

# **Die Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (Öztaler Alpen, Tirol) seit 1938**

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades einer  
Magistra der Naturwissenschaften  
an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

eingereicht von  
Britta Schneider

eingereicht bei  
Univ.Prof. Dr. Gernot Patzelt  
Institut für Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- und Forstwirtschaft

Innsbruck, Dezember 1999

## **LEBENS LAUF**

**Name:** Britta Schneider

**Geburtsdatum:** 01.10.1974

**Geburtsort:** Hall in Tirol

**Staatsbürgerschaft:** Österreich

**Eltern:** Dr. Heralt Schneider, wissenschaftlicher Oberrat  
Mag. Ingrid Schneider, Diplom-Dolmetsch

### **Ausbildung:**

1981 - 1985: Besuch der Volksschule in Innsbruck/Arzl

1985 - 1993: Besuch des Bundesgymnasiums/Bundesrealgymnasiums Innsbruck Sillgasse

Juni 1993: Ablegung der Reifeprüfung

seit Oktober 1993: Lehramtsstudium für Geographie u. Wirtschaftskunde und Spanisch

Oktober 1995 - Juni 1996: ERASMUS-Studium an der *Universidad de Sevilla*, Spanien

gewidmet

Herrn Univ.Prof. Dr. Leopold Vietoris

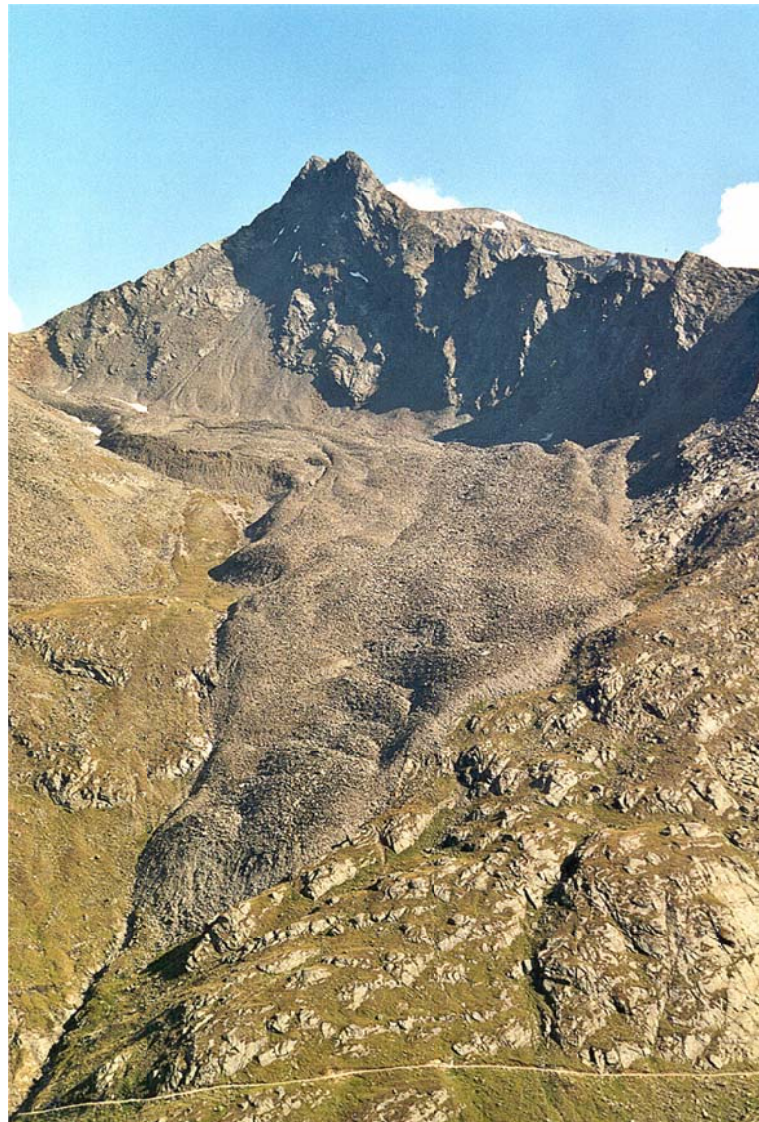


Foto 1: Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar  
(Aufnahme: B. Schneider, 14.9.1999, von der  
gegenüberliegenden Talseite aus)

## Dank

Meinen lieben Eltern, die mir das Studium finanziert und mich auch sonst in jeder Hinsicht stets unterstützt und ermutigt haben, gebührt der größte Dank.

Ganz besonders danke ich meinem Vater Heralte für die hilfreiche und intensive Beratung in fachlichen Fragen und dafür, daß er in den vergangenen 30 Jahren den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar nicht aus den Augen verloren hat. Ohne die von ihm gesammelten Daten hätte diese Diplomarbeit nicht entstehen können.

Herrn Univ.Prof. Dr. Gernot Patzelt danke ich für die angenehme Betreuung der Diplomarbeit.

Weiters danke ich all jenen ganz herzlich, die bei den Vermessungsarbeiten der letzten drei Sommer dabei waren und dafür gesorgt haben, daß trotz der Arbeit die heitere Seite nicht zu kurz kam: meinem Papa, meiner Mama Ingrid, meinem Bruder Jörg, unserem nepalesischen Freund Bhaikatshi sowie Paul, Klaus und vor allem der 'Meteorologen-Crew' Nori, Reini, Susi, Massi und Stefan.

Dr. Norbert Span gilt ein zusätzliches 'Danke' für seine geduldige Hilfe und seine Tips bei der Erstellung von Abbildungen mit dem PC.

Beim Österreichischen Alpenverein bedanke ich mich für die großzügige finanzielle Unterstützung der Feldarbeiten und Dr. Georg Kaser danke ich, daß er diese Unterstützung ermöglicht hat.

Dem Institut für Meteorologie und Geophysik sowie dem Institut für Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- u. Forstwirtschaft der Universität Innsbruck danke ich für die Bereitstellung der Klimadaten der Stationen Obergurgl und Vent.

Dipl.Ing. Dr. Viktor Kaufmann, Dr. Karl Krainer und Mag. Klaus Belitz danke ich für die informativen und anregenden Gespräche über die aktuelle Blockgletscherforschung in Österreich.

*Last but not least* danke ich meinem lieben Freund Paul, der mich während meiner gesamten Studienzeit begleitet hat und mir speziell in den letzten Wochen vor Abgabe der Diplomarbeit unendlich viel Geduld und Verständnis entgegen gebracht hat.

## Inhalt

1	Einleitung .....	4
1.1	Geschichte der Blockgletscherforschung und aktueller Forschungsstand .....	4
1.2	Ziele der Arbeit .....	8
2	BLOCKGLETSCHER: Kriechphänomene des diskontinuierlichen Hochgebirgs-Permafrostes .....	9
2.1	Definitionen und Grundbegriffe.....	9
2.2	Zur jahrzehntelangen Diskussion um den Blockgletscher-Begriff .....	13
2.3	Klassifikation, Eigenschaften und Verbreitung von Blockgletschern.....	15
2.3.1	Klassifikation .....	15
2.3.2	Äußeres Erscheinungsbild aktiver Blockgletscher .....	18
2.3.3	Material und interne Struktur .....	19
2.3.4	Verbreitung von Blockgletschern.....	21
3	Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar: Lagebestimmung, Eigenschaften und Besonderheiten 25	
3.1	3.1 Lage und Gestalt des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar.....	25
3.2	3.2 Besonderheiten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar .....	33
4	Die Geschichte der Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar.....	35
4.1	Geschichte, Methoden und aktueller Stand der Bewegungsmessungen auf Blockgletschern.....	35
4.2	Die Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar seit 1938 .....	40
4.2.1	Ära PILLEWIZER (1938-1955) .....	40
4.2.2	Ära VIETORIS (1951-1970).....	42
4.2.3	Ära SCHNEIDER (1972-heute).....	44
4.3	Sonstige Forschungsaktivitäten am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar .....	49
5	Die Ergebnisse der bisherigen Bewegungs-messungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar	51
5.1	Grundlegende Bemerkungen zur Auswertung der Bewegungsmessungen.....	51
5.2	Das Vorrücken des Zungenendes, die Veränderungen im Längsprofil und das aktuelle Bewegungsverhalten im unteren Teil des Blockgletschers .....	56
5.2.1	Das Vorrücken des Zungenendes und die Dickenänderungen im Längsprofil.....	56
5.2.2	Die Bewegung im unteren Teil des Blockgletschers.....	61
5.3	Die Veränderungen in den Querprofilen und Steinlinien 1 bis 3 .....	65
5.3.1	Die Dickenänderungen in den Querprofilen 1 bis 3 .....	65
5.3.2	Die Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Querprofile 1 bis 3.....	77
5.3.3	Die Bewegung in den Steinlinien 1 bis 3 seit 1981 .....	117
5.4	Die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar 122	
6	Schlußfolgerungen und Ausblick .....	121
6.1	Schwankungen der Lufttemperatur als Ursache von kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen auf Blockgletschern? .....	121
6.2	Anregung für zukünftige Forschungsaktivitäten in Bezug auf den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar.....	125

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Die weltweite Verbreitung alpinen Permafrostes.....	9
Abb. 2: Übersicht der wichtigsten Begriffe in Zusammenhang mit Gebirgspermafrost...	11
Abb. 3: Modell der Entstehung eines <i>talus rockglacier</i> .....	15
Abb. 4: Modell der Entstehung eines <i>debris rockglacier</i> .....	16
Abb. 5: Blockgletscher-Klassifikation nach geometrischen Gesichtspunkten.....	16
Abb. 6: Ergebnisse der Kernbohrung 1987 vom Blockgletscher Murtèl I.....	20
Abb. 7: Struktur der Kryosphäre als Funktion von Luft-Temperatur und Niederschlag... 22	
Abb. 8: Die potentielle Verbreitung diskontinuierlichen Permafrostes und die Lage der wichtigsten Permafrost-Untersuchungsstellen in Österreich.....	23
Abb. 9: Schematische Darstellung der Beziehung zwischen Gipfelhöhe, Schneegrenze und Permafrostuntergrenze.....	24
Abb. 10: Geographische Lage der Hochebenkar-Blockgletscher.....	25
Abb. 11: Ausschnitt aus dem Luftbild vom 7.8.1997.....	30
Abb. 12: Karte Pillewizer 1953 1:10000.....	41
Abb. 13: Übersicht über die in den Sommern 1997, 1998 und 1999 am Blockglet- scher im Äußeren Hochebenkar durchgeführten geodätischen Messungen.....	46
Abb. 14: Die möglichen Lagen der Bewegungsvektoren relativ zur Blockgletscher- Oberfläche.....	54
Abb. 15: Die Blockgletscherzunge 1936 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand.....	58
Abb. 16: Die Blockgletscherzunge 1953 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand.....	59
Abb. 17: Die Blockgletscherzunge 1969 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand.....	60
Abb. 18: Die Blockgletscherzunge 1977 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand.....	61
Abb. 19: Das Vorrücken des Zungenendes und die Dickenänderungen im Längsprofil 1936 bis 1997.....	62
Abb. 20: Die Dickenänderung im Profil 0 1969 bis 1997.....	65
Abb. 21: Die Bewegung im unteren Teil des Längsprofils 1997-1998.....	68
Abb. 22: Der 1997/98 eingemessene Blockgletscherrand und die Bewegung im unteren Abschnitt des Blockgletschers 1997-1998.....	69
Abb. 23: Die Dickenänderung im Profil 3 1953 bis 1997.....	72
Abb. 24: Die Dickenänderung im Profil 2 1953 bis 1997.....	73
Abb. 25: Die Dickenänderung im Profil 1 1953 bis 1997.....	74
Abb. 26: Die Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Profile 1 bis 3 für die ausgewählten Meßperioden 1953-55, 1981-85 und 1997-98.....	77
Abb. 27: Die Bewegung der Steine neu in den Linien 0 bis 3 1997-1998.....	80
Abb. 28: Die mittlere Bewegung der Steine alt in den Linien 1 bis 3 1981-1999.....	81
Abb. 29: Die Gesamtbewegung der Steine alt in den Linien 1 bis 3 1981-1999.....	82
Abb. 30: Die mittleren Fließgeschwindigkeiten der Steine in den Linien 0 bis 3 1951 bis 1999.....	86
Abb. 31: Die Fließgeschwindigkeiten der schnellsten Steine in den Linien 1 bis 3	

1951 bis 1999.....	87
Abb. 32: Studienkarte 1:10000 des Äußeren Hochebenkar-Blockgletschers, Stand 1977.....	89
Abb. 33: Studienkarte 1:10000 des Äußeren Hochebenkar-Blockgletschers, Stand 1986.....	90
Abb. 34: Die mittlere Fließgeschwindigkeit der Steine in Linie 2 verglichen mit den Jahresmitteln der Lufttemperatur der Stationen Obergurgl und Vent 1951 bis 1998.....	94

## Fotoverzeichnis

	Seite
Foto 1: Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar.....	i
Foto 2: Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar von der gegenüber- liegenden Talseite aus.....	26
Foto 3: Blick vom Gipfel des Hangerer auf den oberen Abschnitt des Blockgletschers.....	28
Foto 4: Die unruhige Oberfläche des Blockgletschers.....	28
Foto 5: Der Blockgletscher im Inneren Hochebenkar von der gegenüber- liegenden Talseite aus.....	32
Foto 6: Die Frontböschung des Blockgletschers.....	57
Foto 7: Die spaltige Oberfläche des Blockgletschers im orographisch rechten Bereich von Profil 0.....	64
Foto 8: Die große verschüttete Querspalte bei etwa 2500 m.....	88

## Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Koordinaten Festpunktnetz Blockgletscher Äußeres Hochebenkar.....	52
Tab. 2: BG-Rand 1997/98 (Koordinaten von 88 eingemessenen Punkten).....	117
Tab. 3: BG-Oberfläche 1997/98 im Längsprofil.....	118
Tab. 4: BG-Oberfläche 1997 im Profil 0.....	119
Tab. 5: Bewegung der Steine im 1997 angelegten Längsprofil 1997 bis 1999.....	120
Tab. 6: Koordinaten der Ausgangslagen der am 24.9.1997 angelegten Steine im Längsprofil.....	120
Tab. 7: Geschwindigkeitsverteilung im Bereich von Profil 0 1997 bis 1998.....	121
Tab. 8: Bewegung der Steine Z1 und Z2 im Bereich der Linie 0 1995 bis 1999.....	121
Tab. 9: Dickenänderungen in den Profilen 1 bis 3 (Referenzoberflächen 1997 verglichen mit früheren Messungen).....	122
Tab. 10: Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Profile 1 bis 3 für die ausgewählten Meßperioden 1953-55, 1981-85, 1997-98.....	125
Tab. 11: Bewegung der Steine in den Linien 1-3 vom 10.8.1981 bis zum 4.8.1999.....	127
Tab. 12: Koordinaten der Steine der Linien 1-3 am 10.8.1981.....	127
Tab. 13: Bewegung der 1997 neu gelegten Steine in den Linien 0-3 1997 bis 1999.....	129
Tab. 14: Koordinaten der Ausgangslagen der 1997 neu gelegten Steine in den Linien 0-3.....	131
Tab. 15: Mittlere Fließgeschwindigkeiten der Steine der Linien 0-3 1951 bis 1999.....	132
Tab. 16: Fließgeschwindigkeiten der schnellsten Steine der Linien 1-3 1951 bis 1999 verglichen mit den mittleren Fließgeschwindigkeiten.....	133
Tab. 17: Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur der Station Obergurgl (1938 m) 1953 bis 1998.....	135
Tab. 18: Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur der Station Vent (1906 m) 1950 bis 1997.....	136



## Vorwort

„[T]he phenomenon ‘rock glacier’ [is] one of the most striking, most widespread, and most often misunderstood permafrost phenomena on earth“ (Haerberli 1985a: 10)

Schon in meiner Kindheit und Jugend, vor allem aber während meiner Studienzeit, nahm ich des öfteren an den allsommerlichen Gletscher- und Blockgletscher-Vermessungsarbeiten meines Vaters Heralt im hinteren Ötztal Teil. Mein Interesse für die das Hochgebirge prägenden Landschaftsformen wurde dadurch schon früh geweckt. Zudem bot sich mir durch die Geländebegehungen die Möglichkeit, das im Rahmen meines Studiums theoretisch erworbene Wissen über den glazialen und periglazialen Formenschatz des Hochgebirges vor Ort zu verfestigen und einige während des Studiums erlernte Arbeitsmethoden in die Praxis umzusetzen. Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar hat mich aufgrund seiner spektakulären Erscheinung schon immer fasziniert. Als ich gegen Ende meines Studiums auf der Suche nach einem Diplomarbeitsthema war, hat es sich angeboten, mich eingehender mit diesem Blockgletscher, der immerhin als der am besten und längsten untersuchte Blockgletscher Österreichs gilt, auseinanderzusetzen. Insbesondere mit den Meßdaten, die mein Vater - in der Nachfolge von Prof. L. Vietoris, der ihm den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar sozusagen ‘vererbte’ - seit nunmehr fast 30 Jahren zusammengetragen hat.

Daß die väterlich-töchterliche Zusammenarbeit so gut funktioniert hat, ist nicht zuletzt auf folgende Anekdote zurückzuführen, auf die ich beim Durchsichten des historischen Datmaterials gestoßen bin, und die meinem Vater und mir als ‘gutes Omen’ bei der gemeinsamen Analyse und kritischen Betrachtung der Meßdaten gedient hat.

Aus einem Auszug aus dem Tagebuch von Prof. H. Hoinkes, dem ehemaligen Vorstand des Instituts für Meteorologie der Universität Innsbruck, der am 5. September 1972 gemeinsam mit seiner Frau Trude an einer Meßkampagne von Prof. Vietoris und meinem Vater teilnahm, stammt folgender Vermerk:

14<sup>e</sup> Tachymetrie der Linie 3 (1970 gelb neu gemalt  
1972 rot umrandet)

Pkt 1	gelb ...	0.14 m	
Pkt 2	" "	0.81 m	
Pkt 3	" "	1.10 m	
Pkt 4	" "	1.27 m	(darüber ist ein großer Block mit gelber Aufschrift dem selben Farbe angegeben.)

H. + B.  
Sch

Die Initialen 'H. + B. SCH' gelten aller Wahrscheinlichkeit nach dem seinerzeitigen Professor für Mathematik Dr. Heinrich Schatz und seinem Sohn Bernhard oder seiner Tochter Brigitte, welche - ähnlich wie ich heute - in ihrer Jugend- und Studienzeit ihren Vater hin und wieder bei dessen Vermessungstätigkeiten im Ötztal, unter anderem am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, begleiteten. Daß Jahrzehnte später abermals ein 'Familien-Team' mit denselben Initialen an demselben Blockgletscher Messungen vornehmen würde, konnte damals niemand ahnen!

# 1 Einleitung

## 1.1 Geschichte der Blockgletscherforschung und aktueller Forschungsstand

Ihren Ausgang nahm die Blockgletscherforschung mit Spencer (1900), Cross & Howe (1905), Siebenthal (1907), Capps (1910) u.a. in den Gebirgen Nordamerikas. Mit einer Verzögerung von knapp zwei Jahrzehnten wurden Blockgletscher auch in Europa zum Forschungsthema, wobei Chaix (1919, 1923, 1943) in den Schweizer Alpen den Anfang machte. Nach der anfänglichen Euphorie ist das Forschungsinteresse aber bald wieder gesunken, bis Ende der 50er Jahre, wiederum von den USA ausgehend, mit der klassischen Arbeit von Wahrhaftig & Cox (1959) die 'moderne Ära der Blockgletscherforschung' eingeleitet wurde. In den Alpen waren u.a. Domaradzki (1951) und Jäckli (1957) die 'Vorreiter' der mit dem wegweisenden Artikel von Barsch (1969) einsetzenden und bis heute anhaltenden intensiven Erforschung von Blockgletschern. D. Barsch (Universität Heidelberg) und W. Haeberli (Universität Zürich) gelten heute als die bedeutendsten Blockgletscher-Forscher des deutschsprachigen Raumes. Im Rahmen der Permafrostforschung liegt der Schwerpunkt der Blockgletscherforschung in Europa seit jeher in der Schweiz. Sie wird, vom Institut für Geographie der Universität Basel ausgehend, gegenwärtig an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (kurz VAW) der ETH Zürich und am Institut für Geographie der Universität Zürich betrieben.

In Österreich wurde die Blockgletscher- bzw. Permafrostforschung erst in den letzten Jahren verstärkt aufgenommen. Am Institut für Geographie der Universität Graz bzw. am Institut für Angewandte Geodäsie der TU Graz sowie am Institut für Geologie der Universität Innsbruck sind Blockgletscher heute ein Forschungsanliegen. Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar ist der am längsten untersuchte Blockgletscher in Österreich (vgl. Pillewizer, 1957 u. 1938a; Vietoris, 1972 u. 1958 sowie Haeberli & Patzelt, 1983). Die Erkenntnisse von W. Pillewizer und L. Vietoris, die als die Pioniere der Blockgletscherforschung in Österreich anzusehen sind, beruhen größtenteils auf der Untersuchung eben dieses Blockgletschers. Seit einigen Jahren bilden auch der Dösender Blockgletscher in der Ankogelgruppe im Nationalpark Hohe Tauern (vgl. Kaufmann, 1998a, 1998 u. 1996; Kaufmann & Heiland, 1998; Lieb, 1996 oder Schmöllner & Fruhwirt, 1996) sowie der Blockgletscher Inneres Reichenkar in den westlichen Stubai Alpen (vgl. Chesi et al., 1999 oder Krainer & Mostler, 1999) einen fixen Bestandteil der Blockgletscherforschung

in Österreich. Nach einer persönlichen brieflichen Mitteilung von Dr. Kaufmann vom 3. März 1999 hat die 'Grazer Gruppe' ihre Forschungsaktivitäten in jüngster Zeit auf zwei weitere Blockgletscher in der Schobergruppe ausgedehnt: den Blockgletscher im Weißenkar und den Blockgletscher im Hinteren Langtalkar, der auch von Prof. Krainer von Innsbruck aus untersucht wird. Krainer und Mitarbeiter haben neben dem Reichenkar Blockgletscher den Blockgletscher im Sulzkar (ebenfalls westliche Stubaier Alpen) sowie einen Blockgletscher im Kaiserbergtal (westliche Öztaler Alpen) in ihr Forschungsprogramm aufgenommen. In einem Gespräch am 25. März 1999 hat mir Prof. Krainer mitgeteilt, daß in nächster Zeit auch mehrere Blockgletscher im Gößnitztal (Schobergruppe), eventuell auch einige erst vor kurzem im Zillertal entdeckte Blockgletscher, näher untersucht werden sollen. Während die 'Grazer Gruppe' in erster Linie Bewegungsmessungen mit Hilfe aller gängigen Methoden der Blockgletschervermessung vornimmt, konzentrieren sich die Forschungsaktivitäten des Instituts für Geologie der Universität Innsbruck auf die geologisch-geomorphologische Kartierung des jeweiligen Studienobjektes und dessen Umgebung sowie auf das hydrologische System der Blockgletscher.

Die **Methoden** zur Erforschung des Phänomens 'Blockgletscher' reichen von der großflächigen morphologischen Kartierung mit Hilfe von Luftbildern und Fernerkundungsdaten bis zur Kernbohrung. Insbesondere die Verfahrensweisen zur Bestimmung des Aufbaus und der internen Struktur von Blockgletschern entwickeln sich rasch. Neben der direkten Beobachtung in natürlichen bzw. künstlichen Aufschlüssen oder an Bohrkernen bildet die indirekte Information über Quell- oder Boden-Temperaturmessungen, über die geophysikalische Prospektion mittels Refraktionsseismik, Geoelektrik oder Georadar, über die chemisch-physikalische Analyse von Bohrkernen sowie über hydrologische Beobachtungen und Messungen ein wichtiges Grundgerüst der Blockgletscherforschung. Detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Untersuchungsmethoden, inklusive deren Vor- und Nachteile, deren Kosten- und Nutzaufwand sowie der bisher damit erzielten Ergebnisse, finden sich unter anderem bei Barsch (1996: 73-120), Haeberli (1985a: 24-81), Lieb (1996: 16-43) und Whalley & Martin (1992: 130-142). Die verschiedenen Möglichkeiten der Bewegungsmessung an Blockgletschern werden in Kapitel 4.1 gesondert besprochen.

In Bezug auf die reichlich vorhandene **Blockgletscher-Literatur** ist zu erwähnen, daß es nur sehr wenige zusammenfassende Überblicksdarstellungen über das Blockgletscher-Phänomen gibt. Mit dem 1996 erschienenen Buch '*Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*' von D. Barsch, welches den derzeitigen Forschungsstand ausführlich zusammenfaßt, ist eine solche gegeben. Bei

dem 1985 von W. Haeberli verfaßten Werk *'Creep of Mountain Permafrost. Internal Structure and Flow of Alpine Rock Glaciers'* handelt es sich ebenfalls um eine gute zusammenfassende Einführung in die Thematik, wobei hier der Schwerpunkt auf der Bewegungsdynamik von Blockgletschern liegt. Der 1987 von Giardino/Shroder/Vitek herausgegebene Sammelband *'Rock glaciers'* wird nicht ganz den Erwartungen seines Titels gerecht, da die Mehrzahl der in ihm enthaltenen Artikel auf einzelne Blockgletscher bzw. spezielle Fragestellungen bezogen ist. Die aktuellsten, wenn auch meist sehr spezifischen Ergebnisse der Blockgletscherforschung findet man - wie bei jedem anderen Thema auch - in den gängigen Zeitschriften, in den Mitteilungen der verschiedenen, in diesem Bereich tätigen Institute sowie in den aus Konferenzen oder Vortragsreihen hervorgehenden *proceedings*. Insbesondere zu erwähnen sind die Zeitschrift *'Permafrost and Periglacial Processes'*, das *'Journal of Glaciology'*, die *'Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie'*, die Mitteilungen der VAW der ETH Zürich sowie die *'Proceedings'* der Internationalen Permafrost-Konferenz, die alle fünf Jahre abgehalten wird. Zuletzt sei noch auf das *internet* verwiesen, in dem man immer wieder auf interessante Informationen und Literaturhinweise bezüglich der aktuellen Forschungsfragen der Permafrost- und Blockgletscherforschung stößt (siehe *internet links* im Anschluß).

Wie aus den aktuellen Forschungsaktivitäten in Österreich sowie aus dem Literaturverzeichnis dieser Arbeit hervorgeht, hat die Blockgletscher- bzw. Permafrost-Forschung seit den 1980er Jahren, vor allem aber seit Beginn der 1990er Jahre, einen Aufschwung erfahren wie noch nie zuvor. Das ist in erster Linie auf die verstärkte Bautätigkeit im Permafrost-Bereich im Zuge der wachsenden touristischen Erschließung und der Ausdehnung des Siedlungsraumes auf immer größere Höhen zurückzuführen. Die im Rahmen der Errichtung touristischer Hochbauten wie Schilifte, Berghütten, Lawinen- und Steinschlag-Schutzbauten, Zufahrtsstraßen und -tunnels etc. auftretenden Probleme werden unter anderem von Embleton-Hamann (1997: 223-225) oder Haeberli (1992b) beschrieben. Die Untersuchung des Permafrost-Phänomens 'Blockgletscher' ist längst nicht mehr nur Sache der Geomorphologen, sondern reicht weit in viele Bereiche der Hochgebirgsforschung, der Glaziologie, der Klimatologie, der Hydrologie, der Geologie, der Bodenkunde, der Geophysik und des Ingenieurwesens hinein. Gerade im Hinblick auf die für das 21. Jahrhundert prognostizierte beschleunigte Klimaerwärmung ist die Frage nach der Reaktion von Permafrost und Blockgletschern auf Temperaturschwankungen von größtem Interesse. Abele et al. (1993) und Haeberli (1992b) schildern ausführlich die potentiellen Konsequenzen einer geringen Erhöhung der Jahresmittel-Temperatur für das Permafrost-Milieu und dessen Umgebung. Eine Erhöhung der Permafrost-Untergrenze um mehrere 100 Meter führt zu zunehmender Hanginstabilität, höherer Murentätigkeit, verstärkter Schutttzufuhr für tiefere Höhenlagen etc.. Eine allgemeine Schilderung der Praxisrelevanz der Perma-

frost- bzw. Blockgletscherforschung in Österreich und der sich daraus ergebenden zukünftigen Forschungsaufgaben inklusive wertvoller Literaturhinweise liefert Lieb (1996: 116-118).

Weiß man heute bereits das meiste über die allgemeinen Voraussetzungen für die Bildung von Blockgletschern, über deren generelles Verbreitungsmuster sowie über deren Aufbau und interne Struktur, so ist gerade das Wissen über die Reaktion von Blockgletscher-Permafrost auf klimatische Veränderungen und über das eng mit dem Klima zusammenhängende Bewegungsverhalten von Blockgletschern noch unzureichend.

## 1.2 Ziele der Arbeit

Die vorliegende Arbeit verfolgt zwei Ziele. Zum einen sollen die Bewegungsmessungen, die seit 1938 in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar durchgeführt wurden, zusammengefaßt, kritisch beleuchtet und gegebenenfalls überarbeitet werden. Den Schwerpunkt bilden dabei die von meinem Vater Dr. Heralt Schneider - in seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Oberrat am Institut für Mathematik der Universität Innsbruck - seit 1972 durchgeführten Messungen, die bis dato noch nicht geschlossen ausgewertet bzw. veröffentlicht wurden. Zum anderen soll die in diesem Rahmen erfolgte Auswertung einen allgemeinen Beitrag zur Blockgletscherforschung leisten, und zwar im Sinne einer Grundlagenstudie, welche zur Ausweitung der nach wie vor unvollständigen Kenntnisse über die Bewegungsdynamik von Blockgletschern beiträgt und damit der Weiterentwicklung eines Fließmodelles für Blockgletscher dienen könnte. Das Wertvolle an den hier verarbeiteten Daten ist der zeitliche Rahmen von bis zu 60 Jahren, womit eine historische Meßreihe vorliegt, wie es sie in ähnlicher Länge und Genauigkeit für kaum einen anderen Blockgletscher auf der Welt gibt. Das Hauptaugenmerk wird daher auf den seit Beginn der Messungen beobachteten kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen sowie deren möglichen Ursachen liegen. Die morphologischen Besonderheiten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar (vgl. Kapitel 3.2.) dürfen dabei natürlich nicht außer Acht gelassen werden. Mit Bezug auf die in Kapitel 1.1 angesprochenen Reaktionen des Permafrost-Milieus auf klimatische Veränderungen soll unter anderem untersucht werden, ob und wie die gemessenen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar mit den Lufttemperatur-Daten der nahegelegenen Klimastationen Obergurgl und Vent korrelieren (vgl. dazu Kapitel 6).

Die Arbeit versteht sich somit in erster Linie als Beitrag zur Erforschung der Sensibilität der Bewegungsdynamik eines Blockgletschers. Diese Zielsetzung entspricht voll und ganz den aktuellen Fragen der Erforschung des Hochgebirgspermafrostes, dessen morphologische Leitform eben aktive Blockgletscher wie jener im Äußeren Hochebenkar sind.

## 2 BLOCKGLETSCHER: Kriechphänomene des diskontinuierlichen Hochgebirgs-Permafrostes

### 2.1 Definitionen und Grundbegriffe

Das Phänomen 'Blockgletscher' (engl. *rockglacier* od. *rock glacier*, frz. *glacier rocheux*, span. *glaciar de bloques* od. *litoglaciar*) definiert D. Barsch folgendermaßen:

„Active rockglaciers are lobate or tongue-shaped bodies of perennially frozen debris supersaturated with interstitial ice and ice lenses or even with bodies of massive ice, which move downslope or downvalley by creep as a consequence of the deformation of the ice contained in them and which are, thus, features of cohesive flow“ (Barsch, 1992: 176).

„As a consequence of the movement (from several centimeters up to a few meters per year) they display a steep front slope (35-45°), steep side slopes 10 m or more high, and a surface relief of arcuate ridges and furrows aligned, in general, perpendicular to the direction of flow“ (Barsch, 1988: 72).

Diese Definition ist aus zwei Gründen von Vorteil. Zum einen ist es eine exakte geomorphologische Beschreibung, die Prozeß (Kriechen von übersättigtem Hochgebirgspermafrost, dessen sichtbarer Ausdruck spezielle Landschaftsformen sind), Material (nicht konsolidierter Schutt) und Form einschließt. Zum anderen versucht sie, die jahrzehntelange Kontroverse, die die Genese von Blockgletschern betrifft und die zu teils heftigen Diskussionen geführt hat (und nach wie vor führt), zu beenden. Barsch stellt klar, daß es sich bei Blockgletschern eindeutig um Permafrost-Phänomene, und damit um Erscheinungen handelt, die dem periglazialen Formenschatz zuzuordnen sind, auch wenn gelegentlich größere Toteismassen in Blockgletschern enthalten sein können.

**Permafrost** (Dauerfrostboden, engl. *permafrost* od. *perennially frozen ground*, franz. *pergelisol*) wird als thermisches Phänomen des Untergrundes unabhängig vom Material und der Existenz von Eis wie folgt definiert:

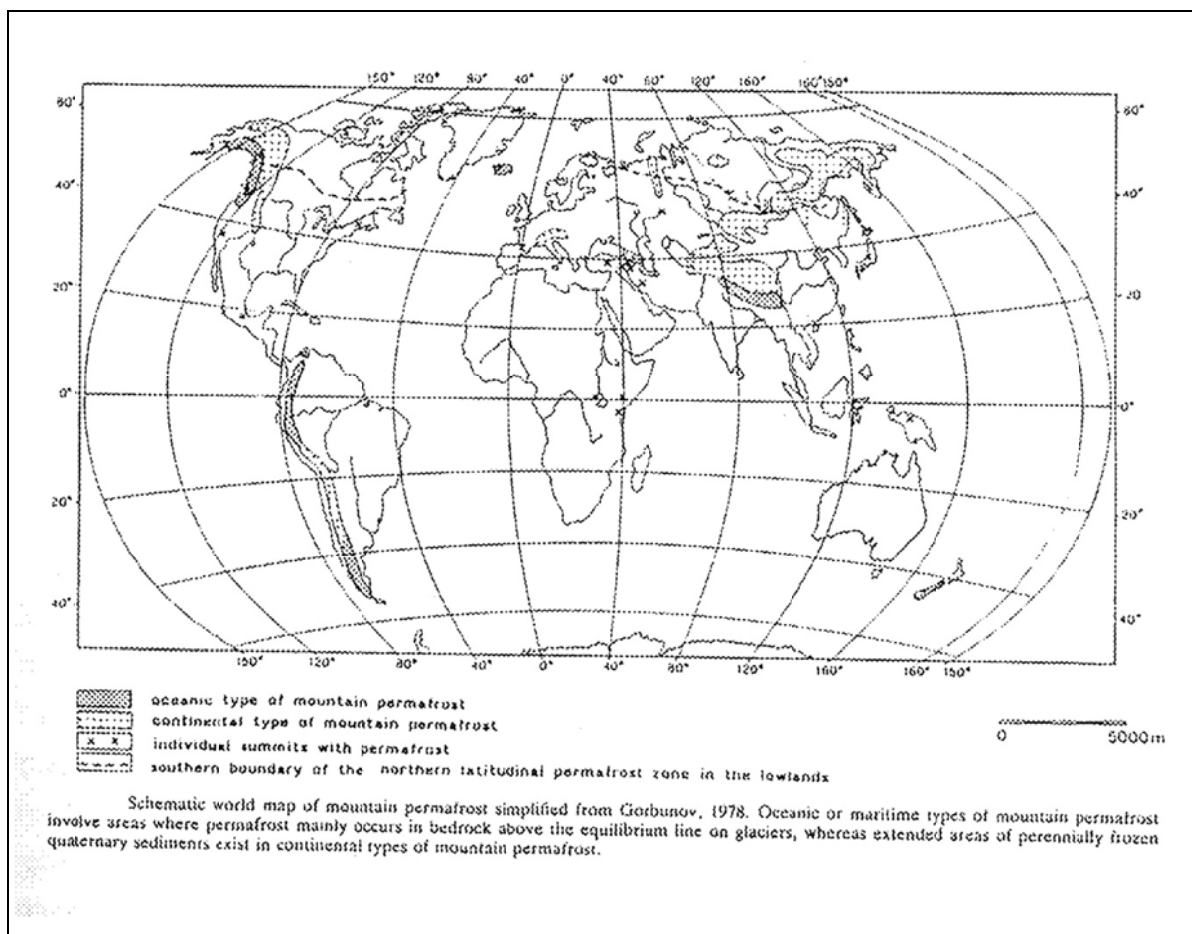
„Permafrost ist Lithosphärenmaterial, das während mindestens einem Jahr Temperaturen unter 0°C aufweist“ (Keller, 1994: 22; nach Washburn, 1979).

Karte (1979) setzte eine Dauer von mindestens zwei Wintern und einem dazwischen liegenden Sommer voraus. Somit ist Permafrost in erster Linie eine Funktion der durch



verschiedene Faktoren wie Schneedecke, Vegetation, Bodenart etc. modifizierten Lufttemperatur und des Wärmeflusses aus dem Erdinnern (Haeberli, 1975: 11). „Die Beschränkung des Begriffes auf Lithosphärenmaterial bedeutet, daß Gletscher als Bestandteile der Hydrosphäre nicht zum Permafrostgebiet gezählt werden. Hingegen kann Toteis im Grenzbereich zwischen Lithosphäre und Hydrosphäre als spezielle Permafrostform betrachtet werden“ (Keller, 1994: 22).

Abb. 1: Die weltweite Verbreitung alpinen Permafrostes (Haeberli et al. 1993, S. 167)



Hochgebirgs- bzw. alpiner Permafrost nimmt im Vergleich zum polaren und subpolaren Permafrost nur einen kleinen Teil der Erdoberfläche ein (vgl. Abb. 1) und beschränkt sich auf die Periglazialstufe, die in den Alpen geökologisch im wesentlichen der subnivalen Höhenstufe entspricht (Lieb, 1996: 14).

Nach dem Ausmaß der Flächendeckung unterscheidet man vor allem zwischen kontinuierlichem Permafrost (über 90% der Fläche werden von Permafrost eingenommen) und diskontinuierlichem Permafrost (50 bis 90% der Fläche). Im Zusammenhang mit alpinem

Permafrost trennt die Permafrostuntergrenze, die im wesentlichen mit der  $-1^{\circ}$  bis  $-2^{\circ}\text{C}$  Jahresisotherme der Lufttemperatur zusammenfällt, die Höhenstufe des diskontinuierlichen Permafrostes von dem sich darunter befindlichen sporadischen (10 bis 50% der Fläche) bzw. fleckenhaften (0 bis 10% der Fläche) Permafrost, der auch unterhalb der Waldgrenze auftreten kann und sich durch nur noch vereinzelt auftretende, kleinere Permafrostflächen auszeichnet. Die groben Untergrenzen liegen in den Alpen bei 3000 bis 3500m für kontinuierlichen, 2500m für diskontinuierlichen und 2000m für sporadischen Permafrost (Lieb, 1996: 14).

Je nach der im Permafrost enthaltenen Eismenge, die in erster Linie über das Verhältnis zum Porenvolumen definiert wird, unterscheidet man zwischen eisuntersättigtem, gesättigtem und eisübersättigtem Permafrost. „Bei *eisuntersättigtem Permafrost* beansprucht das Bodeneis nicht den gesamten Porenraum des ungefrorenen Materials. *Gesättigter Permafrost* füllt den gesamten beim Gefriervorgang zur Verfügung stehenden Porenraum. Sobald das Volumen des Bodeneises dasjenige des ungefrorenen Materials übersteigt, spricht man von *übersättigtem Permafrost*“ (Keller, 1994: 23).

Abb. 2 gibt Auskunft über weitere **wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Gebirgspermafrost**: die Auftauschicht (*active layer*, Mollisol) ist derjenige Teil des Untergrundes, der im Sommer auftaut, d.h. der im Sommer positive Temperaturen aufweist; die Permafrostmächtigkeit wird nach oben durch den Permafrostspiegel, i.e. die Untergrenze der Auftauschicht, und nach unten durch die Permafrostbasis begrenzt; zwischen Permafrostspiegel und Permafrostbasis ist die Temperatur immer kälter als  $0^{\circ}\text{C}$ , unterhalb der Permafrostbasis liegt sie immer über  $0^{\circ}\text{C}$ ; mit ZAA (*Zero Annual Amplitude*) wird die Tiefe bezeichnet, in welcher praktisch keine jahreszeitlichen Temperaturschwankungen auftreten bzw. in welcher sie geringer als  $0,1^{\circ}\text{C}$  sind; „Unterhalb der ZAA, an der sich die Permafrosttemperatur einstellt, nimmt theoretisch die Temperatur tiefenwärts der geothermischen Tiefenstufe folgend zu, bis [an der Permafrostbasis] die Temperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  erreicht ist“ (Haeberli, 1975: 12); unter dem Null-Grad-Niveau (*zero curtain*) versteht man „die Zone unmittelbar oberhalb [des Permafrostspiegels], in der über längere Zeit im Jahr [...] eine Temperatur von ca.  $0^{\circ}\text{C}$  herrscht, während die darüber liegende Auftauzone gefriert oder taut. Das Null-Grad-Niveau ergibt sich aus der Schmelzwärme des Eises (80 cal/g). Diese Wärme wird beim Eindringen des Frostes am Ende des Sommers frei und verhindert so eine weitere Absenkung der Temperatur. Andererseits wird diese Wärme im Frühsommer beim Schmelzen des gefrorenen Bodens verbraucht und verhindert so ein tieferes Auftauen“ (Weise, 1983: 39); solange die Auftauschicht im Winter vollständig durchgefriert, spricht man von aktivem Permafrost; sobald jedoch - im Zuge einer Erwärmung - der winterliche Frost den Permafrostspiegel nicht mehr erreicht, spricht man von inaktivem Permafrost.

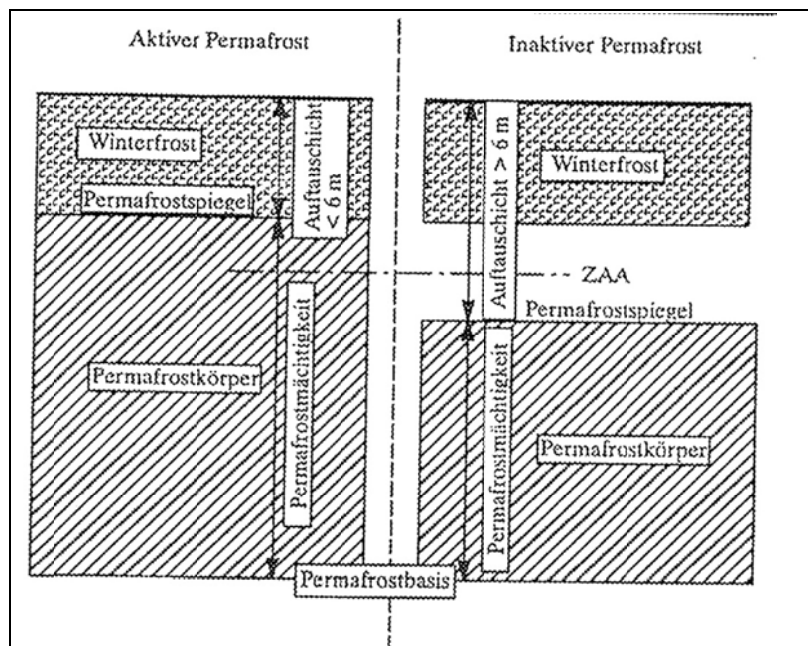


Abb. 2: Übersicht der wichtigsten Begriffe in Zusammenhang mit Gebirgspermafrost (Keller 1994, S. 23)

Ausführliche Erläuterungen zum Permafrost- sowie zum Periglazial-Begriff finden sich unter anderem bei Clark (1988), Harris (1988), Stäblein (1985), Weise (1983) und Washburn (1979).

## 2.2 Zur jahrzehntelangen Diskussion um den Blockgletscher-Begriff

Die von zahlreichen Wissenschaftlern (insbesondere jenen aus dem nordamerikanischen Raum) lange Zeit über beharrlich vertretene, in jüngster Zeit wieder neu aufgeflamnte These, Blockgletscher seien nichts anderes als schuttbedeckte Gletscher, verliert mit der heute weitgehend akzeptierten Barsch'schen Definition an Gewicht. Die jahrzehntelange Kontroverse um die Genese von Blockgletschern scheint aber bis dato nicht beendet. Bei dem in den letzten Jahren neuerlich erforschten Galena Creek Rock Glacier in den Absaroka Mountains, Wyoming, USA (Ackert, 1998; Potter, 1998; Whalley & Palmer, 1998) beispielsweise handelt es sich nach Aussage der Autoren um einen Blockgletscher glazigenen Ursprungs. Doch können derartige „rock glacier/debris-covered glacier system[s]“ (Ackert, 1998) als Blockgletscher im oben definierten Sinne angesehen werden?

Das Problem liegt darin, daß mit dem Wort 'Blockgletscher' genetisch gänzlich verschiedene, wenn auch oft über ein ähnliches äußeres Erscheinungsbild verfügende Formen bezeichnet werden. Der Begriff 'Blockgletscher' aber ist seit der die moderne Ära der Blockgletscherforschung einleitenden Arbeit von Wahrhaftig & Cox (1959), spätestens jedoch seit der Veröffentlichung des klassischen Artikels von Barsch (1969) für die Formen periglazialen Ursprungs reserviert. Natürlich gibt es Übergangsformen, wie etwa die sogenannten 'ice-cored moraines', die weder dem periglazialen noch dem glazialen Bereich eindeutig angehören und die auch weiterhin für Diskussionen sorgen werden. Daß es sich jedoch bei Blockgletschern per definitionem um „the visible expression of creep of alpine or mountain permafrost“ (Barsch, 1992: 175) handelt, und daß damit 'glazigene Blockgletscher' per definitionem eben keine Blockgletscher sind bzw. nicht als solche bezeichnet werden sollten, ist heute aber unumstritten:

„[...] all the evidence available to date fails to support the view that rockglaciers are debris-covered glaciers. The two can be neighbours, but an inactive glacier (i.e. a debris-covered glacier) is a quite separate phenomenon to an active rockglacier. [...] a rockglacier is a well-defined periglacial feature which can easily be differentiated from debris-covered glaciers, rock-glad glaciers or ice-cored rockglaciers as a part of the glacial system, or from other forms of the periglacial realm like frozen talus slopes (which are still stable rather than moving)“ (Barsch, 1988: 79-80).

Aussagen führender Blockgletscherforscher wie die Beziehung zwischen Blockgletschern und Gletschern sei „indirect, accidental, or non-existent“ (Haeberli, 1985a: 122) oder „the model of the so-called ice-cored (glacigenic) rock glacier has to be abolished“ (Barsch, 1996: 214) verdeutlichen dies. Auch die Tatsache, daß „während der jüngsten Hochstände

Gletscher auf schon vorgegebene Blockgletschermassen aufgelaufen“ sind (Höllermann, 1983a: 39), ohne diese wesentlich zu beeinträchtigen, geschweige denn deren Entstehung bzw. Weiterentwicklung zu verursachen (ein gutes Beispiel liefert die Situation in dem, dem Äußeren Hochebenkar benachbarten Inneren Hochebenkar; vgl. Kapitel 3 bzw. Haerberli & Patzelt, 1983: 129), spricht eindeutig für den periglazigenen Ursprung von Blockgletschern.

Die von vielen Autoren zu recht als 'unglücklich gewählt' angesehene Bezeichnung 'Blockgletscher' trägt das Ihre zur Auseinandersetzung zwischen den Vertretern der periglazialen (v.a. Barsch, Haerberli) und den Verfechtern der glazigenen (v.a. Wissenschaftler aus Nordamerika: Clark, Johnson, Potter, Whalley, White) Richtung bei. Das Wort 'Blockgletscher' ist in der Literatur aber schon so tief verankert, daß es - nicht zuletzt in Ermangelung geeigneter Alternativen - weiterhin verwendet werden wird, und Meinungsverschiedenheiten auch in Zukunft nicht ausgeschlossen sind.

Folgende Aussage bringt die Probleme im Zusammenhang mit dem Begriff 'Blockgletscher' auf den Punkt: „Die als 'Blockgletscher' bezeichnete Formengruppe besteht aus Formen verschiedener Gestalt, verschiedenen Alters und Aktivitätsgrades, sowie unterschiedlicher Schutt- und Eisherakunft. In der Schwierigkeit, solche Typen eindeutig zu unterscheiden und getrennt zu untersuchen, beruhen offensichtlich viele lang tradierte Probleme und Kontroversen der Blockgletscherforschung“ (Höllermann, 1983a: 61). Gerade die (fälschlicherweise als solche bezeichneten) *glacier ice-cored 'rockglaciers'* weisen - im Vergleich zu den 'echten' Blockgletschern (*ice-cemented rockglaciers*) - ein differenziertes Verhalten in Bezug auf die Bewegungsdynamik, die Fließgeschwindigkeit, die jahreszeitlichen bzw. täglichen Abflußhöhen und -schwankungen etc. auf, weshalb für beide Typen unterschiedliche Modelle entwickelt werden müssen.

