

DIE VEGETATIONSKARTE DES KHUMBU HIMAL
(MT. EVEREST-SÜDABDACHUNG) 1:50 000
Gefügemuster der Vegetation und Probleme der Kartierung

Mit 1 Abbildung, 11 Photos und 1 Beilage (I)

GEORG MIEHE

Summary: The vegetation map of the Khumbu Himal (Mt. Everest south slope) 1:50,000. Vegetation patterns and problems of mapping

The map was surveyed between August and November 1982 and drafted in the scale of 1:25,000. The differentiation of vegetation units was undertaken by physiognomic criteria. The vegetation of the cloud forest belt is quasi-natural on the shady slopes (*Betula utilis* and evergreen Rhododendron-woodlands) and mostly anthropogenic on the sunny slopes, which are widely used for winter grazing, because here the snow melts within a few days, whereas the shady slopes remain snow-covered for several months. The potential natural *Usnea*-covered *Abies spectabilis*-forests are partly conserved due to the indigenous rules of the Sherpas, a Tibetan tribe inhabiting the Khumbu. Most forests of the sunny slope were removed by the initial fire clearing, probably 450 years ago, and have been successively replaced by grazed open woodlands of *Rhododendron arboreum* v. *roseum* and *Juniperus recurva*, which were degraded by extensive grazing to the present anthropogenic climax, dominated by grazing weeds such as *Cotoneaster microphyllus*. The potential natural treeline as indicated by forest remnants, is at 4400 m.a.s.l. on the sunny slopes (*Juniperus recurva*) and at 4200 m.a.s.l. (*Betula utilis*) on shady slopes.

In the alpine belt valley-up wind is decisive for the vegetation pattern of *Cyperaceae*-mats covering windward slopes, and evergreen dwarf Rhododendrons confined to slopes which are snow-protected in winter. In the upper alpine belt the closed cover of alpine turf has been destroyed in a patchy manner, showing open morainic substratum freely moved by periglacial processes, surrounded by a solifluction cliff on alpine turf. The open patches are not recolonized by vegetation but slowly extended by needle ice. Obviously solifluction is stronger than plant growth. Under the present climatic conditions the vegetation is unable to rebuild a new vegetation cover. This indicates a depression of the altitudinal belts and the temperature. The present 'zonal' vegetation on a closed layer of alpine turf turns out to be a relic of a climatic period which was more favourable for plant growth.

Vorbemerkung

Die 'horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya' ist in den Grundzügen seit der Monographie U. SCHWEINFURTHS (1957) bekannt,

auch kleinmaßstäbige Übersichtskarten liegen sowohl für den ganzen Gebirgsbogen (1:2 Mill., SCHWEINFURTH 1957) als auch für Nepal (1:250 000, DOBREMÉZ et al.) vor. Vegetationskarten, die durch eine gute topographische Grundkarte das komplizierte Relief und die engräumige Vegetationsverteilung hinreichend genau wiedergeben, wurden bislang jedoch nur für den Nanga Parbat im Nordwesten des Himalaya von C. TROLL (1939) vorgelegt. Die 'Vegetationskarte des Khumbu Himal' profitiert wie die Vegetationskarte des Nanga Parbat von einer ausgezeichneten Grundkarte, bietet jedoch einen ungleich kleineren Ausschnitt an Höhenstufen der Vegetation und deckt als Inselkarte nur einen Teil der Grundkarte ab.

Die Vegetationskarte des Khumbu Himal (Beilage I) wurde auf einer 11-wöchigen Kampagne im Spätsommer und Herbst 1982, d. h. zwischen den letzten Monsunregen und den ersten Herbstniederschlägen, aufgenommen (Itinerar s. Abb. 1). Die zeitlich und durch das Relief eingeschränkten Kartierungsmöglichkeiten wurden durch die Monsunbewölkung (im südlichen Kartenabschnitt, etwa in den Flanken der Khumbui Yul Lha) sowie im Oktober und November durch die Schneebedeckung der Schatthänge weiter begrenzt. Damit ist sicher, daß bei der Extrapolation andernorts als regelhaft erkannter Gefügemuster in Flanken, die nicht eingesehen werden konnten, Fehler unterlaufen sind. Dies gilt wahrscheinlich für die Verbreitung von Cyperaceenrasen und Rhododendronfluren an der Khumbui Yul Lha und im Kyajo Drangka. Der Nordwestteil des Kartenblattes war 1982 Sperrgebiet und durfte nicht begangen werden; lediglich der untere Talabschnitt konnte bis Marulung eingesehen und kartiert werden. Die Kartierung der Seen beruht auf den Aufnahmen von 1982, soweit das Gebiet begangen wurde; der jüngste Stand von 1984 der im November 1988 publizierten Karte des Mt. Everest (Nat. Geographic Mag.) konnte nicht mehr berücksichtigt werden. Pflanzensoziologische Vegetationsaufnahmen, d. h. eine halbquantitative Kartierung auf floristisch vollständiger Grundlage unter Einbeziehung auch der Flechten und Moose, waren 1982

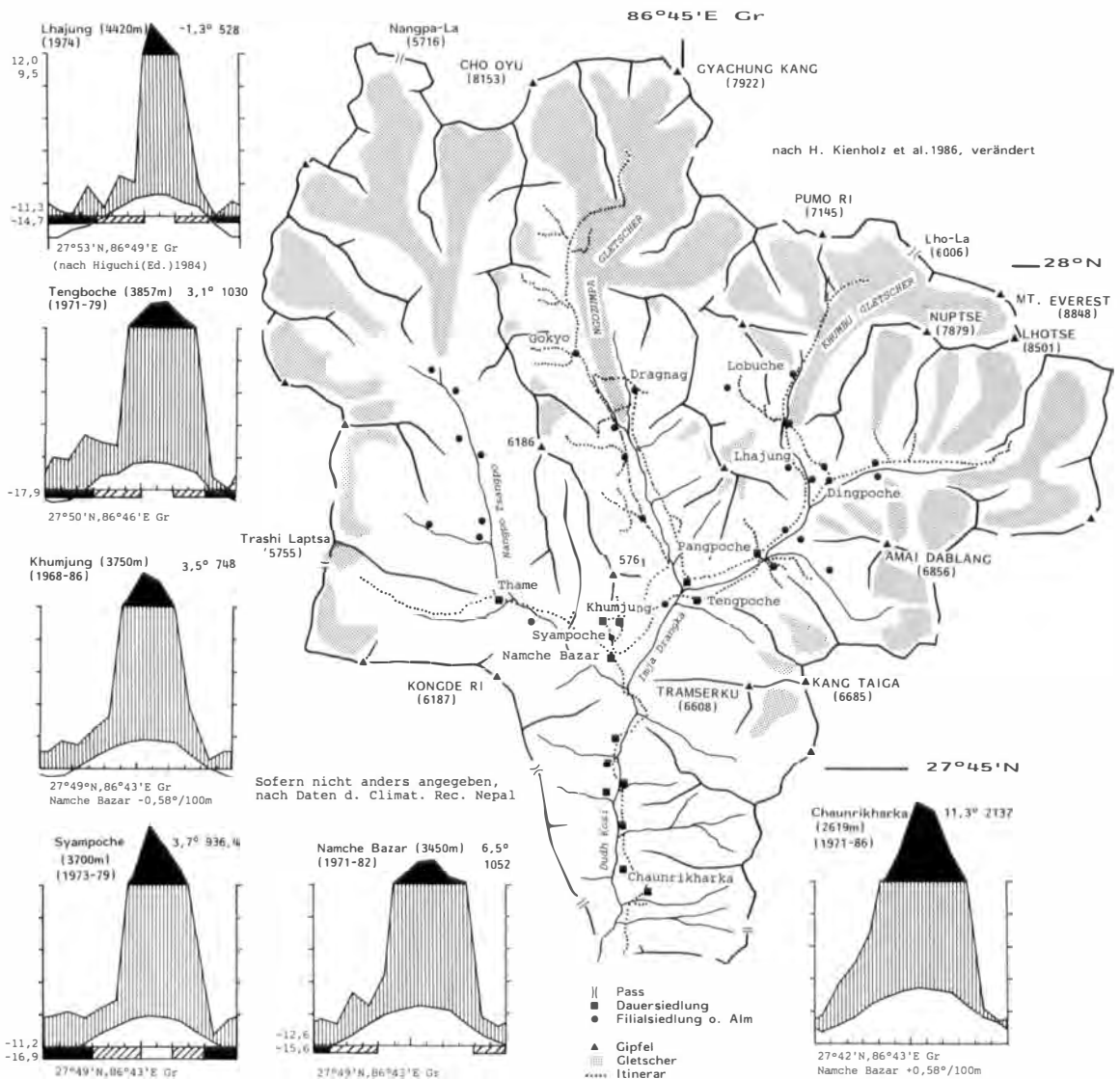


Abb. 1: Übersichtsskizze mit Itinerar und Klimadiagrammen
 Sketch map of the area with itinerary and climatic diagrams

nicht möglich; es muß nachfolgenden Untersuchungen vorbehalten bleiben, die hier gewählte grobe Formationskartierung zu korrigieren. In Ergänzung des eigenen Belegherbars konnten die Sammlungen des British Museum (Natural History), London, des R.B.G. Kew, der Herbarien Genf, Boulder/Colorado und der Bayer. Staatssammlung München (Sammlung Poelt) sowie der Sammlung von G. F. Smith, Stockport (UK), herangezogen werden. Das 11000 Gefäßpflanzenbelege umfassende Herbar von Haffner aus dem Jahr 1963 (HELLMICH 1964, S. 16) ist trotz vielfacher Anfragen leider bislang weder zu-

gänglich, noch wurden Bestimmungen publiziert. Damit bleiben die floristischen Kenntnisse ungenügend.

