

ISSN 0073-8433

# PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION  
TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN  
NATURWISSENSCHAFTEN

SERIE 9 · NUMMER 5 · 1986

FILM D 1607

Die Südtibet- und  
Mt.-Everest-Expedition 1984  
Geographische Untersuchungen  
in Hochasien



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

*Angaben zum Film:*

Tonfilm (Komm., deutsch), 16 mm, farbig, 482 m, 44½ min (24 B/s). Hergestellt 1984, veröffentlicht 1986.

Der Film wurde aus vorhandenem Material zusammengestellt und ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt.

Veröffentlichung aus dem Geographischen Institut der Universität Göttingen, Prof. Dr. M. KUHLE, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, D. KLEINDIENST-ANDRÉE; Kamera: J.-P. JACOBSEN; Schnitt: E. FISCHER; Zeichentrickherstellung: H.G. GRASKE.

Die Expedition wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Academia Sinica, Max-Planck-Gesellschaft, Universität Göttingen.

*Zitierform:*

KUHLE, M. und INST. WISS. FILM: Die Südtibet- und Mt.-Everest-Expedition 1984 – Geographische Untersuchungen in Hochasien. Film D 1607 des IWF, Göttingen 1986. Publikation von M. KUHLE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 9, Nr. 5/D 1607 (1986), 37 S.

*Anschrift des Verfassers der Publikation:*

Prof. Dr. M. KUHLE, Geographisches Institut der Universität Göttingen, Goldschmidtstr. 5, D-3400 Göttingen.

---

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK

Sektion ETHNOLOGIE

Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

Sektion MEDIZIN

NATURWISSENSCHAFTEN

Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Herausgeber: H.-K. GALLE · Redaktion: E. BETZ, I. SIMON

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN sind die schriftliche Ergänzung zu den Filmen des Instituts für den Wissenschaftlichen Film und der Encyclopaedia Cinematographica. Sie enthalten jeweils eine Einführung in das im Film behandelte Thema und die Begleitumstände des Films sowie eine genaue Beschreibung des Filminhalts. Film und Publikation zusammen stellen die wissenschaftliche Veröffentlichung dar.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN werden in deutscher, englischer oder französischer Sprache herausgegeben. Sie erscheinen als Einzelhefte, die in den fachlichen Sektionen zu Serien zusammengefaßt und im Abonnement bezogen werden können. Jede Serie besteht aus mehreren Lieferungen.

Bestellungen und Anfragen an: Institut für den Wissenschaftlichen Film

Nonnenstieg 72 · D-3400 Göttingen

Tel. (05 51) 20 22 02

## FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

MATTHIAS KUHLE und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM, Göttingen:

Film D 1607

### **Die Südtibet- und Mt.-Everest-Expedition 1984 - Geographische Untersuchungen in Hochasien**

Verfasser der Publikation: MATTHIAS KUHLE

Mit 5 Abbildungen

#### *Inhalt des Films:*

**Die Südtibet- und Mt.-Everest-Expedition 1984 - Geographische Untersuchungen in Hochasien.** Physisch-geographische Untersuchungen (geomorphologisch, glaziologisch, klimatologisch) in Südtibet: Transhimalaya, Tibetischer Himalaya, Nordabdachung des Hohen Himalaya (Shisha Pangma 8 046 m, Mt. Everest 8 848 m) bei einer deutsch-chines. Gemeinschaftsunternehmung, der ersten wiss. Expedition, auf der westl. Forscher in die Mt.-Everest-Nordflanke gelangen.

Neben dem Expeditionsablauf (Aufstiege mit Tragtieren, Aufbau von Hochlagern etc.) werden Arbeitstechniken moderner Feldforschung und die Gewinnung von Meßdaten gezeigt.

#### *Summary of the Film:*

**The 1984 South Tibet and Mount Everest Expedition - Geographical Investigations in Upland Asia.** Physical geographic investigations (geomorphological, glaciological, climatological) in South Tibet: Trans-Himalaya, Tibetan Himalaya, Northern Slope of the Great Himalaya (Shisha Pangma 8,046 m, Mount Everest 8,848 m) on a German-Chinese joint enterprise, the first scientific expedition in which researchers from the West reached the Northern flank of Mount Everest.

As well as following the expedition (climbing with pack-animals, setting up high-altitude camps etc.), the film shows the working techniques of modern field research and how measurement data are obtained.

#### *Résumé du Film:*

**L'expédition dans le Tibet du sud et au Mt. Everest en 1984 - Etudes géographiques dans les plateaux de l'Asie.** Etudes physico-géographiques (en géomorphologie, de nature glaciologique, climatologique) dans le Tibet du sud: Transhimalaya, Himalaya tibétain, pente nord des sommets de l'Himalaya (Shisha Pangma 8 046 m, Mt. Everest 8 848 m) par une entreprise commune germano-chinoise, la première expédition scientifique, avec laquelle des chercheurs occidentaux parvinrent au flanc nord du Mt. Everest. A côté du déroulement de l'expédition (ascensions avec les bêtes de somme, montage des campements, etc.) seront montrées les techniques de travail d'exploration de terrain moderne ainsi que l'obtention de résultats.

## **Allgemeine Vorbemerkungen**

### **Südtibet, der Shisha Pangma und Mount Everest**

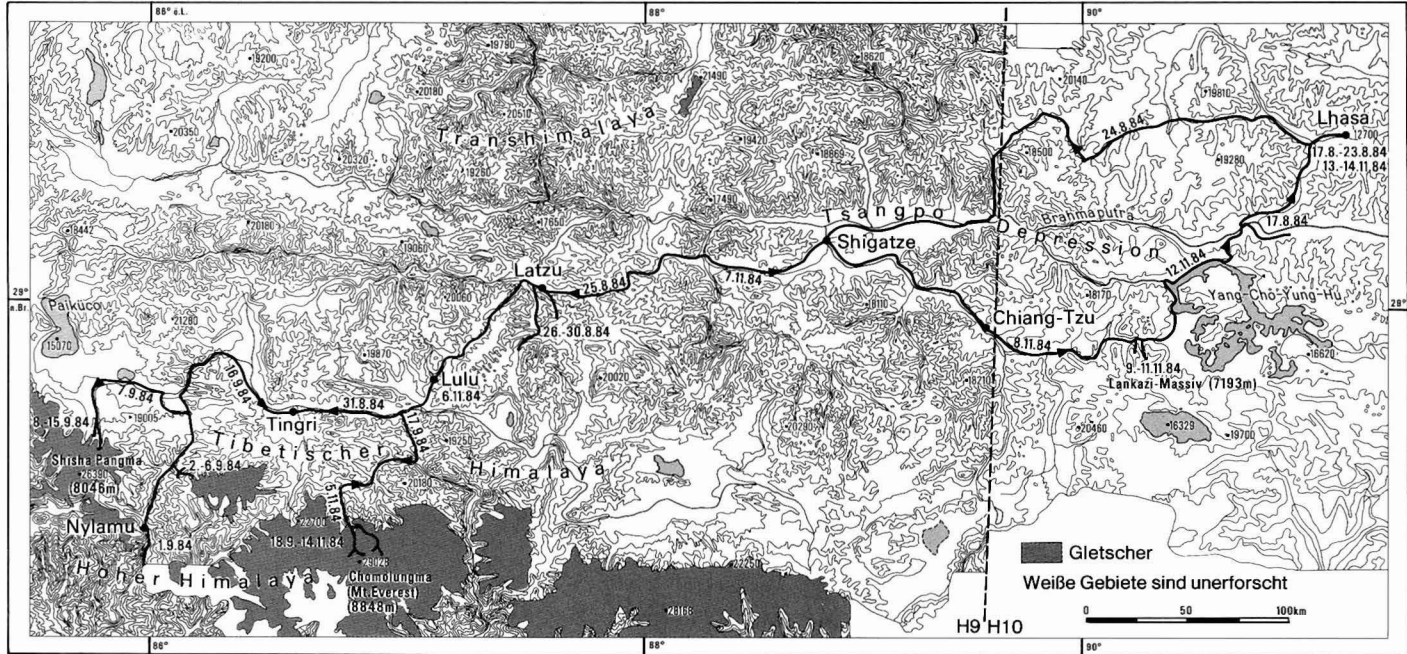
Der Südteil des größten und zugleich höchsten Hochlandes der Erde (Grundfläche ca. 2,4 Mill. km<sup>2</sup> einschließlich angrenzender Gebirge; mittlere Höhe 5 000 m, resp. 4 500–5 500 m) besteht aus drei west/ost-streichenden Gebirgssystemen mit eingeschalteten Plateauresten. Das nördlichste, der Transhimalaya, erreicht beinahe 7 000 m Höhe und ist durch die Längstalfurche des Tsangpo (des oberen Brahmaputra, Abb. 2) vom parallelen Tibetischen Himalaya, der im Expeditionsgebiet 1984 in 7 193 m Höhe (Massiv von Lankazi) kulminiert, abgesetzt. Die Ursprungsäste antezedenter Durchbruchstäler des Hohen Himalaya, wie die des Bo Chu (Sun Kosi) im Westen und des Arun im Osten, die aufwärts in das Streichen der Gebirge einbiegen, trennen den Zug des Tibetischen Himalaya von dem des Hohen Himalaya. Der Tsangpo ist bis auf 3 700 m hinab in die jurassischen Vulkanite, Plutonite und Sedimentgesteine Südtibets eingelassen. Die breiten Schottersohlen der südlichen Längstäler liegen dagegen im Untersuchungsgebiet zwischen 85–84° und 91° östlicher Länge kaum unter 4 300 m. Die jüngeren Durchbruchstäler nach Süden zum Entwässerungssystem des Ganges hinab belegen, daß der Hohe Himalaya das jüngste der betreffenden Gebirge ist. Es erreicht bei aktuellen Hebungsbeiträgen von ca. 4–8 mm/J. (frdl. mündl. Mittlg. von A. GANSSER im Januar 1982) seine max. Höhe von 8 848 m im Gipfel des Mt. Everest.

3 km südöstlich dieses Berges schließt – vermittelt durch eine auf nur knapp 8 000 m hinabgreifende Einsattelung – der 8 501 m hohe Lhotse-Gipfel an. Weitere 18 km ost-südöstlich steht der 8 481 m hohe Makalu. Er ist gänzlich aus hellem Turmalin-Granit aufgebaut. Lhotse und Everest sowie die Aufbauten ihrer Trabanten enthalten diesen Granit ebenfalls, bestehen aber an den Gipfeln selbst aus migmatisierten und kontaktmetamorph-gehärteten Sedimentgesteinen (Abb. 3). 22 km westnordwestlich wird der Himalaya-Hauptkamm durch die Gyachung Kang- und Cho Oyu-Gruppe fortgesetzt. Sie ist max. 7 975 und 8 202 m hoch. Ihr Kamm unterschreitet auf eine Distanz von 11,5 km die 7 200 m-Grenze nicht. Ist die tiefste Einsattelung zwischen Everest und Cho Oyu der Nup La (5 985 m), so kehlt der Nangpa La den Himalayahauptkamm zwischen Cho Oyu und der Melungtse-Gruppe (7 181 m) auf 5 716 m hinab ein und bildet den klassischen Sherpa-Übergang von Tingri nach der Siedlung Thame in der Südabdachung. Die Melungtse-Gruppe, bzw. der Rolwaling Himal, wird vom westlich angrenzenden Langtang Himal mit dem Shisha Pangma als höchstem Gipfel (8 046 m, Abb. 5) durch das Sun-Kosi-Durchbruchstal (Bote Chu) separiert.

Hier ist eine topographische Singularität realisiert: Im Shisha-Pangma-Nordabfall sind die Steilhänge des Hohen Himalaya direkt auf in diesem Bereich weiträumig erhaltene Flächenreste des südtibetischen Plateaus eingestellt, sie laufen zwischen 5 600 und 5 000 m ü.M. auf ihnen aus (Abb. 5). Die Nordabdachungen von Cho Oyu und Everest gehen dagegen, vermittelt durch Grate und Gipfel abnehmender Höhe, in den Tibetischen Himalaya über. Das gilt für die sich westlich des Shisha Pangma fortsetzenden Himalaya-Nordabhänge gleichfalls.

Die endogenen, das sind die tektonischen Voraussetzungen, die über die reliefabhängigen fluvialen, aber auch die Gletscherabflußbedingungen zur skizzierten Topographie Süd-

## Reiseroute der »2. gemeinsamen chinesisch-deutschen Expedition 1984«



5 Abb. 1. Kartenskizze des Expeditionsgebietes

Entwurf: M. Kuhle 1985 nach ONC H9, H10

tibets führten, sind gleichfalls primär für die größere Hangsteilheit und die Ausbildung von auf der Erde einmalig großen Steilwandfluchten ursächlich; sekundär ist es die größere Höhe, in der wandbildende Prozesse dominieren. Die Steilabbrüche sind – bei bestehenden Höhenunterschieden – an die Gletscherhöhenstufe gebunden. Der auskolkende glazigene Grund- und Flankenschliff des Zentralen Rongbuk-Gletschers ließ beispielsweise die gut 2 500 m hohe Everest-Nordnordwestwand (Abb. 3) entstehen.



