

W 1969, 1

Privat-Bibliothek
Dr. Klaus Robin

E
Nr.

SONDERDRUCK AUS
Zeitschrift für Geomorphologie
Annals of Geomorphology — Annales de Géomorphologie
Supplementband 8, 1969, Seite 11—30
Verlag Gebrüder Borntraeger, 1 Berlin — 7 Stuttgart
Printed in Germany

Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin

von

DIETRICH BARSCH, Basel

Mit 10 Abbildungen und 1 Tabelle

Summary. In the scheme of the research programme of the Institute of Geography of the University of Basle the rock glaciers of Macun have been mapped (fig. 4). Following some indications of other papers and our own experience we propose the following classification of rock glaciers:

- 1 rock glacier at the bases of talus slopes
- 2 rock glacier below end moraines
 - 21 big valley rock glaciers (some hundreds of meters long)
 - 22 small rock glaciers, partly end moraines which are moving like rock glaciers
- 3 special form: glaciers completely covered by rubble .

The biggest rock glacier of Macun (Macun 1) belongs to group 21 of the classification above, the rock glaciers Macun 2, 6 and perhaps 7 belong to group 1, Macun 4 and 5 to group 22. The rock glacier Macun 3 has not yet been classified.

The rock glacier Macun 1 was measured in 1965 (fig. 2) and 125 points were fixed. Two years later we controlled these points (fig. 3, table 1), the average movement of the rock glacier was about 25–30 cm per year.

Our measurements indicate the following results of general interest:

- 1. Not only the surface but also the whole rock glacier is moving.
- 2. The crevasses on the upper part of a rock glacier are not caused by melting ice but by the movement of the rock glacier.
- 3. The pattern of microrelief (ridges and furrows) on the rock glacier is caused rather by the direction of movement than by historical events (different supply of talus).

Résumé. Dans le cadre d'un programme de recherches de l'Institut de Géographie de l'Université de Bâle, nous avons exécuté une carte géomorphologique des glaciers rocheux à Macun (Fig. 4).

Tenant compte des études déjà publiées et de nos propres observations nous proposons la classification suivante des glaciers rocheux en fonction de leur genèse:

- 1 Glaciers rocheux en aval de talus d'éboulis d'une certaine importance

- 2 Glaciers rocheux en aval de moraines terminales
 21 Glaciers rocheux de vallée (pouvant dépasser plusieurs centaines de mètres)
 22 petits glaciers rocheux qui sont à considérer, en partie, comme des moraines frontales en mouvement comme des glaciers rocheux
- 3 Formes spéciales: glaciers complètement noyés sous les débris.
 Parmi les 7 glaciers rocheux recensés à Macun, le plus important (Macun 1) est à classer dans le groupe 21, les N° 2, 6 et peut-être 7 au groupe 1, Macun 4 et 5 au groupe 22, l'appartenance de Macun 3 à ce groupe restant encore à confirmer.
 Macun 1 a été soumis à des mesures précises (Fig. 2). 125 repères y ont été pratiqués et vérifiés après 2 ans (Fig. 3, Tabl. 1); la progression moyenne a été de 25–30 cm par an.
 Nos mesures permettent de tirer certaines conclusions générales:
1. C'est l'ensemble du glacier rocheux qui se déplace et pas seulement la partie superficielle
 2. Les parties creuses à la surface du glacier rocheux sont dûes plutôt à des crevasses provoquées par les tensions qu'à la fusion de la glace morte;
 3. La direction des rigoles et des levées est davantage fonction des conditions d'écoulement que des événements historiques (variation dans l'apport des débris).

Vorbemerkung

Bisher besitzen wir – mit Ausnahme der Pläne 1 : 10 000 von W. PILLEWIZER (1957) – keine genauen Vermessungen von Blockgletschern; zudem wurde bisher die Bewegung dieser Schuttmassen nur durch Messungen an Profilinien von ca. 10 Meßpunkten (z. B. A. CHAIX 1923, W. PILLEWIZER 1957, C. WAHRHAFTIG & A. COX 1959) kontrolliert, so daß wir über ihre eigentliche Bewegung noch höchst ungenau informiert sind. Um diesem Übelstand abzuwehren, haben Prof. ANNAHEIM und ich beschlossen, ein Forschungsprogramm des Geographischen Institutes der Universität Basel zur weiteren Untersuchung der Blockgletscher durchzuführen. Anlässlich der Feldstudien des Geographischen Institutes in Lavin im Juli 1965 (vgl. H. ANNAHEIM 1966) haben wir mit der geomorphologischen Kartierung und der genauen Vermessung der Blockgletscher im Großkar von Macun (ca. 3 km NE von Zernez bzw. 2 km S Lavin) begonnen. Dazu wurde eine Arbeitsgruppe gebildet, die aus D. BARSCH als Leiter, M. MAURER als Vermessungsfachmann sowie den Studenten M. BREFIN, E. PERRET, W. STÖCKLI und P. SCHNEIDER bestand und die vom 10. bis 25. Juli 1965 die Vermessungen und Kartierungen besorgte. Die ersten Kontrollen in Macun wurden vom 27. bis 31. Juli 1967 von D. BARSCH, M. MAURER, P. FISCHER, E. PERRET und P. SCHNEIDER durchgeführt.¹

Unter einem Blockgletscher² versteht man heute wohl einhellig eine Schuttmasse, die sich im sogenannten aktiven Zustand langsam, d. h. mit 0,1 bis ca. 4 m

¹ Ich möchte auch an dieser Stelle Herrn Prof. ANNAHEIM für seine freundliche und uneingeschränkte Unterstützung bei der Überwindung der diversen Schwierigkeiten sowie allen Teilnehmern der bisherigen Kampagnen für ihre Einsatzbereitschaft, ihre Kameradschaftlichkeit und ihr exaktes Arbeiten herzlich danken. Sie haben dadurch wesentlich zum bisherigen Gelingen des Unternehmens beigetragen.

Beide Male durften wir als Stützpunkt die Militärunterkunft Macun N in 2560 m Höhe benutzen. Für das erwiesene Entgegenkommen sind wir den zuständigen Militärbehörden wie auch Herrn D. RÖNER (St. Moritz) sehr verpflichtet. Da bei unserer ersten Kampagne eine Menge Material nach Macun transportiert werden mußte und da nur ein schmaler Saumpfad bis in das Kar führt, wurde freundlicherweise der sonst nicht zu bewältigende Transport durch einen Militärhelikopter durchgeführt. Den verantwortlichen Dienststellen wie auch dem Piloten, Herrn Major KOLB, der die Operation organisierte, möchten wir deshalb unseren herzlichsten Dank für diese Hilfe aussprechen, die unsere Untersuchungen erst möglich gemacht hat.

² Der Terminus „Blockgletscher“ (rock glacier, glacier rocheux) ist nicht glücklich gewählt, da es sich – mit Ausnahme gelegentlich beschriebener Übergangsformen (vgl. E. GRÖTZBACH

pro Jahr, hang- oder talabwärts bewegt und in ihrer durch Wälle und Rinnen gegliederten Form an Bewegungsbilder zähflüssiger Massen erinnert. An den Bewegungsstirnen ist sie vom umgebenden Gelände durch steile, meist 10–20 m hohe Böschungen abgesetzt, deren Neigungen i. a. steiler sind als der Schüttwinkel der betreffenden Lockergesteine, so daß Schuttrutschungen nicht selten sind. Die Hangneigung dieser Böschungen liegt zwischen 30 und 40°. An den Stirnen zeigt sich, daß nicht der ganze Blockgletscher aus den groben, je nach Gesteinsart bis Kubikmeter großen Blöcken besteht, die die Oberfläche bilden, sondern daß in den unteren Schichten das Feinmaterial überwiegt und die großen Blöcke z. T. vollkommen darin eingehüllt sind. Im Gegensatz zu den mit Flechten bewachsenen Blöcken an der Oberfläche der Blockgletscher ist dieses Feinmaterial immer von frischer Farbe. Unsere granulometrischen Analysen des Materials unter 2000 μ von der Stirn des Blockgletschers Macun 1 haben ergeben, daß 70 % der Sandfraktion (2000–63 μ) und 25 % der Schlufffraktion (63–2 μ) angehören. Dieses Verhältnis ist jedoch variabel.

Die aktiven Blockgletscher finden sich im oberen Teil der heutigen subnivalen Stufe der Hochgebirge. Der in ihnen aufgearbeitete Schutt entstammt den Felshängen ihrer Umrahmung bzw. den Schutthaldeu oder Moränen in ihrem Einzugsgebiet. Zu ihrer Bildung und ihrer Bewegung dürfte Eis unbedingt notwendig sein.

Aktive Blockgletscher sind in den höheren Teilen der Alpen sehr zahlreich und deshalb bereits häufig beschrieben worden (z. B. A. CHAIX 1923, C. F. CAPELLO 1947, 1959, J. MICHAUD & A. CAILLEUX 1950, H. BOESCH 1951, J. DOMARADZKI 1951, H. JÄCKLI 1957, W. PILLEWIZER 1957, P. W. HÖLLERMANN 1964, V. BINGGELI 1965, N. GERHOLD 1965, 1967, E. GRÖTZBACH 1965, H. HEUBERGER 1966). Wie die auf Grund von Luftbildauswertungen entworfene Abbildung 1 zeigt, treten in der Umgebung von Macun im Höhenbereich zwischen 2400 und 2800 m fast in jedem Kar, soweit es nicht rezente Gletscher enthält, einer oder mehrere Blockgletscher auf. Neben dem Kristallin der Silvrettadecke (Oberostalpin) sind vor allem im Nationalpark auch triadische Kalke und Mergel der Scarldecke (Oberostalpin) am Aufbau der Blockgletscher (vgl. Geol. Atlas Bl. 20, ferner H. BOESCH 1951, J. DOMARADZKI 1951) beteiligt. Das hier vorgelegte Material ist noch nicht ausreichend, um Hinweise auf Gesteins- und Expositionsabhängigkeit der Blockgletscher im Unterengadin zu geben. Dieser Frage soll jedoch später weiter nachgegangen werden. Es sei jedoch betont, daß bereits in verschiedenen Arbeiten, z. B. in der sehr ausführlichen von C. WAHRHAFTIG & A. COX (1959), nachgewiesen worden ist, daß die Blockgletscher eine geringere Expositionsempfindlichkeit besitzen als die heutigen Gletscher.