Klima und Witterung

Der Khumbu Himal wird dem Inneren Himalaya (STAINTON 1972) zugerechnet, ist aber durch seine nach Süden offenen Quertäler an das Wettergeschehen der Himalaya-Südabdachung unmittelbar angeschlossen. Wegen der südlich vorgelagerten Ketten

gehört er jedoch nicht zu den stärksten Staulagen der monsunalen Sommerregen. Die Datenlage für Niederschlag und Temperatur ist verglichen mit anderen Teilen des Himalaya sehr günstig (vgl. KRAUS 1966, HORMANN 1986; s. Abb. 1): Alle Stationen liegen auf Hangschultern im bewölkungsarmen Zentrum von Tälern und geben damit unrepräsentativ trockene Verhältnisse wieder. Wenn Monatssummen von Temperatur und Niederschlag im Verhältnis nach GAUSSEN in Klimadiagrammen nach WALTER (1955) dargestellt werden, erscheinen die Waldstufe und die untere Mattenstufe als ganzjährig relativ humid. Die Vegetation, die man als die längste Klimameßreihe interpretieren kann, gibt der Aussage der Klimadiagramme recht und erlaubt auch, solche Täler und Höhenstufen in ihrem Klimacharakter zu erfassen, aus denen keine oder nur kurzfristige Messungen vorliegen. Demnach ist der Khumbu Himal bis zu den höchsten Pflanzenvorkommen (Fund von *Arenaria bryophylla* in 6100/6200 m durch HEUBERGER 1954) ein humides Hochgebirge, denn es stand genügend Feuchtigkeit für das Wachstum einer geschlossenen Bodendecke an Normalstandorten zur Verfügung, und anstehender Fels ist (sofern seit ausreichender Zeit eisfrei) geschlossen von Flechten bedeckt (s. Photo 10). Auch Bartflechten sowie felsaufsitzende Gefäßpflanzen weisen den Khumbu als humid aus; die Interpretation HAFNERS (1979, S. 97, 101), der Khumbu habe ein relativ trockenes subtropisches Hochgebirgsklima und die Höhengrenze des Waldes sei eine Trockengrenze, kann nicht durch Befunde gestützt werden.

Das Niederschlagsregime ist eindeutig monsunale (75% Sommerregen), die höchsten 24- bis 72-Stunden-Niederschläge fallen jedoch im Frühjahr und Herbst, meist als Schnee (Climat. Rec. Nepal). Sie beruhen auf Weststörungen, die besonders den Hochtälern in nächster Nähe zum Himalaya-Hauptkamm Schneefälle bringen, welche wahrscheinlich für die Gletscherernährung entscheidend sind und die Saat- und Erntetermine für Gerste und Buchweizen, die beiden traditionellen Feldfrüchte vor Einführung der Kartoffel, gefährden können. Der Niederschlag in der oberen Nebelwaldstufe fällt im Sommer meist als Land- oder Nieselregen; die Mattenstufe, vorwiegend oberhalb eines aus Süden heraufdrückenden Wolkengürtels gelegen, erhält wahrscheinlich überwiegend Niederschlag durch Bergnebel der vom Talwind aus Süden herangeführten Talwindhangbewölkung. Nach den Witterungsbeobachtungen von 1982 und wahrscheinlich übertragbaren Beobachtungen aus dem Langtang (MIEHE 1990) dürfte die Mattenstufe einen prozen-

tual höheren Anteil an Winterniederschlägen haben als die Waldstufe. Die für den Himalaya sonst übliche Unterscheidung von zwei Klimaregionen, nämlich der Himalaya-Südabdachung mit Sommerregen in maximaler Höhe zwischen 2500 und ca. 3600 m und Einstrahlungsschutz in der winterlichen Trockenzeit durch Ausbildung eines konvektiven Wolkengürtels im Bereich des Nebelwaldes (2000–max. 3900 m), und des Inneren Himalaya mit abgeschwächten Sommerniederschlägen und Bergnebel aus der Talwindhangbewölkung als vorherrschender Bewölkungsart, ist im Khumbu nicht möglich, da es sich um nach Süden offene Quertäler handelt. Am ehesten ließe sich noch die Nebelwaldstufe der Klimaregion der Himalaya-Südabdachung zurechnen, während die Mattenstufe eher vom Talwind (und Bergnebel)-Regime, wie es für den Inneren Himalaya typisch ist, geprägt wird. Ungeachtet der Tatsache, daß die Mattenstufe in der Vegetationsperiode jenseits der Stufe höchsten Niederschlags liegt, bildet doch die Hauptkette, welche die Mattenstufe des Khumbu gegen die Hochgebirgshalbwüste der Himalaya-Nordabdachung abschirmt, eine Staulage, in der es im Bereich einer häufig zu beobachtenden Föhnmauer (vgl. REITER u. HEUBERGER 1960, MIEHE 1989) zu Schneeniederschlag kommt.

Die Wälder des Khumbu Himal unter dem Einfluß einer geregelten Waldnutzung

Die potentiellen natürlichen Waldgesellschaften der Mt. Everest-Südabdachung unterscheiden sich, soweit sie anhand der heutigen Waldverteilung und der Ersatzgesellschaften rekonstruierbar sind, nicht wesentlich von anderen Tälern des östlichen Zentralen Himalaya: Die stockwerk- und artenreichen Wälder der mittleren Nebelwaldstufe mit den größten Waldbäumen des Himalaya (*Tsuga dumosa*, *Quercus semecarpifolia*), einem dichten lorbeerwaldartigen Unterholz sowie einem üppigen Epiphytenbesatz (*Bartmoos*, Farne, *Vaccinium retusum*, *Rhododendron dalhousiae*), nehmen in der Himalaya-Südabdachung eine Höhenstufe zwischen 2500 und 3000 m ein. Sie erreichen in den Quertälern des Khumbu (am unteren Kartenrand) ihre nördlichsten und höchsten Vorkommen auf Schatthängen des Imja Drangka und des Nangpo Tsangpo in 3200 m. Darüber folgt die obere Nebelwaldstufe, charakterisiert durch *Usnea*-Bartflechten als epiphytische Leitform, mit Birkenwäldern auf allen nicht südexponierten Hängen, Rhododendron-Krummholzwäldern auf allen talwindabgewandten Hängen (welche in der Quertalland-



Photo 1: Orographisch rechte Imja Drangka-Flanke, westlich Trashinga, 3870 m, gegen ENE: Auf Schatthängen (1) ist naturnaher Birkenwald erhalten, darin extrazonal auf Graten und Rücken Tannen. Sonnhänge, wie unterhalb Phortse (2), sind heute waldfrei (2: ‚Dorfnahe Weiden‘), jedoch belegen tannenwaldbestandene Sonnhänge unterhalb des Klosters Tengpoche (3), daß Sonnhänge potentiell Tannenwald tragen. Der Tannenwald ist durch Brandrodung gelichtet und von Weidebuschwald (*Juniperus recurva*, *Rhododendron arboreum* v. *roseum*, *R. lepidotum*) eingenommen (4)

Photo: G. MIEHE (3. 9. 1982)

West of Trashinga, 3870 m, looking east-north-east: closed undisturbed *Betula utilis* forest on shady slopes (1) and *Abies spectabilis*-forest on sunny slopes (3) as the potential natural cloud forest. The fir forests were degraded to open *Rhododendron arboreum*-*Juniperus recurva*-woodlands through fire-clearing (4) and successively degraded to *Cotoneaster microphyllus*-covered village pastures (2) as anthropogenic climax vegetation of the sunny slopes

schaft des Khumbu überwiegend zugleich Schatthänge sind) und Tannenwäldern in allen Expositionen. Letztere stocken im Gegensatz zu Birken und Rhododendren, welche tiefgründige und humose Böden bevorzugen, meist auf skelettreicheren Böden und bilden nur auf Sonnhängen geschlossener Vorkommen, während sie auf Schatthängen vorwiegend die flachgründigen und im Gegensatz zum sonnseitigen Hang trockeneren Grate oder talwindbestrichenen Flanken einnehmen. Solche, von Birkenwäldern umgebenen Vorkommen bestehen häufig nur aus einer den Hang heraufziehenden Reihe von Tannen, die auf eine Hangrippe konzentriert sind. Sowohl ihre aktuelle Ausdehnung im Khumbu als auch ihre Standorte im übrigen Himalaya zeigen, daß die ge-

nannten Waldgesellschaften den natürlichen Bestand der oberen Nebelwaldstufe bilden. Wie in jeder anderen bergbäuerlichen Kulturlandschaft ist die heutige Waldverteilung jedoch das Ergebnis einer hier mehr als 400jährigen Nutzung, die ganz eindeutig der Schneedeckendauer und der Gangbarkeit untergeordnet ist: Offene, mäßig steile und grobblockarme Sonnhänge apert selbst nach stärkeren Schneefällen in wenigen Tagen aus, während die Schatthänge mit den Herbstschneefällen bis zum Einsetzen der Sommerregen schneebedeckt bleiben können. Daraus resultiert, daß die Tannenwälder offener Sonnhänge am stärksten durch die Rodung und nachfolgende Triftweide zurückgedrängt wurden und nur dort noch relativ nahe bei den Dauersiedlungen erhalten

sind, wo grobblockiges Substrat die Gewinnung von Weidefläche ausschließt (z. B. südlich Khumjung auf einer Bergsturz-Akkumulation, vgl. HEUBERGER 1986, Abb. 4). Die Birkenwälder und das Rhododendron-Krummholz haben dagegen ihr natürliches Areal weitgehend behalten, was etwa dadurch deutlich wird, daß ihre Bestandesgrenzen mit Reliefeinheiten (Grate, Tiefenlinien) übereinstimmen. Überall dort, wo ihre Ausdehnung ohne Anlehnung an das Relief ‚ausgefranst‘ erscheint, wurde durch Brandrodung und Holzschlag (auf Schatthängen meist letzteres, da Feuer dort wenig wirksam ist) die Weidefläche vergrößert (südlich des Ngozumpa-Gletschers: Rhododendron-Krummholzwald bei Lhabarma, s. Beilage I).

Im Gegensatz zu den genannten Waldtypen, über deren standortkundliche und syndynamische Stellung weitgehend Konsens besteht, ist bezüglich der Kiefernwälder aus *Pinus wallichiana* und der Wacholder-Haine (*Juniperus recurva*) umstritten, ob es sich um Primär- oder Sekundärwälder handelt. Für Kiefernwälder ist von HÄFFNER (1979, Bild 3) festgestellt worden, „das Dominieren der Kiefer ist anthropogen bedingt“, während er „subalpinen Wacholder-Wald“ als „standortmäßige Vegetation des Sonnenhangs“ (op.cit. S. 103) ansieht. Da beide Koniferen in der oberen Nebelwaldstufe, d. h. unter ganzjährig relativ humiden Standortbedingungen, auf Sonnhänge beschränkt sind und die Kiefer nur sporadisch, *Juniperus recurva* gar nicht verbissen wird, während die auf Sonnhängen dieser Höhenstufen sonst im Himalaya vorherrschenden Waldbäume (*Abies spectabilis*, *Quercus semecarpifolia*) vom Vieh bevorzugt gefressen werden, ist naheliegend anzunehmen, daß sowohl die Kiefer als auch der Wacholder durch die Triftweide in ihrer Ausbreitung begünstigt wurden. In Übertragung pollenanalytischer Ergebnisse aus dem 120 km westlich gelegenen Langtang (BEUG u. MIEDE, in Vorb.) ist wahrscheinlich, daß sich *Pinus* nach Brandrodung auf Kosten der Eichenwälder ausbreitet. Da *Pinus* etwa unterhalb Namche jedoch auch Standorte einnimmt, in denen *Quercus semecarpifolia* nur unter perhumiden Bedingungen an extrazonale Standorte abgedrängt wird, nämlich auf windausgesetzte, süd-exponierte Klippen, kann angenommen werden, daß sich die Kiefer von solchen Standorten nach Ausschaltung der Laubholz-Konkurrenten ausgebreitet hat. Analog zum Verhältnis zwischen *Pinus wallichiana* und *Quercus semecarpifolia* könnte für die Tannenwälder des Khumbu angenommen werden, daß die heutigen, von *Juniperus recurva* und *Rhododendron arboreum* dominierten Weidebuschwälder (vgl. Photo 1) anthropo-zogene Ersatzgesellschaften sind, die sich

bei steigendem Brennholzbedarf und anhaltender Triftweide zu baumfreien, aber von weide- und trittfesten Zwergsträuchern dominierten ‚dorfnahen Weiden‘ entwickeln. Kriechende, immergrüne *Cotoneaster microphyllus* und *Rhododendron lepidotum* sind die vorherrschenden Zwergsträucher anthropo-zogenen Schlußgesellschaft; tritt- und weidefeste Rosetten und Kriechpolster (*Androsace sarmentosa*, *Gentiana depressa*, *Cyananthus* spp., *Potentilla* spp., *Leontopodium brachyactis*) sowie Stauden (*Euphorbia sikimensis*, *Aconitum* spp., *Iris* spp.) haben sich bei selektivem Weidegang des Viehs, d. h. langanhaltender Unterbeweidung, ausgebreitet.