Abb. 2. Der Tsangpo (oberer Brahmaputra) mit spätsommerlicher Wasserführung. Im Juni und Juli kulminiert seine Abflußkurve, denn die einsetzenden Sommerniederschläge interferieren mit den Schmelzwasserabflußspitzen von Transhimalaya und Tibetischem Himalaya. Zu jener Zeit war das gesamte Schotterbett bis hinüber zur dichteren Zwergstrauchvegetation (▼) wassergefüllt. Dünen und Flugsandhalden an den jenseitigen Transhimalaya-Hängen (●) belegen die Aridität dieses größten südtribetischen Längstales. Die rundkuppigen Bergformen und mäßig steilen Schutthänge im Hintergrund rechts (◆) sind Kennformen intensiver kontinentaler Frostverwitterung und der gleichfalls in die periglaziale Höhenstufe gehörigen Solifluktion (Wanderschuttdeckenbewegung). Die Baumbestände im hinteren Mittelgrund rechts (■) gehören zur Galerievegetation einer Bewässerungsoase auf einem Schwemmfächer im Nebentalausgang. Aufnahme aus 3 820 m ü.M. gegen NNW, 24.8.1984; MATTHIAS KUHLE

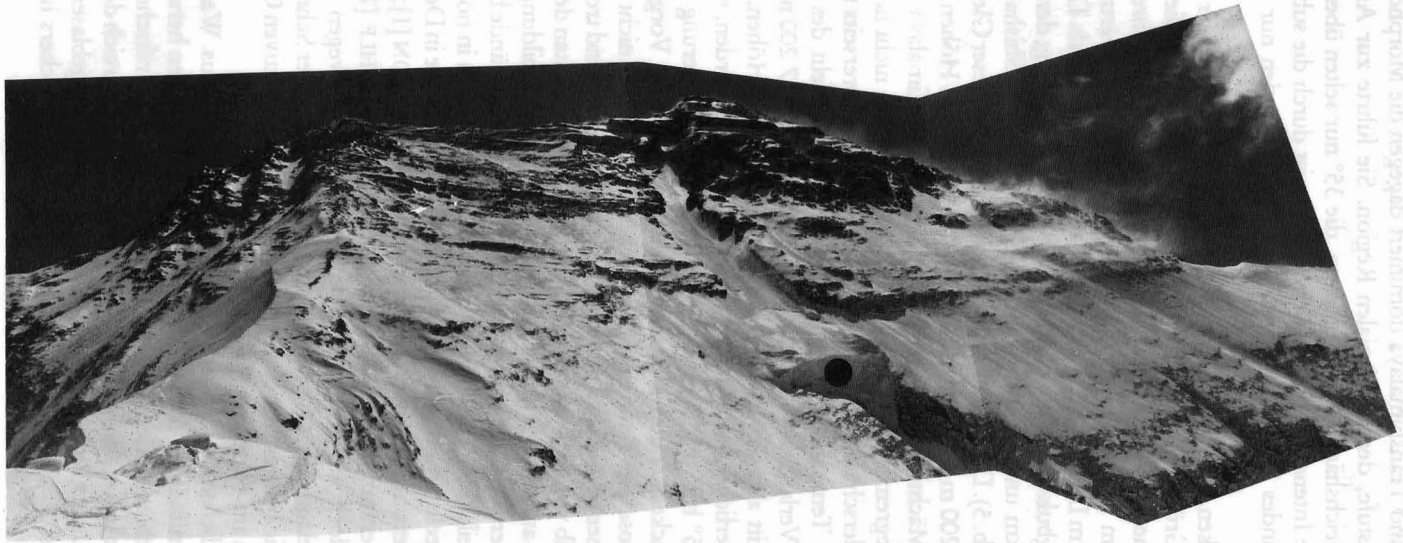


Abb. 3. Die oberen 1 700 m der 35 bis 45° steilen Nordnordwestwand des Mt. Everest aus rund 7 100 m Höhe, wenig nördlich des Everest-Nordcols, vom Changtse-SSE-Grat gesehen. Der Gipfelaufbau besteht aus nach Norden einfallenden kristallinen Schiefen mit Quarzitlagen und vorherrschenden Kalken bzw. Marmoren. Obwohl die Aufnahme nur 1½ Monate nach den letzten Monsunschneefällen entstand, zeigt sie einen bereits bis auf 7 800 m hinab von den Pfeilern der Nordostschulter (links) bis zum Aufschwung des Westgrates (rechts) abgeblasenen Felsgipfel. Am Westgrat hebt im Aufnahmement der Deflationsprozeß Schnee von den Felsen ab. Im Spätwinter sind diese Everestfelsen bis auf 7 000 – 7 200 m ü.M. schneefrei. Unterhalb setzt die Flankenvereisung an. Lediglich in der ortsfesten Leelage des Norton-Couloirs konnte sich bei fortgesetzter Schnee-Einwehung ein dekameter-mächtiger, steil abbrechender Hängegletscher (●) in 7 450 m bilden. Sein Eis entsteht durch Druckkompaktion unter zunehmender Schneemächtigkeit, nicht aber durch Temperaturmetamorphose, denn dazu ist es dort oben zu kalt.

Aufnahme: 21.10.1984, MATTHIAS KUHLE

Im Tibetischen Himalaya und Transhimalaya dominiert dagegen die Morphodynamik der nächst tieferen Höhenstufe, der periglazialen Region. Sie führte zur Ausbildung weich geformter Frostaushänge mit Neigungen, die 35° nur selten überschreiten (Abb. 2, Hintergrund). Die Intensität der Frostverwitterung ist durch die subtropische Kontinentalität des Hochlandes extrem und wird selbst in den Anden nur punktuell erreicht.

An denjenigen Gebirgsstöcken, die über 5 800 m aufragen, bestehen auch hier glazigene Zuschärfungen der Gipfel. Größere Vereisungen des Tibetischen Himalaya, die als Funktion bedeutender Gipfelhöhe das Stadium einer Karvergletscherung überschreiten, sind im Expeditionsgebiet nur im Lankazi-Massiv mit einigen Talgletschern vertreten.

Talgletscher von bis zu 24 km Länge fließen vom Himalaya-Hauptkamm ab. Diese Ausdehnung hat der West-Rongbuk-Gletscher in der Everest-Nordabdachung; der Zentrale-Rongbuk-Gletscher ist 17 km und der Yepokangara-Gletscher in der Shisha-Pangma-Nordflanke 14 km lang (Abb. 5). Die orographischen Schneegrenzen dieser Gletscher liegen zwischen 5 900 und 6 200 m ü.M. (KUHLE [11] – [18]). In diesen Höhen erreichen die Eisströme ihre größten Mächtigkeiten. Die Haupternährung der Himalaya-Gletscher erfolgt zwischen der Schneegrenze und etwa 7 000 – 7 200 m, jedoch nicht höher. Dies ist einerseits durch die Niederschlagsabnahme mit der Höhe und andererseits thermisch zu erklären. Telemetrische Temperaturmessungen an den Hochgipfeln des Untersuchungsgebietes zeigten den Verlauf der absoluten 0°C-Grenze bei etwa 7 200 m (KUHLE [15] – [17]). Im Durchschnitt aber liegen die Temperaturen in diesen Höhen, wo nicht einmal bei intensiver sommerlicher Sonneneinstrahlung 0°C erreicht werden, wesentlich tiefer, nämlich bei etwa -15° bis -30°C, so daß eine Setzung und Sinterung des Neuschnees sowie eine Eisbrückenbildung zwischen seinen Körnern als Vorgang einer Schnee- zu Eismetamorphose bei Temperaturen in Gefrierpunktnähe nicht zustande kommt. Der sehr kalte Schnee ab 7 200 m aufwärts bleibt dementsprechend trocken und ungebunden körnig. Deshalb wird er bei den hohen Windgeschwindigkeiten des Winterhalbjahres (Strahlstrom) bis auf den Fels abgeblasen (Abb. 3). Flankeneisbildungen sind – durchaus unabhängig von der Neigung – charakteristisch für Himalayawände bis in etwa 7 200 m Höhe (Abb. 4). Steilwand- und Hängevergletscherungen treten in noch größeren Höhen nur in stabilen Leelagen auf, wo – bedingt durch Schneeauflage in Dekametermächtigkeit – eine Druckmetamorphose mit Molekulardiffusion (BENSON [1]; MÜLLER [22]) trotz niedriger Temperaturen zur Gletschereisbildung führt (KUHLE [16], [17]). Ortsfeste Leelagen sind jedoch nur punktuell, und generell ist auch wegen fehlenden Reliefangebots an den Gipfelaufbauten (Voraussetzung zu entsprechender Schneeanhäufung sind Verflachungen, wie Felsgesimse und -terrassen) von einer effektiven Gletscherobergrenze bei ca. 7 200 m im Himalaya zu reden (KUHLE [16]).

Damit setzen die herkömmlichen Bilanzüberlegungen ab dieser Höhe aus. Was aus dem einen Gletschernährgebiet mit über 8 000 m Höhe erreichenden Wänden herausgeweht wird, kommt dem Nährgebiet in Lee des betreffenden Gipfels als Triftschneezufuhr zugute. Ein Exempel hierfür liefert der Mt. Everest: Aus dem Einzugsbereich des Zentralen-Rongbuk-Gletschers, aus der Nordnordwestwand, wird Schnee abgeblasen (Abb. 3) und in die Ostwand des Berges, in das System des Kangchung-Gletschers hinübergefördert (Abb. 4).



Wie im Himalaya ist auch die thermische Gletscherobergrenze im Steilrelief des Vinson-Massifs bei 80° Süd in der Antarktis realisiert, wo gleichfalls eisfreie Felsgipfel, hier ab 3 600–4 200 m Höhe, über ein Inlandeis aufragen.



Abb. 4. Blick vom 6 500 m hohen Rapiu La in die Mt. Everest-Ostwand, die von hier bis zur 7 256 m hohen Spornkuppe (Hintergrund) des Ostgrates einsehbar ist. Von Norden werden Triebsschneemengen in diese leeseitige Steiflanke herübergeweht, so daß große Dauerwächten (▲) meterweit überkragen und von Zeit zu Zeit in Zehner von Quadratmetern ausgedehnten plattigen Schollen abbrechen. Trotz einer Wandsteilheit von 50 – 65° ist der Fels von metermächtigem Sägerilleneis bzw. von Riffelfirn bedeckt (vgl. dagegen Abb. 3). In den kehligen Profilen einiger Wandrunsen hängen größere Eisbalkone (●) mit dekameterhohen Abbrüchen. In diesem Höhenintervall zwischen 6 500 und 7 200 m bewirken die hin und wieder Schmelzpunktnähe erreichenden Temperaturen, daß der Schnee an den Felsen haftet und auch ohne Druckkompaktion Eisbildung erfolgt. Anhand der Rauhigkeit des Flankeneises ist Rauhreifniederschlag diagnostizierbar, der aus den über den Kamm gedrückten Monsunwolken ausfällt.  
Aufnahme gegen SSW, 19.10.1984, MATTHIAS KUHLE

Zur Eiszeit verlief die Gletscherobergrenze im Himalaya um ca. 660 – 1 200 m tiefer, und die oberste Höhenstufe der Erde, die pergelige Felsstufe über der Gletscheretage, nahm dementsprechend eine größere Fläche ein als heute (KUHLE [16], [17]).

Die eigentliche Gletscherhöhenstufe des Himalaya ist folglich vergleichsweise schmal. Am Mt. McKinley in Alaska ( $63^{\circ} 04' N/151^{\circ} W$ ) greift die Gletscherbildung bis zum Gipfel (6 193 m) etwa 3 700 m über die Schneegrenze hinauf, in den Alpen am Mt. Blanc annähernd 2 000 m; hier in der Everest-Nordabdachung jedoch nur 800 – 1 200 m. Darin bildet sich die Niederschlagsarmut des Gebietes ab und zugleich, daß es sich um eine Region vergleichsweise kalter Gletscher handelt. Diesem Zusammenhang liegt das Produkt der Faktoren: Sommertemperaturen, sommerliche Globalstrahlung und Niederschlag als gletscherkonstituierend zugrunde (vgl. KUHN [21]).

Nicht nur die Aridität, die nicht allein in geringem Niederschlag, sondern ebenso in hohen Verdunstungswerten zum Ausdruck kommt (hier wurden Werte von  $0,13 - 4,27 \text{ g/kg} = 0,07 - 2,6 \text{ mbar}$  spezifische Feuchte gemessen, KUHLE [19]), auch die subtropische Einstrahlung bildet sich im Erscheinungsbild der Gletscher ab. Im Zehrgebiet der Everest- und Shisha Pangma-Gletscher sind bis zu 20 m hohe Eispyramiden aus der Gletscherzungenoberfläche herausgeschmolzen (Abb. 5; VISSER [25]). Derartige Ablationsformen fehlen nördlich von  $38 - 40^{\circ}$  nördlicher Breite.

Die sehr intensive Globalstrahlung, die das tibetische Plateau zwischen  $27^{\circ}$  und  $40^{\circ}$  Nord auffängt, ist gegenüber der in Meeresspiegelhöhe durch die dünne, strahlungstransparente Atmosphäre in 4 800 – 7 000 m noch zusätzlich verstärkt. Sie bewirkt eine global bedeutungsvolle Aufheizung der Lufthülle (FLOHN [3]). Die Sonneneinstrahlung, welche durch die hochgelegene Heizfläche Tibets in langwellige Wärmestrahlung umgesetzt an die Atmosphäre abgegeben wird, erreicht nach den Messungen der Südtibet- und Everest-Expedition 1984 Werte nahe extraterrestrischer Intensität an der Obergrenze der Atmosphäre: Zwischen September und November 1984 wurden zwischen 5 000 und 6 650 m ü.M. nahezu täglich 1 000 bis 1 200  $\text{W/m}^2$  registriert (KUHLE [13], [14], [19]). Die theoretische Maximalstrahlung beim Sonnenstand vom 21. September (Zenitdistanz  $30^{\circ}$ ) beträgt 1 180  $\text{W/m}^2$ .

Die gleichzeitig durchgeführten Strahlungsbilanzmessungen über Frostschutt und Moränensubstrat mit oder ohne Mattenvegetation belegen, daß nur ca. 20% dieser Einstrahlungsenergie in den Weltraum reflektiert wird und der Atmosphäre verlorengeht. Die auf den Gletscherflächen zwischen 6 000 und 6 650 m Höhe aufgezeichneten Albedowerte erreichen dagegen auf körnigem Eis zwischen Eispyramiden um 75% und über Firn und Schnee der Gletschernährgebiete sogar bis zu 95%. Diese Gegenüberstellung zeigt, wie bedeutungsvoll eine eiszeitlich sehr viel größere Gletscherfläche für die tibetische und damit zugleich weltweite Energiebilanz gewesen sein muß.

Die aktuelle Vergletscherung Südtibets und des Mt.-Everest-Gebietes, wie des gesamten Himalaya überhaupt, übertrifft kaum die Ausmaße alpiner Talgletscher und kann in Anbetracht der bedeutenden Gebirgsdimensionen als eher gering bezeichnet werden (etwa im Vergleich mit der des Karakorum). Das gilt für die Nordseite des Hohen Himalaya noch verstärkt und ist dort vor allem auf den Niederschlagsschatten zum Monsun sowie die Vorherrschaft von Sommerniederschlägen zurückzuführen (vgl. KUHLE [8], [9], [10]). Die im Expeditionsgebiet 1984 registrierten Niederschläge (z.T. in mehrjährig messenden Stationen wie Gyantse und Lhasa) liegen zwischen 200 und max. 500  $\text{mm/J.}$ , womit semiaride Verhältnisse dokumentiert sind. In der Tsangpo-Depression ist es

stellenweise noch trockener, was sich in schütterer Zwergstrauchvegetation, aber auch in Dünen und Flugsandhaldenbildungen (Abb. 2 Hintergrund) zum Ausdruck bringt. Die traditionelle Auffassung über die Ausdehnung vorzeitlicher Vergletscherung in Hochtibet fand ihren Niederschlag in der Arbeit v. WISSMANN'S ([26]), der selber in Hochasien keine Geländearbeiten durchführte und deshalb auf eine Kompilation sowie z.T. stark hypothetische Ausdeutung der damaligen Expeditionsliteratur angewiesen war, respektive ausweichen mußte. Seine auf ganzheitliche Harmonie ausgerichtete Zusammenschau selektierte die von zum Teil fachfremden Forschern mitgeteilten Beobachtungen unter dem von A. PENCK und später F. MACHATSCHEK und H. BOBEK favorisierten Ansatz, daß es in Tibet für eine ausgedehnte Vergletscherung schon immer zu trocken gewesen sein dürfte. Darum wurden alle ungewöhnlich tief erscheinenden Moränenfunde einer älteren Eiszeit zugeordnet und nicht der letzten oder als Pseudomoränen mit Rutschungs- oder Bergsturzgenese deklariert, um die andernfalls vertrackten Widersprüche auszuräumen. Dieser Weg bot sich schon deshalb an, weil absolute Datierungen noch nicht existierten. Ein Widerspruch anderer Art – ein Folgeproblem – entstand jedoch dadurch, daß auf diese Weise für die postulierten älteren Vereisungen nur umso unwahrscheinlichere tiefere Schneegrenzdepressionen zu erklären waren. Nach v. WISSMANN'Scher Deutung mußten einige Jahrzehntausende bis Jahrhunderttausende mehr für inzwischen erfolgte rasante Hebungen in diesem mobilsten Gebirgsraum der Erde zur Verfügung gestanden haben.

