felswand in die Wurzelzone des Blockgletschers) sehr viele Jahre bis Jahrhunderte vergehen können. Eine Quantifizierung dieser Zeitspanne ist daher schwierig.

Geht man von einem linearen Zusammenhang zwischen R-Wert und Zeit aus (siehe dazu auch die diesbezügliche Diskussion in Skakesby *et al.* 2006), so kann eine Alterkalibrierung der erzielten R-Werte und somit eine absolute Datierung der Gesteinsoberflächen durchgeführt werden. Wie das Ergebnis dieser Alterskalibrierung zeigt (Abb. 5), ergibt sich für das hintere Dösener Tal eine mittlere Abnahme des R-Wertes von 1,46 in 1000 Jahren. Nach einem einfachen Ansatz von Skakesby *et al.* (2006) können auch die Fehlergrenzen dieser Alterskalibrierung quantifiziert werden. Entsprechend dieses Ansatzes werden für die Egesen-Moräne als auch für den Messpunkt in der Wurzelzone des Blockgletschers DOE-A die Fehlergrenzen einzeln durch die entsprechenden 95%-Konfidenzintervalle berechnet und als zweiten Schritt mit einer geraden Linie verbunden. Die Fehlergrenze für die Egesen-Moräne beträgt  $\pm 607$  Jahre, jene der Wurzelzone von DOE-A (Punkt 7)  $\pm 774$  Jahre. Folglich muss von einer Altersunsicherheit von rund  $\pm 700$  Jahre an jedem Schmidt-Hammer Messpunkt im Dösener Tal ausgegangen werden.

Wie man weiter aus Abbildung 5 entnehmen kann, ergibt sich für alle 10 Messpunkte auf den drei Blockgletschern ein Alter von unter 10.000 Jahren. Das höchste Alter auf einem Blockgletscher wurde für die Stirn des Blockgletschers DOE-D mit  $\sim 9860$  Jahre ermittelt. Die Stirn der Blockgletscher DOE-A und DOE-C sind mit  $\sim 8430$  bzw.  $\sim 7910$  Jahre etwas jünger. Alle drei Blockgletscher sind somit seit vielen tausend Jahren wesentliche Landschaftselemente des hinteren Dösener Tales. Für den Messpunkt in der Wurzelzone des inaktiven Blockgletschers DOE-D (Punkt 2) ergibt sich ein Alter von  $\sim 6780$  Jahre, was darauf hindeutet, dass in dieser Zeit die Ernährung des Blockgletschers durch Schutt aus den dahinter liegenden Felswänden markant abnahm. Aufgrund der tieferen Lage dieses Blockgletschers scheint dies auch möglich. Anders ist die Situation beim großen aktiven Blockgletscher DOE-A. Die Ergebnisse der sieben Messpunkte auf DOE-A weisen auf eine kontinuierliche Entwicklung dieser noch heute aktiven Landschaftsform in den letzten zumindest 8.400 Jahren hin. Diese Feststellung impliziert, dass die klimatischen Bedingungen im Dösener Tal während dieses gesamten Zeitraumes ab einer Seehöhe von rund 2350 m auf West und Nord exponierten Hängen mit Grobschuttauflage permafrostgünstig waren. Ebenso kann eine alleinige Entstehung von DOE-A seit dem Ende der so genannten „Kleinen Eiszeit“ (d.h. seit 1850 AD) – wie für verschiedene Blockgletscher in den Ötztaler Alpen (z.B. Berger *et al.* 2004 und zitierte Literatur darin) vermutet – ausgeschlossen werden.

Quantitative Oberflächenbewegungsraten für den Blockgletscher DOE-A wurden für den Zeitraum 1954-2005 durch Kaufmann *et al.* (2007) mit Hilfe von photogrammetrischen und geodätischen Methoden ermittelt. Entsprechend dieser Arbeit schwankte die mittlere jährliche Oberflächenbewegungsrate in diesem Zeitraum

