

## VEGETATIONSGRENZEN IM EXTREMEN UND MULTIZONALEN HOCHGEBIRGE (ZENTRALER HIMALAYA)

Mit 4 Photos und 2 Beilagen (VII-VIII)

GEORG MIEHE

*Summary:* Vegetation limits in extreme and multizonal high mountains (Central Himalayas)

Patterns of plant life-forms in the Central Himalayas (83°–84° E.) are presented together with remarks on the upper treeline of Mt. Everest and Nanga Parbat. In addition, causal aspects are discussed by comparing habitats with differing ecological conditions.

The area of investigation, the Dhaulagiri- and Annapurna-Himalayas (28° 14'–29° N/83° 14'–84° 05' E.), has the greatest vertical distance of the continental earth's surface and a sharp decrease of precipitation from 6000 mm/p. a. in the Lower Himalayas to 300 mm/p. a. in the Tibetan Himalayas, an area spanning 50 km. These conditions produce extremely varied plant life-forms ranging from sub-tropical mountain forest to cloud forest, conifer forest and semi-desert dwarf scrublands. Between 28° 20' (Lower Himalayas) and 28° 40' N (Tibetan Himalayas) the upper tree-line climbs up to 4400 m (Birch-woodlands on the shady slope only). Although deduction would lead one to conclude that north of the tropic the sunny slope maintains a higher tree-line than the shady slope, the upper tree-line in the Inner Himalayas between 83 and 84° E. lies up to 200 m higher on the northward- than on the southward-exposed slope. This is strictly due to the occurrence of thickets of moist alpine scrub at the southward-exposed upper tree-line. Where there are scarce and open alpine scrubs only, the tree-line on both slopes lies at 4200 m. The upper tree-line of Nanga Parbat and Mt. Everest is higher on the southward-exposed slope. This situation could be inverted by valley winds which depress the upper tree-line of junipers in the Dhaulagiri- and Annapurna-Himalayas some 100 m and the upper border of sub-nival Rhododendron-woodlands in the Khumbu-Himal.

In the Main Himalayan Range steep walls of v-shaped gorges are covered with tussocks, ascending from a sub-tropical 1500 m to a periglacial 4100 m. They seem to require a minimum amount of rainfall equal to 1200 m/p.a. and are found both in habitated valleys, where people still burn the grass, and in hitherto unexplored gorges.

### Vorbemerkung

Im zentralen Himalaya trennt der Hauptkamm des Gebirges eine euhumide Luv- von einer semiariden Leeseite und ist, auch in Lee, so tief zertalt, daß ein Maximum an Höhenstufen Platz findet. Durch steile klimatische Gradienten ist ein engräumiges Gefügemuster der Vegetation ausgebildet.

Hochgebirge mit vielgestaltigem Formenwandel auf engem Raum bieten sich für exemplarische Darlegungen an, weil sich, nach der Beschreibung von Befunden, ein Versuch der Diskussion ihrer Ursächlichkeiten durch den Vergleich wechselnder Rahmenbedingungen engräumig und damit anschaulicher darlegen läßt.

Vorliegende Beobachtungen gehen auf Feldarbeiten zurück, die 1976 und 1977 auf zwei viermonatigen Expeditionen in den Dhaulagiri- und Annapurna-Himal und einer dreimonatigen Expedition 1982 in den Khumbu-Himal durchgeführt werden konnten. Die Expeditionen wurden geleitet von Prof. Dr. Matthias Kuhle, Geographisches Institut der Universität Göttingen, und finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Das Herbar dieser Expeditionen befindet sich im Britischen Museum (Natural History, London) und ist dort bestimmt worden. Den Befunden aus dem Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya werden zum Vergleich Beobachtungen aus dem Nordwesten des Gebirgsbogens vom Nanga Parbat (TROLL 1939) und die Befunde aus dem Khumbu-Himal im östlichen Zentral-Himalaya beigefügt.

### Lage des Untersuchungsgebietes, Vertikaldistanz, Klima und Witterung

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Mitte des WNW-ESE streichenden Himalaya-Bogens (28° 14'–29° N/83°–84° 05' E. Gr.) und ist nach seinen höchsten Erhebungen, dem Dhaulagiri I (8172 m) und der Annapurna I (8091 m) benannt. Es hat die Eigenschaften eines multizonalen Hochgebirges (s. WALTER 1977, S. 22) und ist durch die größte Reliefenergie der kontinentalen Erdoberfläche ein extremes Hochgebirge (s. KUHLE 1982, S. 7ff.)<sup>1)</sup>.

Der Hohe Himalaya bildet hier mit dem Dhuala-Himal eine 55 km und dem Annapurna-Himal eine 62 km lange und bis über 6000 m nahezu geschlossene Mauer, in deren Luv die Himalaya-Vorketten liegen, ein bewaldetes Bergland, das, mit Gipfelhöhen bis 4772 m, nach N, im Übergang zum Hohen Himalaya, bis über die Waldgrenze aufragt und monsunale Niederschläge bis über 6000 mm/J. erhält<sup>2)</sup>.

Der Innere und der Tibetische Himalaya liegen im Regenschatten mit Niederschlägen, die von ca. 700 mm (Dhumpu Gateway) auf ca. 300 mm (Jomosom) abnehmen. Winter-Frühjahrsregen mit regelmäßigen (Monsun) Hochsommerregen sind typisch<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Dhaulagiri I Westwand 4622 m, Dhaulagiri I Ostflanke 5672 m; zwischen Miristi Khola-Kali Gandaki-Mündung und dem Gipfel des Annapurna I beträgt die Vertikaldistanz 6350 m, die Horizontal-distanz 17300 m.