Über eine zirkelschlußartige Selbstverstärkung, die die Etablierung dieser Auffassung mit sich brachte, wurde dann umgekehrt die Zusammenstellung der nur geringfügig unter den heutigen Endmoränen liegenden 'letzteiszeitlichen' Stirnmoränen von klimatologischer Seite (FLOHN [3]) als Beleg für die letzteiszeitliche Aridität Hochtibets ausgedeutet. Inzwischen jedoch mehren sich Befunde, gerade auch im Zusammenhang mit absoluten Datierungen (über Radio-Carbon), die zeigen, daß Schneegrenzdepressionen von 400 bis 800 m, wie sie v. WISSMANN für das letzte Hochglazial in Anspruch nimmt, ins Spät- bis Neoglazial gehören und nicht älter als ca. 15 000 bis 4 000 J. sind (IWATA et al. [5]; KUHLE [8] – [10], [13] – [20]; ONO [24]). Für den südtibetischen Raum wurden erste Beobachtungen, die für eine intensive eiszeitliche Vergletscherung sprechen, von ODELL ([23]) aufgezeichnet. Entsprechende Beobachtungen – speziell ergänzt durch inzwischen entwickelte Methoden moderner Glazialgeomorphologie – wurden durch die Expedition 1984 für das nördliche Vorland des Shisha Pangma (Abb. 5) und die Nordtäler der Mt.-Everest-Gruppe erbracht (KUHLE [18]). Exemplarisch für eine ehemalige Vorlandsvergletscherung, die ins letzte Spätglazial gestellt wird (KUHLE [13], [14], [18]; ZHENG BENXING et al. [27], ZHENG BENXING [28]), sind die großen Bortensander am Nordfuß des Shisha Pangma (Abb. 5). Derartige, bisher nicht beachtete Kennformen finden sich in vielen semiariden Gebirgsvorländern Asiens wieder (KUHLE [6], [7], [12]).

#### **Die Expedition 1984**

war eine zweite deutsch-chinesische Gemeinschaftsexpedition, die in Kooperation des Geographischen Instituts der Universität Göttingen mit dem Lanzhou-Institut für Glaziologie und Kryopedologie der Academia Sinica durchgeführt wurde. Die Untersuchungen in Südtibet, am Shisha Pangma und Mt. Everest stehen im Kontext vergleichender

hochgebirgsgeographischer Arbeiten, die der Verfasser seit 1973, auch in der Arktis, in Alaska, im Zagros und auf der Südhemisphäre in den Anden betrieb. Fünf der von Göttingen aus unternommenen Expeditionen führten in den Himalaya und die Gebirge Tibets. Eine Besonderheit der Unternehmung von 1984 bestand darin, daß es erstmals nicht allein chinesischen Wissenschaftlern möglich war, in den Nordflanken von Shisha Pangma und Mt. Everest geomorphologischen, glaziologischen, geobotanischen und mit neuen Methoden verfolgten Fragen der Eiszeitforschung nachzugehen.

Das Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Academia Sinica und der Max-Planck-Gesellschaft finanziell unterstützt. Es soll in den kommenden Jahren auf die Gebirgszüge Westtibets, den Karakorum, und in Ostt Tibet auf das Minya Konka-Massiv ausgedehnt werden.

#### **Zur Entstehung des Films**

Dank der Bereitstellung von Filmmaterial und vorangehender Schulung an der Kamera durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film konnten 1984 Aufnahmen zu zwei Filmen durchgeführt werden. Sie wurden mit einer federgetriebenen Bolex-Kamera und drei Objektiven gemacht. Mit Rücksicht auf die mitunter sehr niedrigen Temperaturen in über 6 000 m Höhe und das daraus erwachsende Energieproblem mußte auf Batteriebetrieb verzichtet werden. Die Beschränkung auf drei Objektive (10 mm, 25 mm, 75 mm) war durch das immer in großen Höhen und schwierigem Gelände bestehende Gewichtsproblem und die Notwendigkeit möglichst einfacher Handhabung diktiert. Aber selbst diese einschließlich eines Stativs ca. 7 kg schwere Ausrüstung verlangte vom Kameramann, Herrn Dipl.-Geogr. JENS-PETER JACOBSEN, großen Einsatz, zumal in über 6 000 – 6 500 m ohne die Hilfe von Trägern und anderen Helfern gearbeitet werden mußte.

Den niedrigen Temperaturen wurde weiter durch eine Spezial-Kältefettung der Kamera Rechnung getragen, der extremen Helligkeit auf den hohen Firnfeldern durch zahlreiche Graufilter. Als die Bildqualität begünstigender Faktor ist die Aerosolarmut und annähernd vollkommene Lichttransparenz der Atmosphäre an den betreffenden Hochbergen zu nennen. Als 16-mm-Filmmaterial wurde Eastman Color Negativ 7291 verwendet.

#### **Erläuterungen zum Film**

##### **Wortlaut des gesprochenen Kommentars<sup>1</sup>**

Im Herbst 1984 fand eine geographische Gemeinschaftsexpedition deutscher und chinesischer Wissenschaftler nach Hochasien statt, die Südtibet- und Mt.-Everest-Expedition 1984.

Die Teilnehmer trafen sich Mitte August in Lhasa, in einem weiten, durch Ackerbau genutzten Hochtal im nördlichen Einzugsbereich des Tsangpo, des oberen Brahmaputra. Überraagt wird die tibetische Metropole durch ihr Wahrzeichen, den Potala, dessen Anfänge aus dem 17. Jh. stammen.

<sup>1</sup> Die eingerückten Abschnitte in Kleindruck geben zusätzliche Informationen.

Die chinesischen Expeditionsmitglieder kamen vom Lanzhou-Institut für Glaziologie und Kryopedologie aus dem Nordosten des tibetischen Hochlandes und waren über Land gereist. – Die deutschen Teilnehmer, aus dem Geographischen Institut der Universität Göttingen, waren über Peking und Chengdu mit dem Flugzeug nach Lhasa gekommen. Sobald das umfangreiche Expeditionsgepäck eingetroffen war, brach die Gruppe zu ihrer ersten Etappe in den Transhimalaya auf.

Die 800 kg Gepäck bestanden zur Hälfte aus wissenschaftlichen Instrumenten, zur anderen Hälfte aus Höhenspezialnahrung für die Hochlager, aus Brennstoff und alpinistischem Gerät.

Dieses Gebirgssystem wird über den Chalamba La überquert.

Da die Expedition glazial-geomorphologischen Fragen nachgeht, forschen die Wissenschaftler beim Überfahren höherer Pässe, wie dieses 5 300 m hohen Überganges, nach Erratika, moränischen Gesteinsresten eiszeitlicher Vergletscherung.

Sowohl die runden Hang- und Bergformen in diesem Paßbereich als auch die hellen Glimmergranite, die aus großer Entfernung herantransportiert worden sind und vulkanische Gesteine überlagern, belegen eine mindestens 1 200 m mächtige vorzeitliche Gletscherbedeckung, aus der nur die höheren Gipfel, die zugespitzt bis 6 400 m aufragen, herauschauten.

Ein Befund, der über zahlreiche Indizien aus benachbarten Gebieten gestützt wird und aus diesen mit erschlossen worden ist. Wahrscheinlich war die Eismächtigkeit wesentlich bedeutender, nur ist das nicht durch Moränenmaterial belegt.

Die Südabdachung des Transhimalaya läuft in der Tsangpo-Depression, dem Längstal des oberen Brahmaputra, aus, das diesen Gebirgszug von dem südlich angrenzenden Tibetischen Himalaya trennt.

Der vom Kubi Gangri herabkommende wasserreiche Tsangpo durchfließt in 3 800 m Höhe als Fremdlingfluß das semiaride Gebiet. Seine Niederungen sind die tiefsten Areale, die die Expedition durchfährt.

Die noch herrschende Monsunbewölkung darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Niederschläge hier im Jahr nur 200 mm erreichen. Das spiegelt sich auch in der Nutzung dieses Bereiches durch Bewässerungsoasen.

Die Stampflehbauten mit Flachdächern sind gleichfalls charakteristisch für das trockene Südtibet. Die geschlossene oder halbgeschlossene Bauweise tibetischer Siedlungen ist an die extremen thermischen Verhältnisse hochkontinentalen Klimas adaptiert.

(Kartentrück I)

Nach dem Aufbruch in Lhasa und den anfänglichen Untersuchungen im Transhimalaya an der mit dem Jeep befahrenen Strecke wird die Fahrt Tsangpo-aufwärts über Shigitse und einen 4 600 m hohen Paß bis in das Becken von Latzu fortgesetzt.

Von hier aus erfolgt zu detaillierten Felduntersuchungen und gleichzeitig zu einer ersten Anpassung an größere Höhen ein Aufstieg in die Nordflanke des Latzu-Massivs, eines Gebirgsstockes des Tibetischen Himalaya zwischen Tsangpo und oberem Arun.

Die Siedlung Pu, eine der höchsten in diesem Teil Südtibets, ist noch mit den Geländefahrzeugen zu erreichen. Hier in 4 300 m Höhe werden, unter großem Interesse der Dorfbewölkerung, Träger angeworben, mit deren Hilfe der Aufstieg in ein Hochtal des Latzu-Massivs erfolgt.

Nördlich vom Shisha Pangma erreichen Dauersiedlungen sogar 4 600 m ü.M. .

Die Untersuchungen bei dieser ersten Exkursion sind geomorphologisch und geobotanisch ausgerichtet.

Kennzeichnend für das tibetische Hochland ist die glaziale Überformung der Landschaft, die auch hier durch weiche Profilinien und großflächige Blockablagerungen deutlich wird.

Die postglaziale Frostverwitterung ließ weiträumig Schuttdecken entstehen, die die glazialen Profilinien konkordant nachzeichnen und dadurch das Eiszeitrelief konservieren.

Auf diesen Moränenhängen findet sich eine z.T. stark durch Windausblasung veränderte schütterere Vegetation, meist Sauerrasen.

Auch die Trittschäden der Vegetation durch schweres Vieh (Yaks-Grunzochsen) fördern die Rasenschalenbildung und die Vegetationsdegradation durch Deflation.

Nur wenig höher kann sich eine geschlossene Pflanzendecke nicht mehr halten.

Die Solifluktion wird relativ zur klimatisch reduzierten Regenerationsfähigkeit der Vegetationsdecke zu rasant.

#### (Kartentrück II)

Nach dem Abstecher ins Latzu-Massiv erfolgt die Weiterfahrt über den Paß von Latzu, durch das Tal von Lulu, das Becken von Lulu und das Becken von Tingri.

Auf diesem Wege werden die intramontanen Beckenbereiche näher untersucht, Becken in etwa 4 300 m Höhe wie das von Lulu.

Es handelt sich um beckenförmige Talausweitungen, über deren Tektogenese nichts Näheres bekannt ist.

Der dieses Becken durchziehende Nebenfluß des oberen Arun hat sich in eine Terrassenlandschaft eingeschnitten. — Er wird vornehmlich von Gletschern gespeist.

Jetzt in der Nachmonsunzeit führt er nurmehr ein Viertel seiner maximalen Wassermenge.

Die während der letzten 20.000 Jahre entstandenen Terrassen sind aus Schwemmschuttflächen aufgebaut. Ihre Oberfläche ist über die Vegetation zu datieren.

Eingeschaltet sind aber auch Deltabildungen, die eine Seephase bestätigen, welche durch bis 60 m an den Berghängen hinaufliegende glazilimnische Sedimente (Warventone) belegt ist. Wahrscheinlich handelte es sich um einen Eisstausee.

Um mit Hilfe von Pollenanalysen auch die klimatische Abfolge zu erfassen, werden in den Becken Bodenproben entnommen.

#### (Kartentrück III)

Von Tingri führt die Route weiter nach Westen, und die Expedition wendet sich ihrem ersten Hauptziel, dem Shisha-Pangma-Massiv, zu.

Unmittelbar nördlich des Hohen Himalaya-Hauptkammes, der über 8.000 m aufragt, bestehen in seinem Niederschlagschatten wüstenhafte Bedingungen.

Die Talböden sind schuttverfüllt, und an den Hängen ziehen trockene, nur mit sporadischer Zwergstrauchvegetation besetzte Schutthalden herab.

Diese Aufnahmen entstanden genau NW-lich der Melungse-Gruppe in einem linken Nebental des oberen Bo Chu (Sun-Kosi-Tal) zwischen 4 300 und 4 700 m ü.M. .

Neben den Forschungsarbeiten laufen schon unterwegs die Vorbereitungen für die höheren Gebiete am Shisha Pangma an: Zelte werden verbessert, Gepäckeinheiten für die Yakaufstiege werden zusammengestellt, und für die bis zu 15 Beteiligten ist die notwendige Verpflegung in Rationen abzupacken.

Für die Nachschubfahrten müssen Kraftstoffdepots eingerichtet werden.

Mit den geländegängigen Jeeps und Lastwagen ist es möglich, auch abseits der Piste zu fahren. So gelangt die Expedition im Vorland des Shisha Pangma mit Motorkraft bis auf eine Höhe von 5 020 m.

Mit 8 046 m Höhe gehört der Shisha Pangma zu den 14 höchsten Bergen der Erde.

Er nimmt die dreizehnte Stelle ein, hinter dem 8 047 m hohen Broad Peak und vor dem 8 035 m hohen Gasherbrum II, beide im Karakorum.

Riesige Moränenfächer – oder Bortensander – ziehen von seiner Nordabdachung ins Vorland hinaus.

In einem der Bortensandertäler errichtet die Expedition eine Kette von Hochlagern: ein erstes Camp in 5 300 m Höhe.

Hier im Moränental ist es vor den in der ausklingenden Monsunzeit stärker werdenden Windböen geschützt.

Das für die Geländearbeiten so wichtige Ende der Monsunzeit ist schwer vorhersehbar, es schwankt zwischen Anfang September und Anfang Oktober. Generell gilt, daß die Monsunintensität von E nach W abnimmt.

Die Temperaturen gehen in der Nacht bereits weit unter den Gefrierpunkt, und zunehmend besseres Wetter begünstigt die Feldarbeit.

Der weitere Aufstieg bis in die Gletscherregion wird nun durch Tragtiere erleichtert. – Zwei Yak-Treiber mit ihren Tieren waren bereits in den Weidegründen des entfernteren Gebirgsvorlandes, wo die Nomaden mit ihren Herden die Sommermonate verbringen, angeworben worden.

Es handelt sich um die höchsten Weidegründe auf der Erde. Die halbnomadisierenden Tibeter treiben ihre Yak-Herden im Juni bis August bis auf 5 300 m, Ziegen bis auf 5 500 m ü.M. hinauf.

Mit ihrem dichten, langen Haarkleid können Yaks extrem niedrige Temperaturen aushalten.

Die sehr geländegängigen Tiere tragen bis zu 60 Kilogramm.

Bei der Befestigung der Lasten an den Tragsätteln achten die Tibeter sorgfältig darauf, daß die Tiere ausgewogen beladen werden.

Als Futter für die Yaks wird in Säcken Heu mitgeführt.

Yaks bieten einer Expeditionsgruppe größtmögliche Sicherheit dadurch, daß sie auch noch bei Schneedecken von 50 – 60 cm Mächtigkeit den Rückweg antreten und die Spuarbeit leisten können. Dazu wären Hochträger oder auch Pferde und Kamele nicht mehr in der Lage.