Unser engeres Untersuchungsgebiet (Abb. 1, 4, 5) bildet das Großkar von Macun im Unterengadin. Ein in zahlreiche Rundhöcker aufgelöster Karriegel trennt

1965, die Karte vom Khumbu Himal 1 : 50 000 des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya in C. TROLL & U. SCHWEINFURTH 1968 oder L. LLIBOUTRY 1953) – nicht um Gletscher handelt. Der von H. BOESCH (1951) und J. DOMARADZKI (1951) sowie neuerdings von E. GRÖTZBACH (1965) verwendete Terminus „Blockstrom“ (rock stream, coulée de blocs) wird dagegen z. T. für ähnliche, aber genetisch wohl andere und stets kleinere Erscheinungen verwendet (z. B. B. MESSERLI 1965). Da sich der Begriff „Blockgletscher“ allgemein in der Literatur eingebürgert hat, soll er auch hier verwendet werden. Im übrigen halten wir es für verfehlt, beim jetzigen Stand der Forschung durch besondere Termini einzelne Blockgletschertypen kennzeichnen zu wollen.

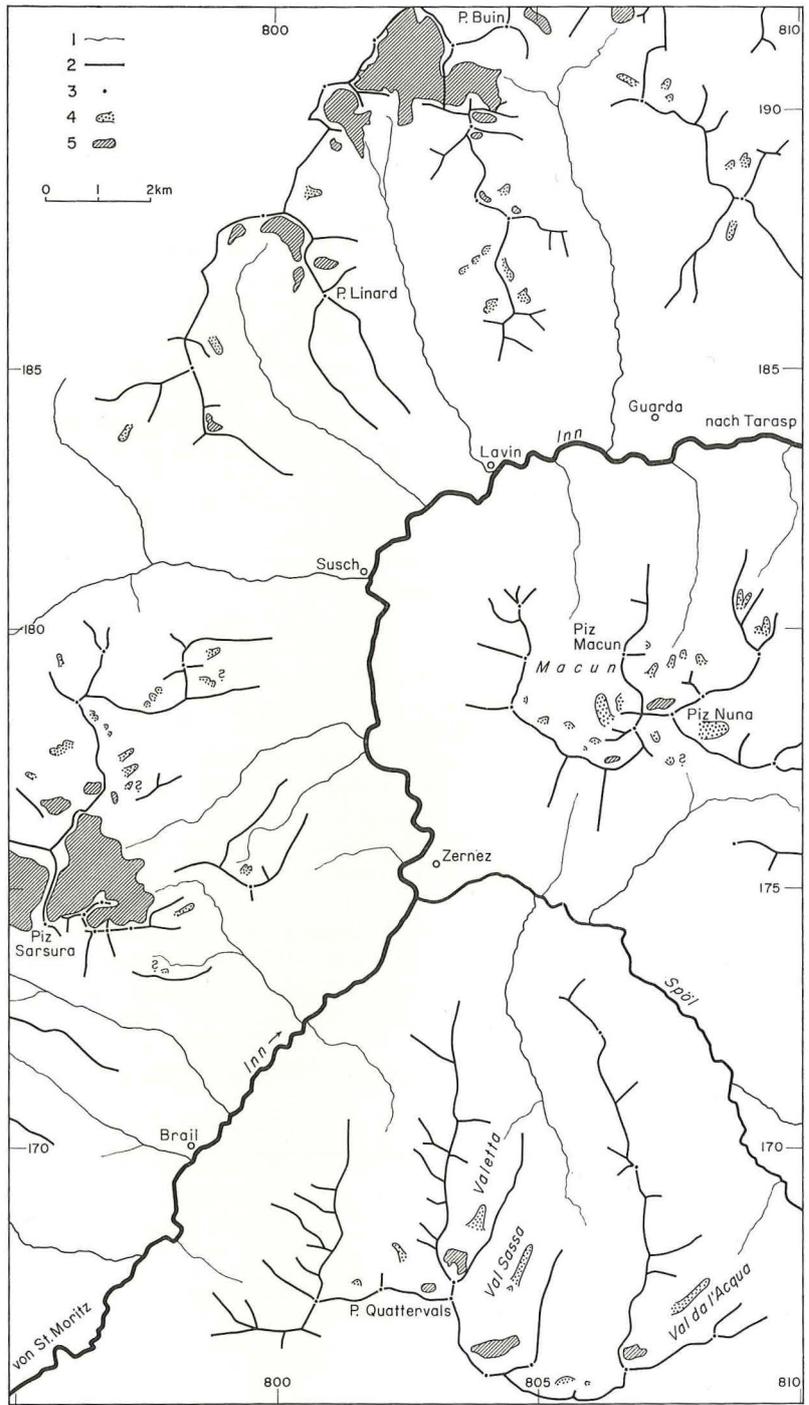


Abb. 1



Abb. 1

es nur unvollkommen vom Inntal im N, gegen das auch die Entwässerung durch die Aua da Zeznina gerichtet ist. Die Höhe des Karbodens schwankt in der Region der Seen um 2600 m, in den Nebenkaren um 2700 m. Die Karschwelle erreicht in verschiedenen Rundhöckern 2680 m, der umrahmende Grat in einzelnen Spitzen Höhen um 3000 m.

Das Kar von Macun und seine Umrahmung gehört nach den Aufnahmen von E. WENK (1934, Geol. Atlas Bl. 20) ganz zum Kristallin der Silvrettadecke (Oberostalpin). Als Gesteine treten im wesentlichen Orthogneise (z. T. als grob-flasrige Augengneise, z. T. mit schöner Fältelung) auf. Dazu kommen in kleineren Zonen Mischgneise mit nur geringem Anteil an Orthomaterial und im Bereich der Karschwelle sowie in einigen Teilen des Grates Amphibolite vor, die gegenüber den Orthogneisen durch eine etwas größere Widerstandsfähigkeit ausgezeichnet sind. Sie liefern jedoch – ebenso wie die Orthogneise – als Folge der intensiven mechanischen Verwitterung außerordentlich viel Schutt. So bilden Schutthalden keine Seltenheit und meist sind auch steilere Hänge sowie große Partien des Grates mit autochthonem oder fast autochthonem Gesteinszersatz bedeckt, der beim Begehen leicht zum Absturz gebracht werden kann.

Das ganze Kar ist nach Daun eisfrei geworden, da Daunmoränen erst weit unterhalb von Macun in 2000 bis 2100 m Höhe bei der Alp Zeznina Dadaint auftreten (R. SALATHÉ 1961). Nach der Urausgabe der Dufourkarte Nr. 15 (Bl. Davos-Martinsbruck) von 1853 (1 : 100 000) und der Urausgabe der Siegfriedkarte Nr. 424 (Blatt Zernez) von 1877 (1 : 50 000) haben um die Mitte des vorigen Jahrhunderts nur die zwei Gletscher oberhalb der heutigen Blockgletscher Macun 4 und 5 existiert. Unsere Kartierungen haben jedoch ergeben, daß oberhalb des Blockgletschers Macun 1 um 1850 noch ein weiterer Gletscher gelegen haben muß, dessen Seiten- und Endmoränen z. T. in den Blockgletscher eingearbeitet worden sind und dessen Zungenbecken als große Hohlform oberhalb des Blockgletschers Macun 1 zu finden ist. Alle diese Gletscher sind seit 1850 bis auf wenige Kubikdekameter Blankeis abgeschmolzen, wobei etwa bei dem Gletscher oberhalb von Macun 5 rund 30 000 m³ Eis pro Jahr seit 1850 abgeschmolzen sein müssen.

In Macun haben wir während unserer ersten Kampagne zunächst eine geomorphologische Kartierung des Kares im Maßstab 1 : 2500 auf einer entsprechenden Vergrößerung der Landeskarte durchgeführt. Als erstes Ergebnis hat sich gezeigt, daß in Macun sieben und nicht nur die zwei von J. DOMARADZKI (1951) beschriebenen Blockgletscher (Macun 1 und 2) auftreten. Alle diese Blockgletscher sind auf der geologischen Karte (Geol. Atlas Nr. 20) als Moränen kartiert. Vom größten der auftretenden Blockgletscher (Macun 1) hat unser Vermessungsfachmann M. MAURER einen Höhenlinienplan 1 : 2000 (Aequidistanz 5 m) angefertigt (Abb. 2, verkleinert). Ferner wurden 125 Punkte auf dem Blockgletscher Macun 2 eingemessen und nach 2 Jahren, d. h. Ende Juli 1967, kontrolliert. Die Ergebnisse für

Abb. 1. Verbreitung der Blockgletscher und der rezenten Vergletscherung in der Umgebung von Macun (Unterengadin). Grundlage der Darstellung bilden Reihenluftbilder der Eidg. Landestopographie. Die durch Fragezeichen gekennzeichneten Blockgletscher sind vermutlich heute inaktiv.