Lesenswerte, mitunter nicht unzynische Darstellungen über die langjährige Diskussion um die Genese von Blockgletschern finden sich unter anderem bei Barsch (1996, 1992 u. 1988), Clark et al. (1998), Höllermann (1983b), Johnson (1983 u. 1980), Kerschner (1974), Klaer (1983 u. 1974) sowie Martin & Whalley (1987) bzw. Whalley & Martin (1992). Die zu Beginn der Blockgletscherforschung von manchen Autoren (z.B. Chaix, 1923; Domaradzki, 1951) vertretene These, die Bewegung von Blockgletschern sei auf 'Durchtränkungsfließen' zurückzuführen, ist nach dem derzeitigen Stand der Forschung nicht mehr haltbar. Das gleiche gilt für die noch viel früher wieder verworfene 'landslide'- bzw. 'rockslide'-These, weshalb auf eine nähere Erläuterung dieser beiden Entstehungs-Hypothesen verzichtet werden kann. Bezüglich der Namensgebung in den verschiedenen Sprachen, der versuchten terminologischen Reformen und der damit einhergehenden Probleme verweise ich auf Barsch (1996: 14-17) und Höllermann (1983a: 54-57).

## 2.3 Klassifikation, Eigenschaften und Verbreitung von Blockgletschern

In der Folge sollen die wichtigsten Untertypen, das übliche Erscheinungsbild, die interne Zusammensetzung sowie das generelle Verbreitungsmuster von Blockgletschern näher beleuchtet werden. Die Kenntnis der internen Struktur eines Blockgletschers ist von besonderer Bedeutung, bildet sie doch eine wichtige Voraussetzung für die Interpretation des Bewegungsverhaltens eines Blockgletschers sowie für die Entwicklung eines den langsamen Fließgeschwindigkeiten entsprechenden Fließmodelles.

### 2.3.1 Klassifikation

Je nach dem beteiligten Material und der klein-topographischen Lage unterscheidet Barsch zwei Haupttypen von Blockgletschern: *talus rockglaciers*, die vor allem aus frostverwitterten Gesteinsfragmenten bestehen und sich vorwiegend am Fuße von Schutthalden bilden (vgl. Abb. 3) und *debris rockglaciers*, die vor allem aus Moränenmaterial bestehen und unterhalb von Seiten- oder Endmoränen entstehen (vgl. Abb. 4).

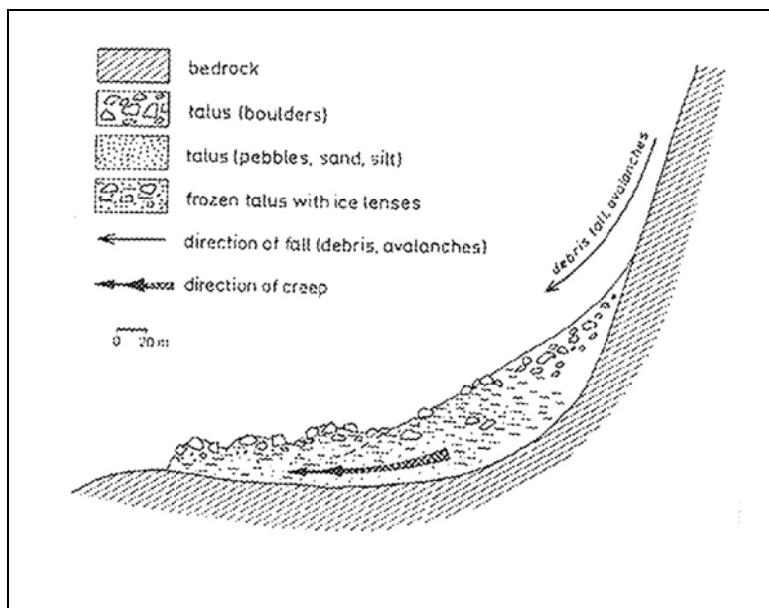
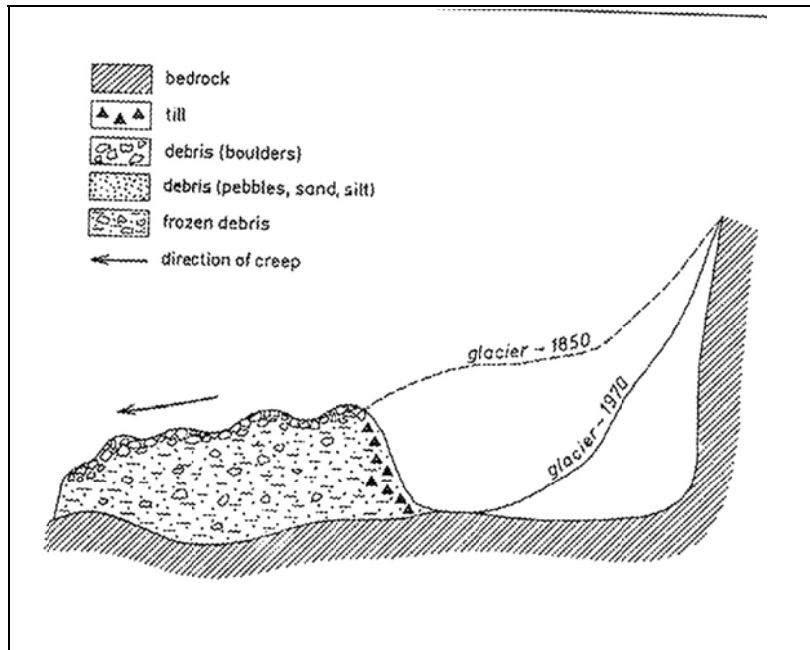


Abb. 3: Modell der Entstehung eines *talus rockglacier*  
(Barsch 1988, S. 80)

Abb. 4: Modell der Entstehung eines *debris rockglacier*



(Barsch 1988, S. 81)

Basierend auf dem Länge-Breite-Verhältnis differenziert man heute - in Anlehnung an Domaradzki (1951) bzw. Wahrhaftig & Cox (1959) - drei Formen von Blockgletschern: *tongue-shaped*, *lobate* oder *spatulate* bzw. *piedmont* (vgl. Abb. 5).

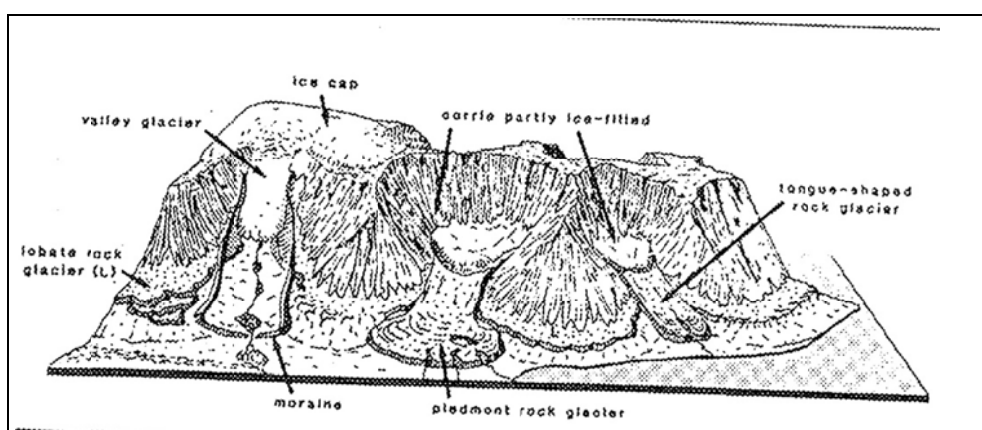


Abb. 5: Blockgletscher-Klassifikation nach geometrischen Gesichtspunkten (Martin & Whalley 1987, S. 262; nach Humlum 1982)

Zungenförmige Blockgletscher sind um einiges länger als breit und bilden sich mit Vorliebe in Karen sowie in Talböden, während sich die meist kleineren, gleich breit oder

breiter als langen lobenförmigen Blockgletscher im allgemeinen auf die Tal- bzw. Karhänge beschränken. Mit spatelförmigen Blockgletschern werden ursprünglich zungenförmige Blockgletscher bezeichnet, deren Enden aufgrund einer Geländeverflachung seitlich ausfließen. Sowohl *talus* als auch *debris rockglaciers* können alle drei Formen einnehmen. Eine weitere, ebenfalls auf der klein-topographischen Lage basierende, von Outcalt & Benedict (1965) eingeführte Unterscheidung ist die in *valley floor* und *valley wall rockglaciers*, wobei erstere den zungen- bzw. spatelförmigen, letztere dagegen den lobenförmigen Blockgletschern zuzuordnen sind.

Bezüglich des Aktivitätszustandes unterscheidet man drei Typen von Blockgletschern.

**Aktive Blockgletscher** enthalten Permafrost und zeigen im allgemeinen Bewegungsgeschwindigkeiten von 0,1-1 m/a. **Inaktive Blockgletscher** enthalten ebenfalls gefrorenes Material bzw. Eis, zeigen aber keine Bewegung mehr. Erste Anzeichen von Inaktivität sind Vegetationspolster auf dem Feinmaterial der Stirn und der Seitenränder, die Entwicklung einer sogenannten 'Schuttschürze' am Fuß der Blockgletscherfront sowie die zunehmende Verflachung der Frontböschung. Barsch unterscheidet zwischen *climatic inactivity*, wenn „due to heavy melting of interstitial ice [...] the frozen core may become so thin that the possible shear stress is too weak to provoke any creep“ (Barsch, 1996: 189) und *dynamic inactivity*, wenn „creep is or approaches zero due to decreasing rockglacier thickness in relation to gradient“ (Barsch, 1996: 190). Letztere bleibt im allgemeinen auf Gebiete kontinuierlichen Permafrostes beschränkt. Aufgrund des in ihrem Inneren enthaltenen Permafrostes werden aktive und inaktive Blockgletscher oft zusammengenommen und als 'intakte' Blockgletscher bezeichnet, insbesondere wenn es um die Permafrost-Verbreitung in einem Gebiet geht. **Fossile Blockgletscher** (auch reliktsche oder Relikt-Blockgletscher) enthalten überhaupt kein Eis mehr und zeichnen sich durch kollapierte, mehr oder weniger stark von Vegetation (von Flechten bis zu Zwergsträuchern, gelegentlich auch von Bäumen) bedeckte Oberflächenstrukturen aus, weshalb sie oft mit alten Moränensystemen oder Erdbeben- bzw. Felssturzablagerungen verwechselt werden. Sie stammen vielfach aus der Späteiszeit und weisen darauf hin, daß das Klima zu jener Zeit trockener und kälter war als heute (vgl. auch Kapitel 2.3.4).

„Von diesen Typen sind streng genommen nur die aktiven als mit dem klimatischen Umfeld im Gleichgewicht stehende Permafrostzeiger zu werten, wobei ihre Untergrenze die Mindestreichweite des Permafrostes angibt. Fossile Blockgletscher sind demgegenüber durch einen erwärmungsbedingten Anstieg der Permafrost-Untergrenze in eine permafrostfreie Höhenlage geraten, während inaktive Blockgletscher sich in einer Rand- bzw. Übergangsposition befinden [...]. Solche inaktiven Blockgletscher entwickeln sich bei fortschreitender Erwärmung zu fossilen, können aber bei Abkühlung vermutlich recht rasch wieder zu aktiven werden“ (Lieb, 1996: 32).



Eine weitere Klassifikation des Phänomens 'Blockgletscher' in zahlreiche Untertypen, wie sie etwa in Barsch (1996: 31-34) oder Martin & Whalley (1987: 265-272) beschrieben wird, trägt kaum zum leichteren Verständnis desselben bei.

### 2.3.2 Äußeres Erscheinungsbild aktiver Blockgletscher

Wie schon aus der Namensgebung sowie aus der Diskussion um die Genese von Blockgletschern hervorgeht, haben aktive Blockgletscher (insbesondere die zungenförmigen) eine gletscherähnliche Gestalt. Blockgletscher können einige hundert Meter bis wenige Kilometer lang und einige hundert Meter breit sein und werden daher zu den Großformen des Periglazialraumes gezählt. Es gibt sie aber auch als Kleinformen mit Ausmaßen von nur wenigen Zehnermetern, wozu unter anderem die sogenannten 'protalus ramparts' (deutsch: Blockschuttwülste) zählen, die Barsch als 'embryonale Blockgletscher' bezeichnet (Lieb, 1996: 34). Aktive Blockgletscher ragen mindestens 15 bis 20 m, oft höher, über das sie umgebende Gelände hinaus. Sie zeichnen sich durch steile und im Vergleich zur grobblockigen, meist von Flechten bedeckten Oberfläche des Blockgletschers relativ helle, vorwiegend aus Feinmaterial bestehende Front- und Seitenränder aus. Diese sind, mit einer Neigung von 35 bis 40°, meist stärker geneigt als der für das jeweilige Material charakteristische Ablagerungswinkel, weshalb an ihnen ständig mit Steinschlag zu rechnen ist. Die Front- und Seitenränder gehen normalerweise in einer scharfen Kante in die vergleichsweise schwach geneigte Blockgletscher-Oberfläche über. Die Helligkeit der Front und der Seitenränder ist auf die Exposition von frischem, noch nicht verwittertem Material und auf das Fehlen von Flechten oder anderen Pionierpflanzen zurückzuführen.

Das für die meisten Blockgletscher charakteristische, aus ogiven-förmigen Wällen (*ridges*) bzw. Furchen (*furrows*) bestehende Oberflächenrelief, das einem zähflüssigen Lavastrom ähnelt, ist - nach derzeitigem Wissensstand - in erster Linie auf die Bewegungsdynamik des Blockgletschers (v.a. *compressive* bzw. *extending flow*) und/oder auf räumliche und zeitliche Schwankungen im Schutt- und Eishaushalt zurückzuführen. Interessante und anregende Überlegungen zur Entstehung der transversalen bzw. longitudinalen Rücken und Gräben finden sich unter anderem bei Johnson (1992), Lliboutry (1990b), Loewenherz et al. (1989), in der klassischen Arbeit von Wahrhaftig & Cox (1959) sowie in dem Artikel von Whalley & Martin (1992: 176-179).

### 2.3.3 Material und interne Struktur

Blockgletscher bilden sich vor allem in kristallinen Gesteinen, können aber grundsätzlich - d.h. wenn die äußeren Bedingungen, die für die Blockgletscherbildung notwendig sind (diskontinuierlicher alpiner Permafrost, von Steilrelief umgebene Geländeverflachung etc.) sehr gut sind - in (fast) jeder Gesteinsart entstehen. Mit zunehmend blockgletscherungünstigeren klimatischen Bedingungen nimmt der Gesteinscharakter an Bedeutung zu. Grobblockig zerfallendes Gestein wird generell bevorzugt. „Nach den Erfahrungen aus den östlichen österreichischen Alpen kann man grob folgende Reihung wichtiger Gesteine von grobblockigem (Blockgletscher begünstigendem) zu feinstückigem (Blockgletscher benachteiligendem) Schuttanfall aufstellen: Granite und granitische Gneise - Paragneise - Glimmerschiefer - schwächer metamorphe Schiefer und Phyllite - Dolomite und Kalke“ (Lieb, 1996: 89).

Aus direkten Beobachtungen in natürlichen und künstlichen Aufschlüssen, aus der Gestalt und Struktur der Blockgletscherfronten sowie aus geophysikalischen Messungen und aus den bisher an Blockgletschern durchgeführten Bohrlochsondierungen kann auf die interne Zusammensetzung von Blockgletschern geschlossen werden.

Aktive Blockgletscher bestehen für gewöhnlich aus einem äußeren, nur wenige Meter dicken Mantel groben Blockwerks (*bouldery mantle*) und einem darunter liegenden, meist mehrere Dekameter dicken inneren Kern aus gefrorenem Feinmaterial (v.a. Sand, Silt, Schluff, Ton), in das gröbere Fragmente eingebettet sind und das mit kleineren oder größeren Eislinsen (auch Segregationeis genannt), durchsetzt ist. Dieses im Inneren eines Blockgletschers enthaltene Feinmaterial-Eis-Gemisch wird auch als Eiszement bezeichnet. Der durchschnittlich 2 bis 5 m dicke Deckmantel aus grobem Blockwerk (Blöcke mit Volumina von einigen Kubikmetern sind keine Seltenheit) darf nicht gleichgesetzt werden mit der mehrere Meter tiefen sommerlichen Auftauschicht, die auch noch Teile des *ice-cemented core* einschließen kann. Die Materialsortierung, die zur zweilagigen Struktur eines Blockgletschers führt, kommt durch Frosthub, Auswaschung des Feinmaterials durch Regen- und Schneeschmelzwasser und durch den Fließprozeß zustande.

Das Eis im Inneren eines Blockgletschers entsteht vor allem aus Niederschlags-, Schneeschmelz- oder Grundwasser, das unter dem Einfluß der niederen Temperaturen gefriert, und aus Lawinenschnee, der an der Wurzel des oder auf dem Blockgletscher abgelagert wird und im Laufe der Jahre ebenfalls zu Eis wird. Gelegentlich kann, wie schon erwähnt, auch echtes Gletschereis in Form von kleineren Toteismassen enthalten sein.

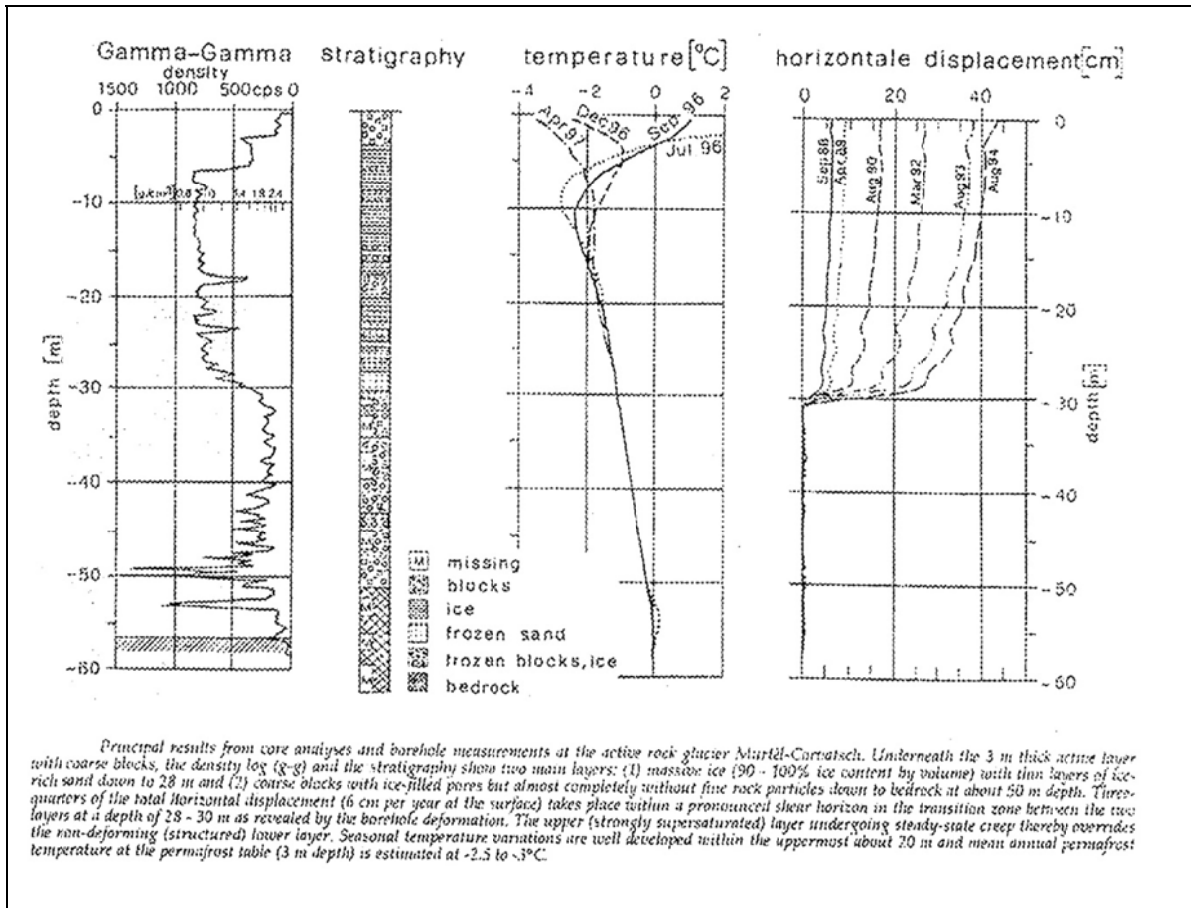


Abb. 6: Ergebnisse der Kernbohrung 1987 vom Blockgletscher Murtèl I (Haerberli et al. 1998, S. 405)

Der Eisgehalt eines Blockgletschers beträgt im Mittel 40 bis 60%, wobei das Eis - wie beispielsweise das Bohrloch 1987 vom Blockgletscher Murtèl I (Oberengadin, Schweizer Alpen) zeigt (vgl. Abb. 6) - nicht gleichmäßig verteilt sein muß, sondern in bestimmten Schichten, in teils mächtigen Eislinen konzentriert vorkommen kann. Das liegt daran, daß „[bei] langsamem Gefriervorgang [...] bei hohem Feinmaterialanteil und hohen Dampfdruckgradienten aufgrund von Kapillareffekten Feuchtigkeit zur Gefrierfront transportiert [wird]. So ist meistens am Permafrostspiegel extreme Eisanreicherung zu beobachten, während mit zunehmender Tiefe der Eisgehalt generell abnimmt“ (Keller, 1994: 24). Dieser an der Basis der sommerlichen Auftauschicht stark eisübersättigte Permafrost dient als Wasserstauer, über dem das Schneeschmelz-Wasser talwärts fließt. Eine Beobachtung, die so manchen Verfechter der glazialen Entstehungshypothese von Blockgletschern verleitet hat, von einem *ice-cored rockglacier* zu sprechen (Barsch, 1988: 78). Darüber hinaus können auch unter dem Blockgletscher-Permafrost ungefrorene, wassergesättigte Sedimente existieren, die als Grundwasserkörper das Abflußgeschehen wesentlich zu beeinflussen scheinen (Haerberli, 1985b: 44; vgl. auch Vonder Mühl, 1992).

Aus einem, an einer beliebigen Stelle angelegten Bohrloch kann natürlich nicht auf die interne Struktur des gesamten Blockgletschers geschlossen werden. Fest steht jedoch, daß das in welcher Form und an welchen Stellen auch immer im Blockgletscher enthaltene Eis (Poren- bzw. Klufteis, Segregationseis oder auch Toteis) hauptverantwortlich ist für dessen Bewegung.

### **2.3.4 Verbreitung von Blockgletschern**

Aktive Blockgletscher sind aus allen Hochgebirgen der Welt bekannt, in denen die klimatischen Verhältnisse kalt und trocken genug sind. Eine ausführliche Zusammenstellung über die Blockgletscher-Verbreitung auf den einzelnen Kontinenten, inklusive wertvoller Literaturhinweise, gibt unter anderem Barsch (1996: 35-66). Besonders hervorzuheben ist Höllermann (1983a), dessen detaillierte Darstellung über das Vorkommen von Blockgletschern in Nordamerika einen Vergleich mit den Verhältnissen in den Ostalpen inkludiert.

Ganz allgemein konzentriert sich die Verbreitung von Blockgletschern auf die periglazialen Höhenstufen der kontinentalen, verhältnismäßig trockenen, winterkalten Gebirge, wohingegen die maritimen und insbesondere die feucht-tropischen Gebirge der Erde eher arm an bzw. frei von Blockgletschern sind. Unter sehr feuchten Klimabedingungen sind die potentiellen Blockgletscherlagen bereits von Gletschern eingenommen und der Periglazialgürtel ist sehr schmal, was in Abb. 7 schematisch zum Ausdruck kommt.

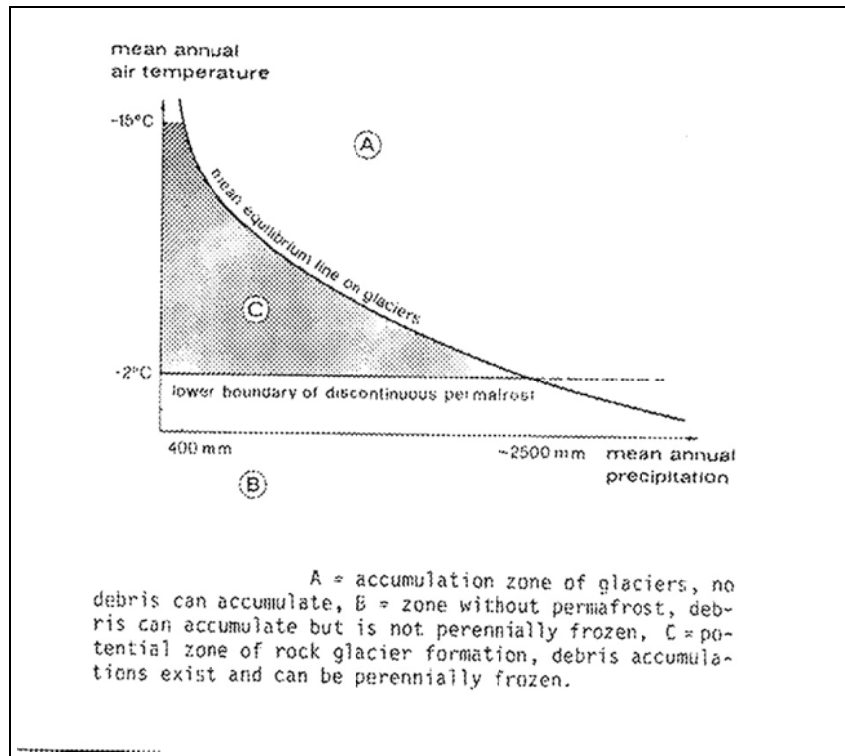


Abb. 7: Struktur der Kryosphäre als Funktion von Luft-Temperatur und Niederschlag (Haeberli 1985a, S. 19)

Selbst für isolierte Gebirgszüge wie die Alpen gilt, daß die Zahl der Blockgletscher von W (maritimere Bedingungen) nach O (kontinentaler) hin zunimmt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der „Regel von der peripher-binnenländischen Zunahme der Blockgletscherverbreitung“ (Höllermann, 1983a: 22).

So findet man Blockgletscher in den Alpen vor allem „in den ‚zentralalpinen Trocken- gebieten‘: innere Stubaier Alpen, Ötztaler Alpen, Engadin, Wallis“ (Kerschner, 1981: 134), wohingegen die niederschlagsreichen Alpenrandzonen praktisch frei von Blockgletschern sind. Eine ausführliche Darstellung über die Verbreitung und die Eigenschaften des Permafrostes im östlichen Teil der österreichischen Alpen liefert Lieb in seiner 1996 veröffentlichten Habilitationsschrift ‚Permafrost und Blockgletscher in den östlichen öster-reichischen Alpen‘.

Abb. 8 gibt einen Überblick über die Permafrostverbreitung in Österreich, wobei zu erwähnen ist, daß für die westlichen Bundesländer nur einzelne gebiets- bzw. lokalspezifische Arbeiten (vgl. u.a. Gerhold, 1971 u. 1970; Haeberli & Patzelt, 1983; Hermanns & Kok, 1982; Kerschner, 1982 u. 1981; Nicolussi, 1986; Pillewizer, 1957 u. 1938 sowie Vietoris, 1972 u. 1958) vorliegen, eine flächendeckende Untersuchung jedoch noch aussteht.

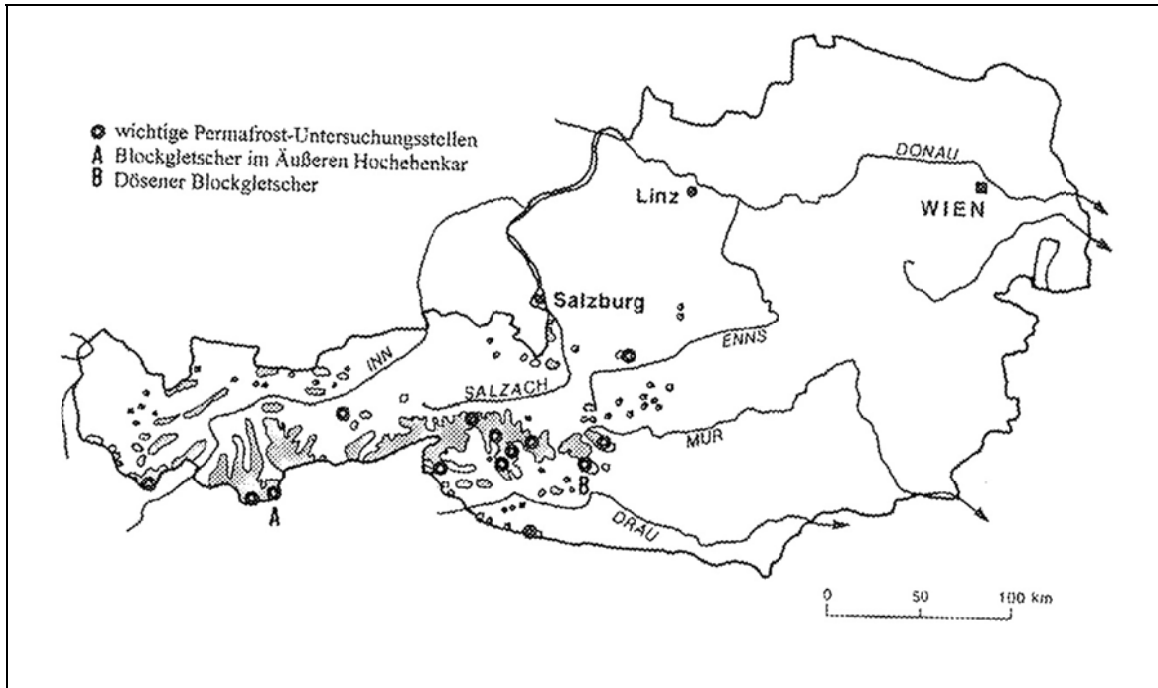


Abb. 8: Die potentielle Verbreitung diskontinuierlichen Permafrostes und die Lage der wichtigsten Permafrost-Untersuchungsstellen in Österreich (verändert nach Embleton-Hamann 1997, S. 224, Kartenautor: Lieb 1996)

Innerhalb einer Gebirgsregion entstehen Blockgletscher dort, wo Permafrost möglich ist, wo genug Schutt - sei es durch Frostverwitterung, Fels- oder Bergstürze, sei es durch glazialen Transport - zur Verfügung steht und wo die topographischen Voraussetzungen (Verflachung am Fuße von schuttlieferndem Steilrelief, Kar bzw. ehemaliges oder rezentes Gletscherbett) gegeben sind. Auf diese Weise bilden sich Blockgletscher entweder unterhalb von Schutthalden (*talus rockglaciers*) oder unterhalb oder seitlich von größeren Moränenablagerungen (*debris rockglaciers*), wobei die Moräne die Schuttquelle für den Blockgletscher darstellt. Auf nordexponierten Hängen, insbesondere in nordexponierten Karen, können sich aufgrund der geringeren Sonneneinstrahlung viele und sehr mächtige Blockgletscher ausbilden, während auf Südhängen nur wenige kleinere Formen entstehen. Die Permafrost-Untergrenze liegt schattseitig mit 200 bis 400 m deutlich tiefer als sonnseitig.

Folgende Regel faßt das Verbreitungsmuster von Blockgletschern kurz zusammen: nach oben hin wird die 'potentielle Blockgletscher-Verbreitzungszone' durch die Gleichgewichtslinie von Gletschern bestimmt, da nur unterhalb dieser Schutt in größerem Ausmaß existiert; nach unten hin bildet die Permafrostuntergrenze, welche in etwa der  $-1$  bis  $-2^{\circ}\text{C}$  Isotherme der Jahresmitteltemperatur folgt, die Begrenzung der potentiellen Blockgletscher-Verbreitung. Abb. 9 verdeutlicht diesen Sachverhalt und gibt darüber hinaus einen

Überblick über die verschiedenen, in Kapitel 2.3.1 beschriebenen Blockgletscher-Typen nach Aktivitätsgrad.

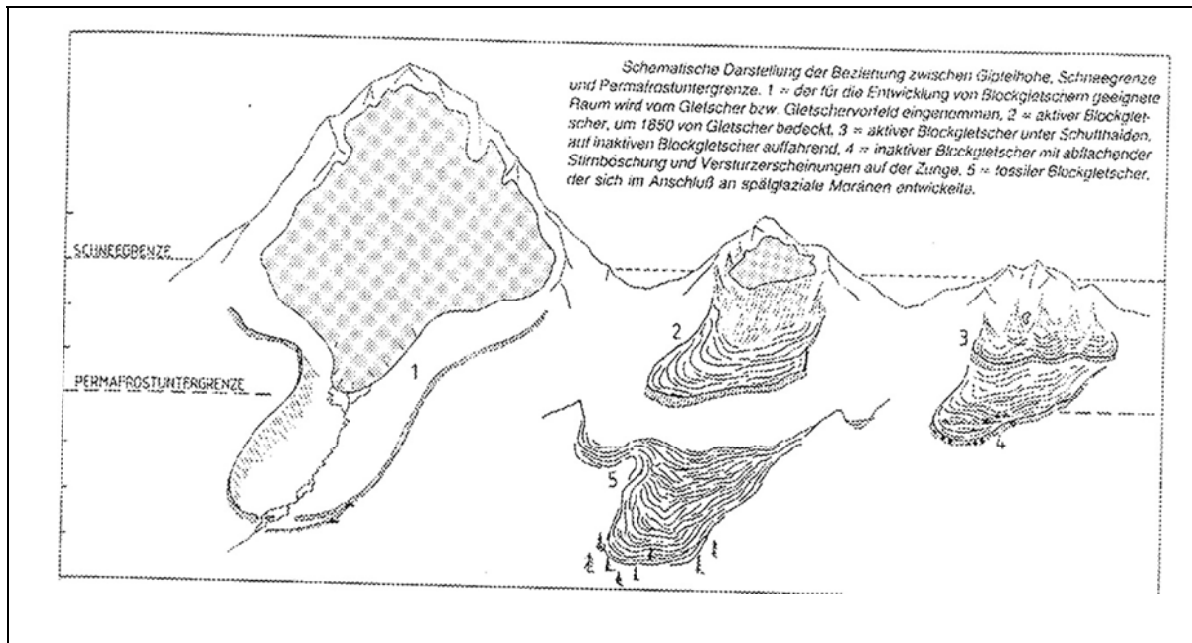


Abb. 9: Schematische Darstellung der Beziehung zwischen Gipfelhöhe, Schneegrenze und Permafrostuntergrenze (Kerschner 1982, S. 25)

Daraus ergeben sich zwei Vorteile für die Forschung: zum einen kann mit Hilfe der aktiven Blockgletscher als Indikatoren für Hochgebirgspermafrost die untere Grenze des diskontinuierlichen Permafrostes bestimmt werden; in weiterer Folge können aus der Verbreitung der fossilen Blockgletscher, deren Untergrenze im allgemeinen einige hundert Meter tiefer liegt als die der aktiven Blockgletscher, die paläoklimatischen Verhältnisse, insbesondere jene des Spätglazials (tiefere Temperaturen, geringere Niederschläge) abgeleitet werden. Eine nähere Beschreibung dieser Vorgehensweise und interessante Ergebnisse in Bezug auf die österreichischen Alpen finden sich bei Kerschner (1986, 1985, 1983 u. 1982) oder Lieb (1996: 81-84, 91-92 u. 1987).

Weitere allgemeine Informationen über die Physiognomie und die Eigenschaften von Blockgletschern inklusive weiterführender Literaturhinweise bieten die Monographien von Barsch (1996) und Haerberli (1985a), der Sammelband von Giardino/Shroder/Vitek (1987), die länder- bzw. gebietsspezifischen Untersuchungen von Höllermann (1983a) und Lieb (1996) sowie die das Blockgletscher-Phänomen zusammenfassenden Artikel von Martin & Whalley (1987) bzw. Whalley & Martin (1992).

### 3 3 Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar: Lagebestimmung, Eigenschaften und Besonderheiten

Lage, Physiognomie und besondere Eigenschaften des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar sind in den Arbeiten von Vietoris (1972) und Haerberli & Patzelt (1983) eingehend beschrieben und mit Fotos und Luftbildern gut dokumentiert, weshalb ich mich hier auf das Wesentliche beschränken kann.

#### 3.1 3.1 Lage und Gestalt des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar

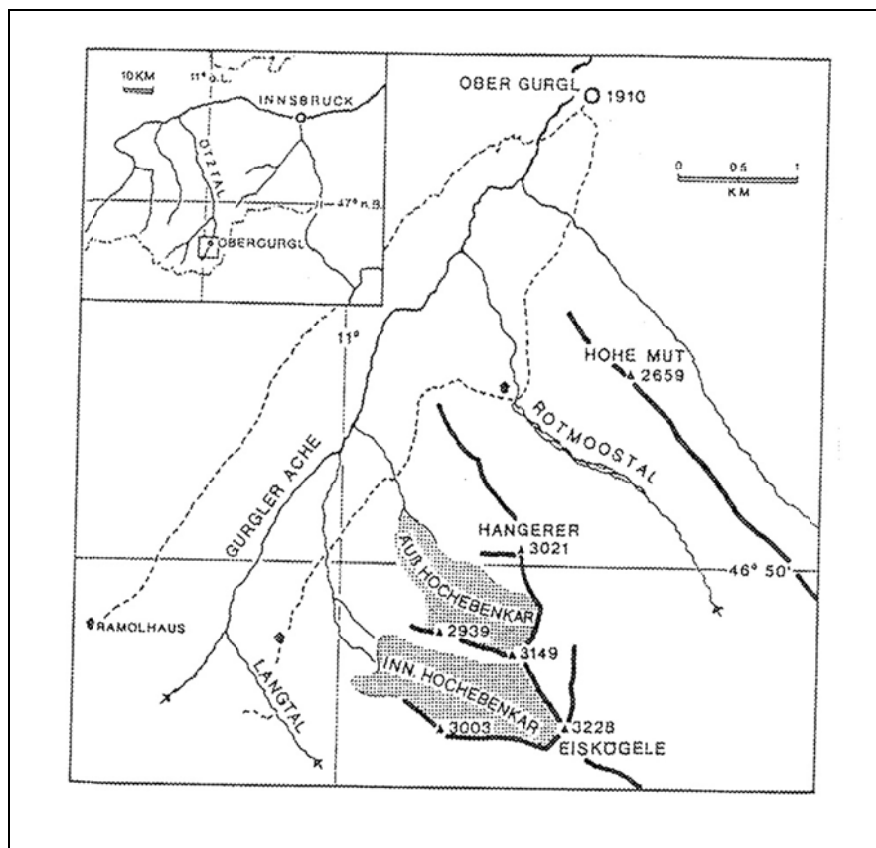


Abb. 10: Geographische Lage der Hochebenkar-Blockgletscher (Vietoris 1972, S. 170)



Der **Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar** liegt, wie schon der Name sagt, etwa 4 km südlich von Obergurgl - auf östlicher Länge  $11^{\circ} 01'$ , nördlicher Breite  $46^{\circ} 50'$  - , umrahmt vom Gipfel des Hangerer (3021 m) und dem aus mehreren Gipfeln zusammengesetzten Hochebenkamm (von 2939 bis 3166 m), im Äußeren Hochebenkar (vgl. Abb. 10 bzw. Foto 2).



Foto 2: Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar von der gegenüberliegenden Talseite aus (Aufnahme: B. Schneider, 14.9.1999)

Bei den im Äußeren Hochebenkar herrschenden Bedingungen war (und ist) die Entstehung eines Blockgletschers geradezu vorprogrammiert. Die das Kar umrahmenden Steilwände sind bis zu 300 m hoch. Mit der kristallinen Gesteinsmasse der Öztaler Alpen liegt jenes grobblockig zerfallende Gestein vor, das für die Blockgletscherbildung am förderlichsten ist. Die Schneegrenze liegt im Gurgler Tal bei 2940 m (nach Kerschner 1985, S. 365: Tab. 1), womit das Äußere Hochebenkar inmitten der potentiellen Verbreitungszone diskontinuierlichen Hochgebirgs-Permafrostes liegt, was auch durch die Anfang der 1980er Jahre von Haerberli und Patzelt durchgeführte Permafrostkartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher (Haerberli & Patzelt, 1983) bestätigt wurde. Weitere Indizien für die Existenz von alpinem Permafrost sind die perennierenden Schneeflecken, die in den meisten Jahren am beschatteten Hangfuß des Hochebenkammes erhalten bleiben, sowie das für die subnivale Höhenstufe der Alpen charakteristische Fehlen einer geschlossenen Vegetations-

decke. Schließlich haben auch die NW-Exposition des Kares und die damit zusammenhängende Abschattung zur Bildung und zum Weiterbestehen des Blockgletschers beigetragen. Wann in etwa die Bildung des Blockgletschers eingesetzt hat, ist schwer zu sagen. Sowohl Pillewizer als auch Vietoris haben in ihren Arbeiten Überlegungen bezüglich des Alters des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar angestellt. Mit „ungefähr 350“ (Pillewizer, 1957: 49-50) bzw. „mehr als 2000“ (Vietoris, 1972: 184) Jahren sind sie zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen gekommen. Zudem beruhten ihre Berechnungen auf den großen Fließgeschwindigkeiten der 1950er bzw. frühen 1960er Jahre und auf der Annahme, der Blockgletscher hätte sich seit seinem Bestehen mit annähernd gleichbleibender Geschwindigkeit talabwärts bewegt. Die seit Beginn der Messungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar nachgewiesenen Geschwindigkeitsschwankungen (vgl. Kapitel 5.4) zeigen, wie unzuverlässig die damaligen Berechnungen sind, und daß es nahezu unmöglich ist, das Alter des Blockgletschers aus Bewegungsraten zu bestimmen. Geht man von den heute im Vergleich zu den 50er und 60er Jahren relativ geringen jährlichen Bewegungsbeträgen aus, dürfte er aber auf jeden Fall mehrere tausend Jahre alt sein.

Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar stellt ein schönes Beispiel für einen *tongue-shaped talus rockglacier* (vgl. Kapitel 2.3.1) dar, der sich langsam vom Karboden aus über einen Geländeknick ins Tal der Gurgler Ache schiebt. Er hat seinen Ausgangspunkt knapp unter der Hochebenscharte bei ca. 2830 m und reicht heute bis ca. 2365 m herab. Damit ergibt sich eine maximale Länge des Blockgletschers von ca. 1,6 km im orographisch rechten Bereich, während der orographisch linke Teil nur etwa 1,1 km lang ist. Die maximale Breite der Blockgletscherzunge beträgt 345 m.

Von der gegenüberliegenden Talseite aus (vgl. Fotos 1 u. 2), genauer vom Alpenvereinsweg, der von Obergurgl auf das Ramolhaus führt (vgl. Abb. 10), bzw. vom Gipfel des Hangerer (vgl. Foto 3) hat man einen guten Blick auf den Blockgletscher und sein charakteristisches Oberflächenrelief. Vom Hangerer aus ist besonders gut zu erkennen, daß der Blockgletscher aus zwei Lappen unterschiedlichen Aktivitätsgrades besteht.



Foto 3: Blick vom Gipfel des Hangerer auf den oberen Abschnitt des Blockgletschers  
(Aufnahme: B. Schneider, 10.9.1997)



Foto 4: Die unruhige Oberfläche des Blockgletschers (die Blöcke im Vordergrund  
haben Durchmesser von 1 bis 1,5 m; Aufnahme: B. Schneider, 25.9.1998)

Während der orographisch linke obere Teil des Blockgletschers sowie der gesamte Zungenbereich Zeichen hoher Aktivität aufweisen (ständige Schutzzufuhr vom Hochebenkamm, übersteilte Stirn und Seitenränder, zahlreiche markante Querspalten), scheint der orographisch rechte obere Teil des Blockgletschers kaum mehr aktiv zu sein. Es sieht so aus, als hätte der jüngere aktive Lappen den älteren, am Fuße des Hangerer zum Stehen gekommenen Lappen durchbrochen.

Die Stauchwülste, aus denen sich der ältere Lappen zusammensetzt, sind laut Vietoris (Vietoris, 1972: 175) das offensichtlichste Merkmal für dessen Inaktivität. Der jüngere Lappen dagegen zeigt kaum Stauchwülste, dafür aber mehrere Längsrippen bzw. -rinnen im oberen Bereich und tiefe bogenförmige Querspalten im unteren Teil, auf die in Kapitel 3.2 noch näher eingegangen werden wird. Im Luftbild vom 8.9.1997 (= Luftbild 1997; vgl. Abb. 11) sowie in der Orthophotokarte von 1977 (= Karte 3 1977; vgl. Abb. 13) sind die soeben beschriebenen Unterschiede in der Oberflächenstruktur besonders gut zu erkennen.

Die Blöcke an der Oberfläche des Blockgletschers haben Durchmesser von wenigen Dezimetern bis zu mehreren Metern, wobei selbst sehr große Blöcke oft instabil sind, weshalb die Begehung des Blockgletschers einiges an Geschicklichkeit erfordert und nicht ungefährlich ist (vgl. dazu Foto 4). Bereiche groben Blockwerks wechseln sich mit solchen feineren Blockwerks ab, was wahrscheinlich auf die unterschiedliche Herkunft des Schuttes (vom Hangerer oder vom Hochebenkamm) und/oder auf Unterschiede in der Bewegungsdynamik oder im Eisgehalt zurückzuführen ist. Ähnlich verhält es sich mit dem Flechtenbewuchs der Blöcke an der Blockgletscheroberfläche. Neben Zonen mit starkem Flechtenbewuchs existieren Bereiche, die kaum oder gar nicht von Flechten bewachsen sind. Letzteres trifft vor allem auf die sich ständig neu bildende, vorwiegend aus Feinmaterial bestehende Frontböschung des Blockgletschers zu.

Innerhalb des Blockgletschers befinden sich aber auch Abschnitte (meist auf Längsrippen), an denen inmitten des Blockgletscherschuttes feineres Material angereichert ist, an dem sich Pioniervegetation ansiedeln konnte. Insbesondere die im Vergleich zur restlichen Blockgletscheroberfläche leicht erhöhten Seitenwälle des Blockgletschers, die Ähnlichkeit mit den Ufermoränen eines Gletschers haben, weisen an mehreren Stellen zusammenhängende Vegetationsflecken auf. Die Art und das Ausmaß des Bewuchses dürfte - neben der Beschaffenheit des Untergrundmaterials und der Bewegungsdynamik des Blockgletschers (Zonen unterschiedlicher Aktivität) - in erster Linie mit der Dauer und Mächtigkeit der Schneebedeckung zusammenhängen, die in Furchen und Senken besonders hohe Werte erreicht.

Weiters hört man an mehreren Stellen (vor allem in den zwischen den Längsrücken tief eingeschnittenen Gräben) im Untergrund Wasser gurgeln, was auf die Eigenschaft des im Inneren des Blockgletschers enthaltenen Permafrostkörpers als Wasserstauer hinweist.