Die vom Menschen beeinflusste Waldgeschichte ist bislang nur anhand der heutigen Vegetationsverteilung rekonstruiert worden (MIEDE 1987, S. 209) und nimmt als Datum der Landnahme die von OPPITZ (1968) aus Chroniken erschlossene Überquerung des Nangpa-La durch die Sherpas im Jahr 1533 an. Danach würden sich nach initialer Brandrodung der Tannenwälder auf den Sonnhängen als Brandfolger (wie auch in der übrigen Himalaya-Südabdachung zu beobachten) *Juniperus recurva*-Sekundärwälder eingestellt haben, die erst mit dem Bevölkerungsanstieg seit Einführung der Kartoffel etwa um 1850 (v. FÜRER-HAIMENDORF 1964) sukzessive aufgelichtet wurden und heute nur unter religiösem Schutz (Tempelhaine) überdauert haben. Durch Holzkohlefunde in 162 cm Tiefe nahe Khumjung, die auf ein ¹⁴C-Alter von 1190 ± 125 B.P. datiert wurden (BYERS 1987, S. 212) und Holzkohle aus 31 cm Tiefe mit einem ¹⁴C-Alter von 1480 ± 360 B.P. (l. c.), kann bezweifelt werden, ob die erste Einflußnahme des Menschen erst 450 Jahre zurückliegt. Wie die von BYERS (1987, S. 212) und IVES (IVES u. MESSERLI 1989, S. 64) zitierten pollenanalytischen Ergebnisse von V. MARKGRAF (1987, unpubl.), wonach Getreidepollen bis in eine 2170 ± 330 B.P. ¹⁴C-datierte Schicht gefunden wurden, zu beurteilen sind, muß offenbleiben, da es im Himalaya bislang nicht gelungen ist, Getreidepollen unter den übrigen Gramineenpollen zu identifizieren (BEUG, mdl.). Damit bleibt einstweilen ungewiß, ob es sich bei den Holzkohlefunden um Zeugnisse von natürlichen Waldbränden, Jagdfeuern schweifender Jäger oder der Landnahme-Brandrodung handelt. Es ist jedoch zumindest wahrscheinlich, daß die Sherpas einen durch Feuer veränderten Waldbestand vorfanden, als sie, den Himalaya-Hauptkamm überschreitend, von oben in die Nebelwaldstufe eindrangen.

Die aktuelle Waldverteilung im Khumbu unterscheidet sich auffällig von allen bislang beschriebenen Hochtälern in der oberen Nebelwaldstufe des Hima-

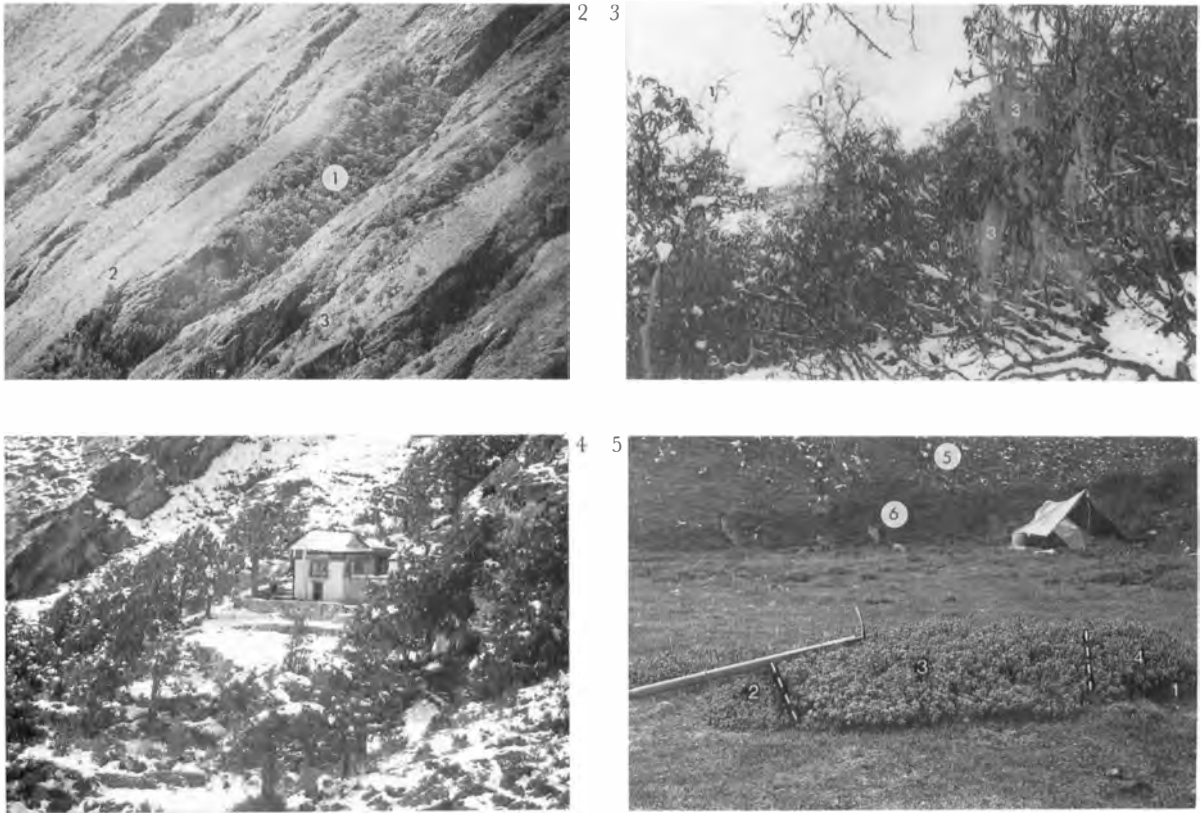


Photo 2: Oberhalb Phortse, 4020 m: Khumbui Yul Lha-Ostflanke in ca. 4000 m Höhe: Steile ostexponierte und im Talwindschatten gelegene Flanken tragen Birkenwald (1), während Tannen flachgründige Standorte am Grat (2) oder auf sonnseitigen Schichtflächen (3) einnehmen. Der potentiell natürliche Tannenwald ist nach Brandrodung und durch den selektiven Weidegang des Viehs *Cotoneaster*-stabilisierten Triftweiden („Dorfnahe Weiden“) gewichen
 Photo: G. MIEHE (8. 10. 1982)

Above Phortse, 4020 m: wind-sheltered steep E-facing slopes with birch forests (1), *Abies* (2) on shallow soils of ridges and the open slopes (3). The potential natural fir forests had been replaced after initial burning and continuous selective grazing by extensively grazed village pastures, stabilized against erosion by creeping *Cotoneaster microphyllus*

Photo 3: Gegenüber Pangpoche, 3960 m: NNE-exponierter Birkenwald (1 : *Betula utilis*) in talwindgeschützter Lage mit schneedruckdeformiertem Krummholz aus immergrünem *Rhododendron campylocarpum*, *R. fulgens* und *R. campanulatum* (2). *Usnea*-Bartflechten (3) zeigen häufigen Bergnebel an. In schneereichen Wintern bleiben Schatthänge der oberen Nebelwaldstufe von den ersten Herbstniederschlägen (Oktober) bis fast zum Einsetzen der Sommerregen (Juni) schneebedeckt

Photo: G. MIEHE (24. 10. 1982)

Birch (1) forest at 3960 m.a.s.l. opposite Pangpoche with evergreen Rhododendron woodlands (2) on wind-sheltered shady slopes. *Usnea* (3) indicates high frequency of mist. The caespitose rhododendrons are deformed by snow which covers the shady slopes between October and the onset of the summer rains

Photo 4: Oberhalb Pangpoche, 4100 m: Kultisch geschützter Hain von *Juniperus recurva* auf dem Sonnhang in 4000 m. Kronenschluß (6–8 m Bestandshöhe, 0,5 m Brusthöhendurchmesser) und Bartflechtenbehang belegen, daß der Sonnhang bis über 4000 m hinaus Nebelwald trägt (höchste Waldvorkommen in 4240 m, höchste skapose *Juniperus recurva* in 4470 m)

Photo: G. MIEHE (24. 10. 1982)

Above Pangpoche, 4100 m.a.s.l.: Relics of (sacred) *Juniperus recurva*-groves with closed canopy (6–8 m high, 0.5 m diameter at chest height) and *Usnea*-beard lichens show that cloud forests of a humid environment are the potential natural vegetation of the sunny slopes (highest groves in 4240 m.a.s.l., highest record of scapose *Juniperus recurva* in 4470 m.a.s.l.)