1 Gewässer – 2 Hauptkammlinien, Eis- und Wasserscheiden – 3 markante Gipfel – 4 Blockgletscher – 5 rezente Vergletscherung (z. T. nach der Landeskarte)

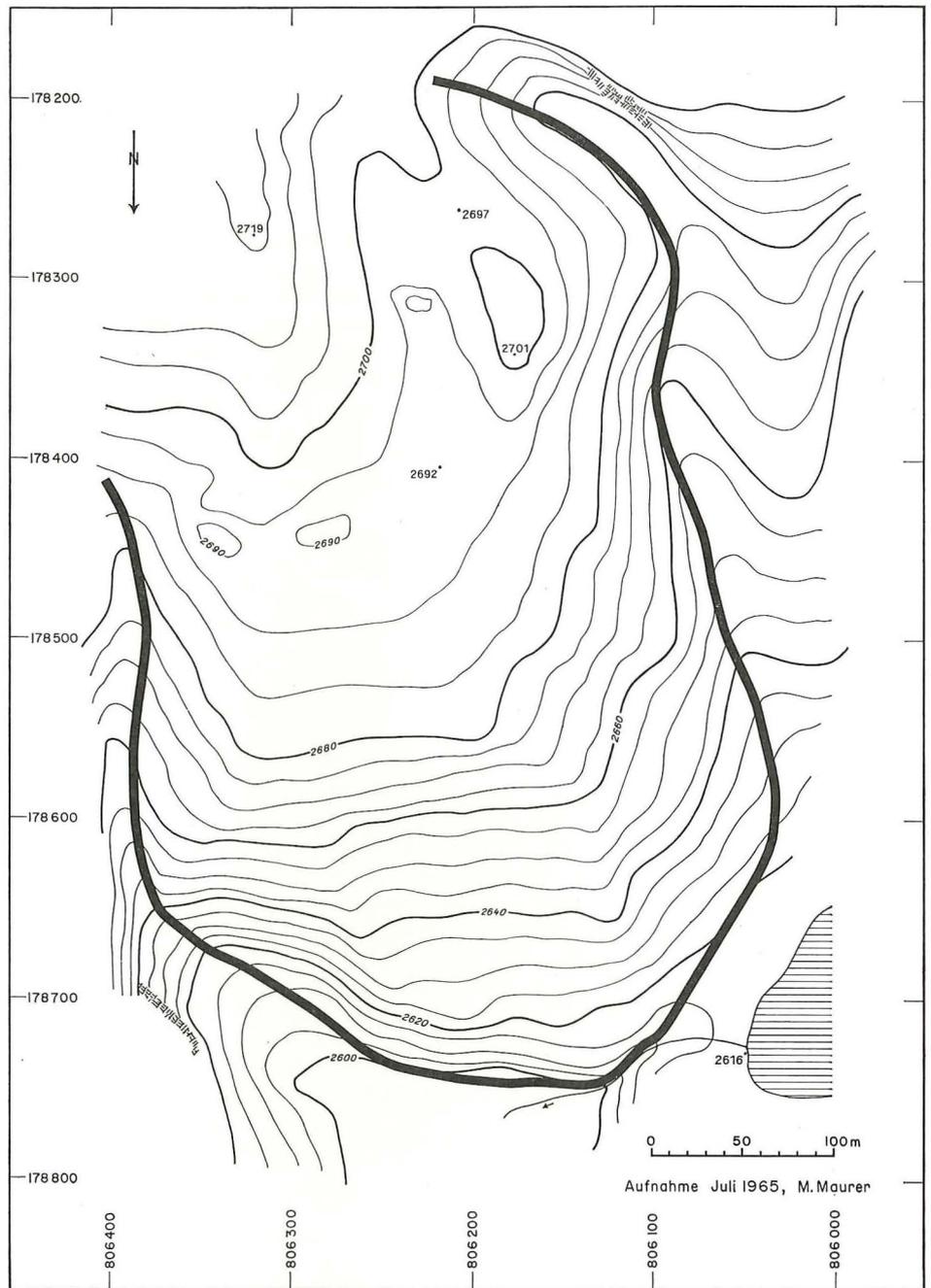
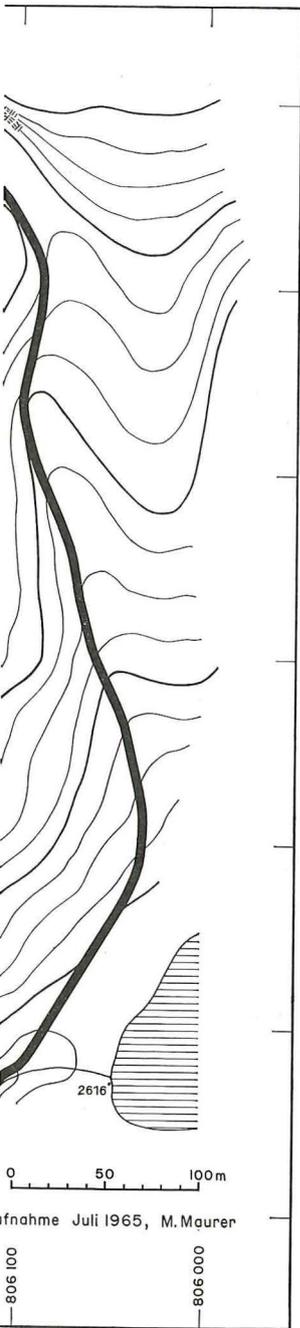


Abb. 2. Höhenlinienplan des Blockgletschers Macun 1 (Äquidistanz: 5 m). Originalmaßstab der Meßtischaufnahme: 1 : 2000



Stanz: 5 m). Originalmaßstab

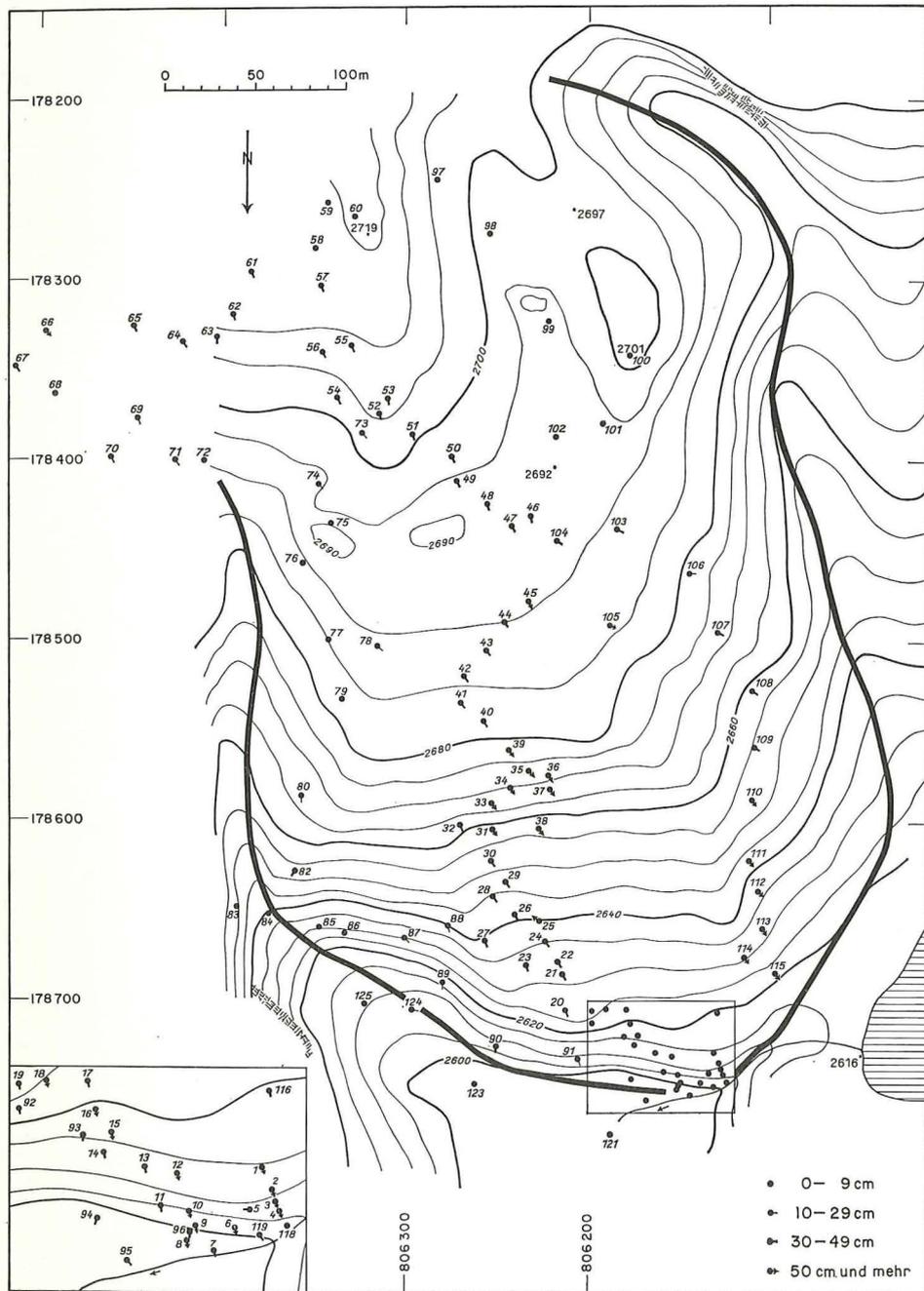


Abb. 3. Richtung und Größe der Bewegung der Meßpunkte auf dem Blockgletscher Macun 1 in der 1. Meßperiode (Juli 1965-Juli 1967)

Tabelle 1 Koordinaten Juli 1965 und Größe der Versetzung V (Juli 1965 bis Juli 1967) der Meßpunkte auf dem Blockgletscher Macun 1