Der Permafrost im Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars konnte von Haeberli & Patzelt insbesondere in den sich im unteren Teil des Blockgletschers aufreissenden bogen-

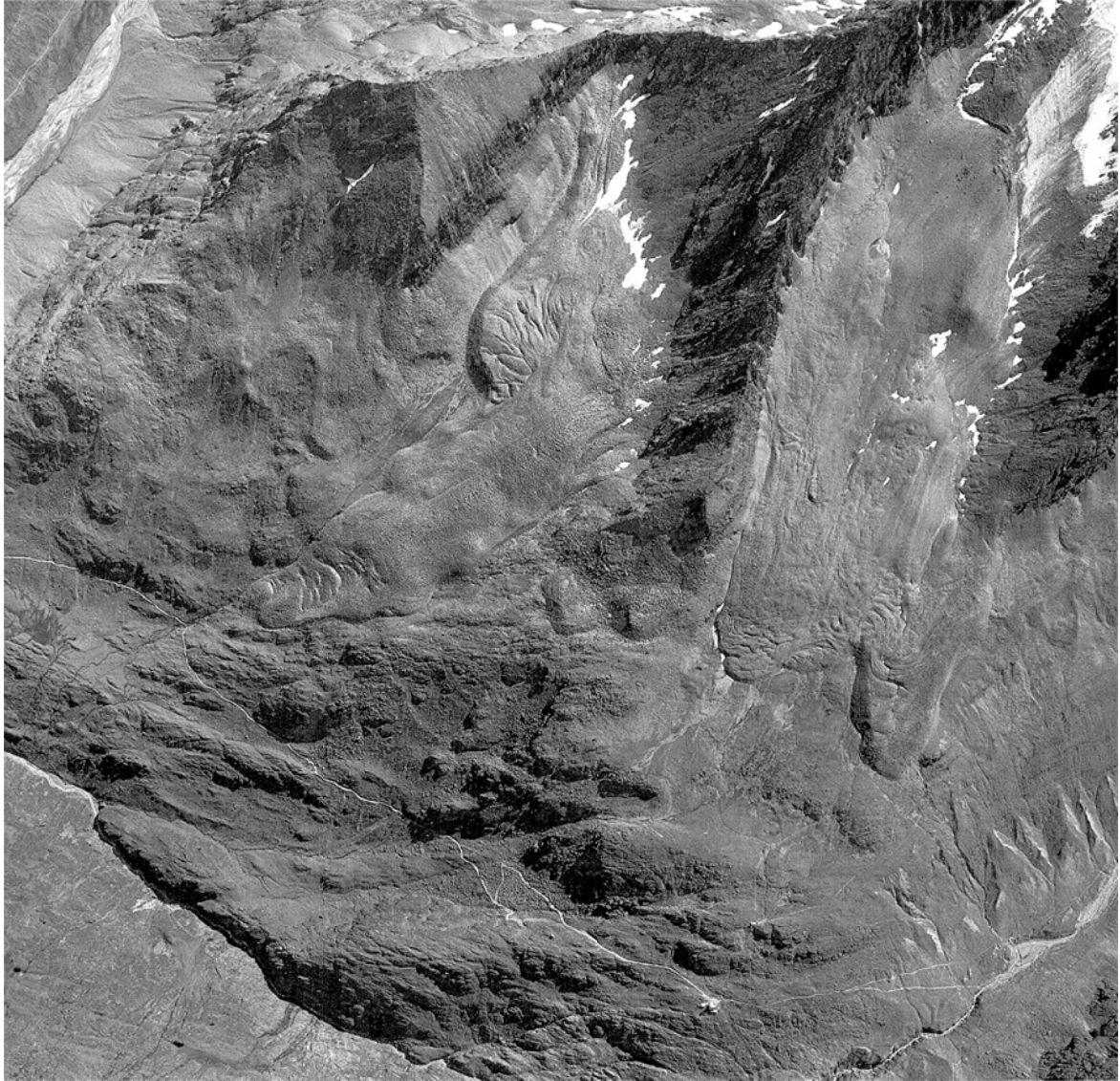


Abb. 11: Ausschnitt aus dem Luftbild vom 7.8.1997 (= Luftbild 1997);  
freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Univ.Prof. Dr. M. Kuhn,  
Inst. f. Meteorologie und Geophysik der Univ. Innsbruck)

förmigen Querspalten direkt beobachtet werden. „Wegen der Labilität der Gesteinsblöcke in der Auftauschicht an den Spaltenrändern wurde [jedoch] ein weiteres Vordringen und eine systematische Untersuchung an diesen natürlichen Aufschlüssen für einen lebensmüden Zeitpunkt zurückgestellt“ (Haeberli & Patzelt, 1983: 131). Nach den im Zuge der vorliegenden Arbeit unternommenen zahlreichen Begehungen des Blockgletschers kann ich

diese Entscheidung nur zu gut verstehen. Die Existenz von Permafrost im Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars steht seit den Beobachtungen von Haerberli & Patzelt auf jeden Fall außer Zweifel. Bestätigt wird dies zudem durch die zwischen 1956 und 1980 von verschiedenen Beobachtern vorgenommenen Quelltemperatur-Messungen, die für die aus dem Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar hervortretenden Quellen Werte von 0,2° bis 0,8°C (Haerberli & Patzelt 1983, S. 132, Tab. 1: Quellen-Nummern 3 bis 6), und damit Werte im permafrosttypischen Bereich, ergeben haben.

Nach den Anfang der 1980er Jahre von Haerberli & Patzelt durchgeführten Messungen und Berechnungen ergibt sich für den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar eine mittlere Permafrostdicke von rund 40 m oder mehr (Haerberli & Patzelt, 1983: 147). Die sommerlichen Auftautiefen liegen zwischen 1 m im Zentrum des Blockgletschers und bis zu 4 m gegen die Seitenränder hin (vgl. Haerberli & Patzelt, 1983: Karte 2).

Dem Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar benachbart ist der aus zwei Teilzungen bestehende **Blockgletscher im Inneren Hochebenkar** (vgl. Abb. 10 u. 11, Foto 5 bzw. Haerberli & Patzelt, 1983: Karte 1).

Aufgrund topographisch bedingter fehlender Schutzzufuhr, starkem Vegetationsbewuchs an der Stirn, einer mittleren Auftautiefe von 4,5 m sowie einer in den Randpartien sehr unregelmäßigen Oberfläche scheint heute die nördliche Blockgletscherzunge schon auf den ersten Blick inaktiv zu sein (Haerberli & Patzelt, 1983: 129, 138). Eine Beobachtung, die schon „E. Dorrer im Rahmen der Kurse für Hochgebirgsforschung (Gletscherkurse) durch eine nicht veröffentlichte photogrammetrische Geschwindigkeitsmessung 1959/66 bewiesen hat“ (Viectoris, 1972: 184). Die orographisch links gelegene Teilzunge dagegen, die von der eisfreien Nordwand des Eiskögeles (3003 m) ernährt wird, scheint sehr wohl aktiv zu sein. Die von Pillewizer im Stirnbereich dieses Lappens durchgeführte photogrammetrische Messung 1953/55 hat immerhin eine Vorrück-Geschwindigkeit von 1,1 m pro Jahr ergeben (Viectoris, 1972: 185).



Foto 5: Der Blockgletscher im Inneren Hochebenkar von der gegenüberliegenden Talseite aus (Aufnahme: B. Schneider, 14.9.1999)

Den Beobachtungen von Haeberli & Patzelt zufolge ist der im Karhintergrund liegende Hochebenferner in der neuzeitlichen Hochstandsperiode dem Blockgletscher im Inneren Hochebenkar aufgefahren und hat diesen teilweise überlagert. Eine glaziale Entstehung des Blockgletschers im Inneren Hochebenkar ist aber nicht nur aus diesem Grund auszuschließen. Auch die Tatsache, daß auf der Grundmoräne, die der Gletscher bei seinem Rückzug hinterlassen hat, sowie in den tiefer liegenden Bereichen des Gletschervorfeldes nur wenige Blöcke liegen, ist ein Indiz für die eigenständige, vom Gletscher unabhängige Genese des Blockgletschers (Haeberli & Patzelt, 1983: 129; vgl. dazu auch Foto 5).

Im Äußeren Hochebenkar gibt es - im Unterschied zum Inneren Hochebenkar - nicht einmal einen Hinweis für die Existenz eines neuzeitlichen Gletschers (Haeberli & Patzelt, 1983: 131). Damit scheinen beide Hochebenkar-Blockgletscher klar für die Permafrosthypothese der Blockgletscherentstehung zu sprechen. Eine These, die im Zuge der Kartierungsarbeiten von Haeberli & Patzelt endgültig verifiziert werden konnte, indem gezeigt wurde, daß bei beiden Blockgletschern zwischen dem Eis ihrer Zungen und dem Permafrost in den Schutthalden, die am Fuße der die Kare begrenzenden Felswände liegen, eine direkte Verbindung besteht (Haeberli & Patzelt, 1983: 144 und Karte 1).

Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, daß im Gebiet der Hochebenkare - neben den beiden großen Blockgletschern im Äußeren und Inneren Hochebenkar - noch drei weitere kleine Blockgletscher existieren, und zwar am Westhang des Hangerer und am Fuß des NW-exponierten Absturzes des Hochebenkammes (eine nähere Beschreibung geben Haerberli & Patzelt, 1983:129; vgl. auch Abb. 11 bzw. Foto 2).

### **3.2 3.2 Besonderheiten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar**

Schon die Tatsache, daß der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar der am längsten untersuchte Blockgletscher in Österreich ist, macht ihn zu einem besonderen Studienobjekt. Darüber hinaus hat die gezielte Untersuchung dieses Blockgletschers und seiner Umgebung wesentlich zum Aufschwung der Blockgletscher- bzw. Permafrostforschung im deutschsprachigen Raum beigetragen: zum einen haben die Pioniere der Blockgletscherforschung in Österreich, Pillewizer und Vietoris, ihre Erkenntnisse über das Phänomen 'Blockgletscher' vor allem im Äußeren Hochebenkar gewonnen; zum anderen konnte die lange angezweifelte These, es handle sich bei Blockgletschern um Permafrost-Phänomene, die ohne das Zutun von Gletschern entstanden sind, an eben diesem Blockgletscher von Vietoris bestätigt und durch die Anfang der 1980er Jahre von Haerberli & Patzelt im Bereich der Hochebenkar-Blockgletscher durchgeführte Permafrost-Kartierung endgültig bewiesen werden.

Das Auffallendste am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar sind jedoch die, im Vergleich zu anderen Blockgletschern, **außergewöhnlich hohen Fließgeschwindigkeiten** von bis zu 5 m pro Jahr, die hier in den 1950er bis frühen 1960er Jahren verzeichnet wurden (Vietoris, 1972: 181, 187). Sie sind die Folge der starken Zunahme des Gefälles unterhalb der Geländekante bei etwa 2570 m, über die der Blockgletscher in das Tal der Gurgler Ache fließt. Durch die dabei entstandenen hohen Zugspannungen bildeten sich die **bogenförmigen tiefen Querspalten** (infolge des Nachstürzens des Blockwerks heute als tiefe Gräben erscheinend), an denen der Schuttkörper im Zuge des kontinuierlichen Vorrückens immer mehr aufriß und die das Oberflächenrelief des Blockgletschers entscheidend mitprägen (vgl. Abb. 11 u. 13 bzw. Fotos 1 u. 2). Schon vor mehr als 15 Jahren stellten Haerberli & Patzelt die Vermutung an, die ganze Zungenpartie ab 2540 m würde sich vom



übrigen Blockgletscher lösen, und zwar wahrscheinlich durch das Gleiten des Permafrostes (der in diesem Bereich ziemlich sicher eine geringere Mächtigkeit aufweist als weiter oben) auf dem Felsuntergrund (Haeberli & Patzelt, 1983: 131, 148). Eine Vermutung, die sich - wie die Ergebnisse der Bewegungsmessungen zeigen (vgl. Kapitel 5) - bereits bestätigt zu haben scheint.

Damit ist bereits eine weitere Besonderheit des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar angesprochen. Durch die seit 1938 in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen durchgeführten geodätischen Messungen liegt heute **eine bis zu 60 Jahre umfassende Datenreihe** vor, die es in vergleichbarer Kontinuität und Genauigkeit von kaum einem anderen Blockgletscher auf der Welt gibt. Da darüber hinaus seit 1851 bzw. seit 1953 exakte Klimaaufzeichnungen von den nahegelegenen Klimastationen Vent (1906 m, Venter Tal) bzw. Obergurgl (1938 m, Gurgler Tal) existieren, ist es möglich, hier der Frage nach der klimatischen Beeinflussung des alpinen Blockgletscher-Permafrostes nachzugehen, wobei der Lufttemperatur als Hauptbeeinflussungsfaktor die größte Aufmerksamkeit zuzukommen hat.

## **4 Die Geschichte der Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar**

Bevor näher auf die einzelnen Epochen der Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar eingegangen wird, ist es notwendig, kurz die generelle Entwicklung, die heute zur Verfügung stehenden Methoden und den derzeitigen Stand der Blockgletschervermessung zu erläutern, um die Forschungsaktivitäten am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar in einen größeren Rahmen einordnen bzw. ihre Aussagekraft abschätzen zu können.

### **4.1 Geschichte, Methoden und aktueller Stand der Bewegungsmessungen auf Blockgletschern**

Die Blockgletschervermessung stand am Anfang der Blockgletscherforschung. Mit ihrer Hilfe konnte gezeigt werden, daß sich diese 'seltsamen Gebilde aus Schutt und Eis' tatsächlich bewegen. Schon seit mehr als 80 Jahren werden deshalb an verschiedenen Blockgletschern auf der ganzen Welt Bewegungsmessungen durchgeführt.

Begonnen wurde mit sehr einfachen Methoden, wie etwa dem Versuch, das Vorrücken der Blockgletscherfront in Bezug auf einen bestimmten Referenzpunkt (markanter Block, Felsrippe) im Vorfeld des Blockgletschers mit einem Maßband zu bestimmen (Chaix, 1919, 1923 u. 1941). Da das Ende eines Blockgletschers durch die an der Frontböschung herabfallenden Blöcke meist nicht eindeutig definiert werden kann, waren derartige Messungen sehr unpräzise. Sie lieferten jedoch erste Informationen über die Größenordnung der Bewegungsgeschwindigkeit von Blockgletschern, die sich als um einiges geringer als jene von Gletschern herausstellte.

Mit der Festlegung von Profil- bzw. Steinlinien und deren Einmessung von Fixpunkten außerhalb des Blockgletschers aus, und zwar durch die Messung der Abstände der Steine von den Profilgeraden mittels Maßband sowie durch die tachymetrische Aufnahme der Oberflächenprofile, konnten schon genauere Ergebnisse erzielt werden (Wahrhaftig & Cox, 1959; Vietoris, 1972). Eine wesentliche Verbesserung der Genauigkeit brachte die Einführung des elektronischen Entfernungsmessers Ende der 1970er Jahre, weil damit die Oberflächenprofile und die markierten Steine direkt eingemessen werden können. Mit der erwähnten kombinierten Richtungs- und Streckenmessung (i.e. Polarpunktbestimmung)

kann theoretisch auch ein Netzwerk von beliebig vielen Punkten an einem Blockgletscher eingemessen werden, was allerdings wegen des großen technischen und zeitlichen Aufwandes kaum in die Praxis umgesetzt wird (vgl. u.a. Barsch, 1969; Barsch & Zick, 1991). Die **geodätische Messung mittels Theodolit**, Maßband und Tachymeterlatte bzw. später Theodolit und elektronischem Entfernungsmesser war lange Zeit die Standardmethode in der Blockgletschervermessung. Sie gibt in erster Linie Auskunft über Geschwindigkeitschwankungen in bestimmten Zeiträumen bis hin zu jahreszeitlichen Schwankungen.

Neben der geodätischen Methode sind die verschiedenen Methoden der **Photogrammetrie** ein wichtiger Bestandteil der Ermittlung des Bewegungsverhaltens von Blockgletschern. Photogrammetrische Studien - sei es mittels terrestrisch-photogrammetrischer Vergleichsaufnahmen (erstmalig 1936 in der Blockgletscherforschung eingesetzt; vgl. Pillewizer, 1957), sei es mittels Aerophotogrammetrie (erstmalig eingesetzt von Messerli & Zurbuchen, 1968) oder sei es mittels der erst vor kurzem entwickelten Digitalphotogrammetrie (vgl. v.a. Kaufmann, 1998b) - liefern ein flächendeckendes Bild der Blockgletscher-Topographie und deren Veränderung mit der Zeit sowie konkrete Aussagen über die Richtung und die Verteilung der Oberflächengeschwindigkeiten.

Gerade die photogrammetrischen Methoden sind einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen, was die geodätische Methode immer mehr zu verdrängen scheint. Einen Überblick über die geschichtliche Entwicklung und die modernen Methoden der photogrammetrischen Blockgletschervermessung, inklusive weiterführender Literaturhinweise, gibt Kaufmann (1996: 143). Wichtige, auf aerophotogrammetrischen Analysen basierende Ergebnisse lieferten in den letzten Jahren die Schweizer Wissenschaftler Hoelzle et al. (1998), Käab (1998, 1996a u. b), Käab/Gudmundsson/Hoelzle (1998) und Käab/Haeberli/Gudmundsson (1997). Zur allgemeinen Erklärung des photogrammetrischen Verfahrens verweise ich auf gängige Lehrbücher wie Albertz & Kreiling (1989) oder Konecny & Lehmann (1984).

Beide Methoden, die geodätische und die photogrammetrische, verfügen über Vor- und Nachteile, die sich gegenseitig aufheben, weshalb - und damit widerspreche ich bewußt jenen, die die geodätische Methode als 'überholt' und 'nicht mehr zeitgemäß' ansehen - auf keine der Methoden verzichtet werden kann. Mit Hilfe der Photogrammetrie können zwar flächendeckende Aussagen über die Geometrie der Bewegung (Horizontalverschiebung, Dickenänderung, 3-dimensionale Deformationsanalyse) des gesamten Blockgletschers getroffen werden, wohingegen bei der geodätischen Methode die Erfassung der raum-zeitlichen Veränderungen meist auf festgelegte Quer- oder Längsprofile beschränkt bleibt. Mit der geodätischen Methode aber können viel genauere Meßergebnisse erzielt werden, nicht nur was das Ausmaß der Bewegungsbeträge betrifft, sondern auch bezüglich der zeitlichen Auflösung. Bei genügend großen Geschwindigkeiten sind bei der geodätischen Methode sogar jahreszeitliche Messungen möglich, während mit Hilfe der Photo-

grammetrie nur größere Bewegungsbeträge erfaßt werden können und damit eine jährliche Nachmessung bzw. Befliegung nicht zielführend ist. Bei der Luftbildphotogrammetrie kommt der mit einer eigens beantragten Befliegung verbundene hohe Kostenaufwand dazu, weshalb in den meisten Fällen auf das ursprünglich für andere Zwecke bestimmte, in verschiedenen Institutionen archivierte Bildmaterial zurückgegriffen werden muß. Eine detailliertere Gegenüberstellung der soeben erläuterten Methoden liefern Kaufmann & Heiland (1998: 105-108) sowie Kaufmann (1996: 156-160). Für weitere Einzelheiten zur Entwicklung und zu den Methoden der Blockgletschervermessung verweise ich auf Barsch (1996: 122-123) und Haeberli (1985: 82-107).

In jüngster Zeit begann man auch, die Möglichkeiten des satellitengestützten Global Positioning Systems (kurz **GPS**) für die Blockgletschervermessung zu nutzen. Ein vom Institut für Angewandte Geodäsie der TU Graz im Rahmen der Forschungsaktivitäten am Dösen Blockgletscher angestellter Vergleich zwischen der GPS-Methode und der herkömmlichen geodätischen Methode ergab jedoch (noch) kein zufriedenstellendes Ergebnis: „Der Vergleich mit der terrestrischen Einmessung lieferte eine gute Übereinstimmung in der Lage. In der Höhe [dagegen] traten [...] im Mittel 3-4 cm große Differenzen auf. Zeitlich gesehen bringt die Messung [...] mittels GPS nur bei langen Schlechtwetterperioden Vorteile, bei Schönwetter ist man jedoch um ein Vielfaches langsamer als mit der konventionellen Methode. Generell sollte man daher GPS nur zur Messung der Stützpunkte heranziehen und nicht zur Messung einer Vielzahl von Punkten am Blockgletscher“ (Kaufmann & Heiland, 1998: 106). Man wird daher auch in Zukunft auf die lang bewährte Methode der kombinierten Richtungs- und Streckenmessung mittels Theodolit und elektronischem Entfernungsmesser nicht gänzlich verzichten können.

Dem generellen Forschungsrückstand der Blockgletscherforschung in Österreich gegenüber der Schweiz entsprechend, 'hinkt' auch die **Blockgletschervermessung in Österreich** um einige Jahre nach. Einen Überblick über die Pionierarbeiten und die jüngere Vergangenheit der Blockgletschervermessung in Österreich liefert Kaufmann (1996: 143-149). Wurden zu Beginn der Blockgletscherforschung in Österreich noch an mehreren Blockgletschern in Tirol Bewegungsmessungen vorgenommen (am Ölgruben-Blockgletscher im Kaunertal, an den beiden Hochebenkar-Blockgletschern und am Blockgletscher im Rotschliffkar im Taschachtal), so beschränkten sich die Messungen nach dem 2. Weltkrieg bald nur mehr auf den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, der sodann zum eigentlichen Gegenstand der Blockgletscherforschung in Österreich wurde. Erwähnung finden sollten hier allerdings die von L. Vietoris begonnenen und von H. Schneider fortgesetzten Messungen am Blockgletscher im Bereich des Breitlehner Jöchls (am Geigenkamm zwischen Trenkwald im Pitztal und Huben im Ötztal gelegen). Den Aufzeich-

nungen meines Vaters zufolge legte Vietoris hier 1961 eine Steinlinie an, die 1975 von Vietoris und Schneider nachgemessen wurde. Die im Zuge dieser Nachmessung neu angelegten Steinlinien 2 und 3 wurden - gemeinsam mit der ursprünglichen Steinlinie - bisher nur einmal nachgemessen, und zwar 1986 von H. Schneider. Die für den Zeitraum 1975-1986 gemessene Maximalgeschwindigkeit lag bei 37 cm/a.

Erst in den letzten Jahren begann man an weiteren Blockgletschern in Österreich mit gezielten längerfristigen Vermessungskampagnen. Dank der intensiven Forschungsarbeiten der Universität Graz am Dösener Blockgletscher (vgl. v.a. Kaufmann & Heiland, 1998; Kaufmann, 1998a; Kaufmann, 1996: 149-160 und Schmöllner & Fruhwirt, 1996) konnte das Forschungsdefizit gegenüber der Schweiz etwas reduziert werden, insbesondere was die flächendeckende Deformationsanalyse eines Blockgletschers betrifft. Aber auch die übrigen, erst vor kurzem angelaufenen Aktivitäten am Blockgletscher im Inneren Reichenkar und an mehreren Blockgletschern in der Schobergruppe (vgl. Kapitel 1.1) sprechen für die aktuelle Intensivierung der Blockgletscherforschung in Österreich.

Bewegungsmessungen liegen heute von zahlreichen Blockgletschern auf der ganzen Welt vor. Meist beschränken sie sich jedoch auf wenige Jahre oder geben langjährige Durchschnittswerte wieder, die nur eingeschränkt interpretierbar sind.

Lange Zeit hatte man angenommen, Blockgletscher würden sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit hang- bzw. talabwärts bewegen, bis sie - klimatisch oder dynamisch bedingt - inaktiv werden und langsam zum Stillstand kommen. Erst relativ spät - vgl. White (1971) und Barsch & Hell (1976) - konnte nachgewiesen werden, daß „[s]hort-term variations in rock glacier flow do occur and can be measured correctly“ (Haeberli, 1985: 95).

Was die **Aufzeichnung von kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen** an Blockgletschern angeht, kann sich die österreichische Blockgletscherforschung seit jeher mit der schweizerischen messen. Eine jahrzehntelange Datenreihe wie die des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar liegt in vergleichbarer Weise (Länge, Genauigkeit und Kontinuität) nur von sehr wenigen Blockgletschern auf der Welt vor, darunter der heute inaktive Val Sassa Blockgletscher (Unterengadin, Graubünden) sowie die Blockgletscher Murtèl I (Oberengadin), Macun I (Unterengadin, Graubünden) und Gruben (Wallis), die als die am besten untersuchten Blockgletscher Europas gelten. Für die detaillierte Schilderung der Bewegungsmessungen an diesen vier Blockgletschern verweise ich auf Barsch (1996: 131-171) sowie auf Kääb (1998), Kääb/Gudmundsson/Hoelze (1998) und Wagner (1992) - für den Murtèl I Blockgletscher, Kääb/Haeberli/Gudmundsson (1997) - für den Gruben Blockgletscher und Zick (1996) - für den Blockgletscher Macun I.

Doch selbst aus der Reihe der bekannten Schweizer Blockgletscher Murtèl I und Macun I sticht der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar aus mehreren Gründen heraus. Im

Gegensatz zum Murtèl I Blockgletscher, an dem bereits seit 1932 mit Hilfe aerophotogrammetrischer Bewegungsanalysen kontinuierlich abnehmende Geschwindigkeiten festgestellt wurden, zeigt der anfangs nur terrestrisch-photogrammetrisch, seit 1951 jedoch mit der geodätischen Standardmethode genauer untersuchte Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar mehrere kurzfristige Geschwindigkeitsschwankungen, die in dieser Form mit photogrammetrischen Methoden gar nicht nachgewiesen werden können. Am Blockgletscher Macun I, dessen Bewegungsverhalten schon seit Beginn der Messungen 1965 mit der geodätischen Methode ermittelt wird, konnten nur geringfügige, fast vernachlässigbare Geschwindigkeitsschwankungen festgestellt werden. Wie sich zudem erst kürzlich herausstellte, sind vor allem in der ersten Meßperiode Ende der 1960er Jahre Meßfehler aufgetreten, die die immerhin fast 35 Jahre umspannende Datenreihe des Blockgletschers Macun I zum Teil unbrauchbar machen (vgl. Zick, 1996). Die Meßreihe des Val Sassa Blockgletschers würde mit einer zeitlichen Spanne von über 50 Jahren auch an die des Äußeren Hochebenkar Blockgletschers heranreichen. Der Val Sassa Blockgletscher ist aber, nach der kontinuierlichen Abnahme der Bewegung seit der ersten Messung Mitte der 1920er Jahre, seit ca. 1970 inaktiv und damit ebenfalls nur eingeschränkt brauchbar für die Analyse und Interpretation von kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen an Blockgletschern. Der Gruben Blockgletscher weist eine vergleichsweise kurze Meßreihe von nur etwa 25 Jahren auf, die zudem aufgrund des Einflusses des im Hintergrund des Blockgletschers liegenden Grubengletschers nur mit Vorbehalt zu deuten ist. Das Wertvolle an den Messungen am Gruben Blockgletscher ist allerdings der Nachweis von jahreszeitlichen Geschwindigkeitsschwankungen, was für die Beantwortung der Frage nach den Ursachen von Bewegungsschwankungen auf Blockgletschern sehr hilfreich ist. Die nunmehr fast 50 Jahre (unter Einbeziehung der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen sind es über 60 Jahre) umspannende Datenreihe des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar scheint somit die **längste und genaueste Aufzeichnung kurzfristiger Geschwindigkeitsschwankungen an einem Blockgletscher** zu sein. Daß die gemessenen Bewegungsschwankungen nicht nur die Folge der besonderen Reliefsituation im Äußeren Hochebenkar (vgl. Kapitel 3.2) sind, wird noch zu zeigen sein (vgl. dazu Kapitel 6).

## 4.2 Die Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar seit 1938

Die Geschichte der Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar läßt sich in drei Abschnitte unterteilen, die jeweils mit verschiedenen Namen und Meßmethoden verbunden sind. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Frage, wann wer was und auf welche Weise eingemessen hat, während die Ergebnisse der einzelnen Meßabschnitte in Kapitel 5 zusammenfassend analysiert und dargestellt werden, um den gesamten Meßzeitraum umspannende Aussagen treffen zu können.

### 4.2.1 Ära PILLEWIZER (1938-1955)

Der erst kürzlich verstorbene, bekannte Gletscherforscher und Hochgebirgskartograph Prof. **Wolfgang Pillewizer** war - als „der erste Wissenschaftler in Österreich, der sich mit der systematischen Vermessung von Blockgletschern mittels **terrestrisch-photogrammetrischer** Methoden beschäftigt hat“ (Kaufmann, 1996: 144) - auch der erste, der am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar tätig war. Die Verfahrensweisen der terrestrischen Photogrammetrie stammen ursprünglich von dem berühmten Mathematiker, Photogrammeter und Gletscherforscher S. Finsterwalder (1862-1951), der als der ‚Vater‘ der Gletscherphotogrammetrie gilt und der als erster eine terrestrisch-photogrammetrische Vergleichsaufnahme an einem Blockgletscher durchführte (vgl. Finsterwalder, S., 1928). Pillewizer aber war der erste, der gezielt Geschwindigkeitsmessungen an Blockgletschern vorgenommen hat, und zwar nach der von R. Finsterwalder entwickelten Methode der terrestrisch-photogrammetrischen Geschwindigkeitsmessung (vgl. Finsterwalder, R., 1931). Um das genaue Ausmaß der Bewegung von Blockgletschern zu ermitteln, legte Pillewizer 1938 an drei gut ausgebildeten Blockzungen der Ötztaler Alpen (am Ölgruben-Blockgletscher, am Blockgletscher im Rotschliffkar im Taschachtal und am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar) photogrammetrische Bewegungsprofile an. 1939 konnte Pillewizer davon nur das unterste Profil am Blockgletscher unter dem Ölgrubenjoch nachmessen. Die übrigen Nachmessungen wurden durch den Ausbruch des 2. Weltkrieges verhindert. Erst 1953 führte Pillewizer (veranlaßt durch die Messungen von Vietoris, vgl. Kapitel 4.2.2) die geplante Nachmessung des photogrammetrischen Bewegungsprofils von 1938 (= Profil 3, 2680m) am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar durch. Gleichzeitig legte er zwei weitere Meßprofile an, und zwar eines in die 1951 von Vietoris angelegte Steinlinie 2 (= Profil 2, 2630m) und ein weiteres im Stirnbereich des Blockgletschers (= Profil 1, 2540m). Abb. 12 gibt einen Überblick über die Lage der drei Geschwindigkeitsprofile. Darüber hi-

aus sind in Profil 2 die 5, 1951 von Vietoris ausgewählten Meßsteine (vgl. Kapitel 4.2.2) als kleine Kreise dargestellt.

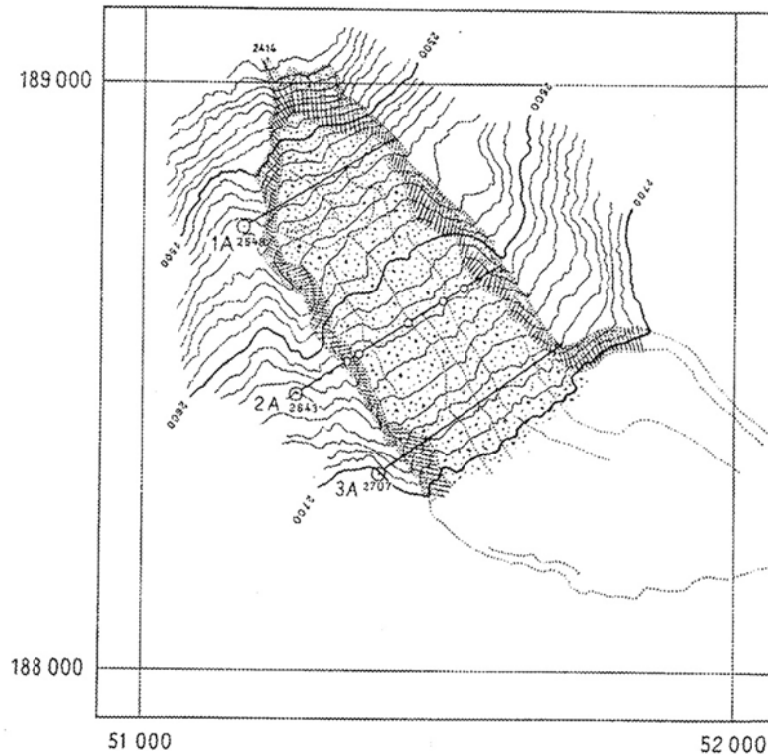


Abb. 12: Karte Pillewizer 1953 1:10000 (Pillewizer 1957, S. 44)

Abgesehen von den soeben beschriebenen Aktivitäten machte Pillewizer eine terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme der Blockgletscherzunge von der gegenüberliegenden Tal-seite aus, woraus er eine Karte vom Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar im Maßstab 1:10000 erstellte (vgl. Abb. 12), die er mit der Vergrößerung der 1949 erschienenen Alpenvereinskarte 1:25000 (mit Aufnahmezustand des Blockgletschers 1936) verglich, um das Vorrücken des Zungenendes und das Einsinken der Blockgletscheroberfläche zu ermitteln. 1955 wiederholte er - während eines von R. Finsterwalder in Obergurgl veranstalteten Gletscherkurses - die photogrammetrischen Messungen von 1953 (Messung der drei Ge-



schwindigkeitsprofile und Aufnahme der Zunge von der gegenüberliegenden Talseite aus). Darüber hinaus legte H. Baumert vom Institut für Photogrammetrie der Technischen Hochschule München im selben Jahr auf der Distelwiese unterhalb der Gurgler Alm eine photogrammetrische Nahstandlinie gegen das Zungenende des Blockgletschers an, die in Zukunft die genaue Überwachung des Vorrückens der Blockgletscherzunge ermöglichen sollte (Pillewizer, 1957: 42). Wie einem am 10. August 1961 verfaßten Brief von Pillewizer an H. Schatz, den damaligen Professor für Mathematik an der Universität Innsbruck, zu entnehmen ist (der Original-Brief befindet sich im Archiv von H. Schneider), hat Baumert aus dieser Aufnahme einen Autographenplan im Maßstab 1:5000 angefertigt. Weiters ist dem Brief zu entnehmen, daß Baumert die Aufnahme im Jahre 1957 wiederholt hat, ohne daß jedoch eine Auswertung erfolgt wäre. Daß Schatz selbst photogrammetrische Aufnahmen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar durchführen wollte, geht ebenfalls aus diesem Brief hervor. Den Unterlagen von Schneider zufolge ist dies am 24. August 1961 erfolgt, wobei Schatz in den Profilen 1 bis 3 Aufnahmen für photogrammetrische Geschwindigkeitsmessungen vorgenommen hat, die jedoch ebensowenig wiederholt bzw. ausgewertet wurden wie die drei Jahre zuvor von Baumert durchgeführte Aufnahme. Im Gegensatz zu Vietoris, der seine Vermessungstätigkeit erst Mitte der 1950er Jahre intensivierte, beendete Pillewizer mit den Nachmessungen 1955 seine Forschungsaktivitäten am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar. 1966 kehrte er noch einmal zurück, um gemeinsam mit H. Baumert eine Wiederholungsaufnahme des Zungenendes des Blockgletschers von der Distelwiese aus vorzunehmen (vgl. Vietoris, 1972: 182). Die Vergleichsmessungen 1955-1966 wurden - wie der Arbeit von Vietoris (1972) zu entnehmen ist - zumindest teilweise ausgewertet (vgl. auch Kap. 5.2.1). Für nähere Details der Forschungsaktivitäten von W. Pillewizer am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar verweise ich auf Pillewizer (1957 u. 1986: 93-95).

#### **4.2.2 Ära VIETORIS (1951-1970)**

Der zweite Pionier der Blockgletscherforschung in Österreich, der den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar zu seinem persönlichen Studienobjekt ernannte, war Prof. **Leopold Vietoris**, der am 4. Juni 1999 seinen 108. Geburtstag feierte. Vietoris, Professor für Ma-

thematik an der Universität Innsbruck, begann seine Messungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar erst nach dem 2. Weltkrieg. Während Pillewizer die Bewegung des Blockgletschers terrestrisch-photogrammetrisch bestimmte, ermittelte Vietoris die Bewegungsbeträge mit Hilfe der **geodätischen Methode** (vor allem mit Theodolit und Maßband). Am 14. Juli 1951 legte er, vorerst ohne Kenntnis der schon getätigten Messungen von Pillewizer, in 2630 m Höhe eine erste Steinlinie (im Profil 2, bestehend aus 5 ausgewählten Blöcken) über den Blockgletscher, um von da an alljährlich deren Verschiebung zu beobachten. 1954 legte er weitere zwei Steinlinien an, und zwar eine in 2680 m Höhe in das schon 1938 von Pillewizer festgelegte photogrammetrische Bewegungsprofil (= Profil 3) und eine weitere in 2540 m Höhe in das 1953 von Pillewizer angelegte Bewegungsprofil im Stirnbereich des Blockgletschers (= Profil 1). Durch die gegenseitige Rücksichtnahme auf die Meßaktivitäten des anderen ergänzen sich die Messungen von Pillewizer und Vietoris, wodurch nicht nur der Vergleich der beiden Meßmethoden möglich ist, sondern auch der zeitliche Rahmen der Datenreihe anwächst. An dieser Stelle ist anzumerken, daß die photogrammetrischen Messungen von Pillewizer generell gut mit den geodätischen Messungen von Vietoris übereinstimmen.

Von 1954 bis 1962 führte Vietoris, mit Ausnahme von 1958, jeden Sommer Nachmessungen aller drei Steinlinien durch. Der Einfachheit halber wurden die Bewegungsbeträge aus der Differenz der Normalabstände der Steine von den Profilgeraden ermittelt. Die von Vietoris gemessenen Werte beziehen sich demnach auf die Bewegung annähernd parallel zur Oberfläche des Blockgletschers, während die ab 1981 von Schneider mit Hilfe des elektronischen Entfernungsmessers durchgeführten Messungen (vgl. Kapitel 4.2.3) die genaue Bewegung der Steine (horizontale und vertikale Komponente des Bewegungsvektors) angeben.

1959 setzte Vietoris die Steine der 1951 angelegten Steinlinie 2 sowie der 1954 angelegten Steinlinie 1 in die jeweiligen Profilgeraden zurück, um von da an wieder kürzere Strecken messen zu können und damit die Genauigkeit der Messungen zu gewährleisten. Im Sommer 1960 wurde - zusätzlich zu den alljährlichen Geschwindigkeitsmessungen mit Theodolit und Maßband - auch die Oberflächengestalt des Profils 2 tachymetrisch bestimmt. Die Messungen im Profil 1 gestalteten sich aufgrund der Steilheit des Blockgletschers in diesem Bereich und der ständigen Gefahr des Abrutschens großer Blöcke zunehmend schwieriger, weshalb sie mit 1962 vorübergehend eingestellt wurden. Nach 1962 fand erst wieder 1970 eine Nachmessung der drei Steinlinien statt, wobei die Steine der Linien 2 und 3 der Erhöhung der Genauigkeit wegen erneut ins Profil zurückgesetzt wurden. In Linie 1 erfolgte dies erst im Rahmen der Nachmessungen von 1972. Wie zuvor Pillewizer, bestimmte auch Vietoris das Vorrücken der Blockgletscherzunge und das Einsinken der Blockgletscheroberfläche aus alten Karten (Alpenvereinskarte 1:25000) und Luftbildern (Luftbilder von 1953 und 1971), indem er diese untereinander bzw. mit der 1972 (im Falle von Profil 2 auch 1960) erfolgten tachymetrischen Einmessung der

Profiloberflächen verglich. 1972 war Vietoris zum letzten Mal aktiv an den Messungen beteiligt, wobei er die 'Betreuung' des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar zuvor H. Schneider übertragen hatte. Für weitere Details zu den Forschungsarbeiten von L. Vietoris am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar sei auf Vietoris (1972) verwiesen.

Neben den Original-Artikeln von Pillewizer (1938a, 1957 u. 1986) bzw. von Vietoris (1958 u. 1972) existieren auch in anderen Artikeln oder Sammelwerken Hinweise auf die von Pillewizer bzw. Vietoris durchgeführten Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar. So etwa in Barsch (1996: 132-134, 146-148, 168) oder in Whalley & Martin (1992: 167-168). Die Fehler, die beim Zitieren der Originaldaten entstanden sind, richtig zu stellen sowie die von Pillewizer bzw. Vietoris vorgenommene Darstellung der Meßdaten zu überprüfen und kritisch zu hinterfragen, ist ein Teilziel der vorliegenden Arbeit (vgl. Kapitel 5). Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den von Pillewizer und Vietoris aus dem Vergleich von Karten unterschiedlichen Aufnahmestandes abgeleiteten Vorrückgeschwindigkeiten der Blockgletscherfront (vgl. Kapitel 5.2).

### **4.2.3 Ära SCHNEIDER (1972-heute)**

Wie schon angedeutet, übernahm 1972 Dr. **Heralt Schneider**, Institut für Mathematik der Universität Innsbruck, die Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, indem er - wie zuvor Vietoris - in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen (5. September 1972, 5. September 1974, 25. August 1978, 10. August 1981, 24. September 1985, 13. August 1990, 10. Oktober 1995, 5.-7. August bzw. 23.-24. September 1997, 4.-6.

August 1998, 4.-5. August 1999) die drei von Vietoris angelegten Querprofile bzw. Steinlinien mit der geodätischen Methode nachgemessen hat.

#### **4.2.3.1 Zeitraum 1972-1997**

Die Nachmessungen von 1972, 1974 und 1978 erfolgten noch mit Theodolit, Maßband und Tachymeterlatte. 1981 aber kam zum ersten Mal der **elektronische Entfernungsmesser** zum Einsatz, mit dessen Hilfe wesentlich aussagekräftigere Ergebnisse erzielt werden können. Denn abgesehen von der höheren Genauigkeit der Meßwerte (der mittlere Fehler liegt bei  $\pm 0,02$  m) können durch die **kombinierte Richtungs- und Streckenmessung** die Bewegungsvektoren der markierten Steine festgelegt werden, womit ein räumliches Bild der Bewegung entsteht. Der 'Sprung' in der Präzision der Meßergebnisse durch die Einführung des elektronischen Entfernungsmessers muß allerdings bei der Auswertung der Meßdaten miteinbezogen werden.

#### **4.2.3.2 Die ausführlichen Messungen in den Sommern 1997, 1998 und 1999**

Im Hinblick auf meine Diplomarbeit wurden in den Sommern 1997, 1998 und 1999 - zusätzlich zu der routinemäßigen Nachmessung der Querprofile und Steinlinien - weitere, wesentlich ausführlichere Messungen vorgenommen, an denen ich mich aktiv beteiligt habe. Abb. 13 (vgl. aber auch Abb. 15 bis 18) gibt einen ersten Überblick über die Vermessungsaktivitäten der letzten drei Jahre. Alles, was rot eingezeichnet ist, wurde in diesen Jahren nach- bzw. neu eingemessen. Die strichlierte Linie im Längsprofil bedeutet, daß hier nur die Oberfläche eingemessen wurde, während im unteren Abschnitt des Längsprofils (durchgezogene Linie) auch Bewegungsmessungen durchgeführt wurden. Alle weiteren Details sind der nachstehenden Zusammenstellung zu entnehmen.

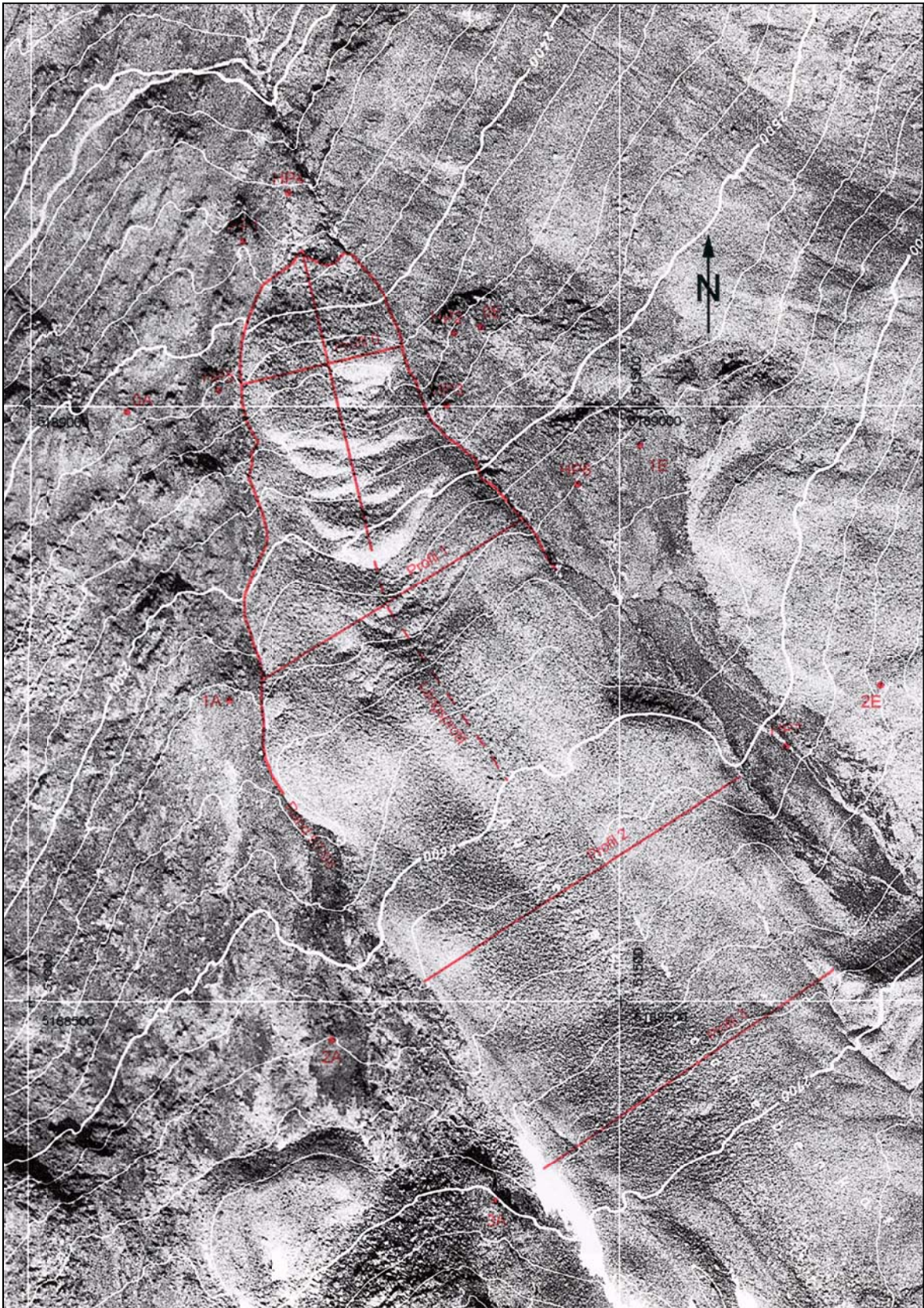


Abb. 13: Übersicht über die in den Sommern 1997, 1998 und 1999 am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar durchgeführten geodätischen Messungen (Kartengrundlage: Karte 3 1977)

Um eine Vorstellung von dem mit den Messungen verbundenen Zeit-, Arbeits- und Personalaufwand zu bekommen, werden die einzelnen Meßkampagnen in folgender Zusammenstellung näher beschrieben. All jenen, die in den vergangenen drei Sommern bei den Vermessungsarbeiten geholfen haben, sei auch an dieser Stelle herzlichst gedankt.

<b>Die in den Sommern 1997, 1998 und 1999 am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar durchgeführten geodätischen Messungen und die damit zusammenhängenden Aktivitäten</b>			
<b>WANN?</b>	<b>WAS?</b>	<b>WOZU?</b>	<b>WER?</b>
22.7.1997	Begehung des BG; neues Querprofil 0 (Festlegung der Punkte 0A u. 0E) u. Längsprofil im Stirnbereich (durch HP4) angelegt	Vorbereitung der geplanten Messungen; Querprofil 0 und Längsprofil: um Bewegungsverhalten im untersten Abschnitt des BG zu erfassen	Heralt Schneider Britta Schneider Jörg Schneider
5. bis 8.8.1997 Stützpunkt: Langtalereckhütte	Lage der alten Steine in den Linien 1 bis 3 eingemessen; Oberfläche der Querprofile 0 bis 3 aufgenommen (bis zu 30 Punkte pro Profil; weiß markiert, um sie im Sommer 1998 nachmessen zu können); Einmessung des BG-Randes von HP6, OE u. HP1	Oberflächenprofile: um Oberflächen der Querprofile genau zu bestimmen (u.a. zum Vergleich mit Oberflächenhöhen älterer Messungen); BG-Rand: um Rand im untersten Teil des BG genauer definieren zu können	Heralt Schneider Britta Schneider Norbert Span Bhaikatshi Palchok (Sherpa) Klaus Belitz
18.9.1997	in den Profilen 0 bis 3 im Abstand von ca. 25 m bis zu 12 neue Steine angelegt und rot markiert	Vorbereitung der geplanten Messungen	Heralt Schneider Norbert Span
23. bis 24.9.1997 Stützpunkt: Langtalereckhütte	Einmessung der neuen Steine der Linien 0 bis 3; Einmessung des Längsprofils von HP4 u. OE (12 Steine für Bewegungsmessungen weiß markiert); Einmessung des BG-Randes von HP 3	neue Steine: Erhöhung der Genauigkeit; Längsprofil: um Längsprofil mit Gelände zu schneiden und so das Ende des BG genau zu bestimmen, um durchschnittliche Neigung der BG-Stirn zu ermitteln, um Bewegungsdynamik im untersten Teil des BG zu erfassen	Heralt Schneider Norbert Span Stefan Hofinger Marius Massimo
30.9.1997	Besteigung des Hangerer: Einmessung von Kreuz, HP bei Kreuz, 3A, 2A, 1A von KT Hangerer neu	Kontrollmessung bzw. Erneuerung der Koordinaten	Heralt Schneider Britta Schneider Norbert Span Paul Gugerel
4. bis 6.8.1998 Stützpunkt: Langtalereckhütte	Nachmessung der alten und neuen Steine und der weiß markierten Punkte in den Linien 0 bis 3; Nachmessung der 12 Steine im Längsprofil; Rand weiter eingemessen	Nachmessung der weiß markierten Punkte: bis zu 30 Bewegungsvektoren pro Querprofil; Nachmessung der Steine im Längsprofil: um Bewegung im untersten Abschnitt des BG zu erfassen	Heralt Schneider Britta Schneider Norbert Span Reinhard Fromm
25.9.1998	Profile 1 bis 3 abgegangen	Erfassen von Besonderheiten (Beschaffenheit des BG-	Heralt Schneider Britta Schneider

		Schut-tes, Bewuchs, Wasserrauschen im Untergrund etc.)	Ingrid Schneider
4. bis 5.8.1999 Stützpunkt: Langtalereckhütte	Nachmessung der alten und neuen Steine in den Linien 0 bis 3; Nachmessung der 12 Steine im Längsprofil	um Bewegungsverhalten des BG weiterhin exakt verfolgen zu können: die neu angelegten und gut markierten Steine ermöglichen die zukünftige routinemäßige Nachmessung der Linien 0-3 sowie des Längsprofils	Heralt Schneider Norbert Span Reinhard Fromm Susanna Hautz
14.9.1999	Fotografieren des BG vom Ramolhausweg (gegenüberliegende Talseite) aus	um aktuelles Bild von der Aus-dehnung, Form und Oberflä-chenbeschaffenheit des BG zu erhalten	Heralt Schneider Britta Schneider Ingrid Schneider

Im Zuge der Aktivitäten der letzten drei Sommer ist durch das Anlegen neuer Steine bzw. die genaue Einmessung der Oberflächenprofile der Linien 0 bis 3 eine weitere Präzision der Messungen erfolgt.

