

KHUMBU HIMALAYA

LANDSCHAFTSÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DEN HOCHTÄLERN DES MT. EVEREST-GEBIETES

WILLIBALD HAFFNER

Mit 7 Figuren, 2 Tabellen und 7 Photos

1. EINFÜHRUNG

Als Khumbu bezeichnen die Sherpa die durch ein System von Hochtälern gegliederte Südabdachung des Himalaya-Hauptkammes zwischen Cho Oyu (8153 m ü.M.) und Mt. Everest (8848 m ü.M.). Es sind drei größere Hochtäler und mehrere kleine Nebentäler, die von gewaltigen Gebirgsmassiven umrahmt werden¹. Bergwärts sind die Täler vergletschert. Sie enden am Himalaya-Hauptkamm, der im Khumbu nur an zwei Paßübergängen die 6000 m-Grenze knapp unterschreitet. Im Süden wird die Landschaft Khumbu durch die Numbur-Kang Taiga-Kette abgeriegelt, deren Berge nicht ganz die Höhen des Himalaya-Hauptkammes erreichen.

Die Khumbu-Täler sind außerordentlich tief und steilwandig in die Gneis- und Granitmassive des Everest-Gebietes eingeschnitten. Die Höhenunterschiede zwischen Talsohle und Talscheide liegen zwischen 2000 und 4000 m, in Extremfällen, wie im Durchbruchstal des Dudh Kosi durch die Numbur-Kang Taiga-Kette erreichen sie sogar bis zu 6000 m. Alle Gebirgspässe in benachbarte Talsysteme sind höher als 5700 m. Der ins westlich benachbarte Rolwaling-Tal führende Trashi Labtsa liegt in 5755 m ü.M., der gelegentlich von Bergsteigerexpeditionen benutzte Amphu Labtsa in 5780 m ü.M. Der häufig begangene Khumbu La (Nangpa La), über den die Handelsroute nach Tibet verläuft, hat eine Paßhöhe von 5716 m ü.M. Nur im Süden, da wo sich die zwei wichtigsten Quellflüsse des Dudh Kosi, der Nangpo Tsangpo und der Imja Drangka vereinigen und in einer engen Kerbtalschlucht die Numbur-Kang Taiga-Kette durchbrechen, besitzt die Landschaft Khumbu einen unvergletscherten Zugang.

Seit man nach 1951 Nepal wieder besuchen kann, ist vor allem die Khumbu-Region das bevorzugte Ziel großer Bergsteigerexpeditionen gewesen, die fast immer von wissenschaftlichen Arbeitsgruppen begleitet wurden. Daher gehört gerade dieses Gebiet zu den am besten erforschten Räumen Nepals. Von den wissenschaftlichen Veröffentlichungen dieser zwanzig Jahre muß man besonders hervorheben die geologischen Studien von P. BORDET (1961) mit einer detaillierten geologischen Karte des Khumbu im Maßstab 1:50000, die Arbeiten von T. HAGEN (1959) und A. LOMBARD (1953), die glaziologischen Untersuchungen von F. MÜLLER (1958 und 1968) und die völkerkundliche Monographie der Sherpa von C. v. FÜRER-HAIMENDORF (1964). In den letzten zehn Jahren war der Khumbu das Hauptarbeitsgebiet des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya. Im Rahmen dieses großangelegten Unternehmens verdienen aus geographischer Sicht besonderes

¹ Vgl. die topographische Karte Khumbu Himal 1:50000 von E. SCHNEIDER, erschienen als Beilage in Khumbu Himal, Bd. I und in Erdkunde 22.

Interesse die meteorologischen und glaziologischen Untersuchungen von H. KRAUS (1966/1 und 2) und die beiden bisher erschienenen Bände der „Beiträge zur Sherpa-Forschung“: M. OPPITZ, 1968: Geschichte und Sozialordnung der Sherpa; und F. W. FUNKE, 1969: Religiöses Leben der Sherpa. Meisterwerke der Hochgebirgskartographie sind die topographischen Karten 1:25 000 und 1:50 000 des Everest-Gebietes von E. SCHNEIDER und F. EBSTER.²

Modellartig lassen sich am Khumbu die in Hochgebirgen besonders vielseitigen und tiefgreifenden Auswirkungen des Reliefs auf den Landschaftshaushalt demonstrieren. Es sind die Relief-formen, die eine entscheidende Modifizierung der großklimatischen Verhältnisse bewirken. Z. B. reichen die Himalaya-Hauptketten bis in Höhen, in denen die Schutzwirkung der Atmosphäre gegen die Sonneneinstrahlung durch den herabgesetzten Wasserdampfgehalt und die Abnahme an trübenden Teilchen bereits stark vermindert ist. Aus diesen extremen Ein- und Ausstrahlungsverhältnissen resultieren vielseitige landschaftliche Besonderheiten, denen das vorliegende Kapitel besondere Aufmerksamkeit widmet.

Durch die abschirmende Wirkung der dem Khumbu-Gebiet im Süden vorgelagerten Gebirgsketten ist der Luv- und Lee-Effekt sehr stark ausgeprägt; zusammen mit dem strahlungsbedingten sog. Effekt der Massenerhebung ist er verantwortlich für eine in Richtung gegen den Himalaya-Hauptkamm zunehmende Kontinentalität des Klimas.

Die tiefe Zertalung bedingt außergewöhnliche Höhendifferenzen — auf 30 km Horizontalentfernung 6648 m Höhenunterschied — die einen ausgeprägten hypsometrischen Wandel des Klimas und aller vom Klima abhängigen landschaftlichen Erscheinungen verursachen. Am deutlichsten sichtbar wird dieser Höhenwandel des Klimas im Khumbu in einer Höhenstufung der Vegetation, die zudem kontrastreiche Variationen erfährt durch die nach Hangneigung und Exposition wechselnde Einstrahlungsintensität.

Reliefbedingt ist schließlich die häufig konvektive Wolkenbildung im Khumbu, die im Zusammenhang steht mit dem Berg- und Talwind bzw. mit der Hangwindzirkulation. Diese Wolkenschicht vermindert vor allem im Sommer Einstrahlung und Verdunstung und modifiziert durch ihre tageszeitliche Periodik — die Bewölkung setzt gegen Mittag ein — das expositionsbedingte Hangklima. Eine besondere Variation erhalten die klimatischen Verhältnisse des Khumbu schließlich dadurch, daß die Gipfelregion durch ihre außergewöhnliche absolute Höhe über die konvektiven Zirkulationsvorgänge hinausragt und in die darüberlagernde Schicht advektiver Westwinde (subtropischer Strahlstrom) hineinreicht.³

Auch kleinräumig bestimmt das überaus stark differenzierte Relief die ökologische Raumordnung. Dabei darf auch im Rahmen einer großmaßstäblichen Landschaftsanalyse nur bedingt von der kleinräumlich sehr schnell wechselnden Höhenlage und Exposition abstrahiert werden, will man nicht in einen zu groben Schematismus verfallen.

Auf dem Hintergrund der landschaftsökologischen Fragestellung und aus den allgemeinen Problemen der naturräumlichen Gliederung im Hochgebirge ergeben sich für den Khumbu eine Reihe von Einzelfragen. An den Vegetationsverhältnissen, aber auch an der Verbreitung von Flugsandfeldern und bestimmter Ablationsformen läßt sich nachweisen, daß hier die klimatische Trockenheit mit zunehmender Höhe gegen den Himalaya-Hauptkamm zunimmt. Die bisher in der Literatur nicht diskutierte Frage einer Höhenstufe maximaler Niederschläge in Ostnepal⁴ wird in diesem Zusammenhang behandelt. Weitgehend ungelöst ist außerdem bis jetzt das Problem, inwieweit der Verbreitung von Lawinengletschern eine klimatische Komponente zugrunde liegt.⁵

² Zur geographischen Aussage der topographischen Karte Khumbu Himal 1:50 000 vgl. C. TROLL und U. SCHWEINFURTH 1968.

³ Die Konvektionsschicht oder Peplosphäre ist durch die sog. Peplopause von der darüberlagernden Advektionsschicht getrennt. Die Höhenlage der Peplopause ist jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen.

⁴ Vgl. H. KRAUS 1966 (1).

⁵ Vgl. G. SCHWEIZER 1970.

Als besonders aufschlußreich für die landschaftsökologische Situation im Hochgebirge erweisen sich Typ und Verlauf der oberen Waldgrenze. Wichtig ist hier dabei die Frage, ob diese Höhengrenze ausschließlich thermisch oder auch hygrisch bedingt ist. Besonders kompliziert werden die ökologischen Gegebenheiten an der oberen Waldgrenze schließlich durch das Einwirken der Menschen, das auch hier hinzukommt.

Die Khumbu-Täler sind keine großen Täler. Das Tal des Nangpo Tsangpo z. B., das den westlichen Khumbu mit dem Nangpa- und dem Sumna-Gletscher entwässert, ist nur 40 km lang. Bergwärts sind die Khumbu-Täler als steilwandige, ganztalige Tröge ausgebildet, die häufig mit einem deutlichen Trogschluß abrupt enden. Charakteristisch sind die steilen Wände, die die vergletscherte Talsohle mehrere tausend Meter hoch überragen (*Photo 83, Tafel XXI*). Die Zungen der Talgletscher enden zwischen 4500 und 4850 m ü.M. Unterhalb von 4000 m verengen sich die Täler und das Gefälle, das im oberen Trogtal nur 4 bis 5% beträgt, wird sehr viel stärker. Wir haben es im Khumbu mit zwei Höhenstufen mit unterschiedlichem Relieftypus zu tun, einer unteren bis etwa 3800 m ü.M. mit typisch fluvialen Kerbtalrelief und einer oberen mit typisch glazialen Trogtalrelief. Die Untersuchungen von H. HEUBERGER über die eiszeitliche Ausdehnung der Gletscher im Khumbu haben ergeben, daß die pleistozänen Gletscher, vermutlich wegen der geringen Niederschlagsmengen, nur wenige 100 m tiefer reichten als heute und an keiner Stelle die Khumbu-Region verließen. Man geht daher wohl nicht fehl, die steilwandigen Trogtäler als extrem tiefe, präglaziale V-Täler zu interpretieren, die dann glazial überformt wurden. In tieferen, eiszeitlich nicht vergletscherten Lagen konnte dagegen die im Tertiär mit zunehmender Hebung des Gebirges einsetzende Kerbtalzerschneidung ungestört bis heute andauern.⁶

2. DAS KLIMA DER SOMMERFEUCHTEN SUBTROPISCHEN HOCHGEBIRGSREGION DES KHUMBU

2.1. DIE NIEDERSCHLÄGE

An den Gebirgsketten, die dem Khumbu im Süden vorgelagert sind (Kammhöhen bis zu 6000 m ü.M.) werden die von Süden kommenden feuchten Luftmassen gestaut. Diesen Stau-effekt zeigen die hohen jährlichen Niederschlagssummen und die große Zahl von Regentagen, die für Meßstationen im Luv der Himalaya-Hauptketten charakteristisch sind. Dafür als Beispiel:

	Jährl. Niederschlagssumme	Regentage
Ghumthang (1800 m ü.M.)	2991 mm	134
Chaunrikharka (2200 m ü.M.)	2742 mm	118
Thodung (3100 m ü.M.)	ca. 3200 mm	133

Die eigentliche Leelage des Khumbu wird abgeschwächt durch die zahlreichen Täler dieses Gebietes, die sich zu dem tief eingeschnittenen Himalaya-Quertal des Dudh Kosi hin öffnen, durch das ein Teil der von Süden wehenden, feuchtigkeitsbringenden Winde den Khumbu erreicht. Das zeigt sich an dem typisch monsunalen Jahresgang der Niederschläge in diesem Gebiet.