<sup>2)</sup> Lumle (28° 18' N/83° 48' E. Gr., 1615 m) langjährig mehr als 6000 mm Jahresniederschlag, frdl. mdl. Mitt. J. v. BARGEN, Nov. 1983.

Es ist ein Hochgebirge mit höchsten Erhebungen bis 6636 m, intramontanen Nadelwäldern an der Trockengrenze des Waldes und Dornzweigstrauchpolsterfluren in der Hochgebirgshalbwüste sowie einer für arides Hochgebirge kennzeichnenden, fast 3000 m mächtigen Höhenstufe mit periglazialer Formung als Funktion der Frostwechselfrequenz mit einer Untergrenze durch abnehmende Frosteintrittstiefe und einer Obergrenze durch geringe Auftautiefe (s. KUHLE 1978).

Ein im Monsun nahezu tägliches Kondensationsniveau liegt im Luv des Annapurna-Himal bei ca. 2400 m, im Inneren Himalaya bei 3500 bis 4000 m und im Tibetischen Himalaya zwischen 4200 und 4500 m. In allen größeren Tälern des Untersuchungsgebietes setzt am späten Vormittag der Talwind als ein an den Talflanken symmetrisch aufsteigender und in einer Wolkenbank kondensierender Luftstrom ein, dessen über der Talmitte absteigender Ast den Himmel über dem Talgrund wolkenfrei hält (vgl. FLOHN 1970, S. 26). Im Thak Khola hat dieser Talwind eine sehr starke talaufwärts gerichtete Komponente, die am Abend regelmäßig Sturmstärke erreichen kann.

#### Peripher-zentraler Anstieg der Höhengrenzen

Invers zum planetarischen Verlauf der Höhengrenzen steigen alle Obergrenzen der Vegetation von den Himalaya-Vorketten im Süden zum Tibetischen Himalaya im Norden an. Auch die Obergrenze der Dauersiedlungen zeigt diesen Anstieg. Von den landschaftsprägenden Obergrenzen ist die der Dauersiedlungen und des Waldes nicht homogen.

Die Obergrenze der Dauersiedlungen in den Himalaya-Vorketten wird von altnepalischen Stämmen mit der Kultur von tropischen Getreidearten (Reis, Hirse) gebildet, deren Obergrenze mit der Subtropengrenze zusammenfällt und in Luv des Annapurna-Himal bei etwa 1800 m liegt, während an der Obergrenze im Tibetischen Himalaya Tibeter mit Feldfrüchten der kühl-gemäßigten Zone (Gerste, Buchweizen, Kartoffeln) siedeln. Das höchste Dorf des Untersuchungsgebietes liegt bei 4050 m. Im Dolpo, in Lee des Dhuala-Himal, liegt die Siedlung Pingring bei 4343 m; der höchste Gerstenanbau ist in Tibet bis 4750 m verbürgt (s. ZHENG DU 1980, S. 1853).

Die obere Waldgrenze in den Himalaya-Vorketten (bei 28°20' N) liegt bei ca. 3700 m (ob durch Almwirtschaft erniedrigt, ist offen), im Übergang zum Hohen Himalaya (28°34' N) bis max. 3900 m und im Inneren Himalaya (28°44') bis max. 4400 m. In den Himalaya-Vorketten wird die obere Waldgrenze aus einem *Usnea longissima*-verhangenen Krummholzwald aus *Rhododendron campanulatum*, *Sorbus ursina*, *S. microphylla*, *Juniperus recurva* und *Betula*

*utilis* gebildet. *Arundinaria sp.*, *Rubus spp.* sowie *Rhododendron corwianum* und *R. lepidotum* verdichten den Bestand. Im Inneren Himalaya ist es ein Krummholzwald ausschließlich aus *Betula utilis* in einer krautreichen feuchten Mattenstufe (Photo 1).

Der Krummholzwald in den Himalaya-Vorketten bestockt alle Expositionen, im Inneren Himalaya sind die Birkenwälder nur auf dem Schatthang anzutreffen, der Sonnhang trägt Offenwald aus *Cupressus torulosa* und *Juniperus indica*; die höchsten Waldgrenzrelikte eines Wacholderwaldes liegen bei 4300 m.

Die obere Waldgrenze steigt damit zwischen 28°20' und 28°40' N, bezogen auf die höchstgelegenen Standorte, von 3700 m bis auf 4400 m um 700 m an. Damit würde der Anstieg der oberen Waldgrenze im Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya dem peripher-zentralen Anstieg der oberen Waldgrenze in den Alpen entsprechen<sup>4)</sup>.

#### Die unterschiedliche Meereshöhe der oberen Waldgrenze auf dem Sonn- und Schatthang

In den außertropischen Hochgebirgen gilt das Faktorenbündel des ‚Klimacharakters‘ (zit. n. ELLENBERG 1978, S. 524) als ausschlaggebend für die Meereshöhe der oberen Waldgrenze; von größter Bedeutung ist dabei die globale Hangbestrahlung. Sie ist abhängig von der geographischen Breite, der Exposition und der Hangneigung, von der Horizontabschirmung und der Bewölkung. Da der Himalaya-Bogen nördlich des Wendekreises liegt, sollte bei konstanten übrigen Faktoren die S-Exposition die höhere globale Hangbestrahlung und damit die höhergelegene obere Waldgrenze haben. Zur Stützung dieser Annahme sollen den Befunden aus dem Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya (28°45' N) Befunde von C. TROLL aus dem Nanga Parbat (35°30' N) im Nordwesten des Gebirgsbogens und eigene Beobachtungen aus dem Khumbu-Himal (27°50' N) beigefügt werden.