Wie bereits erwähnt, wurde das in den letzten drei Jahrzehnten von Schneider zusammengetragene Datenmaterial über das Bewegungsverhalten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar bisher weder zusammenfassend ausgewertet noch veröffentlicht. In den Arbeiten von Kaufmann (1996 bzw. 1998b) ist lediglich ein kleiner Prozentsatz der heute vorliegenden Bewegungsdaten publiziert.

### 4.3 Sonstige Forschungsaktivitäten am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar

Neben den terrestrisch-photogrammetrischen Messungen von Pillewizer bzw. den geodätischen Messungen von Vietoris und Schneider war der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar noch Gegenstand weitere Forschungsaktivitäten, die der Vollständigkeit halber kurz umrissen werden sollen.

Anfang der 1980er Jahre führten W. Haeberli und G. Patzelt im Bereich der beiden Hochebenkar-Blockgletscher eine **Permafrostkartierung** durch, in deren Rahmen neben hochwinterlichen Schneebasis-Temperatur-Messungen (BTS-Methode), sommerlichen Quell-Temperatur-Messungen und refraktionsseismischen Untersuchungen auch die Unterschiede in der sommerlichen Auftauschicht bestimmt werden konnten (vgl. Haeberli & Patzelt, 1983).

Unter der Leitung von R. Kostka und V. Kaufmann, Institut für Angewandte Geodäsie der TU Graz, wurden in den Jahren 1986 und 1995 - in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochgebirgsforschung der Universität Innsbruck - zwei **terrestrisch-photogrammetrische Vergleichsaufnahmen** des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar durchgeführt, wobei die Auswertung der Aufnahme von 1995 bis dato noch aussteht (näheres siehe Kaufmann, 1996: 145-148; Kaufmann, 1998b oder Kostka, 1995). Im September 1999 erfolgte eine weitere terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme, welche - mit Hilfe von digitalphotogrammetrischen Methoden - mit der von 1995 verglichen werden soll. Ziel der geplanten gemeinsamen Auswertung der Aufnahmen der Jahre 1995 und 1999 ist es, das aktuelle Fließverhalten im unteren, stärker bewegten Teil des Blockgletschers in Form von dreidimensionalen Verschiebungsvektoren zu erfassen (Kaufmann, 1999). Was die im Jahre 1986 erfolgte Aufnahme betrifft, liegt bereits eine Auswertung vor. Der im Rahmen einer Seminararbeit am Institut für Angewandte Geodäsie der TU Graz vorgenommene Vergleich zwischen den terrestrisch-photogrammetrischen Stereoaufnahmen aus dem Jahre 1986 und Luftbildern aus dem Jahre 1977 lieferte Bewegungsvektoren von 12 ausgewählten Punkten am Blockgletscher (vgl. Rieder, 1987 oder Kaufmann, 1996: 146-148). Darüber hinaus sind aus den oben genannten Forschungsaktivitäten zwei sehr genaue Studienkarten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar im Maßstab 1:10000 (vgl. Kaufmann, 1996: 147,148 bzw. Abb. 32 u. 33) hervorgegangen, die den Stand des Blockgletschers 1977 bzw. 1986 wiedergeben und sich gut zu Vergleichen mit älteren Karten eignen.

Zuletzt sei noch auf das vom Institut für Geographie sowie vom Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München im Sommer 1997 im Äußeren Hochebenkar veranstaltete **'Geländepraktikum Permafrost-Kartierung'** hingewiesen. Im Rahmen des von Prof. H. Stötter (Inst. f. Geographie der Univ. München, nunmehr Inst.



f. Geographie der Univ. Innsbruck) - unter Mitarbeit von K. Belitz, M. Bopp und K. Wollny - geleiteten Praktikums wurde primär versucht, Permafrost im Hochgebirge mit geophysikalischen Methoden (Refraktionsseismik mittels Hammerschlägen und Bodenradar) zu kartieren. Nach persönlicher Auskunft von K. Belitz bzw. K. Wollny wurde jedoch der Großteil der Messungen bisher nicht ausgewertet. Für die Zukunft sind aber - im Rahmen eines vom Institut für Geographie der Universität Innsbruck ausgearbeiteten, mehrere Meßgebiete im Alpenraum umfassenden 'Permafrost-Monitoring'-Projektes - detailliertere Messungen (vor allem Temperatur-Messungen und geomorphologische Detailaufnahmen) am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar geplant.

Die von anderer Seite durchgeführten bzw. in Zukunft vorgesehenen Forschungsaktivitäten am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar stellen eine interessante Ergänzung zu den laufenden Bewegungsmessungen dar. Insbesondere, da hier eine langjährige Datenreihe vorliegt, die durch weitere Messungen (welcher Art auch immer diese sein mögen) aufgewertet wird und deren Interpretation durch besagte Messungen erleichtert werden könnte.

## 5 Die Ergebnisse der bisherigen Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar

Im Vorfeld der Besprechung der Ergebnisse der Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar sind einige grundlegende Bemerkungen zum Umgang mit dem vorhandenen Datenmaterial notwendig. Sie sollen bestimmte Fakten, die der zusammenfassenden Auswertung der Bewegungsdaten zugrundegelegt wurden, klarstellen und dem leichteren Verständnis der graphischen und tabellarischen Veranschaulichungen der Daten dienen. Bei der anschließenden Erläuterung der Meßergebnisse muß auf diese 'technischen Voraussetzungen' nicht mehr eingegangen werden und die Ausführungen können sich auf die Ergebnisse der Bewegungsmessungen an sich konzentrieren.

### 5.1 Grundlegende Bemerkungen zur Auswertung der Bewegungsmessungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar ist das den Messungen zugrundeliegende **Koordinatensystem**. Diesbezüglich muß folgendes beachtet werden. Bis 1981 war die Lage der Profilanfangs- und endpunkte nicht festgelegt, da - bis auf die Koordinaten vom Punkt 2A (dem 1961 verfaßten Brief von Pillewizer an Schatz zu entnehmen, heute im Archiv von H. Schneider) und die Höhen der Punkte 1A, 2A und 3A (aus der Karte Pillewizer 1953, vgl. Abb. 12) keine Lagekoordinaten der Fixpunkte vorhanden waren. Am 10.8.1981 hat Schneider die Profilanfangspunkte an den KT-Punkt Hangerer angehängt, wobei festgestellt wurde, daß sich gegenüber den Höhen in der Karte Pillewizer Differenzen von -2,07 bis -2,65 m ergeben. Das führt auch zu einer Korrektur der in der Arbeit von Vietoris (1972) dargestellten, auf den Pillewizer'schen Höhen beruhenden Dickenänderung in den Querprofilen 1, 2 und 3 (vgl. Vietoris, 1972: 186 bzw. Kap. 5.3.1).

Ab 1990 wurde das Fix- bzw. Hilfspunktnetz ständig erweitert. Am 13.8.1990 bzw. am 10.10.1995 wurden die Punkte HP1 bzw. HP2 an den Punkt 1A angehängt. Am 15.10.1996 kamen - im Rahmen der Vorarbeiten für die Anlage des Querprofils 0 und des Längsprofils

- die Punkte 0E und HP4 hinzu. Im Sommer 1997 wurden die restlichen Fix- und Hilfspunkte angelegt bzw. eingemessen, sodaß heute folgendes Festpunktnetz vorliegt:

Tab. 1: Koordinaten Festpunktnetz Blockgletscher Äußeres Hochebenkar (Österreichische Landeskoordinaten im System M 28)				
Vermessungspunkt	y	x	z	bezogen auf
39-173 Naderkogel	51487,51	5196666,00	3172,16	Kreuz Spitze
78-173 Hangerer	52259,84	5188697,24	3026,15	Kreuz Spitze
125-173 Ramolhausweg	52046,63	5191986,27	2054,48	Boden
132-173 Untergurgl Kirche	53890,89	5195247,76	1807,30	Knauf
142-173 Windeck	54831,52	5198281,03	2072,58	Boden
0A Profil 0	51082,55	5188995,03	2417,51	Loch Kreis rot
0E Profil 0	51382,18	5189065,33	2455,95	Loch Kreis rot
1A Profil 1	51169,24	5188752,70	2545,65	Nagel
1E Profil 1	51517,88	5188965,54	2548,54	Loch Kreis rot
2A Profil 2	51255,66	5188467,05	2640,93	Loch Kreis rot
2E Profil 2	51719,87	5188763,38	2647,79	Kreis lotrecht
3A Profil 3	51394,02	5188331,14	2704,35	Nagel
3E Profil 3	51824,99	5188625,26	2696,71	Loch Kreis rot
HP1	51180,99	5189137,73	2379,08	Loch Kreis rot
HP2	51359,67	5189060,40	2444,03	Loch Kreis rot
HP3	51353,27	5189000,42	2465,79	Loch Kreis rot
HP4	51219,65	5189178,09	2343,05	Loch Kreis rot
HP5 (Profil 0)	51159,97	5189013,19	2425,49	Loch Kreis rot
HP6 (Profil 1)	51464,39	5188932,88	2541,32	Loch Kreis rot
HP7 (Profil 2)	51640,09	5188712,44	2614,35	Loch Kreis rot

Das Netz ist in sich nicht ausgeglichen. Eine Gesamtausgleichung des Netzes wurde auch deshalb nicht vorgenommen, weil sich der KT-Stein Hangerer und das Kreuz geneigt hatten. Erst am 5.8.1997 wurde der KT-Stein vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen umstabilisiert, wodurch sich auch für das Kreuz Hangerer die Koordinaten änderten. Bei einer Kontrollmessung am 30.9.1997 vom neuen KT-Stein Hangerer aus ergaben sich bei den Punkten 1A bis 3A Differenzen gegenüber den alten Koordinaten von in der Lage 4 bis 8 cm und in der Höhe 2 bis 4 cm, wobei zu berücksichtigen ist, daß es sich hier um sehr steile Visuren handelt. Für die Bewegungsmessungen sind diese Abweichungen aber unwesentlich. Eine Neuvermessung und Gesamtausgleichung des lokalen Festpunktnetzes wäre dennoch wünschenswert.

Als Grundlage für die von Schneider durchgeführten Bewegungsmessungen dienten die in Tab. 1 aufgelisteten 'alten' Koordinaten.

Eine weitere Klarstellung, die den Umgang mit dem vorhandenen Datenmaterial erleichtern soll, betrifft die Erst- bzw. wiederholte Neulegung der **Steinlinien**. Folgende Zusammenfassung

menstellung gibt einen Überblick, wann welche Steine in welcher Linie gelegt wurden, wann sie durch neue ersetzt wurden, aus wie vielen Steinen die Linien bestanden haben bzw. heute bestehen und wie sie nummeriert waren bzw. heute sind. Die in der Übersicht verwendete Nummerierungsart gibt jeweils die Originalnummer und das 'Geburtsjahr' des Steines an und wird in der gesamten Arbeit (im Text sowie in allen Abbildungen und Tabellen) beibehalten.

<b>Das Zurücklegen der Steine in die Querprofile und die jeweilige Anzahl der Steine in den Linien</b>		
<b>Linie 3</b>	1954 1970 1972 1997	Steine 154-654 ins Profil gelegt Steine 170-470 neu gelegt (ca. in Ausgangslage 1954) Steine 572-772 neu gelegt (Steine 572 u. 672 ca. in Ausgangslage 1954) Steine 197-1297 ins Profil neu gelegt
<b>Linie 2</b>	1951 1959 1970 1997	Steine 151-551 ins Profil gelegt Steine 259-559 neu gelegt (ca. in Ausgangslage 1951) Steine 670-1170 ins Profil neu gelegt Steine 197-1197 ins Profil neu gelegt
<b>Linie 1</b>	1954 1959 1972  1981 1997	Steine 154-854 ins Profil gelegt Steine 159-859 neu gelegt (ca. in Ausgangslage 1954) Steine 172-472 und 672-872 neu gelegt (ca. in Ausgangslage 1959; Stein 5 nicht einsehbar)  Stein 581 neu gelegt (ca. in Ausgangslage 1959) Steine 197-1097 ins Profil neu gelegt
<b>Linie 0</b>	1997	Steine 197-697 ins Profil gelegt

Bei der Neulegung der Steine 1997 wurde besonderer Wert darauf gelegt, die Steine in regelmäßigen Abständen (ca. alle 25 m) zu legen und sie - im Gegensatz zur etwas verwirrenden Nummerierung der früheren Jahre - in allen vier Linien einheitlich von orographisch links nach orographisch rechts zu nummerieren.

Auch wenn bei der Anlage von Steinlinien stets darauf geachtet wurde und wird, nur große, stabile Blöcke zu verwenden, ist damit zu rechnen, daß in bestimmten Abschnitten des Blockgletschers (steileres Gelände, Bereiche mit feinerem Blockwerk, Gräben, Mulden etc.) die Steine ein 'gewisses Eigenleben' führten und führen. Dies trifft vor allem auf die in relativ bis sehr steilem Gelände liegenden Profile 0 und 1 zu.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei auch auf die in der vorliegenden Arbeit verwendeten, die Bewegung betreffenden **Bezeichnungen** hingewiesen. In Abb. 14 ist schematisch veranschaulicht, aus welchen Komponenten sich die Bewegung eines Meßpunktes am

Blockgletscher zusammensetzt und wie die Bewegungsvektoren relativ zur Oberfläche gerichtet sein können.

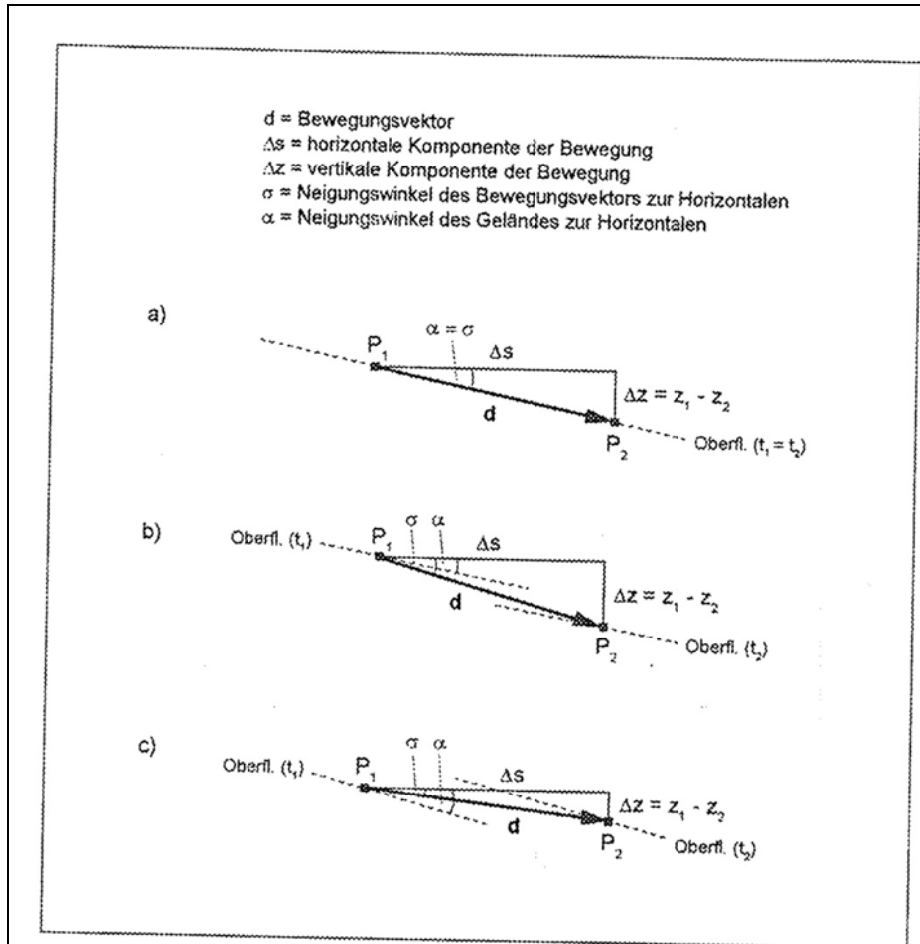


Abb 14: Die möglichen Lagen der Bewegungsvektoren relativ zur Blockgletscher-Oberfläche (bei gleichbleibender Geländeneigung):  
 a) parallel zur Oberfläche (d.h. BG hält Oberfläche)  
 b) relativ zur Oberfläche nach unten gerichtet (d.h. Dickenabnahme)  
 c) relativ zur Oberfläche nach oben gerichtet (d.h. Dickenzunahme)

Zuletzt muß darauf hingewiesen werden, daß aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit der Daten **generell die Länge der Bewegungsvektoren angegeben** ist, und nicht die Horizontalabstände. Das hat einen einfachen Grund: die seit 1981 mit dem elektronischen Entfernungsmesser gemessenen, im Normalfall annähernd parallel zur Oberfläche verlaufenden Bewegungsvektoren entsprechen eher den durch die Maßbandmessungen der früheren Jahre (vgl. Kapitel 4.2.2) ermittelten Bewegungsbeträgen.

In der Folge werden die Ergebnisse der bisherigen Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar zusammenfassend, d.h. inklusive der von Pillewizer und Vietoris durchgeführten Messungen, dargestellt. Die aus der Ära Pillewizer bzw. Vietoris überlieferten Daten wurden kritisch überarbeitet und nach bestem Wissen aktualisiert, sodaß die nunmehr vorliegende Datenreihe als eine homogene Einheit betrachtet werden kann. Die Abweichungen, die sich gegenüber den von Pillewizer bzw. Vietoris veröffentlichten Daten ergeben haben, werden dabei nicht mehr im Detail besprochen.

Generell sei festgehalten, daß die in diesem Rahmen entstandenen Überlegungen zum Bewegungsverhalten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar als möglicher Interpretationsansatz zu verstehen ist, welcher hier zur Diskussion gestellt wird.

## **5.2 Das Vorrücken des Zungenendes, die Veränderungen im Längsprofil und das aktuelle Bewegungsverhalten im unteren Teil des Blockgletschers**

### **5.2.1 Das Vorrücken des Zungenendes und die Dickenänderungen im Längsprofil**

In Anlehnung an die Arbeiten von Pillewizer und Vietoris wird zuerst - über den Vergleich von Karten unterschiedlichen Aufnahmestandes - auf das Vorrücken des Zungenendes und die sich daraus ergebenden Dickenänderungen im Längsprofil eingegangen.

Um das aktuelle Zungenende definieren zu können, wurde in den Jahren 1997 und 1998 der Blockgletscherrand im unteren Bereich der Zunge genau eingemessen (88 Punkte, bis oberhalb von Profil 1; vgl. Tab. 2 bzw. Abb. 22) und durch den tiefsten Punkt der Zunge ein Längsprofil gelegt. Durch das Schneiden des Längsprofils mit dem Gelände konnten in der Folge auch die Zungenenden der Jahre 1936, 1953, 1969 und 1977 aus dem vorhandenen Kartenmaterial (vgl. Kartengrundlagen im Anschluß) näherungsweise bestimmt werden. Die verhältnismäßig schwierige Festlegung der Blockgletscherenden aus den aus Luftaufnahmen bzw. terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen ausgewerteten Karten, an Hand derer Pillewizer, Vietoris und Kaufmann die Vorrückbeträge der Zunge ermittelten, sollte dadurch verbessert werden. Aus Foto 6 ist ersichtlich, daß selbst aus großer Nähe das tatsächliche Blockgletscherende durch die zahlreichen an der Frontböschung herabfallenden Blöcke, die im Gelände vor dem bzw. unterhalb des Blockgletschers zu liegen kommen, nur schwer auszumachen ist. Betrachtet man das Zungenende aus der Luft bzw. aus weiter Entfernung, setzt man es unwillkürlich zu tief an.

Abb. 15 bis 18 zeigen die Lage und Gestalt des aktuellen Zungenendes im Vergleich zu früheren Aufnahmeständen.

In Abb. 19 kommt das Vorrücken der Blockgletscherzunge noch deutlicher zum Ausdruck. Es muß jedoch beachtet werden, daß sich die Vorstoßbeträge der Zunge hier auf das 1997 angelegte Längsprofil beziehen und daß beispielsweise 1969 der tiefste Punkt des Zungenendes orographisch weiter links lag.



Foto 6: Die Frontböschung des Blockgletschers  
(Aufnahme: B. Schneider, 22.7.1997)

Die in Abb. 19 ausgewiesenen Beträge sind auf 5 m auf- bzw. abgerundet. Exaktere Angaben sind auf Grund des Schichtlinienabstandes der Karten (zwischen 5 und 20 m) nicht sinnvoll. Im Gegensatz zum 1997/98 eingemessenen Längsprofil, in dem die aktuelle Oberflächengestalt des Blockgletschers deutlich zur Geltung kommt, scheinen in den aus den Karten herausgemessenen Profilen auch größere Gräben und Spalten nicht auf. Diese Einschränkung muß man bei der Interpretation der Abbildung berücksichtigen.

Im Allgemeinen stimmen die in den Arbeiten von Pillewizer und Vietoris angegebenen Beträge gut mit den vorliegenden überein, weshalb sie hier nicht eigens aufgelistet werden müssen. Die einzige größere Abweichung hat sich für die Periode 1936 bis 1953 ergeben, für die Pillewizer für das Zungenende eine Vorrückgeschwindigkeit (im Gelände) von „jährlich wenigstens 3 m“ (Pillewizer, 1957: 45) angibt, was deutlich über dem aus dem Längsprofil ermittelten Betrag von 1,9 m/a liegt.





Abb. 15: Die Blockgletscherzunge 1936 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand, im Maßstab 1:5000 (Kartengrundlage: Vergrößerung der Karte 1936 1:25000)

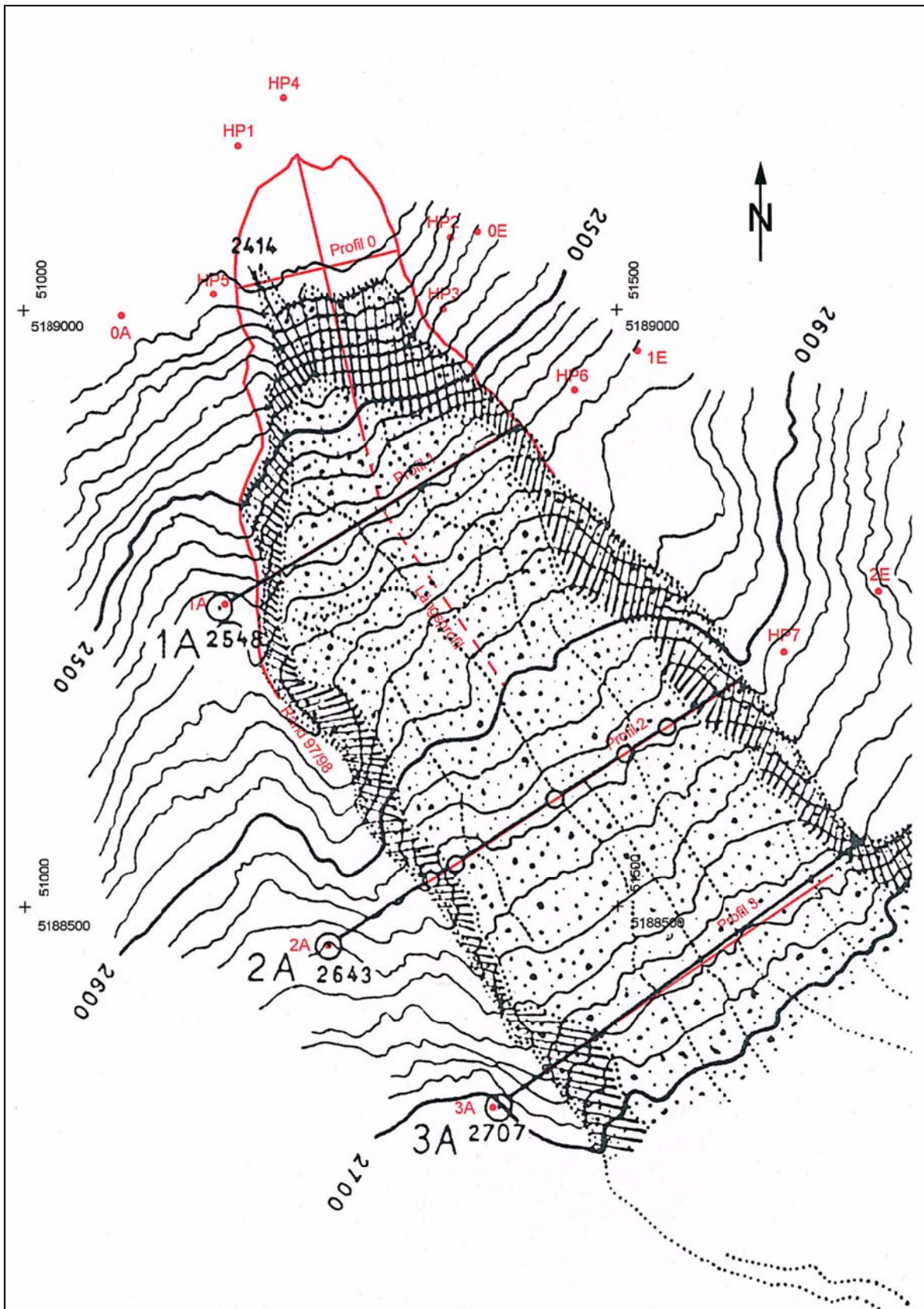


Abb. 16: Die Blockgletscherzunge 1953 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand, im Maßstab 1:5000 (Kartengrundlage: Vergrößerung der Karte 1953 1:10000)

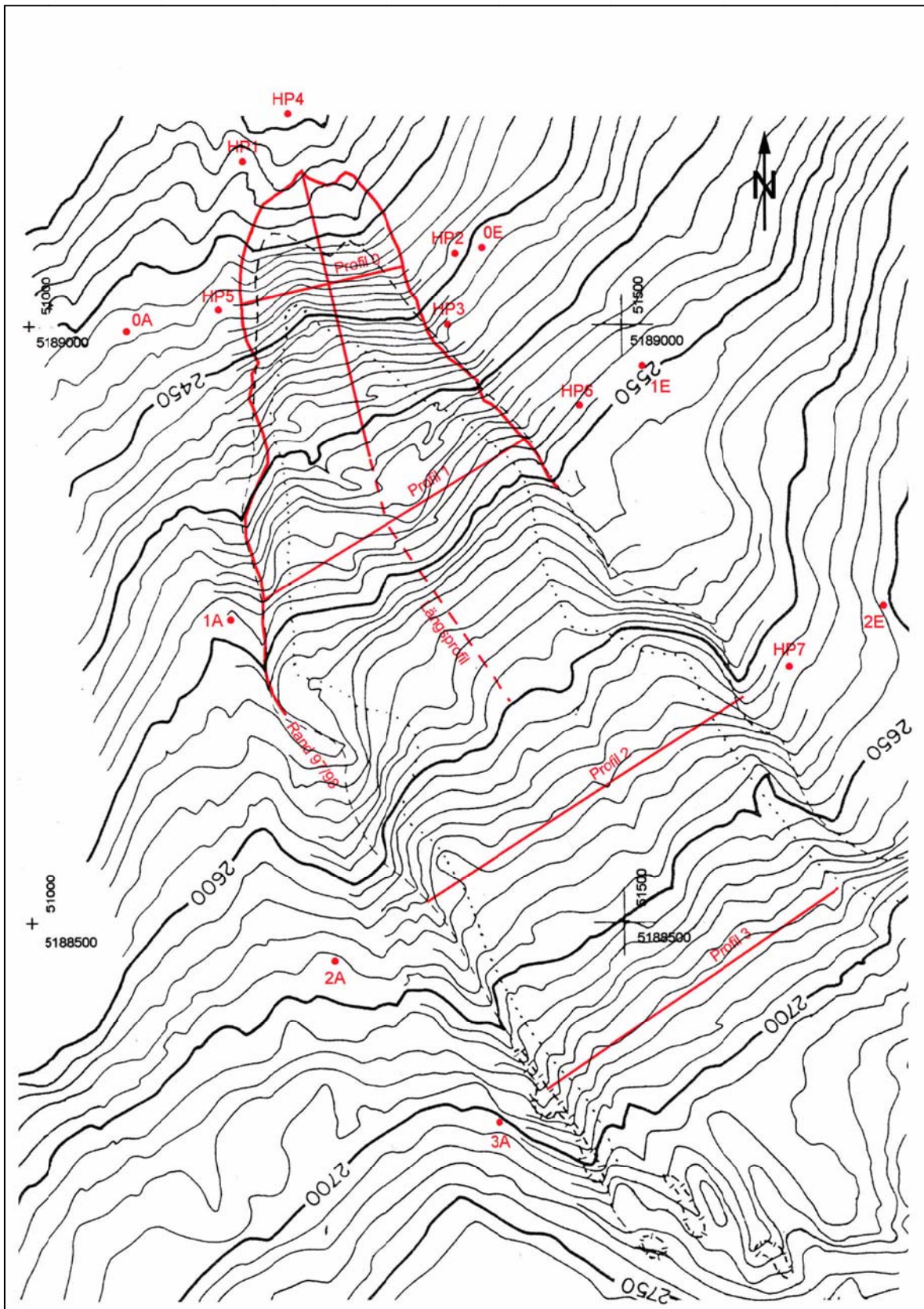


Abb. 17: Die Blockgletscherzunge 1969 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand, im Maßstab 1:5000 (Kartengrundlage: Karte 1969 1:5000)

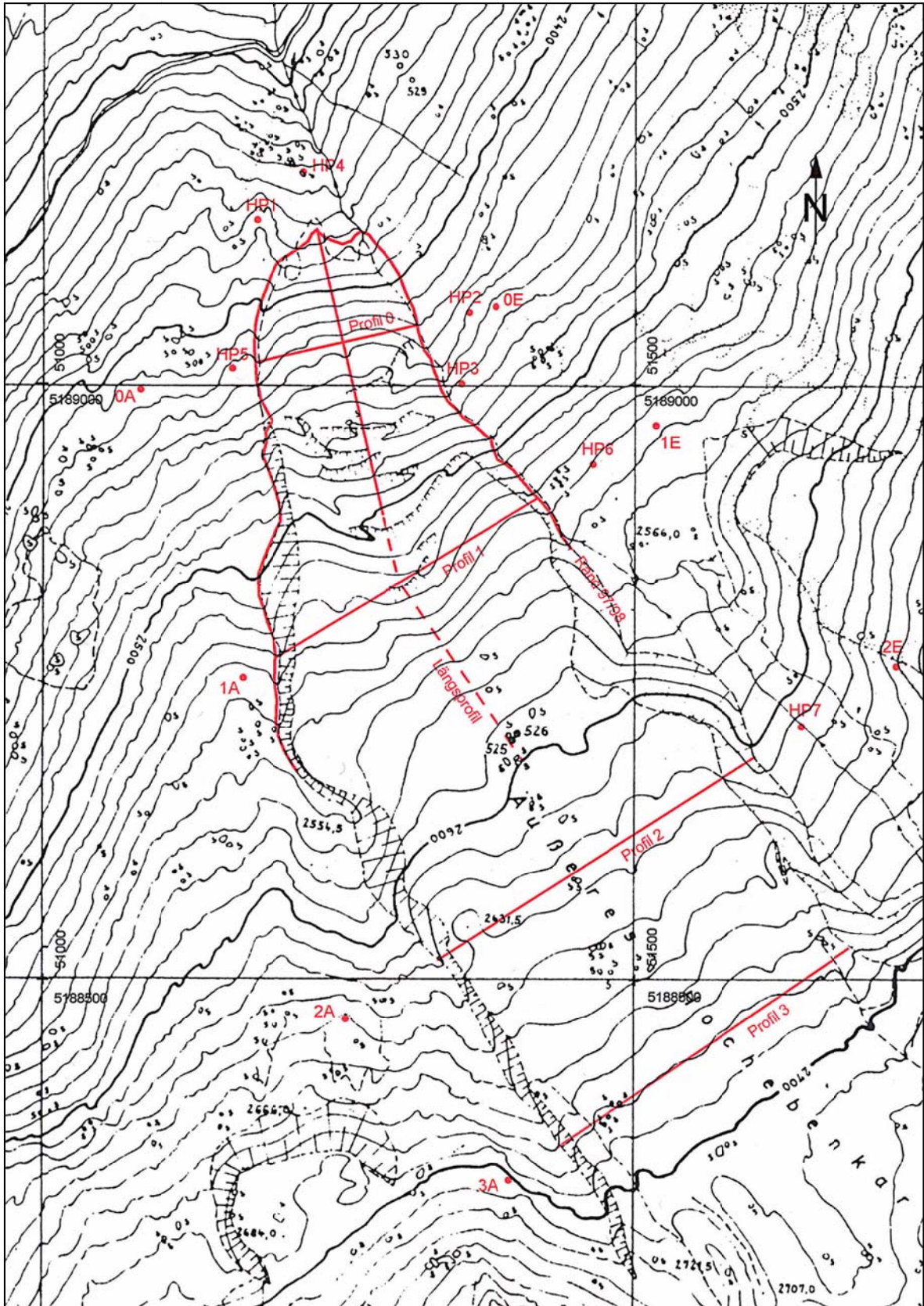


Abb. 18: Die Blockgletscherzunge 1977 verglichen mit dem 1997/98 eingemessenen Rand, im Maßstab 1:5000 (Kartengrundlage: Karte 1 1977 1:5000)



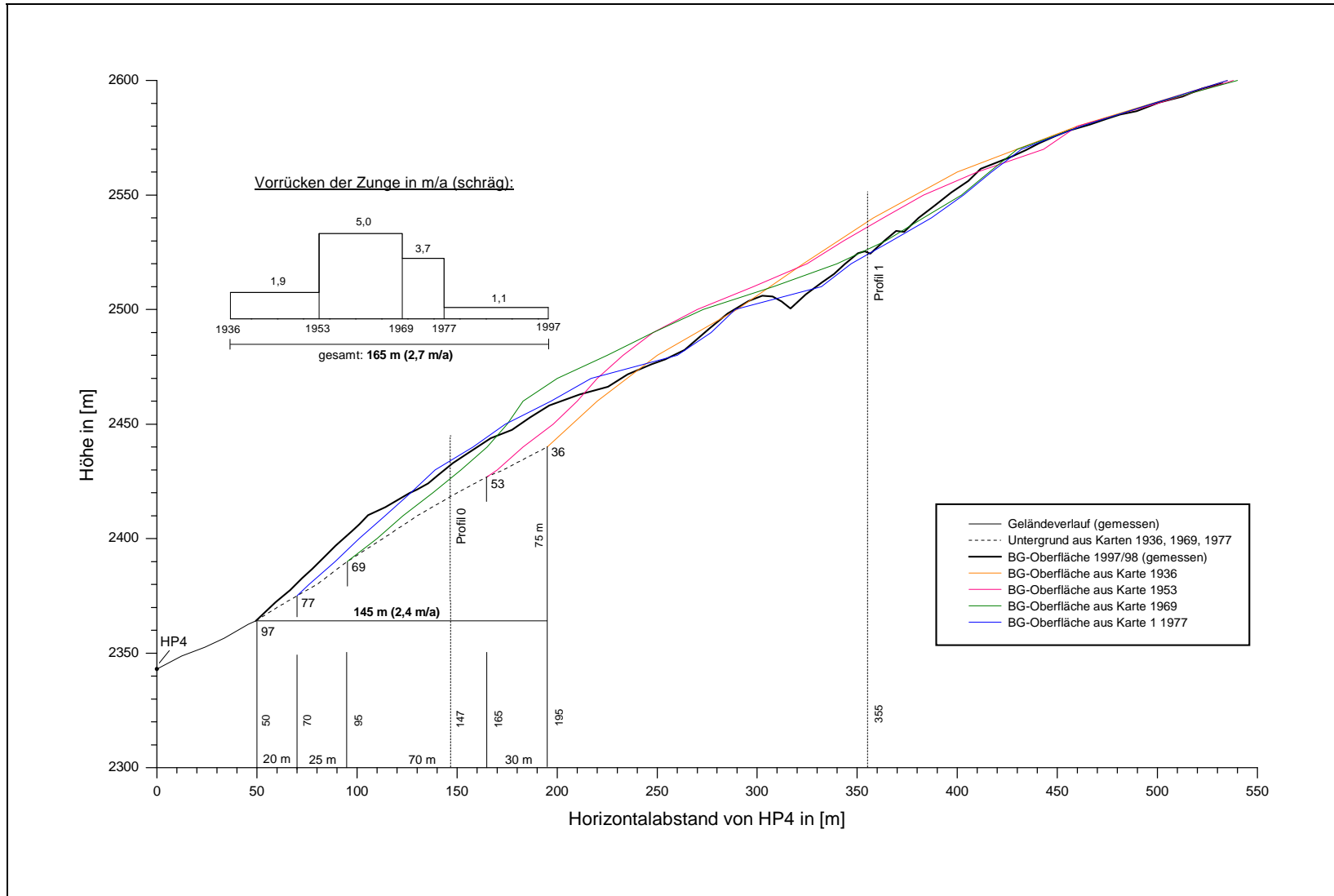


Abb. 19: Das Vorrücken des Zungenendes und die Dickenänderungen im Längsprofil 1936 bis 1997



Das ist zum einen darauf zurückzuführen, daß Pillewizer die Oberkante der Stirnböschung, die er für seine Berechnungen herangezogen hat, mit „etwa 2530 m“ für 1936 bzw. mit „unter 2490 m“ für 1953 sehr hoch angesetzt hat (Pillewizer, 1957: 45). Zum anderen ist in der AV-Karte 1936 das Blockgletscherende durch Schraffenreihen nur in etwa angedeutet, während durch das Schneiden des Längsprofils mit dem Gelände das Zungenende 1936 genauer festgelegt werden konnte. Auch der von Kaufmann berechnete Vorrückbetrag der Blockgletscherstirn von (im Gelände) 148 m bzw. 3 m/a von 1936 bis 1986 beruht auf dem von Pillewizer zu hoch angesetzten Stirnbuckel und erscheint daher ebenfalls zu groß. Sowohl Kaufmann als auch Pillewizer betonen aber, daß aus den Karten „die Fließgeschwindigkeit der Blockgletscherstirn nur recht vage abgeschätzt werden [kann]“ (Kaufmann, 1996: 146-147).

Aus Abb. 19 ist ersichtlich, daß sich das Zungenende von 1936 bis 1997 um 145 m (Horizontaldistanz) bzw. 165 m (Schrägdistanz) nach vorne bewegt hat, was einer durchschnittlichen Vorrückgeschwindigkeit von 2,4 m/a bzw. 2,7 m/a entspricht. Die gegenwärtigen Vorrückbeträge reichen (mit 1,1 m/a von 1977 bis 1997) aber nicht mehr an die großen Geschwindigkeiten der 50er und 60er Jahre (mit 5,0 m/a von 1953 bis 1969) heran.

Der Stirnbuckel, d.h. der Übergang zwischen der steileren Stirnböschung und der Oberseite des Blockgletschers ist in den einzelnen Jahren unterschiedlich ausgeprägt, was mit der jeweiligen Neigung des Untergrunds zusammenhängt. So ist er heute - im Vergleich zum eher runden Übergang in den Jahren 1936 und 1953 - stärker akzentuiert, und auch die Front des Blockgletschers ist stärker geneigt als früher. 1969 erscheint die Front deutlich flacher als in allen anderen Jahren, was auf verstärktes Abgleiten auf dem steileren Untergrund zurückzuführen sein dürfte.

Bei der vergleichenden Betrachtung des Längsprofilverlaufes der Jahre 1936, 1953, 1969, 1977 und 1997 wird deutlich, daß oberhalb der Geländekante bei etwa 2570 m die Dickenänderungen minimal sind. Unterhalb derselben, im Bereich von Profil 1, ist die Oberfläche stark eingesunken, wobei der Ansatz dafür bereits 1953 oberhalb des Profils 1 gegeben war. Die größten Veränderungen haben zwischen 1953 und 1969 stattgefunden, was sich nicht nur in dem starken Einsinken im Bereich von Profil 1, sondern auch in der deutlichen Aufwölbung der Blockgletscheroberfläche oberhalb von Profil 0 (es ist hier eine Dickenzunahme von bis zu 20 m erkennbar) und dem steilen Absturz zur Endhalde hin zeigt. Auch die Vorstoßgeschwindigkeit ist mit (im Gelände) 5,0 m/a in diesem Zeitabschnitt um vieles größer als in den anderen Jahren. Um 1958 dürfte das Zungenende bereits Profil 0 erreicht haben. Von 1969 bis 1977 ist der Blockgletscher noch um etwa 25 m vorgestoßen, die Dicke hat jedoch oberhalb von Profil 0 (zwischen 2450 m und 2550 m) bis zu 15 m abgenommen. Bis 1997 hat sich die Dickenabnahme in diesem Bereich fortgesetzt (bis zu 5 m zwischen 2420 m und 2480 m), obwohl die Stirn um weitere 20 m vorgerückt ist. In



den soeben beschriebenen Dickenänderungen bestätigt sich die Vermutung, die Haeberli & Patzelt schon vor mehr als 15 Jahren angestellt haben, daß sich die gesamte Zungenpartie des Blockgletschers ab etwa 2540 m vom übrigen Blockgletscher löst (Haeberli & Patzelt, 1983: 131). Die These, dieses Abrutschen/Abreißen sei auf das Gleiten des Permafrostes auf dem Felsuntergrund zurückzuführen (vgl. Haeberli & Patzelt, 1983: 148), scheint sich auf Grund des zwischen 1936 und 1977 erfolgten Einsinkens der Blockgletscheroberfläche im Bereich von Profil 1 und der daraus resultierenden geringeren Mächtigkeit des Permafrostes von schätzungsweise 10 bis 15 m ebenfalls zu bestätigen. Das Einsinken der Oberfläche von 1977 bis 1997 im unteren Bereich (zwischen 2420 m und 2480 m) könnte zudem ein Anzeichen dafür sein, daß der Prozeß des Abreißens der unteren Zungenpartie, welcher vor mehr als 50 Jahren eingesetzt hat, bereits seit längerem abgeschlossen ist.



Foto 7: Die spaltige Oberfläche des Blockgletschers im orographisch rechten Bereich von Profil 0 (Aufnahme: B. Schneider, 5.8.1998, knapp oberhalb vom Punkt 0E aus)

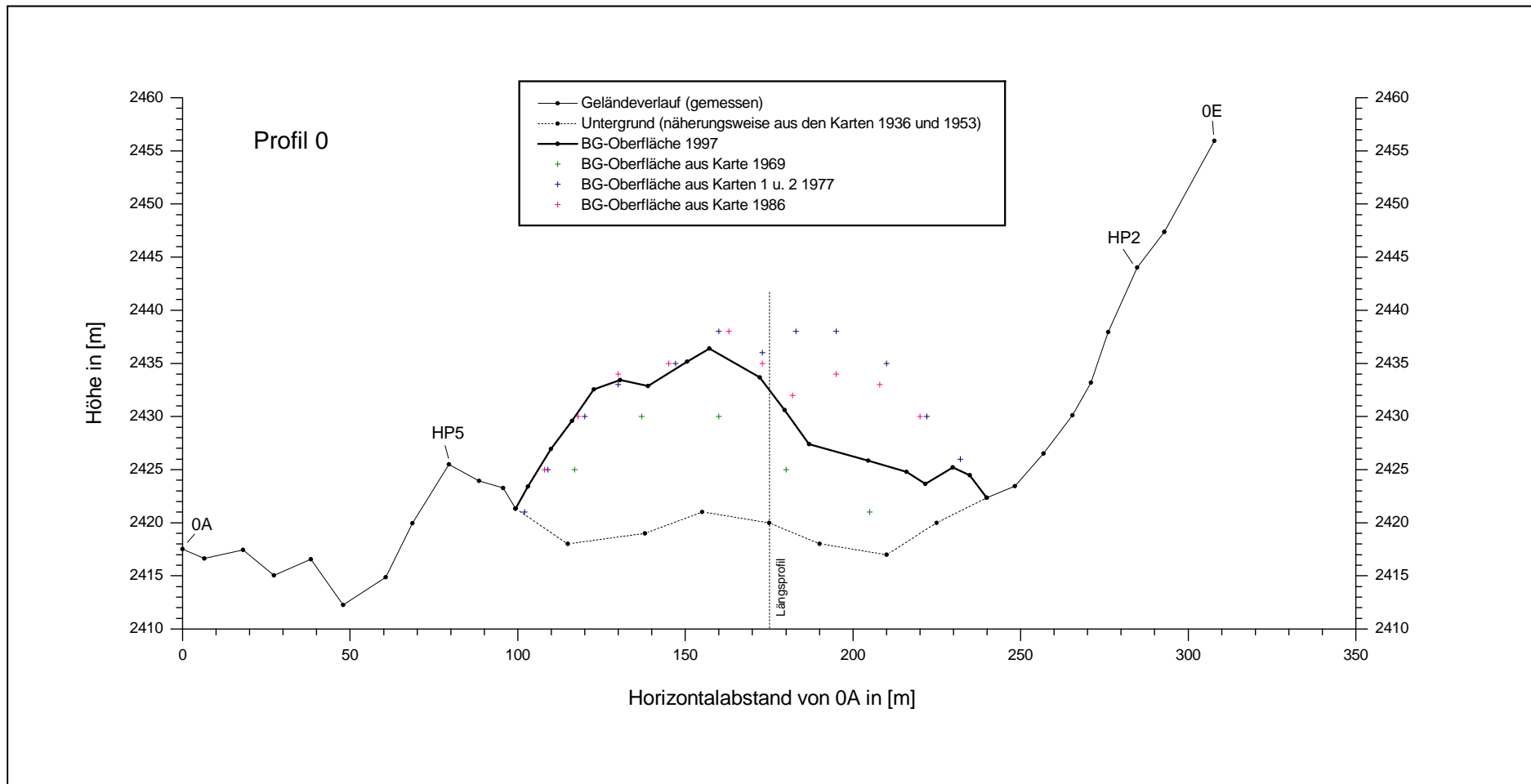


Abb. 20: Die Dickenänderung im Profil 0 1969 bis 1997

Die Abb. 20, in der die Dickenänderung für das gesamte Querprofil 0 dargestellt ist, zeigt, daß das Einsinken im Bereich von Profil 0 seit 1977 vor allem den orographisch rechten Teil betroffen hat. Aus der besonders großen Dickenabnahme zwischen dem Schnitt mit dem Längsprofil und dem rechten Rand (bis zu 12 m von 1977 auf 1997) ist ersichtlich, daß der Blockgletscher hier regelrecht in sich zusammengefallen ist. Das geht auch aus der in der Karte 1986 eingezeichneten bogenförmigen Spalte im Bereich von Profil 0 (vgl. Abb. 33 bzw. Foto 7, aber auch Abb. 11 u. 13) hervor. Die Mächtigkeit des Blockgletschers liegt hier nur mehr bei 5 bis 10, maximal 13 m, was auf die zunehmende Ausdünnung der unteren Zungenpartie hinweist und die obige Annahme bekräftigt.

Die unter diesen Umständen verwunderliche Dickenzunahme bzw. Verbreiterung des Blockgletschers im linken Randbereich von Profil 0 dürfte topographisch bedingt sein (Felsrippe, auf die Blockgletscher auffährt; vgl. Geländeverlauf in Abb. 20 bzw. Kartengrundlagen) und widerspricht dem bisher Gesagten nicht.

Im Gegensatz zum seit 1977 anhaltenen Einsinken der Oberfläche im unteren Bereich des Längsprofils ist weiter oben, zwischen dem tiefen Graben und der Geländekante bei 2570 m, von 1977 auf 1997 eine Dickenzunahme von bis zu 5 m zu verzeichnen. Das steht im Gegensatz zur Dickenabnahme vor 1977 in diesem Bereich und läßt darauf schließen, daß sich hier gegenwärtig das 'gesunde' Ende des Blockgletschers befindet.

Die Ermittlung des Bewegungsverhaltens im unteren Teil des Blockgletschers sollte näheren Aufschluß über die Abtrennung der unteren Zungenpartie sowie über das Vorrücken des 'gesunden' Zungenendes geben.

### **5.2.2 Die Bewegung im unteren Teil des Blockgletschers**

Bis 1997 lagen - bis auf einzelne vom Institut für Angewandte Geodäsie der TU Graz für die Periode 1977 bis 1986 ermittelte Bewegungsvektoren (vgl. Kap. 4.3 bzw. für genauere Angaben Kaufmann, 1996: 148) sowie die seit 1995 gemessene Bewegung der Steine Z1 und Z2 (vgl. Kap. 5.4 bzw. Tab. 8) - keine Informationen über das Bewegungsverhalten des Blockgletschers unterhalb von Profil 1 vor. Die Anlage und Einmessung der Steinlinie 0 sowie der aus 12 Steinen bestehenden Steinlinie im Bereich des Längsprofils und deren Nachmessung in den darauffolgenden Jahren sollte Abhilfe schaffen.

Wie in Abb. 21 u. 22 zu erkennen ist, konnten nicht alle Steine genau in die Profile gelegt werden, da dies auf Grund der spaltigen, labilen Oberfläche im unteren Teil des Blockgletschers nicht immer möglich war.