Nauche, die einzige Station im Khumbu, für die Niederschlagsdaten in mehrjähriger Meßreihe vorliegen (Tab. 1), liegt in 3440 m ü.M., hoch über dem Durchbruchstal des Dudh Kosi. Daher können die Meßergebnisse dieser Station als repräsentativ nur für den Bereich des Khumbu genommen werden, der den regenbringenden Winden besonders exponiert ist. Dafür aber erscheint

⁶ Eine ausführliche Darstellung der morphologischen Verhältnisse, vor allem auch der Glazialmorphologie ist von H. HEUBERGER zu erwarten. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden die Reliefverhältnisse im Khumbu ausschließlich in ihrer Bedeutung für die Landschaftsgliederung betrachtet.

Tabelle 1: Monats- und Jahressummen des Niederschlags in mm, Station Nauche (3440 m ü.M.)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
1958	40	6	26	14	2,5	38	244	255	93	57	0	0	775,5 mm
1959	135	3	42	37	42	100	264	198	171	104	0	0	1096 mm
1960	0	9	48	200	92	110	242	240	219	36	0	0	1196 mm
1962	85	119	42	31	21	142	136	240	141	15	0	6	978 mm
1963	14	13	81	29	78	144	290	220	200	79	25	1,4	1174,4 mm
1964	0	9	7	17	58	145	265	185	238	9	0	0	933 mm
1965	1	16	44	37	27	88	179	195	136	61	1,4	0	785,4 mm

Aus: H. M. G. Nepal Meteorological Service.

die mittlere jährliche Niederschlagssumme von Nauche mit 991,2 mm sehr niedrig (Zahl der Regentage: 133). Für das Innere der Hochtäler müssen noch geringere Niederschlagsmengen angenommen werden. Von April bis November 1956 fielen nach den Messungen von F. MÜLLER auf dem Khumbu-Gletscher in 5245 m ü.M. nur 390 mm Niederschlag.⁷ Dabei wurden ein Teil der Frühjahrsregen und die gesamten Monsunniederschläge erfasst, so daß die Jahressumme der Niederschläge wohl kaum höher als etwa 500 mm liegen dürfte. Bei dieser Messung ist die Zahl der Regentage nicht angegeben.

Aber ein Vergleich der Stationen Ghumthang, Thodung und Nauche zeigt, daß die Niederschlagshäufigkeit für alle Stationen annähernd gleich ist, die Ergiebigkeit der Niederschläge in Nauche jedoch weit geringer ist als bei den anderen Stationen. Der Grund dafür liegt vermutlich in der durch die Höhenlage bedingten Verminderung des absoluten Feuchtigkeitsgehaltes der Luft⁸, das heißt die Luft ist zwar wasserdampfgesättigt, aber der absolute Wasserdampfgehalt ist aufgrund der niedrigen Lufttemperaturen begrenzt. Das bedeutet, daß im Khumbu in 3440 m Höhe ü.M. die Zone maximaler Niederschläge bereits überschritten ist; in verstärktem Maß müßte das für die Kammregionen gelten⁹. Für einzelne Punkte exakte Aussagen zu machen, bleibt versagt durch das Fehlen von Meßstationen in diesem Gebiet.

Der Jahresgang der Niederschläge im Khumbu zeigt ein ausgeprägtes Monsunregime, das heißt rund 70% der Niederschläge fallen in den Monaten Juni bis Oktober. Oberhalb von 5500 m ü.M. fallen alle Niederschläge als Schnee. Gegen Ende der monsunalen Regenzeit (Ende September/Anfang Oktober) kann es bis in Bereiche um 3500 m Höhe schneien. Ende September 1963 erreichte eine letzte kräftige Monsunstörung mit starken Schneefällen das Khumbu-Gebiet. Eine Woche lang waren die Khumbu-Täler bis zur Talsohle in Wolken getaucht. Diese Schneefälle am Ende der Monsunzeit sind meist sehr ergiebig. Am 27.9.1963 wurden in Nauche 54 mm Niederschlag gemessen. Die untere Grenze der Neuschneedecke lag bei 3700 m ü.M. In Kumdung lagen auf den noch nicht abgeernteten Buchweizen- und Kartoffelfeldern etwa 35 cm tauender Neuschnee.

Während die Monsunniederschläge mit großer Regelmäßigkeit fallen, sind die Niederschlagssummen im Winter stärkeren Schwankungen unterworfen. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich wird, bleiben die Monate November bis Januar oft ganz niederschlagsfrei. So war beispielsweise Ende Februar 1963 das Khumbu-Gebiet bis in Höhen von fast 5000 m schneefrei. Am 7. März setzten

⁷ Vgl. H. KRAUS 1966 (2): 311.

⁸ Über die Abnahme der absoluten Luftfeuchtigkeit bei sinkenden Temperaturen informiert Tab. 33 bei J. BLÜTHGEN 1964: 109.

⁹ Dies gilt nur für das Khumbu-Gebiet. In ausgeprägten Luvlagen (z.B. Thodung in 3100 m ü.M.) dominiert der starke Stau effekt über die thermisch bedingte Abnahme der absoluten Feuchte mit der Höhe. Trotz geringer absoluter Feuchtigkeit können die Niederschläge dann sehr ergiebig sein (vgl. H. FLOHN 1968: 186).

dann erste heftige Schneefälle ein. Innerhalb von 30 Stunden fielen Ende März 1963 in Chukung 32 mm Niederschlag; das ergab eine Schneehöhe von 43 cm (H. KRAUS 1966(1): 311).

Neben den monsunzeitlichen und winterlichen advektiven Niederschlägen spielen tagesperiodische konvektive Vorgänge für die hygrischen Verhältnisse im Khumbu eine wichtige Rolle. Außer in den trockensten Wintermonaten Dezember und Januar oder wenn ausgedehnte Schlechtwetterlagen¹⁰ den Vorgang konvektiver Windzirkulation unterdrücken, ist für das Khumbu-Gebiet ein tageszeitlicher Wechsel der Bewölkung charakteristisch. Im Laufe des Vormittags¹¹ tauchen die Hochtäler des Khumbu bis zur Talsohle in Wolken und am frühen Nachmittag, wenn die konvektive Wolkenbildung ihren Höhepunkt erreicht, kommt es je nach Jahreszeit und Höhenlage zu Nieselregen bzw. leichten Schneeschauern, die jedoch nicht zur Bildung einer Schneedecke ausreichen¹². Den Wolkenreichtum verdanken die Khumbu-Täler ihrer Öffnung nach Süden zum Dudh Kosi und dem in diesem Himalaya-Quertal sehr ausgeprägten Berg- und Talwindssystem. Der Talwind weht zwar beträchtlich stärker¹³ als der nächtliche Bergwind, das belegen die einseitig bergwärts verformten Baumkronen, aber die nächtliche Zirkulation führt in der Regel zur Auflösung der Bewölkung.¹⁴

Die untere Wolkengrenze schwankt je nach Wetterlage, liegt jedoch häufig um 3000 bis 3500 m hoch. Von einem wolkenfreien Aussichtspunkt, etwa aus dem Bereich der Himalaya-Vorketten oder vom Flugzeug aus läßt sich erkennen, daß die konvektive Wolkenschicht nicht bis in Gipfelhöhe des Himalaya-Hauptkammes reicht. Diese Gipfel überragen die Peplopause und reichen bereits in den Bereich der subtropischen Strahlströme, das heißt in die Advektionsschicht der Troposphäre; die Schneefahnen an der Ostseite besonders windexponierter höchster Gipfel machen das deutlich. Zur Monsunzeit reicht die Konvektionsschicht vermutlich wenigstens zeitweise höher hinauf als in den übrigen Jahreszeiten; allerdings fehlen dazu bis jetzt noch geeignete Beobachtungen.

2.2. DAS STRAHLUNGSKLIMA

In der Hochgebirgsregion des Khumbu werden für eine Fülle landschaftlicher Erscheinungen neben den im Vergleich zu den Himalaya-Vorketten relativ geringen Niederschlägen (500 bis 1000 mm) die extremen Strahlungsverhältnisse bestimmend. Der 29. nördliche Breitengrad schneidet das Everestmassiv. Die Landschaft Khumbu liegt also nur knapp südlich der Zone maximaler sommerlicher Einstrahlung zwischen 30° und 35° nördlicher Breite. Extreme Höhen in niedriger Breitenlage bedingen im Sommerhalbjahr die außerordentlichen Werte der Globalstrahlung. Das belegen die Strahlungsmessungen von H. KRAUS, der im Rahmen des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya von März bis Mai 1963 eine Wärmehaushaltsstation im Khumbu bei Chukung errichtet hatte. Die Strahlungsdaten vom 5. Mai 1963 geben bereits ein deutliches Bild der extremen Verhältnisse. „Die Stundenmittel der Globalstrahlung lagen am 5. Mai von 9 bis 16 Uhr über 1000 mcal cm⁻² min⁻¹ und von 10 bis 14 Uhr über 1500 mcal cm⁻² min⁻¹. Bei besonders günstiger Stellung der stark reflektierenden Cumulus-Wolken wurden in Einzelmessungen 2000 mcal cm⁻²

¹⁰ Es kann während des Monsuns vorkommen, daß die Täler bis zu zehn Tagen gänzlich zugestaut sind, d.h., sie bleiben Tag und Nacht in Wolken getaucht.

¹¹ In den Monaten Mai und Juni setzt die Bewölkung durch die jahreszeitlich bedingte höhere Luftfeuchte und stärkere Einstrahlungsintensität bereits gegen 9 Uhr ein.

¹² Auch die täglichen Nieselregen belegen die zwar große Häufigkeit, dabei aber die geringe Ergiebigkeit der Konvektionsniederschläge. In tieferen Lagen dagegen können Konvektionsniederschläge außerordentlich ergiebig sein.

¹³ Der Talwind nimmt bisweilen stürmischen Charakter an, vor allem in der Durchbruchsschlucht des Dudh Kosi durch die erste Himalaya-Hauptkette. Vermutlich wird die Windgeschwindigkeit hier durch einen durch den engen Talquerschnitt bedingten Düseneffekt gesteigert.

¹⁴ Die Windmessungen von H. KRAUS sind bisher noch nicht veröffentlicht.

min⁻¹ überschritten.“ (KRAUS 1966/2: 226). Die frühlingshaften Extreme der Globalstrahlung werden jedoch bereits im Juni mit Einsetzen des Monsuns, das heißt starker Bewölkung wesentlich gemindert. Daher sind die Strahlungsmengen im sommerfeuchten subtropischen Ost-Himalaya ohne Zweifel wesentlich geringer als etwa in sommertrockenen Hochgebirgen der Subtropen, z. B. im Karakorum. Die Strahlungsintensität reicht jedoch aus, um starke Gegensätze zwischen Sonnen- und Schattenhang entstehen zu lassen, die nicht nur thermischer, sondern infolge der höheren Verdunstung am Sonnenhang auch hygrischer Natur sind.¹⁵ Bei der Charakterisierung der Expositionsklimate im Khumbu darf die ebenfalls strahlungsbedingte, tageszeitlich wechselnde konvektive Wolkenbildung nicht übergangen werden. Während Ost- und Südosthänge stark besonnt sind, werden Süd- und vor allem Westhänge durch die gegen Mittag aufkommende Bewölkung strahlungsmäßig besonders benachteiligt.

3. DIE LANDSCHAFTSÖKOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN DES KLIMAS IM KHUMBU

Das strahlungsreiche, sommerfeuchte, insgesamt jedoch relativ trockene subtropische Hochgebirgsklima des Khumbu bewirkt eine Reihe landschaftlicher Besonderheiten, die für dieses Gebiet typisch sind. Die von der feuchten Südabdachung der Numbur-Kang Taiga-Kette gegen die trockeneren Khumbu-Täler am Himalaya-Hauptkamm zunehmende klimatische Kontinentalität des Klimas spiegelt sich deutlich im Ansteigen der oberen Waldgrenze von 3700 auf 4200 m ü. M. und der klimatischen Schneegrenze von 5000 auf 5800 m ü. M. Auch innerhalb der Khumbu-Täler selbst ist das Ansteigen der oberen Waldgrenze im Bereich des Schattenhangs der Dudh Kosi-Schlucht (vgl. die topographische Karte Khumbu Himal von E. SCHNEIDER), die den regenbringenden Winden geöffnet ist, zu beobachten. Sie steigt von einer Höhe um 4000 m ü. M. im Regenschatten von Tramserku (6608 m ü. M.), Kang Taiga (6779 m ü. M.) und Amai Dablang (6856 m ü. M.) oberhalb Chulungche auf 4200 m ü. M. an. Als Indikator für die ausgeprägte klimatische Kontinentalität ist auch der weite Abstand zwischen der Wald- und Schneegrenze anzusehen, worauf C. TROLL und U. SCHWEINFURTH (1968: 32) besonders hingewiesen haben.

Bezeichnend für den besonderen Klimacharakter des Khumbu ist, daß die obere Waldgrenze wie im trockenen West-Himalaya¹⁶ von subtropischen Birkenwäldern (*Betula utilis*) gebildet wird, während im Luv der Himalaya-Hauptketten *Betula utilis* an der Waldgrenze fehlt und an ihre Stelle wie im feuchten Ost-Himalaya *Abies spectabilis* und *Rhododendron campanulatum* treten.

An den Oasenfeldbau Tibets erinnert die künstliche Bewässerung der Sommergerstefelder, die in Dingpoche während der trockenen Vormonsunmonate üblich ist. (Photo 84, Tafel XXII). Man kann dies als Hinweis dafür werten, daß man sich hier der Trockengrenze des Regenfeldbaus nähert.

Auch die für die Hochgebirgslandschaft Khumbu charakteristischen Lawinengletscher¹⁷ (Photo 83, Tafel XXI und 89, Tafel XXIII) passen in die Reihe dieser Beobachtungen. Das Nährgebiet der Lawinengletscher sind vereiste und verfirnte Steilwände, so z. B. die 3200 m hohe und 30 km lange Nuptse-Lhotse-Südwand. An den Lawinenkegeln aus Eis- und Steinschlagmaterial am Fuß dieser Wände setzen die verschütteten Talgletscher an. Sie sind in bis zu 50 m höhere Seitenmoränen eingebettet und besitzen eine äußerst komplexe Oberflächengestaltung. Vor allem im mittleren und unteren Teil der Gletscherzungen wechseln steile, kammartig zugeschrägte

¹⁵ Darauf haben besonders C. TROLL (TROLL 1941, aus TROLL 1966: 114) und J. BLÜTHGEN (1964: 402) hingewiesen.

¹⁶ Vgl. die Vegetationskarte des Himalaya von U. SCHWEINFURTH 1957.

¹⁷ Der Typ des Lawinengletschers ist vor allem von Ph. C. VISSER (1938) aus dem Karakorum beschrieben worden; er entspricht dem Turkestanischen Gletschertyp R. v. KLEBELSBERGS (1949: 792ff.).

Rippen und schollenartige Erhebungen mit trichterförmigen Hohlformen, die sich zur Zeit der Schneeschmelze mit Wasser füllen. Nur im Aufriß dieser Eintiefungen ist das zerfallende Gletschereis noch sichtbar. Es ist zu vermuten, daß in diesem Zungenbereich keine zusammenhängende Eismasse mehr unter der Schuttdecke vorhanden ist, sondern daß dies eine Zone des Eiszerfalls ist. Die Khumbu Himal-Karte von E. SCHNEIDER zeigt, daß die Zungen der Gletscher vor allem im Khumbu-Bereich auf hohen Moränensockeln liegen; das weist darauf hin, daß im unteren Teil der Gletscherzunge mehr Schutt angehäuft wird als abtransportiert werden kann.

Die hohe Schuttbelastung der Gletscher erlaubt ebenfalls klimatische Rückschlüsse, allerdings muß sie im ganzen auf einen recht komplizierten Ursachenkomplex zurückgeführt werden und ist auch nicht ausschließlich klimatisch zu begründen. Eine orographisch bedingte Voraussetzung ist ein hohes Schuttangebot aus den Steilwänden. Die Schuttmassen müssen dann auf einen besonders langsam fließenden Gletscher mit geringer Transportkraft treffen, wie das in Gebieten mit geringen Niederschlägen die Regel ist.¹⁸ Dazu kommt als weitere Bedingung der ebenfalls beschränkte fluviale Schutttransport, selbst im Höhepunkt der Schneeschmelze. Denn den beträchtlichen Ablationswerten¹⁹ im Khumbu, bedingt durch hohe Einstrahlungssummen, entsprechen die gleichfalls hohen Verdunstungswerte, die durch die kräftigen Talwinde noch verstärkt werden.

Der starke Rückgang der Vergletscherung seit dem Gletscherhochstand im vergangenen Jahrhundert muß als zusätzliche Ursache für die starke Verschuttung der Khumbu-Gletscher gesehen werden. Dieser Gletscherrückgang ist im Khumbu allerdings kaum an einem Zungenrückgang zu erkennen, er wird hier vor allem dadurch dokumentiert, daß die Gletscherzungen durch den Schmelzvorgang sozusagen „in sich zusammengesunken“ sind und dadurch heute von bis zu 50 m hohen Seitenmoränenwällen überragt werden. Den geringen Zungenrückzug der Gletscher begründet F. MÜLLER mit der hier besonders mächtigen, schützenden Schuttbedeckung²⁰.

Das sommerfeuchte und winterschneearme subtropische Hochgebirgsklima mit den extremen Strahlungsverhältnissen im Frühsommer ist auch der wesentliche ökologische Faktor für den hier verbreiteten Typ der Strukturböden und für die Fülle von interessanten Ablationsformen.

Bei der intensiven Ein- und Ausstrahlung kommt es in der schneefreien Zeit bis in große Höhen in der oberen Bodenschicht täglich zu einem Wechsel von Bodengefrorenis und Auftauen. Daraus resultieren dann die aus tropischen Gebirgen bekannten und auch im Khumbu anzutreffenden Miniatur-Steinnetze und Feinerde-Polygone. Besonders schön ausgebildete Steinringe fand ich auf dem Moränenrücken zwischen Duglha und dem Tshola Tsho in 4800 m Höhe ü. M. Die ähnlich wie die Strukturbodenformen in ihrer Entstehung an häufigen Frostwechsel gebundenen Bultenböden kann man ebenfalls im Khumbu-Gebiet finden und zwar bevorzugt in den peripheren Entwässerungstälchen der verschutteten Gletscherzungen (*Fig. 6*). Besonders gut ausgebildet konnte ich sie am Khumbu-Gletscher zwischen Lobuche (4930 m ü. M.) und Gorak Shep (5200 m ü. M.) beobachten.

Auch das Vorkommen und die Verbreitung der großen Eisturmfelder im Everest-Gebiet (*Fig. 1*) paßt durchaus in die Reihe der Beobachtungen über das besondere Strahlungsklima im Bereich der Landschaft Khumbu. Die intensive Strahlung bedingt die büßerschneeartige Überformung von Eisblöcken (*Photo 85, Tafel XXII*) (vgl. H. KRAUS 1966/1, mit vielen Abbildungen), die dann zu den bizarren Eisturmformen führt. Ihre Entstehung ist an eine morphologische Voraussetzung gebunden, nämlich die Überlagerung eines moränenbedeckten Lawinengletschers durch die Eisblöcke (Seracs) aus einem Gletscherbruch (*Photo 83*).

¹⁸ Auch H. KRAUS sieht „in der starken Schuttbedeckung der Gletscher . . . eine Folge des großen Verhältnisses von Schuttangebot in den steilen hohen Wänden zum Niederschlag“ (1966/2: 223).

¹⁹ Von F. MÜLLER wird der Ablationsbetrag im mittleren Abschnitt des Khumbu-Talgletschers für die Sommermonate mit 12 m angegeben.

²⁰ Auch R. v. KLEBELSBERG sieht, in Anlehnung an KARL WIEN, in der Schuttbedeckung den Hauptgrund für den im Vergleich zu den Alpen geringen Längenrückgang der Himalaya-Gletscher (1949/II: 833).



Fig. 1 Verbreitung der Eisturfelder im Everest-Gebiet.

4. DIE LANDSCHAFTLICHE DIFFERENZIERUNG IM KHUMBU IN ABHÄNGIGKEIT VON HÖHENLAGE UND HANGEXPOSITION

In den Tälern ist der in der landschaftlichen Physiognomie so stark hervortretende Gegensatz zwischen Sonnen- und Schattenhang Ausdruck der sehr unterschiedlichen, strahlungsbedingten Expositionsklimate beider Talflanken. Die Sonnenseiten der Täler sind flächenhaft entwaldet und erwecken in der Trockenzeit den Eindruck braunverbrannter Gebirgssteppen. Wo sich an unzugänglichen Steilhängen der Wald gehalten hat, handelt es sich meist um Nadelgehölze (*Pinus*, *Juniperus*) und um immergrüne Eichen (*Quercus semicarpifolia*). Als Sekundärformation tritt eine Gebüschformation auf, die sich aus *Berberis*-Arten und *Cotoneaster* zusammensetzt.

Die Waldlosigkeit ist ohne Zweifel dem wirtschaftenden Menschen zuzuschreiben. Bis auf wenige Ausnahmen liegen im Khumbu alle Sherpa-Siedlungen, das gesamte Ackerland, die Winterweiden und der größte Teil der Sommerweiden an den Sonnenhängen. Die Schattenhänge tragen dagegen bis in Höhen von 4200 m ü.M. ein geschlossenes Waldkleid, dessen Physiognomie vor allem durch immergrüne Ericaceen (*Rhododendron*- und *Pieris*-Arten) geprägt wird. Auf den Schattenhängen fehlen Dauersiedlungen und nur das Areal der Hochweiden greift in Ausnahmefällen auch auf die Schattenseite der Täler über. Während also die Sonnenseiten der Khumbu-Täler kulturlandschaftlich stark überprägt sind, ist an den Schattenseiten der Naturlandschaftscharakter weitgehend erhalten. Der grundsätzliche landschaftliche Gegensatz zwischen Sonnen- und Schattenseiten der Täler wird beträchtlich differenzierter dadurch, daß die Talhänge, bedingt durch bis zu 6000 m betragende Höhendifferenzen, einem ausgeprägten hypsometrischen Klimawandel unterliegen, der im Zusammenspiel mit dem Expositions-klima zu einer unterschiedlichen Höhenstufung von natürlicher Vegetation und Bodennutzung am Sonnen- bzw. Schattenhang führt (Fig. 2 u. 3).