Photo 5: Zungenbecken von Macchermo, 4420 m: Windgeformte Polsterschwärme von Zwergstrauch-Rhododendren: die immergrünen Hohlkugelpolster haben eiförmigen Grundriß, Längsachse in Windrichtung, eine flach ansteigende Luvseite und eine steil abfallende Leeseite (1). Hinweise auf Frosttrocknis oder Schneeschliff fehlen. Die luvseitigen Zweige wachsen durch früh einsetzenden Stomatenschluß langsamer; nach Lee baut sich das Polster seinen eigenen Windschutz auf. Die ebene Terrassenfläche bietet augenscheinlich längeren Schneeschutz, benachbarte Süd- und Luvseiten tragen nur *Rhododendron nivale*, der den am stärksten windbeeinträchtigten Teil des Polsters bildet (2); das übrige Polster besteht aus *Rhododendron setosum* (3) und die Leeseite aus *Rhododendron anthopogon* (4). Im Vordergrund *Kobresia pygmaea* mit *Polygonatum hookeri*. Der talwindgeschützte Schatthang im Hintergrund (5) ist geschwendet worden; im Feuer ist die Moosdecke der Grobblecke verbrannt, deren jetzt weiße Gesteinsfarbe die durch Feuer beeinflussten Hänge anzeigen. Am Hangfuß sind Rhododendronheiden noch erhalten (6)

Photo: G. MIEHE (14. 9. 1982)

Near Macchermo, 4420 m.a.s.l.: wind-shaped dwarf cushions of *Rhododendron nivale* (2, on the windward side), *R. setosum* (3) and *R. anthopogon* (4). The cushion has an egg-shaped outline, the longitudinal axis in the direction of the valley-up-winds and the profile rises from the windward side to the culmination near the steep leeside (1). The branches on the windward side are growing slowly, presumably caused by early stomata closing with the onset of the valley-up-wind, but protecting the branches towards the leeside. *Rhododendron nivale* is the most drought- and cold-resistant of the Himalayan rhododendrons. In the foreground cyperaceae-mats. In the background the slope, naturally covered by rhododendron-heath, has been cleared by fire to improve grazing. The moss-cover of the boulders has been removed by the fire thereby now indicating the burned areas

laya durch das Vorhandensein von Wäldern in nächster Nähe zu den Heimgütern: Während der Waldbestand in anderen Teilen des Himalaya von der Entfernung zu den Siedlungen abhängig ist, sind im Khumbu zwar genutzte, aber doch kronenschließend dichte dorfnahen Birken- und Tannenwälder erhalten, welche relativ deutlich gegen die dorfnahen Weiden abgesetzt sind. Die Verteilung von Wald und Triftweide ist mindestens seit der photogrammetrischen Aufnahme durch ERWIN SCHNEIDER (1955–62) stabil geblieben (BYERS 1987, S. 78); häufig zitierte Beobachtungen über rapide Entwaldung erwiesen sich als nicht haltbar (vgl. IVES u. MESSERLI 1989, S. 64). Diese ungewöhnliche Waldverteilung beruht auf einer tradierten Waldordnung der Sherpas, welche den Holzeinschlag und die Waldweide, gemeindeweise von einem Waldhüter turnusmäßig überwacht, kontingentiert und regelt (HAFFNER 1979, S. 110). Die Ursachen der Entstehung dieser Waldordnung sind nicht bekannt. Da die Sherpas aus einer waldfreien Hochgebirgshalbwüste in die Nebelwaldstufe eindringen, sollten sie diese Waldordnung frühestens nach ihrer Landnahme entwickelt haben. Die Waldordnung wurde weder von denjenigen Sherpas, welche weiter in die Himalaya-Südabdachung vordrangen und heute den Solu besiedeln, praktiziert, noch von jenen Sherpas verbreitet, die nach mündlicher Tradition seit dem 17. Jahrhundert in den Helambu abwanderten. Da die Waldordnung auch religiös begründet ist, müssen Nützlichkeitsaspekte für die Beibehaltung oder Aufgabe nicht ausschlaggebend gewesen sein. Da die Waldordnung in den frühen Sherpa-Zuwanderungsgebieten fehlt, könnte geschlossen werden, daß sie erst relativ spät und viel-

leicht mit den Klostergründungen im Khumbu eingesetzt wurde¹⁾.

Die obere Waldgrenze

Während die obere Waldgrenze des Schatthangs meist naturnah erhalten ist, geben nur wenige Waldvorkommen Hinweise auf die Meereshöhe der potentiellen natürlichen oberen Waldgrenze auf dem Sonnhang. Es sind meist kultisch geschützte Haine aus *Juniperus recurva*-Bäumen (Photo 4); die höchstgelegenen befinden sich oberhalb Pangpoche in 4240 m. Hinweise von HAFFNER (1979, S. 101), auch *Juniperus communis*- und *J. indica*-Bäume seien an der oberen Waldgrenze vertreten, können durch Feldbefunde nicht bestätigt werden; ersterer kommt im Himalaya stets nur strauchwüchsig vor und hat seine östlichsten Vorkommen im Manangbhot, letzterer ist im Khumbu nur als Strauch in der Mattenstufe zu finden (vgl. STANTON 1972, Photo 15). Auf dem Schatthang desselben Talabschnitts, in welchem die o. g. *Juniperus*-Haine wachsen, d. h. unter ähnlichen Niederschlagsverhältnissen, stehen die höchsten Birkenwälder mit immergrünem Rhododendron-Krummholz im Unterwuchs in 4250 m, also geringfügig höher als die Wacholderhaine auf dem Sonnhang.

¹⁾ Ob Ähnliches für die im Himalaya einzigartige Grünlandwirtschaft der Sherpas angenommen werden darf, die ebenfalls nicht in deren weitere Siedlungsräume eingeführt wurde (obwohl es in einigen Tälern klimatisch möglich ist, im Frühherbst Heu zu machen), ist offen.

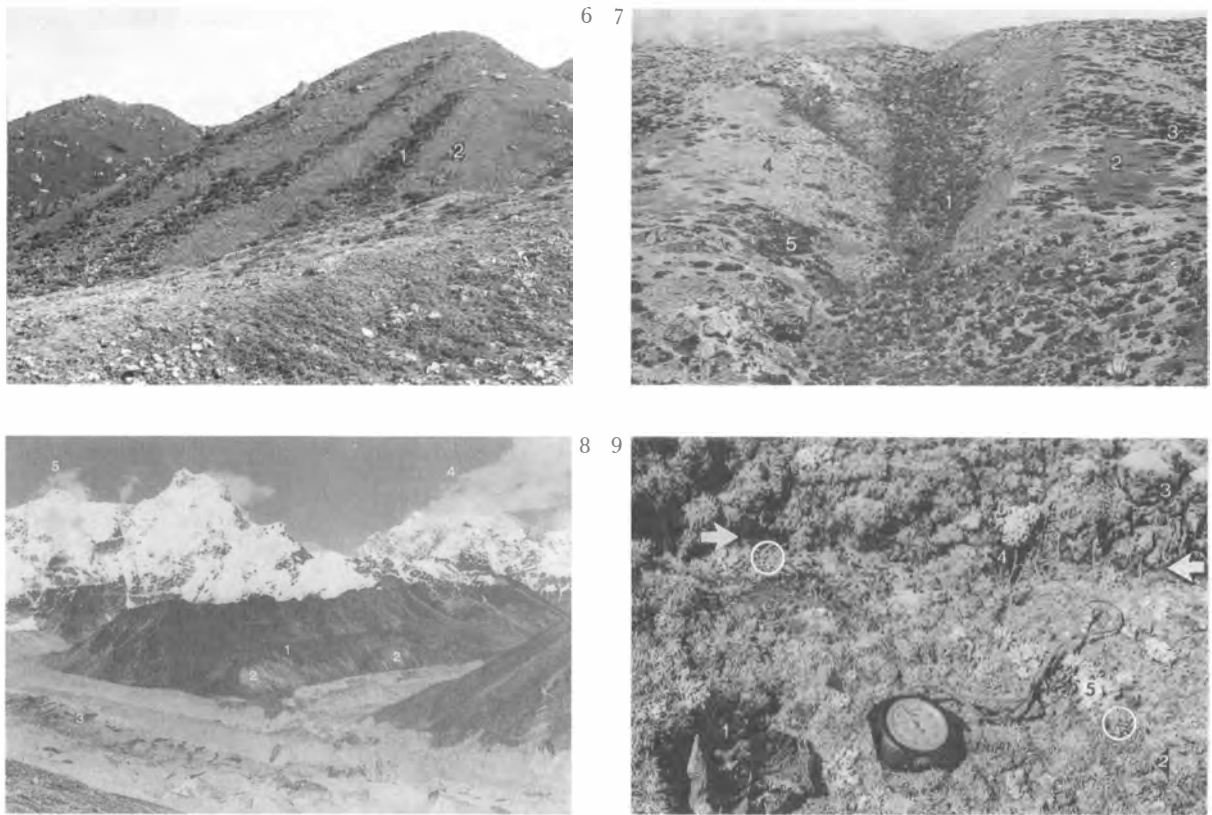


Photo 6: Orographisch rechtes Ufertälchen des Ngozumpa-Gletschers, 4750 m: *Rhododendron*-Zwergstrauchheiden (*R. setosum*, *R. anthopogon*) haben den ‚Biotopwechsel zur Erhaltung ihrer relativen Standortkonstanz‘ (H. u. E. WALTER 1953) in nur mäßig talwindbestrichene Runsen (1) vollzogen, wo sie im Winter durch eine Schneedecke geschützt sind. Während der Vegetationsperiode sind sie dem Talwind ausgesetzt und haben windgeformten Polsterwuchs angenommen (vgl. Photo 5). Die im Winter rasch ausapernden Luvseiten (E- und SE-Exposition) tragen geschlossenen Cyperaceenrasen (*Kobresia pygmaea*) (2)

Photo: G. MIEHE (20. 9. 1982)

Ablation valley of the Ngozumpa-Glacier, 4750 m. a. s. l. *Rhododendron setosum* and *R. anthopogon* are extra-zonally confined to the west-facing side of rounded ridges being protected by snow-cover against frost-drought in winter, but attaining the wind-shaped cushion form in summer (1). The windward slopes are covered with *Kobresia pygmaea* (2)

Photo 7: Westl. Periche, 4320 m, gegen NE auf die orograph. linken Ufermoränenterrassen: Zwischen wasserdurchrieseltem Blockschutt der Runse (1) die edaphische Schlußgesellschaft von Weidensträuchern, *Lonicera obovata*, *Berberis* spp., *Rosa sericea* und *Spiraea arcuata*. Im mäßigen Windschatten flacher Mulden *Rhododendron nivale* (2), in etwas stärker windausgesetzten Teilen mit windgeformten Polstern von *Juniperus squamata* (3), der aber in vollen Luvlagen (4) fehlt, dagegen eine Mulde auf der Luvseite wieder besetzt (5)

Photo: G. MIEHE (9. 10. 1982)

West of Periche, 4320 m. a. s. l.: dwarf shrubs of *Lonicera obovata*, *Salix* spp., *Berberis* spp., and *Spiraea arcuata* between boulders in moist ravines (1). *Rhododendron nivale* (2) and *Juniperus squamata* (3) in moderately wind-exposed slopes. On windward slopes the juniper is confined to water-surplus habitats (5), without water-surplus, it is probably too dry