In Bezug auf Abb. 21 ist zu erwähnen, daß hier nur das  $\sigma$ , d.h. der Winkel zwischen dem Bewegungsvektor und der Horizontalen (vgl. Abb. 14) sowie die Länge des Bewegungsvektors für die einzelnen Steine aufgetragen wurden. Der Einfachheit halber wurde darauf verzichtet, die Bewegungsvektoren in die Profilebene zu projizieren (vgl. dazu Abb. 22). Außerdem muß die Neigung des Geländes im Fließweg der Steine nicht mit der Geländeneigung im Längsprofil übereinstimmen.

Abb. 21 weist in Kombination mit Abb. 22, in der das Bewegungsverhalten im gesamten unteren Bereich der Blockgletscherzunge dargestellt ist, auf einen interessanten Zusammenhang hin. Knapp unterhalb des tiefen Grabens ist die Geschwindigkeit mit 0,29 m/a (L12) bzw. 0,26 m/a (L11) sehr gering, während sie oberhalb im Profil 1 bedeutend größer ist (vgl. Stein 5: 0,68 m/a bzw. Stein 6: 0,86 m/a) und auch bis zum Stirnbuckel hin wieder zunimmt (vgl. L10: 0,32 m/a). Die Messungen könnten beweisen, daß sich die untere Zungenpartie vollständig vom übrigen Blockgletscher gelöst hat und sich mit von oben nach unten zunehmender Geschwindigkeit selbständig talabwärts bewegt.

Die Vektoren sind allerdings sehr unterschiedlich nach oben oder unten gerichtet, was dem unruhigen Oberflächenrelief im untersten Abschnitt des Blockgletschers (vgl. Abb. 11 u.13 bzw. Fotos 1 u. 2) entspricht. Generell zeigt sich, daß die Vektoren in steileren Bereichen nach oben gerichtet sind und in flacher geneigten Bereichen im Allgemeinen nach unten weisen. Besonders auffallend ist das Bewegungsverhalten der Steine L1 bis L3 im Bereich der Blockgletscherfront. Sie liegen annähernd parallel zum Untergrund, die Geschwindigkeiten aber nehmen zum Blockgletscherende hin ab, was der typischen Vorstellung der Blockgletscherbewegung im Vertikalschnitt (Geschwindigkeitsabnahme von der Oberfläche zum Untergrund hin) entspricht.



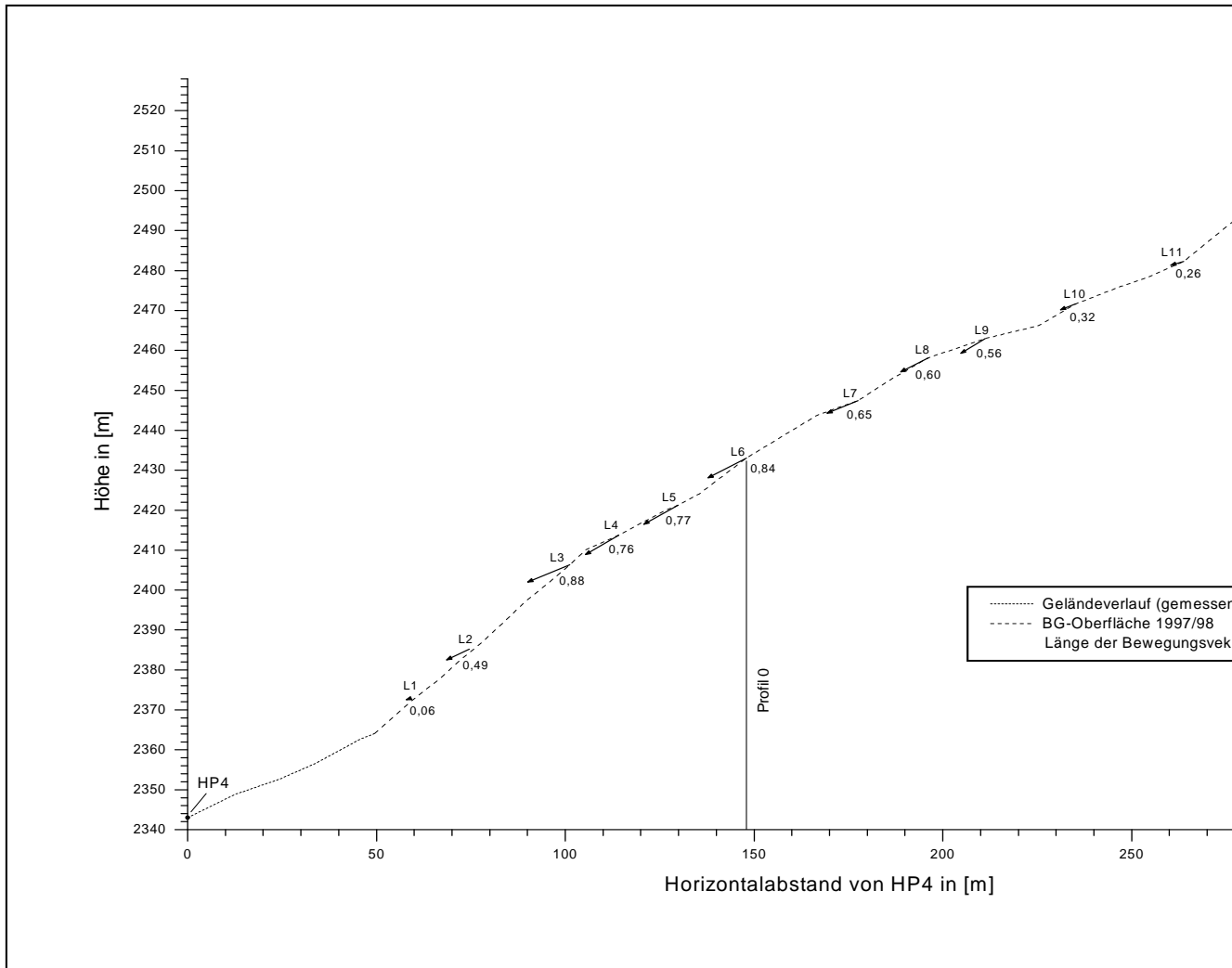


Abb. 21: Die Bewegung im unteren Teil des Längsprofils 1997-1998

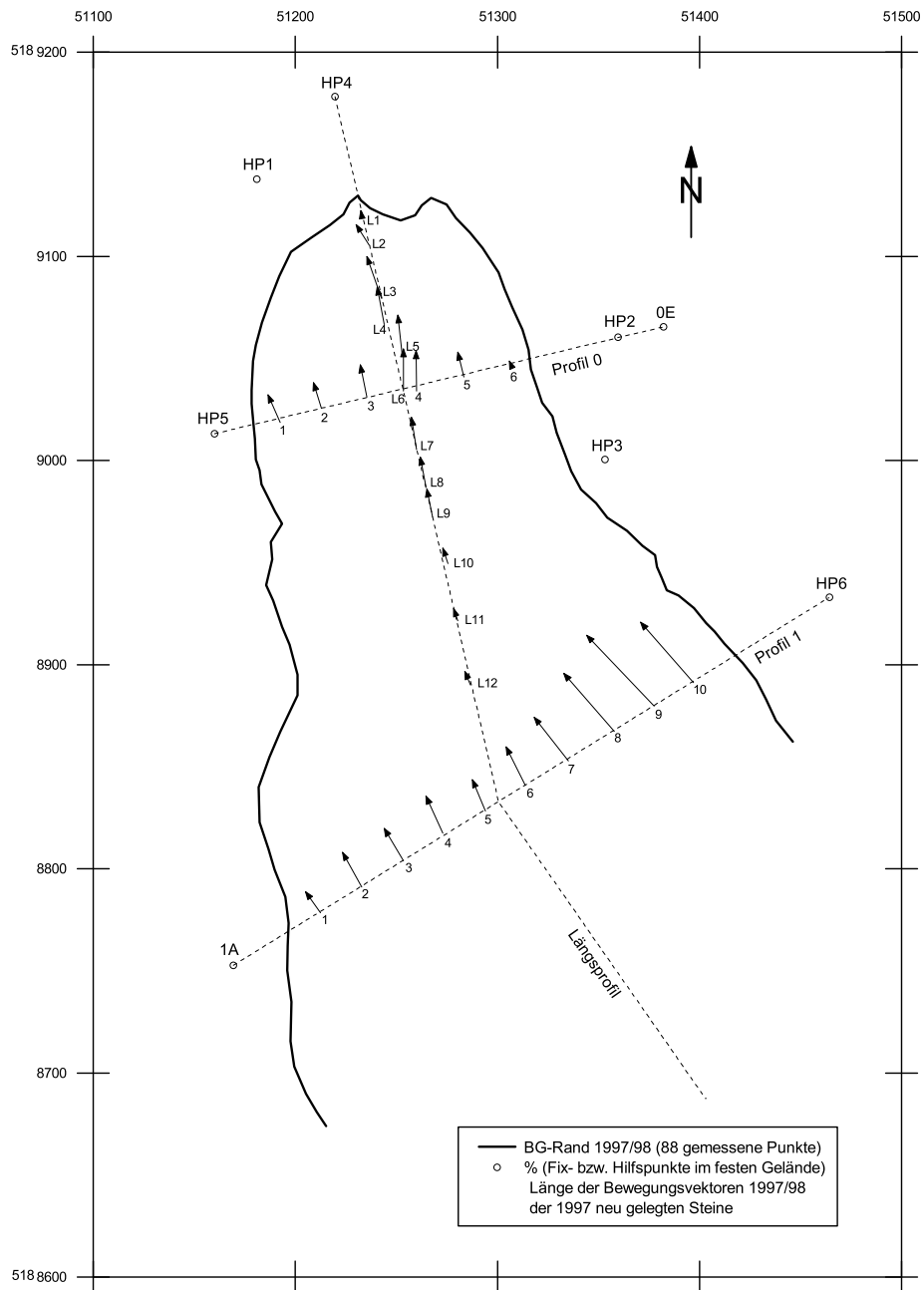


Abb. 22: Der 1997/98 eingemessene Blockgletscherrand und die Bewegung im unteren Abschnitt des Blockgletschers 1997-1998

Das bedeutet aber, daß die Form bzw. Neigung der Stirnböschung nur durch von oben nachstürzendes Material und nicht durch Gleiten am Untergrund erhalten bleibt.

Wie Tab. 5 (siehe Anhang A) zeigt, hat sich das Bild der Bewegung im Längsprofil von 1998 auf 1999 gegenüber dem vorherige Meßjahr nicht wesentlich verändert. Die Fließgeschwindigkeit hat jedoch - mit Ausnahme vom Stein L6, der sich in sehr steilem Gelände befindet und sicher abgerutscht ist - abgenommen und die Bewegungsvektoren sind stärker geneigt als jene des Vorjahres. Auch in Steinlinie 0 hat sich, unter Berücksichtigung des offensichtlichen Abrutschens der Steine 4 (wie der benachbarte Stein L6 in sehr steilem Gelände liegend) und 5, im letzten Jahr die Fließgeschwindigkeit gegenüber 1997/98 verringert (vgl. Tab. 15). All das bestätigt die Annahme, daß die untere Zungenpartie, nachdem sie sich vom übrigen Blockgletscher gelöst hat, langsam auszudünnen beginnt und mit der Zeit inaktiv werden könnte.

Im Gegensatz zum geringer bewegten unteren Zungenabschnitt sind die verhältnismäßig großen Fließgeschwindigkeiten in Steinlinie 1 (vgl. Abb. 22) ein Zeichen für die gegenwärtige hohe Aktivität des 'gesunden' Blockgletscherendes. Im orographisch rechten Teil ist die Bewegung um einiges schneller als im linken, was - ähnlich wie im Längsprofil und im Profil 0 - auf wesentlich steileres Gelände zurückzuführen ist. Der hohen Aktivität entsprechend, hat auch die Fließgeschwindigkeit von 1998 auf 1999 gegenüber dem Vorjahr zugenommen, wobei der Spitzenwert bei 2,03 m/a (Stein 9, vgl. Tab. 13) liegt.

Das aktuelle Bewegungsverhalten im unteren Teil des Blockgletschers darf jedoch nicht isoliert vom restlichen Blockgletscher betrachtet werden. Gerade für die Einschätzung der gegenwärtigen Zunahme der Fließgeschwindigkeiten im Bereich von Profil 1 ist das bisherige Bewegungsverhalten des gesamten Blockgletschers (festgehalten in den Profil- und Steinlinienmessungen seit 1938, vgl. Kapitel 5.3 u. 5.4) von größtem Interesse.



## **5.3 Die Veränderungen in den Querprofilen und Steinlinien 1 bis 3**

Wie bei der Erläuterung der Veränderungen im unteren Bereich der Blockgletscherzunge wird auch hier zuerst auf die Dickenänderungen in den Profilen eingegangen, welche dann mit der Bewegung bzw. den Fließgeschwindigkeiten der Steinlinien in Beziehung gesetzt werden können.

### **5.3.1 Die Dickenänderungen in den Querprofilen 1 bis 3**

Vor der Besprechung der Dickenänderungen an sich sei noch einmal daran erinnert, daß sich, im Zuge der Überarbeitung des vorhandenen Datenmaterials, gegenüber der in Vietoris (1972) veröffentlichten Abbildung zur Dickenänderung in den Querprofilen Änderungen in der Höhe von über 2 m ergeben haben (näheres siehe Kapitel 5.1).

Abb. 23 bis 25 zeigen die Dickenänderungen in den Profilen 1 bis 3, wobei die 1997 sehr genau (d.h. mit sehr vielen Meßpunkten, vgl. Tab. 9) eingemessene Oberfläche als Referenzkurve dient. Die für den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar charakteristischen Oberflächenstrukturen (Spalten, Längsrücken und -rinnen etc.; vgl. Abb. Abb. 11 u. 13 bzw. Fotos 1, 2 u. 3) können in den Oberflächenprofilen gut nachvollzogen werden.

Im Profil 3 ist die Dickenänderung minimal. Mit Abweichungen von maximal 1,5 m liegt sie noch im Rahmen der Rauigkeit der Oberfläche des Blockgletschers. Das geht auch aus dem Vergleich der Karten unterschiedlichen Aufnahmestandes (siehe Abb. 15 bis 18) hervor, in denen die Höhenlinien im Bereich von Profil 3 gut übereinstimmen. In Abb. 16 (Karte 1953) fällt auf, daß die Richtung des in der Karte 1953 von Pillewizer eingezeichneten Profils 3 von der Richtung des von Vietoris angelegten Profils abweicht. Zum besseren Vergleich der Profilmessungen mit der Karte wurde für das Herausmessen der Oberflächengestalt aus der Karte 1953 die Pillewizer'sche Profilrichtung auf die 'heutige' korrigiert.

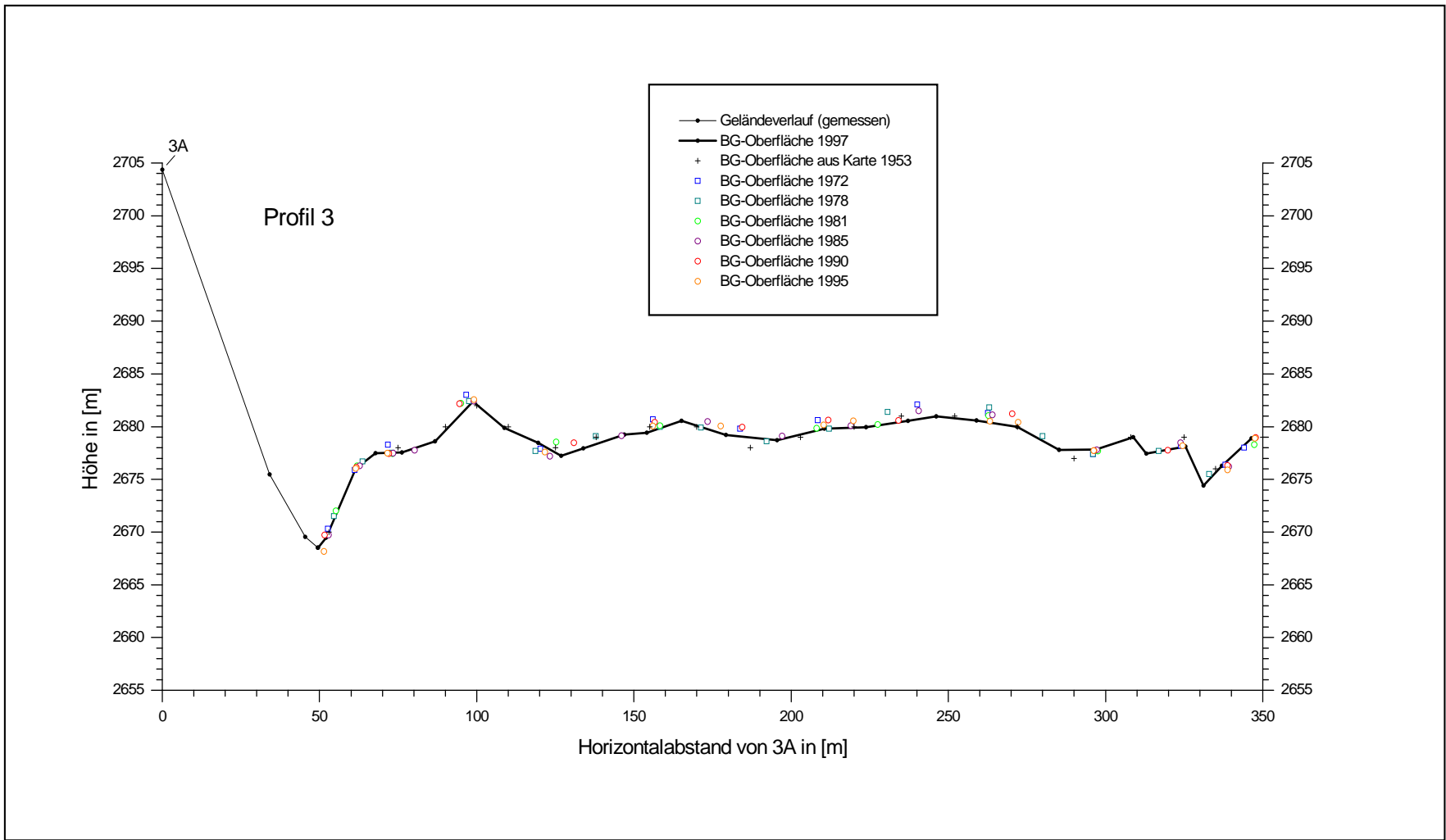


Abb. 23: Die Dickenänderung im Profil 3 1953 bis 1997



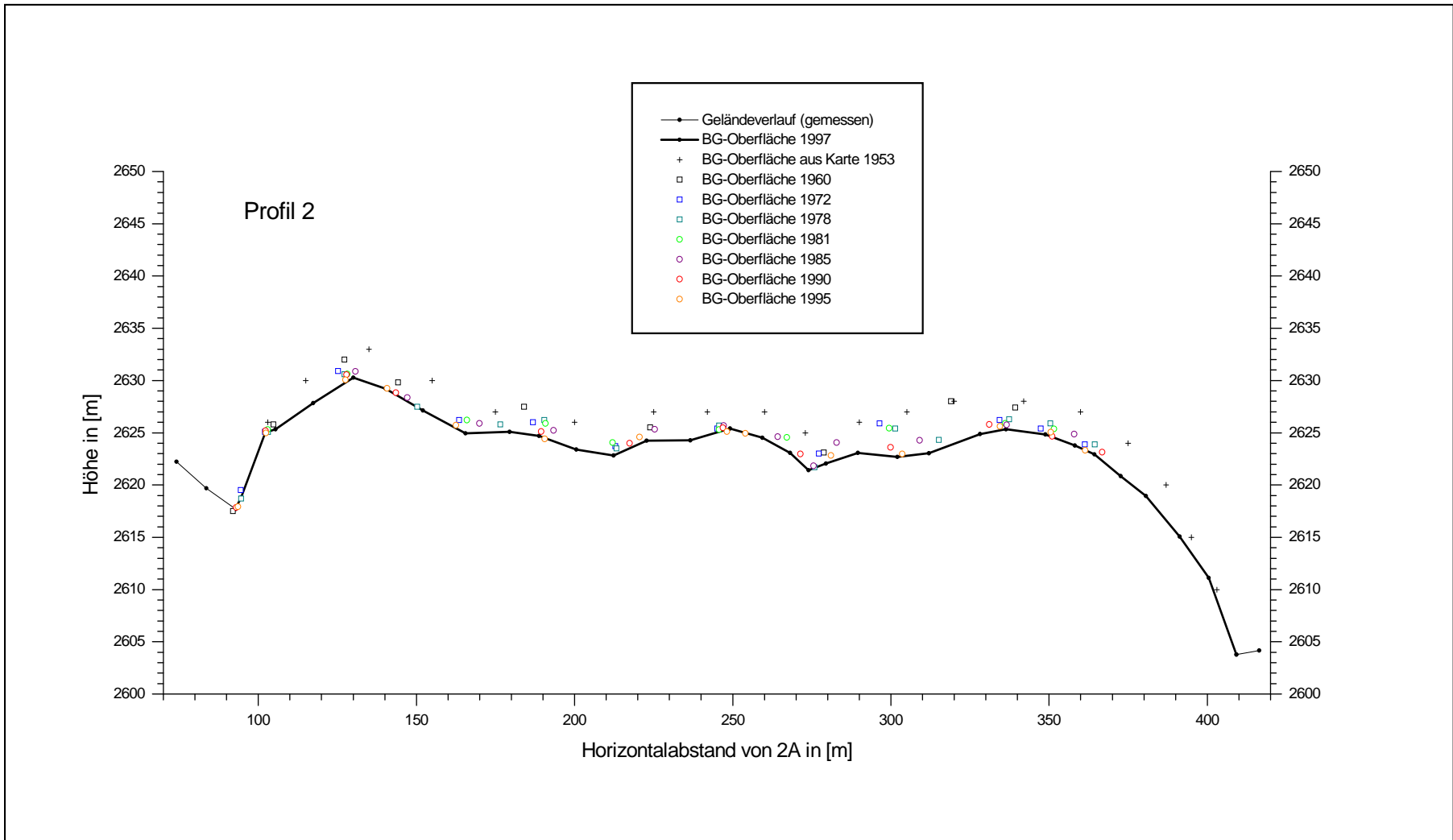


Abb. 24: Die Dickenänderung im Profil 2 1953 bis 1997



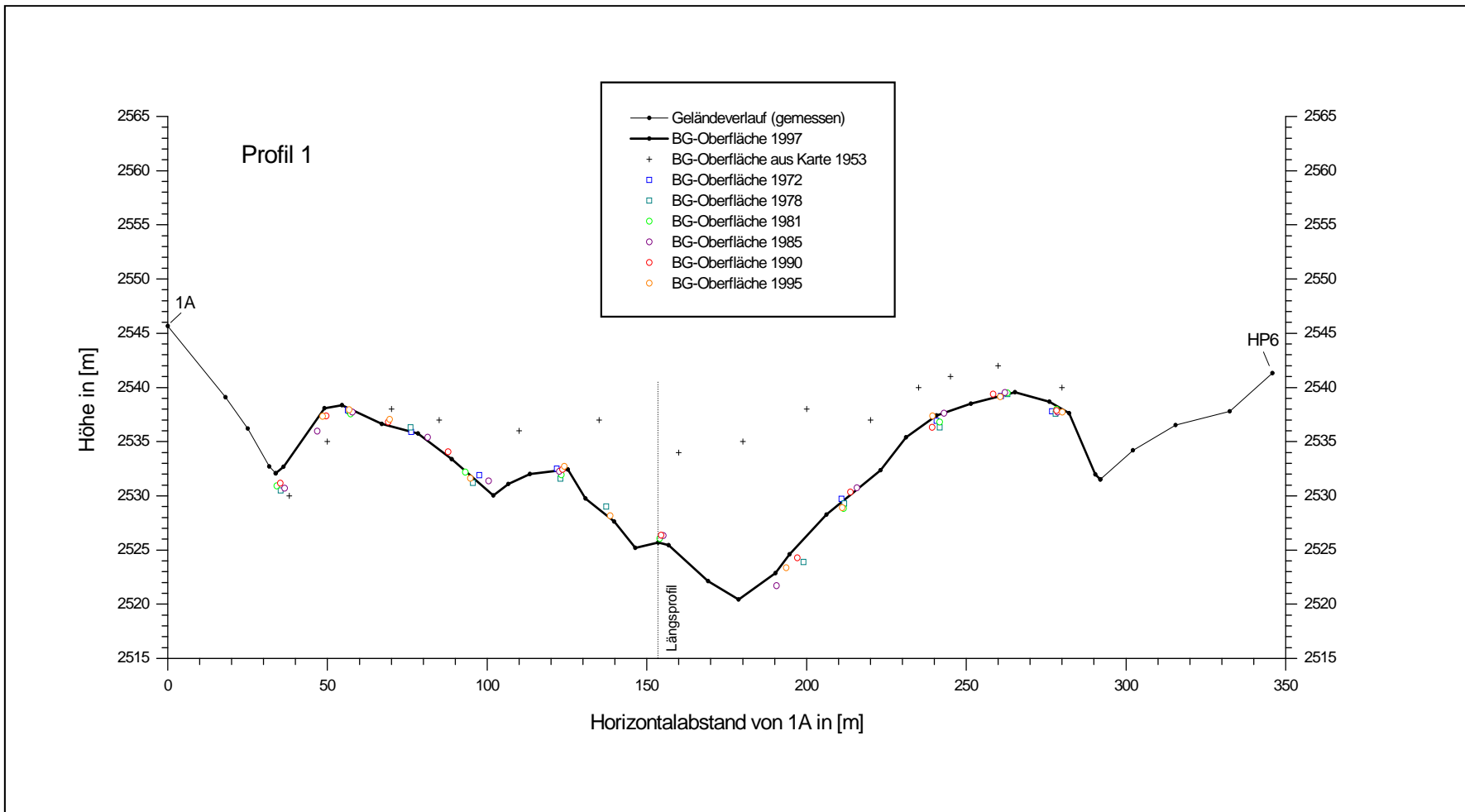


Abb. 25: Die Dickenänderung im Profil 1 1953 bis 1997



Im Gegensatz zu Profil 3 sind im mittleren Profil 2 Dickenänderungen von bis zu 4 m ersichtlich. Während die äußere Begrenzung des Blockgletschers (wie auch in Profil 3) stationär geblieben ist, ist die Oberfläche im übrigen Bereich von 1953 bis 1997 kontinuierlich eingesunken. Der Verlauf der Oberflächengestalt hat sich allerdings gegenüber 1953 nicht wesentlich verändert. Das Profil 2 ist auch, was die Rauigkeit der Oberfläche bzw. die Beschaffenheit des Blockschuttes betrifft (mittelgrobes bis feines Blockwerk herrscht vor), das ungestörteste bzw. gleichmäßigste aller Profile.

Ganz im Unterschied zu Profil 1, in dem sich die Oberflächengestalt von 1953 bis heute durch das starke Einsinken in der Mitte (vgl. Abb. 25) ganz wesentlich verändert hat. Das Einsinken war zwischen 1953 und 1978 (mit bis zu 13 m, vielleicht mehr) am stärksten, hat aber schon vorher begonnen, wie dem aus der Karte 1953 herausgemessenen Profilverlauf wie auch der bereits erwähnten Dickenänderung im Längsprofil (vgl. Kapitel 5.2.1) zu entnehmen ist. Das bestätigt die Annahme, daß das Abrutschen bzw. Abreißen der unteren Zungenpartie bereits vor mehr als 50 Jahren eingesetzt haben muß. Von 1978 bis 1997 dagegen ist die Oberfläche in etwa gleichgeblieben (die Abweichungen liegen im Bereich der Rauigkeit der Oberfläche), was bedeuten könnte, daß das Abreißen des Blockgletschers im Bereich von Profil 1 schon Ende der 70er zum großen Teil beendet war. Nicht weniger augenscheinlich wie das Einsinken der Oberfläche von 1953 bis 1978 ist die Tatsache, daß sich der Blockgletscher im Profil 1 von 1953 bis 1997 auf der orographisch linken Seite eindeutig verbreitert hat. Auf die Verbreiterung des Blockgletschers im Bereich von Profil 1 hat bereits Vietoris hingewiesen und sie mit zwei Fotos aus den Jahren 1957 und 1959 (vgl. Abb. 6 und 7 in Vietoris 1972: 174 u. 175) dokumentiert. Wie im Bereich von Profil 0 (vgl. Kapitel 5.2.1) dürfte auch hier die Verbreiterung des Blockgletschers nach links topographisch bedingt sein bzw. mit dem Bewegungsmechanismus des Blockgletschers in diesem Bereich (Blockgletscher macht einen Bogen, Profilrichtung verläuft schräg zum Blockgletscherrand, vgl. Kapitel 5.3.3) zusammenhängen.



### 5.3.2 Die Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Querprofile 1 bis 3

Erfolgte die Darstellung der Dickenänderungen in den Querprofilen in Anlehnung an die von Vietoris 1972 veröffentlichte Abbildung (Vietoris, 1972: 186), so diente bei der graphischen Veranschaulichung der Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Profile 1 bis 3 das von Pillewizer 1957 angefertigte Diagramm (Pillewizer, 1957: 43) als Vorlage. Als Vergleichszeiträume zu der von Pillewizer dargestellten Periode 1953-55 dienen die Meßperiode 1981-85 und, aktuell, der Zeitraum 1997-98. Die Periode 1981-85 wurde ausgewählt, weil hier erstmals genauere Messungen mit Hilfe des elektronischen Entfernungsmessers durchgeführt wurden und zudem der Stein 5 erst 1981 wieder neu ins Profil gelegt wurde (vgl. Zusammenstellung in Kapitel 5.1). Außerdem liefern die Meßjahre 1972-74, 1974-78 oder 1978-81, die sich ebenso gut für Vergleichszwecke eignen würde, das gleiche Bild der Geschwindigkeitsverteilung wie die Jahre 1981-85.

Wie Abb. 26 (vgl. auch Tab. 10) zeigt, hat sich das Geschwindigkeitsmaximum vom Anfang der 1950er Jahre bis heute in allen drei Profilen kontinuierlich nach rechts verschoben. Die Fließgeschwindigkeit des Blockgletschers ist also nicht grundsätzlich in der Mitte am größten, wie sowohl Pillewizer als auch Vietoris angenommen haben. Am stärksten war die Rechtsverschiebung des Geschwindigkeitsmaximums im Profil 1, was mit dem Abrutschen/Abreißen der unteren Zungenpartie bzw. dem steileren Gelände im orographisch rechten Abschnitt des Profils zusammenhängen dürfte. Wie aus der aktuellen Geschwindigkeitsverteilung in den Profilen 2 und 3 ersichtlich ist, können sich auch mehrere kleinere Geschwindigkeitsmaxima bilden, was wiederum mit der Beschaffenheit der Blockgletscheroberfläche (feineres oder gröberes Blockwerk, Längsrücken oder Rinne, stärker oder gar nicht mit Flechten bewachsener Abschnitt etc.) erklärt werden könnte.

Die zweite Annahme von Pillewizer und Vietoris, daß die Geschwindigkeit grundsätzlich zum Blockgletscherrand hin gegen 0 abnimmt, kann indes bestätigt werden. Auch wenn die Geschwindigkeitsabnahme, wie der Verlauf der Kurven 1997-98 zeigt, nicht generell 'ungefähr parabolisch von der Mitte zum Rand hin' (vgl. Pillewizer, 1957: 42 bzw. Vietoris, 1972: 179) erfolgt. Wie der Vergleich der maximalen Fließgeschwindigkeiten mit den mittleren Fließgeschwindigkeiten der Steinlinien 1 bis 3 (vgl. Tab. 16 im Anhang A) ergeben hat, konnte die von Vietoris gemachte Feststellung, die mittlere Geschwindigkeit liege generell bei etwa 2/3 der Geschwindigkeit des schnellsten Steines (was der ungefähr parabolischen Abnahme der Geschwindigkeiten von der Mitte zum Blockgletscherrand hin entspricht; vgl. Vietoris, 1972: 179), vor allem für die Linie 3 bestätigt werden. Der große Unterschied, der sich in der gegenwärtigen Breite des Profils 3 gegenüber 1953-55 ergibt, ist auf die bereits erläuterte Abweichung der Profilrichtung (vgl. Kap. 5.3.1) zurückzu-

führen, welche hier nicht berücksichtigt wurde. Während das Pillewizer'sche Profil vor dem alten Lappen des Blockgletschers endet, reicht das von Vietoris angelegte Profil bereits etwas in die Randböschung des alten Lappens hinein.

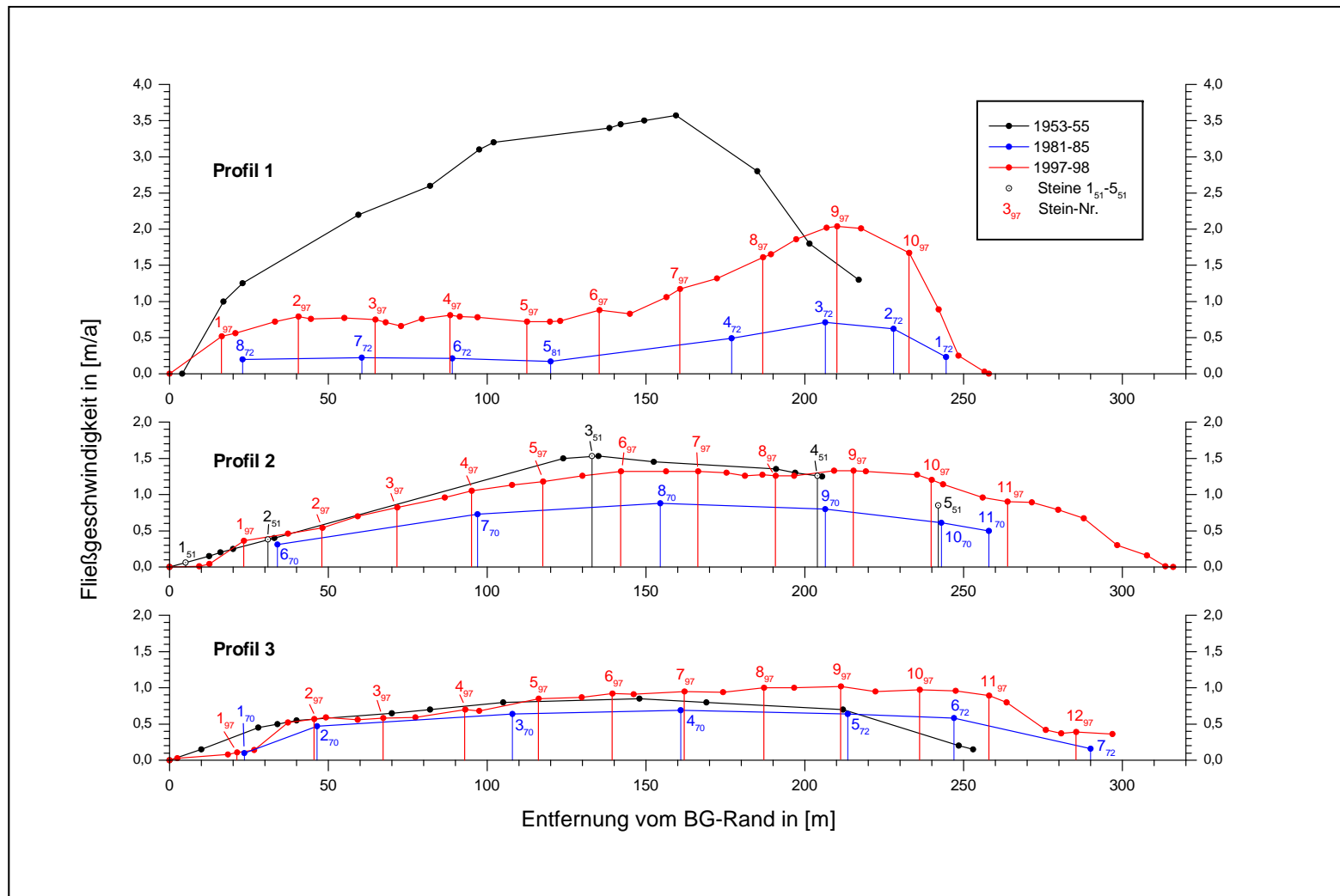


Abb. 26: Die Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Profile 1 bis 3 für die ausgewählten Messperioden 1953-55, 1981-85 und 1997-98





### 5.3.3 Die Bewegung in den Steinlinien 1 bis 3 seit 1981

Die aktuelle Bewegung in den Steinlinien 1 bis 3 (vgl. Abb. 27 bzw. Tab. 13 u. 15) gibt die gegenwärtige Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Profile 1 bis 3 wider. Wie bereits aus Abb. 26 hervorgeht, ist die Verteilung der 1997 neu gelegten Steine im Unterschied zu den alten Steinlinien (vgl. Abb. 28 u. 29) sehr regelmäßig, wodurch ein übersichtlicheres, genaueres Bild der Bewegung entsteht.

Der Vergleich der Bewegungsvektoren 1997-98 (dargestellt in Abb. 27) bzw. 1998-99 (siehe Tab. 13) mit den Mittelwerten der Jahre 1981-99 (vgl. Abb. 28 bzw. Tab. 11) macht deutlich, daß die Fließgeschwindigkeiten der letzten Jahre bedeutend größer sind als die langjährigen Mittel. In Linie 1 beispielsweise ist die mittlere Geschwindigkeit der Steine derzeit (mit 1,10 m/a für das Meßjahr 1998-99) mehr als doppelt so hoch wie der Mittelwert von 1981 bis 1999 (mit 0,53 m/a). In Linie 2 ist dieser Sprung mit 1,16 m/a gegenüber 0,67 m/a nicht mehr ganz so groß und in Linie 3 beträgt er 'nur mehr' 0,84 m/a gegenüber 0,49 m/a (vgl. Tab. 11 und 13). Auf die Unterschiede der Fließgeschwindigkeiten in den einzelnen Steinlinien wird in Kapitel 5.4 noch näher einzugehen sein.

Wie aus der Länge eines Bewegungsvektors kann man auch aus dessen Richtung interessante Schlüsse über das Bewegungsverhalten des Blockgletschers ziehen. Die Richtungen der Bewegungsvektoren entsprechen generell gut der Oberflächengestalt des Blockgletschers im Bereich der Querprofile (vgl. Abb. 23 bis 25). Besonders deutlich wird das an den Steinen  $5_{97-6_{97}}$  und  $7_{97-9_{97}}$  bzw.  $4_{72}$  und  $5_{81}$  in Linie 1, wo die Bewegungsvektoren im Bereich der tiefen Mulde bzw. Längsrinne geländemäßig gegen die Mitte hin konvergieren. Dementsprechend weisen die Richtungen der Bewegungsvektoren im Bereich von Längsrücken, wie beispielsweise im linken Randbereich von Profil 2, auseinander (vgl. Abb. 27). Aus der Richtung der Bewegungsvektoren der Steine  $1_{97-3_{97}}$  bzw.  $8_{72}$  der Linie 1 läßt sich darüber hinaus die Verbreitung des Blockgletschers im linken Randbereich von Profil 1 (vgl. Kapitel 5.2.1) erklären. Für die Verbreiterung des linken Randes von Profil 0 läßt sich, wie ebenfalls aus Abb. 27 ersichtlich ist, ähnliches ableiten.

In Abb. 29 (vgl. auch Tab. 11) ist die Gesamtbewegung der Steine alt vom 10.8.1981 bis zum 4.8.1999 maßstabsgetreu dargestellt. Die größten Fließgeschwindigkeiten wurden in den vergangenen 18 Jahren mit 17,95 m (Stein  $3_{72}$ ) bzw. 16,55 m (Stein  $2_{72}$ ) in Linie 1 erreicht. Die geringste Bewegung lag bei 1,82 m (Stein  $1_{70}$ ) im linken Randbereich von Linie 3. Neben der Darstellung der Gesamtverschiebung der Steine wird mit dieser Abbildung noch ein weiteres interessantes Ziel verfolgt.

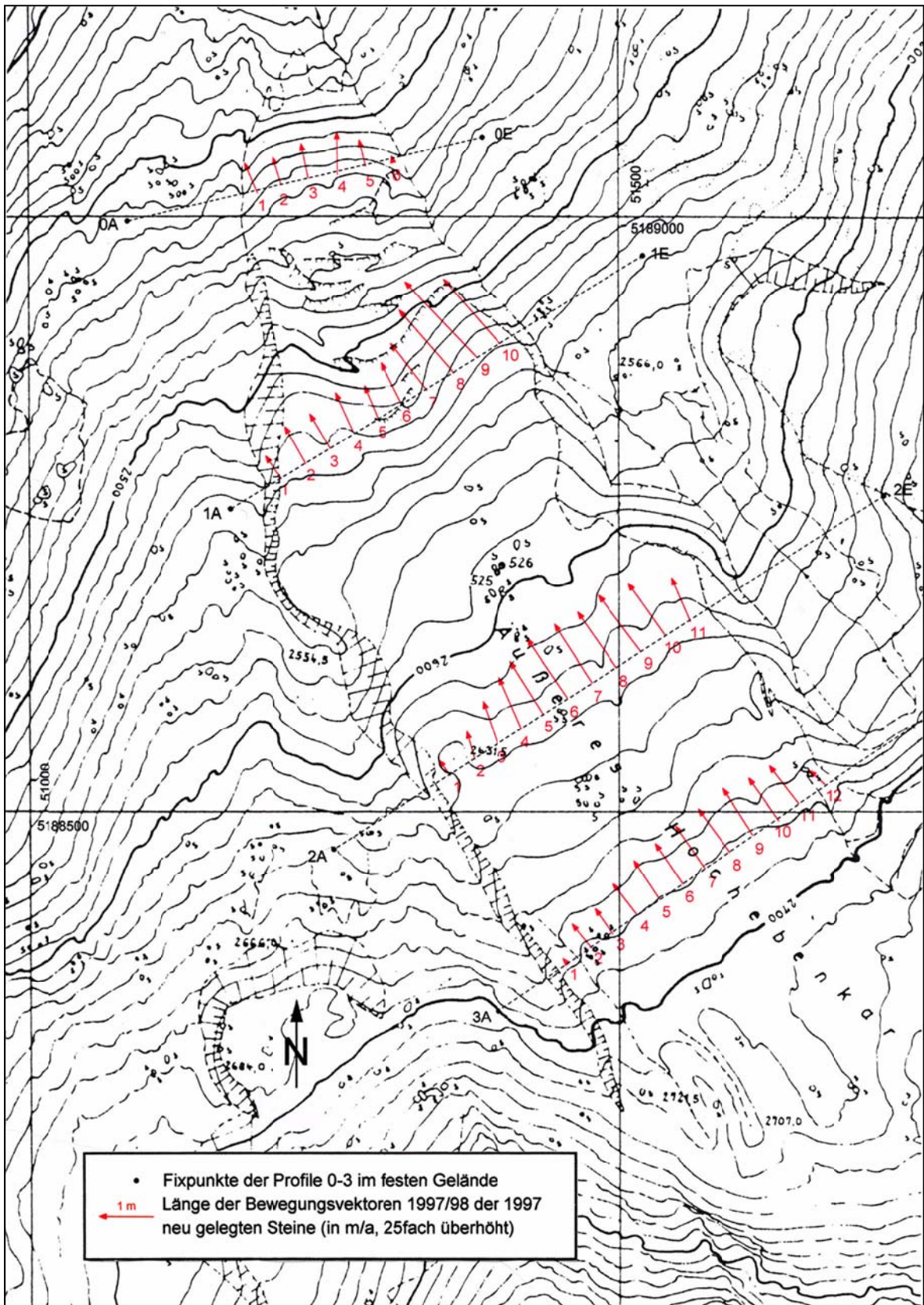


Abb. 27: Die Bewegung der Steine neu in den Linien 0 bis 3 1997-1998  
 (Kartengrundlage: Karte 1 1977 1:5000)

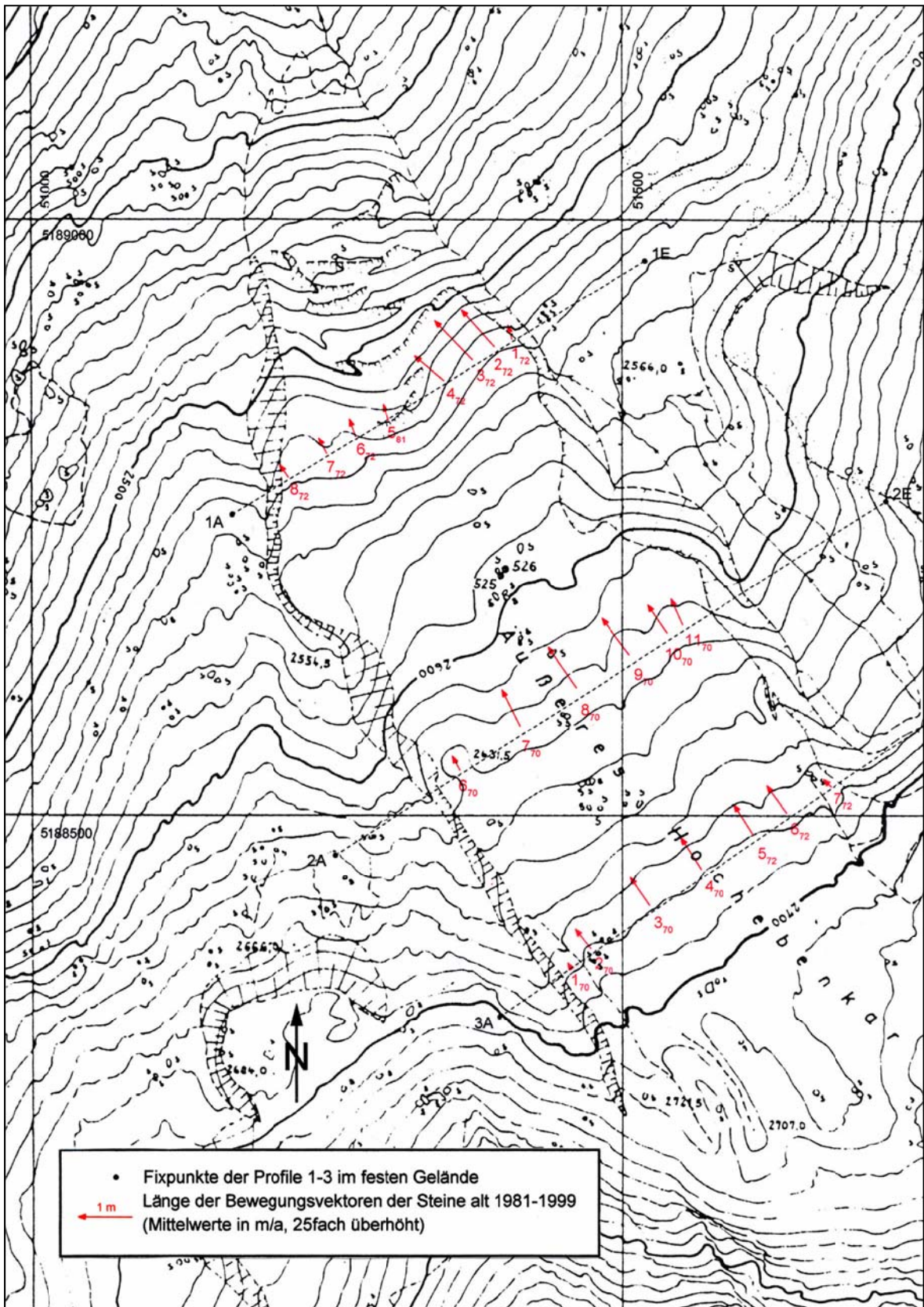


Abb. 28: Die mittlere Bewegung der Steine alt in den Linien 1 bis 3 1981-1999 (Kartengrundlage: Karte 1 1977 1:5000)



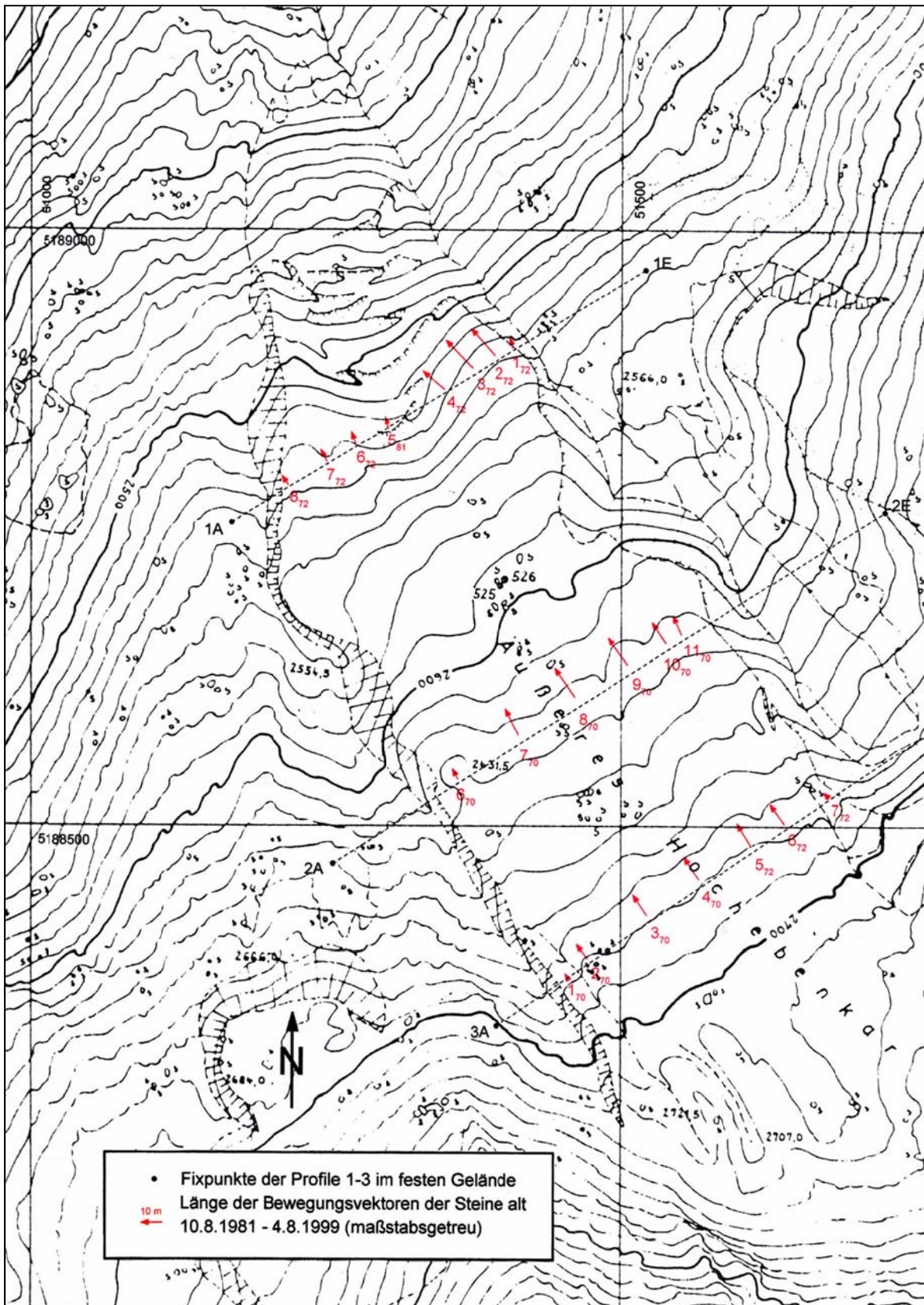


Abb. 29: Die Gesamtbewegung der Steine alt in den Linien 1 bis 3 1981-1999  
(Kartengrundlage: Karte 1 1977 1:5000)

Das maßstabsgetreue Einzeichnen der Bewegung der Steine in einer Karte ermöglicht es, die Geländeneigung im Fließweg der Steine ( $\alpha$ ) näherungsweise zu ermitteln und mit der Neigung der Bewegungsvektoren ( $\sigma$ ) zu vergleichen. Auf diese Weise kann die Relativbewegung der Steine zur Oberfläche (vgl. Abb. 14) bestimmt werden, wodurch Aussagen über die Dickenänderung des Blockgletschers im Bereich der Profile gemacht werden können. Für exakte quantitative Angaben würde man eine aktuelle Karte des Blockgletschers benötigen. Qualitative Aussagen sind jedoch auch mit Hilfe von Karten älteren Aufnahmestandes möglich, vorausgesetzt, die Oberflächengestalt des Blockgletschers hat sich seit der Kartenaufnahme nicht wesentlich verändert. Auf die Karte 1 1977 trifft dies zu. Sie eignet sich aber auch auf Grund der ihr zugrundeliegenden exakten Auswertung sehr gut als Grundlage für die hier angestrebte Analyse.