Bei dem Aufstieg zum folgenden zweiten Hochlager werden zunächst die älteren, späteiszeitlichen Moränen durchquert.

Die Moränen liegen ineinandergeschachtelt, zum Gletscher hinauf immer jünger und weniger verwittert. – Je kürzer die solifluidale Überformung, desto prägnanter sind die Wallformen erhalten.

Absolute Datierungen dieser Moränen stehen noch aus und werden aufgrund weitgehend fehlenden organogenen Materials zur C14-Analyse nur schwerlich gelingen. Diese Sedimente befinden sich zu nahe an der Vegetationsobergrenze.

In den Dellen führt Geschiebelehm zu stauender Nässe.

Da die Niederschläge auf der Nordseite des Hohen Himalaya schlagartig abnehmen, sind die Gletscherflüsse im Verhältnis zur Größe und Länge der Gletscher seicht und klein.

Die Verdunstung nimmt – im Gegensatz zu den Verhältnissen in den Alpen – den Hauptanteil der Ablation dieser Gletscher ein.

Hier in rd. 5 600 m Höhe überdauern einzelne Schneeflecken, zu Eisböden verdichtet, auch die Sommerzeit.

Oberhalb dieser Schneeleiste wird das zweite Hochlager am Shisha Pangma errichtet. Es gilt, einen hochwassersicheren Platz zu finden. Die Gletscherabflüsse sind starken Pegelschwankungen unterworfen.

Abgesehen von Schwankungen klimatischer Art, die sich allenfalls im Bereich von wenigen Metern abspielen, ist an schwallartige Gletscherstubenausbrüche zu denken, bei denen plötzlich größere intraglaziäre Hohlräume leerlaufen können.

Von diesem Camp in 5 540 m Höhe ist es nur eine halbe Stunde bis zur heutigen Gletscherzunge des Yepokangara-Gletschers an der Shisha-Pangma-Nordseite. Sie ist vollständig mit Schutt bedeckt.

Die Schuttbedeckung von Himalaya-Gletschern ist wesentlich eine Folge der steilen Einzugsbereiche und ihrer Lawinenzufuhr. Eis-, aber auch Neuschneelawinen reißen große Detritusmassen aus den Wänden ins Gletschereis hinab, die dann im Zungenendbereich zur Unter- und Obermoräne austauen.

Der gut 8 000 m hohe Shisha Pangma ist Haupteinzugsbereich des Gletschers. Zur Zeit ist er von Monsunschnee bedeckt. – Aber auch 6 und 7 000 m hohe Gipfel tragen mit ihren Eisbalkonen und Lawinen zur Gletscherernährung bei.

Trotz der Größe und Höhe des Einzugsbereiches und einer Gletscherlänge von 14 km reicht die Zunge nur bis auf 5 600 m hinab.

Unterhalb der Schneegrenze entstehen Eispyramiden, Leitformen subtropischer Gebiete mit ihrer hohen Sonneneinstrahlung.

Neben der niedrigen Breitenlage ist die Aridität für die geringe Reichweite der Gletscher unter die Schneegrenze ursächlich. Bei einer orographischen Schneegrenze um 6 400 m ist das eigentliche Nährgebiet allenfalls 800 bis 1 000 Höhenmeter breit, wie aus dem nur 800 m unter die Schneegrenze reichenden Gletscherende zu schließen ist. Entsprechend der Aridität handelt es sich um kalte Gletscher mit geringem Abfluß.

Der Yepokangara-Gletscher ist heute im Rückzug begriffen. Dort, wo noch vor einigen Jahren und Jahrzehnten Eis lag, befinden sich jetzt Moränen- und Eisstauseen.

Zum Teil sind sie von Toteis unterlagert. – An ihrer lehmbräunen Farbe erkennt man, daß sie von Schmelzwässern durchflossen werden.

Die Klarwasserseen in der äußersten Zungenspitze der Satzendmoräne sind von dem eigentlichen Gletscherabfluß bereits abgeschnitten.

Auf eine wie auch immer geartete Klimaveränderung (trockener oder wärmer) ist nicht zu schließen, weil der eher kleinräumige Vorstoß eines solchen Talgletschers auf einen von der



Topographie diktierten 'surge' zurückgehen kann - einen kurzfristigen Vorstoß durch Reduktion der inneren Reibungswiderstände, die im Klima keine Entsprechung haben.

Die Abfolge der neo- bis spätglazialen Gletscherablagerungen ist im Bortensandertal des Yepokangara-Baches von beispielhafter Deutlichkeit.

(Kartentrück IV)

Nach Abschluß der Forschungen in der Shisha-Pangma-Nordabdachung fährt die Expedition einen Teil der Wegstrecke zurück nach Osten, um von Norden her ihr Hauptziel zu erreichen, den Mount Everest - oder Chomolungma, wie die Tibeter ihn nennen. Die zweitägige Fahrstrecke führt über den Panga La, einen klassischen Übergang zum Hohen Himalaya.

Jetzt in der zweiten Septemberhälfte wird das Wetter stabiler. Nach den Monsunniederschlägen ist die noch warme, bereits trockene Jahreszeit auszunutzen, damit die Forschungsarbeiten bis zum Winterereinbruch durchgeführt sind.

Auf der Paßhöhe haben Pilger und Reisende Gebetsfahnen und Geisterfallen errichtet. Hier vom 5 200 m hohen Panga La blickt man nach Süden, über die Gipfelflur des Tibetischen Himalaya, auf den Hohen Himalaya und den beherrschenden Gipfel des Mt. Everest mit seiner Schnee- und Wolkenfahne.

Diese nach E bis NE hängende Gipfelfahne ist für die Nachmonsunzeit, in der von W der Strahlstrom weht, charakteristisch.

22 km westlich schließen die Aufbauten des Gyachung Kang und des Cho Oyu an, 7 975 und 8 202 m hoch.

Im Gegensatz zu diesen Bergen ist der 8 848 m hohe Mt. Everest ein bis oben hin zugschärfter Felsgipfel. Seine Vergletscherung setzt oberhalb von 7 500 m aus.

Nur monsuneitlich trägt er eine Schneedecke, die in den frühen Herbsttagen von den Stufen und Felsgesimsen nach Nordosten abgeblasen wird. Doch bis in den Oktober hinein können letzte Monsuneinflüsse zu Schneefällen auf der Gipfelpyramide führen.

Solch plötzlich erhöhte Luftfeuchtigkeit wird an einer Grenzflächenbewölkung deutlich. Unterhalb des Everest und seiner Westschulter fließt nach Norden der 17 km lange Zentrale-Rongbuk-Gletscher, zunehmend schuttbedeckt, ins Tal ab.

Er wird von den Schuttrücken 4 bis 5 000 Jahre alter Ufermoränen eingerahmt.

Diese Alter sind über die Verwitterungsintensität von Granitgeschieben sowie über geomorphologisch-topographische Analogien zu den stärker bewachsenen und dadurch absolut datierbaren Moränenfolgen des 22 km langen Ngozumpa-Gletschers in der Südabdachung des Khumbu-Himalaya (Everest-Gruppe) bestimmt worden (KUHLE [13], [20]).

Im Vorfeld dieses Gletschers, in 5 170 m Höhe, baut die Expedition auf einem Moränenrest in der Nähe des Rongbuk-Flusses am 17. September ihr Basislager auf.

Dieser günstige Platz wurde bereits mehrfach benutzt. Bergsteigerexpeditionen haben hier für Verunglückte Steinhäufen und Gedenktafeln errichtet.

Für die folgende Etappe sind wieder Yaks angemietet worden. Da die dürftige Zwergstrauchvegetation für ihre Ernährung nicht mehr ausreicht, mußten sie ihr Futter mit heraufschleppen.

Die Lastwagen können oberhalb des Basislagers nicht mehr eingesetzt werden.

Teilnehmer der Gemeinschaftsexpedition sind neben den Yaktreibern (von links) der chinesische Koch, Diplom-Geograph JENS-PETER JACOBSEN, zuständig für Meßinstrumente und Gerät, ein Fahrer und Ingenieur LI, der Basislager-Manager.

Auf chinesischer Seite leitet die Expedition der Glaziologe Professor WANG WENYING; Leiter auf deutscher Seite und Initiator des Unternehmens ist der Hochgebirgsgeograph Professor MATTHIAS KUHLE.

Neben einem weiteren Fahrer hat sich der Vegetationsgeograph Dr. GEORG MIEHE der Kamera gestellt. Bildlich nicht festgehalten sind die Professoren HUANG, ZENG und XÜ.

Im Bereich des Basislagers richten die Wissenschaftler Meßfelder ein und stellen für die kommenden Wochen Instrumente auf.

Einer möglichst langen Beobachtungsdauer kommt große Bedeutung zu.

Auf einer Moräne in der Nähe des Lagers wird für Schutt- und Gletscherbewegungsmessungen ein Theodolit aufgebaut, auf dem ein aktives Strahlenmeßinstrument befestigt wird.

'Aktiv' bedeutet, daß hier nicht allein Strahlung aufgefangen wird, sondern, daß es sich um ein Gerät handelt, welches Strahlen aussendet.

Das Meßinstrument vom Typ Geodimeter 122 sendet Infrarotstrahlen aus, die von einem Reflektor zurückgeworfen werden.

Hierbei werden in einem Korrekturverfahren einflußnehmende Randbedingungen, wie Meereshöhe (Luftdruck) und Lufttemperatur, berücksichtigt.

Durch Auszählung der Infrarotwellenlängen mit Hilfe eines Computers wird die Entfernung zum Reflektor auf einen halben Millimeter genau bestimmt.

Die Eigenbewegung der Blöcke galt es dabei auszuschließen, was durch die Auswahl zimmergroßer und darum stabil liegender Blöcke auf thermisch gut isolierten Eissockeln möglich war.

Diese exakten Entfernungsmessungen ermöglichen es, während 40tägiger Meßperiode Gletscher- und Schuttbewegung festzustellen. Denn die Reflektoren, die auf Felsblöcken der Obermoräne installiert sind, werden zusammen mit dem Eisstrom talwärts transportiert.

Eine Abschätzung wird deshalb nötig, weil die für 40 Tage geltenden Werte in ihrer Frostwechselintensität und -häufigkeit nicht linear extrapoliert werden können, sondern die warme Monsunzeit, wie auch die ebenso frostwechselarme kalte Winterzeit zu berücksichtigen ist.

Auch die Toteisgrenze des Rongbuk-Gletschers, die Grenze von bewegtem zu stationärem Gletschereis, kann so ermittelt werden.

An Moränenhängen und Schutthalden ist es möglich, den Schuttversatz festzustellen und daraufhin die Solifluktionsbeträge, die frostwechselbedingten Wanderschuttdeckenbewegungen, abzuschätzen.

Für den oberflächennahen Schutt hier in 5 340 m Höhe ergibt sich daraus eine jährliche Hangabwärts-Bewegung von 4 bis 8 cm.

Am Basislager sammelt die Expedition umfangreiche geoökologische Daten:

Es wird die immense Sonneneinstrahlung gemessen, die die Erdoberfläche hier in subtropischer Breite und großer Meereshöhe erreicht.

Die Werte erreichen tatsächlich nahezu die der Solarkonstanten, welche theoretisch nur an der Obergrenze der Atmosphäre zu registrieren sind. Die Absorption und Reflexion der Strahlung ist in Höhen zwischen 5 000 und 7 000 m ü.M. demnach nurmehr gering.

Die Werte der durch ein Halbkugelfenster aufgefangenen Globalstrahlung werden nach dem System von Lambrecht auf einem Computer-Chip gespeichert.

Neben der auftreffenden wird mit Hilfe eines Strahlungsbilanzgebers auch die reflektierte Energiemenge festgehalten.

Sie variiert zwischen ca. 15 und 40% der eingestrahnten Energie über Gesteinsschutt und 75 bis 95% über Gletschereis, Firn und Schnee.

Mit einem Fernthermographen wird der Temperaturgang im Boden registriert. Seine Meßfühler werden in ein, fünf und 10 cm Tiefe installiert.

Thermo-Hygrographen zeichnen durchgehende Kurven von Temperatur und relativer Feuchte der bodennahen Luftschicht.

Diese Untersuchungen gelten der Frage nach der Häufigkeit und Eindringtiefe von Frostwechseln im Boden. Sie erhalten ihren Aussagewert im Zusammenhang mit den Bewegungsmessungen an Solifluktsdecken des Untersuchungsgebietes (s.o.).

Mit einem Windrichtungs- und Windwegschreiber werden bei dem hier im Tal stetig aus Südosten kommenden Luftstrom Geschwindigkeiten von bis zu 60 oder 70 km pro Stunde aufgezeichnet.

Es handelt sich um den in den oberen Schichten der Atmosphäre wehenden Strahlstrom, der durch das Tal kanalisiert und in der relativ geschützten Talbodenlage der Meßstation bereits abgebremst ist.

Allein hier im Himalaya berühren diese Höhenstürme im Winterhalbjahr die Erdoberfläche.

Erst in der Zusammenschau der Meßergebnisse aller registrierten Parameter eröffnet sich die eigentliche Ausdeutungsqualität solcher Datensammlungen. Beispielsweise geht mit jeder Unterbrechung des Strahlstroms durch Winde aus wechselnden Richtungen ein signifikanter Anstieg der Luftfeuchte von 20 - 40% auf 70 - 90% einher. Auf diese Weise spiegeln sich spätmonsunale Einbrüche auf unterschiedliche Art im Wettergeschehen.

Es gehört zu den Zielen der Expedition, möglichst vielfältige Beobachtungs- und Meßdaten in der Nordabdachung des Mt. Everest zu gewinnen. Von der Südabdachung, der nepalesischen Seite her, ist der Große Berg schon sehr viel besser bekannt.

Die Untersuchungen an dieser Seite des Berges folgen mit einer Verzögerung von etwa 20 Jahren denen am Südabhang. Das belegen u.a. die Strahlungsbilanzmessungen von BISHOP et al. ([2]) bis in 5 730 m ü.M. und von HACKEL et al. ([4]) bis in 4 800 m Höhe aus dem Khumbu-Gebiet.

Aufwendig sind die Vorbereitungen für den Ausbau der Hochlagerkette, das Sortieren und Zusammenstellen des Materials.

Neben dem wissenschaftlichen Instrumentarium ist auch ein ausgewähltes Sortiment von höhenphysiologisch angemessener Nahrung einzupacken.

Bis zu dem untersten Hochlager können die Yaks den Lastentransport übernehmen.

Dieses erste Hochlager, auch als vorgeschobenes Basislager benutzt, wird in 5 500 m Höhe, nahe dem noch beleuchteten Rücken, errichtet.

Es liegt orographisch rechts neben einer Ufermoräne des Zentralen-Rongbuk-Gletschers.

Dies ist der höchste, relativ windgeschützte und daher von Vegetation besetzte Lagerplatz.

Von nun an muß der Gletscher selbst begangen werden.

Der weitere Aufstieg folgt der unwegsamen Obermoräne mitten zwischen den Eispyramiden hindurch, die im Niveau der Schneegrenze aus der Gletscheroberfläche herauszuschmelzen beginnen und die hiesigen Eisströme etwa auf ihrer halben Länge besetzen. Eingelassen in die Obermoräne sind Gletscherseen, Schmelzwassertümpel, die nur episodisch bestehen.