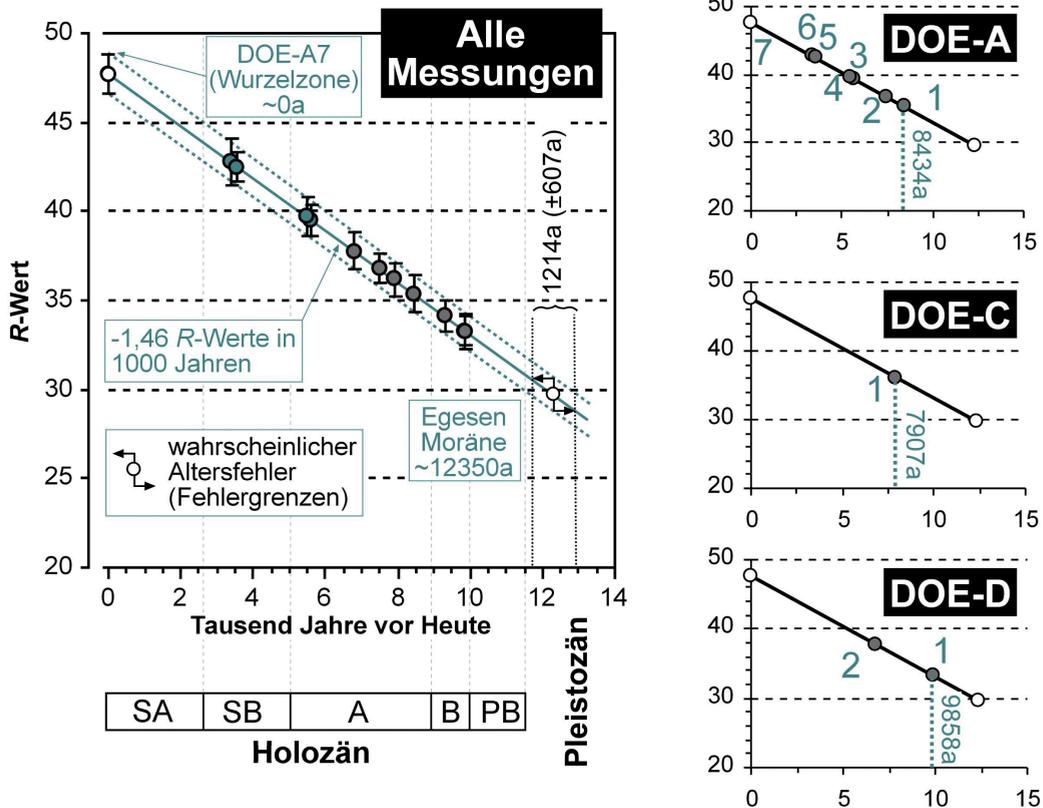


Abb. 5: Absolute Altersabschätzung der Schmidt-Hammer Messergebnisse im Dösen Tal für alle 11 Messungen gemeinsam sowie getrennt für die drei untersuchten Blockgletscher DOE-A, DOE-C und DOE-D. Für den Messpunkt an der Egesen-Moräne (=ältester Messpunkt) wird auf Basis von absoluten Datierungen in Westösterreich (Kerschner & Ivy-Ochs 2008) ein Alter von 12.350 Jahre angenommen. Für den Messpunkt in der aktiven Wurzelzone des Blockgletschers DOE-A (=jüngster Messpunkt) ergibt sich ein Alter von ~0 Jahre. Diese beiden Messpunkte sind als offene Kreise dargestellt und mit einer geraden Linie verbunden. Auf Basis dieser Linie ergeben sich die Alter der anderen 9 Messpunkte dargestellt als graue Kreise. Die strichlierten Linien beidseits der durchgezogenen Linie geben die Fehlergrenze wieder, welche im Bereich von  $\pm 700$  Jahre liegt (Details siehe Text). Abkürzungen: a=Jahr; Chronozonen im Holozän (in kalibrierten Jahren nach Haas et al. 1998): SA=Subatlantikum, SB=Subboreal, A=Atlantikum, B=Boreal und PB=Preboreal.

Fig. 5: Absolute age calibration of the Schmidt-hammer measurements in the Dösen Valley for all 11 measurement points together and separately for the three rock glaciers DOE-A, DOE-C and DOE-D. The point at the Egesen terminal moraine (oldest site) has an assumed age of 12.350 years based on absolute dates from western Austria (cf. Kerschner & Ivy-Ochs 2008). For the uppermost point of DOE-A (the youngest part of the rock glacier) an age of ~0 is assumed. Both values are shown as open circles and are connected with a line. Using this line the ages of the 9 points in between (grey circles) are obtained. The dashed lines on either side of the solid line indicate the estimated error which is in the range  $\pm 700$  years.

zwischen 13,4-37,4 cm. Nimmt man nun diese Jahresbewegungsbeträge als konstant über die Zeit (was jedoch sehr fraglich ist!) und kombiniert man diese mit der Länge des Blockgletschers DOE-A, so ergibt sich ein Alter von 2.700 bis 7500 Jahre. Folglich ist die Größenordnung der beiden Altersabschätzungsansätze – Schmidt-Hammer und Photogrammetrie/Geodäsie – zumindest grob vergleichbar.

Zu allerletzt sollte aber nicht vergessen werden, dass das Gesamtalter eines Blockgletschers wesentlich älter sein kann als das Alter der Blockgletscheroberfläche selbst, da sich ein Blockgletscher ähnlich einem Förderband zu Tal bewegt. Blöcke an der Oberfläche eines aktiven Blockgletschers stürzen an den Fuß der Blockgletscherstirn und werden von der vorrückenden Eis- und Schuttmasse überschüttet (vgl. Haeberli *et al.* 2003). Deshalb ergeben Altersdatierungen von Blockgletscheroberflächen lediglich ein Mindestalter eines Blockgletschers (vgl. Frauenfelder *et al.* 2005).