Der Vergleich der Neigung der Bewegungsvektoren mit der aus der Karte 1 1977 ermittelten Geländeneigung im Fließweg der Steine liefert folgendes Ergebnis: im Profil 3 verlaufen die Bewegungsvektoren annähernd parallel zur Oberfläche ( $\sigma = \alpha$ ), d.h. der Blockgletscher kann seine Oberfläche halten bzw. ist stationär (i.e. er bekommt gleich viel Nachschub wie durch die Bewegung abtransportiert wird); im Profil 2 sind die Vektoren durchwegs relativ zur Oberfläche nach unten gerichtet ( $\sigma > \alpha$ ), d.h. der Blockgletscher wird in diesem Bereich, möglicherweise durch das Ausschmelzen des im Permafrost enthaltenen Eises und/oder durch Änderungen der Dehnungsrate bei zunehmenden Fließgeschwindigkeiten, dünner; im untersten Profil dagegen verhält es sich umgekehrt: die Bewegungsvektoren weisen durchwegs relativ zur Oberfläche nach oben ( $\sigma < \alpha$ ), was bedeutet, daß der Blockgletscher im Bereich von Profil 1 an Dicke zugenommen hat bzw. zunimmt. Die hier festgestellten Dickenänderungen entsprechen im wesentlichen dem Bild, daß sich bereits aus den Dickenänderungen im Längsprofil (vgl. Kapitel 5.2.1) sowie in den Profilen 1 bis 3 (vgl. Kapitel 5.3.1) ergeben hat. Im oberen Bereich hält der Blockgletscher seine Oberfläche, im Bereich von Profil 2 sinkt er kontinuierlich ein und im unteren Bereich werden das Bewegungsverhalten und die Dickenänderung des Blockgletschers stark von der Geländekante, über die sich der Blockgletscher ins Tal schiebt, beeinflusst. Solange das Abrutschen/Abreißen der unteren Zungenpartie in Folge des steilen Geländes unterhalb der Geländekante noch nicht abgeschlossen war, hat der Blockgletscher im Bereich von Profil 1 ständig an Dicke verloren. Sobald dieser Prozeß jedoch beendet war, hat er - wie aus den Dickenänderungen im Längsprofil (vgl. Abb. 19) eindeutig hervorgeht - wieder an Dicke zugenommen. In Kapitel 5.3.1 wurde bereits darauf hingewiesen, daß der Prozeß des Abreißen unter Umständen schon Ende der 70er Jahre abgeschlossen war. Die aus dem Vergleich der Neigung der Bewegungsvektoren mit der Neigung des Geländes abgeleitete Dickenzunahme seit (mindestens) 1981 könnte diese Annahme bekräftigen. Für definitive Aussagen ist die vorliegende, rein qualitative Analyse aber nicht geeignet.

## 5.4 Die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar

Das interessanteste Ergebnis der Bewegungsmessungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar sind zweifelsohne die seit Beginn der Messungen festgestellten Geschwindigkeitsschwankungen. Sie können zudem als **Zusammenfassung** der bisher durchgeführten Messungen angesehen werden, da sich alle in den vorhergehenden Kapiteln erläuterten Meßergebnisse darunter subsumieren lassen.

Abb. 30 (vgl. auch Tab. 15) zeigt die mittlere Fließgeschwindigkeit der Steine in den Linien 0 bis 3 von Beginn der geodätischen Messungen an bis heute. Abb. 31 (vgl. auch Tab. 16) zeigt dasselbe für die jeweils schnellsten Steine der Linien 1 bis 3.

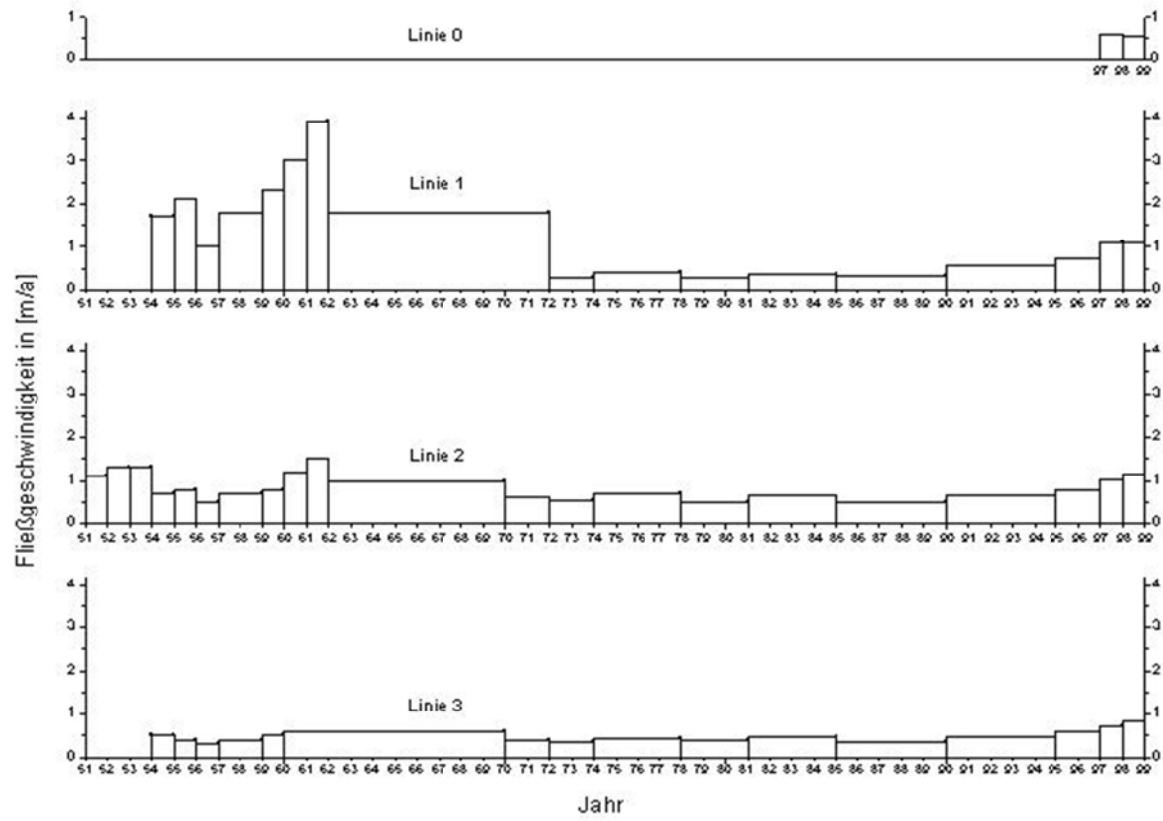
Bei der Besprechung der Diagramme ist folgendes zu beachten: Da die neuen Steine der Steinlinien 1 bis 3 erst im September 1997 neu ins Profil gelegt wurden, wurde für das Meßjahr 1997/98 noch das Mittel der alten Steine (vgl. Zusammenstellung in Kapitel 5.1) dargestellt. Der 'Sprung' von den alten auf die neuen Steine wurde erst von 1998 auf 99 berücksichtigt, indem man für diesen Meßzeitraum den Mittelwert aus dem Mittel der Steine alt und neu gebildet hat. Die Mittelwerte der Steine alt und neu stimmen ohnehin bis auf wenige cm überein. Durch das 'Anhängen' der neuen Steinlinien an die alten Steine können ab dem Jahr 2000 ausschließlich die 1997 neu gelegten Steine eingemessen bzw. zur Mittelbildung herangezogen werden. Bezüglich der Linie 0, die erst am 24.9.1997 angelegt und eingemessen wurde, ist zu erwähnen, daß zur Ermittlung der Jahresbewegung 1997/98 der linear extrapolierte Wert aus Tab. 13 mit dem Faktor 1,09 multipliziert wurde. Durch die am 7.8.1997 sowie am 24.9.1997 erfolgte Einmessung der in unmittelbarer Nähe (knapp unterhalb) von Profil 0 liegenden Steine Z1 und Z2 (bereits 1995 im Zuge der Vorarbeiten zur Anlage von Steinlinie 0 angelegt, vgl. Tab. 8) sowie derjenigen weiß markierten Punkte der Querprofile 0 bis 3 (vgl. Zusammenstellung in Kapitel 4.2.3.2), die dann zu Steinen umfunktioniert wurden, hatte sich gezeigt, daß im unteren und mittleren Abschnitt des Blockgletschers die Bewegung im Sommer größer war als im Jahresdurchschnitt. Für die Linie 0 ergab sich aus der in den Sommermonaten erfolgten Bewegung der Steine Z1 und Z2 sowie des Steines 5 der Linie 0 (identisch mit einem der weiß markierten Punkte des Querprofils) für das tatsächliche Jahresmittel ein Unterschied von +9% gegenüber dem in Tab. 13 ausgewiesenen Wert. Auch in den Linien 1 bis 3 müßten die Mittel für die Jahresbewegung der neuen Steine 1997/98 mit einem bestimmten Faktor multipliziert werden. Die Berechnungen haben ergeben, daß der Multiplikationsfaktor in Linie 0 am größten ist und nach oben hin (etwa 1,03 für Linie 1, 1,00 für Linie 2 und 0,98 für Linie 3)

abnimmt. Zur Ermittlung der tatsächlichen mittleren Jahresbewegung 1997/98 in den Linien 1 bis 3 konnte in diesem Fall aber auf die alten Steine zurückgegriffen werden.

Abb. 30 bzw. 31 geben einen guten Überblick über die Meßzeiträume, d.h. wann bzw. in welchen Abständen in den Linien 1 bis 3 Nachmessungen durchgeführt wurden. In Tab. 15 bzw. 16 kommt zudem die zunehmende Präzision der Messungen durch die Verwendung der Tachymeterlatte ab 1972 bzw. den Einsatz des elektronischen Entfernungsmessers seit 1981 im Aufrunden der Beträge (bis 1970 auf dm, von 1972 bis 1981 auf 5 cm, ab 1981 auf cm) zum Ausdruck.

Der Vollständigkeit halber seien hier auch die von Pillewizer mittels der terrestrischen Photogrammetrie erhaltenen Fließgeschwindigkeiten erwähnt, die sich gut an die vorliegenden Meßreihen (Tab. 15 u. 16) anhängen lassen. Pillewizer hat allerdings in seinen Arbeiten nur die maximalen Geschwindigkeiten angegeben. Für die Periode 1953-55 kommt er auf Maximalwerte von 3,57 m/a im Profil 1, 1,53 m/a im Profil 2 und 0,85 m/a im Profil 3. Das oberste Profil hatte er bereits 1938 aufgenommen, wodurch er für den Zeitraum 1938-53 im Profil 3 eine maximale Bewegung von 0,75 m/a ermitteln konnte. Der Vergleich mit den Anfang der 1950er Jahre von Vietoris gemessenen Geschwindigkeiten der schnellsten Steine (vgl. Tab. 16) zeigt, daß die Pillewizer'schen Beträge insbesondere in den Linien 2 und 3 sehr gut mit den Steinlinienmessungen übereinstimmen. In Linie 1 sind auf Grund des steilen, unruhigen Geländes sowohl die von Pillewizer als auch die von Vietoris ermittelten Verschiebungsbeträge nur mit Vorbehalt zu deuten. Der Vergleich würde aber bedeuten, daß die maximale Fließgeschwindigkeit im Meßjahr 1953-54 in Linie 1 noch über dem von Pillewizer ermittelten Betrag von 3,57 m/a lag. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten konnten indes aus dem von Pillewizer angefertigten Diagramm zur Geschwindigkeitsverteilung 1953-55 in den drei photogrammetrischen Profilen (vgl. Abb. 26 bzw. Pillewizer, 1957, S. 43: Diagrammtafel 2) abgeleitet werden. Für die Periode 1953-55 ergaben sich Mittelwerte von 2,2 m/a für Profil 1, 0,9 m/a für Profil 2 und 0,6 m/a für Profil 3. Das Mittel im Profil 3 für den Zeitraum 1938-53 wurde auf Grund der Annahme, daß die mittlere Geschwindigkeit etwa 2/3 der Geschwindigkeit des schnellsten Steines entspricht (vgl. Tab. 16), berechnet und beträgt 0,5 m/a. Die Pillewizer'schen Daten fügen sich demnach gut in das Bild der sich aus den Steinlinienmessungen ergebenden Geschwindigkeitsschwankungen ein.











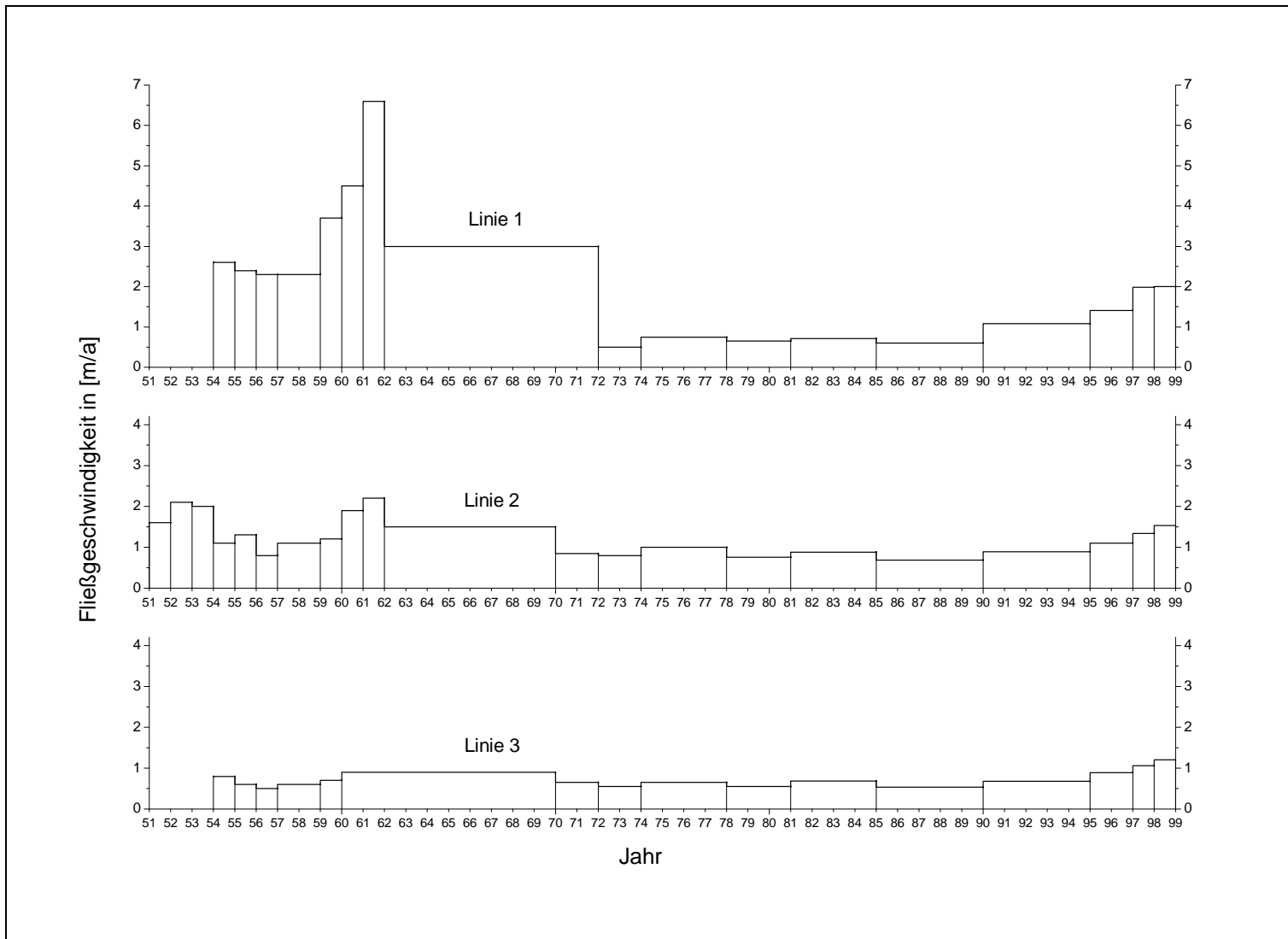


Abb. 31: Die Fließgeschwindigkeiten der schnellsten Steine in den Linien 1 bis 3 1951 bis 1999



Aus Abb. 30 ist ersichtlich, daß der Verlauf der Geschwindigkeitsschwankungen seit Beginn der Messungen **in allen 3 Linien annähernd gleich** ist. Die Fließgeschwindigkeiten nehmen aber nicht generell von oben (Linie 3) nach unten (Linie 1) zu, wie Pillewizer und Vietoris angenommen haben. Von 1972 bis 1997 ist die Bewegung eindeutig in der mittleren Linie am größten und nimmt gegen das Ende hin wieder ab. Nur in den Zeitabschnitten, in denen in allen 3 Linien eine rasche Beschleunigung der Bewegung zu verzeichnen ist (Mitte der 50er und Mitte bis Ende der 80er Jahre), nimmt die Bewegung von oben nach unten hin zu.



Foto 8: Die große verschüttete Querspalte bei etwa 2500 m  
(Aufnahme: B. Schneider, 5.8.1998, wenige Meter  
oberhalb der Spalte in Richtung talauswärts)

Es scheinen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar demnach **zwei verschiedene Bewegungsdynamiken** vorzuliegen: der 'Normalzustand', in dem sich der Blockgletscher mit mehr oder weniger gleichbleibender Geschwindigkeit talabwärts bewegt, wobei die Bewegung im Bereich von Profil 2 am größten ist; und sogenannte 'außergewöhnliche Perioden', in denen die Bewegung vor allem im unteren Abschnitt des Blockgletschers plötzlich stark zunimmt und der mittlere und obere Bereich (mit nach oben nachlassender Wirkung) nachziehen.

Die Annahme der generellen Zunahme der Geschwindigkeit von oben nach unten (vgl. Pillewizer, 1957 bzw. Viotoris, 1972) entstand genau in einer solchen außergewöhnlichen Periode, nämlich in der Zeit, in der sich die untere Zungenpartie des Blockgletschers in Folge der starken Zunahme des Gefälles unterhalb der Geländekante vom übrigen Blockgletscher löste (vgl. Kapitel 5.2.1).

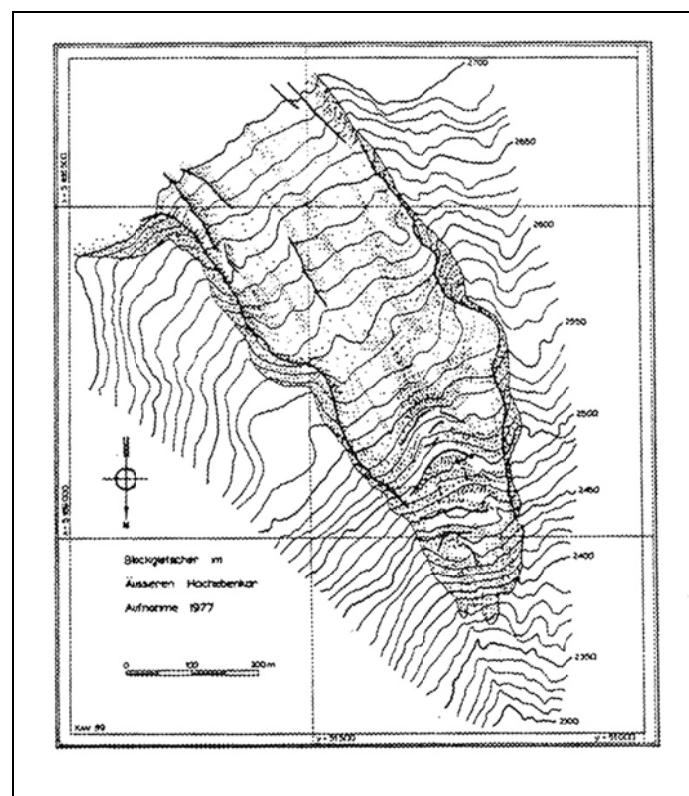


Abb. 32: Studienkarte 1:10000 des Äußeren Hochebenkar-Blockgletschers, Stand 1977 (Kaufmann 1996, S. 147)

Auf Grund der Meßlücke der 1960er Jahre läßt sich nicht genau sagen, wann dieses Ereignis beendet war. Spätestens aber Anfang der 1970er Jahre scheint sich der Normalzustand wieder eingestellt zu haben, der dann an die 20 Jahre angehalten hat. Das würde auch mit der bereits mehrfach geäußerten Annahme, das Abreißen der unteren Zungenpartie sei bereits Ende der 1970er Jahre weitgehend abgeschlossen gewesen (vgl. Kapitel 5.3.1 u. 5.3.2), in Einklang stehen. Die in der Studienkarte 1977 (= Karte 2 1977, vgl. Abb. 32) eingezeichnete große bogenförmige Querspalte bei 2500 bis 2510 m, die sich fast über die gesamte Breite des Blockgletschers zieht (vgl. auch Foto 8), scheint dies ebenfalls zu beweisen.

Erst seit Mitte bis Ende der 1980er Jahre ist, nachdem sich der Blockgletscher vom Ablösen der 'alten' Zungenpartie erholt hat, wieder eine Beschleunigung der Bewegung in allen 3 Linien zu erkennen. Eine Zunahme der Geschwindigkeit von oben nach unten ist hier allerdings, das Meßjahr 1997/98 ausgenommen, nicht zu erkennen.

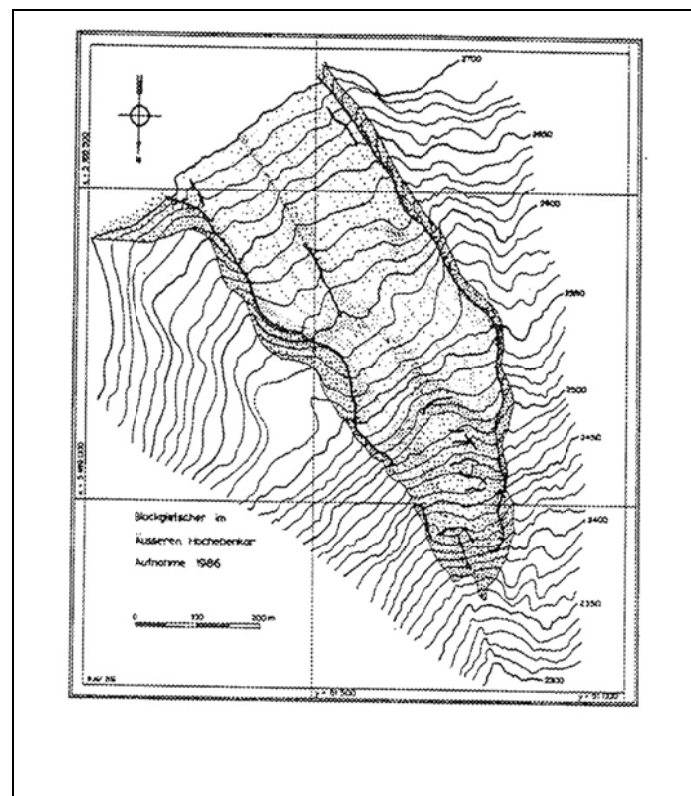


Abb. 33: Studienkarte 1:10000 des Äußeren Hochebenkar-Blockgletschers, Stand 1986 (Kaufmann 1996, S. 148).

Die Geschwindigkeiten sind aber im Gegensatz zum Normalzustand seit 1990 in Linie 1 größer als in Linie 3, was durchaus auf eine außergewöhnliche Periode hinweist. In Abb. 31, die den Verlauf der Fließgeschwindigkeiten der schnellsten Steine dokumentiert, treten die Unterschiede zwischen dem Normalzustand der Blockgletscherbewegung und außergewöhnlichen Ereignissen noch klarer hervor. Hier zeigt sich für die beschleunigte Bewegung seit Mitte/Ende der 1980er Jahre eindeutig eine Geschwindigkeitszunahme von oben nach unten. Wie den bisherigen Ausführungen zu entnehmen ist, befindet sich das ´gesunde´ Ende des Blockgletschers gegenwärtig nicht weit unterhalb von Profil 1 bei etwa 2500 m (vgl. Abb. 19 in Kapitel 5.2.1). Die Beschleunigung der Bewegung in den letzten 10 bis 15 Jahren dürfte, ähnlich wie in den 1950er Jahren, vor allem auf das Abrutschen im steilen Gelände unterhalb der Geländekante zurückzuführen sein. Daß aber auch die verhältnismäßig hohen Lufttemperaturen der letzten Jahre dabei eine Rolle spielen könnten, wird noch zu zeigen sein (vgl. Kapitel 6).

In der Studienkarte 1986 (= Karte 1986, vgl. Abb. 33) ist zudem im Bereich von Profil 1 eine relativ große, bogenförmige Spalte zu sehen (vgl. auch den in Abb. 19 dargestellten Längsprofilverlauf 1997/98 im Bereich von Profil 1), was darauf hinweist, daß der Blockgletscher hier erneut aufzureißen beginnt. Der Prozeß des Abreißen der unteren Zungenpartie könnte sich also - bei anhaltendem Vorrücken des Blockgletschers - früher oder später wiederholen.

## 6 **Schlußfolgerungen und Ausblick**

An Hand der detaillierten Erläuterung der Meßergebnisse der bisher am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar durchgeführten Bewegungsmessungen konnte gezeigt werden, daß die Bewegungsdynamik des Blockgletschers stark von der besonderen Reliefsituation im Äußeren Hochebenkar beeinflußt ist. In den seit Beginn der Messungen festgestellten kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen spiegelt sich unter anderem das wiederholte Abrutschen bzw. Abreißen der Blockgletscherzunge als Folge des steileren Geländes unterhalb der Geländekante, über die sich der Blockgletscher ins Tal schiebt, wider. Alle anderen Ergebnisse - wie die Unterschiede im Vorrücken des Zungenendes, die Dickenänderungen in den Profilen oder die Bewegung im unteren Teil des Blockgletschers - lassen sich diesem Vorgang zuordnen. Wegen der speziellen topographischen Situation kann das a-typische Bewegungsverhalten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar aber nur schwer mit dem anderer Blockgletscher verglichen werden. Oder vielleicht doch?

### 6.1 **Schwankungen der Lufttemperatur als Ursache von kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen auf Blockgletschern?**

Die großen Fließgeschwindigkeiten der 1950er und 1960er Jahre sowie die Beschleunigung der Bewegung seit Mitte der 1980er Jahre scheinen auf den ersten Blick ausschließlich topographisch bedingt zu sein. Die kleineren Geschwindigkeitsschwankungen in der Zeit dazwischen (vom Anfang der 1970er Jahre bis etwa 1985) lassen sich dagegen nicht so ohne weiteres erklären. Bei der Frage nach den möglichen Ursachen kurzfristiger Bewegungsschwankungen auf Blockgletschern wird dem klimatischen Einfluß eine immer entscheidendere Rolle zugesagt, wobei der Lufttemperatur die größte Bedeutung zukommt. Es liegen jedoch meines Wissens bis dato keine Untersuchungen vor, in denen die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen an einem Blockgletscher direkt mit den lokalen bzw. regionalen Klimaschwankungen eines Gebietes in Verbindung gebracht werden konnten. Wie bereits eingangs erwähnt, bietet sich eine solche aber gerade für den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (auf Grund der langen Meßreihe sowie der langjährigen Datenreihen der benachbarten Klimastationen Obergurgl und Vent) an.

Bei dem Versuch, die Temperaturdaten der Stationen Obergurgl und Vent (vgl. Tab. 17 u. 18) mit den Bewegungsschwankungen des Blockgletschers in Beziehung zu setzen, hat sich gezeigt, daß sich die **Jahresmittel der Lufttemperatur** am besten für eine Korrelation eignen (vgl. Abb. 34). Mit den Temperaturmitteln des glaziologischen Winterhalbjahres (Oktober bis April) bzw. des glaziologischen Sommers (Mai bis September) konnte kein so eindeutiges Ergebnis erzielt werden. Extrem kalte bzw. milde Winter und extrem kalte bzw. heiße Sommer spiegeln sich aber ohnehin im Jahresmittel wider. Da die Geschwindigkeitsschwankungen in den Steinlinien 1 bis 3 annähernd parallel verlaufen (vgl. Kapitel 5.4), konnte sich der angestrebte Vergleich zwischen den Jahresmitteln der Lufttemperatur und der Bewegung der Steinlinien auf eine Linie konzentrieren. Linie 2 wurde ausgewählt, da die Blockgletscheroberfläche im Bereich von Profil 2 verhältnismäßig gleichmäßig und ungestört ist. Außerdem ist der Datensatz in Linie 2 um 3 Jahre länger als in den beiden anderen Linien. Um die jährlichen Temperaturdaten an die mehr oder weniger große Meßlücken aufweisenden Bewegungsdaten anzugleichen, wurden sie den Meßzeiträumen in Linie 2 entsprechend gemittelt, und zwar unter der Annahme, daß sich die Jahresmitteltemperatur des Vorjahres bereits auf das darauffolgende Meßjahr auswirkt (d.h. z.B.: Temperatur 1955 wirkt sich direkt auf Bewegung 1956/57 aus). Das auf diese Weise erzielte Ergebnis ist verblüffend.

Wie aus Abb. 34 ersichtlich ist, **korrelieren** sowohl die Temperaturkurve der Station Obergurgl als auch jene der Station Vent **in weiten Bereichen ausgesprochen gut** mit der Kurve der Geschwindigkeitsschwankungen. Besonders überraschend ist, daß heiße Jahre/Abschnitte eine Geschwindigkeitszunahme zur Folge haben, kalte Jahre/Abschnitte dagegen zu einer Abnahme der Fließgeschwindigkeit führen, und nicht umgekehrt, wie man eigentlich erwarten würde. Auffallend ist auch, daß die Kurven nur in jenen Zeitabschnitten weniger gut korrelieren, in denen die Bewegung des Blockgletschers reliefbedingt beschleunigt wird (Mitte der 1950er und Mitte der 1980er Jahre).

Zwischen der Bewegung der Linie 2 und der Lufttemperatur von Obergurgl ergibt sich für den Zeitraum von 1959 bis 1984, in dem der Verlauf der Kurven exakt übereinstimmt, über die Berechnung des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten eine Korrelation von 0,83.



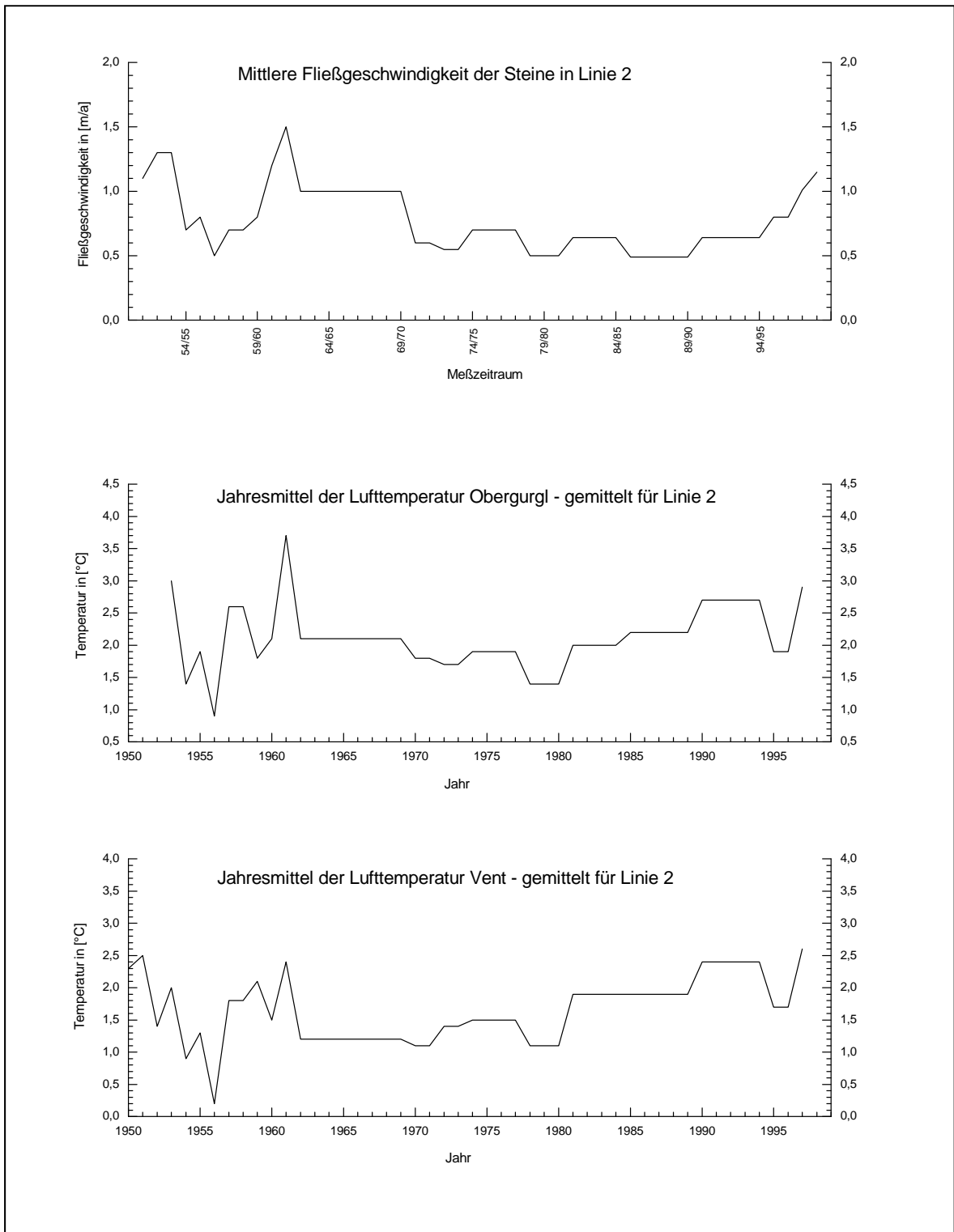


Abb. 34: Die mittlere Fließgeschwindigkeit der Steine in Linie 2 verglichen mit den Jahresmitteln der Lufttemperatur der Stationen Obergurgl und Vent 1951 bis 1998

Wie die Abbildung zeigt, wirkt sich die Mitteltemperatur eines Jahres bzw. mehrerer zu einer Einheit zusammengefaßter Jahre dabei unmittelbar auf die Fließgeschwindigkeiten

des im selben Jahr beginnenden Meßjahres bzw. Meßzeitraumes aus. Der Blockgletscher scheint also noch rascher auf kurzfristige Temperaturschwankungen zu reagieren als angenommen. Besonders rasch scheint die Reaktion auf temperaturmäßig sehr extreme Jahre zu erfolgen. Die Temperatur des Jahres 1956 beispielsweise, das mit einer Jahresmitteltemperatur von 0,9 °C (Obergurgl) bzw. 0,2 °C (Vent) das kälteste Jahr seit Beginn der Bewegungsmessungen ist, hat das Bewegungsverhalten von 1956 auf 1957 direkt beeinflußt. Der extrem kalte Winter 1955/56 (mit einer monatlichen Durchschnittstemperatur von -3,4 °C) hat daran großen Anteil. Die schnelle Reaktion des Blockgletschers auf das nicht ganz so kalte Jahr 1954 könnte, da der Winter 1953/54 mit -2 °C Durchschnittstemperatur relativ mild war, auf den kühlen Sommer 1954 (mit 7,2 °C monatlicher Durchschnittstemperatur immerhin der drittkühlste Sommer seit 1951) zurückzuführen sein. Das heißeste Jahr seit Beginn der Bewegungsmessungen war mit einer Jahresmitteltemperatur von 3,7 °C das Jahr 1961. Die Geschwindigkeitszunahme von 1961 auf 1962 auf 1,5 m/a (gegenüber 1,2 m/a im vorhergehenden Meßjahr) ist eine unmittelbare Folge des sehr heißen Sommers 1961, dem ein auffallend milder Winter 1960/61 vorausgeht. Die Beispieljahre zeigen, daß selbst in den Perioden, in denen die Fließgeschwindigkeiten auf den ersten Blick ausschließlich topographisch bedingt zunehmen, die Temperatur einen großen Einfluß auf die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen zu haben scheint. Gerade die (mit 2,9 °C bzw. 3,2 °C gegenüber dem langjährigen Mittel von 2,1 °C; vgl. Tab. 17) verhältnismäßig warmen Jahre 1997 bzw. 1998 weisen darauf hin, daß die jüngste Zunahme der Fließgeschwindigkeiten am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar auch andere Ursachen haben kann und nur zum Teil topographisch bedingt ist. Die Messungen der nächsten Jahre werden darüber näheren Aufschluß geben.

Zugegebenermaßen ist die Beziehung zwischen der Lufttemperatur und der Bewegungsdynamik eines Blockgletschers sehr komplex und es spielen zahlreiche andere Faktoren (wie Niederschlag, Schneehöhe, Wärmedämmung auf Grund der Schneedecke etc.) bei der Beurteilung des klimatischen Einflusses auf das Bewegungsverhalten von Blockgletschern mit. Die gute Korrelation zwischen den Fließgeschwindigkeiten des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar und den Lufttemperaturreihen der benachbarten Klimastationen Obergurgl und Vent zeigt aber eindeutig, daß die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen auf Blockgletschern unmittelbar mit den kurzfristigen Schwankungen der Lufttemperatur im Gebiet des Blockgletschers zusammenhängen. Damit ist zwar eine mögliche Ursache für die auch an anderen Blockgletschern festgestellten Geschwindigkeitsschwankungen genannt, über den **offensichtlich von der Temperatur gesteuerten Bewegungsmechanismus** kann man allerdings zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur **Spekulationen** anstellen.

Das festgestellte, für Permafrosterscheinungen a-typische Temperatur-Bewegungs-Verhältnis (Geschwindigkeitszunahme bei hohen bzw. Geschwindigkeitsabnahme bei niederen Temperaturen) könnte etwa bedeuten, daß sich die kurzfristigen Bewegungsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (bzw. an Blockgletschern allgemein) nur im oberflächennahen Bereich, d.h. oberhalb des Permafrostspiegels in der Auftauschicht, abspielen. Denn der Permafrost im Inneren eines Blockgletschers reagiert, wie bereits mehrfach nachgewiesen werden konnte, auf klimatische Veränderungen (i.e. insbesondere Änderungen der Lufttemperatur) erst innerhalb mehrerer Jahre bis Jahrzehnte (vgl. u.a. Haerberli, 1994: 94). Die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher könnten daher folgendermaßen zustande kommen: in warmen Jahren ist die Auftauschicht größer und am Permafrostspiegel bildet sich ein Wasserspiegel, an dem die Auftauschicht abgleitet; in kalten Jahren ist die Auftauschicht weniger mächtig, der Permafrostspiegel liegt höher und es kommt zu keiner ausgeprägten Wasserfilm-Bildung bzw. das Gewicht der Auftauschicht reicht nicht aus für eine oberflächliche Bewegung, d.h. die Bewegung des Blockgletschers beschränkt sich auf die Bewegung des im Inneren des Blockgletschers liegenden Permafrostkörpers. Auch die Schwankungen des in der Auftauschicht vorhandenen Wassers (verursacht durch Starkniederschläge, lange Schönwetterperioden, Schneeschmelze etc.) dürften eine große Rolle spielen. Je nach Wassermenge könnte das unter dem Blockschuttmantel befindliche Feinmaterial unterschiedlich stark aufgeweicht werden und sich die Auftauschicht damit verschieden schnell bewegen. Damit könnte unter Umständen auch erklärt werden, weshalb sich Blockgletscher in den Sommermonaten schneller bewegen als im Jahresdurchschnitt (vgl. u.a. die Ausführungen am Beginn von Kapitel 5.4 oder die Ergebnisse der jahreszeitlichen Bewegungsmessungen am Gruben-Blockgletscher). Genauso gut ist es möglich, daß verstärkter 'intrapermafrost groundwater flow' (vgl. u.a. Vonder Mühl, 1992) in besonders warmen bzw. niederschlagsreichen Jahren zum Gleiten des Blockgletschers an der Permafrostbasis führt.

## **6.2 Anregung für zukünftige Forschungsaktivitäten in Bezug auf den Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar**

Den Ausführungen in Kapitel 6.1 zufolge könnte der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar in Zukunft zu einem gut geeigneten Studienobjekt werden, an dem sich der Einfluß des lokalen Klimas auf die Bewegungsdynamik von Blockgletschern erforschen und so die Ursachen kurzfristiger Bewegungsschwankungen auf Blockgletschern im Detail ergründen lassen. Dabei müßte unter anderem an eine großangelegte Analyse der Klimadatenreihen (inkl. der Niederschlagssummen) der nahegelegenen Stationen Obergurgl und Vent gedacht werden, welche im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich war. Interessant wäre in diesem Zusammenhang auch eine Vergleichsstudie mit dem Bewegungsverhalten der seit Jahrzehnten regelmäßig beobachteten Ötztaler Gletscher Hintereisferner, Kesselwandferner und Vernagtferner. Denn die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar scheinen in etwa gegengleich zu den Massenbilanzänderungen besagter Gletscher (vgl. u.a. Stuefer 1994, S. 13: Abb. II.4.1) bzw. der Alpengletscher allgemein (vgl. u.a. Patzelt, 1998, S. 86: Abb. 1) zu verlaufen.

Neben der Weiterverfolgung des Bewegungsverhaltens des Blockgletschers in Form der jährlichen Nachmessung der Querprofile und Steinlinien sollte auch die Realisierung und Ausweitung der für die nächsten Jahre geplanten sonstigen Forschungsaktivitäten am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (vgl. Kapitel 4.3) auf jeden Fall angestrebt werden. Dies betrifft unter anderem eine vom Institut für Angewandte Geodäsie der TU Graz - in Anlehnung an die Forschungsarbeiten am Dösener Blockgletscher - mit Hilfe moderner digitalphotogrammetrischer Methoden zu ermittelnde dreidimensionale Deformationsanalyse des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar (vgl. Kaufmann, 1996: 160). Damit könnten erstmals flächendeckende Aussagen über die in der Vergangenheit am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar stattgefundenen Veränderungen im Bereich der Blockgletscheroberfläche (Hebung bzw. Senkung, Dehnung bzw. Stauchung, Ab- bzw. Zunahme der Fließgeschwindigkeit etc.) gemacht werden. Sie könnten die in der vorliegenden Arbeit erläuterten Vorstellungen vom Bewegungsverhalten des Blockgletschers und dessen mögliche Ursachen verifizieren bzw. konkretisieren. Geophysikalische Messungen, Niederschlags- und Temperaturmessungen am bzw. im Umfeld des Blockgletschers, die Ermittlung der Abfluß- und Temperaturschwankungen der aus dem Blockgletscher hervortretenden Quellen sowie jahreszeitliche Geschwindigkeitsmessungen könnten darüber hinaus weitere wichtige Hinweise über den Einfluß des lokalen bzw. auch des überregionalen Klimas auf die Bewegungsdynamik des Blockgletschers liefern.

Es wäre schade, wenn sich die Blockgletscherforschung in Österreich auf immer neue Studienobjekte verlagern würde, ohne die an anderen österreichischen Blockgletschern er-

probten Untersuchungsmethoden auch am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, den mit Abstand am längsten untersuchten Blockgletscher in Österreich, anzuwenden.