Sowohl im Nanga Parbat als auch in den genannten Gebirgsgruppen des zentralen Himalaya ist die Waldstufe und deren Obergrenze durch lokalklimatische, orographische, edaphische und anthropozoogene Faktoren häufig nicht (oder nicht mehr) geschlossen, sondern es sind meist nur isolierte Waldvorkommen, häufig Relikte, anzutreffen. Durch ihre geringe Ausdehnung kann die Diskussionswürdigkeit der Befunde freilich nur eingengt werden.

An der oberen Waldgrenze der Nanga Parbat-Gruppe sind *Betula utilis*, *Juniperus semiglobosa* sowie ‚Feuchter Nadelwald‘ (*Pinus wallichiana*, *Picea smithiana*, *Abies webbiana*) vertreten. Dabei ist die Birke in allen Expositionen, am häufigsten jedoch in der N-Exposition anzutreffen. Der Wacholder ist an der Waldgrenze auf Schatthängen selten und in allen anderen, vor allem S-Expositionen, häufig. Feuchter Nadelwald ist an der oberen Waldgrenze des Schatthangs eindeutig häufiger vertreten als am Sonnhang;

<sup>3)</sup> J F M A M J J A S O N D Jahr  
27 20 37 20 13 11 40 48 29 42 1 4 291  
(FLOHN 1970, S. 38)

Die Niederschlagsschwankungen, vor allem im Winter und Frühjahr, sind beträchtlich: 1967: 141,3 mm, 1968: 341 mm (DOBREMEZ 1976, S. 76).

<sup>4)</sup> Die obere Waldgrenze in der Südabdachung des Mt. Everest hat ebenfalls eine um ca. 700 m ins Gebirgsinnere ansteigende obere Waldgrenze.

ob dies auch anthropogene Ursachen hat, ist offen. Der höchstgelegene Baumfund (*Juniperus semiglobosa*, 4250 m, TROLL 1939, S.169) liegt in S-Exposition, das höchstgelegene Vorkommen auf dem Schatthang liegt 100 m tiefer (*Betula utilis* 4150 m, ebd.). Im Indus-Tal hat oberhalb Gor eine geschlossene Waldstufe eine Obergrenze in S-Exposition bei max. 3780 m gebildet aus *Juniperus semiglobosa* sowie strauchwüchsigen Wachholdern. *Betula utilis* reicht in Tiefenlinien von Hangrunsen (Lawinenbahnen) bis 3900 m hinauf. In der N-exponierten, orographisch linken Indus-Flanke geht der Wald bis max. 3950 m (*Betula utilis*). Die Befunde lassen bezüglich der Höhengrenze der Waldstufe den Schluß, daß die obere Waldgrenze auf dem Sonnhang höher liegt, nur unter der Prämisse zu, daß der Rückschluß von einem Baumbefund als Indikator der oberen Waldgrenze<sup>5)</sup> akzeptiert würde.

Im Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya (vgl. Profil, Beilage VIII) liegt das höchste Waldvorkommen bei 4400 m (*Betula utilis* in der Nilgiri-Nordflanke). Der höchste Fund von baumwüchsigen Wachholdern liegt bei 4300 m in S-Exposition (ob. Jhong Khola). Beide Vorkommen sind von geringer Ausdehnung, der Hain im oberen Jhong Khola ist gefällt, die Obergrenze des Birkenwaldes in der Nilgiri-Nordflanke ist wahrscheinlich durch die aufsteilende Wand begrenzt.

Anders als bei der Nanga Parbat-Gruppe und entgegen der Hypothese, daß die höher gelegene obere Waldgrenze auf dem Sonnhang liegen müsse, hat hier der Schatthang das höchste Vorkommen. Auch in anderen Tälern des Inneren Himalaya in Lee des Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya, wenn auch nicht bis in diese Meereshöhe, liegt die obere Waldgrenze aus *Betula utilis* auf dem Schatthang höher als auf dem Sonnhang. Im Kone Khola (Photo 1) beträgt die Differenz 150 bis 200 m. Die höchstgelegenen *Juniperus indica*-Krummholzwälder haben dort ihre Obergrenze, wo sich die Strauchschicht unter starker Zunahme von Arten der Mattenstufe zu einer Zwergstrauchformation der feuchten Mattenstufe mit hohem Anteil des kriechenden Zwergwacholders *Juniperus squamata* verdichtet. Während die höchstgelegenen Birken in einer krautreichen Mattenstufe auf den Schatthängen stocken, sind die Sonnhänge mit dichtem Zwergstrauchbesatz bedeckt (*Juniperus squamata*, *Carex jubata*, *Rhododendron lepidotum*, *Potentilla fruticosa* v. *rigida*, *Spiraea arcuata*, *Lonicera* spp.). Eine nur um wenige Meter eingetiefte Hangrunse schafft diese Expositionsunterschiede.

Die mit der Exposition wechselnde unterschiedliche Meereshöhe der oberen Waldgrenze und der Befund der höhergelegenen oberen Waldgrenze auf dem Schatthang fehlt nun dort, wo statt des dichten Zwergstrauchbesatzes einer feuchten Mattenstufe die schütterere und schwachwüchsige Zwergstrauchflur einer trockenen (bis mäßig trockenen) Mattenstufe (*Potentilla fruticosa* v. *ochreata*, *Astragalus* sp. Sect. *Aegacantha*, *Lonicera myrtillus*) einsetzt.