Sie laufen durch den hin und wieder bestehenden Anschluß an die intraglaziale Drainage des Gletschers von Zeit zu Zeit aus.

Eiszapfen weisen auf den täglichen Wechsel von Schmelz- und Gefrierprozessen hin. In der Nähe der Eistürme werden mit dem System von THIES Luftfeuchtemessungen durchgeführt. Hier in 5 650 m Höhe wird direkt an der Eispyramidenoberfläche eine relative Feuchte von 20 bis 24% gemessen; in 2 m Entfernung ist es nur die Hälfte und am Gletscherrand noch wesentlich weniger.

Das entspricht einem Gefälle von etwa 4,20 auf weniger als 1,00 g/kg spezifische Feuchte. Es wurden in 6 500 m ü.M. sogar Extremwerte von 1 und 2% relativer Feuchte aufgezeichnet, was spezifischen Feuchten von etwa 0,13 g/kg entspricht.

Inmitten einer extrem trockenen Umgebung herrscht also im Eispyramidenbestand, aufgrund der vergrößerten Eisoberfläche, eine Art Waldklima, ein Mikroklima mit erhöhter Luftfeuchtigkeit.

Die Eispyramiden wandern mit dem fließenden Gletscher talabwärts und werden in seiner unteren Hälfte zunehmend durch Obermoränen abgelöst.

Mit dem Zackeneis des Zentralen-Rongbuk-Gletschers vereinigt sich der mächtige West-Rongbuk-Gletscher, Teilstrom dieses dendritischen Talgletschersystems. Er wird aus zahlreichen Firnmulden und Lawinenkesseln mit Einzugsbereichen von annähernd 8 000 m Höhe gespeist.

Wie die übrigen Rongbuk-Eisströme ist er ein kalt-arider Gletscher kontinentalen Typs, mit Fließgeschwindigkeiten von höchstens Dezimetern pro Tag.

Zum Vergleich: Im Eisbruch des Khumbu-Gletschers auf der Everest-Südseite treten mitunter Fließgeschwindigkeiten mit Meterbetrag auf. Die größten Fließgeschwindigkeiten bestehen an antarktischen Auslaßgletschern, die vom zentralen Plateau durch die Randgebirge strömen. Sie erreichen 3 – 12 m/Tag.

In 5 680 m Höhe wird auf Obermoräne, mit Sicherheitsabstand von den Eispyramiden, Camp II errichtet. Die gesamte Ausrüstung – Meßinstrumente, Verpflegung und Brennstoff – muß im Gletscherbereich nun von den Wissenschaftlern getragen werden.

Weniger als 7 000 m hohe Berge, wie im Westen der Kumbutse, sind bis zum Gipfel hin auf mit Flankeneis bedeckt. Je nach Wandsteilheit sind Riffeleis oder Eisbalkone ausgebildet, die über Lawinenkegel oder unmittelbar zur Gletscherernährung beitragen.

Hauptbedeutung aber hat der primäre Schneeniederschlag auf den weiten Firnflächen.

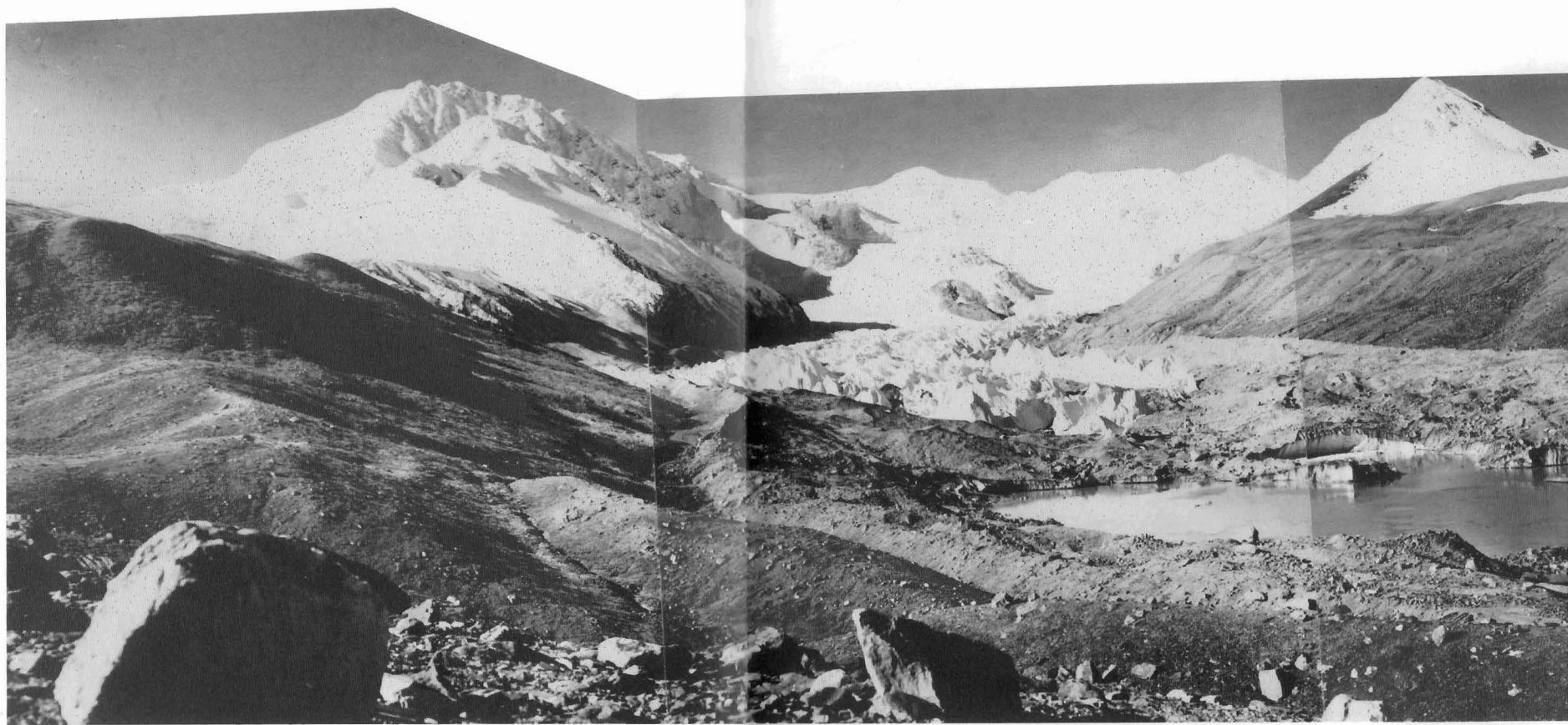
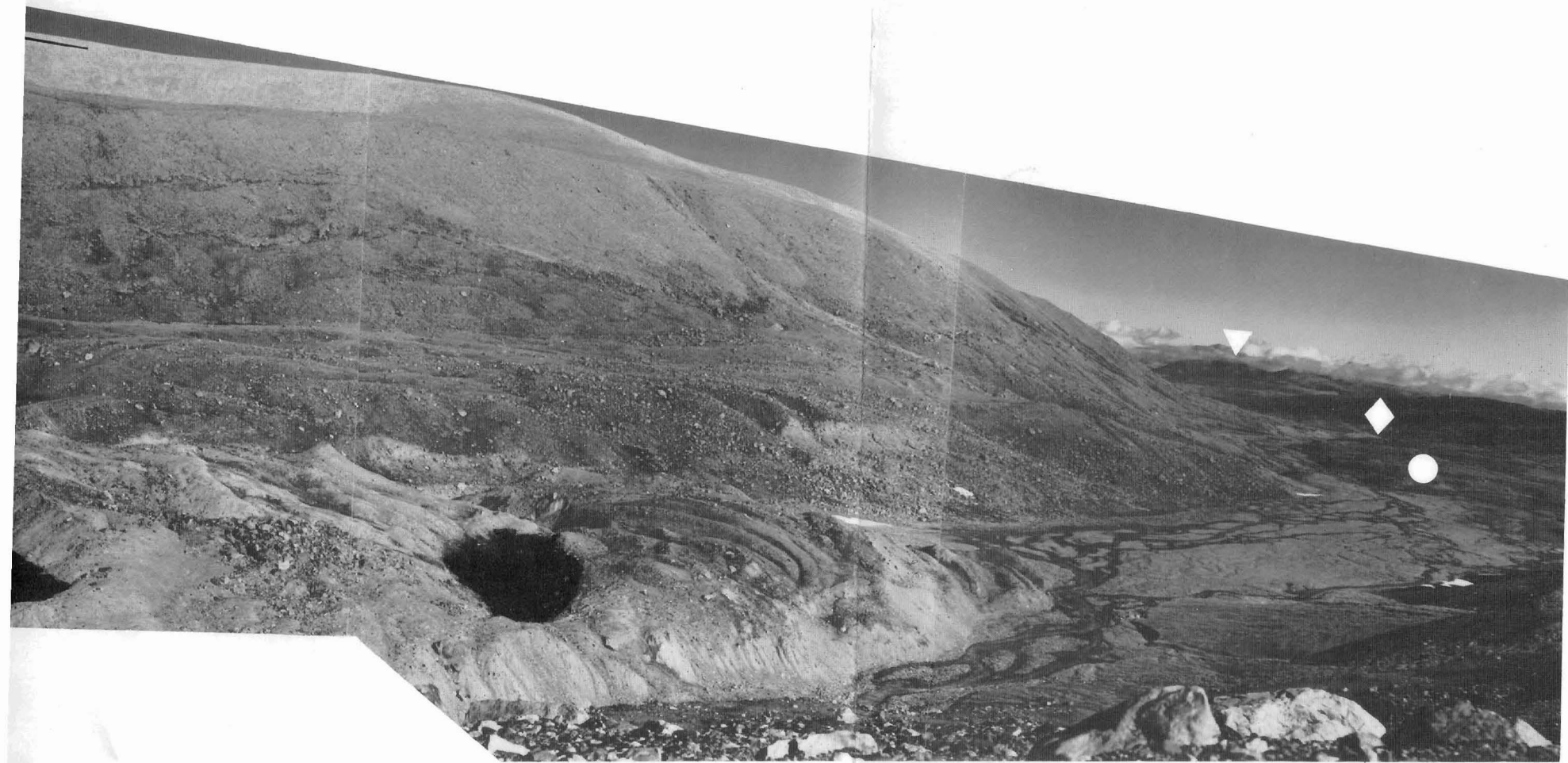




Abb. 5. Diese Panoramaaufnahme entspricht einem Film-Schwenk vom Shisha Pangma (8 046 m, links) im Süden mit dem Yepokangara Gletscher, über die historischen (●), neoglazialen (◆) und spätglazialen Moränen und Bortensander (■) im Gebirgsvorland zwischen 5 500 und 5 000 m ü.M., bis hin zu den gerundeten Bergrücken des Tibetischen Himalaya im Norden (rechts im Hintergrund ▼). Damit wird der zum Verständnis notwendige topographische Zusammenhang deutlich: während der Späteiszeit flossen ca. 500 – 600 m mächtige Eisströme vom Nordabhang des Hohen Himalaya ins Gebirgsvorland hinaus und schoben entsprechend hohe Endmoränen- und Schotterkegelrampen in den Zwickeln zwischen je zwei benachbarten Gletscherzungen



auf. Derartige Bortensander dachen sich mit  $7 - 12^\circ$  Oberflächenneigung ( ——— ) als glazigen-glazifluviatile Mischformen, die auf über lange Zeit stabile Vorlandeisrandlagen hinweisen, in die Ebenheiten Südtibets ab. Während des spätglazialen, neoglazialen und historischen Gletscherschwundes schmolzen bedeutende Hohlformen zu den heutigen Bortensandertälern aus (Abb.). In diesen Tälern und unmittelbarer Gebirgsfußnähe enden die heutigen Gletscherzungen, wie z.B. die in 20 m hohe Eispyramiden aufgelöste Zunge des 14 km langen Yepokangara-Gletschers. Aufnahme aus 5 620 m ü.M., 14.9.1984, MATTHIAS KUHLE





Hier, bereits oberhalb der Schneegrenze, erhält der Zentrale-Rongbuk-Gletscher einen weiteren Zufluß von seiner orographisch linken Seite.

Angeschlossen sind solche Zuflüsse über Konfluenzstufen, die das Eis zu Gletscherbrüchen zerreißen.

Die erhöhte Fließgeschwindigkeit wird in der Unterschneidung der anliegenden Felsflanken deutlich.

Auf der gegenüberliegenden Seite ist das dritte Hochlager auf dem einzig lawinsicheren Platz unterhalb des Changtse-Westpfeilers errichtet. Von diesem Camp in 5 800 m Höhe werden Untersuchungen an repräsentativen Stellen des weiträumigen Firnbereichs durchgeführt, der sich unterhalb der Everest-Nordwand und ihres Westflügels ausdehnt – und an seinem Nordsattel, dem Chang La, endet.

Gemessen werden die Windgeschwindigkeit, Luftfeuchten und Lufttemperaturen, sowie die Firntemperatur in mehreren Tiefen.

Interessant zu beobachten ist es, daß der expeditiv-logistische Fortschritt seit etwa 1950 seinen Niederschlag vor allem in der Ökonomisierung solcher Unternehmungen gefunden hat. Was bedeutet, daß eine kleine Forschergruppe nun zu leisten in der Lage ist, was früher nur eine von 20 Hochträgern gestützte Großexpedition vermochte. Mit altem Aufwand und neuer Technik einen vielfachen Ertrag zu ermöglichen, scheint außerhalb wissenschafts-demokratischer Reichweite zu liegen.

Die gewonnenen Werte ermöglichen aufschlußreiche Vergleiche mit den zur selben Zeit am Basislager automatisch registrierten Daten.

Letztere flankieren die telemetrischen Oberflächentemperaturmessungen (s.u.) und liefern Hinweise auf die Metamorphosebedingungen in der Schneedecke.

Um die Oberflächentemperaturen zu erfassen, werden mit telemetrischen Infrarotmeßinstrumenten die Bergflanken abgetastet. An der Everest-Gipfelpyramide werden trotz extremer Einstrahlung in den Mittagsstunden Temperaturen von durchschnittlich – 28 bis –34°C gemessen.

Neben den lokalklimatischen Bedingungen werden die Gradienten klimatischer Höhenstufung ausgewiesen.

Über diese niedrigen Temperaturen erklärt sich die nur geringfügige Gletscherbedeckung des Berges oberhalb 7 200 m.

Während an tieferen Wandpartien ungeachtet der Neigungsverhältnisse Firn und Eis ansetzen, lassen am Gipfelaufbau die niedrigen Temperaturen eine Metamorphose des Schnees nicht zu, und dieser wird wie Flugsand abgeblasen.

Der Vergleich Schnee mit Flugsand wird von der ähnlichen Trockenheit und Bindungslosigkeit kalter Schneekörner getragen. Zusätzlich der Deflation günstig ist die geringe spezifische Dichte einer locker gebliebenen kalten Schneeauflage.

In den am Wandfuß ansetzenden Firnfeldern um 6 500 m Höhe ist aufgrund gefrierpunktnaher Temperaturen die Schnee-zu-Eis-Umwandlung besonders intensiv.

Die hohe Sonneneinstrahlung bildet Harschflächen und reflektierende Firnspiegel heraus.