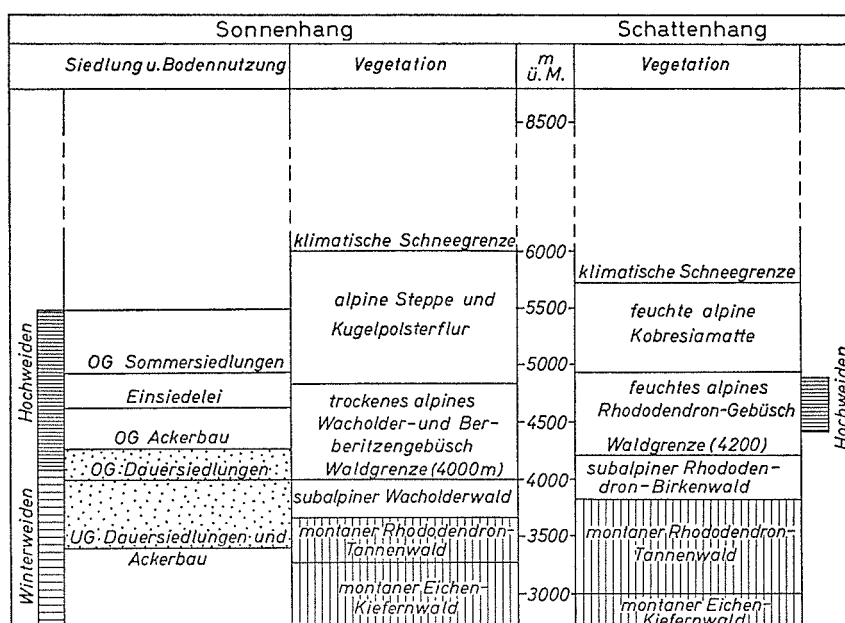


Fig. 2 Vegetation, Bodennutzung und Besiedlung im Khumbu in Abhängigkeit von Höhenlage und Hangexposition.

Punktiert: Höhenstufe des Ackerbaus. Gestrichelt: Vegetationstypen der montanen Stufe, die sowohl in Schatten- als auch in Sonnenexposition auftreten.

So liegt die Talsohle des Dudh Kosi z. B. noch im Bereich frostempfindlicher immergrüner montaner Eichen-Kiefernwälder (*Quercus semicarpifolia* und *Pinus excelsa*). Diese reichen in Schattenlage bis in 3000 m ü.M., an den Sonnenhalden steigen sie um 250 m höher hinauf. Auf beiden Talhängen folgt dann ein allmählicher Übergang in die immergrünen Tannen-Rhododendronwälder. Diesen feuchten Waldtyp (*Abies spectabilis* und *Rhododendron arboreum*) findet man am Schattenhang als breite Höhenstufe ausgebildet; er geht dann dort in subalpine Birkenwälder über, die bei 4200 m ü.M. die Waldgrenze bilden. Am Sonnenhang sind Tannen-Rhododendronwälder nur als schmale, in ihrer Höhenausdehnung nicht mehr als 300 m betragende Stufe ausgebildet, die hier von subalpinen Wacholdergehölzen abgelöst wird. Diese bilden am Sonnenhang in rund 4000 m ü.M. die

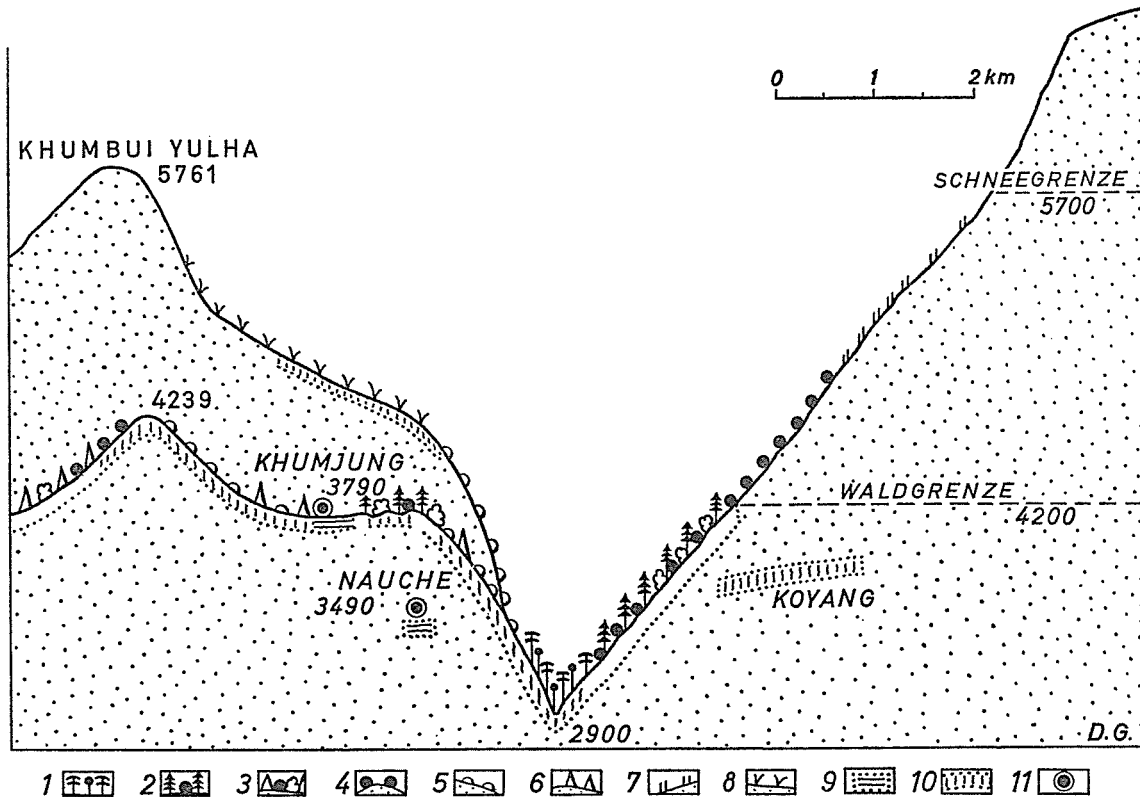


Fig. 3 Landschaftsprofil durch das Imja Khola-Tal bei Kumjung.

1 Montaner Eichen-Kiefernwald, 2 montaner Rhododendron-Tannenwald, 3 subalpiner Birkenwald, 4 Rhododendrongebüsch, 5 Teppichwacholderflur, 6 Wacholdergehölz, 7 feuchte alpine Matte, 8 alpine Steppe, 9 Ackerland, 10 Weideland, 11 Siedlung.

obere Waldgrenze. Oberhalb der Waldgrenze wächst am Schattengang feuchtes alpines Rhododendrongebüsch (bis maximal 4400 m ü.M.), und darüber finden sich feuchte alpine Matten. Die Sonnenhänge dagegen sind oberhalb der Waldgrenze von trockenem alpinem Wacholdergebüsch und schütterten Beständen alpiner Steppen- und Polsterfluren bestanden. Die klimatische Schneegrenze schließlich liegt am Schattengang in 5700 m ü.M. und in Sonnenexposition in maximal 6000 m ü.M.

5. DIE HÖHENGRENZE DES WALDES IN IHRER ÖKOLOGISCHEN BEDINGTHEIT

Zu den für die Physiognomie der Hochgebirgslandschaft besonders charakteristischen, dazu ökologisch außerordentlich aufschlußreichen Vegetationsgrenzen zählt die Höhengrenze des Waldes. Die Bedeutung, die dieser Grenze in landschaftssystematischer Hinsicht zukommt, zeigt sich in der allgemein üblichen Unterscheidung zwischen Waldgebirge, welches bis zur Kammregion mit Wald bestanden ist und Hochgebirge, wenn es über die Höhengrenze des Waldes hinausragt. Häufig wird dabei zwischen Wald- und Baumgrenze nicht scharf unterschieden.²¹

²¹ Von botanischer Seite wird vielfach eine Trennung von Wald- und Baumgrenze abgelehnt und die natürliche Waldgrenze wird mit der absoluten Höhengrenze des auftretenden Baumwuchses gleichgesetzt (z. B. H. ELLENBERG 1963).

Die vorliegende Arbeit versteht unter Waldgrenze die Grenze der geschlossenen Baumbestände; isolierte Vorposten von Einzelbäumen oder kleineren Baumgruppen, die auch noch beträchtlich höher als die Höhengrenze des geschlossenen Waldes vorkommen können, bilden dagegen die obere Baumgrenze. Der Abstand von Wald- und Baumgrenze ist im Khumbu, wie es auch mehrfach aus den Alpen beschrieben wurde, weitgehend eine Folge der wirtschaftenden Tätigkeit des Menschen.²² Allerdings ist eine Unterscheidung zwischen Wald- und Baumgrenze im Khumbu nur im Bereich der anthropogen stark umgestalteten Sonnenhänge möglich. Im allgemeinen gehen die geschlossenen, immer niedriger werdenden Waldbestände allmählich in alpine Gebüschformationen über, die sich nicht nur in der Wuchsform sondern auch in ihrer floristischen Zusammensetzung²³ deutlich von den subalpinen, waldgrenzenbildenden Wäldern unterscheiden.

Speziell für das Khumbu-Gebiet gibt es eine größere Zahl verstreut stehender Angaben, sowohl über die Höhenlage als auch über die Baumartenzusammensetzung der Waldgrenze, die von U. SCHWEINFURTH (1957: 142f.) zusammengefaßt wurden. SCHWEINFURTH konnte sich dabei, nur wenige Jahre, nachdem das Khumbu-Gebiet zugänglich geworden war, nur auf Berichte und einige kurze Angaben von H. HEUBERGER (1955: 21, 1956/1: 22) stützen. Das erklärt, daß einige Angaben korrigiert werden müssen. So ist z. B. die nahe der Waldgrenze gelegene Klostersiedlung Tengpoche (4000 m ü.M.) weder „inmitten prächtiger Wiesen gelegen“ noch „rings von herrlichen Nadelwäldern umgeben.“ Auch die Angaben des Botanikers J. ZIMMERMANN (1953: 131), der *Pinus excelsa* als typische Baumart an der Waldgrenze z. B. bei Pangpoche (4000 m ü.M.) erwähnt, kann von mir nicht bestätigt werden.

Über den Komplex ökologischer Faktoren, der für Verlauf und Typ der Höhengrenze des Waldes im Khumbu bestimmend ist, liegen bisher keine Arbeiten vor. Auf das Ansteigen der Waldgrenze mit zunehmender Kontinentalität des Klimas gegen das Innere der Khumbu-Hochtäler von 3700 auf 4200 m ü.M. wurde bereits hingewiesen.²⁴

Das Zurückbleiben des Waldes an den Sonnenseiten der Täler läßt vermuten, daß es sich hier um eine Trockengrenze des Waldes handelt. Aber auch in Schattenexposition liefert der Verlauf der Waldgrenze Indizien, die es erlauben, die Höhengrenze des Waldes als Trockengrenze zu interpretieren (Fig. 4). Denn in den kleinen Kerbtälchen, die z. B. den Moränenhang gegenüber von Pangpoche (4000 m ü.M.) gliedern, steigt der Wald höher hinauf als auf den benachbarten trockenen Rücken. Selbst bei isolierter Betrachtung eines solchen Kerbtales zeigt sich wiederum, daß an den sonnigen Hängen der Wald weniger hoch hinauf klettert als an den schattigen. Auch der umgekehrte Fall kommt vor, allerdings nur dann, wenn der Verlauf der oberen Waldgrenze durch Erdschlipfe und Rutschungen des nicht sehr standfesten Moränenmaterials gestört wurde.