Photo 1: Obere Waldgrenze in N-Exposition mit *Betula utilis* (1) bei 4300 m, nur im Reliefangebot N-exponierter Runsenhänge. S-Expositionen gleicher Meereshöhe sind dicht mit Zwergsträuchern (*Juniperus squamata*: 2) bewachsen. Die obere Waldgrenze in S-Exposition liegt 200 m tiefer. Oberer Kone Khola (28° 43' N/83° 59' E. Gr.), 4150 m, gegen SW, 13. 9. 1977, 14 Uhr 30. Photo: G. MIEHE

Upper tree-line on N-facing slopes at 4300 m (*Betula utilis*: 1), thickets of moist alpine scrub (*Juniperus squamata*: 2) on the sunny slopes. The tree-line on the sunny slope (*Juniperus indica* - woodlands) is at 4100 m.

Sie ist häufig verzahnt mit weitstämmigem *Juniperus indica*-Krummholzwald. Die obere Waldgrenze liegt hier auf dem Schatt- und Sonnhang in etwa gleicher Meereshöhe bei 4200 m.

Wenn eine in N-Exposition höhergelegene obere Waldgrenze an das Vorkommen des dichten Zwergstrauchbesatzes der feuchten Mattenstufe gebunden ist, liegt der Schluß nahe, daß dies durch den Zwergstrauchbestand bedingt ist: In der geographischen Breite nur wenig nördlich des Wendekreises kann bei hohem Sonnenstand und einer bei Bewölkung sehr hohen Globalstrahlung mit einem annähernd gleichen Strahlungsgenuß des Sonn- und Schatthangs gerechnet werden. Der Schatthang ist damit während der Vegetationsperiode bezüglich des wichtigsten Waldgrenzfaktors kaum benachteiligt. Im Spätwinter dagegen erhält der Schatthang so gut wie keine direkte Strahlung, eine Schneedecke bleibt häufig bis in den Mai erhalten, und es besteht keine Frosttrocknisgefahr. Der Sonnhang apert dagegen schnell aus, und es muß mit Frosttrocknis gerechnet werden. Für Wacholder-Bäume würde dann, durch die verminderte Stoffproduktion wegen der Konkurrenz mit den Zwergsträuchern während des Sommers, keine Frosttrocknisresistenz erreicht worden sein. Der Krüppelwuchs von Fichten im Latschengürtel der Alpen könnte dieser Situation vielleicht entsprechen.

Offen ist, ob während eines Siedlungshochstandes im Inneren Himalaya die Almwirtschaft ausgedehnter und die Nutzung von *Juniperus indica* stärker war. In diesem Fall wären die schnell ausapernden Sonnhänge einem hohen Weidedruck ausgesetzt gewesen, während die Schatthänge mit vielmonatiger Schneedecke in naturnahem Zustand blieben. In einer nachfolgenden Wüstungsphase, wofür es

<sup>5)</sup> „Wo ein Baum wächst, könnten neben ihm weitere wachsen, wenn der Mensch und seine Tiere es zuließen, vorausgesetzt, daß der Boden genügend tiefgründig ist“ (ELLENBERG 1978, S. 521).

Indizien gibt (Photo 2; vgl. MIEBE 1982, S. 91f., Abb. 35, 51, 62) folgte die Verbuschung dieser Almweiden. Der dichte Zwergstrauchbestand der Sonnhänge im Inneren Himalaya hätte damit Ähnlichkeit mit den Alpenrosenheiden als Waldzeugen (vgl. LÜDI 1921).

Im Thak Khola haben Grate, die ins Tal hineinragen und voll im Talwind liegen, eine erheblich niedrigere obere Waldgrenze als die im Windschatten liegenden Hänge (vgl. Karte, Beilage VII: Thak Khola-Flanke E Thini). Da der Luvhang zugleich der Sonnhang und der Leehang der Schatthang ist, besteht das Problem, wie die Wirkung des Windes die der Globalstrahlung überlagern kann. In der orographisch linken Thak Khola-Flanke SE von Marpha greift die Mattenstufe auf dem am weitesten ins Tal ragenden Sporn bis auf 3350 m hinunter. Die obere Waldgrenze wird hier von *Pinus wallichiana* gebildet. Im Windschatten dieses vom Nilgiri-Nordgipfel kommenden Grates liegt die obere Waldgrenze 500 m höher. Ähnlich in der orographisch rechten Flanke des Longpoghyun Khola: Die obere Waldgrenze mit *Juniperus indica*-Krummholz sinkt dort um 100 bis 150 m ab, wo die Flanke vom Talwind bestrichen wird. Auf der Leeseite des Kammes reicht der Wald auf 4000 m bis an den Grat (Photo 2). Die windbeblasenen Flanken haben wahrscheinlich durch den Wind, welcher die Frostrockniswirkung verschärft, eine niedrigere obere Waldgrenze (vgl. HOLTMEIER 1971).