## DATENQUELLEN

### **Bewegungsdaten vom Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar:**

für den Zeitraum 1938-1972: Pillewizer, 1938a u. 1957

Victoris, 1958 u. 1972

diverse handschriftliche Aufzeichnungen, Skizzen, Schriftwechsel etc. von  
W. Pillewizer und L. Vietoris (gesammelt im Archiv von H. Schneider)

für den Zeitraum 1972-heute: Datenmaterial von H. Schneider, Inst. f. Mathematik der Univ. Innsbruck

### **Klimadaten von Obergurgl und Vent:**

Inst. f. Meteorologie und Geophysik der Univ. Innsbruck

Inst. f. Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- u. Forstwirtschaft der Univ. Innsbruck

## **KARTENGRUNDLAGEN (vollständige Auflistung)**

### **Karte 1936**

Alpenvereinskarte 1:25000 Öztaler Alpen / Blatt Gurgl, mit 20 m Isohypsen:  
genereller Aufnahmestand 1938

Bereich des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar bereits 1936 von W. Pillewizer terrestrisch-photogrammetrisch aufgenommen (siehe Fußnote in Vietoris 1972, S. 177)  
erschienen 1949

### **Karte 1953**

Karte 1:10000 vom Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar, mit 10 m Isohypsen:  
Aufnahmestand 1953 (terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme von W. Pillewizer 1953)  
ausgewertet und erstellt von W. Pillewizer  
veröffentlicht in Pillewizer 1957, S. 44

### **Karte 1969**

Schichtlinienplan 1:5000 der beiden Hochebenkar-Blockgletscher:  
Bereich der beiden Blockgletscher mit 5 m Isohypsen, Umgebung mit 10 m Isohypsen  
Aufnahmestand 1969 (Gletscherbildflug im Oktober 1969)  
photogrammetrische Auswertung durch P. List (Österreichische Elektrizitätswirtschafts AG, Verbundgesellschaft Wien)

→

Grundlage für Karte 'Verbreitung von Permafrost im Bereich der Hochebenkar-Blockgletscher (Ötztal-Tirol)' 1:10000:  
kartographische Bearbeitung durch Alpenvereinskartographie Innsbruck  
Zungenende des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar (Rand, Schuttschürze) korrigiert durch G. Patzelt  
hrsg. v. W. Haerberli u. G. Patzelt 1983 (siehe Haerberli & Patzelt 1983: Karte 1)

### **Karte 1 1977**

Karte Gurgler Tal (Blatt 2119-5000) 1:5000, mit 10 m Isohypsen:  
Aufnahmestand 1977 (Befliegung Obergurgl am 7.9.1977)  
photogrammetrische Auswertung durch W. Giersig, Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. IIIId3-Photogrammetrie

→

vgl. auch Karte des Gurgler Ferners 1:10000, mit 10 m Isohypsen:  
genereller Aufnahmestand 1981 (Bildflug Obergurgl 1981)  
Bereich der Hochebenkar-Blockgletscher aber von Karte 1 1977 (s.o.) übernommen  
photogrammetrische Auswertung durch W. Giersig  
kartographische Bearbeitung durch A. Ingenhaeff (Alpenvereinskartographie Innsbruck)  
Gesamtleitung sowie glaziologische u. morphologische Bearbeitung durch G. Patzelt  
hrsg. v. G. Patzelt, Inst. f. Hochgebirgsforschung d. Univ. Innsbruck, 1986 (siehe Patzelt 1986: Kartenbeilage)

### **Karte 2 1977**

Studienkarte 1:10000 des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar, mit 10 m Isohypsen:  
Aufnahmestand 1977 (Befliegung Obergurgl am 7.9.1977)  
Luftbildauswertung durch B. Rieder (Höhenschichtenlinienplan 1:5000)  
kartographische Darstellung durch V. Kaufmann  
veröffentlicht in Kaufmann 1996, S. 147

**Karte 3 1977**

Luftbildplan / Orthophotokarte Gurgler Tal (Blatt 2119-5000) 1:5000, mit 20 m Isohypsen:  
Aufnahmestand 1977 (Befliegung Obergurgl am 7.9.1977)  
ausgewertet von W. Giersig, Amt der Tiroler Landesregierung, Abt.IIIId3-Photogrammetrie

**Karte 1986**

Studienkarte 1:10000 des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar, mit 10 m Isohypsen:  
Aufnahmestand 1986 (terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme 1986)  
Auswertung durch B. Rieder (Höhenschichtenlinienplan 1:5000)  
kartographische Darstellung durch V. Kaufmann  
veröffentlicht in Kaufmann 1996, S. 148



## **LUFTBILDER vom Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (Auswahl)**

### **Luftbild 1953**

Bildflug vom 31.8.1953, Waldbestandsaufnahme, Bundesamt für Eich- u. Vermessungswesen, Wien  
siehe Vietoris 1972, S. 178

### **Luftbild 1969**

Gletscherbildflug im Oktober 1969, im Zuge der Erstellung des Österreichischen Gletscherkatasters  
= Grundlage für Karte 1969

### **Luftbild 1971**

Bildflug im Sommer 1971, Gesamtbefliegung Tirol, Bundesamt für Eich- u. Vermessungswesen, Wien  
siehe Vietoris 1972, S. 179

### **Luftbild 1977**

Befliegung Obergurgl am 7.9.1977, Bundesamt für Eich- u. Vermessungswesen, Wien  
= Grundlage für die Karten 1, 2 u. 3 1977

### **Luftbild 1981**

Befliegung Obergurgl am 7.9.1981, Bundesamt für Eich- u. Vermessungswesen, Wien  
= Grundlage für Karte des Gurgler Ferners 1981

### **Luftbild 1997**

Gletscherbildflug am 8.9.1997, im Zuge der Erstellung des Österreichischen Gletscherkatasters 1997

## LITERATUR

ABELE, G., D. BARSCH, K. GARLEFF, W. HAEBERLI & T. HÖFNER, 1993: Aktuelle Geomorphodynamik im Hochgebirge. - In: BARSCH, D. & H. KARRASCH (Hrsg.): Geographie und Umwelt. 48. Deutscher Geographentag Basel 1991. Tagungsbericht und Wissenschaftliche Abhandlungen, S. 325-346.

ACKERT, R.P. Jr., 1998: A rock glacier/debris-covered glacier system at Galena Creek, Absaroka Mountains, Wyoming. - In: Geografiska Annaler 80A, S. 267-276.

ALBERTZ, J. & W. KREILING, 1989: Photogrammetrisches Taschenbuch. - Karlsruhe: Wichmann, 4. Aufl., 292 S.

ANDRES, W., H. OESCHGER, G. PATZELT, CH.-D. SCHÖNWIESE & M. WINIGER, 1993: Klima im Wandel. - In: BARSCH, D. & H. KARRASCH (Hrsg.): Geographie und Umwelt. 48. Deutscher Geographentag Basel 1991. Tagungsbericht und Wissenschaftliche Abhandlungen, S. 85-96.

BARSCH, D., 1969: Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin. - In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 8, S. 11-30.

BARSCH, D., 1977: Alpiner Permafrost - ein Beitrag zur Verbreitung, zum Charakter und zur Ökologie am Beispiel der Schweizer Alpen. - In: POSER, H. (Hrsg.): Formen, Formengesellschaften und Untergrenzen in den heutigen periglazialen Höhenstufen der Hochgebirge Europas und Afrikas zwischen Arktis und Äquator. (= Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, math.-physik. Klasse, 3. Folge 31), S. 118-141.

BARSCH, D., 1978: Rock glaciers as indicators of discontinuous Alpine Permafrost. An example from the Swiss Alps. - In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Permafrost, NRC-Ottawa, Vol. 1, S. 349-353.

BARSCH, D., 1983: Blockgletscher-Studien, Zusammenfassung und offene Probleme. - In: POSER, H. & E. SCHUNKE (Hrsg.): Mesoformen des Reliefs im heutigen Periglazialraum. (= Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, math.-physik. Klasse, 3. Folge 35), S. 133-150.

BARSCH, D., 1987a: Rock glaciers: an approach to their systematics. - In: GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.): Rock glaciers. London: Allen & Unwin, S. 41-44.

BARSCH, D., 1987b: The problem of the ice-cored rock glacier. - In: GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.): Rock glaciers. London: Allen & Unwin, S. 45-53.

BARSCH, D., 1988: Rockglaciers. - In: CLARK, M.J. (Hrsg.): Advances in Periglacial Geomorphology. Chichester: John Wiley & Sons, S. 69-90.

BARSCH, D., 1992: Permafrost Creep and Rockglaciers. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 175-188.

BARSCH, D., 1996: Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environments. - Berlin/Heidelberg: Springer, 331 S.

BARSCH, D. & G. HELL, 1975: Photogrammetrische Bewegungsmessungen am Blockgletscher Murtèl I, Oberengadin, Schweizer Alpen. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 11/2, S. 111-142.

BARSCH, D. & W. ZICK, 1991: Die Bewegungen des Blockgletschers Macun 1 von 1965-1988 (Unterengadin, Graubünden, Schweiz). - In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 35, S. 1-14.

BENEDICT, J.B., R.J. BENEDICT & D. SANVILLE, 1986: Arapaho rock glacier; a 25 year resurvey. - In: Arctic and Alpine Research 18, S. 349-352.

BERNHARD, L., F. SUTTER, W. HAEBERLI & F. KELLER, 1998: Processes of snow/permafrost-interactions at a high-mountain site, Murtèl/Corvatsch, Eastern Swiss Alps. - In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada, S. 35-41.

BERTHLING, I., B. ETZELMÜLLER, T. EIKEN & J.L. SOLLID, 1998: Rock Glaciers on Prins Karls Forland, Svalbard. I: Internal Structure, Flow Velocity and Morphology. - In: Permafrost and Periglacial Processes 9, S. 135-145.

CAPPS, S.R., 1910: Rock glaciers in Alaska. - In: Journal of Geology 18, S. 359-375.

CHAIX, A., 1919: Coulées de blocs (rock-glaciers, rock streams) dans le Parc National Suisse de la Basse-Engadine. - In: Société Physique et Histoire Naturelle, Genève, Compte Rendu 36/1, S. 12-15.

CHAIX, A., 1923: Les coulées de blocs du Parc National Suisse d'Engadine (Note préliminaire). - In: Le Globe 62, S. 1-35.

CHAIX, A., 1943: Les coulées de blocs du Parc National Suisse: Nouvelles mesures et comparaison avec les „rock streams“ de la Sierra Nevada de Californie. - In: Le Globe 82, S. 121-128.

CHESI, G., K. KRÄINER, W. MOSTLER & T. WEINOLD, 1999: Bewegungsmessungen am aktiven Block-gletscher Inneres Reichenkar mit der GPS-Methode. - In: CHESI, G. (Hrsg.): X. Internationale Geodätische Woche, Obergurgl, Inst. f. Geodäsie, Univ. Innsbruck, S. 223-227.

CLARK, D.H., E.J. STEIG, N. POTTER Jr. & A.R. GILLESPIE, 1998: Genetic variability of rock glaciers. - In: Geografiska Annaler 80A, S. 175-182.

CLARK, M.J. (Hrsg.), 1988: Advances in Periglacial Geomorphology. - Chichester: John Wiley & Sons, 481 S.

CORTE, A.E., 1987: Rock Glacier Taxonomy. - In: GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.): Rock glaciers. London: Allen & Unwin, S. 27-39.

CROSS, W. & E. HOWE, 1905: Geography and general geology of the Silverton Quadrangle, (Colorado). - In: U.S. Geol. Surv., Geol. Atlas of the United States, Folio Nr. 120, S. 1-25.

DOMARADZKI, J., 1951: Blockströme im Kanton Graubünden. - In: Ergebnisse der Wissenschaftlichen Untersuchungen des Schweizerischen Nationalparks Bd. 3 (N.F.), 24, S. 173-235.

ELCONIN, R.F. & E.R. LA CHAPELLE, 1997: Flow and internal structure of a rock glacier. - In: Journal of Glaciology 43, S. 238-244.

EMBLETON, C.E. & C.A.M. KING, 1968: Glacial and periglacial geomorphology. - London: Edward Arnold, 608 S.

EMBLETON-HAMANN, Ch., 1997: Naturgefahren in Österreich. Ursachen, Verbreitung, Schäden und Schutzmaßnahmen. - In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft 139, S. 197-230.

EVIN, M., 1987: Dynamique, repartition et age des glaciers rocheux des Alpes du Sud. - These de doctorat d'état, Universität Grenoble, 309 S.

EVIN, M. & A. ASSIER, 1982: Mise en évidence du mouvement sur le glacier rocheux du Pic d'Asti (Queyras, Alpes du Sud, France). - In: Revue de Géomorphologie Dynamique 31/4, S. 127-136.

FINSTERWALDER, R., 1931: Geschwindigkeitsmessungen an Gletschern mittels Photogrammetrie. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 19, S. 251-262.

FINSTERWALDER, S., 1928: Begleitworte zur Karte des Gepatschferners. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde 16, S. 20-41.

FRANCOU, B. & L. REYNAUD, 1992: 10 Year Surficial Velocities on a Rock Glacier (Laurichard, French Alps). - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 209-213.

FRENCH, H.M., 1996: The Periglacial Environment. - 2. Aufl., London: Longman, 341 S.

GAVRILOVA, M.K., 1993: Climate and Permafrost. - In: Permafrost and Periglacial Processes 4, S. 99-111.

GERHOLD, N., 1965: Die Blockgletscher - eine besondere Moränenform? - In: Jahresbericht des Bischöflichen Gymnasiums Paulinum in Schwaz 32, S. 1-24.

GERHOLD, N., 1967: Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen unter besonderer Berücksichtigung des Blockgletscher-Problems. - In: Museum Ferdinandeum Innsbruck 47, S. 1-52.

GERHOLD, N., 1970: Blockgletscher im Ötztal. - In: Tiroler Heimatblätter 45, S. 107-114.

- GERHOLD, N., 1971: Glaziale und perigale Ablagerungen in den westlichen Ötztaler Alpen. - In: Tiroler Heimatblätter 46, S. 31-35.
- GIARDINO, J.R., 1983: Movement of ice-cemented rock glaciers by hydrostatic pressure: an example from Mount Mestas, Colorado. - In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 27, S. 297-310.
- GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.), 1987: Rock glaciers. - London: Allen & Unwin, 355 S.
- GORBUNOV, A.P., S.N. TITKOV & V.G. POLYAKOV, 1992: Dynamics of Rock Glaciers of the Northern Tien Shan and the Djungar Ala Tau, Kazakhstan. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 29-39.
- GRÖTZENBACH, E., 1965: Beobachtungen an Blockströmen im afghanischen Hindukusch und in den Ostalpen. - In: Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München 50, S. 175-201.
- GUGLIELMIN, M. & C. SMIRAGLIA, 1998: The rock glacier inventory of the Italian Alps. - In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada, S. 375-382.
- GUODONG, C. & F. DRAMIS, 1992: Distribution of mountain permafrost and climate. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 83-91.
- HAEBERLI, W., 1975: Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialsch (Graubünden). - Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 17, 221 S.
- HAEBERLI, W., 1985a: Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. - Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 77, 142 S.
- HAEBERLI, W., 1985b: Permafrostkriechen in den Alpen. - In: Universität Zürich, Physische Geographie 16, S. 43-48.
- HAEBERLI, W. (Hrsg.), 1989a: Pilot analyses of permafrost cores from the active rock glacier Murtèl I, Piz Corvatsch, Eastern Swiss Alps. A Workshop Report. - Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Arbeitsheft 9, 38 S.
- HAEBERLI, W., 1989b: Correspondence. Glacier ice-cored rock glaciers in the Yukon Territory, Canada? - In: Journal of Glaciology 35, S. 294-295.
- HAEBERLI, W., 1990a: Permafrost. - In: Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre. Internationale Fachtagung 11. Mai 1990 in Zürich (= Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 108), S. 71-88.
- HAEBERLI, W., 1990b: Glacier and Permafrost signals of 20th-century warming. - In: Annals of Glaciology 14, S. 99-101.

HAEBERLI, W., 1992a: Possible effects of climatic change on the evolution of alpine permafrost. - In: BOER, M. & E. KOSTER (Hrsg.): Greenhouse-impact on cold-climate ecosystems and landscapes. Catena Supplement 22, Cremlingen/Destedt: Catena, S. 23-35.

HAEBERLI, W., 1992b: Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 111-124.

HAEBERLI, W., 1994: Accelerated glacier and permafrost changes in the Alps. - In: BENISTON, M. (Hrsg.): Mountain environments in changing climates. London/New York: Routledge, S. 91-107.

HAEBERLI, W., 1995: Permafrost und Blockgletscher in den Alpen. - In: Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 140, S. 113-121.

HAEBERLI, W., L. KING & A. FLOTRON, 1979: Surface movement and lichen-cover studies at the active rock glacier near the Grubengletscher, Wallis, Swiss Alps. - In: Arctic and Alpine Research 11/4, S. 421-441.

HAEBERLI, W. & G. PATZELT, 1983: Permafrostkartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 18/2 (1982), S. 127-150.

HAEBERLI, W. & W. SCHMID, 1988: Aerophotogrammetric monitoring of rock glaciers. - In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, August 2-5, 1988, Trondheim, Vol.1, S. 764-769.

HAEBERLI, W., J. HUDER, H.-R. KEUSEN, J. PIKA & H. RÖTHLISBERGER, 1988: Core drilling through rock glacier-permafrost. - In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, August 2-5, 1988, Trondheim, Vol. 2, S. 937-942.

HAEBERLI, W., CH. GOUDONG, A.P. GORBUNOV & S.A. HARRIS, 1993: Mountain Permafrost and Climatic Change. - In: Permafrost and Periglacial Processes 4, S. 165-174.

HAEBERLI, W. & D. VONDER MÜHLL, 1996: On the characteristics and possible origins of ice in rock glacier permafrost. - In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 104, S. 43-57.

HAEBERLI, W., M. HOELZLE, A. KÄÄB, F. KELLER, D. VONDER MÜHLL & S. WAGNER, 1998: Ten years after drilling through the permafrost of the active rock glacier Murtèl, Eastern Swiss Alps: answered questions and new perspectives. - In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada, S. 403-410.

HARRIS, S.A., 1988: The alpine periglacial zone. - In: CLARK, M.J. (Hrsg.): Advances in periglacial geomorphology. - Chichester: John Wiley and Sons, S. 369-413.

HARRIS, S.A., 1995: Temperature conditions in permafrost areas of the mountains of Southwestern Alberta and the European Alps. - In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 39, S. 211-235.

HARRIS, S.A. & A.E. CORTE, 1992: Interactions and relations between mountain permafrost, glaciers, snow and water. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 103-110.

HERMANN, W. & H. KOK, 1982: Blockgletscher in den Ötztaler Alpen. Beobachtungen an Blockgletschern und anderen Erscheinungen aus dem Periglazial. - Unveröffentl. Seminararbeit, Landbouwhogeschool, Wageningen, Niederlande, 44 S.

HÖLLERMANN, P., 1983a: Blockgletscher als Mesoformen der Periglazialstufe. Studien aus europäischen und nordamerikanischen Hochgebirgen. - Bonner Geographische Abhandlungen 67, 73 S.

HÖLLERMANN, P., 1983b: Probleme der Blockgletscherforschung. Referat der Diskussionsbeiträge. - In: POSER, H. & E. SCHUNKE (Hrsg.): Mesoformen des Reliefs im heutigen Periglazialraum. (= Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, math.-physik. Klasse, 3. Folge 35), S. 151-159.

HOELZLE, M., S. WAGNER, A. KÄÄB & D. VONDER MÜHLL, 1998: Surface movement and internal deformation of ice-rock mixtures within rock glaciers at Pontresina-Schafberg, Upper Engadin, Switzerland. - In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada, S. 465-471.

HUMLUM, O., 1996: Origin of rock glaciers. Observations from Mellemfjord, Disko Island, Central West Greenland. - In: Permafrost and Periglacial Processes 7, S. 361-380.

JÄCKLI, H., 1957: Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes. - In: Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie 36, 136 S.

JOHNSON, P.G., 1980: Rock glaciers: glacial and non-glacial origins. - In: Proceedings of the Riederalp Workshop, September 1978, IAHS-AISH Publication 126: World Glacier Inventory, S. 285-293.

JOHNSON, P.G., 1983: Rock glaciers. A case for a change in nomenclature. - In: Geografiska Annaler 65A, S. 27-34.

JOHNSON, P.G., 1987: Rock glacier: glacier debris systems or high-magnitude low-frequency flows? - In: GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.): Rock glaciers. London: Allen & Unwin, S. 175-192.

JOHNSON, P.G., 1992: Micro-relief on a Rock Glacier, Dalton Range, Yukon, Canada. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 41-47.

KÄÄB, A., 1996a: Photogrammetrische Analyse von Gletschern und Permafrost. - In: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 94/12, S. 639-644.

KÄÄB, A., 1996b: Photogrammetrische Analyse zur Früherkennung gletscher- und permafrostbedingter Naturgefahren im Hochgebirge. - Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 145, 182 S.

KÄÄB, A., 1998: Oberflächenkinematik ausgewählter Blockgletscher des Oberengadins. - In: VISCHER, D. (Hrsg.): Beiträge aus der Gebirgs-Geomorphologie. Jahresversammlung 1997 der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft (SGmG) der SANW. (= Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 158), S. 121-140.

KÄÄB, A., W. HAEBERLI & G.H. GUDMUNDSSON, 1997: Analysing the Creep of Mountain Permafrost using High Precision Aerial Photogrammetry: 25 Years of Monitoring Gruben Rock Glacier, Swiss Alps. - In: Permafrost and Periglacial Processes 8, S. 409-426.

KÄÄB, A., G.H. GUDMUNDSSON & M. HOELZLE, 1998: Surface deformation of creeping mountain permafrost. Photogrammetric investigations on Murtèl Rock Glacier, Swiss Alps. - In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada, S. 531-537.

KARTE, J., 1979: Räumliche Abgrenzung und regionale Differenzierung des Periglaziärs. - Bochumer Geographische Arbeiten 35, 211 S.

KAUFMANN, V., 1996: Der Dösender Blockgletscher - Studienkarten und Bewegungsmessungen. - In: LEITNER, W. (Hrsg.): Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich. Contributions to Permafrost Research in Austria. (= Arbeiten a. d. Inst. f. Geographie der Karl-Franzens-Univ. Graz 33), S. 141-162.

KAUFMANN, V., 1998a: Deformation Analysis of the Dösen Rock Glacier (Austria). - In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada, S. 551-556.

KAUFMANN, V., 1998b: Geomorphometric monitoring of active rock glaciers in the Austrian Alps. - In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on High-Mountain Remote Sensing Cartography, 19-29 August 1996, Karlstad, Sweden, S. 97-113.

KAUFMANN, V.; 1999: Terrestrisch-photogrammetrische Wiederholungsaufnahme des Blockgletschers im Äußeren Hohebenkar, Ötztaler Alpen, Tirol, 8. - 11. September 1999. - Unveröffentl. Durchführungsbericht, Inst. f. Angewandte Geodäsie der TU Graz, 6S.

KAUFMANN, V. & R. HEILAND, 1998: Zur Morphometrie des Dösender Blockgletschers (Nationalpark Hohe Tauern, Österreich). - In: KRIZ, K. (Hrsg.): Hochgebirgskartographie Silvretta '98. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie 11), S. 102-114.

KELLER, F., 1994: Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost. Eine Grundlagenstudie im Oberengadin. - Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 127, 145 S.

KERSCHNER, H., 1974: Besprechung Hans-Graul-Festschrift. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziogeologie 10, S. 277-282.

KERSCHNER, H., 1981: Alpengeographie-Blockgletscher. - In: Mitteilungen des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) 36/4, S. 134-135.

KERSCHNER, H., 1982: Zeugen der Klimageschichte im oberen Radurschltal. Alte Gletscherstände und Blockgletscher in der Umgebung des Hohenzollernhauses. - In: Alpenvereinsjahrbuch 1982/83 (Zeitschrift 107), S. 23-27.



KERSCHNER, H., 1983: Lateglacial Paleotemperatures and Paleoprecipitation as derived from Permafrost: Glacier Relationship in the Tyrolean Alps, Austria. - In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, Washington, Vol. 1, S. 589-594.

KERSCHNER, H., 1985: Quantitative paleoclimatic inferences from lateglacial snowline, timberline and rock glacier data, Tyrolean Alps, Austria. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 21, S. 363-369.

KERSCHNER, H., 1986: Zum Senderstadium im Spätglazial der nördlichen Stubai Alpen, Tirol. - In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 61, S. 65-76.

KING, L., A.P. GORBUNOV & M. EVIN, 1992: Prospecting and mapping of mountain permafrost and associated phenomena. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3/2, S. 73-81.

KING, L. & J. AKERMAN, 1993: Mountain permafrost in Europe. - In: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, Beijing, Vol. 2, S. 1022-1027.

KLAER, W., 1974: Kritische Anmerkungen zur neueren Literatur über das Blockgletscherproblem. - In: EICHLER, H. (Hrsg.): Hans Graul-Festschrift (= Heidelberger Geographische Arbeiten 40), S. 275-291.

KLAER, W., 1983: Die Blockgletscherfrage, ein terminologisches Problem? - In: POSER, H. & E. SCHUNKE (Hrsg.): Mesoförmungen des Reliefs im heutigen Periglazialraum (= Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, math.-physik. Klasse, 3. Folge 35), S. 120-132.

KLEBELSBERG, R. von, 1948/49: Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie. 2 Bde. - Wien: Springer, 1028 S.

KONECNY, G. & G. LEHMANN, 1984: Photogrammetrie. - Berlin: De-Gruyter-Lehrbuch, 4. Aufl., 392 S.

KOSTER, E. & M.E. NIEUWENHUIJZEN, 1992: Permafrost Response to Climatic Change. - In: BOER, M. & E. KOSTER (Hrsg.): Greenhouse-impact on cold-climate ecosystems and landscapes. - Catena Supplement 22, Cremlingen/Destedt: Catena, S. 37-58.

KOSTKA, R., 1995: Terrestrisch-photogrammetrische Wiederholungsaufnahme des Blockgletschers im Äußeren Hohebenkar, Ötztaler Alpen, Tirol, 22. - 25. August 1995. - Unveröffentl. Durchführungsbericht, Inst. f. Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie der TU Graz, 3 S.

KRAINER, K. & W. MOSTLER, 1999: Reichenkar Rock Glacier, a glacial derived debris-ice system in the Western Stubai Alps, Austria. - Manuskript, eingereicht bei 'Permafrost and Periglacial Processes'.

KRAUS, K., 1990/1987: Photogrammetrie. 2 Bde. - Bonn: Dümmler, 334/389 S.

LACHENBRUCH, A.H., T.T. CLADOUHOS & R.W. SALTUS, 1988: Permafrost temperature and the changing climate. - In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, August 2-5, 1988, Trondheim, Vol. 3, S. 9-17.

LIEB, G.K., 1987: Zur spätglazialen Gletscher- und Blockgletschergeschichte im Vergleich zwischen den Ho-hen und Niederen Tauern. - In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft 129, S. 5-27.

LIEB, G.K., 1996: Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. - In: LEITNER, W. (Hrsg.): Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich. Contributions to Permafrost Research in Austria. (= Arbeiten a. d. Inst. f. Geographie der Karl-Franzens-Univ. Graz 33), S. 9-125.

LIEB, G.K., 1998: High-mountain Permafrost in the Austrian Alps (Europe). - In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada, S. 663-668.

LLIBOUTRY, L. 1990a: Correspondence. About the origin of rock glaciers. - In: Journal of Glaciology 36, S. 125.

LLIBOUTRY, L. 1990b: Correspondence. The origin of waves on rock glaciers. - In: Journal of Glaciology 36, S. 130.

LOEWENHERZ, D.S., C.J. LAWRENCE & R.L. WEAVER, 1989: On the development of transverse ridges on rock glaciers. - In: Journal of Glaciology 35, S. 383-391.

MARTIN, H.E. & W.B. WHALLEY, 1987: Rock glaciers. Part 1: rock glacier morphology: classification and distribution. - In: Progress in Physical Geography 11, S. 260-282.

MESSERLI, B. & M. ZURBUCHEN, 1968: Blockgletscher im Weissmies und Aletsch und ihre photogrammetrische Kartierung. - In: Die Alpen 3, S. 139-152.

NAGL, H., 1971: Zur Erkenntnis quartärer Klimaschwankungen aus geomorphologischen Erscheinungen am Beispiel des Pöllaltals (Hafnergruppe, Kärnten). - In: Carinthia II, 161, Jg. 81, S. 9-30.

NICOLUSSI, K., 1986: Höhengrenzen im Nord-Süd-Profil über die Stubai- und Ötztaler Alpen. Waldgrenze - Blockgletscher-/Permafrostuntergrenze - Schneegrenze. - Diplomarbeit, Inst. f. Geographie der Univ. Innsbruck, 89 S.

OLYPHANT, G.A., 1983: Computer simulation of rock-glacier development under viscous and pseudoplastic flow. - In: Geological Society of America Bulletin 94, S. 499-505.

OUTCALT, S.E. & J.B. BENEDICT, 1965: Photo interpretation of two types of rock glaciers in the Colorado Front Range, USA. - In: Journal of Glaciology 5, S. 849-856.

PATERSON, W.S.B., 1994: The physics of glaciers. - Amsterdam: Elsevier, 3. Aufl., 480 S.

PATZELT, G., 1977: Statistik der Längenmessungen an den österreichischen Gletschern 1960-1975. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 12, S. 91-94.

- PATZELT, G., 1983: Die spätglazialen Gletscherstände im Bereich des Mieslkopfes und im Arzthal, Tuxer Voralpen, Tirol. - In: Arbeiten zur Quartär- und Klimaforschung. Fliri-Festschrift (= Innsbrucker Geographische Studien 8), S. 35-44.
- PATZELT, G., 1985: The period of glacier advances in the Alps, 1965 to 1980. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 21, S. 403-407.
- PATZELT, G., 1986: Begleitworte zur Karte des Gurgler Ferners 1981. - In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 22, S. 163-170.
- PATZELT, G., 1998: Statistik der Ergebnisse der Längenmessungen an den Gletschern der Österreichischen Alpen von 1890-1998. - In: Jahresbericht des Instituts für Hochgebirgsforschung 1998, Univ. Innsbruck, S. 85-89.
- PILLEWIZER, W., 1938a: Photogrammetrische Gletscheruntersuchungen im Sommer 1938. - In: Sonderabdruck aus der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 9/10, S. 1-6.
- PILLEWIZER, W., 1938b: Photogrammetrische Gletscherforschung. - In: Bildmessung und Luftbildwesen 2, S. 66-73.
- PILLEWIZER, W., 1957: Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen. - In: Abhandlungen des Geo-graphischen Instituts der Freien Universität Berlin, Bd. 5: Geomorphologische Abhandlungen (= Otto Maull-Festschrift), S. 37-50.
- PILLEWIZER, W., 1986: Zwischen Alpen, Arktis und Karakorum. Fünf Jahrzehnte kartographische Arbeit und glaziologische Forschung (= Kleine Geographische Schriften 6). - Berlin: Dietrich Reimer, 211 S.
- POSER, H. & E. SCHUNKE (Hrsg.), 1983: Mesoformen des Reliefs im heutigen Periglazialraum. - Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, math.-physik. Klasse, 3. Folge 35, 446 S.
- POTTER, N. Jr., E.J. STEIG, D.H. CLARK, M.A. SPEECE, G.M. CLARK & A.B. UPDIKE, 1998: Galena Creek rock glacier revised - new observations on an old controversy. - In: Geografiska Annaler 80A, S. 251-265.
- RIEDER, B., 1987: Photogrammetrische Untersuchung der Fließbewegungen des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar (Ötztal) unter Verwendung von terrestrisch-photogrammetrischen Stereoaufnahmen (1986) und Luftbildern (1977). - Unveröffentl. Seminararbeit, Inst. f. Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie der TU Graz, 57 S.
- SCHMÖLLER, R. & R. FRUHWIRT, 1996: Komplexgeophysikalische Untersuchungen auf dem Dösener Blockgletscher (Hohe Tauern, Österreich). - In: LEITNER, W. (Hrsg.): Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich. Contributions to Permafrost Research in Austria. (= Arbeiten a. d. Inst. f. Geographie der Karl-Franzens-Univ. Graz 33), S. 165-190.
- SIEBENTHAL, C.E., 1907: Notes on glaciation in the Sangre de Cristo Range, Colorado. - In: Journal of Geology 15, S. 15-22.

- SLOAN, V.F. & L.D. DYKE, 1998: Decadal and millennial velocities of rock glaciers, Selwyn Mountains, Canada. - In: *Geografiska Annaler* 80A, S. 237-249.
- SPENCER, A.C., 1900: A peculiar form of talus. - In: *Science* 11 (N.S.), Nr. 266, S. 188.
- STÄBLEIN, G., 1985: Permafrost. Faktor des Naturraumpotentials in den kalten Randsäumen der Ökumene. - In: *Geographische Rundschau* 37/7, S. 322-329.
- STEIG, E.J., D.H. CLARK, N. POTTER Jr. & A.R. GILLESPIE, 1998: The geomorphic and climatic significance of rock glaciers. - In: *Geografiska Annaler* 80A, S. 173-174.
- STUEFER, M., 1994: Der unterschiedliche Einfluß des Klimas auf die Gletscher der Ötztaler Alpen und der Silvrettagruppe. - Diplomarbeit, Inst. f. Meteorologie und Geophysik der Univ. Innsbruck, 152 S.
- TENTHOREY, G., 1992: Perennial névés and the hydrology of rock glaciers. - In: *Permafrost and Periglacial Processes* 3, S. 247-252.
- URDEA, P., 1998: Rock glaciers and permafrost reconstruction in the Southern Carpathian Mountains, Romania. - In: *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada*, S. 1063-1069.
- VIETORIS, L., 1958: Der Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars. - In: *Gurgler Berichte Band 1* (hrsg. vom Bundessportheim und der Alpenen Forschungsstelle der Univ. Innsbruck in Obergurgl), S. 41-45.
- VIETORIS, L., 1972: Über den Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars. - In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* Bd. 8, H. 1-2, S. 169-188.
- VITEK, J.D. & J.R. GIARDINO, 1987a: Rock glaciers: a review of the knowledge base. - In: GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.): *Rock glaciers*. London: Allen & Unwin, S. 1-26.
- VITEK, J.D. & J.R. GIARDINO, 1987b: Rock Glacier Bibliography. - In: GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.): *Rock glaciers*. London: Allen & Unwin, S. 305-344.
- VONDER MÜHLL, D.S., 1992: Evidence of intrapermafrost groundwater flow beneath an active rock glacier in the Swiss Alps. - In: *Permafrost and Periglacial Processes* 3, S. 169-173.
- VONDER MÜHLL, D.S., 1993: Geophysikalische Untersuchungen im Permafrost des Oberengadins. (= Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 122), 222 S.
- VONDER MÜHLL, D.S. & W. HAEBERLI, 1990: Thermal characteristics of the permafrost within an active rock glacier (Murtèl/Corvatsch, Grisons, Swiss Alps). - In: *Journal of Glaciology* 36, S. 151-158.
- VONDER MÜHLL, D.S., T. STUCKI & W. HAEBERLI, 1998: Borehole temperature in alpine permafrost: a ten year series. - In: *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, June 23-27, 1998, Yellowknife, Canada*, S. 1089-1095.

- WAGNER, S., 1992: Creep of Alpine Permafrost, Investigated on the Murtèl Rock Glacier. - In: Permafrost and Periglacial Processes 3, S. 157-162.
- WAHRHAFTIG, C. & A. COX, 1959: Rock glaciers in the Alaska Range. - Bulletin of the Geological Society of America 70, S. 383-436.
- WASHBURN, A.L., 1979: Geocryology. A survey of periglacial processes and environments. - 2. Aufl., Lon-don: Edward Arnold, 406 S.
- WAYNE, W.J., 1981: Ice segregation as an origin for lenses of non-glacial ice in „ice-cemented“ rock glaciers. - In: Journal of Glaciology 27, S. 506-510.
- WAYNE, W.J., 1983: Correspondence. Ice segregation as an origin for lenses of non-glacial ice in „ice-cemented“ rock glaciers. - In: Journal of Glaciology 29, S. 524.
- WEISE, O.R., 1983: Das Periglazial. Geomorphologie und Klima in gletscherfreien, kalten Regionen. - Berlin/Stuttgart: Borntraeger, 199 S.
- WHALLEY, W.B., 1983: Rock glaciers - permafrost features or glacial relics? - In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, Washington, Vol. 1, S. 1396-1401.
- WHALLEY, W.B. & H.E. MARTIN, 1992: Rock glaciers: II models and mechanisms. - In: Progress in Physical Geography 16/2, S. 127-186.
- WHALLEY, W.B. & F. AZIZI, 1994: Rheological Models of Active Rock Glaciers: Evaluation, Critique and a Possible Test. - In: Permafrost and Periglacial Processes 5, S. 37-51.
- WHALLEY, W.B. & C.F. PALMER, 1998: A glacial interpretation for the origin and formation of the Marinnet Rock Glacier, Alpes Maritimes, France. - In: Geografiska Annaler 80A, S. 221-236.
- WHITE, S.E., 1981: Alpine mass movement forms (noncatastrophic): classification, description and significance. - In: Arctic and Alpine Research 13, S. 127-137.
- WHITE, S.E., 1987: Differential movement across transverse ridges on Arapaho Rock Glacier, Colorado Front Range, U.S.A.. - In: GIARDINO, J.R., J.F. SHRODER & J.D. VITEK (Hrsg.): Rock glaciers. London: Allen & Unwin, S. 145-149.
- ZICK, W., 1996: Bewegungsmessungen 1965-1994 am Blockgletscher Macun I (Unterengadin/Schweiz) - neue Ergebnisse. - In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 104, S. 59-71.

## *internet links*

[http://online.tu-graz.ac.at/tug\\_online\\_g/forschung/FA\\_F10403\\_2846\\_g.html](http://online.tu-graz.ac.at/tug_online_g/forschung/FA_F10403_2846_g.html) (o.A.)  
→ Zur Morphometrie und Dynamik von Blockgletschern im Dösener Tal (Nationalpark Hohe Tauern, Kärnten)

[http://www.geophysik.uni-muenchen.de/lectures/pf\\_prak/literature.html](http://www.geophysik.uni-muenchen.de/lectures/pf_prak/literature.html) (Stand 08.07.1997)  
→ Geländepraktikum Permafrost-Kartierung, Literaturtips zur Vorbereitung

<http://www.geo.unizh.ch/~kaeaeb/> (Stand 15.04.1998)  
→ Dr. Andreas Käab: main research interests, some research projects, recent publications

<http://www.geo.unizh.ch/phys/frozensground.html> (Stand 15.12.1998)  
→ Projects: Frozen Ground

<http://www.geo.unizh.ch/phys/haeberli.html> (Stand 6.10.1999)  
→ Prof. Dr. Wilfried Haerberli: personal homepage, recent publications

<http://www.joanneum.ac.at/intern397/umw;internal&sk=ROBOT> (Stand 25.09.1997)  
→ Quellen aus Blockgletschern

[http://www.proclim.unibe.ch/nfp31/info\\_807.html](http://www.proclim.unibe.ch/nfp31/info_807.html) (Stand 13.03.1996)  
→ Klimaänderungen und Naturkatastrophen, Info-Bulletin 8: Klimaentwicklung und Naturkatastrophen im Alpengebiet: Signale des Treibhauseffektes?

<http://www.vaw.ethz.ch/glaciology/project/photoperma.html> (o.A.)  
→ Photogrammetric approach to the dynamics of creeping mountain permafrost

[http://www.vaw.ethz.ch/pub\\_eng/dpt/gla.../paper/diss\\_wg.html/diss\\_gif/diss.html](http://www.vaw.ethz.ch/pub_eng/dpt/gla.../paper/diss_wg.html/diss_gif/diss.html) (Stand 21.03.1996)  
→ Dreidimensionale Modellierung zweier Gletscher und Deformationsanalyse von eisreichem Permafrost (= Dissertation S. Wagner)

## **ANHANG A: Tabellen**

### **Anmerkung:**

Im Folgenden werden die der Arbeit zugrundeliegenden Daten in Form von Tabellen aufgelistet.

Es wäre nicht zielführend, hier alle seit 1951 gemessenen Werte, wie etwa die Bewegung der einzelnen Steine für jeden einzelnen Meßzeitraum, anzugeben. Stattdessen wurde versucht, aus dem vorhandenen Datenmaterial jene Meßwerte herauszufiltern, an Hand derer sinnvolle Aussagen über die Bewegung des Blockgletschers gemacht werden können.

Für die Jahre 1997 bis 1999, in denen detailliertere Messungen vorgenommen wurden und in denen der Grundstock für die zukünftigen routinemäßigen Nachmessungen gelegt wurde, ist allerdings der Großteil der Daten tabellarisch erfaßt.

**ad Kapitel 5.2: Das Vorrücken des Zungenendes, die Veränderungen im Längsprofil und die aktuelle Bewegung im unteren Teil des Blockgletschers**



<b>Tab. 2: BG-Rand 1997/98 (Koordinaten von 88 eingemessenen Punkten)</b>		
<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
51215,18	5188674,04	2556,67
51210,50	5188680,79	2555,95
51205,17	5188689,74	2554,01
51199,56	5188703,09	2551,84
51197,54	5188715,53	2548,63
51197,98	5188734,80	2542,75
51195,96	5188750,18	2539,83
51196,29	5188762,31	2535,60
51196,78	5188773,45	2529,97
51195,07	5188786,32	2522,42
51189,67	5188799,47	2515,77
51186,66	5188809,60	2510,23
51182,35	5188822,81	2504,59
51181,91	5188840,01	2499,22
51187,10	5188854,66	2497,81
51192,62	5188867,09	2496,47
51201,11	5188884,89	2494,05
51201,08	5188894,95	2490,71
51197,19	5188909,75	2483,12
51193,52	5188918,56	2477,79
51189,00	5188931,37	2471,12
51185,55	5188938,96	2466,72
51188,54	5188951,58	2462,46
51187,77	5188960,06	2458,17
51193,52	5188969,01	2454,72
51189,94	5188975,08	2450,37
51186,26	5188982,23	2444,63
51183,29	5188988,37	2439,42
51182,23	5188995,28	2433,74
51180,36	5189000,53	2429,06
51179,95	5189010,51	2424,96
51179,29	5189017,63	2421,31
51178,47	5189027,72	2416,38
51178,43	5189034,49	2412,86
51179,18	5189048,65	2407,09
51180,45	5189056,53	2403,53
51183,45	5189067,40	2399,13
51187,77	5189079,66	2393,74
51192,07	5189090,34	2387,31
51197,80	5189102,22	2380,02
51207,88	5189109,10	2375,52
51217,12	5189115,28	2371,90
51223,87	5189120,46	2370,25
51226,83	5189126,35	2367,05
51230,97	5189129,84	2364,06
51232,45	5189127,42	2365,90
51237,06	5189123,52	2370,88
51243,25	5189120,66	2375,88
51252,12	5189117,53	2380,33
51259,25	5189119,98	2379,33
51262,58	5189124,98	2375,46
51267,15	5189128,49	2372,81
51274,73	5189125,32	2375,92
51279,49	5189118,69	2380,73
51286,46	5189111,67	2387,02
51292,70	5189104,06	2392,74
51295,80	5189099,42	2395,86

51300,47	5189092,16	2399,72
51303,68	5189083,88	2404,63
51307,20	5189075,09	2409,27
51312,52	5189064,06	2414,11
51315,32	5189054,20	2418,99
51316,64	5189044,45	2424,14
51319,50	5189035,87	2428,27
51322,09	5189028,32	2432,00
51327,15	5189021,62	2436,89
51329,31	5189013,62	2443,19
51333,42	5189002,81	2450,17
51336,57	5188994,61	2455,86
51341,32	5188985,86	2462,34
51348,91	5188979,02	2469,34
51354,38	5188971,91	2475,00
51364,10	5188965,57	2481,10
51371,86	5188958,24	2487,76
51378,08	5188953,61	2492,76
51378,97	5188947,85	2496,60
51381,20	5188942,48	2501,20
51383,74	5188936,47	2505,62
51389,52	5188933,82	2510,19
51397,37	5188927,63	2516,21
51403,31	5188920,38	2521,74
51407,47	5188916,23	2524,68
51412,39	5188910,21	2528,17
51421,36	5188900,90	2534,28
51428,20	5188892,38	2538,88
51432,88	5188882,88	2542,21
51437,93	5188872,60	2546,45
51446,23	5188862,24	2552,03

<b>Tab. 3: BG-Oberfläche 1997/98 im Längsprofil</b>				
	m von HP4*	z(m)	m von HP4*	z(m)
HP4	0,00	2343,05	295,67	2503,67
G°	12,37	2348,82	302,46	2505,92
G	23,98	2352,55	307,60	2505,71
G	33,56	2356,46	312,23	2503,45
G	45,72	2362,67	316,62	2500,46
	49,56	2364,06	324,20	2506,56
	59,37	2372,26	332,28	2511,84
	66,54	2377,57	338,32	2515,47
	72,44	2382,60	343,56	2519,64
	77,65	2386,68	350,32	2524,46
	84,71	2392,85	353,81	2525,45
	89,33	2396,96	356,54	2524,38
	97,60	2403,42	363,45	2529,88
	101,19	2406,32	369,46	2534,35
	105,52	2410,21	373,32	2533,89
	114,14	2413,75	380,66	2540,00
	126,27	2419,89	388,95	2545,58
	129,91	2421,28	397,10	2551,12

135,61	2424,13	405,40	2556,01
140,42	2427,60	411,71	2561,39
147,98	2433,05	417,37	2563,39
154,84	2436,94	427,17	2566,68
166,83	2443,82	434,40	2569,59
177,54	2447,41	440,84	2572,52
186,36	2452,78	449,17	2575,75
196,08	2458,10	455,79	2578,03
211,26	2462,96	466,13	2580,80
225,46	2466,22	474,71	2583,20
235,95	2471,45	481,29	2585,05
247,17	2476,04	489,72	2586,57
253,98	2478,18	500,88	2590,34
263,74	2482,30	512,52	2593,05
276,08	2491,68	522,45	2596,49
285,31	2498,21	532,65	2598,67
*Horizontalabstand von HP4 in m			
°Punkte im festen Gelände			

<b>Tab. 4: BG-Oberfläche 1997 im Profil 0</b>					
m von 0A*		z (m)	m von 0A*		z (m)
0A	0,00	2417,51	157,10		2436,38
G	6,49	2416,64	172,23		2433,69
G	18,03	2417,46	179,58		2430,60
G	27,29	2415,04	186,93		2427,41
G	38,29	2416,58	204,50		2425,84
G	47,90	2412,27	215,94		2424,78
G	60,64	2414,86	221,57		2423,67
G	68,58	2419,94	229,83		2425,21
HP5	79,52	2425,49	234,80		2424,45
G	88,51	2423,95	239,84		2422,34
G	95,59	2423,26	G	248,33	2423,44
	99,34	2421,31	G	256,80	2426,52
	103,10	2423,41	G	265,46	2430,13
	109,85	2426,95	G	270,99	2433,18
	116,16	2429,59	G	276,13	2437,93
	122,64	2432,55	HP2	284,73	2444,03
	130,58	2433,44	G	292,81	2447,37
	138,90	2432,87	0E	307,77	2455,95
	150,48	2435,15			
*Horizontalabstand von 0A in m					

<b>Tab. 5: Bewegung der Steine im 1997 angelegten Längsprofil 1997 bis 1999</b>						
<b>Meßzeitraum 24.9.1997 - 6.8.1998</b>						
	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein L1	0,05	0,02	24,22	387,43	0,05	0,06
Stein L2	0,37	0,20	31,55	363,52	0,42	0,49
Stein L3	0,69	0,32	27,64	378,35	0,76	0,88
Stein L4	0,55	0,36	36,90	388,34	0,66	0,76
Stein L5	0,57	0,36	35,86	393,32	0,67	0,77
Stein L6	0,63	0,37	33,81	0,00	0,73	0,84
Stein L7	0,51	0,23	26,97	389,90	0,56	0,65
Stein L8	0,45	0,26	33,35	388,55	0,52	0,60
Stein L9	0,40	0,27	37,80	387,12	0,48	0,56
Stein L10	0,25	0,11	26,39	379,52	0,27	0,32
Stein L11	0,21	0,07	20,48	378,57	0,22	0,26
Stein L12	0,23	0,11	28,40	374,22	0,25	0,29
Mittel						<b>0,54</b>
<b>Meßzeitraum 6.8.1998 - 5.8.1999</b>						
	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein L1	~0,02	~0,01			~0,02	~0,02
Stein L2	0,26	0,15	33,31	367,25	0,30	0,30
Stein L3	0,75	0,41	31,85	377,36	0,85	0,85
Stein L4	0,61	0,39	36,21	387,43	0,72	0,72
Stein L5	0,66	0,41	35,39	393,27	0,78	0,78
Stein L6	0,77	0,51	37,42	1,65	0,92	0,92
Stein L7	0,49	0,27	32,06	394,81	0,56	0,56
Stein L8	0,51	0,31	34,77	387,43	0,60	0,60
Stein L9	0,44	0,38	45,35	386,87	0,58	0,58
Stein L10	0,25	0,14	32,50	379,52	0,29	0,29
Stein L11	0,19	0,08	25,37	390,03	0,21	0,21
Stein L12	0,27	0,11	24,63	373,61	0,29	0,29
Mittel						<b>0,51</b>
$\Delta s$ = horizontale Komponente des Bewegungsvektors $\Delta z$ = vertikale Komponente des Bewegungsvektors $\sigma$ = Neigungswinkel des Bewegungsvektors zur Horizontalen $\rho$ = Fließrichtung des Steines d = Länge des Bewegungsvektors (Fließweg) d' = Fließweg pro Jahr (linear inter- bzw. extrapoliert)						

<b>Tab. 6: Koordinaten der Ausgangslagen der am 24.9.1997 angelegten Steine im Längsprofil</b>			
	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein L1	51232,59	5189120,92	2372,71
Stein L2	51236,69	5189105,45	2385,21
Stein L3	51242,69	5189079,56	2406,32
Stein L4	51244,08	5189066,58	2413,75
Stein L5	51252,81	5189052,43	2421,28
Stein L6	51253,49	5189034,03	2433,05
Stein L7	51260,10	5189005,22	2447,41
Stein L8	51264,67	5188987,25	2458,10
Stein L9	51267,91	5188972,42	2462,96
Stein L10	51275,57	5188949,56	2471,64
Stein L11	51280,35	5188921,43	2482,30
Stein L12	51286,64	5188890,11	2503,67

<b>Tab. 7: Geschwindigkeitsverteilung im Bereich von Profil 0 1997 bis 1998 (Länge der Bewegungsvektoren, in m/a)</b>			
m von Rand*	m/a	m von Rand*	m/a
0,0	0,01	72,9	1,00
3,8	0,12	80,3	0,95
10,6	0,51	82,4	0,90
13,2	0,60	87,6	0,83
16,9	0,55	106,8	0,57
23,3	0,64	116,6	0,42
31,3	0,60	122,3	0,17
34,5	0,60	130,5	0,04
39,6	0,60	135,5	0,02
51,2	0,65	140,5	0,02
57,8	0,74		

\*Horizontalabstand vom BG-Rand in m

<b>Tab. 8: Bewegung der Steine Z1 und Z2 im Bereich der Linie 0 1995 bis 1999</b>						
<b>Z1</b>	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d'' (mm/Tag)
10.10.95 - 15.10.96	0,64	0,42	36,97	390,97	0,77	2,1
15.10.96 - 7.8.97	0,64	0,37	33,37	390,97	0,74	2,5
7.8.97 - 24.9.97	0,16	0,12	40,97	392,08	0,20	4,2
24.9.97 - 6.8.98	0,74	0,44	34,15	389,63	0,86	2,7
6.8.98 - 5.8.99	0,79	0,57	39,79	391,08	0,97	2,7
<b>Z2</b>	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d'' (mm/Tag)
10.10.95 - 15.10.96	0,46	0,32	38,69	8,26	0,56	1,5
15.10.96 - 7.8.97	0,45	0,25	32,28	394,36	0,51	1,7
7.8.97 - 24.9.97	0,15	0,10	37,43	4,24	0,18	3,8
24.9.97 - 6.8.98	0,57	0,32	32,57	392,22	0,65	2,1
6.8.98 - 5.8.99	0,65	0,42	36,52	397,06	0,77	2,1
<b>Koordinaten der Ausgangslagen der Steine am 10.10.1995</b>						
	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>			
<b>Z1</b>	51267,09	5189052,99	2426,90			
<b>Z2</b>	51241,16	5189048,14	2426,40			