Pkt	Koordinaten 1965	V in cm	Pkt	Koordinaten 1965	V in cm
1	806 129,9/178 728,1	50	53	806 309,0/178 367,1	49
2	806 127,1/178 734,0	51	54	806 337,1/178 366,5	40
3	806 126,0/178 737,1	75	55	806 329,2/178 337,2	37
4	806 125,2/178 740,0	50	56	806 345,0/178 341,5	31
5	806 134,1/178 739,8	35	57	806 346,1/178 303,7	30
6	806 137,0/178 745,1	50	58	806 350,0/178 283,0	0
7	806 142,5/178 752,0	45	59	806 343,1/178 257,8	0
8	806 150,0/178 748,1	55	60	806 328,0/178 266,0	0
9	806 148,5/178 745,0	50	61	806 385,3/178 296,0	30
10	806 150,1/178 739,9	50	62	806 395,0/178 320,3	38
11	806 158,0/178 738,5	45	63	806 403,2/178 332,1	33
12	806 153,5/178 730,0	50	64	806 422,5/178 335,0	32
13	806 163,2/178 728,2	46	65	806 450,0/178 326,1	46
14	806 174,0/178 723,8	45	66	806 498,1/178 329,0	50
15	806 172,3/178 718,5	50	67	806 515,0/178 348,1	45
16	806 176,5/178 712,1	50	68	806 493,2/178 363,0	0
17	806 179,1/178 704,0	46	69	806 448,1/178 377,1	25
18	806 190,0/178 704,5	51	70	806 462,5/178 399,0	14
19	806 198,5/178 705,0	49	71	806 427,0/178 400,1	18
20	806 212,3/178 705,2	41	72	806 411,5/178 400,7	0
21	806 213,6/178 685,0	46	73	806 324,1/178 385,0	25
22	806 216,1/178 678,1	45	74	806 347,0/178 413,8	15
23	806 234,5/178 680,2	38	75	806 340,0/178 435,0	0
24	806 223,0/178 667,0	44	76	806 356,1/178 457,5	0
25	806 226,1/178 655,0	65	77	806 343,0/178 500,0	0
26	806 240,0/178 653,1	43	78	806 315,1/178 504,1	15
27	806 256,1/178 667,2	31	79	806 336,2/178 533,1	0
28	806 252,2/178 642,1	41	80	806 357,1/178 587,2	10
29	806 245,0/178 634,1	46	81	—	—
30	806 253,3/178 623,0	45	82	806 360,0/178 629,1	46
31	806 252,1/178 604,9	50	83	806 392,5/178 648,5	0
32	806 270,0/178 602,5	43	84	806 375,0/178 652,1	0
33	806 253,2/178 591,0	50	85	806 347,1/178 660,1	0
34	806 242,3/178 582,5	52	86	806 333,3/178 663,1	0
35	806 232,7/178 573,0	60	87	806 300,0/178 665,0	16
36	806 222,3/178 575,1	61	88	806 276,2/178 659,1	22
37	806 221,0/178 583,0	62	89	806 280,1/178 690,0	26
38	806 225,6/178 604,1	58	90	806 250,1/178 725,1	30
39	806 243,0/178 561,0	55	91	806 205,3/178 732,1	29
40	806 257,1/178 545,1	48	92	806 198,0/178 712,1	41
41	806 269,8/178 535,2	45	93	806 180,0/178 720,0	42
42	806 268,3/178 520,0	45	94	806 176,1/178 743,1	32
43	806 255,6/178 506,1	41	95	806 169,3/178 756,1	31
44	806 246,2/178 490,0	48	96	806 149,8/178 746,0	41
45	806 233,1/178 478,1	54	97	806 283,1/178 245,1	0
46	806 233,0/178 432,5	40	98	806 254,0/178 275,2	0
47	806 243,5/178 437,0	36	99	806 222,0/178 324,0	0
48	806 256,1/178 425,0	40	100	806 178,1/178 342,0	0
49	806 273,0/178 413,8	39	101	806 193,0/178 379,9	0
50	806 275,0/178 395,0	38	102	806 218,1/178 388,2	0
51	806 296,1/178 386,1	40	103	806 184,0/178 439,1	40
52	806 314,2/178 375,0	40	104	806 217,5/178 445,0	35

1965 bis Juli 1967)
Blockgletscher Macun 1

1965	V in cm
8 367,1	49
8 366,5	40
8 337,2	37
8 341,5	31
8 303,7	30
8 283,0	0
8 257,8	0
8 266,0	0
8 296,0	30
8 320,3	38
8 332,1	33
8 335,0	32
8 326,1	46
8 329,0	50
8 348,1	45
8 363,0	0
8 377,1	25
8 399,0	14
8 400,1	18
8 400,7	0
8 385,0	25
8 413,8	15
8 435,0	0
8 457,5	0
8 500,0	0
8 504,1	15
8 533,1	0
8 587,2	10
8 629,1	46
8 648,5	0
8 652,1	0
8 660,1	0
8 663,1	0
8 665,0	16
8 659,1	22
8 690,0	26
8 725,1	30
8 732,1	29
8 712,1	41
8 720,0	42
8 743,1	32
8 756,1	31
8 746,0	41
8 745,1	0
8 775,2	0
8 824,0	0
8 842,0	0
8 879,9	0
8 888,2	0
8 849,1	40
8 845,0	35

Pkt	Koordinaten 1965	V in cm	Pkt	Koordinaten 1965	V in cm
105	806 188,2/178 491,0	50	116	806 127,0/178 706,2	48
106	806 145,0/178 462,3	15	117	—	—
107	806 128,1/178 495,0	40	118	806 123,1/178 745,0	0
108	806 108,1/178 528,0	45	119	806 128,2/178 748,2	33
109	806 108,0/178 559,1	41	120	—	—
110	806 109,2/178 588,1	52	121	806 187,1/178 774,1	0
111	806 111,0/178 622,0	52	122	806 202,0/178 745,0	—
112	806 106,3/178 639,1	52	123	806 263,1/178 746,3	0
113	806 104,1/178 659,1	50	124	806 296,1/178 705,1	12
114	806 113,2/178 674,9	52	125	806 322,1/178 702,2	0
115	806 097,5/178 683,9	51			

den Blockgletscher Macun 1 sind in Abbildung 3 und in Tabelle 1 zusammengefaßt, während Abbildung 6 bereits eine Auswertung unserer Messungen enthält.

Nach den bisher in der Literatur veröffentlichten Hinweisen (z. B. C. F. CAPPELLO 1959, C. WAHRHAFTIG & A. COX 1959, E. GRÖTZBACH 1965, N. GERHOLD 1967) wie auch nach unseren Beobachtungen in Macun können auf Grund ihrer Genese folgende Blockgletschertypen (z. T. mit weiterer Differenzierung) unterschieden werden:

- 1 Blockgletscher unterhalb größerer Schutthalden
- 2 Blockgletscher unterhalb von Endmoränen
 - 21 größere Talblockgletscher (meist von mehreren hundert Metern Länge)
 - 22 kleine Blockgletscher, die z. T. nur als ins blockgletscherartige Fließen geratene Endmoränen zu deuten sind
- 3 Sonderform: vollkommen schuttbedeckte Gletscher

Die Blockgletscher der Gruppe 1 sind häufig am kleinsten. Sie stellen gewisse Bedingungen an die topographischen Verhältnisse, da sie stets nur dort auftreten, wo unter den Schutthalden ein flacherer Hang existiert, auf den sich der entstehende Blockgletscher vorschieben kann. Der auslösende Faktor der Blockgletscherbildung ist hier die Schuttproduktion, die zu einer starken Belastung der unteren Teile der Schutthalde führt. Dies wirkt sich zunächst in Kriechbewegungen des Schuttes aus (vgl. z. B. E. GERBER und A. E. SCHEIDEGGER 1966). Die weitere Fortbewegung der Schuttmasse auf dem flachen Hang erfolgt dann wie bei den anderen Blockgletschertypen, so daß prinzipiell ein ähnliches Bewegungsbild entsteht. Inwieweit die Existenz von Schneehaldenmoränen bei der Bildung dieser Blockgletscher eine Rolle spielt, konnte bisher nicht eindeutig geklärt werden. In Macun gehören die Blockgletscher 2 (Abb. 8), 6 (Abb. 9) und eventuell 7 in diese Gruppe. Fossil habe ich ähnliche Formen aus würmzeitlichem Frostschutt unterhalb steiler, hinreichend Schutt liefernder Hänge im Berner Jura beobachtet und mit der Arbeitsbezeichnung „Gehängeschutterrassen“ belegt (D. BARSCH 1967).

Zur Gruppe 21 gehören die meisten der bisher beschriebenen Blockgletscher, wie die im Val Sassa oder Val da l'Acqua (früher Val dell'Acqua) im Schweizer Nationalpark oder der Blockgletscher Macun 1 (Abb. 7 und 8). Es sind die großen

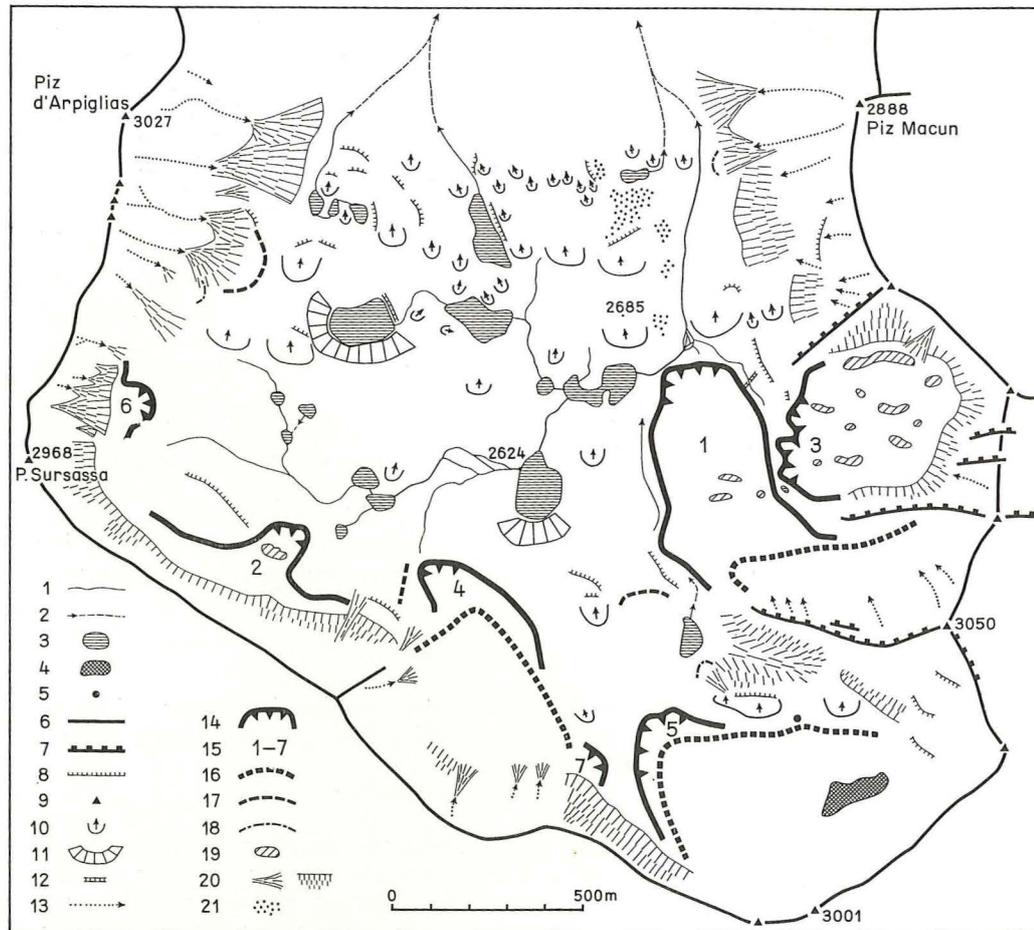
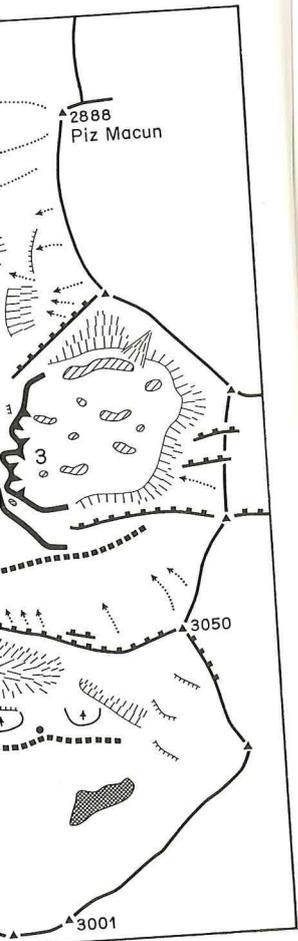