Die Wälder des Khumbu Himal liegen in der feuchten Südabdachung des hier vom Mt. Everest überragten Himalaya-Hauptkamms. Ausgewiesen durch den Behang mit *Usnea longissima* sind es Nebelwälder. Die obere Waldgrenze des Sonnhangs wird von *Juniperus recurva* gebildet, auf dem Schatthang stockt *Betula utilis*, *Sorbus spp.* sowie Rhododendron-Krummholzwald. Der höchstgelegene Baumfund konnte bei 4440 m gemacht werden: ein *Juniperus recurva* in SSW-Exposition unterhalb Tshom Teng, bis auf 1 m geschneitelt, Durchmesser 5 cm. Bei Tshom Og wurde auf 4420 m ein 3,5 m hoher *Juniperus recurva* in strikter S-Exposition gefunden, an der Basis 20 cm Durchmesser. Östlich der Flur von Dingpoche wurde bei 4380 m ebenfalls ein *Juniperus recurva* gefunden, 1,5 m hoch, geschneitelt und 10 cm dick. In Pangboche steht bei 4240 m in SSE-Exposition ein Bartflechten-verhangener *Juniperus recurva*-Hain, die Bäume sind 5 m hoch. Auf der gegenüberliegenden Talseite bei Yaral ist in NNW-Exposition ein Krummholzwald aus *Betula utilis*, *Rhododendron fulgens*, der nur 2 m hoch ist, anzutreffen. Nach den Feldbefunden liegt im Khumbu Himal die obere Waldgrenze in S-Exposition bis zu 250 m höher als in N-Exposition. Die Sonnhänge sind wegen der schnellen Ausaperung stark überweidet und *Juniperus recurva* wird als Feuerholz exzessiv überall genutzt, sofern die Bäume nicht aus religiösen Gründen geschützt sind (vgl. HAFFNER 1979, Bild 12), so daß der Eindruck einer in N-Exposition höhergelegenen oberen Waldgrenze entstehen konnte. An der oberen Waldgrenze in der orographisch linken Flanke des Imja Drangka (NW-exponiert) und der orographisch rechten des Nangpo Tsangpo (NE-exponiert) stocken *Rhododendron campylocarpum* und *R. fulgens*-Krummholzwälder. Seitentäler und Hangrunsen in diesen

Flanken haben von der Himmelsrichtung der Flanken abweichende Expositionen. Die Seitentäler der orographisch linken Imja Drangka-Flanke haben N- bis NNE- und WSW- bis SW-Exposition, bei den Seitentälern der orographisch rechten Nangpo Tsangpo-Flanke sind es NNW- bis N- und SE- bis ESE-Expositionen. In den N- bis NNE- sowie NNW- bis N-Expositionen dieser Seitentäler zieht der Krummholzwald höher die Flanke des Seitentals hinauf als auf den WSW- bis SW- bzw. SE- bis ESE-Expositionen. Damit würde die Beobachtung, daß die N-Expositionen die höhergelegene Waldgrenze hat, auf *Rhododendron campylocarpum* und *R. fulgens* einzuschränken sein. Die obere Waldgrenze in den N- bis NNE- sowie NNW- bis N-Expositionen liegt höher als in nicht zerteilten Bereichen der Flanken mit NE- bzw. NW-Expositionen. Die Differenz der globalen Hangbestrahlung zwischen einem N- und einem NNE-Hang bleibt zu messen. Ob sie von ausschlaggebender Bedeutung ist, gewinnt nach den Feldarbeitsbeobachtungen nicht an Wahrscheinlichkeit, denn sowohl in der Waldstufe als auch in der Mattenstufe dürfte die Schneedeckendauer, wie sie vom Talwind beeinflusst wird, ausschlaggebend sein: Schnee wird vom Talwind aus dem Luvhang nach Lee verblasen und gibt dort länger dauernden Frostrocknischutz.

#### Gefügemuster extrazonaler Koniferenwälder im Inneren Himalaya

Die Regelmäßigkeit der Vegetationsverteilung, wonach mit der Annäherung an ihre Verbreitungsgrenze eine Pflanzengesellschaft die klimatische Ungunst durch den Biotopwechsel in einen Standort mit lokalklimatischer Gunst kompensiert (WALTER u. WALTER 1983), kann in Gebirgen mit steilen klimatischen Gradienten auf engem Raum dargelegt werden. Dabei wird als zonal jene Verbreitung bezeichnet, die in allen Expositionen ihre ausreichende Standortbedingungen hat, extrazonale Vorkommen sind auf Sonderstandorten mit überwiegend lokalklimatischer Gunst beschränkt, azonal sind solche, welche, in extremer Weise von edaphischen Faktoren abhängig, in großer Uniformität durch Klimazonen oder Höhenstufen hindurchgreifen.

Unter den extrazonalen Gefügemustern der Vegetation ist im Himalaya die mit der Strahlungsexposition wechselnde Bestockung die häufigste. Der Gegensatz zwischen der S- und N-Exposition ist dabei um so krasser, je geringer die Niederschläge sind<sup>6)</sup>. Im nepalesischen Kali Gandaki-Tal

<sup>6)</sup> Im Khumbu Himal (27° 50' N / 86° 40' E. Gr. – 939 mm) Nebelwald in allen Expositionen, in S-Exposition *Abies spectabilis*, *Juniperus recurva* dominant, in N-Exposition *Betula utilis* und Krummholz aus *Rhododendron campylocarpum*, *R. fulgens*. In der Nanga Parbat-Gruppe (35° 30' N / 75° 40' E. Gr. – 430 mm) fehlt eine Nebelwaldstufe, die Gehölze sind sonst identisch oder nahe verwandt; *Abies webbiana* in allen Expositionen; *Betula utilis* dominant an der oberen Waldgrenze des Schatthangs, aber auch in S-Expositionen vorkommend; *Juniperus semiglobosa* in allen Expositionen auf dem Schatthang bis zur Untergrenze ‚Feuchter Nadelwälder‘ (3250 m), auf dem Sonnhang bis in die Mattenstufe (max. 4250 m, s. o.).



Photo 2: Orographisch linke Flanke des Jomosom Chu: Zonale Hochgebirgshalbwüste im Inneren Himalaya und extrazonale Waldvorkommen mit der lokalklimatischen Gunst N-exponierter Flanken (Schutz vor direkter Strahlung im Winter und hohem Strahlungsguß während des niederschlagsreichen Sommers) sowie ganzjährigem Windschutz.