$\Delta s$  = horizontale Komponente des Bewegungsvektors  
 $\Delta z$  = vertikale Komponente des Bewegungsvektors  
 $\sigma$  = Neigungswinkel des Bewegungsvektors zur Horizontalen  
 $\rho$  = Fließrichtung des Steines  
d = Länge des Bewegungsvektors (Fließweg)  
d'' = Fließweg pro Tag in mm

ad Kap. 5.3: Die Veränderungen in den Querprofilen und Steinlinien 1 bis 3

<b>Tab. 9: Dickenänderungen in den Profilen 1 bis 3 (Referenzoberflächen 1997 verglichen mit früheren Messungen)</b>									
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>				
<b>1997</b>	m von 1A*	z (m)	m von 2A*	z (m)	m von 3A*	z (m)			
	1A	0,00	2545,65	2A	0,00	2640,93	3A	0,00	2704,35
	G	18,11	2539,10	G	17,67	2631,59	G	34,07	2675,48
	G	25,06	2536,20	G	30,69	2623,44	G	45,50	2669,54
	G	31,79	2532,72	G	41,37	2619,40		49,50	2668,50
		33,84	2532,08	G	46,77	2620,40		52,03	2669,47
		36,25	2532,68	G	58,05	2620,74		61,51	2676,03
		49,03	2538,08	G	74,16	2622,23		67,85	2677,47
		54,50	2538,36	G	83,61	2619,68		76,21	2677,53
		66,98	2536,64		92,77	2617,71		86,78	2678,60
		78,33	2535,75		94,53	2618,80		98,80	2682,39
		88,88	2533,37		102,21	2625,03		108,72	2679,89
		101,94	2530,03		105,43	2625,35		119,53	2678,45
		106,65	2531,10		117,37	2627,85		126,90	2677,22
		113,32	2532,02		130,07	2630,27		133,86	2677,93
		125,23	2532,43		140,22	2629,22		146,95	2679,25
		130,77	2529,76		152,08	2627,14		154,10	2679,43
		139,79	2527,63		165,47	2624,93		165,07	2680,55
		146,37	2525,18		179,50	2625,09		179,25	2679,22
		153,55	2525,70		188,78	2624,71		195,58	2678,72
		156,84	2525,43		200,57	2623,39		210,56	2679,79
		169,19	2522,13		212,29	2622,84		223,78	2679,96
		178,68	2520,42		222,80	2624,25		237,15	2680,53
		190,23	2522,87		236,62	2624,28		246,21	2680,98
		194,59	2524,61		249,14	2625,41		258,98	2680,58
		206,19	2528,28		259,32	2624,51		271,84	2680,00
		223,20	2532,35		268,15	2623,09		285,22	2677,78
		231,14	2535,38		273,97	2621,43		296,95	2677,83
		240,72	2537,39		279,51	2622,04		308,76	2679,00
		251,47	2538,51		289,52	2623,09		313,00	2677,45
		265,23	2539,55		301,98	2622,70		325,40	2678,11
		276,04	2538,67		311,97	2623,03		331,19	2674,39
		282,22	2537,63		328,21	2624,89		336,94	2676,26
		290,39	2531,99		336,37	2625,35		346,38	2678,90
		292,00	2531,50		348,81	2624,84	3E	521,77	2696,71
	G	302,14	2534,18		358,20	2623,79			
	G	315,55	2536,51		364,33	2622,93			
	G	332,49	2537,78		372,58	2620,86			
	HP6	345,80	2541,32		380,65	2618,96			
	1E	408,47	2548,54		391,22	2615,06			
					400,49	2611,10			
					409,26	2603,77			
				G	416,43	2604,15			
				G	429,02	2607,87			

			G	441,07	2611,65		
				HP7	2614,35		
				456,07			
				HP7	2619,04		
				486,91			
			2E	550,73	2647,79		
<b>1995</b>							
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>		
<b>1995</b>	m von 1A*	z (m)	m von 2A*	z (m)	m von 3A*	z (m)	
	48,53	2537,34	93,59	2617,94	51,41	2668,16	
	56,84	2537,93	102,44	2624,97	61,51	2676,04	
	69,53	2537,05	127,64	2630,07	71,58	2677,47	
	94,79	2531,63	140,67	2629,24	99,09	2682,57	
	124,18	2532,73	162,52	2625,71	121,73	2677,60	
	138,55	2528,17	190,51	2624,43	156,05	2680,04	
	193,65	2523,36	220,57	2624,61	177,54	2680,07	
	211,11	2528,92	248,17	2625,12	210,31	2680,17	
	239,45	2537,37	254,03	2624,95	219,82	2680,55	
	260,62	2539,15	281,00	2622,84	263,27	2680,50	
	280,07	2537,72	303,60	2622,96	272,21	2680,42	
			334,49	2625,60	296,24	2677,74	
			350,48	2625,04	324,50	2678,20	
			361,40	2623,34	338,81	2675,90	
					347,55	2678,88	
<b>1990</b>							
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>		
<b>1990</b>	m von 1A*	z (m)	m von 2A*	z (m)	m von 3A*	z (m)	
	35,21	2531,15	93,03	2617,85	51,68	2669,70	
	49,59	2537,37	102,37	2625,19	61,73	2676,15	
	69,08	2536,82	127,87	2630,57	72,02	2677,45	
	87,73	2534,07	143,48	2628,83	94,53	2682,16	
	123,54	2532,42	189,44	2625,11	130,86	2678,48	
	154,41	2526,35	217,38	2623,99	156,63	2680,39	
	197,10	2524,29	246,88	2625,47	184,39	2679,93	
	213,70	2530,36	271,43	2622,98	211,78	2680,61	
	239,35	2536,31	299,87	2623,60	234,17	2680,57	
	258,35	2539,39	331,05	2625,81	270,32	2681,23	
	278,29	2537,85	350,96	2624,65	296,34	2677,72	
			366,83	2623,15	319,76	2677,77	
					338,75	2676,32	
					347,76	2678,97	
<b>1985</b>							
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>		
<b>1985</b>	m von 1A*	z (m)	m von 2A*	z (m)	m von 3A*	z (m)	
	36,54	2530,69	102,34	2625,06	52,82	2669,71	
	46,84	2535,97	130,75	2630,86	62,71	2676,26	
	57,85	2537,72	147,08	2628,38	73,45	2677,49	
	81,43	2535,39	169,92	2625,89	80,26	2677,77	
	100,50	2531,37	193,41	2625,24	99,05	2682,41	
	122,62	2532,27	225,35	2625,32	123,28	2677,21	
	155,13	2526,33	247,14	2625,69	146,01	2679,15	
	190,56	2521,72	264,23	2624,63	173,40	2680,49	
	215,77	2530,72	275,53	2621,83	197,12	2679,10	
	243,07	2537,63	282,81	2624,06	219,02	2680,08	

	262,07	2539,51	309,13	2624,27	240,51	2681,50
	278,66	2537,73	336,65	2625,75	264,01	2681,11
			357,91	2624,88	297,20	2677,81
					323,86	2678,48
					339,20	2676,19
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>	
<b>1981</b>	m von 1A*	z (m)	m von 2A*	z (m)	m von 3A*	z (m)
	34,13	2530,90	103,03	2625,31	55,24	2672,02
	57,23	2537,53	128,19	2630,63	61,94	2676,28
	93,15	2532,18	165,93	2626,20	73,15	2677,43
	123,20	2531,92	190,82	2625,90	94,92	2682,19
	153,99	2526,06	212,02	2624,06	125,31	2678,54
	211,55	2528,82	245,66	2625,31	158,27	2680,09
	241,67	2536,81	267,14	2624,55	208,14	2679,84
	262,88	2539,48	299,45	2625,45	227,57	2680,18
	278,23	2537,96	336,18	2625,91	262,82	2681,04
			351,58	2625,36	297,61	2677,69
					347,33	2678,30
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>	
<b>1978</b>	m von 1A*	z (m)	m von 2A*	z (m)	m von 3A*	z (m)
	35,4	2530,5	94,6	2618,7	54,5	2671,5
	56,8	2537,8	103,1	2625,1	63,7	2676,7
	76,0	2536,3	127,2	2630,6	73,0	2677,5
	95,5	2531,2	150,3	2627,5	97,5	2682,4
	122,9	2531,6	176,5	2625,8	118,7	2677,7
	137,3	2529,0	190,5	2626,2	137,9	2679,1
	199,0	2523,9	213,2	2623,5	158,3	2680,0
	211,8	2529,3	245,7	2625,7	171,3	2679,9
	241,7	2536,3	275,9	2621,7	192,2	2678,6
	262,9	2539,4	301,3	2625,4	212,0	2679,8
	277,9	2537,6	315,2	2624,3	230,7	2681,4
			337,4	2626,3	263,0	2681,8
			350,4	2625,9	279,9	2679,1
			364,4	2623,9	296,0	2677,4
					316,9	2677,7
					332,9	2675,5
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>	
<b>1972</b>	m von 1A*	z (m)	m von 2A*	z (m)	m von 3A*	z (m)
	56,4	2537,9	94,5	2619,5	52,6	2670,3
	76,2	2535,9	102,1	2625,1	61,2	2675,9
	97,6	2531,9	125,2	2630,9	71,7	2678,3
	121,8	2532,5	163,5	2626,2	96,7	2683,0
	210,9	2529,7	186,9	2626,0	120,2	2677,9
	240,7	2536,9	212,9	2623,7	156,0	2680,7
	260,9	2539,2	245,1	2625,4	183,8	2679,8
	276,8	2537,8	277,2	2623,0	208,4	2680,6
			296,4	2625,9	240,1	2682,1
			334,4	2626,2	262,6	2681,3
			347,4	2625,4	296,0	2677,4
			361,3	2623,9	324,0	2678,2
					338,1	2676,4



			344,1	2678,0
		<b>Profil 2</b>		
<b>1960</b>		m von 2A*	z (m)	
		92,0	2617,5	
		104,8	2625,8	
		127,2	2632,0	
		144,2	2629,8	
		184,0	2627,5	
		223,9	2625,5	
		278,8	2623,1	
		319,0	2628,0	
		339,3	2627,4	
<p>* Horizontalabstand vom Profil-Anfangspunkt in m  1A, 1E, 2A, ... 0E bezeichnen die jeweiligen Profil-Anfangs- bzw. Endpunkte  G sind Punkte im festen Gelände  HP2, HP5, HP6, ... sind Hilfspunkte im festen Gelände</p>				

<b>Tab. 10: Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Profile 1 bis 3 für die ausgewählten Meßperioden 1953-1955, 1981-1985, 1997-1998 (Länge der Bewegungsvektoren, in m/a)</b>						
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>	
<b>1953-55</b>	m von Rand*	m/a	m von Rand*	m/a	m von Rand*	m/a
ausgewählte Blöcke in den Profilen	4,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
	17,0	1,00	12,5	0,15	10,0	0,15
	23,0	1,25	16,0	0,20	28,0	0,45
	59,5	2,20	20,0	0,25	34,0	0,50
	82,0	2,60	33,0	0,40	40,0	0,55
	97,5	3,10	124,0	1,50	70,0	0,65
	102,0	3,20	135,0	1,53	82,0	0,70
	138,5	3,40	152,5	1,45	105,0	0,80
	142,0	3,45	191,0	1,35	148,0	0,85
	149,5	3,50	197,0	1,30	169,0	0,80
	159,5	3,57	205,5	1,25	212,0	0,70
	185,0	2,80			248,5	0,20
	201,5	1,80			253,0	0,15
	217,0	1,30				
	<b>Profil 1</b>		<b>Profil 2</b>		<b>Profil 3</b>	
<b>1981-85</b>	m von Rand°	m/a	m von Rand°	m/a	m von Rand°	m/a
Steine im Bereich der Profile	23,0	0,20	34,0	0,31	23,5	0,10
	60,5	0,22	97,0	0,73	46,5	0,47
	89,0	0,21	154,5	0,88	108,0	0,64
	120,0	0,17	206,5	0,80	161,0	0,69
	177,0	0,49	243,0	0,61	213,5	0,64
	206,5	0,71	258,0	0,50	247,0	0,58

	228,0	0,62		290,0	0,16	
	244,5	0,23				
<b>Profil 1</b>						
<b>Profil 2</b>						
<b>Profil 3</b>						
<b>1997-98</b>	m von Rand	m/a	m von Rand	m/a	m von Rand	m/a
Steine und	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
markierte	16,4	0,52	9,4	0,01	2,5	0,03
Punkte in	20,7	0,56	12,6	0,04	18,4	0,08
den Profi-	33,2	0,72	23,4	0,36	21,3	0,11
len	40,6	0,79	37,3	0,46	26,7	0,14
	44,5	0,76	48,2	0,54	37,3	0,52
	55,1	0,77	59,3	0,70	45,6	0,57
	64,8	0,75	71,7	0,82	49,3	0,59
	68,1	0,71	86,7	0,96	59,2	0,56
	72,9	0,66	95,2	1,05	67,3	0,58
	79,5	0,76	107,8	1,13	77,4	0,59
	88,4	0,81	117,6	1,18	93,1	0,70
	91,4	0,79	130,0	1,26	97,5	0,68
	97,0	0,78	142,1	1,32	116,2	0,85
	112,6	0,72	156,3	1,32	129,8	0,87
	119,8	0,72	166,5	1,32	139,5	0,92
	123,0	0,73	175,4	1,30	146,1	0,91
	135,4	0,88	181,2	1,26	162,2	0,95
	144,9	0,83	186,7	1,27	174,3	0,94
	156,4	1,06	190,9	1,26	187,2	1,00
	160,8	1,17	196,7	1,26	196,7	1,00
	172,4	1,32	209,2	1,33	211,4	1,02
	186,9	1,61	215,4	1,33	222,3	0,95
	189,4	1,65	219,2	1,32	236,2	0,97
	197,3	1,86	235,4	1,27	247,5	0,96
	206,9	2,02	240,0	1,20	258,1	0,89
	210,2	2,04	243,6	1,14	263,5	0,80
	217,7	2,01	256,0	0,96	275,9	0,42
	232,9	1,67	263,9	0,90	280,7	0,37
	242,2	0,89	271,5	0,89	285,5	0,39
	248,4	0,25	279,8	0,79	296,9	0,36
	256,6	0,03	287,9	0,67		
	258,0	0,00	298,4	0,30		
			307,7	0,16		
			313,5	0,01		
			316,0	0,00		
* Horizontalabstand des Meßpunktes vom BG-Rand 1997 in m						
° Horizontalabstand der Lotfußpunkte der Steine vom BG-Rand 1997 in m						

<b>Tab. 11: Bewegung der Steine in den Linien 1-3 vom 10.8.1981 bis zum 4.8.1999</b>						
<b>Linie 1</b>	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d/a (m/a)
Stein 872	4,94	1,71	21,21	361,17	5,23	0,29
Stein 772	5,97	1,46	15,27	370,58	6,15	0,34
Stein 672	6,07	1,43	14,73	377,72	6,24	0,35
Stein 581	5,35	2,11	23,92	377,03	5,75	0,32
Stein 472	11,92	4,81	24,42	344,29	12,85	0,71
Stein 372	15,88	8,36	30,85	350,82	17,95	1,00
Stein 272	14,78	7,44	29,69	353,50	16,55	0,92
Stein 172	4,47	2,06	27,49	381,95	4,92	0,27
Mittel						<b>0,53</b>
<b>Linie 2</b>	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d/a (m/a)
Stein 670	5,34	0,30	3,57	367,93	5,35	0,30
Stein 770	12,68	5,07	24,22	370,62	13,66	0,76
Stein 870	15,36	5,77	22,88	360,92	16,41	0,91
Stein 970	14,42	5,05	21,45	359,11	15,28	0,85
Stein 1070	10,88	3,54	20,03	361,98	11,44	0,64
Stein 1170	9,14	2,77	18,73	373,01	9,55	0,53
Mittel						<b>0,67</b>
<b>Linie 3</b>	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d/a (m/a)
Stein 170	1,65	0,76	27,48	364,28	1,82	0,10
Stein 270	7,53	3,43	27,21	356,95	8,27	0,46
Stein 370	10,85	3,49	19,81	361,98	11,40	0,63
Stein 470	11,85	4,14	21,40	363,94	12,55	0,70
Stein 572	11,66	3,86	20,35	363,88	12,28	0,68
Stein 672	10,68	3,91	22,34	359,69	11,37	0,63
Stein 772	3,74	0,53	8,96	347,47	3,78	0,21
Mittel						<b>0,49</b>

$\Delta s$  = horizontale Komponente des Bewegungsvektors  
 $\Delta z$  = vertikale Komponente des Bewegungsvektors  
 $\sigma$  = Neigungswinkel des Bewegungsvektors zur Horizontalen  
 $\rho$  = Fließrichtung des Steines  
d = Länge des Bewegungsvektors (Fließweg)  
d/a = mittlerer Fließweg pro Jahr

<b>Tab. 12: Koordinaten der Steine der Linien 1-3 am 10.8.1981</b>			
<b>Linie 1</b>	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein 872	51217,06	5188784,08	2537,17
Stein 772	51249,06	5188803,78	2531,68
Stein 672	51273,33	5188818,44	2531,90
Stein 581	51301,23	5188832,02	2527,06
Stein 472	51347,91	5188865,11	2528,07

Stein 372	51371,80	5188882,40	2534,08
Stein 272	51390,37	5188893,18	2537,02
Stein 172	51405,71	5188899,51	2536,85
<b>Linie 2</b>			
	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein 670	51360,78	5188537,89	2630,99
Stein 770	51411,88	5188575,44	2624,57
Stein 870	51459,40	5188607,68	2623,74
Stein 970	51503,94	5188634,85	2623,26
Stein 1070	51535,87	5188652,83	2624,66
Stein 1170	51548,75	5188659,80	2624,62
<b>Linie 3</b>			
	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein 170	51453,92	5188373,11	2677,35
Stein 270	51470,97	5188388,54	2681,18
Stein 370	51520,95	5188424,76	2678,69
Stein 470	51564,17	5188454,88	2678,02
Stein 572	51608,34	5188483,24	2679,50
Stein 672	51636,31	5188501,74	2675,93
Stein 772	51673,84	5188523,61	2676,09

**Tab. 13: Bewegung der 1997 neu gelegten Steine in den  
Linien 0-3 1997 bis 1999**

**Meßzeitraum 1997-1998**

**Linie 0: 24.9.1997 - 6.8.1998**

	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,45	0,26	33,35	373,66	0,52	0,60
Stein 2	0,37	0,28	41,24	380,61	0,46	0,54
Stein 3	0,49	0,30	34,97	386,92	0,57	0,66
Stein 4	0,60	0,35	33,62	398,94	0,69	0,80
Stein 5	0,39	0,20	30,17	385,20	0,44	0,51
Stein 6	0,03	0,02	37,43	379,52	0,04	0,05
Mittel						<b>*0,53</b>

\*es ist hier zu beachten, daß die tatsächliche Jahresbewegung - mit einem Mittel von 0,58 m (vgl. Tab. 15) - größer ist; siehe dazu Text S. 84

**Linie 1: 23.9.1997 - 6.8.1998**

	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,43	0,13	18,69	360,51	0,45	0,52
Stein 2	0,65	0,20	19,00	367,43	0,68	0,79
Stein 3	0,63	0,16	15,83	365,94	0,65	0,75
Stein 4	0,66	0,25	23,05	373,08	0,71	0,81
Stein 5	0,56	0,18	19,80	374,52	0,59	0,68
Stein 6	0,72	0,20	17,25	370,48	0,75	0,86
Stein 7	0,94	0,16	10,73	357,68	0,95	1,10
Stein 8	1,23	0,52	25,46	354,38	1,34	1,54
Stein 9	1,49	0,80	31,37	351,51	1,69	1,95
Stein 10	1,26	0,57	27,05	354,29	1,38	1,60
Mittel						<b>1,06</b>

**Linie 2: 23.9.1997 - 4.8.1998**

	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,31	0,02	4,10	358,63	0,31	0,36
Stein 2	0,47	0,02	3,71	382,10	0,47	0,54
Stein 3	0,68	0,20	18,21	378,92	0,71	0,82
Stein 4	0,85	0,32	22,92	373,83	0,91	1,05
Stein 5	0,96	0,35	22,26	364,23	1,02	1,18
Stein 6	1,09	0,34	19,25	362,08	1,14	1,32
Stein 7	1,07	0,32	18,50	363,56	1,12	1,29
Stein 8	1,03	0,37	21,95	361,02	1,09	1,26
Stein 9	1,06	0,37	21,38	358,91	1,12	1,30
Stein 10	0,97	0,33	20,88	360,74	1,02	1,18
Stein 11	0,73	0,23	19,43	373,99	0,77	0,88
Mittel						<b>1,02</b>

**Linie 3: 23.9.1997 - 4.8.1998**

	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,09	0,04	26,62	354,89	0,10	0,11
Stein 2	0,46	0,18	23,75	356,83	0,49	0,57
Stein 3	0,48	0,15	19,28	360,36	0,50	0,58
Stein 4	0,58	0,17	18,15	358,39	0,60	0,70
Stein 5	0,69	0,25	22,13	362,57	0,73	0,85
Stein 6	0,75	0,23	18,94	362,10	0,78	0,91
Stein 7	0,78	0,26	20,48	361,66	0,82	0,95
Stein 8	0,82	0,27	20,25	359,97	0,86	1,00
Stein 9	0,83	0,30	22,08	363,63	0,88	1,02
Stein 10	0,78	0,31	24,08	360,99	0,84	0,97

Stein 11	0,72	0,26	22,06	358,15	0,77	0,89
Stein 12	0,33	0,06	11,45	345,94	0,34	0,39
Mittel						<b>0,75</b>
<b>Meßzeitraum 1998-1999</b>						
<b>Linie 0: 6.8.1998 - 5.8.1999</b>						
	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,50	0,30	34,40	366,47	0,58	0,58
Stein 2	0,44	0,30	38,10	377,67	0,53	0,53
Stein 3	0,56	0,37	37,17	387,43	0,67	0,67
Stein 4	0,75	0,48	36,24	0,85	0,89	0,89
Stein 5	*0,77	*0,44	*33,05	*380,57	*0,89	*0,89
Stein 6	~0,02	~0,02			~0,03	~0,03
Mittel						<b>°0,54</b>
*offensichtlich abgerutscht; °ohne Stein 5						
<b>Linie 1: 6.8.1998 - 4.8.1999</b>						
	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,50	0,16	19,72	361,86	0,52	0,52
Stein 2	0,79	0,26	20,24	369,76	0,83	0,83
Stein 3	0,77	0,24	19,24	370,85	0,81	0,81
Stein 4	0,79	0,18	14,26	375,93	0,81	0,81
Stein 5	0,67	0,24	21,90	377,72	0,71	0,71
Stein 6	0,82	0,29	21,64	371,18	0,87	0,87
Stein 7	1,13	0,47	25,09	359,60	1,22	1,22
Stein 8	1,52	0,66	26,08	353,84	1,66	1,66
Stein 9	1,77	1,00	32,74	350,00	2,03	2,03
Stein 10	1,35	0,66	28,95	353,35	1,50	1,50
Mittel						<b>1,10</b>
<b>Linie 2: 4.8.1998 - 4.8.1999</b>						
	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,32	0,01	1,99	359,82	0,32	0,32
Stein 2	0,61	0,04	4,17	387,43	0,61	0,61
Stein 3	0,84	0,22	16,31	383,85	0,87	0,87
Stein 4	1,07	0,40	22,77	374,22	1,14	1,14
Stein 5	1,28	0,50	23,71	366,02	1,37	1,37
Stein 6	1,42	0,57	24,30	362,44	1,53	1,53
Stein 7	1,48	0,46	19,18	362,57	1,55	1,55
Stein 8	1,37	0,50	22,28	361,92	1,46	1,46
Stein 9	1,44	0,47	20,08	359,12	1,51	1,51
Stein 10	1,34	0,43	19,77	360,46	1,41	1,41
Stein 11	0,97	0,28	17,89	375,78	1,01	1,01
Mittel						<b>1,16</b>
<b>Linie 3: 4.8.1998 - 4.8.1999</b>						
	$\Delta s$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma$ (Neugrad)	$\rho$ (Neugrad)	d (m)	d' (m/a)
Stein 1	0,11	0,04	22,20	375,78	0,12	0,12
Stein 2	0,59	0,23	23,66	359,89	0,63	0,63
Stein 3	0,58	0,18	19,16	361,66	0,61	0,61
Stein 4	0,73	0,22	18,63	363,05	0,76	0,76
Stein 5	0,95	0,32	20,68	363,87	1,00	1,00
Stein 6	0,99	0,28	17,55	366,15	1,03	1,03
Stein 7	1,02	0,36	21,60	365,17	1,08	1,08
Stein 8	1,07	0,34	19,59	361,90	1,12	1,12
Stein 9	1,13	0,37	20,14	365,69	1,19	1,19
Stein 10	1,04	0,38	22,30	365,81	1,11	1,11
Stein 11	0,95	0,34	21,88	360,51	1,01	1,01
Stein 12	0,39	0,07	11,31	348,84	0,40	0,40

Mittel						<b>0,84</b>
$\Delta s$ = horizontale Komponente des Bewegungsvektors $\Delta z$ = vertikale Komponente des Bewegungsvektors $\sigma$ = Neigungswinkel des Bewegungsvektors zur Horizontalen $\rho$ = Fließrichtung des Steines $d$ = Länge des Bewegungsvektors (Fließweg) $d'$ = Fließweg pro Jahr (linear inter- bzw. extrapoliert)						

<b>Tab. 14: Koordinaten der Ausgangslagen der 1997 neu gelegten Steine in den Linien 0-3</b>			
<b>Linie 0</b>			
(24.9.1997)	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein 1	51192,52	5189018,65	2429,20
Stein 2	51212,89	5189025,39	2434,12
Stein 3	51235,49	5189031,05	2436,29
Stein 4	51260,06	5189033,95	2431,62
Stein 5	51283,50	5189040,85	2426,45
Stein 6	51306,30	5189047,53	2425,21
<b>Linie 1</b>			
(23.9.1997)	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein 1	51212,39	5188778,34	2538,26
Stein 2	51232,89	5188791,14	2536,30
Stein 3	51253,56	5188803,79	2531,29
Stein 4	51272,93	5188817,34	2533,35
Stein 5	51294,00	5188828,24	2525,26
Stein 6	51313,69	5188840,80	2522,08
Stein 7	51335,11	5188852,71	2524,75
Stein 8	51357,77	5188867,34	2532,13
Stein 9	51377,60	5188879,69	2538,03
Stein 10	51397,15	5188891,21	2539,83
<b>Linie 2</b>			
(23.9.1997)	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein 1	51354,03	5188528,76	2627,30
Stein 2	51374,75	5188542,55	2628,94
Stein 3	51393,84	5188556,29	2625,03
Stein 4	51414,37	5188567,76	2624,66
Stein 5	51433,19	5188579,84	2623,24
Stein 6	51452,96	5188594,48	2624,11
Stein 7	51474,13	5188606,73	2624,45
Stein 8	51495,03	5188619,25	2623,27
Stein 9	51515,14	5188633,29	2622,70
Stein 10	51535,92	5188646,47	2625,57
Stein 11	51556,91	5188657,93	2624,37
<b>Linie 3</b>			
(23.9.1997)	<b>y</b>	<b>x</b>	<b>z</b>
Stein 1	51452,03	5188371,65	2677,17
Stein 2	51473,00	5188384,18	2682,03
Stein 3	51491,36	5188395,65	2679,61
Stein 4	51511,01	5188412,65	2678,61
Stein 5	51530,41	5188425,29	2680,12
Stein 6	51550,32	5188437,38	2678,79
Stein 7	51568,74	5188450,66	2680,13
Stein 8	51589,79	5188464,11	2680,83
Stein 9	51609,15	5188478,72	2680,78
Stein 10	51631,08	5188490,61	2677,70
Stein 11	51647,96	5188504,76	2679,19

Stein 12	51670,12	5188520,93	2676,68
----------	----------	------------	---------



ad Kap. 5.4: Die kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar

<b>Tab. 15: Mittlere Fließgeschwindigkeiten der Steine der Linien 0-3 1951 bis 1999 (Länge der Bewegungsvektoren, in m/a)</b>				
Meßdatum	Linie 0	Linie 1	Linie 2	Linie 3
14.7.1951				
24.8.1952			*1,1	
16.8.1953			1,3	
12.8.1954			1,3	
23.8.1955		1,7	0,7	0,5
15.8.1956		2,1	0,8	0,4
13.8.1957		1,0	0,5	0,3
		*1,8	0,7	0,4
14.8.1959		1,8	0,7	0,4
29.7.1960		2,3	0,8	0,5
24.8.1961		3,0	1,2	0,6
29.8.1962		3,9	1,5	0,6
		1,8	1,0	0,6
		1,8	1,0	0,6
		1,8	1,0	0,6
		1,8	1,0	0,6
		1,8	1,0	0,6
		1,8	1,0	0,6
		1,8	1,0	0,6
16.8.1970		1,8	1,0	0,6
		1,8	0,60	0,40
5.9.1972		1,8	0,60	0,40
		0,30	0,55	0,35
5.9.1974		0,30	0,55	0,35
		0,40	0,70	0,45
		0,40	0,70	0,45
25.8.1978		0,40	0,70	0,45
		0,30	0,50	0,40
		0,30	0,50	0,40
10.8.1981		0,30	0,50	0,40
		0,36	0,64	0,47
		0,36	0,64	0,47
		0,36	0,64	0,47
24.9.1985		0,36	0,64	0,47
		0,32	0,49	0,36
		0,32	0,49	0,36
		0,32	0,49	0,36
		0,32	0,49	0,36
13.8.1990		0,32	0,49	0,36
		0,57	0,64	0,48
		0,57	0,64	0,48
		0,57	0,64	0,48

10.10.1995		0,57	0,64	0,48
		0,57	0,64	0,48
		0,74	0,80	0,60
5-6.8.1997		0,74	0,80	0,60
4-6.8.1998	<b>*0,58</b>	<b>1,09</b>	<b>1,01</b>	<b>0,71</b>
4-5.8.1999	<b>0,54</b>	<b>°1,09</b>	<b>°1,15</b>	<b>°0,83</b>
<p>* dick: Jahresbewegung  dünn: Mittelwerte über mehrere Jahre  jeweils linear inter- bzw. extrapoliert  + Linie 0 angelegt am 24.9.1997 (Ermittlung der Jahresbewegung siehe Text S. 84)  ° Mittelwert aus Steinlinie alt und neu (siehe auch Text S. 84)</p>				

<b>Tab. 16: Fließgeschwindigkeiten der schnellsten Steine der Linien 1-3 1951 bis 1999 verglichen mit den mittleren Fließgeschwindigkeiten (Länge der Bewegungsvektoren, in m/a)</b>					
<b>Linie 1</b>					
Meßzeitraum	V max. (m/a)	Stein-Nr.	V mittl. (m/a)	V mittl. / V max. (%)	
54/55	2,6	554	1,7	~65	
55/56	2,4	554	2,1	~88	
56/57	2,3	454	1,0	~43	
57-59	2,3	454	1,8	~78	
59/60	3,7	459	2,3	~62	
60/61	4,5	459	3,0	~67	
61/62	6,6	459	3,9	~59	
62-72	>3,0	*359	1,8	<60	
72-74	0,50	372	0,30	~60	
74-78	0,75	372	0,40	~53	
78-81	0,65	372	0,30	~46	
81-85	0,71	372	0,36	51	
85-90	0,60	372	0,32	53	
90-95	1,08	372	0,57	53	
95-97	1,41	372	0,74	52	
97/98	1,98	372	1,09	55	
98/99	2,00	°372/997	1,09	55	
<b>Linie 2</b>					
Meßzeitraum	V max. (m/a)	Stein-Nr.	V mittl. (m/a)	V mittl. / V max. (%)	
51/52	1,6	351	1,1	~69	
52/53	2,1	351	1,3	~62	
53/54	2,0	351	1,3	~65	
54/55	1,1	451	0,7	~64	
55/56	1,3	351	0,8	~62	
56/57	0,8	451	0,5	~63	
57-59	1,1	351	0,7	~64	
59/60	1,2	359	0,8	~67	
60/61	1,9	359	1,2	~63	
61/62	2,2	359	1,5	~68	
62-70	1,5	359	1,0	~67	
70-72	0,85	870	0,60	~71	

72-74	0,80	870	0,55	~69
74-78	1,00	870	0,70	~70
78-81	0,75	870	0,50	~67
81-85	0,88	870	0,64	73
85-90	0,69	870	0,49	71
90-95	0,89	870	0,64	72
95-97	1,10	870	0,80	73
97/98	1,34	870	1,01	75
98/99	1,53	°870/697	1,15	75
<b>Linie 3</b>				
Meßzeitraum	V max. (m/a)	Stein-Nr.	V mittl. (m/a)	V mittl. / V max. (%)
54/55	0,8	351	0,5	~63
55/56	0,6	351	0,4	~67
56/57	0,5	+~351	0,3	~60
57-59	0,6	351	0,4	~67
59/60	0,7	351	0,5	~71
60-70	0,9	351	0,6	~67
70-72	0,65	470	0,40	~62
72-74	0,55	470	0,35	~64
74-78	0,65	470	0,45	~69
78-81	0,55	470	0,40	~73
81-85	0,69	470	0,47	68
85-90	0,53	470	0,36	68
90-95	0,68	470	0,48	66
95-97	0,89	570	0,60	67
97/98	1,04	570	0,71	68
98/99	1,20	°570/997	0,83	69
* Stein 4 nicht eingemessen ° Mittelwert der Steine + Mittel aus Stein 2, 3, 4				

**ad Kap. 6.1: Schwankungen der Lufttemperatur als Ursache von kurzfristigen Geschwindigkeitsschwankungen auf Blockgletschern?**

<b>Tab. 17: Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur der Station Obergurgl (1938 m) 1953 bis 1998 [in °C]</b>													
	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dez	Jahr
1953	-7,6	-6,7	-1,6	2,7	5,4	7,7	11,0	10,9	8,6	5,2	1,5	-1,7	3,0
1954	-9,1	-6,3	-1,9	-1,1	3,5	8,6	7,6	8,7	7,8	3,5	-1,1	-3,5	1,4
1955	-3,5	-6,4	-3,3	0,0	4,2	8,4	9,8	8,5	6,4	2,2	-1,9	-2,1	1,9
1956	-5,0	-13,2	-3,4	-0,4	5,0	5,7	10,2	9,4	9,2	1,9	-3,2	-5,2	0,9
1957	-5,2	-2,5	1,5	0,8	2,3	9,3	9,6	8,8	6,2	4,4	0,2	-4,7	2,6
1958	-6,0	-2,7	-5,6	-0,8	8,0	8,0	10,8	10,9	9,1	3,1	0,0	-4,0	2,6
1959	-8,4	-4,2	-0,7	0,5	4,4	8,0	10,7	8,7	7,6	2,5	-2,8	-5,2	1,8
1960	-6,5	-3,6	-1,4	0,6	6,0	9,7	8,4	9,6	5,7	2,5	-1,1	-4,7	2,1
1961	-5,0	-2,0	-0,5	4,0	4,2	10,8	11,0	10,8	9,9	5,0	-1,2	-3,2	3,7
1962	-5,3	-6,5	-5,5	0,2	3,9	7,5	9,6	11,8	7,1	4,6	-3,2	-7,2	1,4
1963	-10,7	-8,2	-2,1	2,5	5,2	8,9	11,2	9,6	8,2	4,0	1,0	-6,7	1,9
1964	-5,4	-3,2	-3,5	3,1	7,5	10,1	10,9	9,3	7,8	1,5	0,4	-5,1	2,8
1965	-5,1	-9,6	-2,0	0,3	4,5	9,3	9,4	8,9	6,1	5,6	-2,6	-4,8	1,7
1966	-7,6	-0,3	-3,7	3,2	5,5	9,7	9,1	8,6	9,3	5,7	-4,3	-5,6	2,5
1967	-6,1	-3,9	-1,5	-0,8	4,6	7,1	12,1	10,2	7,3	6,4	0,6	-6,8	2,4
1968	-7,6	-2,2	-1,0	4,1	4,9	8,2	9,4	8,2	6,4	5,7	0,0	-6,1	2,5
1969	-6,1	-9,5	-3,6	-0,1	6,7	6,4	10,9	8,3	8,5	6,0	-2,0	-10,0	1,3
1970	-5,9	-7,8	-5,8	-2,1	2,7	9,6	10,0	9,7	8,7	3,4	0,9	-5,4	1,5
1971	-5,4	-6,5	-7,6	2,1	6,4	7,0	11,3	11,8	5,7	4,4	-2,5	-1,8	2,1
1972	-5,7	-3,1	-0,8	-0,4	3,8	7,6	9,3	9,3	3,6	1,6	-1,5	-2,4	1,8
1973	-4,4	-7,6	-4,8	-3,2	5,8	9,2	9,5	11,8	7,8	2,5	-1,9	-5,5	1,6
1974	-2,6	-4,1	-1,6	-0,6	3,6	6,6	9,8	11,0	6,8	-3,5	-3,0	-3,4	1,6
1975	-2,7	-4,7	-3,8	-0,2	4,8	6,6	10,0	9,7	9,4	2,4	-2,3	-3,8	2,1
1976	-5,6	-3,5	-4,6	0,1	5,4	9,6	10,5	7,3	4,7	4,8	-2,9	-7,2	1,6
1977	-5,6	-4,4	0,3	-1,1	4,5	8,1	10,0	8,5	5,6	5,7	-2,7	-3,0	2,2
1978	-5,8	-5,4	-2,6	-1,2	2,8	7,2	9,2	8,7	6,3	3,4	0,0	-3,3	1,6
1979	-8,3	-5,0	-2,6	-2,2	4,1	8,8	9,2	8,8	7,0	5,1	-2,9	-3,4	1,6
1980	-7,4	-4,2	-3,3	-3,1	2,9	6,6	8,8	11,3	8,3	2,1	-1,9	-6,5	1,1
1981	-8,5	-7,6	-0,5	1,9	4,8	8,8	9,1	10,2	7,5	2,3	-3,1	-7,1	1,5
1982	-4,0	-5,6	-4,2	-1,4	5,2	9,6	11,8	10,0	9,7	3,3	0,4	-4,4	2,5
1983	-2,7	-8,3	-1,9	1,1	4,0	9,1	14,2	10,4	8,0	4,1	-0,2	-4,1	2,8
1984	-6,4	-8,4	-6,1	-1,7	2,6	7,5	10,3	9,5	5,2	4,2	1,7	-3,7	1,2
1985	-10,0	-5,6	-4,4	-0,5	5,4	6,9	12,2	9,9	8,8	4,7	-4,7	-2,0	1,7
1986	-7,1	-10,1	-2,4	-0,3	7,3	8,5	10,0	10,3	7,9	4,9	-0,2	-4,7	2,0
1987	-7,4	-4,0	-7,5	0,5	2,1	7,3	11,4	9,9	10,1	5,5	-1,5	-2,2	2,0
1988	-3,2	-6,3	-5,3	1,5	6,6	7,6	11,5	10,6	7,2	5,9	-2,7	-4,2	2,4
1989	-1,8	-1,7	0,1	0,3	5,3	6,4	10,5	10,0	6,8	4,3	-1,9	-1,9	3,0
1990	-3,4	-1,3	-0,5	-0,7	6,2	8,3	11,0	11,1	5,9	5,5	-2,7	-7,6	2,7
1991	-4,1	-7,4	0,3	-1,2	1,0	7,9	12,4	11,4	9,2	2,6	-1,8	-5,2	2,1
1992	-3,7	-4,5	-2,6	0,0	6,8	8,3	11,8	13,4	7,6	1,3	0,2	-3,6	2,9
1993	-2,7	-4,9	-4,2	1,3	7,1	9,4	9,6	10,8	6,2	3,2	-3,3	-3,7	2,4
1994	-4,3	-5,4	1,2	-0,6	6,1	9,3	13,3	12,0	7,7	3,3	2,0	-2,4	3,5
1995	-7,5	-2,5	-5,1	1,0	5,3	6,8	13,2	9,3	4,7	7,0	-2,8	-4,9	2,0

1996	-2,9	-7,7	-4,9	1,0	5,7	10,2	9,9	9,3	3,8	2,6	-1,8	-4,2	1,8
1997	-2,7	-2,8	-0,7	-1,8	5,6	8,8	9,3	11,3	9,1	3,3	-0,8	-3,7	2,9
1998	-3,6	0,4	-2,6	1,2	6,4	10,2	12,0	12,4	7,4	3,4	-4,4	-4,4	3,2
53-98	-5,6	-5,2	-2,8	0,2	4,9	8,3	10,5	10,0	7,3	3,8	-1,5	-4,5	2,1
Mittelbildung: bis 1971 $[T(7)+T(19)+T(21)+T(21)]/4$ 1971 bis 1996 $[T(7)+T(19)+T(\min)+T(\max)]/4$ 1997 u. 1998 $[T(\min)+T(\max)]/2$ Quellen: für 1953 bis 1996 Inst. f. Meteorologie und Geophysik d. Univ. Innsbruck für 1997 u. 1998 Inst. f. Hochgebirgsforschung und Alpenländ. Land- u. Forstwirtschaft d. Univ. Innsbruck													

Tab. 18: Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur der Station Vent (1906 m) 1950 bis 1997 [in °C]													
	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dez	Jahr
1950	-6,3	-3,2	-1,9	-0,4	6,4	10,2	11,5	10,4	6,9	2,7	-1,8	-7,2	2,3
1951	-5,6	-5,1	-4,2	-0,3	4,5	8,7	11,2	10,8	8,9	3,2	0,9	-3,0	2,5
1952	-8,1	-7,8	-2,5	3,0	5,0	9,8	12,2	10,4	4,2	2,1	-4,9	-6,6	1,4
1953	-9,4	-8,6	-2,8	2,0	5,8	7,4	10,6	9,5	8,5	5,6	-1,1	-3,4	2,0
1954	-9,5	-7,3	-2,2	-0,9	3,4	8,4	7,4	8,5	7,4	2,6	-2,2	-4,3	0,9
1955	-4,1	-7,7	-4,6	-0,5	3,9	8,3	9,5	8,2	6,4	1,7	-3,0	-2,3	1,3
1956	-5,6	-15,0	-4,0	-1,0	5,0	5,4	9,8	9,3	8,9	1,1	-4,5	-7,0	0,2
1957	-6,9	-3,7	0,1	0,6	2,3	9,0	9,1	8,2	6,2	3,5	-1,3	-5,5	1,8
1958	-7,3	-2,9	-6,7	-1,9	7,8	7,3	10,2	10,0	8,2	2,2	-1,7	-4,5	1,7
1959	-7,5	-4,0	0,0	1,3	5,1	7,9	11,3	8,7	7,0	2,6	-3,2	-4,6	2,1
1960	-7,7	-4,4	-2,4	-0,5	5,5	9,2	8,3	9,2	5,2	2,3	-1,5	-5,4	1,5
1961	-7,3	-3,7	-2,0	3,8	3,3	9,8	9,2	9,0	9,4	3,7	-2,1	-4,6	2,4
1962	-6,0	-7,1	-6,5	-0,5	3,0	6,5	8,8	10,4	6,5	3,3	-4,7	-8,3	0,5
1963	-11,8	-10,0	-3,8	1,2	4,0	8,1	10,7	9,4	7,8	3,1	0,4	-8,1	0,9
1964	-7,3	-5,0	-3,3	1,4	6,1	10,1	9,9	8,5	6,7	0,9	-1,1	-6,2	1,7
1965	-5,9	-11,0	-3,7	-1,0	3,4	8,0	8,7	8,4	5,2	3,8	-2,7	-5,1	0,7
1966	-9,0	-0,7	-4,6	1,6	4,1	8,6	8,4	7,9	8,0	5,1	-4,9	-6,1	1,5
1967	-7,2	-5,2	-2,0	-0,9	4,4	6,7	11,0	9,2	6,2	4,9	-0,1	-7,5	1,6
1968	-8,2	-4,4	-3,4	2,0	4,6	7,7	8,6	8,1	5,8	4,4	-1,3	-7,4	1,4
1969	-6,0	-9,4	-3,8	-0,5	6,5	6,3	10,2	7,8	7,8	4,6	-2,4	-10,3	0,9
1970	-6,2	-7,8	-6,5	-2,7	2,6	9,0	9,2	8,7	7,8	2,4	0,0	-6,9	0,8
1971	-6,1	-7,1	-8,2	2,2	5,5	6,8	10,0	10,7	5,0	3,3	-3,0	-3,3	1,3
1972	-6,9	-3,5	-0,8	-0,2	4,0	7,5	9,0	8,9	3,2	1,1	-1,6	-3,3	1,5
1973	-5,8	-8,3	-5,2	-3,0	5,8	9,0	9,2	11,0	7,3	1,8	-2,3	-5,5	1,2
1974	-3,5	-4,1	-2,1	-0,6	3,8	6,5	9,5	10,5	6,4	-3,4	-3,3	-3,8	1,3
1975	-3,2	-6,1	-3,8	-0,2	4,8	6,7	9,7	9,3	9,0	1,5	-2,8	-5,3	1,6
1976	-6,3	-4,6	-4,7	0,0	5,3	9,1	10,0	7,3	4,7	4,4	-3,2	-7,6	1,2
1977	-5,6	-4,3	0,1	-0,8	4,5	7,9	9,6	8,2	5,3	5,0	-2,7	-3,6	2,0
1978	-6,0	-5,8	-2,9	-1,1	3,3	7,2	8,9	8,4	6,2	3,0	-1,3	-3,6	1,4
1979	-8,9	-5,4	-2,4	-2,7	4,0	8,3	8,8	8,5	6,5	4,5	-3,5	-4,0	1,1
1980	-7,6	-4,9	-3,3	-3,0	2,9	6,6	8,6	10,8	7,9	1,3	-2,6	-6,6	0,8
1981	-9,0	-8,5	-0,5	1,9	4,7	8,7	8,9	9,9	7,6	2,6	-3,5	-6,5	1,4
1982	-4,5	-6,5	-3,8	-0,7	5,9	10,1	11,9	9,5	8,9	2,6	-0,4	-4,7	2,4
1983	-3,4	-8,7	-1,7	2,1	4,2	8,7	13,6	10,1	7,8	3,9	-1,4	-4,8	2,5

1984	-6,8	-8,1	-6,4	-1,7	2,8	7,4	10,1	9,2	5,4	3,7	1,6	-4,5	1,1
1985	-10,1	-5,9	-4,4	0,0	5,4	6,9	11,7	9,5	8,5	4,4	-4,7	-2,2	1,6
1986	-7,0	-11,2	-2,4	-0,3	6,9	7,9	10,0	10,0	7,8	4,4	-1,3	-5,6	1,6
1987	-8,0	-4,3	-7,2	0,6	1,6	6,5	10,7	9,3	9,8	4,9	-2,1	-3,2	1,6
1988	-3,5	-6,0	-5,2	1,4	6,4	7,4	11,3	9,8	6,6	5,5	-3,7	-4,0	2,2
1989	-3,8	-2,9	0,1	0,6	5,3	6,5	10,2	9,3	6,8	4,0	-3,6	-2,8	2,5
1990	-4,4	-1,2	-0,8	-0,5	6,0	8,0	10,3	10,5	6,1	5,4	-3,1	-8,2	2,3
1991	-5,1	-8,0	0,5	-1,1	0,9	7,6	11,6	10,8	8,8	2,4	-2,3	-6,0	1,7
1992	-5,4	-5,6	-2,6	0,2	6,5	8,0	11,3	12,9	7,4	1,3	0,2	-5,0	2,4
1993	-3,9	-6,0	-4,2	1,5	7,1	9,0	9,4	10,4	6,2	2,7	-3,7	-3,3	2,1
1994	-4,3	-5,8	1,4	-0,4	5,9	8,8	12,6	11,6	7,8	3,2	1,4	-2,8	3,3
1995	-7,4	-2,5	-4,7	1,2	5,2	6,4	12,4	8,9	5,0	6,4	-3,1	-5,1	1,9
1996	-3,9	-8,1	-4,7	1,4	5,9	9,8	9,6	9,0	3,8	2,2	-1,9	-4,8	1,5
1997	-3,8	-3,3	-0,6	-1,7	5,5	8,5	8,8	10,5	8,7	3,8	-1,3	-4,5	2,6
50-97	-6,4	-6,1	-3,2	0,0	4,7	8,0	10,0	9,4	6,9	3,2	-2,1	-5,2	<b>1,6</b>
Mittelbildung: $[T(7)+T(19)+T(21)+T(21)]/4$													
Quellen: Inst. f. Meteorologie und Geophysik d. Univ. Innsbruck													