D.h., die Ortsbindung des Schnees durch Schmelzharschbildung und dann auch die Verdichtung erfolgen umgehend.

Im Gegensatz zu alpiner Gletschertopographie fällt im Talschluß des Zentralen-Rongbuk-Gletschers auf, wie klein die Firnflächen im Vergleich zur Größe der sie einfassenden, 2 400 m hohen Wand sind. In einem solchen Firnkessel erfährt der Gletscher durch die Lawinen aus den Wänden mehr Zufuhr als durch primären Niederschlag.

Im Verhältnis von primärer zu sekundärer Gletscherernährung bildet sich der Gebirgscharakter, seine Reliefenergie, ab. In extremem Hochgebirge gewinnt die sekundäre Ernährung vorherrschende Bedeutung, während sie in vergletscherten Mittelgebirgen (z.B. W-Grönland) fehlt.

Eine Besonderheit dieses Firngebietes ist der 6 009 m hohe Überlauf in die Himalaya-Südabdachung, der Lho La.

Das sehr viel steilere und dadurch erosionsaktivere Talsystem des Himalaya-Südabfalls zapft in derartigen, tief in den Himalaya-Hauptkamm eingelassenen, niedrigen Sätteln bzw. hohen Talbodenteilen der Nordabdachung das nach Norden entwässernde Talsystem des Himalaya an. Wie W-lich des Everest der Lho La, ist der Rapiu La (6 500 m) eine solche Anzapfstelle, die E-lich des Berges liegt (s.u.).

Jenseits fließt aus einem Hochtal der Everest-Südgletscher, der Khumbu-Eisstrom, über einen 600 m hohen Gletscherbruch herab.

Dieser Typ eines schnellen Gletschers profitiert von den höheren Niederschlägen an der Luvseite des Hohen Himalaya.

Es handelt sich um bereits reife, d.h. von Steilstufen und Pfeilern weitgehend befreite Glathänge, Frostausgleichshänge, die als Funktion häufiger Temperaturschwankungen um den Gefrierpunkt mit großer Amplitude während der vergangenen 10 000 Jahre ausgebildet wurden.

Hier in der Südabdachung sind die Gipfel, wie der Taboche und der Jobo Lhaptshan, stärker zugeschärft als die der Nordabhänge, ein Resultat eiszeitlicher Flankenunterschneidung durch bis zu 60 km lange Gletscherströme und der Erosion heutiger Monsun- und Gletscherflüsse mit steilstem Talgefälle.

Die geringe Zuschärfung der Gipfel des Tibetischen Himalaya geht auf die flachen Talgefälle der Himalaya-Nordseite und die deshalb noch nicht voll entwickelte Taleintiefung zurück.

In den ersten Oktobertagen werden die Arbeiten im Firngebiet unter der Mt.-Everest-Nordwand abgeschlossen.

(Kartentrück V)

Die Expeditionsgruppe bricht die Hochlager am Zentralen-Rongbuk-Gletscher ab und zieht sich ins Basislager zurück, um dort das gewonnene Probenmaterial zu versorgen. Nach dreitägiger Ruhepause schließt die nächste Campagne, der nächste Ausbau einer Hochlagerkette, an.

Diesmal ist das System des Ost-Rongbuk-Gletschers das Untersuchungsziel, dessen Zunge den Zentralen-Rongbuk-Gletscher heute nicht mehr erreicht. Auch er ist ein dendritischer Talgletscher mit Zuflüssen von beiden Seiten.

Unterhalb des Mt.-Everest-Nordostgrates liegt sein oberster Firnkessel.

Auch die Zunge des Ost-Rongbuk-Gletschers ist stark zerklüftet.

Bis zu 20 m hoch sind die sich talwärts schiebenden Eispyramiden.

Weichgeformte, kontinental-trockene Frostschutthänge, die bis zu den Schneegraten hinaufreichen, flankieren den Eisstrom.

Mehrere kleine Nebengletscher erreichen den Ost-Rongbuk-Hauptstrom von Westen. Auf der Gegenseite werden ausgedehnte östliche Firngebiete durch den Far East-Gletscher angeschlossen.

Hier im Tibetischen Himalaya sind für Berge mit einer Höhe von etwa 7 000 Metern weitgespannte Firnhänge bis zum Gipfel hinauf kennzeichnend, deren Abflüsse sich oft in engen Hängetälern konzentrieren.

Im Gegensatz zum Zentralen-Rongbuk-Strom hat der Ost-Rongbuk-Gletscher eine kilometerlange, auch für die Tragtiere begehbbare Mittelmoräne. – Ihr folgt die Expeditionsgruppe am zweiten Tag des Aufstiegs bis zum Nordsporn des Changtse, wo die beiden Hauptkomponenten dieses Gletschers zusammentreten.

Der westliche Teilstrom geht aus der firneisbelegten Nordwand des 7 580 m hohen Changtse hervor, hinter dessen Ostgrat hier der Everest sichtbar wird.

Der Aufstieg ist für die kleine Yak-Karawane weniger schwierig, als anstrengend, nachdem ein unwegsamer Eisbruch im unteren Zungenabschnitt bewältigt worden ist.

Nahe der Mittelmoränenwurzel, bei 6 060 m, wird ein sicherer und ebener Platz für das Hochlager II gesucht.

Die Lagerlokalität wird durch zweierlei Risiken eingengt: durch möglichen Eisschlag von der Gletscherseite her, an der morsche Eismauern und -pyramiden aufragen, und durch Steinschlag von der Talwand her, der an mittägliche Schmelzvorgänge gebunden ist.

Von hier aus folgt die Route der Seitenmoräne des östlichen Hauptstroms. In dieser Höhe ist die ursprüngliche Oberfläche des Gletschers bereits deutlich erkennbar. Nur randlich ist sie aufgelöst in Pyramiden.

Auf den weiter südlich, gletscheraufwärts gelegenen Bergen, nahe der Klimascheide des Hauptkammes, liegt Neuschnee bis auf 6 200 m hinunter.

Jetzt im Oktober werden die bis auf  $-20^{\circ}\text{C}$  absinkenden Temperaturen, zusammen mit den starken Windböen, zunehmend zum Problem für die Arbeiten der Expedition.

Spätmonsunale lokale Schneeniederschläge lappten aus dem Kangchung Tal aus SE über die Einsattelung des Rapiu La in die Nordabdachung herüber.

Waren die mächtigen Obermoränen der tiefergelegenen Gletscherbereiche durch ihren Ablationsschutz für das Gletschereis als erhabene Rücken stehengeblieben, so ist die noch dünne Schuttdecke weiter oben kastenförmig in das Gletschereis eingeschmolzen. Ein einheitliches Gletschniveau besteht erst in Schneegrenzhöhe, ab 6 300 m.

Ab einer Detritusauflage von wenigen Dezimetern kippt der durch die geringe Albedo dunklen Schutts initiierte, verstärkte Abschmelzvorgang des oberen Gletscherverlaufes in den entgegengesetzt wirksamen Abschirmvorgang und Isoliereffekt um. Konstituierende Größen für betreffende Obermoränenmächtigkeit sind Gesteinsfarbe, -rauigkeit, aber auch Sonnenscheindauer im Jahresgang. Auf diese Weise unterscheiden sich die Obermoränenwirksamkeiten der Winterniederschlagsgebiete des Karakorum von denen der Sommerniederschlagsgebiete des Himalaya.

Etappenweise bringen die Yaks am Ost-Rongbuk-Gletscher Ausrüstung und Nachschub hinauf bis in die Höhe von Camp III bei 6 500 m.

Hier am Rande des Firnkessels, der von der schattigen Nordost-Flanke des Mt. Everest überragt wird, sind die Zelte des obersten Hochlagers im Windschutz von Eismauern platziert, in sicherem Abstand von den Lawinenkegeln der 1 000 m hohen Changtse-Süd-Südost-Wand.

Großflächig ist hier kontaktmetamorphes Gestein, wie es den Mt. Everest aufbaut, abgeschlossen: Die dunklen kristallinen Schiefer sind durch Intrusionen hellen Granits gehärtet.

Den Talschluß bildet der gut 7 000 m hohe Chang La, der Mt.-Everest-Nordsattel.

So wie jenseits der Firn des Zentralen-Rongbuk-Gletschers abfließt, setzen auf dieser Seite die Schnee- und Firnflächen des Östlichen-Rongbuk-Gletschers mit ihren Gefällsstufen an.

Auch dieses Firnbecken hat anschließend an den Mt.-Everest-Nordost-Grat einen Überlauf in die Himalaya-Südabdachung, den 6 500 m hohen Rapiu La.

Die östlichen Rahmenhöhen gehören schon dem Tibetischen Himalaya an.

Von Camp III aus läßt sich das gesamte Firngebiet untersuchen. – Auch hier werden neben Klimaparametern wie der Globalstrahlung Strahlungsbilanz und Oberflächentemperaturen von Fels und Firn gemessen.

Mit zunehmender Höhe setzen die Felsflächen mehr und mehr aus, bis zwischen 6 500 und 7 000 m Eis, Firn und Schnee das Gestein vollständig einkleiden. Bis zu 95% der einfallenden Sonnenstrahlung, die in diesen Höhen extreme Energiewerte erreicht, werden hier reflektiert.

Südlich des Firnüberlaufs, des Rapiu La, steht der 8 475 m hohe Granitkegel des Makalu, fünftöchster Berg der Erde.

Die Gesteinsresistenz ist einer der Faktoren, denen ein Berg seine Höhe verdankt; die anderen sind Entfernung zur Erosionsbasis und Hebungsgeschwindigkeit. Der ausschließlich aus sehr hartem Turmalin-Granit aufgebaute Makalu (8 475 m) erreicht die Höhe des Mt. Everest deshalb nicht, weil im Produkt der Faktor 'Resistenz' überkompensiert ist.

Ebenso wie der Mt. Everest und andere Hochgipfel des Himalaya-Hauptkammes überragt sein Aufbau die Gletscherregion.

Jeweils nur im Leewirbelbereich von Graten oder auf flachen Felsgesimsen im Windschatten sind Schneeauflagen zu beobachten – größerräumig aber bildet oberhalb von 7 000 – 7 500 m der Fels die Oberfläche. Nur unterhalb tritt expositionsunabhängiges Flankeneis auf.

Das gilt auch für den 8 501 m hohen Lhotse mit seiner Wolkenfahne.

Die davor hochziehende Riffeleisschneide bildet den markantesten Ostpfeiler des Mt. Everest. An der steilen, windgeschützten Ostwand setzt sich der Tauniederschlag als mächtiger, rauher Firnpanzer fest.

Die Rauhigkeit der Metamorphite des Lhotse ist größer als die der geschlossenen Granitplatten des Makalu, was sich aber hinsichtlich fehlender Flankenverfurnung in keinem Unterschied bemerkbar macht. Damit ist der Hinweis gegeben, daß es bei Flankenvereisungen auf die Haftfähigkeit des Schnees ankommt und nicht so sehr auf die der Felsen – ein Aspekt, der sich ebenfalls über die weitgehende Unabhängigkeit der Wandvereisungen von der Felsneigung zu erkennen gibt.

Dagegen fallen auf der anderen Seite des Nordost-Grates, und besonders an seiner knapp 8 400 m hohen Schulter, die dunklen, freigeblasenen Gesteinsflächen der Felstürme auf. Neben den Forschungsaufgaben erfordern Arbeiten im 6 500-m-Lager, wie Schneeschmelzen, Kochen und das jeweilige Richten der Ausrüstung, Zeit- und Kraftaufwand.

Die menschliche Höhenanpassungsfähigkeit reicht bis etwa 5 200 m ü.M. . Bei einem Aufenthalt in 6 500 m Höhe verfallen die Kräfte rapide, so daß derartige leichte Verrichtungen einen anderen Stellenwert bekommen und Energieeinsatz erfordern.

Von Camp III ist über Moränen- und Steinschlagschutt in wenig mehr als einer Stunde der Talschluß zu erreichen.

Dort, an der Chang-La-Wand, hat der von Westen herübergeworfene Triftschnee Lawinhänge wie auch überhängende Eisbalkone geschaffen.

Der Schneetrieb schafft bedeutende Schneemächtigkeiten, und ein großes Temperaturgefälle in der Schneedecke läßt über aufbauende Sublimation kompakte, reibungsarme Becherkristalle und damit schneebrettgefährlichen Schwimmschnee bzw. Tiefenreif entstehen.

Die Schneesverhältnisse sind jetzt in der zweiten Oktoberhälfte nicht ungünstig. Die Bindigkeit des Firns ist gut und erleichtert das Steigen.

Bei den sehr niedrigen Temperaturen arbeiten Geräte und Kameras nicht immer störungsfrei.

Obleich sie mit kältefesten Spezialfetten geschmiert waren.

Zu beiden Seiten des den Wind konzentrierenden Nord-Sattels dünnt die hier dekametermächtig angehäuften Gletschereisauflage mehr und mehr aus. An der schattig-kalten Nordwand wird sie zu einer dünnen Lasur aus festgefrorenem Wandeis und ist dementsprechend durch einen Bergschrund vom fließfähigen Eis des Firnbodens abgesetzt.

Unter Einfluß der schmelzwasserbereitstellenden Vormittagssonne (zu dieser Tageszeit ist die Bewölkung am geringsten) ist hier die Frostverwitterung extrem wirksam.

Auf der anderen Seite des Firnkessels sind ganze Partien der Changtse-Südsüdost-Wand vollständig eisfrei.

Die schmalen Eiscouloirs zwischen den trockenen Felsfeilern schließen sich erst am Gefällsbruch des Wandfußes zusammen. Die aus Eis- und Felsschutt aufgebauten Lawinenkegel laufen in einer breiten Halde aus.

Der weitere Aufstieg zum Mt.-Everest-Nordsattel führt an haushohen Seracs vorbei, Eistürmen und Gletscherabbrüchen, die ihre Dimensionen dem Triebschnee aus dem jenseits gelegenen Zentralen-Rongbuk-Firnbecken verdanken.

Nicht allein die Flankensteilheit, sondern vor allem die Mächtigkeit des Eises macht diesen Gletscherhang fließfähig und löst ihn in einen sich fortwährend verändernden Eisbruch auf.

Nach Durchstieg der 400 m hohen Chang La-Ostwand führt der deutsche Expeditionsleiter von der Gratschneide aus Detailbeobachtungen zur Schnee- und Firnbedeckung der Everest-Nordwand durch.

Generell besteht eine Schere zwischen Gefälle und Eisauflagemächtigkeit hinsichtlich der Fließfähigkeit. Die Chang La-Ostwand bietet diesbezüglich optimale Verhältnisse.

Die Topographie des Changtse-Grates bietet die Gelegenheit, den Mt.-Everest-Aufbau aus größerer Höhe, aber genügender Entfernung – und damit günstiger Perspektive – zu beobachten und fotografisch zu dokumentieren.

Nach 16tägigem Aufenthalt über 6 000 und 6 500 m ist es für die Dreiermannschaft des höchsten Camps wichtig, hinab ins Basislager zu kommen, denn die Erschöpfung ist nicht mehr aufzuhalten in diesen Höhen.

Zwei Tage dauert der Abstieg auf dem Ost-Rongbuk-Gletscher.

Gesteinsproben und Ausrüstung werden von der Yak-Karawane abgeholt.