▲▲▲: Untere Waldgrenze verläuft gleichsinnig mit einer Grenze glaziger Akkumulationen zum anstehenden Fels

- 1: Koniferenwald aus *Cupressus torulosa* und *Pinus wallichiana*, Artmächtigkeit wechselt mit Hangneigung und Tiefgründigkeit des Bodens
- 2: Kiefernwald (*Pinus wallichiana*)
- 3: Tannenwald (*Abies spectabilis*), nördlichste Vorkommen
- 4: Birkenwald (*Betula utilis*)
- 5: Feuchte zwergstrauchreiche Mattenstufe (*Rhododendron lepidotum*, *Caragana jubata*, *Potentilla fruticosa* v. *rigida*) im Windschatten
- 6: Trockene Mattenstufe (*Astragalus* sp. Sect. *Aegacantha*, *Potentilla fruticosa* v. *ochreatea*), windausgesetzt
- 7: *Cupressus torulosa*-Offenwald auf Anstehendem, stark geschneitelt

- 8: Dornstrauchformation an der unteren Waldgrenze (*Cotoneaster tibeticus*, *Caragana gerardiana*)  
 9: Dornzweigsträucher (*Astragalus bicuspis*) auf rezenten Schotterfluren mit Salzausblühungen  
 a: Monsunweg d: Holzweg  
 b: Flurwüstung e: Ziegenalm  
 c: Ortswüstung

Orographisch rechte Thak Khola-Flanke E Dangarjong Lho-La (28° 48' N/83° 45' E. Gr.), 3325 m, gegen SSE, 23. 7. 1977, 16 Uhr.  
 Photo: G. MIEBE

Extra-zonal distribution of forests near the lower (drought) timber line in the Inner Himalayas on a N-facing slope, sheltered from the daily storm-like valley winds. The rainfall is at about 300 mm/p.a., *Betula* and *Abies* (zonal distribution in an area of 1200 mm/p.a.) and *Pinus* (zonal distribution within 1000 mm/p.a.) changed their biotopes to compensate for decreased rainfall with an habitat, which has full radiation during the rainy summer and is sun-protected in winter. At the drought line of forests *Cupressus torulosa*, beyond semi-desert scrublands (*Caragana gerardiana*).

zwischen 28° 36' (Ghasa Gateway) und 28° 55' N (Jomosom), in der Tallandschaft des Thak Khola, kann der Wechsel in der Bestockung des Sonn- und Schatthangs mit dem nach N abnehmenden Niederschlag, welcher durch eine Kette mehrjähriger Niederschlagsmessungen im Talniveau bekannt ist, korreliert werden.

Auf einer Distanz von 20 km erfolgt ein Biotopwechsel zwischen Nebelwald, Koniferenwald und Dornzweigstrauchpolsterfluren. Der Nebelwald, ausgewiesen durch den Behang mit Bartmoos und Bartflechten, reicht aus den Himalaya-Vorketten, wo er alle Expositionen bestockt, mit extrazonalen Vorkommen bis in den Inneren Himalaya. Seine nördliche Verbreitungsgrenze liegt dort, wo sich die aus S das Quertal heraufdrückende Bewölkung föhnmauerartig auflöst (vgl. MIEBE 1982, Abb. 3). *Rhododendron campanulatum*, *Arundinaria sp.* und *Usnealongissima* haben hier ihre nördliche Verbreitungsgrenze. *Abies spectabilis* und *Betula utilis*, in der oberen Nebelwaldstufe die B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> bildend, reichen weiter nach N, jedoch als zwar benachbarte, aber reine Tannen- und reine Birkenwälder (Photo 2: 3, 4).

Die relative Konstanz seiner Standorte in der nach N trockener werdenden Talsohle kann der Nebelwald nur durch Biotopwechsel in den Schwankungsbereich des Kondensationsniveaus der Talwindhangbewölkung erhalten werden. Der Niederschlag incl. Nebelniederschlag beträgt hier ca. 800 mm. Da der Nebelwald bei ca. 1200 mm Jahresniederschlag in einen extrazonalen Standort wechselt, würde die Differenz des Niederschlags zwischen dem zonalen und dem extrazonalen Standort den Faktor der lokal-klimatischen Gunst bezeichnen. Damit würde ein Niederschlagsdefizit von 30% durch die extrazonale Standortgunst kompensiert.

Die Dornzweigstrauchfluren aus *Caragana gerardiana*, welche im Tibetischen Himalaya mit zunehmender Trockenheit und unter Windwirkung die ‚Lebensform‘ des Polsters (RAUH 1939) als die klimaindikative Anpassung an widrige Standortbedingungen annimmt, reichen von N in der Trockenen Talstufe (SCHWEINFURTH 1956) nach S bis in den Inneren Himalaya und besetzen den windbeblasenen Hangfuß, wo sie bei ca. 600 mm Jahresniederschlag (Tukche) in potentiell Waldland ihre südliche Verbreitungsgrenze haben (dann in der organisationstypischen ‚Wuchsform‘).