Für den beschriebenen Verlauf der oberen Waldgrenze ist neben dem Feuchtigkeitsfaktor von entscheidender Bedeutung, daß Lawinen in dieser Höhenregion des Khumbu fehlen, die als ökologischer Faktor in den Alpen, aber auch im winterschneereichen West-Himalaya eine wichtige Rolle spielen. Baumfreie Lawinenbahnen unterhalb der Waldgrenze fehlen deshalb im Landschaftsbild des Khumbu. Selbst die höchstgelegenen Sherpa-Dörfer sind in der Regel lawinensicher. Schutzwälder gegen Lawinen oberhalb der Dörfer oder gar Lawinenverbauung sind nirgendwo zu beobachten. Mir wurde nur ein Fall bekannt, daß eine Lawine ein Sherpa-Dorf berührte: Am 1. Oktober 1963 hat eine kleine bezeichnenderweise von Monsunschnee gebildete Lawine die äußeren Parzellengrenzmauern von Dingpoche gerade noch erreicht.

Die klimatisch-ökologische Differenzierung im Khumbu wirkt sich jedoch nicht nur auf Höhenlage und Verlauf der Waldgrenze aus, sondern auch auf Physiognomie und floristische Zusammensetzung der die Höhengrenze bildenden Waldtypen. An den Schattenseiten wird die Waldgrenze

²² Vgl. in diesem Zusammenhang z. B. H. BÖHM 1968: 44.

²³ Die niedrige, strauchförmige Wuchsform der Gehölze im Bereich der alpinen Gebüschformation ist erblich festgelegt; sie wird bei Waldbäumen immer durch extreme Umwelteinflüsse verursacht.

²⁴ Vgl. S. 249.

von geschlossenen subalpinen Birken-Rhododendronwäldern gebildet (Photo 86, Tafel XXII), an den Sonnenhängen sind Wacholdergehölze standortgemäß. Die Leitarten des subalpinen Birkenwaldes sind *Betula utilis* und *Rhododendron campanulatum* und bis in Höhen von 4000 m ü. M. *Abies spectabilis* (Photo 87, Tafel XXII). Neben der Tanne treten als weitere Nadelgehölze vereinzelt auch *Juniperus*-Bäume auf (*Juniperus communis*, *Juniperus recurva*, *Juniperus waleichiana*). Der subalpine Wald besitzt einen geschlossenen Kronenraum, seine Höhe nimmt gegen die obere Waldgrenze hin ab und schwankt zwischen 15 und 4 m.

Die physiognomisch wie floristisch sehr gegensätzlichen Waldtypen sind Ausdruck der recht unterschiedlichen Ökosysteme an Schatten- und Sonnenhang. Der Einstrahlungsintensität kommt im Rahmen dieser Wald-Ökosysteme eine steuernde Schlüsselfunktion zu. In einem Korrelationsschema (Fig. 5) wurden einige der wichtigsten ökologischen Faktoren in ihren qualitativen Beziehungen dargestellt. Am Schattenhang z.B. ist die Einstrahlungsintensität geringer als auf einer ebenen Fläche, ganz besonders aber als am Sonnenhang. Daraus resultiert für Schattenlagen eine niedrigere Lufttemperatur und damit eine verminderte Verdunstung, was zur Erhöhung sowohl der Boden- als auch der Luftfeuchte beiträgt; das wiederum wirkt fördernd auf das Wachstum und die Geschlossenheit der Vegetationsdecke. Eine besondere Stellung im Ökosystem der Birken-Rhododendronwälder kommt der im Vergleich zum Sonnenhang viel längeren Dauer der Schneedecke (Photo 84) und ihrer häufig auch größeren Mächtigkeit zu. Eine Schneedecke, die in Sonnenexposition nach wenigen Tagen, oft schon nach einigen Stunden, verschwunden ist, bleibt am Schattenhang im Schutz eines schattenspendenden immergrünen Kronendaches über Wochen erhalten.²⁵ Diese Schneebedeckung wirkt ausgleichend auf die Schwankungen der Bodentemperatur und sorgt, allmählich abtauend, für eine ausgeglichene Bodenfeuchte, bei der die besonders gegen Frosttrocknis empfindlichen immergrünen Ericaceen gut gedeihen. Eine geschlossene Vegetationsdecke, für die das Vorhandensein einer möglichst ganzjährigen Bodenfeuchte so wichtig ist, vermindert am Hang die Bodenerosion und fördert so die Bodenmächtigkeit und das daraus resultierende Wasserspeichungsvermögen des Bodens.

Am Sonnenhang verlaufen die von der Strahlung abhängigen ökologischen Prozesse in umgekehrtem Sinn wie am Schattenhang²⁶; es kommt zu einer Kette von Reaktionen, die für die Vegetation weit ungünstigere Standortverhältnisse schafft als am Schattenhang. So führt die erhöhte Einstrahlungsintensität zu vergleichsweise erhöhter Lufttemperatur und Verdunstung und damit zu verminderter Luft- und Bodenfeuchtigkeit. Die Schneedecke schmilzt schneller ab, so daß die während der winterlichen Trockenzeit starken Ein- und Ausstrahlungsgegensätze zwischen Tag und Nacht zu erheblichen Schwankungen der Bodentemperatur führen. Bei der geringen Boden- und Luftfeuchte sowie der häufigen winterlichen Frosttrockenheit können sich immergrüne Laubgehölze, z.B. Rhododendren, am Sonnenhang nicht mehr halten. Die standortgemäße Vegetation setzt sich hier aus trockenresistenten Gehölzen zusammen, vor allem aus Wacholderarten. Im Unterwuchs dieser sehr lockeren Gehölze sind *Berberis*, *Artemisia*, *Euphorbia*, *Ephedra*, *Caragana* und das strauchige Edelweiß *Leontopodium stracheyi* typisch, Gewächse mit stark reduzierter Transpirationsfläche oder Stauden, die nur während der sommerlichen Regenzeit oberirdische Organe ausbilden wie z.B. *Iris kumaonensis*. Sowohl die Baumschicht als auch die Bodenvegetation sind am Sonnenhang nicht mehr geschlossen ausgebildet, sondern zwischen Vegetationsinseln schieben sich immer wieder Flächen mit scherbigem unverwittertem Hangschutt.

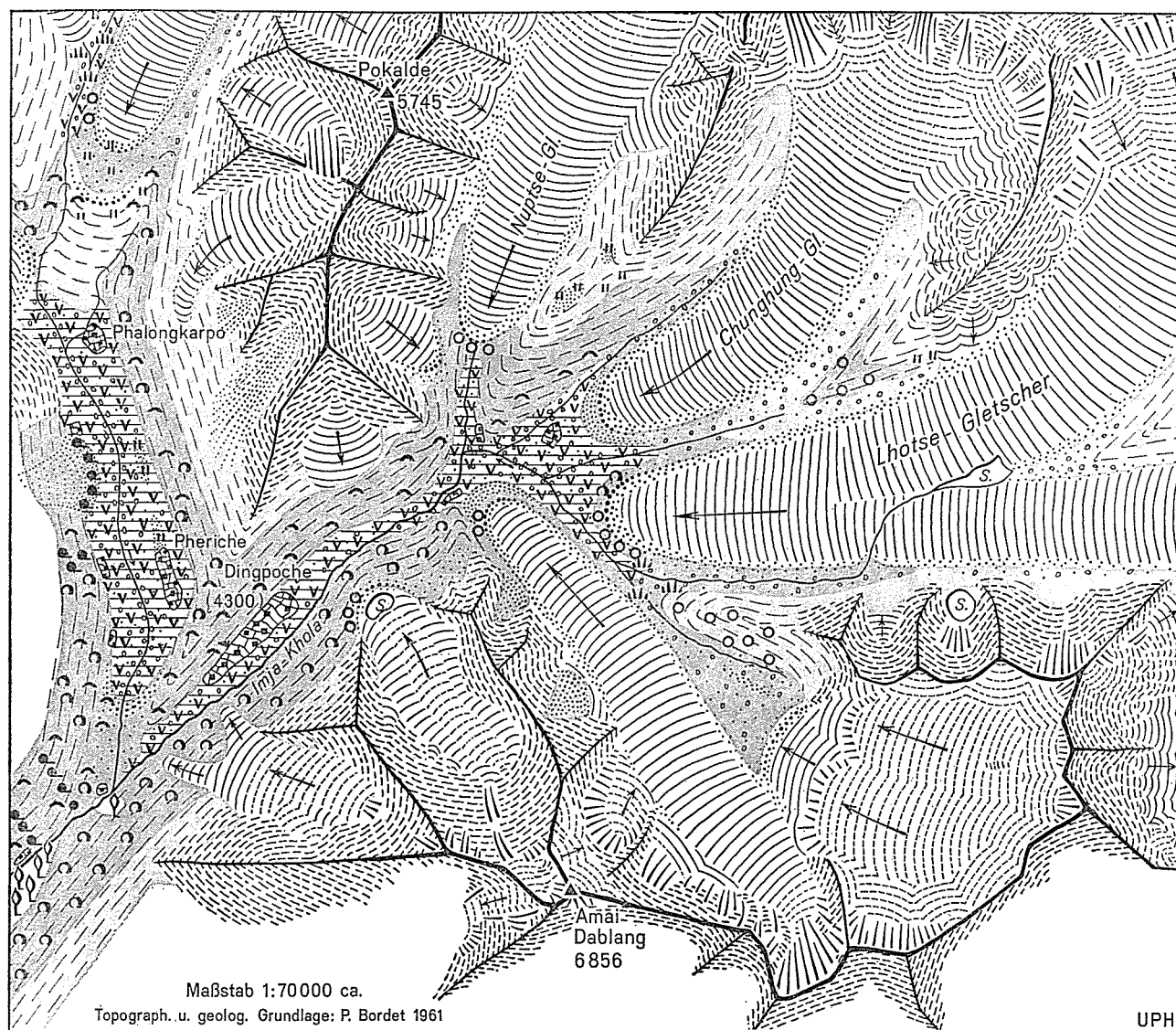
Wie das Korrelationsschema (Fig. 5) zeigt, wirken Entwaldung und Überweidung am Sonnenhang als besonders extreme Eingriffe in den Landschaftshaushalt. Durch die Vernichtung der bodenerhaltenden Vegetationsdecke werden die Hänge zunehmend trockener, die Schneedeckendauer wird an den baumfreien, das heißt schattenlosen Berghängen erheblich verkürzt.

²⁵ In der Zeit von Oktober 1962 bis April 1963 waren die Sonnenhänge in Nähe der Waldgrenze nach Angaben von Sherpa-Bauern und nach eigenen Beobachtungen nur vier Tage schneebedeckt, die Schattenhänge annähernd zweieinhalb Monate.

²⁶ Im Schema veranschaulicht durch umgekehrte Vorzeichen.