Abb. 4. Geomorphologische Skizze von Macun. 1 Gewässernetz - 2 Versitzen des Baches im Schutt - 3 See - 4 Blankeis - 5 Eis unter Schutt (in der Seitenmoräne von 1850) - 6 Grat - 7 Grat in Anlehnung an Schieferungsstirnen, die den Hang bilden gegen den die Zacken zeigen - 8 Geländekante - 9 markanter Gipfel - 10 Rundhöcker - 11 Karrückwand - 12 kleiner Felsriegel - 13 Steinschlagrinne, Lawinenbahn - 14 Blockgletscher mit Bewegungsstirn - 15 Numerierung der Blockgletscher - 16 Moränenwall von 1850 - 17 Moränenwall unbestimmten Alters - 18 Schneehaldenmoräne - 19 geschlossene Hohlform auf einem Blockgletscher - 20 Schuttthalde, Schuttkegel - 21 Felssturzmaterial

oft 300 bis 1000 m langen, zungenförmigen Blockgletscher, die der Tallinie folgen und die in ihrem oberen Teil an die Endmoränen der subrezent oder rezenten Gletscherhochstände angrenzen.



ersitzen des Baches im
von 1850) - 6 Grat -
den die Zacken zeigen -
wand - 12 kleiner Fels-
ungsstirn - 15 Nume-
l unbestimmten Alters -
tscher - 20 Schutthalde,

ie der Tallinie folgen
ezenten oder rezenten

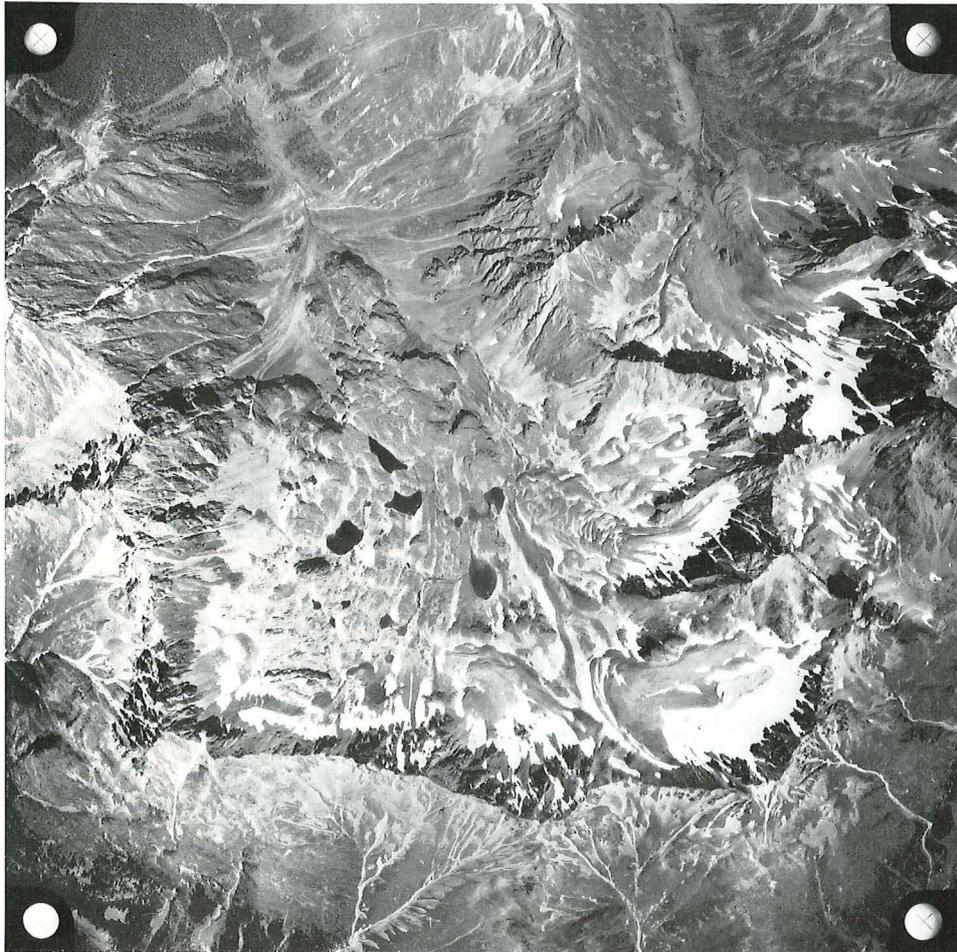


Abb. 5. Reihenluftbild der Eidg. Landestopographie (Wabern bei Bern), ungef. Maßstab der Originalaufnahme: 1 : 20 000 - Flughöhe: 5200 m - Flughöhe über Grund: ca. 2600 m - Aufnahmedatum: 31. 8. 61 - Aufnahmezeit: 12.50 h. Veröffentlicht mit Erlaubnis der Eidg. Landestopographie

Die Blockgletscher der Gruppe 22 sind in Macun aus den Endmoränen der Gletscherhochstände des vorigen Jahrhunderts hervorgegangen, die in ein blockgletscherartiges Fließen geraten sind. Dabei spielt sich ein deutlicher Formenwandel in den Endmoränen ab: Es bildet sich am unteren Ende der Moräne eine steile Bewegungsstirn mit deutlicher Materialsortierung aus. An der Oberfläche der von

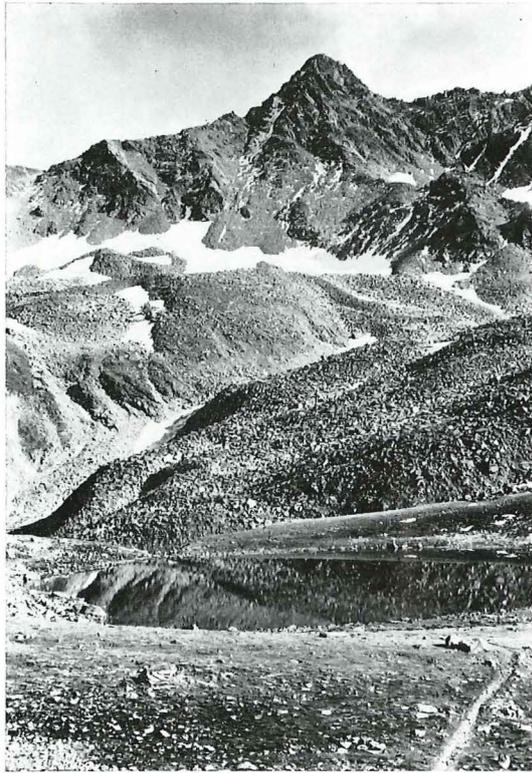


Abb. 6. Blick von W nach E über den unteren Teil des Blockgletschers Macun 1. Im Mittelgrund die Schuttmassen des Blockgletschers Macun 3 und im Hintergrund ein unbenannter Vorgipfel des Piz Nuna. Aufn. J. ROHNER im Oktober 1967

der Bewegung erfaßten Teile der Moräne ist das Feinmaterial verschwunden, es haben sich die groben Blöcke angereichert und es ergibt sich in diesem Teil eine intensivere Gliederung der Oberfläche in Wälle und Rinnen als in den nach innen oder nach der Seite benachbarten Moränenteilen.

In Macun gehören die Blockgletscher Macun 4 und 5 in diese Gruppe. Dabei dürfte vor allem der Blockgletscher Macun 5 nicht älter als die Gletscherstände des vorigen Jahrhunderts sein, da das Material, aus dem er wie auch die anschließenden, noch intakten Teile der Moräne aufgebaut sind, sehr frisch ist und kaum Flechtenwuchs aufweist. Das heißt jedoch nicht, daß in der Moräne selbst nicht auch älterer Schutt aufgearbeitet worden ist, da bei den kleinen Gletschern nach H. KINZL (1932) die Vorstöße des 17. Jahrhunderts nicht größer gewesen sind als die des 19. Jahrhunderts.