Die intramontanen Koniferenwälder setzten im Ghasa Gateway bei ca. 1200 mm Jahresniederschlag im Talgrund (Ghasa 2072 m) ein. Dieser temperierte Koniferenwald (s. Karte, Beilage VII) aus *Pinus wallichiana* nimmt in der Waldstufe des Inneren Himalaya die größte Fläche ein. Er hat nur extrazonale Vorkommen, denn er bestockt nirgends alle Expositionen<sup>7)</sup>. An seiner südlichen Verbreitungsgrenze und im Becken von Lete kann er in leeseitigen Schatthängen mit extrazonalem Nebelwald nicht konkurrieren und die am stärksten talwindbeblasenen (und sonnenseitigen) Flanken sind mit Grasfluren besetzt. Sein größtes geschlossenes Vorkommen liegt im Longpoghyun Khola. Es ist ein gleichfalls extrazonales Vorkommen, da diese Kiefernwälder im Bergschatten der Nilgiri-Nordwand liegen, wo es durch die aus der vergletscherten Flanke abfließende Kaltluft häufig zu Kondensation und nach den Feldarbeitsbeobachtungen zu erheblich mehr Niederschlagsereignissen kommt als im übrigen Talabschnitt (vgl. KUHLE 1982, Abb. 32). Kronenschließender Hochwald ist dort auch nur im Windschatten dieser Nordwand erhalten – wo die Kiefern vom Talwind bestrichen werden, nimmt die Bestandshöhe rascher ab als die Bestandsdichte, und die Kiefern nehmen Windfahnenwuchs an.

Im Bereich des Dhumpu Gateway, wo mit ca. 700 mm Jahresniederschlag gerechnet werden kann, weicht der *Pinus wallichiana*-Wald auf der windausgesetzten orographisch rechten Talflanke vom Hangfuß<sup>8)</sup> dort den Hang hinauf aus, wo Luvlage und edaphisch trockener Standort mit mobilem Substrat zusammenfallen.

Nur 5 km weiter talauf, bei Tukche, wo im Talgrund 1979/80 etwas mehr als 300 mm Jahresniederschlag gemessen wurden (s. MEURER 1982, Abb. 2), im langjährigen Mittel aber mit ca. 600 mm gerechnet werden kann, greift Kiefernwald nur noch in windgeschützten Seitentälern bis

<sup>7)</sup> Nadelhölzer sind in den Himalaya-Vorketten südlich von Dhaulagiri- und Annapurna mit gleicher Artenzahl wie im Inneren Himalaya bestandbildend, jedoch nur auf edaphisch begrenzten Standorten vertreten. *Pinus roxburghii* bildet meist in S-Exposition extrazonale Feuerklimax-Wälder.

<sup>8)</sup> Die Talsohle ist hier eine monsunal überschwemmte Schotterflur, auf die nur Pioniergehölze (*Astragalus bicuspis*, *Myricaria rosea*, *Hippophae salicifolia*-Dickichte) vorgedrungen sind.

zum Hangfuß hinunter, in der sonn- und luvseitigen Flanke setzt Kiefernwald erst 700 m über dem Talgrund ein. Weiter 4 km talaufwärts sind kleine Kiefernbestände nur noch auf den schatt- und leeseitigen Hängen von Hangrunsen der Haupttalflanke zu finden. Die Bestände liegen im Schwankungsbereich der Talwind-Hangbewölkung, wo, mit erheblichem Nebelniederschlagsanteil, ca. 800 mm Jahresniederschlag gemessen wurden (ebd.).

Ausgedehntere Kiefernwälder sind in der orographisch rechten Flanke des Thak Khola nördlich Tukche nur noch in den Seitentälern anzutreffen: Im Yamkim Khola, im Bergschatten der Tukche Peak-Nordwand gehen Kiefernwälder auf beiden Talflanken noch bis zur Tiefenlinie. 5 km weiter nördlich, im Pongkyu Khola, ist Kiefernwald auf den Schatthang beschränkt, lediglich im Talschluß stocken Kiefernbestände auch auf dem Sonnhang, wo jedoch durch starke Horizontabschirmung und häufige Wolkenbildung die Einstrahlung gering ist. Im nächstnördlichen Seitental, dem Syang Khola, ist Kiefernwald nur am höheren Schatthang zu finden, in Hangrunsen bestockt die Kiefer nur zum Talschluß gelegene Seiten, welche weder die Morgensonne noch der Talwind erreicht.

Im Gegensatz zur orographisch rechten Thak Khola-Flanke durchzieht die orographisch linke Flanke eine nahezu geschlossene Kiefernwaldstufe. Sie setzt in Lee des Dhumpu Gateway dort ein, wo der ‚sommergrüne epiphytenreiche Laubwald‘, in dem Gehölze der mittleren Nebelwaldstufe ihre nördlichste Verbreitung haben (*Tsuga dumosa*, *Taxus baccata* ssp. *wallichiana*, *Rhododendron arboreum*) den Hang hinauf in das Kondensationsniveau der Talwind-Hangbewölkung ausweicht. Mit dem temperierten Koniferenwald (*Pinus wallichiana*) und dem temperierten Koniferenmischwald (*Cupressus torulosa*, *Pinus wallichiana*) ergibt sich auf einer Distanz von 8 km ein engräumiger Wechsel dergestalt, daß am Hangfuß auf steilen Moränenhängen und windausgesetzten Schroffenhängen *Cupressus* häufiger ist, auf Leehängen und Schwemmfächern dagegen *Pinus*.

Zwischen Chim und Marpha weicht der Kiefernwald vom hier aufsteilenden Hangfuß (größere edaphische Trockenheit) ca. 600 m den Hang hinauf und liegt mit seiner Obergrenze in der Talwind-Hangbewölkung.

Die auffällige Asymmetrie des Kiefernwald-Vorkommens zwischen der orographisch rechten und linken Thak Khola-Flanke dürfte daraus resultieren, daß die orographisch rechte, E-exponierte Flanke bis zum späten Vormittag direkte Strahlung empfängt, während die orographisch linke, W-exponierte Flanke am Nachmittag durch das Wolkenband der Talwind-Hangbewölkung verhüllt ist. Damit überlagern sich hier Expositionsunterschiede, wie sie von innertropischen Gebirgen beschrieben werden, mit den für subtropische Breiten typischen Expositionsunterschieden der N- und S-Exposition (vgl. WEISCHET 1965), die freilich mit der Wirkung des Talwinds zusammenfallen.