Photo 8: Oberhalb des Donag Tsho, orograph. rechts d. Ngozumpa-Gletschers, 5320 m, gegen NE: Die Decke aus geschlossenem Rohhumus mit Cyperaceenrasen (1) ist stellenweise zerstört. In diesen Lockermaterialanrissen (2) wird das humos angereicherte feinmaterialreiche Substrat in Frostwechseln freibewegt und ist allenfalls randlich von Solifluktionssakrobalen besiedelt. Unter heutigen klimatischen Verhältnissen ist die Solifluktion stärker als das Regenerationsvermögen der Vegetation. Auf den Anrissen wird, in der Stufe gebundener Solifluktion, das Substrat frei bewegt. Das weist auf eine aktuelle Depression von Höhengrenzen hin. Ngozumpa-Gletscher (3), Gyachungkang (4), Cho Oyu (5)

Photo: G. MIEHE (5. 10. 1982)

Above Donag Tso, west of Ngozumpa-Glacier, 5320 m.a.s.l., looking NE: The cyperaceae-mats on alpine turf of morainic slopes (1) have been removed in a patchy manner and the open substratum is freely moved by solifluction and not recolonized by vegetation. Under present climatic conditions solifluction processes are obviously stronger than plant growth. The non-regeneration of the plant cover (at least since 1955, as proved by photos of E. SCHNEIDER) indicates a depression of temperatures. Ngozumpa-Glacier (3), Gyachungkang (4), Cho Oy (5)

Photo 9: Kala Pattar, 5260 m: Die Rohhumusdecke ist heute in der oberen alpinen Stufe nur noch lückig mit kleinen Büscheln von *Kobresia pygmaea* (schwarzer Pfeil) bedeckt, in polygonale Soden gerissen und in Stufen gegeneinander abgesetzt (weiße Pfeile). Die Rohhumuskante ist von Radialvollkugelpolstern (*Arenaria polytrichoides*: 3; *Tanacetum gossypinum*: 4) aufgesiedelt, der übrige Rohhumus von Rosetten (*Oreosolen wattii*: 1; *Saussurea taraxacifolia*; Kreise), Radialflachpolstern (*Arenaria bryophylla*: 2) und Kriechpolstern (*Leontopodium nanum*: 5)

Photo: G. MIEHE (15. 10. 1982)

Kala Pattar, west of Khumbu-Glacier, 5260 m.a.s.l.: The closed cover of alpine turf had been separated in a steplike way into polygonal sods. The exposed turf is colonized by cushions and rosettes; the cyperaceae-mat of *Kobresia pygmaea* is not longer closed

Berücksichtigt man zur Rekonstruktion des potentiellen natürlichen Verlaufs der oberen Waldgrenze auf dem Sonnhang dagegen nicht nur heute geschlossene Waldvorkommen, sondern auch solche solitär stehenden Bäume, welche nicht an extrazonale Sondernischenstandorte gebunden sind (was durch die Zusammensetzung der Krautschicht angezeigt ist) und die damit als Waldzeugen gelten können, so muß die max. Meereshöhe der aus *Juniperus recurva*-Bäumen gebildeten oberen Waldgrenze des Sonnhangs mit 4400 m angegeben werden (höchster Fund in 4440 m). Die obere Waldgrenze liegt damit auf dem Sonnhang ca. 200 m höher als auf dem Schattang. Die Befunde, die HAFFNER (1979, S. 101-103) für die Einstufung der oberen Waldgrenze als Trockengrenze anführt, sind unzureichend interpretiert: *Betula utilis* und *Rhododendron campanulatum* sind, wie in der „Vegetationsskizze im Bereich der oberen Waldgrenze vom Schattengang bei Pangpoche“ (l.c., Abb. 25) z. T. richtig wiedergegeben, auf die talwindabgewandten Seiten von Runsen beschränkt; die Interpretation, der Wald steige in den Kerbtälchen höher hinauf, ist dagegen unzutreffend. Auch die Ansprache der für den Sonnhang „standortgemäßen Vegetation aus trockenresistenten Gehölzen, vor allem Wacholderarten, und Berberis, Artemisia, Euphorbia, Ephedra und Caragana als Gewächse mit stark reduzierter Transpirationsfläche“ (l.c. S. 103) ist nur für *Ephedra* richtig. Die in solchen Triftweiden vorkommenden Arten der von HAFFNER genannten Gattungen (*Caragana* kommt im Khumbu nicht vor) sind Weideunkräuter aus Ersatzgesellschaften nach Rodung von Nebelwäldern. HAFFNER führt mit Bild 12, Tafel 6 (op.cit.) selbst den Gegenbeweis seiner Interpretation, die obere Waldgrenze sei eine Trockengrenze: kronenschließender Wald mit Bartflechtenbehang zeigt Nebelwald eines humiden

Hochgebirges an, jedoch sicher nicht Standortbedingungen an Trockengrenzen.

Die reliefuntergeordnete und talwindabhängige Verteilung von Zwergstrauchheiden und Cyperaceenrasen der alpinen Stufe

In der Mattenstufe wurden Rhododendron-Zwergstrauchheiden und Cyperaceenrasen als Flächensignaturen ausgewiesen (s. Beilage I); die übrigen Zwergsträucher der alpinen Stufe sind als schematische Einzelsignaturen eingetragen. Die Zwergstrauchwacholder (*Juniperus squamata* und die Strauchform von *J. indica*) nehmen Normalstandorte auf Sonnhängen ein²⁾, während *Lonicera obovata*, *Salix* spp., *Spiraea arcuata* in grobblockreichen, grundfeuchten Rinnen (Photo 7), *Potentilla fruticosa* v. *rigida* in blockreichem moränischen Lockermaterial und *Hippophae tibetana* auf jüngeren Schotterterrassen extra- und azonale Vorkommen haben. Die ‚Zwergstrauchgesellschaften in Hangrunsen‘ (vgl. Photo 7) und die ‚Zwergsträucher auf grobblockreicher Moräne‘ gehören wahrscheinlich zu edaphischen Schlußgesellschaften, die ‚Zwergsträucher auf Wildbachschottern‘ dagegen kennzeichnen eine primär progressive Sukzessionsphase.

Cyperaceenrasen und Rhododendronheiden bilden die für den gesamten vom Monsun geprägten Himalaya charakteristische Schlußgesellschaft in Normalstandorten. Immergrüne Rhododendronheiden sind im östlichen Himalaya (wozu der Khumbu Himal zumindest floristisch zu rechnen ist) mit *Rhododendron anthopogon* und *R. setosum* in der unteren Mattenstufe

²⁾ Ein instruktives Bestandesphoto gibt HAFFNER 1979, Tafel 6, Bild 11; ders. 1967, Abb. 3.

außer in windausgesetzten und südexponierten Lagen vorherrschend; wenn durch Rodungen für die Rhododendren auch Hänge in der thermisch günstigeren und niederschlagsreicheren Nebelwaldstufe frei geworden sind, können sie auch talwindausgesetzte Hänge (ca. 1000 mm/a) einnehmen. *Rhododendron nivale* ist, wohl als Konkurrenzflüchter, auf die obere Mattenstufe beschränkt. Er ist dort in windgeformten Polsterschwärmen in mäßig talwindbestrichenen Hangdellen bis zur Obergrenze geschlossener Matten zu finden. Cyperaceenrasen reichen von dieser Obergrenze (max. 5500 m) bis zur oberen Waldgrenze hinab, wo sie die Ersatzgesellschaft von Rhododendron-Krummholz und Rhododendron-Zwergstrauchheiden bilden. Unter den rasenbildenden Cyperaceen herrscht dort *Kobresia nepalensis* s.l. vor, während in der oberen Mattenstufe *Kobresia pygmaea* dominiert. Zwischen Cyperaceenrasen und Rhododendronheiden vollzieht sich ein deutlicher Biotopwechsel zur Erhaltung der relativen Standortkonstanz (WALTER, H. u. WALTER, E. 1953) im Grenzsäum von unterer und oberer Mattenstufe. Entscheidend für den Biotopwechsel ist wahrscheinlich die mit abnehmenden Sommertemperaturen und talaufwärts geringerm Niederschlag in der Vegetationsperiode zunehmende Frosttrocknisgefährdung der immergrünen Rhododendren: An ihren tiefstgelegenen Standorten, wo sie sekundär progressiv Rodungsflächen eingenommen hatten, sind auch 30° steile sonnseitige und talwindausgesetzte Hänge für sie noch tolerabel; ca. 1000 m höher, in 4500 m, und bei Niederschlägen, die vielleicht 600 mm/a betragen, muß *Rhododendron anthopogon* als der windempfindlichste der drei genannten Zwergsträucher den Biotopwechsel in die Windschattenlage N-exponierter Hänge vollziehen, während *Rhododendron nivale* als kälte- und trockenheitsunempfindlichster der himalayischen Rhododendren in solchen Talabschnitten 30° steile, S-exponierte Luvlagen einnimmt. Erst an der Mattenstufenobergrenze oberhalb von 5000 m und in Lagen, die seltener von der Talwindhangbewölkung befeuchtet werden, vollzieht er den Biotopwechsel in mäßig windausgesetzte Mulden. *Rhododendron setosum*, etwas weniger frosttrocknisempfindlich als *R. anthopogon*, besetzt die den Luvhängen nächstgelegenen Säume. Der Befund, daß die Rhododendren auch in nicht N-exponierten, aber windgeschützten Standorten wachsen, belegt, daß die Windbelastung für sie der limitierende Faktor ist. Da sie jedoch vielfach windgeformten Wuchs haben (vgl. Photos 5 und 6), Schneeschliff- oder Frosttrocknisschäden eher die Ausnahme sind, muß die Windformung während der Vegetationsperiode erfolgt sein. Die

windgeprägte Lebensform (sensu RAUH 1939) einerseits und die Beschränkung der Standorte auf mäßig windbestrichene Hangdellen und Runsen andererseits, die nach aller Erfahrung im Winterhalbjahr durch die Windverdriftung unter Schnee liegen, macht wahrscheinlich, daß die im Winter vom Wind entscheidend verstärkte Frosttrocknisempfindlichkeit der immergrünen Zwergsträucher den Biotopwechsel in Schneeschutzlagen erzwingt. Das alpine Vegetationsmosaik wäre demnach durch die Frosttrocknisgefährdung der Zwergstrauch-Rhododendren bestimmt, die alle nicht länger schneebedeckten Hänge für die in Winterruhe verharrenden Cyperaceen freigeben müssen.