Das Wetter ist bis jetzt ungewöhnlich gut, so daß die Zeit durchgehend für Forschungsarbeiten genutzt werden konnte.

Die günstigen Wetterbedingungen des Jahres 1984 werden durch den Wintereinbruch mit Temperaturen von  $-40^{\circ}\text{C}$  und schweren Schneestürmen am 3. November 1985 in Tibet bestätigt.

Am 5. November 1984 wird nach 50tägigen Untersuchungen am Mt. Everest auch das Basislager abgebrochen, und die Deutsch-Chinesische Gemeinschaftsexpedition wendet sich zurück nach Norden.

Nach letzten Arbeiten im noch unverschneiten Tibetischen Himalaya kehren die Teilnehmer Mitte November nach Lhasa zurück.

### **English Version of the Spoken Commentary**

In the autumn of 1984 a joint geographical expedition of German and Chinese scientists set out for the High Asian plateau – the 1984 South Tibet and Mount Everest Expedition.

In mid-August the participants met in Lhasa, situated in a wide, agriculturally dedicated high valley in the northern drainage basin of the Tsangpo, the upper Brahmaputra.

The Tibetan capital is dominated by its chief landmark, the Potala, dating back to the 17th century.

The Chinese members of the Expedition came from the Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology in the north eastern part of the Tibetan uplands and had travelled here overland. – The German members from the Geographical Institute of the University of Göttingen, had arrived in Lhasa by air via Peking and Chengdu.

As soon as the voluminous expedition baggage had arrived, the party set out on the first lap to the Trans-Himalaya.

This mountain chain is crossed at the pass of Chalamba La.

As the Expedition's aim is to research glacio-morphological phenomena, the scientists take advantage while negotiating such high passes as this 5,300 m col of investigating erratics, the morainic residual deposits of ice-age glaciation.

The rounded contours of slopes and mountains in the vicinity of the high pass and the light micaceous granites that have been transported from great distances and deposited on volcanic rocks are proof of a 1,200 m thick prehistoric glaciation from which only the highest peaks protruded, rising pyramidally to a height of 6,400 m.

The southern slopes of the Trans-Himalaya merge into the Tsangpo depression, the longitudinal valley of the upper Brahmaputra that divides the mountain range from the Tibetan Himalaya lying immediately to the south of it.

The broad Tsangpo, having risen in Kubi Gangri, flows through the 3,800 m high, semi-arid region as an allogenic river. Its alluvial plain is the lowest terrain that the Expedition has to cross.

The late monsoon cloudscape should not obscure the fact that the average rainfall here amounts to only 200 mm a year.

This is reflected in the utilization of this region through irrigation oases.

(Map Animation I)

After setting out from Lhasa and conducting initial investigations in the Trans-Himalaya along the route passable to jeeps, the journey continues up the Tsangpo via Shigatse and a 4,000 m high pass into the basin of Latzu.

From here, in order to carry out detailed field study and get acclimatized to greater altitudes, there followed an ascent of the north slopes of the Latzu Massif, a mountain in the Tibetan Himalaya between the Tsangpo and the upper Arun rivers.

The settlement of Pu, one of the highest in this part of south Tibet can still be reached by cross-country vehicles. Here at 4,300 m altitude considerable interest is aroused among the villagers by the hiring of porters. They will assist in the ascent to the high valley of the Latzu Massif.

The investigations conducted on this first excursion are orientated mainly to geomorphology and geobotany.

The Tibetan highlands are characterized by glacial moulding of the landscape also recognizable here in soft contours and extensive boulder-fields.

These morainic slopes are clothed in sparse vegetation, usually acid grassland, partly eroded by wind.

Only a little further up a uniform covering of vegetation can no longer support itself.

(Map Animation II)

After the diversion to the Latzu Massif, the journey proceeded over the Latzu Pass, through the Lulu valley, the Lulu basin and the Tingri basin.

On this part of the journey the intramontane basins could be explored more thoroughly – such as the Lulu basin at 4,300 m.

The tributary of the upper Arun which traverses this basin has cut itself into a terraced landscape. – It is fed mainly by glacial streams.

In this post-monsoon period it now carries only a fourth of its maximum flood capacity.

The alluvial terraces formed over the past 20,000 years were built out of alluvial fans. Their surfaces are datable from the indigenous vegetation.

The use of pollen analysis to establish the climatic succession involves taking samples of the soil in the basin.

(Map Animation III)

From Tingri the route continues westward, and the Expedition turns its attention to the first main target, the Shisha Pangma Massif, Gosainthan.

Immediately to the north of the 8,000 m main ridge of the Great Himalaya, arid conditions prevail in its rainshadow.

The valley floors are overlain with debris, and scree with a sporadic clothing of dwarf shrubs reach down to them.

Parallel to the research commitments, preparations for the high-altitude exploration of Shisha Pangma are already underway:

Tents are improved – baggage packs for the yak ascents are assembled, and the necessary provisions are apportioned in ration packs for the 15 or so participants.

Fuel depots for the supply convoys have to be organized.

Because of their off-the-road capability the jeeps and trucks can leave the beaten track. In this way the Expedition penetrated under motor power to a height of 5,020 m in the foreland of Shisha Pangma.

At 8,046 m Shisha Pangma counts among the 14 highest mountains on Earth. Vast moraine fields – or piedmont outwash aprons – extend from its northern slopes into the foreland.

In one of their valleys the Expedition set up a series of high-altitude camps, with Camp I at 5,300 m.

In this morainic valley it is better sheltered from the stronger gusts during the expiring monsoon.

The temperature already falls well below freezing-point during the night, and the finer weather facilitates fieldwork.

The further ascent to the glacier region will be carried out with the help of pack animals. Two drovers and their yaks were already hired from the pastures of the remote foothills where the nomads spend the summer with their herds.

With their long, thick coat yaks are able to survive conditions of extreme cold.

The exceptionally sure-footed animals can carry loads of up to 60 kg.

The Tibetans are careful to burden the yaks symmetrically when attaching the baggage to the pack saddle.

Fodder for the yaks consists of sacks full of hay.

On the ascent to the second high-altitude camp they have to cross the older, Late-Glacial moraines.

The moraines are interlaced, being more recent and less eroded the nearer they are to the glacier. – The shorter the solifluctual moulding, the more conspicuous is the preservation of the moraine ramparts.

In the declivities glacial loam causes drainage blockage.

As rainfall on the northern slopes of the Great Himalaya drops abruptly, the meltwater streams are shallow and small in proportion to the volume and length of the glaciers.

At an altitude of 5,600 m isolated pockets of compacted névé survive the summer period.

Above this snow ledge the second high-altitude camp on Shisha Pangma is set up.

It's essential to choose a location safe from flooding, as the meltwater streams can swell up remarkably fast.

This camp at 5,540 m is only half an hour's march from the current snout of the Yepokangara Glacier on the northern flank of Shisha Pangma.

It is completely covered in morainic debris.

The over 8,000 m high Shisha Pangma forms the main catchment area for this glacier. At the moment it is clothed in monsoon snow.



But 6 and 7,000 m peaks also contribute to feeding the glacier with their cornices and avalanches.

In spite of the size and altitude of its firn basin and a glacier length of 14 km, its tongue does not extend down below 5,600 m.

Below the snowline ice pyramids have been formed, standard structures in sub-tropical regions with their high insolation.

The Yepokangara Glacier is in a state of retreat. Where there was ice only a few years and decades ago, there are now moraines – and proglacial lakes.

They are partly underlayered with ground ice. – Their loamy brown colour betrays the fact that meltwater flows through them.

The clear-water lakes at the outermost end of the recessional terminal moraine are already cut off from the actual glacier drainage.

In this outwash apron valley of the Yepokangara rivulet the sequence of neoglacial to late glacial deposits can be seen with exemplary clearness.

(Map Animation IV)

After completing the research assignment on the Shisha Pangma north flank, the Expedition retraced its steps partway to the east in order to approach its main objective from the north – Mount Everest, or to give it its Tibetan name, Chomo Lungma.

The two-day journey led over the Panga La, one of the standard passes to the Great Himalaya.

The weather in the latter half of September is becoming more favourable. After the monsoon rains it pays to take advantage of the still warm and already dry season in order to conclude research commitments before the onset of winter.

At the head of the pass pilgrims and travellers have set up prayer flags and ghost traps.

From the 5,200 m Panga La pass one looks south across the gipfelflur of the Tibetan Himalaya to the Great Himalaya and the dominant summit of Mount Everest with its snow and cloud banner.

22 km to the west the summits of Gyachung Kang and Cho Oyu, 7,975 and 8,202 m respectively, are joined on.

In contrast to these mountains the 8,848 m high Mount Everest summit is a sharp pyramidal peak.

Its glacierization discontinues above the 7,500 m mark.

Only during the monsoon period does it support a covering of snow, which is blown off the ledges and shelves to the north east in the early autumn period. Late monsoon influences can however cause snow to fall on the summit peak well into October.

The sudden rise in humidity is here marked by interfacial cloud formation.

Beneath Everest and its west shoulder the 17 km long Central Rongbuk Glacier flows northwards to the valley carrying an increasing burden of debris.

It is lined with the debris of 4 to 5,000 year old lateral moraines.

On the approaches to this glacier close to the Rongbuk River, the Expedition set up its Base Camp at 5,170 m on a moraine residual. That was on September 17th.

This favourable location had already been exploited several times before.

Mountaineering expeditions have set up cairns and memorial tablets to victims of fatal accidents.

Once again, yaks have been hired for the next stage of the journey. As the dwarf shrub vegetation is not sufficient to feed them, they had to carry their own fodder along with them.

The trucks are no longer of use above Base Camp.

The members of the Joint Expedition are, apart from the yak drivers, from the left: the Chinese cook, Graduate Geographer JENS-PETER JACOBSEN, responsible for the instruments, a driver, and Engineer LI, the Base Camp manager.

The Chinese side of the Expedition is under the leadership of the glaciologist, Professor WANG WENYING; the leader on the German side and initiator of the venture is the high mountain geographer Professor MATTHIAS KUHLE.

Standing next to another driver is the geobotanist, Dr. GEORG MIEHE. Not included in the picture are Professors HUANG, ZENG and XUE.

In the vicinity of Base Camp the researchers establish measuring fields and set up instruments for the coming weeks' work.

It is imperative to ensure the longest possible observation period.

On a moraine close to the camp a theodolite is set up with an active geodimeter attached to it for the measurement of debris and glacier movements.

The measuring device of the type Geodimeter 122 emits infra-red signals which are reflected back by a mirror.

By counting the infra-red wavelengths with the aid of a computer, the distance to the reflector can be determined to the nearest half millimeter.

This precise telemetric range finding over a period of forty days enables glacier and debris movements to be registered, because the reflectors mounted on boulders of the surface moraine are moved downstream with the iceflow.

The dead ice margin of the Rongbuk Glacier, the boundary between flowing and stationary glacier ice, can be determined by this method, too.

On morainic slopes and screes it is possible to register the movement rate of the detritus and thus deduce the solifluctual constants, the active gravity flow rate dependant on alternate freezing and thawing.

The surface debris at this altitude of 5,340 m was calculated to creep downhill at a rate of 4 to 8 cm a year.

At Base Camp a large volume of geocological data was acquired:

The immense insolation which strikes the Earth's surface at such altitudes in subtropical latitudes was measured.

The values of the global radiation captured by a hemispherical window are stored on a computer chip in this Lambrecht device.

Besides incident light, the quantity of reflected light is also registered with the aid of a radiation balancer.

Thermo-hygrographs trace temperature and relative humidity curves of the atmosphere close to the ground.

The telemetric thermograph is used to register the temperature profile in the soil.

Its measuring probes are installed one, five and ten centimetres below the surface.

An anemograph registers the direction and velocity of the constant south-easterly air-stream here in the valley which blows at speeds up to 60 or 70 kph.

It is produced by the jetstream blowing in the upper layers of the atmosphere being canalized down the valley and decelerated by the time it reaches the relatively sheltered location of the measuring station on the valley floor.

The Himalaya is the only place where these high-velocity air currents in the wintertime impinge on the Earth's surface.

It is one of the objectives of the Expedition to acquire as broad a spectrum of observation and measurement data as possible on the northern slopes of Mount Everest. The southern flanks on the Nepalese side are far better documented.

Preparations for the establishment of a chain of high-altitude camps, and the sorting and assembly of the supplies take up a great deal of time and effort.

Apart from the scientific instrument packs, a whole selection of hypsophysiological food rations also have to be packed.

The yaks can take over pack transport up as far as the lowest high-altitude camp.

This first high-altitude camp, which also serves as an advance base camp, will be set up at 5,500 m near the still illuminated ridge.

Orographically it lies adjacent to the right of a lateral moraine of the Central Rongbuk Glacier.

This is the highest camping place that is relatively wind sheltered and therefore has a sparse covering of vegetation.

From here on up the glacier itself is the ascent route.

The further ascent is by way of the pathless surface moraine, midway between the ice pinnacles that are beginning to melt out of the glacier surface on a level with the snow line and which cover it for half its length.

In hollows along the surface moraine episodic glacier pools of meltwater are found.

Icicles are indicators of a diurnal alternation of freezing and thawing processes.

Near the ice pinnacles hygroscopic measurements are conducted with a device from Thies. Here at 5,650 m, relative humidity values of 20 to 24 % are measured directly at the surface of the pinnacle.

At a distance of two metres from it, the value is only half this, and on the glacier margin considerably less.

In the midst of an extremely arid environment, the increased surface area of ice caused by pinnacle formation has given rise to a sort of forest climate, a micro-climate of elevated humidity.

The pinnacles migrate downstream with the glacial flow, and towards the terminus are increasingly supplanted by surface morainic material.

The serrated sun spikes of the Central Rongbuk Glacier are joined by the mighty West Rongbuk Glacier, uniting to the dendritic valley glacier system. It is fed by the numerous firn basins and cirques of a catchment area at nearly 8,000 m altitude.

Like the other Rongbuk Glaciers it is a cold/arid glacier of continental type with flow velocities not exceeding a few decimetres per day.

At a height of 5,680 m Camp II is set up on the surface moraine at a safe distance from the

ice pinnacles. The entire equipment – instruments, supplies and fuel – now on the glacier has to be carried by the scientists themselves.

Mountains below 7,000 m, such as Kumbutse to the west, are covered with flank ice up to their summit.

Depending on their steepness, ribs or cornices of ice are formed, which contribute either directly or via avalanche cones to feeding the glacier.

The main contribution is, however, made by primary snowfall on the extensive firn-fields.

Here, already above the snow line, the Central Rongbuk Glacier receives another tributary from its left orographical flank.

Tributaries connect over confluence steps which fragment the glaciers into ice falls.

The increased rate of flow is evident from the undercutting of the adjacent rock walls.

On the opposite side, the third high-altitude camp has been set up in the only avalanche-proof location, beneath the west pillar of Changtse.

From this camp at 5,800 m, representative sections of the extensive firn-field are investigated. It spreads out at the foot of the Everest North Face and its western flanks – ending at its northern saddle, Chang La.

Measurements are taken of wind velocity, atmospheric humidity and temperature, as well as the firn temperature at various depths.

The data thus collected provide informative comparisons with the data registered automatically at the same time down at Base Camp.

To record surface temperatures, telemetric infra-red measuring devices scan the mountainsides. On the summit peak of Mount Everest, midday temperatures averaging  $-28$  to  $-34^{\circ}$  Celsius were registered, despite the enormous insolation.