## 6. Fazit

Wie diese Studie im Dösener Tal zeigt, ist die Anwendung des Schmidt-Hammers eine einfache Methode um das relative Alter von alpinen Blockgletschern abzuschätzen. Besonders bei großen Blockgletschern, wo an mehreren Punkten entlang eines Längsprofils Schmidt-Hammer Messungen durchgeführt werden können, ermöglicht diese Methode die Erstellung von detaillierten relativen Chronologien. Mit ergänzenden Altersangaben ermittelt durch absolute Datierungsmethoden (vgl. Haeberli *et al.* 2003) lassen sich die gemessenen Schmidt-Hammer Werte kalibrieren und in absolute Alter umwandeln. Somit können verlässliche Chronologien über die Blockgletschergenese ermittelt werden. Ein großer Nachteil der Schmidt-Hammer Methode ist die relativ grobe zeitliche Auflösung. Zeitliche Unsicherheiten von einigen hundert bis über tausend Jahre müssen in Kauf genommen werden, die hier vorgestellten Datierungen haben also eine erheblich Schwankungsbreite. Nichtsdestoweniger zeigen meine Ergebnisse sehr klar, dass es sich bei den Blockgletschern im Dösener Tal um alte Landschaftsformen handelt, welche in ihrer heutigen Form über einen Großteil des Holozäns gebildet worden sind.

## Danksagung

Diese Studie wurde im Rahmen des Projektes ALPCHANGE ([www.alpchange.at](http://www.alpchange.at)) durchgeführt, welches durch den Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) als Projekt Nr. P-18304-N10 finanziell unterstützt wird.

## Literatur

- Aa R. & Sjøstad J.A., 2000: Schmidt hammer age evaluation of the moraine sequence in front of Bøyabreen, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 80: 27-32.
- Aoyama M., 2005: Rock glaciers in the northern Japanese Alps: palaeoenvironmental implications since the Late Glacial. *Journal of Quaternary Science* 20: 471-484.
- Barsch D., 1996: *Rock Glaciers: Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*. Springer Series in Physical Environment 16, Springer Verlag, Berlin, 331 S.
- Berger J., Krainer K. & Mostler W., 2004: Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). *Quaternary Research* 62: 233-242.
- Frauenfelder R., Laustela M. & Kääh A., 2005: Relative dating of Alpine rockglacier surfaces. *Zeitschrift für Geomorphologie* 49: 145-166.
- Haas J.N., Richoz I., Tinner W. & Wick L., 1998: Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at timberline in the Alps. *The Holocene* 8: 301-309.
- Haeblerli W., Brandová D., Burga C., Egli M., Frauenfelder R., Kääh A. & Maisch M., 2003: Methods for absolute and relative age dating of rock-glacier surface in alpine permafrost. *Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland, July 21-25, 2003*: 343-348.
- Kaufmann V., Ladstädter R. & Kienast G., 2007: 10 years of monitoring of the Doesen rock glacier (Ankogel group, Austria) - A review of the research activities for the time period 1995-2005. *Proc. of the Fifth Mountain Cartography Workshop, Bohinj, Slovenia, March 29–April 1, 2006*: 129-144.
- Kellerer-Pirklbauer A., 2008: The Schmidt-hammer as a Relative Age Dating Tool for Rock Glacier Surfaces: Examples from Northern and Central Europe. *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska, June 29-July 3, 2008*: (in Druck).
- Kellerer-Pirklbauer A., Wangensteen B., Farbrót H. & Etzelmüller B., 2007: Relative surface age-dating of rock glacier systems near Hólar in Hjaltadalur, Northern Iceland. *Journal of Quaternary Science* 23: 137-151.
- Kerschner H. & Ivy-Ochs S., 2008: Palaeoclimate from glaciers: Examples from the Eastern Alps during the Alpine Lateglacial and early Holocene. *Global and Planetary Change* 60 (1-2): 58-71.
- Lieb G.K., 1996: Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. *Arbeiten aus dem Institut für Geographie, Universität Graz* 33: 9-125.
- Matthews J.A. & Shakesby R.A., 1984: The status of the 'Little Ice Age' in southern Norway: relative-dating of Neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry. *Boreas* 13: 333-346.
- McCarrroll D., 1989: Potential and limitations of the Schmidt hammer for relative dating, Field tests on Neoglacial moraines, Jotunheimen, southern Norway. *Arctic and Alpine Research* 21: 268-275.
- Schmidt E., 1950: Der Beton-Prüfhammer – Ein Gerät zur Bestimmung der Qualität des Betons im Bauwerk. *Schweizerische Bauzeitung* 68: 378-379.
- Shakesby R.A., Matthews J.A. & Owen G., 2006: The Schmidt hammer as a relative-age dating tool and its potential for calibrated-age dating in Holocene glaciated environments. *Quaternary Science Reviews* 25: 2846-2867.