Hochalpine Pflanzensukzessionen als Klimazeugen

Die zonale Vegetation der oberen alpinen Stufe besteht aus geschlossenen Cyperaceenrasen auf Rohhumus. Die höchsten Rasen reichen auf moränischen Hangschultern bis knapp 5500 m. Bestandsbildend ist die selten über 2 cm hohe und damit unbeweidete *Kobresia pygmaea* (s. Photo 9). Sie hat augenscheinlich den Rohhumus aufgebaut, hält ihn jedoch heute nicht mehr geschlossen bedeckt. Der Vergleich mit dichten *Kobresia pygmaea*-Rasen in grundfeuchten Ufertälchen könnte darauf hinweisen, daß Normalstandorte ohne extrazonale Wasserzufuhr heute zu trocken sind, um der Cyperacee das Wachstum in geschlossenen Rasen zu ermöglichen³⁾. Nutznießer solcher Veränderung von Standortbedingungen sind Polster und Rosettenpflanzen sowie Flechten, welche in dem offenen Rohhumus auf siedeln. Diese Sukzession von Cyperaceenrasen zu Fluren von Radialvollkugelpolstern, in denen *Arenaria polytrichoides* vorherrscht, ist besonders auf talwindausgesetzten Sonnhängen oberhalb von 5000 m weit fortgeschritten (HAFFNER 1979, S. 107).

Daneben gibt es in der oberen alpinen Stufe eine zweite, sehr viel einschneidendere Sukzession von Cyperaceenrasen zu Frostbodenfluren in Lockermaterialanrissen (s. Photo 8): Seit unbekannter Zeit ist in sonst geschlossenen hochalpinen Matten die Rohhumusdecke entfernt, und das z. T. mit humosem Feinmaterial angereicherte moränische Lockermaterial liegt offen und wird bei Frostwechsel frei

³⁾ Nicht auszuschließen ist freilich die Möglichkeit, daß *Kobresia* in Normalstandorten im eigenen Rohhumus kümmernd, während die episodische Überflutung von Schwemm Böden die mineralische Versorgung verbessert (POELT, mdl.).

bewegt, während die umgebenden ‚zonalen‘ Rasen mit ihrer Rohhumusdecke die Frostbodenbewegung binden. Die Offensubstratflächen sind, verglichen mit der Fläche, welche die Cyperaceenrasen einnehmen, unbedeutend; das auffällige Nebeneinander von Flächen mit gebundener und freier Solifluktion erscheint jedoch wert, diskutiert zu werden. Die Lockermaterialanrisse liegen sowohl auf beweideten Hängen, welche vor der Brandrodung Rhododendron-Zwergstrauchheiden getragen haben (NE Dragnag), als auch auf solchen, auf denen Beweidung 1982 ausgeschlossen und in der Vergangenheit unwahrscheinlich war (E des Ngozumpa-Gletschers: oberh. Gyubanare). Damit können für die initiale Öffnung der Rohhumusdecke sowohl anthropo-zoogene Ursachen (Brandrodung, Ausreuten von Zwergsträuchern, Viehtritt und Schaffung von Viehscheuerstellen) als auch natürliche (Rutschungen durchgetränkten Substrats über noch gefrorenem Untergrund, Frostaufbrüche, Trockenrisse, Verletzungen durch aufschlagende Felssturzböcke) angenommen werden.

Die Anrisse sind von einem Rohhumuskluft umgeben, das im Kontakt zum anstehenden Lockermaterial meist leicht eingekühlt ist und Ähnlichkeiten mit Kammeiskliffs hat. An diesen Kliffs brechen einzelne Soden ab, die auf dem Lockermaterial hangabwärts driften, dabei jedoch aufgelöst werden. Bemerkenswerterweise fehlen auf den Offensubstratflächen Hinweise auf eine Wiederbesiedlung durch die umgebenden Arten der Schlußgesellschaften oder irgendeine Art von Sukzession, die zeigt, daß eine Pionierpflanzengesellschaft die Entwicklung einer geschlossenen Pflanzendecke, welche das Rohsubstrat bindet, einleitet. Lediglich marginal zu den Bahnen stärkster solifluidaler Bewegung haben sich offene Frostbodenfluren (u. a. mit *Anaphalis cavei* und *Eriophyton wallichii*) angesiedelt, die jedoch spätestens durch das durch Herbstschneefälle durchfeuchtete und im Strahlungsklima des Nachmonsuns frostwechselbewegte Lockermaterial verwürgt werden. Eine Regeneration der Pflanzendecke fehlt; die Frostbodenbewegung erweist sich, nachdem eine schützende Boden- und Vegetationsdecke entfernt ist, als stärker. Damit würden aktuell in derjenigen Höhenstufe, die durch eine geschlossene Vegetations- und Bodendecke als Stufe gebundener Solifluktion gilt, Bedingungen der Stufe freier Solifluktion herrschen. Die zonale Vegetation als Indikator für die herrschenden Klimaverhältnisse wäre demnach das Relikt einer Bodenbildungs- oder Warmzeit. Der Vergleich von Phototheodolith-Aufnahmen ERWIN SCHNEIDERS vom November 1955 (vgl. Khumbu Himal Bd. 1,

4. Falz d. Panorama) mit Photo 8 aus dem Jahr 1982 zeigt, daß die Anrisse älter als 27 Jahre sind und sich in dieser Zeit weder begrünt noch drastisch ausgedehnt haben. Damit ist wahrscheinlich, daß die solifluidale Zerstörung der Bodendecke langsam fortschreitet und seit mehr als 30 Jahren eine Veränderung von Standortbedingungen anhält, welche mit einer Depression von Höhengrenzen und einer Temperaturerniedrigung gleichgesetzt werden dürfte. Das Herabrücken der Frostschuttstufe an der Mattenobergrenze wurde zuerst in Südtibet 1984 festgestellt (vgl. MIEDE 1988, Fig. 5 u. 6), 1986 auch im Langtang beobachtet (MIEDE 1990, Photo 27, 28) und 1989 für den gesamten Ostteil des Hochlands von Tibet bestätigt (J. HÖVERMANN, mdl.).

Grundlagen und Probleme der Vegetationskartierung

Die in der Karte (Beilage I) unterschiedenen Vegetationseinheiten beruhen auf Vegetationsaufnahmen entlang der Expeditionsroute. Ihre räumliche Abgrenzung stützt sich auf Diapositive (Kodachrome 25), in Panoramen aufgenommen mit Normal-, Weitwinkel- und Teleobjektiven des Kleinbildformats (Summicron 1:2/50 mm, Elmarit R 1:2,8/28 mm, Apo-Telyt R 1:3,4/180 mm mit Leicaflex SL), wann immer es Licht- und Bewölkungsverhältnisse zuließen. Die Vegetationsverhältnisse der photographisch dokumentierten Bergflanken sind damit durch die abgegangenen Transekte geprüft. Anhand der projizierten Dias wurden dann die Vegetationseinheiten im Maßstab 1:25 000 kartiert und dieser Entwurf in den Maßstab 1:50 000 gebracht. Die Flächensignaturen sind anhand vorherrschender Wuchsformen abgegrenzt; in der Waldstufe wurde nach den dominanten Arten der höchsten Baumschicht unterschieden. Die Einzelsignaturen für Strauch-Wacholder, Zwergsträucher in Hangrunsen, auf Wildbachschottern und grobblockreicher Moräne sowie für Quellrasen, Radialvollkugelpolster, Frostbodenfluren und *Rhodiola*-Bulte wurden nach den als regelhaft erkannten Standortbedingungen auch in Flanken eingetragen, die nicht begangen oder eingesehen werden konnten. Die kritische Überprüfung, ob die Regelhaftigkeit tragfähig ist, kann im Gelände mit Hilfe der Itinerarkarte vorgenommen werden. Im Gegensatz dazu sind ‚solitärstehende *Juniperus recurva* (Waldzeugen)‘ und ‚Bambus-Dickichte‘ als Positionssignaturen angegeben, desgleichen ‚verbuschtes Grünland‘ und ‚Schwendflächen‘. Die Unterscheidung von Ackerflächen und Grünland gibt die Verteilung im Herbst 1982 wieder. Das Grünland



Photo 10: Kala Pattar, 5660 m, gegen E: Nuptse (7879 m) und Khumbu-Gletscher mit Zackeneis (5240 m): Längere Zeit eisfreier Schutt und Fels ist geschlossen von schwarzen Krustenflechten bedeckt, die Formungsruhe anzeigen und eine gewisse Bergnebelhäufigkeit. Zusammen mit geschlossenen alpinen Matten ist der Flechtenbewuchs ein Hinweis, daß auch der Talschluß des Khumbu zu einem humiden Hochgebirge gehört. Beides fehlt in der Nordabdachung des Mt. Everest

Photo: G. MIEHE (14. 10. 1982)

Kala Pattar, 5660 m.a.s.l., looking E: Nuptse (7879 m.a.s.l.) and Khumbu-Glacier with ice-pyramids (5240 m.a.s.l.). Scree and solid rock, which have been deglaciated over a long time are covered by black crustose lichens, indicating a certain frequency of mist and the absence of weathering. The lichen-cover may be used as a characteristic feature of humid mountain environments

wird, völlig ungewöhnlich für den Himalaya, als Rotations-Mähweide bewirtschaftet, d. h. von Zeit zu Zeit umgepflügt. Die Abgrenzung der weidegeprägten Vegetationseinheiten (,Weidebuschwälder auf Schatthängen', ,Weidebuschwälder auf Sonnhängen', ,Dorfnahe Weiden') ist nicht zufriedenstellend gelöst. Für sie und für ,Wacholderhaine' wurde dieselbe Flächenfarbe gewählt. Die anthropo-zoogene

Schlußgesellschaft (,Dorfnahe Weiden') ist gegen die in der Legende voranstehenden Ersatzgesellschaften aufgrund fehlender Gehölze (außer Zwergsträuchern wie *Cotoneaster microphyllus*, *Rhododendron lepidotum*) abgegrenzt. Die Reihenfolge der Legende gibt damit im Groben eine durch Beweidung und Holzschlag in Gang gehaltene regressive Sukzession wieder. Lediglich die unter religiösem Schutz stehenden Wacholderhaine wie etwa in Pangpoche sind von dieser Degradation ausgenommen; für den Bestand oberhalb Thomale (ESE Thame) dagegen ist der Übergang zum offenen Hudewald fließend. Der Tatsache, daß es sich auf offenen Hängen gleicher Neigung und gleichen Substrats nicht um deutlich in einer Linie abgrenzbare Formationen handelt, sondern um eine kontinuierliche Veränderung, konnte nicht Rechnung getragen werden. Eine Farbschraffur hätte die Lesbarkeit wahrscheinlich weiter eingeschränkt. Für die Abgrenzung von zwei zwar syndynamisch unterschiedlichen, aber in der Wuchsformenverteilung ähnlichen Einheiten, nämlich den dorfnahen Weiden und den Rhododendronfluren, wurde als Kriterium die Obergrenze von *Cotoneaster microphyllus* in Normalstandorten gewählt. Hier ist erst mit Hilfe großmaßstäbiger pflanzensoziologischer Kartierungen eine befriedigende Lösung zu erwarten. Leider ist die Lesbarkeit der Karte an einigen Stellen durch die Wald- und Gebüsch-Signatur der Grundkarte erschwert; sie überlappt teilweise mit der Signatur für Weidebuschwald und hat Ähnlichkeit mit der Signatur für ,Zwergsträucher auf grobblockreicher Moräne'. Da beide überwiegend in verschiedenen Höhenstufen vorkommen und die Signatur der Grundkarte zudem in Grau wiedergegeben ist, diejenige der Vegetationskarte jedoch in Schwarz, dürfte die Verwechslungsmöglichkeit gering sein.