Fig. 6

Ökotopeggefüge, Vegetation und Landnutzung im Imja Khola-Tal



Ökotope

- Steile, stellenweise sehr steil abfallende Felswände aus anstehendem Migmatit, Gneis und Makalu-Granit
- Wandvergletscherung, Hängegletscher (Blankeis)
- Lawinenkegel
- Gletscherzunge
- Rezente Seitenmoräne
- Rezente Endmoräne
- Mäßig steile bis steile Hänge aus pleistozänem Moränenmaterial
- Bergsturzhalde
- Fluvioglazialer Schwemmkegel

- Peripheres Entwässerungstälchen
- Breiter Talboden fluvioglazialer Entstehung (pleistozäne? Gletscherstauseebecken)
- Flugsandfelder

Vegetation

- Alpine Matte (Pionierstadien)
- Feuchte alpine Matte
- Alpine Steppe
- Alpine Kugelpolsterflur
- Grasmoor (Bultenböden)

- Teppichwacholderflur am Sonnenhang
- Rhododendrongebüsch am Schattengang
- Zwerg- u. Dornstrauchflur
- Feuchtes Weiden gebüsch
- Subalpiner Birkenwald

Landnutzung

- Mähwiesen
- Ackerland
- Sherpahäuser mit Parzellen grenzmauern

6. DAS ÖKOTOPGEFÜGE IM HOCHTAL DES IMJA KHOLA IN SEINER BEDEUTUNG FÜR DIE VEGETATION, DIE BODENNUTZUNG UND DIE LAGE DER SIEDLUNGEN

Als Beispiel für die kleinräumige Gliederung der Hochgebirgslandschaft wurde ein Gebiet des östlichen Khumbu ausgewählt. Dieser Landschaftsausschnitt, auf dem Kärtchen *Fig. 6* abgebildet, kann als typisch gelten für die Hochtäler des östlichen Nepal-Himalaya. Das Beispiel umfaßt hauptsächlich die Talweitung des Imja Khola, die bergwärts stark vergletschert ist. Sie wird umrahmt von verfirnten Steilwänden, die das Niveau der Gletscherzungen bis zu 3000 m überragen. Im Westen reicht das Tal des Khumbu-Gletschers noch mit in das ausgewählte Gebiet.

Neben Ökotoptopgefüge und Vegetation zeigt die Karte wesentliche Elemente der Kulturlandschaft, nämlich die Siedlungen und die Bodennutzung; Weideland blieb unberücksichtigt. Über die landschaftsökologischen Gegebenheiten (Oberflächenformen, Böden, Wasserhaushalt) der verschiedenen ökologischen Raumeinheiten und die Abhängigkeit von Vegetation, Bodennutzung und Lage der Siedlungen von diesen natürlichen Voraussetzungen informiert eine tabellarische Übersicht (*Tab. 2*).

Charakteristisch für die Hochtäler des Khumbu sind die steil abfallenden Felswände aus Gneis oder Granit mit ausgedehnter Wandvergletscherung.²⁷

Das Ausmaß dieser Vergletscherung hängt von der Orographie und der Exposition der Bergflanke ab.²⁸ Die Physiognomie dieser vereisten Bergflanken ist besonders gekennzeichnet durch die in der Gefällelinie angeordneten Lawinenbahnen. Die scharfe rachelartige Ausprägung dieser „Eisrillen“ ist in ihrer Entstehung bisher nicht ganz geklärt; sie sind in dieser markanten Form auf subtropische Hochgebirge beschränkt. Das legt nahe, ihre Entstehung unter Mitwirkung der Strahlung zu sehen und sie in den Zusammenhang der besonderen Ablationsformen in subtropischen Hochgebirgen einzuordnen. Lawinen gehen nach Neuschnee und Strahlungswetter besonders zahlreich gegen Mittag nieder, also zur Tageszeit der stärksten Einstrahlung; Lawinen bei Nacht sind seltener. Daher scheint für die Auslösung von Lawinen die Form der freien Ablation bei nicht schmelzender Oberfläche eine entscheidende Rolle zu spielen.²⁹ Die herabstürzenden Eismassen und Lawinen bilden am Fuß der Steilwände breite Lawinenkegel; sie liegen in der Regel bereits unterhalb der klimatischen Schneegrenze. Hier setzen die verschütteten Zungen der Talgletscher an³⁰, die Auswehgebiete für Flugsand sind. An ihrem unteren Ende treten auf der moränenbedeckten Oberfläche bereits die ersten höheren Pflanzen auf, z. B. *Ephedra gerardiana*, ein Zwergstrauch³¹, und als weiteres Element der tibetischen Steppe *Artemisia*-Arten. Die Zungen der Talgletscher werden von bis zu 80 m hohen rezenten Seitenmoränenwällen umrahmt. Aus der gletscherzugewandten Seite dieser im Querschnitt asymmetrischen Wälle stürzt ständig Schuttmateriale auf den Gletscher nach. Dafür ist der in dieser Höhenlage häufige tageszeitliche Frostwechsel besonders entscheidend.

²⁷ In der Physiognomie dieser Hang- und Wandvergletscherung lassen sich große Unterschiede beobachten. Am Gipfel der Ama Dablang ist sie als mächtige Eishaube ausgebildet; nach starken Schneefällen im März 1963 brach diese in zwei Teile und ging stückweise nieder. Neben großen zusammenhängend vereisten Wandarealen gibt es außerdem noch den fleckenhaften Wechsel zwischen Fels und Eis. Unterhalb der klimatischen Schneegrenze kann es zur Entstehung zungenförmiger Hängegletscher kommen. ²⁸ Vgl. dazu auch S. 252.

²⁹ Über die Unterschiede der freien Ablation bei schmelzender und nicht schmelzender Oberfläche vgl. H. KRAUS 1966/2: 208. ³⁰ Über die Oberflächenmorphologie der Talgletscher siehe auch S. 249 f.

³¹ *Ephedra gerardiana* gehört der Lebensform nach zu den Rutensträuchern mit stark reduzierter Blattoberfläche. Die Sprossachsen sind die eigentlichen Assimilationsorgane.

Tab.: 2 Schematische Darstellung des landschaftsökologischen Beziehungsgefüges im oberen Imja Khola-Tal

Ökotope	Gestein / Böden	Wasserhaushalt	Vegetation	Nutzung	Siedlungen
steil bis sehr steil abfallende Felswände — bis zu 3000 m und mehr relative Höhe	Migmatite, Gneis, Makalu Granit	in 5700 m ü. NN.: Akkumulationsgebiet, Nährgebiet der Lawingletscher			
Wandverglötscherung, Hängegletscher					
Lawinenkegel am Fuß von Felswänden	Schutt der Schnee-, Eis- und Gesteinslawinen	in der Regel bereits unterhalb der klimatischen Schneegrenze gelegen: beginnende Ablation			
verschüttete Gletscherzungen in bis zu maximal 80 m höhere Seitenmoränenwälle eingebettet	zunehmende Verschuttung gegen Gletscherende, Auswehgebiet für Flugsand	geringe Fließgeschwindigkeit der Gletscher: Ablationsseen	gegen Zungenende erste Elemente der Tibetischen Steppe: z. B. <i>Ephedra</i>		
rezente Seitenmoränenwälle, die Gletscherzunge bis zu 80 m überragend	Moränenmaterial, an der Gletscher zugewandten Seite ständig nachstürzend, flachgründiger, hochalpin, hoher Rohboden	periphere Entwässerung des Gletschers, Quell- und Sickerhorizonte. Ausbrüche von Ablationsseen durch Seitenmoränen	innere Abdachung: vegetationslos, äußere Abdachung: S: alpine Steppe, Kugelpolsterflur N: Elemente der feuchten alpinen Matte	gelegentliche Beweidung	
rezente Endmoränenwälle in mehreren Staffeln: Rückzugsstadien des Gletschers	Moränenmaterial, an der Gletscher zugewandten Seite ständig nachstürzend, flachgründiger, hochalpin, hoher Rohboden	Entwässerung durch die Endmoräne nur, wenn Endmoränenstausee vorhanden	wie Seitenmoränen: häufig bereits erste Elemente alpiner Gebüsche (<i>Rhododendron</i>)	gelegentliche Beweidung	
mäßig steile bis steile Hänge aus älterem Moränen- und Bergsturzmaterial	flachgründiger, hochalpin, hoher Rohboden, Humusboden unter Polsterpflanzen, Frostmusterboden	wasserdurchlässig, in der Trockenzeit Abtragung durch Winderosion möglich	mit zunehmender Höhe sich mehr und mehr auflösende schütterte alpine Matte: <i>Cobresia</i> -Flur	gelegentliche Beweidung	
Periphere Entwässerungstälchen der Gletscherzungen	wechselnd: Geröllfelder, vorherrschend feinsandige, steinarme Sedimente; Flugsandfelder, Bultenböden	erst gegen das untere Ende der Täler perennierende Gletscherbäche, periodische Seen, versumpfte Zonen	Grasmoore, Tibet. Steppe, im unteren Drittel der Täler bereits geschlossene alpine Matte mit Überweidungsmerkmalen	regelmäßige Beweidung (Yak, Schaf, Ziege, Kuliwege)	einzelne Alm- und Schutzhöfen
fluvio-glaziale Schwemmkessel im Gletschervorfeld	in fluvialer Umlagerung befindliches Moränenmaterial	Verlagerung der Gletscherbäche zur Zeit der Schneeschmelze und des Monsuns	vegetationslos bis auf Inseln mit Grundwassergehölzen (<i>Salix</i> , <i>Spiraea</i> , <i>Caragana</i>)		
breite Talböden fluvio-glazialer Entstehung, alte Gletscherstauseebecken	grobe Gerölle mit bis zu 30 cm Trockentorfbedeckung — Flugsandfelder	wasserdurchlässig, Regenzeit: Gewässer oberirdisch, Trockenzeit: Flussschwinden Grundwasserstrom	Zwerg- und Dornstrauchflur Grundwassergehölze: <i>Caragana</i> , <i>Potentilla frut.</i> , <i>Hippophae salicif.</i> und andere	Viehweiden, Mahwiesen, Ackerland	Sommerdörfer der Sherpa
mäßig steile bis steile Talhänge aus älterem Moränen- und Bergsturzmaterial	Südexposition: flachgründige steinige Rohböden mit Humusbodeninseln unter Pflanzen Nordexposition: geschlossene trockenrortartige Bodeckende	extreme Gegensätze zwischen Sonnen- und Schattenhang	Südexposition: Teppichwälder Nordexposition: Rhododendronbüsch, <4200 m ü. NN: subalpiner Birkenwald	Beweidung, Brennholz	

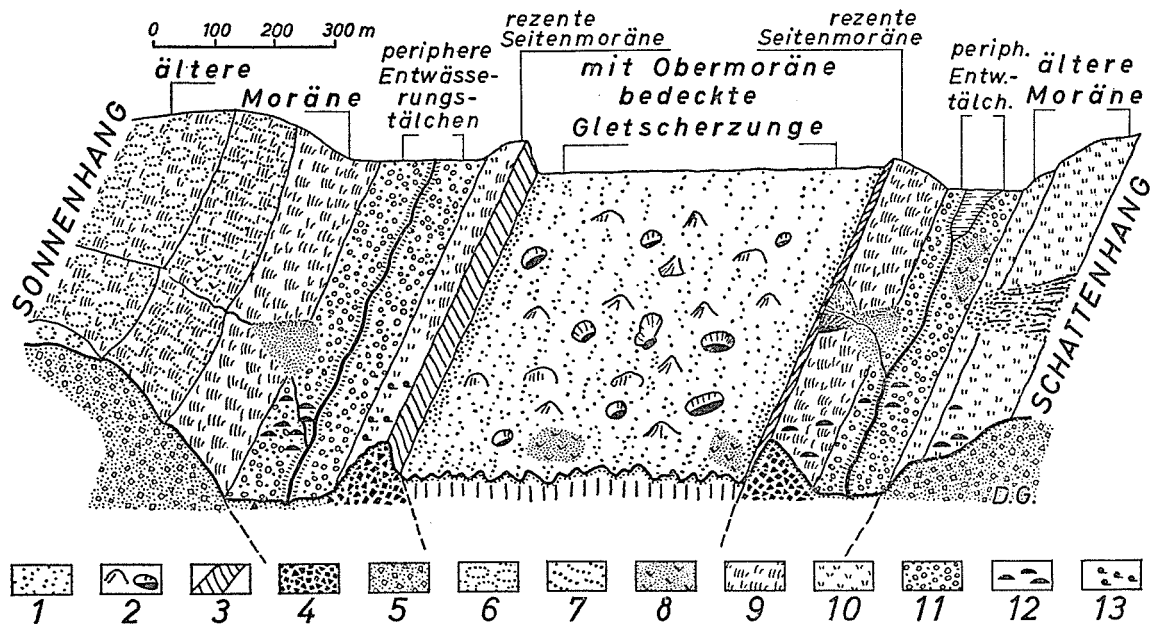


Fig. 7 Typische Verteilung der Ökotope im Zungenbereich des Khumbu-Gletschers (ca. 4900 m ü. M.). Morphographie verändert nach P. Bordet (1961).