Such low temperatures explain the low glacierization of the peak above 7,200 m.

Whereas lower parts of the face accumulate firn and ice irrespective of the slope angle, the low temperatures on the summit pyramid disallow firnification, and the snow is carried away like wind-blown sand.

In the firn-fields at 6,500 m, at the foot of the precipice, firnification takes place actively in the near zero temperatures.

High insolation encourages the formation of hard-packed snow and reflective firn slabs.

In contrast to Alpine glacier topography, the head of the Central Rongbuk Glacier has a surprisingly small firn catchment basin in proportion to the size of the 2,400 m high walls enclosing it. A glacier head in a cirque of this type is nourished more from avalanches on the side walls than from primary snowfall.

A peculiarity of this firn area is the 6,009 m high col, known as the Lho La, leading to the southern slopes of the Himalaya.

On the far side is the Khumbu Glacier flowing south from a high valley over the famous 600 m Khumbu icefall.

This fast-flowing type of glacier profits from the increased precipitation on the windward side of the Great Himalaya.

Here on the southern slopes the peaks such as Taboche and Jobo Lhaptshan are more pointed than those on the northern slopes as a result of Ice-Age undercutting by glaciers

up to 60 km long as well as fluvial erosion caused by present-day monsoon and glacier streams with their precipitous downhill courses.

By the beginning of October the investigations in the firn-fields at the foot of the North Face of Mount Everest will have been concluded.

(Map Animation V)

The Expedition party strikes the high-altitude camps on the Central Rongbuk Glacier and returns to Base Camp to pack the samples collected.

After a 3-day break, the next operation is commenced: the establishment of a new chain of high-altitude camps.

This time the object of study is the East Rongbuk Glacier complex, whose tongue no longer reaches the Central Rongbuk Glacier today.

It, too, is a dendritic valley glacier with tributaries on both sides.

Beneath the north east arête of Mount Everest lies its highest firn cirque.

The snout of the East Rongbuk Glacier is also deeply serrated.

The ice pinnacles pushing valley-wards sometimes reach a height of 20 m.

Rounded, continental-arid congelifraction slopes extending up to the snow-laden ridges flank the glacier.

Several side glacierets flow into the main East Rongbuk Glacier from the west.

On the opposite side, extensive eastern firn basins are connected via the Far East Glacier.

Here in the Tibetan Himalaya, mountains of around 7,000 m generally have extensive firn slopes reaching up to their summit, and the outfalls are often channelled into narrow hanging valleys.

In contradistinction to the Central Rongbuk Glacier the East Rongbuk Glacier has a medial moraine passable to pack animals for several kilometres of its length.

The expedition party took the route on the second day of the ascent to the north spur of Changtse, where the two main components of the glacier meet.

The western part of the glacier is fed by the firn-fields of the 7,580 m Changtse, behind whose east col Mount Everest comes into view.

For the small yak caravan the ascent is strenuous rather than particularly difficult once the obstructing icefall at the lower end of the glacier tongue has been negotiated.

Close to the root of the medial moraine at 6,060 m, a safe and level site for the second high-altitude camp has to be scouted out.

From here the route follows the lateral moraine of the main glacier.

At this altitude the original surface of the glacier is clearly recognizable. Ice pinnacles only occur at the margins.

The mountains up the glacier to the south, adjoining the climatic divide of the main ridge, are clothed in new snow down to the 6,200 m mark.

As October progresses, the temperature falls to  $-20^{\circ}$ Celsius, and, together with the strong gusts of wind, becomes a growing handicap for the Expedition's work.

Whereas the massive surface moraines of the lower part of the glacier stood out as raised ridges protecting the underlying ice from ablation, the thinner debris covering further up has melted a trough-like depression into the glacier surface.

A uniform glacier surface occurs only above the snow line upwards of 6,300 m.

The yaks take turns to carry equipment and supplies up to Camp III, at 6,500 m on the East Rongbuk Glacier.

Here at the rim of the cirque, overshadowed by the sunless northeast flank of Mount Everest, the tents of the advanced high-altitude camp are pitched in the wind-shelter of some ice walls at a safe distance from the avalanche cones of the 1000 m high south-south-east face of Changtse.

Large areas of thermal metamorphic rock, from which Mount Everest is constructed, are exposed here. The dark crystalline schists are hardened by intrusions of lighter-coloured granite.

The head of the valley is blocked by the 7,000 m Chang La, the North Col of Mount Everest.

Just as the firn of the Central Rongbuk Glacier flows down its farther side, the névé and firn-fields of the East Rongbuk Glacier have their knickpoints here on this side of the col.

This firn basin also has, abutting on to the north-east ridge of Mount Everest, a pass over to the southern slopes of the Himalaya. This 6,500 m col is called the Rapiu La.

The flanking mountains to the east already belong to the Tibetan Himalaya.

The entire firn area can be investigated from Camp III.

Here, too, climatic parameters, such as global insolation as well as radiation balance and surface temperatures of rock and firn, are measured.

With increasing altitude, rock surfaces become less and less exposed, until between 6,500 and 7,000 m, ice, firn and snow cover them completely. Up to 95 % of the sun's radiant energy, which is extremely intense at such high altitudes, is reflected back into space.

To the south of the Rapiu La firn overflow, the 8,475 m granite cone of Makalu, the fifth highest mountain in the world, stands out.

Its peak clearly protrudes above the glacier region just like that of Mount Everest and other summits of the main Himalayan ridge.

The same applies to the 8,501 m Lotse with its cloud banner.

The ribbed ice comb in front of it forms the most distinctive east buttress of Mount Everest. The steep, sheltered East Face is clothed in a thick, jagged firn shield formed by condensation.

In contrast, on the far side of the North-East-Ridge, and especially on its nearly 8,400 m high shoulder, the dark, snow-swept surfaces of the rock buttresses stand out conspicuously.

Quite apart from the research tasks, the routine chores of the 6,500 m camp, such as melting snow, cooking and adjusting the relevant equipment, cost a lot of time and effort.

From Camp III, over morainic and rock-fall debris, the valley head is accessible after about an hour's march. The Chang La face is covered in avalanche slopes and overhanging ice cornices fed from the west by drifting snow.

Snow conditions in the second half of October are quite favourable. The well-compacted firn facilitates the ascent.

At such low temperatures instruments and cameras sometimes fail to function properly.

On both sides of the North Col, with its wind funnelling effect, the decameter-thick glacier ice layer progressively thins down. On the cold and shaded North Face it is

whittled down to a thin glazing of wall ice, which is separated from the fluid ice of the firn basin by a bergschrund crevasse.

On the other side of the firn basin large areas of the south-south-east face of Changtse are completely denuded of ice.

The narrow ice couloirs between the bare rock buttresses join up only when they reach the knickpoint at the foot of the free face. The avalanche cones built up from ice and rock debris end in a broad fan.

The continued ascent to the North Col of Mount Everest leads past immense séracs, ice pinnacles and crevasses, which derive their proportions from the snow drifting over from the firn basin of the Central Rongbuk Glacier on the other side of the col.

Not only the steepness of the flanks but, above all, the enormous thickness of the ice sheet makes the ice flow down and then break up into a continually shifting icefall.

After scaling the 400 m high Chang La East Face, from the arête, the German Expedition Leader conducted detailed observations of the snow and firn cover on the North Face of Mount Everest.

The topography of the Changtse arête provides a good opportunity to study the structure of Mount Everest from a substantial height but also from a sufficient distance to offer a suitable perspective for observation and photographic documentation.

After their 16-day stopover above 6,000 and 6,500 m, it is imperative for the 3-man team to descend from the highest camp to Base Camp, as signs of exhaustion can no longer be held at bay in these high altitudes.

The descent on the East Rongbuk Glacier takes two days.

Geological samples and equipment are picked up by the yak caravan.

So far the weather has remained unusually favourable, permitting uninterrupted research throughout the period.

On November 5th, 1984, after 50 working days on Mount Everest, Base Camp was also struck, and the Sino-German Joint Expedition turned its footsteps north again.

After putting the final touches to their work in the still snow-free Tibetan Himalaya, the members of the Expedition returned to Lhasa by the middle of November.

#### Literatur

- [ 1 ] BENSON, C.S.: Stratigraphic studies in the snow and firn of the Greenland Ice Sheet. *Folia Geogr. Danica* 9 (1961), 13–37.
- [ 2 ] BISHOP, C.B., A.K. ÅNGSTRÖM, A.J. DRUMMOND and J.J. ROCHE: Solar Radiation Measurements in the High Himalayas (Everest Region). *Journal of Applied Meteorology* 5 (1966), 94–104.
- [ 3 ] FLOHN, H.: Bemerkungen zur Klimatologie von Hochasien. – Aktuelle Schneegrenze und Sommerklima. *Akad. d. Wiss. u. d. Lit., Abh. math.-nat. wiss. Kl.*, Jg. 1959, Nr. 14, Mainz 1959, 309–331.
- [ 4 ] HÄCKEL, H., K. HÄCKEL und H. KRAUS: Tagesgänge des Energiehaushaltes der Erdoberfläche auf der Alp Chukhung im Gebiet des Mt. Everest. In: *Khumbu Himal*, München 1970 (2. Lieferung), 47–60.
- [ 5 ] IWATA, S., HIDETSUGU YAMANAKA and MITSUO YOSHIDA: Glacial Landforms and River Terraces in the Thakkhola Region, Central Nepal. *Journal of Nepal Geol. Society*, vol. 2, Special Issue (1982), 81–94.

- [ 6 ] KUHLE, M.: Vorläufige Ausführungen morphologischer Feldarbeitsergebnisse aus dem SE-Iranischen Hochgebirge am Beispiel des Kuh-i-Jupar. Z. Geomorph. N.F. 18. (1974), 472–483.
- [ 7 ] KUHLE, M.: Beiträge zur Quartärmorphologie SE-Iranischer Hochgebirge. Die quartäre Vergletscherung der Kuh-i-Jupar. Göttinger Geogr. Abh., 67 (1976), 1: Text, 1–209, 2: Abb. 1–105.
- [ 8 ] KUHLE, M.: Klimageomorphologische Untersuchungen in der Dhaulagiri- und Annapurna-Gruppe (Zentraler Himalaya). Tagungsber. u. wiss. Abh. 42. Dt. Geographentag Wiesbaden 1979, (1979/80), 244–247.
- [ 9 ] KUHLE, M.: Der Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya. Ein Beitrag zur Geomorphologie extremer Hochgebirge. Z. Geomorph., Suppl. Bd. 41, Bd. 1 u. 2 (1982), 1–229, Abb. 1–184.
- [10] KUHLE, M.: Der Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya. Empirische Grundlage. Ergänzungsbd. zu Z. Geomorph. Suppl. Bd. 41 (1983), 1–383.
- [11] KUHLE, M.: DFG-Bericht mit den Ergebnissen der 2. Chinesisch-Deutschen Gemeinschaftsexpedition nach S-Tibet und in die N-Flanke des Mt. Everest (Chomolungma) 1984a, 1–52.
- [12] KUHLE, M.: Zur Geomorphologie Tibets, Bortensander als Kennformen semiarider Vorlandvergletscherung. Berliner Geogr. Abh., H. 36, (1984b), 127–137.
- [13] KUHLE, M.: Ein subtropisches Inlandeis als Eiszeitauslöser. Georgia Augusta Forschungsberichte Mai 85 (1985), 35–51.
- [14] KUHLE, M.: Typen von Vorlandsvergletscherungen in Nordost-Tibet. Regensburger Geogr. Schrift H. 19/20 (1985), 29–52. Festschr. f. INGO SCHAEFER, Herausg.: M. HARTL und W. ENGELSCHALK (zus. mit J. HÖVERMANN).
- [15] KUHLE, M.: New Research on High Asia, Tibet and the Himalayas. GeoJournal 12.3./86 (1986), 341–343.
- [16] KUHLE, M.: Die Obergrenze der Gletscherhöhenstufe. – Gletscherkunde u. Glazialgeol. 22, H. 1 (1986b), 10 S. (im Druck).
- [17] KUHLE, M.: Die bilaterale Gletscherregion und der Befund einer darüberliegenden Felshöhenstufe im Himalaya. Göttinger Geogr. Abh. (1986c), Hrsg.: M. KUHLE. 'Internationales Symposium über Hochasien und Tibet 1985', (im Druck).
- [18] KUHLE, M.: Hoch- und späteiszeitliche Gletscherstände in Süd-Tibet (Mt. Everest, Shisha Pangma, Tibetischer Himalaya, Transhimalaya). – Göttinger Geogr. Abh. (1986d), Hrsg.: M. KUHLE. 'Süd-Tibet- und Mt.-Everestexpedition 1984', Expeditionsergebnisse (in Vorbereitung).
- [19] KUHLE, M.: Messungen von Klimaparametern in Süd-Tibet und der Himalaya-Nordabdachung. – Göttinger Geogr. Abh. (1986e), Hrsg.: M. KUHLE. 'Süd-Tibet- und Mt.-Everestexpedition 1984', Expeditionsergebnisse (in Vorbereitung).
- [20] KUHLE, M.: Former Glacial Stades in the Mountain Areas surrounding Tibet- in the Himalayas (27° – 29° N: Dhaulagiri, Annapurna, Cho Oyu and Gyanchung Kang areas) in the south and in the Kuen Lun and Quilian Shan (34° – 38° N: Animachin, Kakitu) in the north. - Himalayan Research & Development. Journal of Himalayan studies 2, (1986f) 22 S. (im Druck).
- [21] KUHN, M.: Climate and glaciers. – Sea Level, and Climatic Change (Proceedings of the Canberra Symposium, December 1979). IAHS Publ. no. 131 (1979), 3–20.
- [22] MÜLLER, F.: Zonation in the accumulation area of the glaciers of Axel Heiberg Island N.W.T., Canada. J. Cl. 4, 33 (1962), 203–210.



- [23] ODELL, N.E.: Observation on the Rocks and Glaciers of Mount Everest. G.J. 66 (1925), 289–315.
- [24] ONO, Y.: Glaciers fluctuations in the Langtang Valley, Nepal Himalaya. – Göttinger Geogr. Abh. (1986), Hrsg.: M. KUHLE. 'Internationales Symposium über Hochasien und Tibet 1985', Verhandlb. (im Druck).
- [25] VISSER, Ph.C.: Wissenschaftliche Ergebnisse der Niederländischen Expeditionen in den Karakorum. Zweiter Bd. Leiden 1938, 1–216.
- [26] WISSMANN, H.v.: Die heutige Vergletscherung und Schneegrenze in Hochasien mit Hinweisen auf die Vergletscherung der letzten Eiszeit. – Akad. d. Wiss. u. d. Lit., Abh. d. math.-nat. wiss. Kl. Nr. 14, Mainz 1959, 1103–1407.
- [27] ZHENG BENXING, OKITSUGU WATANABE and DHRUBA D. MULMI: Glacier Features and Their Variations in the Langtang Himal Region of Nepal. – Science Press 1984, 121–127.
- [28] ZHENG BENXING: Glacial characteristics of Xixabangma area. – Göttinger Geogr. Abh. (1986), Hrsg.: M. KUHLE. 'Internationales Symposium über Hochasien und Tibet 1985', Verhandlb. (im Druck).

#### **Abbildungsnachweis**

Abb. 1–5: M. KUHLE.