Die Gruppe 3 haben wir nach den Beschreibungen von L. LLIBOUTRY (1953) und E. GRÖTZBACH (1965) angefügt. Es handelt sich hierbei um Übergangsformen zwischen Blankeisgletschern und Blockgletschern, d. h. um blockgletscherähnliche Schuttmassen, in denen weitgehend ein ehemaliger Blankeisgletscher vorhanden und für die Weiterbewegung verantwortlich ist. Die Schuttansammlung auf dem Glet-



Abb. 7. Blick von N nach S über den Blockgletscher Macun 1. – Juli 1965

on W nach E über den
es Blockgletschers Ma-
elgrund die Schuttmas-
letschers Macun 3 und
d ein unbenannter Vor-
Nuna. Aufn. J. ROHNER
67

al verschwunden, es
n diesem Teil eine in-
ls in den nach innen

diese Gruppe. Dabei
ie Gletscherstände des
auch die anschließen-
ch ist und kaum Flech-
räne selbst nicht auch
n Gletschern nach H.
er gewesen sind als die

L. LLIBOUTRY (1953)
um Übergangsformen
blockgletscherähnliche
letscher vorhanden und
ammlung auf dem Glet-



Abb. 8. Blockgletscher Macun 2 von NE. Juli 1967



Abb. 9. Blockgletscher Macun 6 von E. Juli 1967

scher kann durch Verschüttung oder durch Ausapern (H. KRAUS 1966) entstanden sein. Sie unterscheidet sich in ihrer Formung, die in erster Linie durch Ablations- und Abschmelzerscheinungen geprägt und deshalb viel unübersichtlicher und ungeordneter ist, deutlich von den Blockgletschern der Gruppen 1 und 2.³ So kennt man besonders von ihnen die sogenannten Eisturmfelder, deren Verbreitung im Mount-Everest-Gebiet von W. HAFFNER (1967) angegeben wird. Es ist durchaus denkbar, daß sich aus diesen Sonderformen der Gruppe 3 echte Blockgletscher etwa vom Typ 21 entwickeln können. Eine Entscheidung wird sich auch in diesem Fall erst treffen lassen, wenn wir über genauere Informationen verfügen.

Es ist deshalb Vorsicht am Platze, wenn man wie L. LLIBOUTRY (1953, 1965) oder N. GERHOLD (1965, 1967) die Blockgletscher z. T. als eine besondere Moränenform ansieht. In diesen Fällen ist zwischen der Akkumulation des Schuttes als Moräne und der erneuten Aufarbeitung des Schuttes als Blockgletscher zu unterscheiden. Beide Vorgänge dürften wohl nur selten zusammenfallen und dann die Übergangsformen von stark schuttbedecktem Eis zu den eigentlichen Blockgletschern bilden, welche nicht eine Form des glazialen, sondern des periglazialen Bereiches sind. Sie haben als Leitform des oberen Teiles der subnivalen Stufe der Hochgebirge zu gelten, wie ihr Auftreten unterhalb der ihnen zeitlich entsprechenden Endmoränen beweist. Das gilt sowohl für die jüngere Vergangenheit, etwa der Larstig-

³ In Macun weist nur die Schuttmasse, aus der sich der Blockgletscher Macun 3 entwickelt hat, eine so unregelmäßige und von verschiedenen Hohlformen durchsetzte Oberfläche auf. Wie diese Verhältnisse zu deuten sind, kann jedoch im Moment noch nicht entschieden werden.

vorstöße (H. HEUBERGER 1966), als auch für die Würmzeit, für die H. MENSCHING (1953) im Hohen Atlas von Marokko gezeigt hat, daß die Blockgletscher stets unterhalb der Endmoränen der ehemaligen Gletscher auftreten.

Der Bewegungsvorgang der Blockgletscher ist bis heute nur ungenügend bekannt, da wir noch kein hinreichend genaues rheologisches und mathematisch erfaßtes Modell eines Blockgletschers besitzen. Dies ist verständlich, da bisher auch die Möglichkeit fehlte, ein solches Modell mit der Wirklichkeit, d. h. mit einem hinsichtlich seiner Bewegung genau vermessenen Blockgletscher, zu vergleichen. Die Durchsicht der Literatur ergibt, daß heute im Gegensatz zu dem noch von H. BOESCH (1951), J. DOMARADZKI (1951) oder P. W. HÖLLERMANN (1964) vertretenen „Durchtränkungsfließen“ dem im Innern der Blockgletscher verschiedentlich nachgewiesenen Eis besondere Bedeutung für die Fortbewegung zuerkannt wird. Dies ist verständlich, denn die Annahme eines „Durchtränkungsfließens“ weist verschiedene Schwierigkeiten auf:

1. müßte das Feinmaterial, das sich im Blockgletscher befindet, bei der starken Durchspülung während der Schneeschmelze im Sommer ausgewaschen werden. Die Beobachtung zeigt jedoch, daß das unter aktiven Blockgletschern austretende Wasser i. a. völlig klar ist.

2. müßten – günstige Schutt- und Feuchtigkeitsverhältnisse vorausgesetzt – auch in tieferen Lagen aktive Blockgletscher ähnlicher Viskosität auftreten. Das ist jedoch nicht der Fall.

Diese Schwierigkeiten lassen sich umgehen, sobald man annimmt, daß Eis im Innern der Blockgletscher für ihre Bewegung verantwortlich ist⁴. Dieses Eis braucht nicht Gletschereis zu sein. Viel wahrscheinlicher ist bei der Lage der meisten aktiven Blockgletscher im oberen Teil der subnivalen Zone, daß es sich um Eis handelt, das sich im Innern der Schuttmasse aus eingelagertem Schnee oder aus Schmelzwasser neu gebildet hat. Dieses Eis kann deshalb sowohl in der Form reiner Eislinien wie auch als Eiszement (gefrorenes Feinmaterial) auftreten. Zu deuten sind diese Verhältnisse als rezenter Permafrost in größeren Schuttkörpern⁵. Ähnliche Erscheinungen in grobporigen Lockermaterialien, in denen sich die winterliche Kaltluft als Folge eines schlechten Luftaustausches lange halten und dadurch die Bildung und Erhaltung von Eis verursachen kann, sind selbst aus tieferen Lagen verschiedentlich beschrieben worden.

Die Bewegung der Schuttmasse erfolgt durch den unter dem Druck der auflagernden Gesteinstrümmer plastisch gewordenen Eiskörper im Innern des Blockgletschers. Die Mächtigkeit des Eiskörpers zusammen mit der Mächtigkeit des gesamten Blockgletschers bedingt neben der Neigung des Geländes und der Intensität der Schuttproduktion die Geschwindigkeit des Blockgletschers in seinen verschiedenen Zonen.

⁴ Die Viskosität von Blockgletschern der Alaska Range wurde von C. WAHRHAFTIG & A. COX (1959) zu 10^{14} bis 10^{15} poise bestimmt. Sie entspricht damit ungefähr der von Eis, die je nach der Lage der Kristalle 10^{10} – 10^{15} poise beträgt (P. A. SHUMSKII 1964).

⁵ Auf Anraten von Herrn Prof. P. HUBER (Physikalisches Institut der Universität Basel) wollen wir bei unserer nächsten Kampagne in Macun Proben des unter den Blockgletschern austretenden Wassers sammeln und auf ihren Tritiumgehalt untersuchen lassen. Damit wird es eventuell möglich, zu bestimmen, ob dieses Wasser von abschmelzendem Eis im Innern stammt oder nicht.