1 Rezenter Moränenschutt auf lebendem Gletscher, 2 Eistürme und Schmelzwasserkessel auf der Gletscheroberfläche, 3 Innenhang der Seitenmoränen (nachstürzend und vegetationslos), 4 Seitenmoränen mit unterschiedlicher Vegetationsbedeckung (vgl. Nr. 9, 10, 12, 13), 5 ältere Moränen, 6 Frostmusterböden (Steinringe), 7 Frostmusterböden (Steinstreifen), 8 Flugsandfelder mit *Ephedra*-Zwergstrauch-Flur, 9 alpine Steppe, 10 feuchte alpine Matte, 11 Fluvioglaziale Schotter, 12 Bultenböden (*Carex*, *Cobresia* u. a.), 13 Rhododendrongebüsch.

Die feinere ökologische Gliederung des Kammereiches und der äußeren Abdachung der Seiten- und Endmoränenwälle in ein Mosaik von Mikrostandorten ist abhängig von der topoklimatischen Differenzierung nach Höhenlage, Strahlungs- und Windexposition und den kleinräumig wechselnden edaphischen Gegebenheiten (vgl. Fig. 7). In Südexposition findet man bis in Höhen von rund 5500 m ü. M. auf fleckhaft verbreiteten, hochalpinen Rohböden lockere Bestände einer alpinen Polsterflur. Die Geschlossenheit der Bestände nimmt gegen den unteren Bereich der Gletscher zu und ist an der Endmoräne besonders gut entwickelt. Der Lebensform der kurzrasigen, humussammelnden *Carex*-Polster der Alpen entsprechen hier *Cobresia*-Polster. Kugelpolster bilden *Primula minutissima*, *Androsace selago* und das wollige *Chrysanthemum gossypinum* (Photo 88, Tafel XXII), wollige Flachpolster die *Leontopodium*- und *Anaphalis*-Arten. Als Vertreter der chinesischen Herbstenziane gehört *Gentiana depressa* in diese Polsterflur. Auffällig ist, daß die Kugelpolster bevorzugt an sonnenexponierten, den Talaufwinden besonders ausgesetzten Standorten entwickelt sind. In Nordexposition treten lockere Grasfluren auf, die nach ihrer floristischen Zusammensetzung der feuchten alpinen Matte im Khumbu zuzuordnen sind. Dominant sind *Cobresia*- und *Festuca*-Arten. In Höhenlagen unter 5000 m ü. M. treten in Schattenlage die ersten Rhododendron-Strauchfluren (*Rhod. lepidotum* und *anthopogon*) auf.

Zwischen Seitenmoräne und Talhang, der in der Regel aus älterem Moränen- und Bergsturzmaterial gebildet ist, liegen periphere Entwässerungstälchen.³² (Photo 89, Tafel XXII). Böden

³² Die Entstehung der peripheren Entwässerungstälchen ist in ihren Einzelheiten nicht geklärt. H. v. WISSMANN macht darauf aufmerksam, daß diese Tälchen auf der Sonnenseite deutlicher entwickelt sind als auf den Schattenseiten, „... was für eine Mitwirkung der Ablation durch Wärme und Strahlung spricht.“ (v. WISSMANN 1959: 31).

und Vegetation in diesem Bereich sind sehr komplex. Größte Verbreitung findet hier eine relativ geschlossene, feuchte alpine Matte auf feinsandigen, angeschwemmten Böden. Die Moränenwälle und die peripheren Entwässerungstälchen werden bereits als Weideland genutzt, aber die Überweidung bedingt, daß *Potentilla*- und *Primula*-Arten dominant sind. Eine der höchstgelegenen Almhütten des Khumbu steht in einem solchen Tälchen in 4950 m ü.M. Auch *Meconopsis*-Mohne, *Rheum emodi*, *Ligularia*- und *Crematodium*-Arten sowie *Pedicularis*- und *Polygonum*-Arten gehören zu dieser in ihrem Lebensformenspektrum durch breitblättrige Stauden gekennzeichneten Pflanzengesellschaft. An besonders feuchten, wasserzügigen Standorten sind Grasmoore zu finden. Die Bodenfeuchtigkeit führt zusammen mit häufigem Frostwechsel hier zur Entstehung von Bultenböden.

Im Gletschervorfeld liegen fluvio-glaziale Schwemmkegel, deren Material ständiger fluvialer Umlagerung unterworfen ist. Diese Schwemmkegel sind vegetationslos bis auf einige kleine, zur Ruhe gekommene Inseln mit Zwergsträuchern. Die Schwemmkegel laufen in breite flache Talböden aus. T. HAGEN hat bereits darauf hingewiesen, daß es sich hier um die Talböden pleistozäner Gletscherstauseen handelt. Den Gesteinsuntergrund bilden grobe wasserdurchlässige Gerölle. Auf bis zu 30 cm mächtigen, trockentorfartigen Böden sind Zwergstrauchfluren mit tiefgreifendem Wurzelsystem charakteristisch. Dominant sind *Caragana*-Arten, *Potentilla fruticosa*, *Hippophæ salicifolia* und *Myricaria germanica*.³³ Ein weiteres Ökotopt stellen die mäßig steilen bis steilen Hänge aus älterem Moränen- oder Bergsturzmateriel. Neben edaphischer Trockenheit wird hier die Exposition der Hänge für die Vegetation bestimmend. An Schattenhängen findet man immergrünes niedriges Rhododendrongebüsch, an Sonnenhängen wächst eine sehr lockere Flur von Teppich-Wacholder.

Die flachen Talböden bieten sich geradezu an zur Anlage von Siedlungen. Dingpoche ist ein Sommerdorf mit Kartoffel- und Gersteanbau, die übrigen Siedlungen sind Almsiedlungen; in der kampartig umhegten Flur sind durch Düngung frische Fettwiesen zur Heugewinnung entstanden.

Literatur

- BISHOP, B. C. (1962): Wintering on the Roof of the World. National Geographic, 122, No. 4.
 — (1963): How we Climbed Everest. National Geographic, 124, No. 4.
 BLÜTHGEN, J. (1964): Allgemeine Klimageographie. Berlin.
 BÖHM, H. (1968): Die Waldgrenze der Glocknergruppe. Wiss. Alpenvereinshefte, 21: 143–167.
 BORDET, P. (1961): Recherches Géologiques dans l'Himalaya du Népal, Région du Makalu. Paris.
 DIERL, W. (1966): Zur Kenntnis der Hauptbiotope des Expeditionsgebietes Khumbu Himal vom Gesichtspunkt des Entomologen. Khumbu Himal, 1, (W. Hellmich Ed.). Berlin: 142–171.
 DIESSELHORST, G. (1968): Beiträge zur Ökologie der Vögel Zentral- und Ost-Nepals. Khumbu Himal, 2, (W. Hellmich Ed.). Innsbruck.
 EIMERN VAN, J. (1969): Die Bedeutung von Energieströmen für das Klima und die agrarischen Standortbedingungen. Erdkunde, 23: 10–19.
 ELLENBERG, H. (1963): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Stuttgart.
 FINSTERWALDER, R. (1936): Die Formen der Nanga Parbat-Gruppe. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin: 321–341.
 — (1937): Die Gletscher des Nanga Parbat. Ztschr. für Gletscherkunde und Glaziologie, 25: 57–108.
 FLOHN, H. (1959): Bemerkungen zur Klimatologie von Hochasien. Aktuelle Schneegrenze und Sommerklima. Akademie der Wissenschaften und der Literatur. Abh. Math.-Nat. K., Nr. 14. Wiesbaden: 309–331.
 — (1968): Ein Klimaprofil durch die Sierra Nevada de Meridia (Venezuela). Wetter und Leben, 20: 181–191.
 v. FÜRER-HAEMENDORF, C. (1959): Die Sherpa des Khumbu-Gebietes. In: Mount Everest. Aufbau, Erforschung und Bevölkerung des Everest-Gebietes. Zürich.
 — (1964): The Sherpas of Nepal. London.
 — (1966), Hrsgb.: Caste and Kin in Nepal, India and Ceylon. Bombay.

³³ An edaphisch besonders trockenen Standorten tritt *Juniperus squamata* auf. Ausdruck des kräftig wehenden Talaufwindes ist die bergwärts gerichtete Verformung der maximal 1 m hohen Gehölze.