Die Kennzeichnung von Flächen, die sich durch Flechtenbewuchs auszeichnen, ist nur ein erster und sicher unzureichender Versuch, dieses prägende und sowohl für das Klima als auch für die klimatische Geomorphologie und ihre Dynamik wichtige Landschaftselement wiederzugeben. Während der Feldarbeiten konnten nur wenige Flechten gesammelt werden; eine genauere Bezeichnung dominanter Arten ist dem Verfasser als Nicht-Lichenologen verwehrt. Die Flechtenflora des Khumbu ist durch J. POELT, Graz, im Rahmen des ,Forschungsunternehmens Nepal Himalaya' erschlossen worden (POELT 1977ff.) und wird mit dem Forschungsprojekt ,Flechten des Himalaya' desselben Autors weitergeführt. Das Punktraster für Flechtenbewuchs greift im bergnebelreicheren Südteil des Blattes von der Frostschuttstufe bis in das subalpine Krummholz hinab.



Photo 11: Gyazumpa, 5250 m, gegen W: Bulte von *Rhodiola fastigiata* entlang von Wildbächen in der Frostschuttstufe als höchste Vorposten einer aktuellen Bodenbildung
Photo: G. MIEHE (26. 9. 1982)

Gyazumpa, west of Ngozumpa-Glacier, 5250 m.a.s.l.: hemispheric cushions of Crassulaceae (*Rhodiola fastigiata*) along braiding streams of the free solifluction belt

Hier sind es vor allem Strauch- und Blattflechten, die auf allen bergnebelexponierten Flächen auffallen. Weiter talaufwärts und vor allem in der oberen alpinen Stufe deckt das Flechtenraster auch den Cyperaceenrasen, seltener dagegen Rhododendronheiden. Dieser Wechsel trägt der Beobachtung Rechnung, daß mit der talaufwärts selteneren Talwindhangbewölkung die epiphytischen Blatt- und Strauchflechten zurücktreten, während die Krustenflechten vor allem im lückig gewordenen Cyperaceenrasen aufsielen und heute häufig höhere Deckungsgrade erreichen als die Blütenpflanzen. In der Frostschuttstufe zeigt der Flechtenbewuchs Formungsruhe an.

Die Ausdehnung von Schnee, Firn und Blankeis richtet sich nach den Beobachtungen vom Herbst 1982. Seit der Kartierung ist es unterhalb des Langmoche-Gletschers durch den ruckartigen Abfluß seines Zungenbeckensees am 5. 8. 1985 (VUICHARD u. ZIMMERMANN 1987) zu Verwüstungen gekommen, die zu einer teilweise beträchtlichen Ausweitung der Uferanrisse und des Wildbachbettes führten. Der Stand von 1982 hat damit nur historischen Wert. Für die Schotterbetten und Ufer des Imja Drangka ist eine ähnliche Katastrophe durch den Ausbruch des Zungenbeckensees des Imja-Gletschers zu erwarten.

Danksagung

Die Vegetationsaufnahmen für die 'Vegetationskarte des Khumbu Himal' wurden auf einer von

Prof. Dr. M. Kuhle, Göttingen, geleiteten und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Expedition gemacht; die Herstellung der Druckvorlagen und den Druck selbst finanzierte desgleichen die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Die Astralzone der Grundkarte wurden durch die hilfreiche Intervention von Prof. Dr. E. Schneider von der Arbeitsgemeinschaft für Vergleichende Hochgebirgsforschung zur Verfügung gestellt. Die kartographische Umsetzung der Entwürfe ist durch Prof. Dr. J. Hövermann, Göttingen, großzügig unterstützt worden und durch das freundliche Entgegenkommen von Prof. Dr. H. Ollmann, Hamburg, in selbstlosem Einsatz von den Herren H. Klatte und H. Wohltorf, beide Hamburg, bis zum Abschluß der Druckvorlagen vorangetrieben worden. Die Bestimmung des Expeditionsherbars erfolgte wieder im British Museum (Natural History), London, und dem Herbarium des R. B. G. Kew. Dem Keeper of Botany, Herrn J. F. M. Cannon, dem Head of General Herbarium, Herrn A. O. Chater, sowie dem Kurator, Herrn A. R. Vickery, gilt mein Dank für die gewährte Arbeitsmöglichkeit und Hilfe bei der Bestimmung. Desgleichen ist für die Bestimmung Herrn J. D. A. Stainton, London, Frau M. Tebbs, BM, Frau C. Whiteford, BM, Frau S. Gould, BM, Dr. T. A. Cope, Kew, Prof. Ho, Xining, Dr. M. Farille, Samoëns, und Prof. J. Poelt, Graz, zu danken. Herrn Dr. G. F. Smith, Stockport (UK), und Herrn A. Byers, Boulder/Colorado, danke ich für die Überlassung ihrer unpublizierten Pflanzenlisten. Der Aufenthalt am British Museum wurde freundlicherweise durch das British Council unterstützt. Der Druckerei Hermann F. R. Stumme, Hamburg, danke ich für die Sorgfalt beim Druck der Karte.

Literatur

- BEUG, H.-J. u. MIEHE, G.: Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte des Langtang-Tals (Innerer Himalaya, Nepal). In Vorb.
- BYERS, A.: An assessment of landscape change in the Khumbu region of Nepal using repeat photography. In: Mountain Research and Development 7, 1987, S. 77-81.
- : Landscape change and man-accelerated soil-loss: the case study of the Sagarmatha (Mt. Everest) National Park, Khumbu, Nepal. In: Mountain Research and Development 7, 1987, S. 209-216.
- Climatological Records of Nepal 1967-1968, 1969, 1970, 1971-1975, 1976-1980, 1980-1982, 1983-1984, 1985-1986. Suppl. Data 1948-1975.* Department of Irrigation, Hydrology and Meteorology, Ministry of Water Resources. Kathmandu.

- FÜRER-HAIMENDORF, CHR. V.: The Sherpas of Nepal. London 1964.
- HAFFNER, W.: Ostnepal – Grundzüge des vertikalen Landschaftsaufbaus. In: HELLMICH, W. (Hrsg.): Khumbu Himal, Bd. 1. Berlin 1967, S. 389–426.
- : Nepal Himalaya. Untersuchungen zum vertikalen Landschaftsaufbau Zentral- und Ostnepals. Erdwiss. Forsch. 12. Wiesbaden 1979.
- HELLMICH, W.: Einführung in die Arbeiten des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya. In: HELLMICH, W. (Hrsg.): Khumbu Himal, Bd. 1. Berlin 1964, S. 3–19.
- HEUBERGER, H.: Der Bergsturz von Khumschung, Mount-Everest-Gebiet, Nepal. In: Material und Technik 14, 1986, S. 175–181.
- HIGUCHI, K. (Ed.): Meteorological data in Khumbu and Shorong Himal east Nepal. In: J. Japan. Soc. Snow and Ice 1984, S. 132–134.
- HORMANN, K.: Berechnete Niederschlagskarten der Himalayaländer. In: Göttinger Geograph. Abh. 81, 1986, S. 167–183.
- IVES, J. D. u. MESSERLI, B.: The Himalayan dilemma. London 1989.
- KRAUS, H.: Das Klima von Nepal. In: HELLMICH, W. (Hrsg.): Khumbu Himal, Bd. 1. Berlin 1966, S. 301–321.
- MIEHE, G.: Neue Befunde zur Vegetationshöhenstufung am Mt. Everest. In: Verh. Deutsch. Geographentages, Bd. 45, 1987, S. 208–214.
- : Geoecological reconnaissance in the alpine belt of southern Tibet. In: GeoJournal 17, 1988, S. 635–648.
- : Vegetation patterns on Mt. Everest as influenced by monsoon and föhn. In: Vegetatio 79, 1989, S. 21–32.
- : Khumbu Himal (Mt. Everest – Südabdachung, Nepal). Vegetationskarte 1 : 50 000 und Kommentar. In: Mitt. Bundesforschungsanstalt f. Forst- und Holzwirtschaft Hamburg 180, 1989, S. 1–137.
- : Langtang Himal – Flora und Vegetation als Klima-zeiger und -zeugen im Himalaya. A Prodrum of the Vegetation Ecology of the Himalayas. Mit einer kommentierten Flechtenliste von Josef Poelt. Dissertationes Botanicae 158, Stuttgart 1990.
- OPPITZ, M.: Geschichte und Sozialordnung der Sherpa. Khumbu Himal, Bd. 8. Innsbruck 1968.
- POELT, J.: Flechten des Himalaya. Khumbu Himal, Bd. 6. Innsbruck 1977, S. 447–458.
- RAUH, W.: Über polsterförmigen Wuchs. In: Nova Acta Leopoldina, N.F. 17, 49, 1939, S. 267–508.
- REITER, E. R. u. HEUBERGER, H.: A synoptic example of the retreat of the Indian summer monsoon. In: Geografischer Annaler 62, 1960, S. 17–35.
- SCHWEINFURTH, U.: Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya. Bonner Geograph. Abh. 20, 1957.
- STAINTON, J. D. A.: Forests of Nepal. London 1972.
- TROLL, C.: Das Pflanzenkleid des Nanga Parbat. In: Wiss. Veröff. Deutsch. Mus. Länderkde., N.F. 7. Leipzig 1939, S. 149–193.
- UICHARD, D. u. ZIMMERMANN, A.: The 1985 catastrophic drainage of a moraine-dammed lake, Khumbu Himal, Nepal: cause and consequences. In: Mountain Research and Development 7, 1987, S. 91–110.
- WALTER, H.: Die Klimadiagramme als Mittel der Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke. In: Ber. Deutsch. Bot. Ges. 68, 1955, S. 331–344.
- WALTER, H. u. WALTER, E.: Einige allgemeine Ergebnisse unserer Forschungsreise nach Südwestafrika 1952/53: Das Gesetz der relativen Standortkonstanz; das Wesen der Pflanzengemeinschaften. In: Ber. Deutsch. Bot. Ges. 66, 1953, S. 228–236.