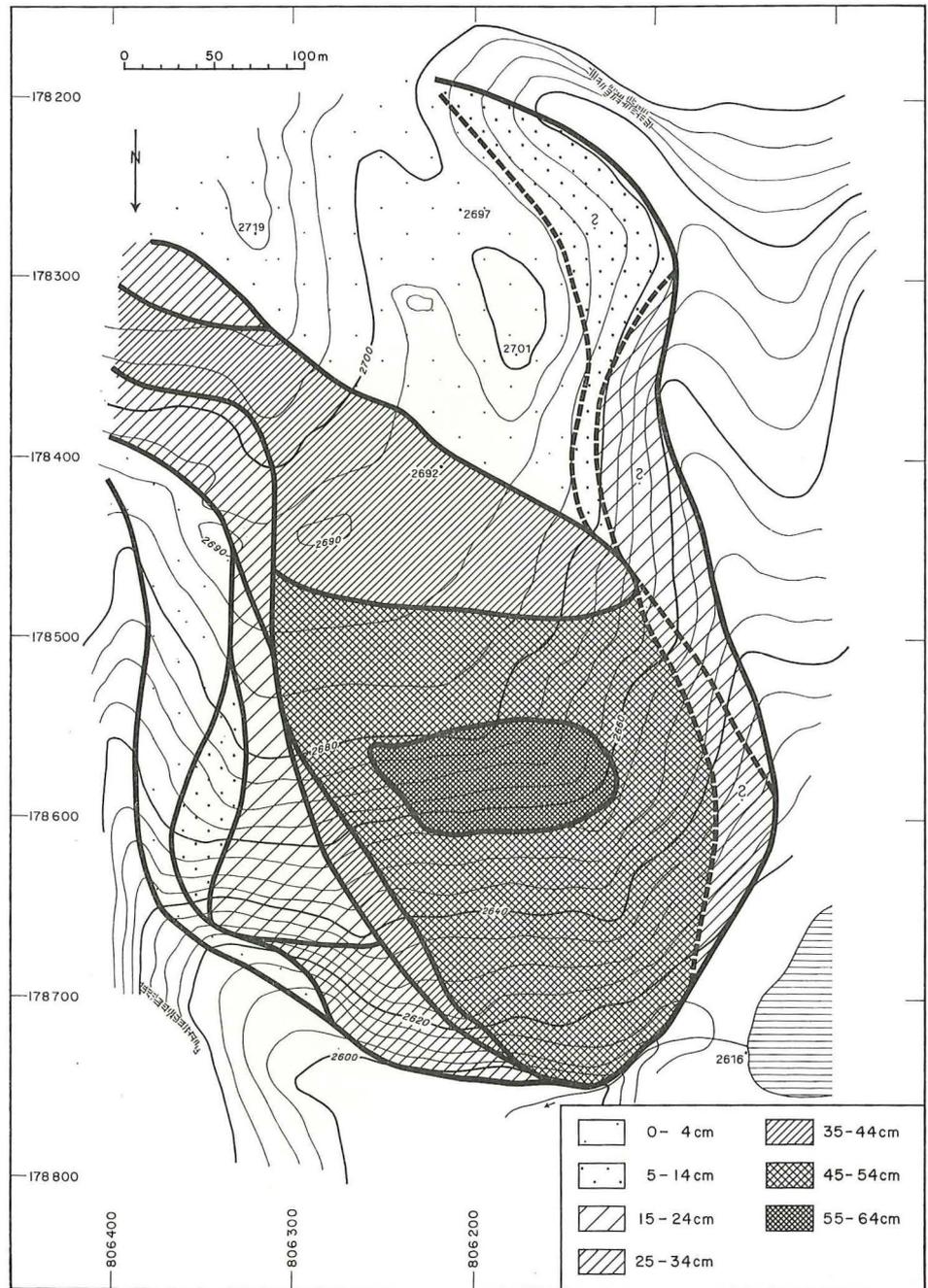


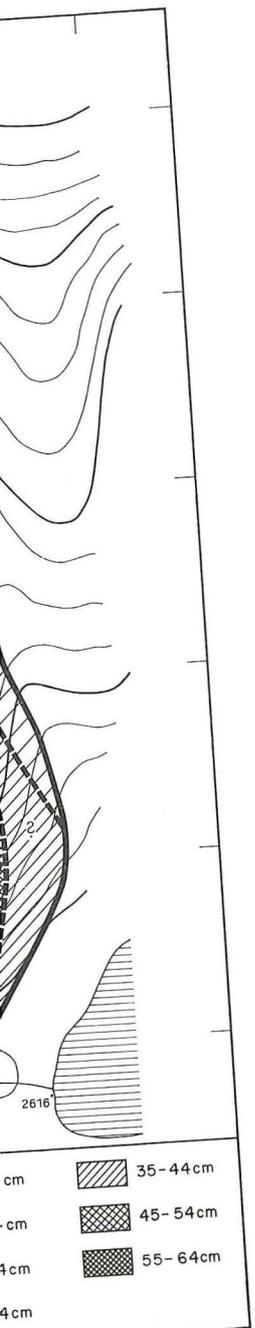
Abb. 10. Zonen einheitlicher Geschwindigkeit auf dem Blockgletscher Macun 1 (1. Meßperiode: Juli 1965 – Juli 1967)

Diese Deutung des Bewegungsvorganges erklärt auch den Größenunterschied zwischen den normalen Solifluktionen und den Blockgletschern: Im ersten Fall findet der Bewegungsvorgang in der Auftauschicht ohne Beteiligung von Eis statt, bei den Blockgletschern bewegt sich stattdessen der gesamte Schuttkörper mitsamt dem in ihm enthaltenen Eis. Versuche von H. L. JESSBERGER (1965) über das Kriechverhalten von gefrorenem Lockergestein haben zu diesem Problemkreis einige eindruckliche Zahlen erbracht. So beträgt die Kriechverformung eines tertiären Tonmergels (33 % Ton, 55 % Schluff) im einaxialen Druckversuch bei 20 °C und einer Belastung von 0,8 kg/cm² rd. 1,7 %, bei -10 °C und der 10-fachen Belastung (8 kg/cm²)⁶ dagegen nur rd. 1,75 %. Die Grenzgeschwindigkeit der Kriechverformung, die den Beginn des plastisch-viskosen Fließens anzeigt, wird nach 24 Stunden bei demselben Tonmergel bei 20 °C durch eine Belastung von 1 kg/cm² und einer Verformung von 1,6 % erreicht, bei -10 °C durch eine Belastung von 11,80 kg/cm² und einer Verformung von ca. 2 %, wobei in diesem Fall die Verformung mit längerer Belastung noch leicht zunimmt. Diese Zahlen zeigen eindeutig, daß die geringe Belastbarkeit von nicht gefrorenem Feinmaterial, die zur Verformung und damit auf geneigten Flächen zur Fließbewegung führt, die Ursache für die kleineren Formen der Solifluktion im Auftauboden im Vergleich zu den Blockgletschern ist.

Die Wandergeschwindigkeit des Blockgletschers Macun 1 beträgt maximal 75 cm in 2 Jahren (Punkt 3). Im Durchschnitt ist der untere Teil des Blockgletschers im Bereich der Stirn (E Punkt 2'616) um 25 bis 30 cm pro Jahr während der ersten Meßperiode (Juli 1965 bis Juli 1967) vorgerückt. Falls sich der Blockgletscher nicht aus einer schon weiter talwärts gelegenen Moräne entwickelt und falls er sich immer mit der Geschwindigkeit der letzten beiden Jahre bewegt hat, muß er für die Strecke von 500 bis 700 m, die ihn von den Hängen im Hintergrund trennt, etwa 1300 bis 2800 Jahre benötigt haben. Insbesondere die letzte der beiden Voraussetzungen ist jedoch bisher nicht bewiesen. Leider hilft auch die Betrachtung älterer Karten dieses Gebietes nicht weiter. Auf der Urausgabe der Siegfriedkarte Nr. 424 (Bl. Zernez, 1 : 50 000) von 1877 ist der Blockgletscher Macun 1 deutlich als Schuttansammlung eingetragen. Falls man der Aufnahme trauen kann, so muß er bis zur Vermessung von 1967 150–200 m zurückgelegt haben, d. h. in den zurückliegenden 90 Jahren hat seine mittlere Geschwindigkeit 1,7–2,2 m/Jahr betragen. Es ist zwar nicht von der Hand zu weisen, daß das ein Gletscherwachstum begünstigende Klima der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts auch eine schnellere Bewegung der Blockgletscher ermöglicht hat, doch dürfte im vorliegenden Fall die große Differenz zur heutigen, exakt bestimmten Geschwindigkeit eine Folge der ungenauen Darstellung des Blockgletschers auf der älteren Karte sein.

Wir können deshalb nur festhalten, daß der Blockgletscher vermutlich älter ist als die Gletscherhochstände des 17. Jahrhunderts, da für seine Entwicklung eine bedeutend längere Zeit erforderlich gewesen ist. Dies steht in Widerspruch zu den Ausführungen von H. BOESCH (1951), J. DOMARADZKI (1951) oder von W. PILLEWIZER (1957), die angenommen haben, daß auch die großen Talblockgletscher auf die Gletscherhochstände des 17. Jahrhunderts zurückgehen. Nach den Untersuchun-

⁶ Diese Belastung entspricht der einer Gesteinssäule von 29,6 m Höhe (spez. Gew. 2,7 g/cm³) bzw. der einer Schuttmächtigkeit von 49 bis 74 m bei einem angenommenen Porenvolumen von 40 bis 60 %.



Macun 1 (1. Meßperiode:

gen von C. WAHRHAFTIG & A. COX (1959) in der Alaska Range oder von H. HEUBERGER (1966) in den Zentralalpen zwischen Sellrain und Oetztal sind jedoch die großen, heute noch aktiven Talblockgletscher als bei weitem älter anzusehen. Auch wenn man für die einzelnen Blockgletscher unterschiedliche Entstehungszeiten in Betracht zieht, so machen es doch die in ihnen aufgearbeiteten Schuttmengen wahrscheinlich, daß sie älter als nur 300 Jahre sind.

Unsere Messungen der Wandergeschwindigkeit des Blockgletschers Macun 1 haben ferner die bereits bekannte Tatsache bestätigt, daß sich die einzelnen Punkte im Querprofil eines Blockgletschers nicht gleichmäßig schnell bewegen, sondern daß diejenigen in der Mitte am schnellsten hang- oder talabwärts wandern (Abb. 3). Darüber hinaus können auf dem Blockgletscher Macun 1 Zonen einheitlicher Geschwindigkeit unterschieden werden, die relativ regelmäßig angeordnet sind (Abb. 10). Der eigentliche Blockgletscher, d. h. die Zone maximaler Geschwindigkeit zeigt tropfenförmige Gestalt und verlängert sich im SE in den Bereich der Seitenmoräne des Gletschers von 1850. Vor allem auf der E-Seite des unteren Teiles sind dem Blockgletscher größere Schuttmassen geringer Geschwindigkeit angelagert. Diese Gebiete können nicht einfach als außerhalb des Stromstrichs des Blockgletschers liegende Gebiete gedeutet werden, denn dazu ist ihre Masse zu groß. Viel einleuchtender ist die Annahme, daß diese Schuttmassen begünstigt durch die Konfiguration des Untergrundes vom eigentlichen Blockgletscher weggewandert sind. Dies scheint auch der Verlauf der Wälle auf dem Blockgletscher (vgl. Abb. 2) zu bestätigen.

Die größten Wandergeschwindigkeiten werden im Bereich des kleinen Steilhanges (in der Nähe der Isohypse von 2660 m) erreicht. Auffallenderweise finden sich gerade oberhalb dieser Zone (etwa in der Umgebung von Punkt 2692) verschiedene Hohlformen, deren Längsachsen meist quer zur Fortbewegungsrichtung des Blockgletschers liegen. Von J. DOMARADZKI (1951) sind diese Hohlformen im oberen Teil der Blockgletscher in seinem geometrischen Modell als Abschmelzformen von Toteis gedeutet worden. Das erscheint nach unseren Befunden nicht einleuchtend. Viel eher handelt es sich – zumindest im vorliegenden Fall – im Grenzsaum von Zonen unterschiedlicher Wanderungsgeschwindigkeit um Zerrungsspalten, die mit abschmelzendem Eis vermutlich nichts zu tun haben. Der Unterschied in der Wandergeschwindigkeit ist im SW des Blockgletschers Macun 1 erstaunlich groß. Wir finden hier eine fast bewegungslose Zone, die in sich wenig gegliedert ist und die in die Stirnmoräne des Gletschers von 1850 überleitet. Wahrscheinlich handelt es sich hier um Moränenmaterial, das bisher erst unvollkommen in den Blockgletscher eingearbeitet wurde. Inwieweit der ehemalige Gletscher hier durch seinen Vorstoß einen Einfluß ausübt bzw. inwieweit die Konfiguration des Untergrundes diese Verhältnisse bewirkt hat, konnte bisher noch nicht entschieden werden.