- FUNKE, F. W. (1969): Religiöses Leben der Sherpa. Khumbu Himal, 9, (W. Hellmich Ed.). Innsbruck-München.
- GANSSE, A. (1964): Geology of the Himalayas. London.
- HAFFNER, W. (1965/1): Nepal Himalaya. Bericht einer Reise nach Ostnepal im Jahre 1963. Erdkunde, 19: 81–103.
- (1965/2): Bazar in den Himalayabergen Ostnepals. Kosmos, 11: 484–485.
- (1966): Die Sherpas im östlichen Nepal-Himalaya. Geographische Rundschau, 18: 144–148.
- (1967): Ostnepal — Grundzüge des vertikalen Landschaftsaufbaus. Khumbu Himal, 1, (W. Hellmich Ed.). Berlin: 389–426.
- (1968/1): Auf Kulipfaden durchs östliche Nepal. Geographische Rundschau, 20: 435–438.
- (1968/2): Stichwort: Himalaya. In: Westermanns Lexikon der Geographie. Braunschweig.
- HAGEN, T. (1959): Über den geologischen Bau des Nepal-Himalayas. Jb. St. Gall. naturw. Ges., 76: 3–48.
- (1960): Nepal — Königreich am Himalaya. Bern.
- DYHRENFURTH, G. O., v. FÜRER-HAIMENDORF, C., SCHNEIDER, E. (1959): Mount Everest. Zürich.
- HARA, H. (1966): The Flora of Eastern Himalaya. Tokyo.
- HELLMICH, W. (Ed.) (1964–1967): Khumbu Himal — Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya. Bd. 1. Berlin
- HEUBERGER, H. (1956/1): Der Weg zum Cho Oyu. Kulturgeographische Beobachtungen in Ostnepal. Mitt. Geograph. Ges. Wien, 98: 1–28.
- (1956/2): Beobachtungen über die heutige und eiszeitliche Vergletscherung in Ostnepal. Ztschr. für Gletscherkunde und Glaziologie, 3: 349–364.
- KIHARA, H. (Ed.) (1955, 1956, 1957): Scientific Results of the Japanese Expeditions to Nepal Himalaya, 1952–1953. (3 Vols.). Kyoto. Vol. I: Fauna and Flora of Nepal Himalaya; Vol. II: Land and Crops of Nepal Himalaya; Vol. III: Peoples of Nepal Himalaya.
- KRAUS, H., (1966): Freie und bedeckte Ablation. Khumbu Himal. Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya. Bd. I. 203ff. Berlin-Heidelberg-New York.
- (1966): Das Klima von Nepal. Ebenda, Bd. I, S. 301ff.
- LOMBARD, A. (1953): Les grandes lignes de la Géologie du Népal oriental. Bull. Soc. belge Géol. Pal. Hydr., 41(3): 260–264.
- MÜLLER, F. (1958): Acht Monate Gletscher- und Bodenforschung im Everestgebiet. Berge der Welt. München: 199–216.
- (1968): Mittelfristige Schwankungen der Oberflächengeschwindigkeit des Khumbugletschers am Mount Everest. Schweizerische Bauzeitung, 86: 1–4.
- ODELL, N. E. (1925): Observations on the Rocks and Glaciers of Mount Everest. Geogr. Journal, 66: 299–315.
- (1938): Geological and some other Observations in the Mount Everest Region. In: Tilman, H. W., Mount Everest. Cambridge Univ. Press: 143–154.
- OPFITZ, M. (1968): Geschichte und Sozialordnung der Sherpa. In: Funke, F. W., Beiträge zur Sherpa-Forschung. Teil I. Khumbu Himal, 8, (W. Hellmich Ed.). Innsbruck.
- RATHJENS, C. (1968): Neuere Entwicklungen und Aufgaben einer vergleichenden Geographie der Hochgebirge. Geogr. Taschenbuch 1966/69: 199–210. Wiesbaden.
- SCHNEIDER, E. (1957): Mahalangur Himal, Chomolangma, Mount Everest. Karte 1:25000. Deutscher Alpenverein, Österr. Alpenverein, Deutsche Forschungsgemeinschaft. Begleitworte zur Karte erschienen in: Hagen, T., Dyhrenfurth, G. O., v. Fürer-Haimendorf, C., Schneider, E., 1959: Mount Everest. Zürich.
- (1967): Begleitworte zur Karte Khumbu Himal I. Khumbu Himal, 1, (W. Hellmich Ed.). Berlin.
- SCHWEINFURTH, U. (1957): Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya. Bonner Geogr. Abhandlungen, 20.
- SCHWEIZER, G. (1970): Der Kuh-e-Sabalan (Nordwestiran). Tübinger Geogr. Studien, 34: 163–178.
- TROLL, C. (1942): Neue Gletscherforschungen in den Subtropen der Alten und der Neuen Welt (Karakorum und argentinische Anden). Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin: 54–65.
- (1965): Die Karte des Chomolangma — Mount Everest 1:25000 und die photogrammetrische Hochgebirgskartographie. Richard Finsterwalder zum Gedächtnis. Erdkunde, 19: 103–111.
- (1967): Die klimatische und vegetationsgeographische Gliederung des Himalaya-Systems. Khumbu Himal, 1 (W. Hellmich Ed.). Berlin: 353–388.
- und SCHWEINFURTH, U. (1968): Die Karte des Khumbu-Himalaya (Ostnepal) 1:50000. Erdkunde, 22: 29–33.
- VISSER, PH. C. (1938): Glaziologie. Wiss. Ergebnisse der Niederländ. Exped. i.d. Karakorum. Bd. II, Leiden.
- WIEN, K. (1933): Zur Karte des Zemu-Gletschers. Ztschr. für Gletscherkunde und Glaziologie, 21: 21–29.
- v. WISSMANN, H. (1959): Die heutige Vergletscherung und Schneegrenze in Hochasien mit Hinweisen auf die Vergletscherung der letzten Eiszeit. Akademie der Wissenschaften und der Literatur. Abh. Math.-Nat. K., Nr. 14. Wiesbaden.
- Nepal Meteorological Service (1966): Publication No. I–IV, Provisional Monthly Rainfall Data. Katmandu.

Diskussion zum Beitrag Haffner

Prof. Höllermann:

Methodische Fragen nach Möglichkeiten der Ökotopengliederung im Gebirge. Das Vegetationsmosaik ist häufig so kleinmaschig, daß es geo-ökotopisch oft nicht mehr als relevant erscheint. Das vom Relief vorgegebene Physiotopegefüge mit Anordnung in Gefällsrichtung wird vom System der klimatischen Vegetationshöhenstufen rechtwinklig geschnitten, so daß zwei völlig verschiedene Anordnungsmuster sich überlagern. Frage, wie diese Schwierigkeiten der Landschaftsgliederung im Hochgebirge methodisch zu bewältigen sind.

H.-J. Klink:

Zu dem von Herrn Prof. HÖLLERMANN angeschnittenen Problem der Vertikalgliederung: Das vom Relief vorgegebene naturräumliche Feingefüge, das von den Vegetationshöhenstufen rechtwinklig geschnitten wird, muß bei der Gliederung in Ökotope dieser Vertikalgliederung entsprechen. An den morphographischen Einheiten sind infolgedessen oft mehrere Ökotope auszugliedern, die charakteristische Abfolgen (landschaftsökologische Catenen) bilden.

W. Haffner:

Es ist eine Frage des Ermessens, bis zu welcher Größenordnung man bei der Isolierung von Pflanzengemeinschaften, standörtlichen Einheiten, fortschreitet. Auch die Analyse von Mikrostandorten (z.B. Sonnen- und Schattenseite eines Felsblocks, eines Baumstammes, Maulwurfshügel u.a.) kann landschaftsökologisch aufschlußreich sein, wenn ihr Vorhandensein Aussagen über den Gesamthaushalt eines größeren Landschaftsraumes zuläßt. Die im Gebirge besonders komplizierte Landschaftsgliederung (Abhängigkeit von Höhenlage, Hangposition und edaphischen Gegebenheiten), diese „komplizierten Anordnungsmuster“, sind vor allem kartographisch erfaßbar. Der Profildarstellung kommt dabei besondere Bedeutung zu. Grundsätzlich ermöglichen Vegetationskarten, Karten der Ökotopgliederung u.a. einen besonders günstigen Einstieg in das „unendlich“ komplizierte Gefüge ökologischer Systeme.

Photo 84 Blick auf Dingpoche (4320 m) im Imja Khola-Tal mit seinen Bewässerungsfeldern. Charakteristisch ist der Gegensatz zwischen dem schneefreien, mit schütterer Wacholderflur bestandenen Sonnenhang und dem noch schneebedeckten Schattenhang.

Photo: Haffner

Photo 85 Büßerschneeartig überformte Eistürme.

Photo: Haffner

Photo 86 Subalpiner Birkenwald an der Waldgrenze (4200 m) oberhalb Pangpoche. Der Wald schiebt sich in feuchten Mulden und an absonnigen Hängen höher hinauf als auf den trockenen sonnigen Rücken. Auch die Schneedecke ist nur an Schattenhängen noch vorhanden.

Photo: Haffner, April 1963

Photo 87 Wettertanne (*Abies spectabilis*) in 4050 m Höhe bei Tengpoche im Khumbu, unweit der oberen Waldgrenze. Der Tannenwald geht hier in subalpinen Rhododendren- (*Rh. campaulatum*) und Birkenwald (*Betula utilis*) über. Im Hintergrund die Gipfel von Kang Taiga (6685 m) und Tramserku (6608 m).

Photo: Haffner



Photo 85

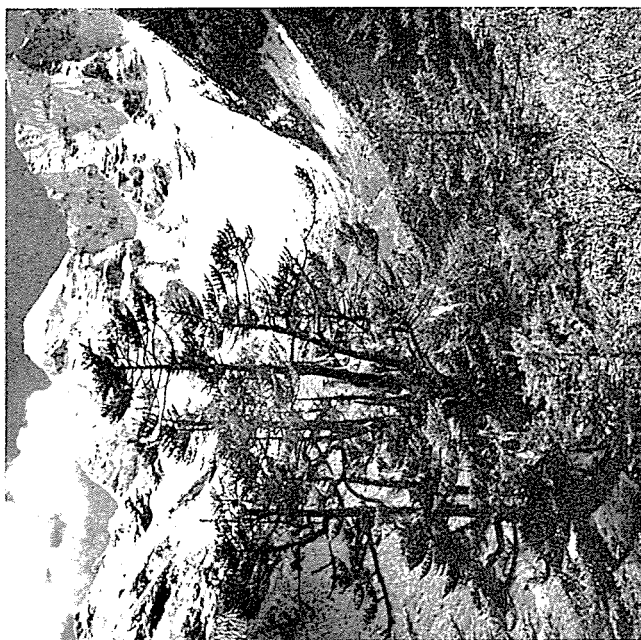


Photo 87



Photo 84



Photo 86

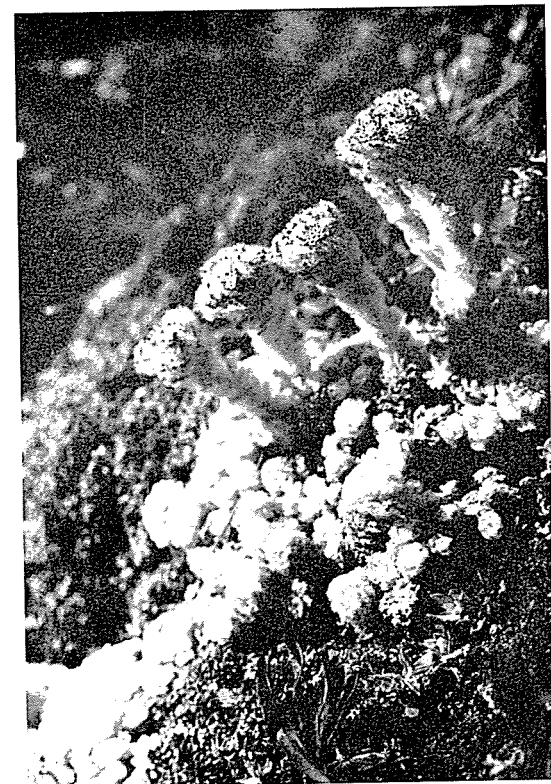


Photo 88 *Chrysanthemum gossypinum* (Hooker f. et Thomson) Kiramura.
Photo: Haffner

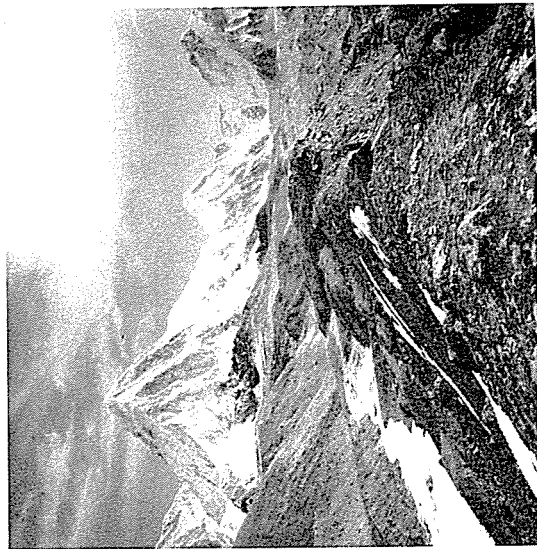


Photo 89 Blick von der Seitenmoräne (4950 m) der stark verschutteten Zunge des Khumbu-Gletschers in eines der typischen peripheren Entwässerungstächen. Im Hintergrund die Gipfelpyramide des Pumori (7145 m).
Photo: Haffner



Photo 90 Tropical evergreen upper montane forest (mist forest) in Sikkim, at ab. 2,900 meters between Gangtok and Natu La. *Rhododendron arboreum*, *Arundinaria-Bambus*, *Juniperus pseudo-sabina*.
Photo: Troll



Photo 91 Epiphytic plants in the tropical evergreen montane forest with tree ferns near Gangtok (Sikkim) at 1800 meters: mosses, diff. ferns, grasses, Ericaceae.
Photo: Troll