Karten

- Khumbu Himal (Nepal) 1 : 50 000. Freytag-Berndt & Artaria, 2. Aufl. Wien 1978. E. Schneider, F. Ebster.
- Mt. Everest 1 : 50 000. Eidg. Topographie, Wabern, Be./ National Geographic Magazine Nov. 1988. Washington DC.
- KIENHOLZ, H., BICHSEL, M. u. ZIMMERMANN, A.: Khumbu Area, Nepal. Mountain Hazards Index Map 1 : 50 000. Hallwag, Bern 1985.
- DOBREMEZ, J. F.: Carte écologique du Népal – Api 1 : 250 000. Cahiers népalais 10, CRNS. Paris 1984.
- DOBREMEZ, J. F. u. JEST, C.: Carte écologique du Népal. Région Annapurna – Dhaulagiri. In: Doc. Carte Vég. Alp. Bd. 9, 1971, S. 147–190.
- DOBREMEZ, J. F., JEST, C., TOFFIN, G., VARTANIAN, M.-C. u. VIGNY, F.: Carte écologique du Népal. Région Kathmandu – Everest 1 : 250 000. Cahiers népalais 4, CRNS. Paris 1974.
- DOBREMEZ, J. F. u. SHAKYA, P. R.: Carte écologique du Népal. Biratnagar – Kanchenjunga 1 : 250 000. Cahiers népalais 7, CRNS. Paris 1977.
- DOBREMEZ, J. F. u. SHRESTHA, T. B.: Carte écologique du Népal. Région Jumla – Saipal 1 : 250 000. Cahiers népalais 9. CRNS. Paris 1980.

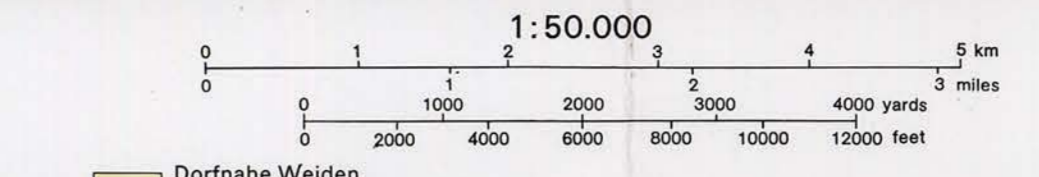
455 88°W 460 465 88°W 470 475 88°W 480 88°W 485 88°W 490 88°W 495 88°W 500 87°W

Vegetationskarte des Khumbu Himal

von Georg Mähe

Pflanzengesellschaften in der Waldstufe Plant communities of the forest belt

- Immergrün Höhen- und Nebelwald – mittlere Stufe
cloud forest-middle belt**
- Schichtwälder mit *Tsuga dumosa*
moist-covered rain forest with *Tsuga dumosa*
 - Kiefernwälder windausgesetzter, sonnseitiger Flanken (*Pinus wallichiana*)
Pine-forests of windblown, sunny slopes
- Immergrün Höhen- und Nebelwald – obere Stufe
cloud forest-upper belt**
- Tannenwälder (*Abies spectabilis*)
fir-forests
 - Birkenwälder (*Betula utilis*)
birch-forests
 - Rhododendron-Krummholzwälder (*Rhododendron fulgens*,
R. campylocarpum, *R. campanulatum*) Rhododendron-woodlands
 - Waldschwälder auf Schatthängen
grazed open woodlands on shady slopes
 - Wacholderheide (*Juniperus recurva*)
Juniper-woodlands
 - Waldschwälder auf Sonnhängen
grazed open woodlands on sunny slopes
 - solitärstehende *Juniperus recurva* (Waldzeugen)
solitary Junipers (forest remnants)



Pflanzengesellschaften in der Mattenstufe Plant communities of the alpine belt

- Rhododendron-Zwergstrauchfluren einer feuchten Mattenstufe
(*Rhododendron anthopogon* *R. setosum*, *R. nivale*)
Most alpine shrubs, mainly dwarf rhododendrons
- Wacholder-Zwergstrauchfluren in Cyperaceen-Rasen (*Juniperus squamata*)
juniper dwarf shrubland on sunny, windblown slopes *Kobresia pygmaea*-covered
- Zwergsträucher in Hangrinnen (*Lonicera* spp.)
dwarf shrubs in ravines
- Zwergsträucher auf Wildbachschottern (*Hippophae tibetana*)
dwarf shrubs on the banks of braiding streams
- Zwergsträucher auf großblockreicher Moräne (*Potentilla fruticosa* v. *rigida*)
dwarf shrubs between moranic boulders
- Quellrasen (*Kobresia schoenoides*)
Kobresia schoenoides flushes
- Cyperaceen-Rasen (*Kobresia pygmaea*)
Cyperaceae-mats
- Radialkugelpolster (*Arenaria polytrichoides*)
hemispheric cushions

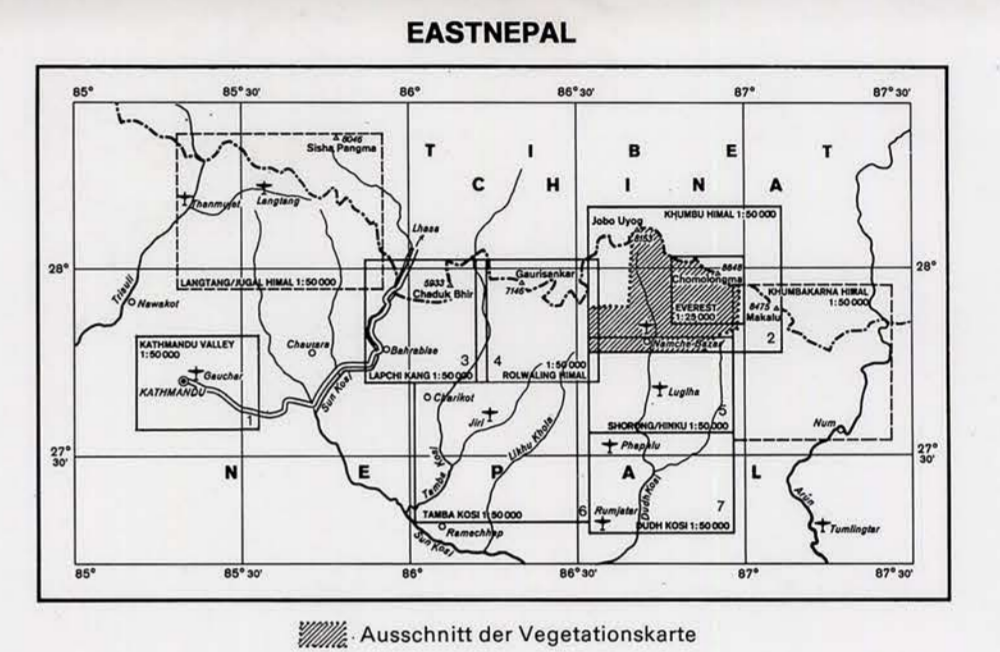
Pflanzengesellschaften der Frostschuttstufe Plant communities of the free solifluction belt

- Frostbodenfluren (*Gentiana uralis*)
free solifluction adapted plant communities
- Rhododol-Sulte an Gerinnen der Frostschuttstufe
hemispheric *Rhododol* cushions along streams of the free solifluction belt
- Beflehteter Fels in der Wald-, Matten- und Frostschuttstufe
Lichen covered rock of the forest belt, the alpine belt and the free solifluction belt

Nutzflächen, Brachen, Schwendflächen cultivated areas, fallows, burned areas

- Ackerflächen
arable lands
- Grünland
meadows
- verbuschtes Grünland ("Sozialbrache")
fallow meadows
- Swendflächen
burned areas

Vegetationsaufnahme, Herstellung der Druckvorlagen und Druck
finanziert mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft

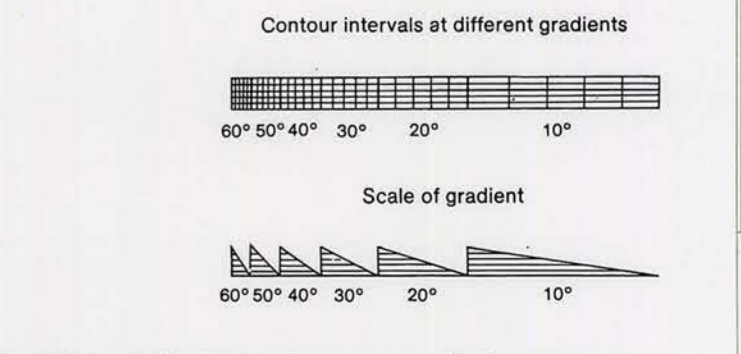


First Edition 1965
Trigonometrical starting points from the SURVEY OF INDIA (Gauß-Krüger, 87°).
Fieldwork: E. Schneider, with collaboration of: S. Aebler, F. Bittler, P. Brauer, F. Elmiger, G. Kerner and H. Schriegl, 1955-1963.
Calculations and elaboration of the photogrammetrical work: E. Schneider
Representation of rocks and terrain by F. Ebner.
The names are given according to the way of spelling by P. Aufschneider
Artificial names not familiar to natives, but in general use as follows:
Baruntse/Chang La/Changri La/Changste/Cho Polu/Gyachung Kang/
Iawa La/Kangchungtas/Lho La/Lhotse/Lhotse Shar/Makalu La/
Mingbo La/Mount Everest/Nup La/Nuptse/Pang Ri/Phengbozi/
Pumo Ri/Sagarmatha/Sherpani Col/South Col/West Col.
The glaciers have been named by peaks above, or by settlements below.
Edited by: Arbeitsgemeinschaft für vergleichende Hochgebirgsforschung
Chairman: W. Hellmich.

Sponsored by: Fritz Thyssen Foundation, Cologne.
Elaborated in the survey office of the Deutscher Alpenverein and the Österreichischer Alpenverein at Innsbruck.
Kartographische Anstalt Freytag-Berndt und Artaria, Vienna, published and printed the map.

Second Edition 1978
Topographical completion: R.G. Finsterwaller, Munich 1978.
Completion and correction of names: H. Heuberger, Munich and Sherpa Uklien, Khumjung 1966.
Printed by Freytag-Berndt und Artaria, Vienna.

- Legende der Grundkarte**
- Häuser und Trockenmauern
houses and stone walls
 - Wege
paths
 - Filze
rivers
 - Seen
lakes
 - Esspalten und -wände
Open crevasses and ice walls
 - Moränen
Moraine
 - Frostschutt
scree
 - Fels
Rock
 - 200m-658ft
40m-131ft
Höhengaben in Meter
Altitude in metres



Die Grundkarte wurde freundlicherweise von der Arbeitsgemeinschaft für Vergleichende Hochgebirgsforschung zur Verfügung gestellt.

455 88°W 460 465 88°W 470 475 88°W 480 88°W 485 88°W 490 88°W 495 88°W 500 87°W