Die Deutung der Hohlformen im oberen Teil des Blockgletschers als Zerrungsspalten beinhaltet, daß nicht – wie manchmal behauptet wird – nur die oberste Schicht des Blockgletschers, sondern der gesamte Schüttkörper in Bewegung ist. Das bestätigen auch unsere Messungen an und über der Stirn des Blockgletschers (vgl. Detailskizze auf Abb. 3). Hier wandern alle Meßpunkte ungefähr in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit talabwärts. Diese nunmehr durch Messungen erhärtete Ansicht stimmt mit den bisherigen Beobachtungen überein, die zeigen, daß an der Stirn der Blockgletscher immer frisches Material auftritt, was nicht möglich wäre, falls sich nur die oberste Schicht bewegen würde.

Wir haben die Absicht, mit Hilfe geophysikalischer Methoden Aufschluß über die Konfiguration der Felssohle unter dem Blockgletscher Macun 1 zu gewinnen. Ohne diese Information müssen unsere Deutungen unvollkommen bleiben. Die Tatsache, daß diese Spalten an vielen Blockgletschern auftreten, läßt jedoch vermuten, daß die Konfiguration des Untergrundes nicht unbedingt für den Geschwindigkeitsunterschied zwischen den oberen und den unteren Teilen eines Blockgletschers verantwortlich ist, sondern daß diesen Verhältnissen ein allgemeines Prinzip zu Grunde liegt, das vermutlich mit der Bildung von Eis im Innern des Blockgletschers und mit der Ausbildung seiner Bewegungsstrukturen zusammenhängt.

Die auf Grund unserer Messungen vorgenommene Deutung der Verhältnisse auf dem Blockgletscher Macun 1 (vgl. Abb. 10) hat ergeben, daß nur ein Teil des Blockgletschers in kräftiger Wanderbewegung ist und daß ihr andere Teile des Blockgletschers nur angelagert zu sein scheinen. Auf dem Luftbild (Abb. 5) ist ferner zu erkennen, daß der besprochenen Zone starker Bewegung ein Bereich besonders intensiver und regelmäßiger Formung entspricht. In ihm sind die leicht hangabwärts ausgebogenen Wälle im allgemeinen quer zur Bewegungsrichtung angeordnet. Sie heben sich im Luftbild gut heraus. Im Gegensatz dazu sind die nur unvollkommen von der Bewegung erfaßten Schuttmassen bedeutend unregelmäßiger geformt; zudem weisen sie Wälle auf, die völlig anders ausgerichtet sind und z. T. sogar parallel zur Bewegungsrichtung des Blockgletschers verlaufen. C. WAHRHAFTIG & A. COX (1959) haben diese in Längsrichtung verlaufenden Wälle durch unterschiedliche Akkumulation von Schutt und Schnee im Nährgebiet der Blockgletscher erklärt. Das dürfte nach unseren Beobachtungen nicht allgemein zutreffen. Es scheint, daß ein großer Teil der Längswälle auf dem Blockgletscher seine Entstehung divergierenden Bewegungen der einzelnen Schuttpartien verdankt.

Festzuhalten ist jedoch, daß sich die Intensität der gegenwärtigen Bewegungen in den verschiedenen Teilen eines Blockgletschers so deutlich in der Formung der entsprechenden Partien abbildet, daß sie auf dem Luftbild – selbst bei einem relativ kleinen Maßstab – leicht erkannt werden können. Das eröffnet für die Auswertung von Luftbildern von Blockgletschern ganz neue Möglichkeiten.

Literatur

- ANNAHEIM, H. (1966): Les travaux sur le terrain avec les étudiants. – Cah. de Géogr. de Besançon 14: 73–75.
- BARSCHE, D. (1967): Studien zur Geomorphogenese des zentralen Berner Juras. – Manuskript 185 p. (erscheint als Heft 9 der Basler Beitr. z. Geogr.).
- BINGGELI, V. (1965): Der Blockstrom im Val Cadlimo. – Regio Basiliensis 6: 149–154.
- BOESCH, H. (1951): Beiträge zur Kenntnis der Blockströme. – Die Alpen (Mschr. d. Schweiz. Alpenclub) 27: 1–5.
- CAILLEUX, A. (1947): Caractères distinctifs des coulées de blocailles liées au gel intense. – C. R. Somm. de la Soc. géol. de la France: 323–325.
- CAPELLO, C. F. (1947): Le "Pietraie semoventi" (= rock glaciers) delle Alpi occidentali. – Natura 38: 17–23.
- CAPELLO, C. F. (1959): Prime ricerche sulle "pietraie semoventi" del settore montuoso del Gran Paradiso. – Club Alp. Ital. Riv. mens. 78: 294–300 und 371–376.
- CHAIX, A. (1923): Les coulées de blocs du Parc National Suisse d'Engadine. – Le Globe (Org. de la Soc. de Géogr. de Genève) 62: 1–35.

- DOMARADZKI, J. (1951): Blockströme im Kanton Graubünden. – *Ergebn. d. wiss. Unters. d. Schweiz. Nationalparks* 3 (N. F.) 24: 177–235.
- GERBER, E. & SCHEIDEGGER, A. E. (1966): Bewegungen in Schuttmantelhängen. – *Geographica Helvetica* 21: 20–31.
- GERHOLD, N. (1965): Die Blockgletscher – eine besondere Moränenform? – 32. Jber. d. Bischöfl. Gymnasiums Paulinum in Schwaz: 3–24.
- GERHOLD, N. (1967): Zur Glazialgeologie der westlichen Oetztaler Alpen unter besonderer Berücksichtigung des Blockgletscherproblems. – *Veröff. d. Mus. Ferdinandeum Innsbruck* 47: 1–52 (S.-A.).
- GRÖTZBACH, E. (1965): Beobachtungen an Blockströmen im afrikanischen Hindukusch und in den Ostalpen. – *Mitt. d. geogr. Ges. in München* 50: 175–201.
- HAFNER, W. (1967): Ostnepal – Grundzüge des vertikalen Landschaftsaufbaus. – *Ergebn. d. Forsch.-Unternehmens Nepal Himalaya*, 1, 5: 389–426. Springer.
- HEUBERGER, H. (1966): Gletschergeschichtliche Untersuchungen in den Zentralalpen zwischen Sellrain- und Oetztal. – *Wiss. Alpen-Ver.-H.* 20: 125 p. (Innsbruck).
- HÖLLERMANN, P. W. (1964): Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Beispiel des oberen Suldentales (Ortlergruppe). – *Suppl.-Bd. 4 zur Z. f. Geomorph.*: 257 p.
- JÄCKLI, H. (1957): Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes. – *Beitr. z. Geol. d. Schweiz. Geotechn. Ser.* 36: 136 p.
- JESSBERGER, H. L. (1965): Das Kriechverhalten von gefrorenem Lockergestein in Zusammenhang mit der bautechnischen Anwendung des Gefrierverfahrens. – *Geol. Bavaria* 55: 422–439.
- KINZL, H. (1932): Die größten nacheiszeitlichen Gletschervorstöße in den Schweizer Alpen und in der Montblancgruppe. – *Z. f. Gletscherkde.* 20: 269–397.
- KRAUS, H. (1966): Freie und bedeckte Ablation. – *Ergebn. d. Forsch.-Unternehmens Nepal Himalaya*, 1, 3: 203–235. Springer.
- LLIBOUTRY, L. (1953): Internal Moraines and Rock Glaciers. – *J. of Glaciology* 2, 14: 296.
- LLIBOUTRY, L. (1965): *Traité de Glaciologie*. Tome 2. Paris.
- MENSCHING, H. (1953): Morphologische Studien im Hohen Atlas von Marokko. – *Würzburger Geogr. Arb.* 1: 104 p.
- MESSERLI, B. (1965): Beiträge zur Geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien). – *Diss. Bern.* 178 p.
- MICHAUD, J. & CAILLEUX, A. (1950): Vitesse de mouvements du sol au Chambeyron (Basse Alpes). – *C. R. Q. Acad. Sc.* 130: 314–315.
- PILLEWIZER, W. (1957): Untersuchungen an Blockströmen der Oetztaler Alpen. – *Abh. d. Geogr. Inst. d. Freien Univ. Berlin* 5 (Festschrift O. MAULL): 37–50.
- SALATHÉ, R. (1961): Die stadiale Gliederung des Gletscherrückganges in den Schweizer Alpen und ihre morphologische Bedeutung. – *Diss. Basel. Verh. d. naturforsch. Ges. in Basel* 72: 137–230.
- SHUMSKII, P. A. (1964): *Principles of Structural Glaciology*. – Dover Publications. New York. 497 p.
- TROLL, C. & SCHWEINFURTH, U. (1968): Die Karte des Khumbu-Himalaya (Ostnepal) 1 : 50 000. – *Erdkunde* 22: 29–33.
- WAHRHAFTIG, C. & COX, A. (1959): Rock glaciers in the Alaska Range. – *Bull. of the Geol. Soc. of America* 70: 383–436.
- WENK, E. (1934): Beiträge zur Petrographie und Geologie des Silvrettakristallins (Graubünden). – *Diss. Basel. Schweiz. Mineralog. und Petrograph. Mitt.* 14: 196–278.

Topographische Karten

- Landeskarte 1 : 25 000, Bl. Zernez, Nr. 1218, 1966
- Landeskarte 1 : 50 000, Bl. Ofenpass, Nr. 259, 1956
- Landeskarte 1 : 50 000, Bl. Tarasp, Nr. 249, 1955
- Siegfriedkarte 1 : 50 000, Bl. Zernez, Nr. 424, 1877
- Dufourkarte 1 : 100 000, Bl. Davos-Martinsbruck, Nr. 15, 1853

Geologische Karten

- Geologischer Atlas der Schweiz 1 : 25 000: Nr. 20, Bl. Zernez (1948) nach Aufnahmen von H. BOESCH, J. CADISCH, W. HEGWEIN, F. SPAENHAUER und E. WENK

Q4N 4426J2