Nach den temperierten Koniferenwäldern aus *Pinus wallichiana* sollen von den intramontanen Koniferenwäldern die trockenen Koniferenwälder aus *Cupressus torulosa* und deren durch Biotopwechsel gewährte Standortkon-

stanz beschrieben werden. Die von diesen Zypressenwäldern eingenommene Fläche ist wie diejenige des Kiefernwaldes asymmetrisch, jedoch mit der größeren Fläche in der orographisch rechten, E-exponierten Flanke. Die Ursachen dieser Asymmetrie resultieren wahrscheinlich aus der größeren Trockenheitsresistenz der Zypresse und der in der nachmittäglich einstrahlungsgeschützten W-Exposition größeren Vitalität der Kiefer.

Die südlichsten Zypressenwald-Vorkommen liegen bei 2590 m wenig nördlich Tukche in der ‚Trockenen Talstufe‘ (SCHWEINFURTH 1956) des Thak Khola. *Cupressus* ist dort zur Strauchform geschnitten. Durch den in Tukche anhaltenden Wüstungsprozeß läßt jedoch der Nutzungsdruck nach, und der Bestand regeneriert sich, auch durch Verjüngung, gut. Die Obergrenze von *Cupressus* liegt zwischen 3200 und 3500 m, ausschlaggebend ist die Konkurrenz mit *Pinus wallichiana* und *Juniperus indica*. Die größten Zypressenbäume wurden an der Obergrenze des Zypressenwaldes in N-Exposition gefunden.

Die östliche Verbreitungsgrenze der Zypresse im Himalaya liegt im Thak Khola. Das ist bedingt durch die geringere Taleintiefung der östlichen, im Regenschatten des Hohen Himalaya gelegenen Täler, deren Talböden dort, wo bei Jahresniederschlägen von ca. 600 mm *Cupressus* konkurrenzfähig würde, höher liegen als ihre Obergrenze. Die nördliche Verbreitungsgrenze im Thak Khola ist die Trockengrenze des Waldes. *Cupressus*-Vorkommen sind hier im Unterschied zu den extrazonalen *Pinus wallichiana*-Vorkommen, die in lokalklimatische Gunstlagen ausgewichen waren, auf edaphische Gunststandorte kontrahiert. Das Ausmaß menschlicher Eingriffe auf den Verlauf der unteren Waldgrenze ist offen; zumindest wahrscheinlich ist die Überlagerung von Klimaschwankungen und Rodungsphasen, da alte aber vitale Zypressen jenseits der unteren Waldgrenze stehen, dort aber jede Verjüngung fehlt. Da die Zypresse nicht verbissen wird, dürfte dies ein klima-indikatorischer Befund sein. Die für die extrazonalen Vorkommen der Zypresse bedeutenden Substratunterschiede sind durch die Sedimentation von überwiegend Tonstein und Flysch im ‚Tibetan Marginal Synclinorium‘ nördlich einer ‚Tibetan Marginal Range‘ (s. HAGEN 1968, S. 157ff.) sowie durch die Auskleidung mit mächtigen quartären Sedimenten im Thak Khola-Graben, insbesondere durch glazilimnische Sedimente eines mindestens 46 km langen und 360 m tiefen Eistausees (s. KUHLE 1982, S. 68ff.), entstanden.

Im Bereich der Trockengrenze des Waldes wirken diese Substratunterschiede gebankter Kalke der ‚Tibetan Marginal Range‘, hangschuttreicher Flanken aus Tonstein oder Flysch des ‚Tibetan Marginal Synclinorium‘ oder von Tillit, Schotter und Seekreide eiszeitlicher Ablagerungen unter der austrocknenden Wirkung des Windes standortdifferenzierend: In der S-exponierten und luvseitigen Flanke des Dangarjong Lho-La (Photo 3) wird ein aus N fallenden Kalken und Mergeln aufgebauter Felskern an der Basis von quartären Sedimenten, hauptsächlich Tillit und Seekreide (→ 1) transgrediert. Baumbeständen ist die Flanke nur dort, wo harte gebankte Kalke ausstreichen. Die Untergrenze dieses bandförmigen Zypressenbestandes fällt mit der Transgres-

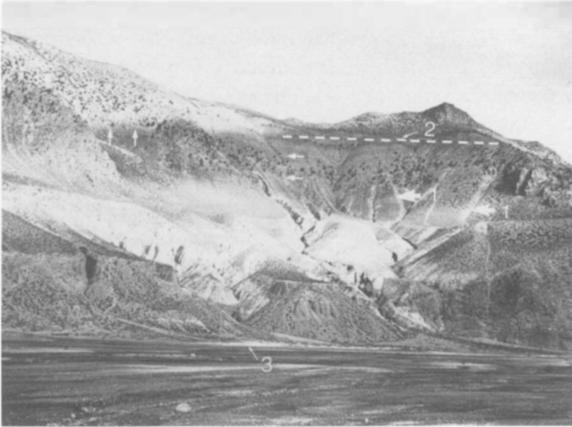


Photo 3: Extrazonale edaphisch abhängige Koniferenbestände an der unteren Waldgrenze in S-exponierter und luvseitiger Flanke bei ca. 300 mm Jahresniederschlag: *Cupressus torulosa* nur auf dem Ausstrich gebankter Kalke (↔), die am Wandfuß von glazilimnischem Feinsediment überdeckt sind (→1: Änderung des Deckungsgrades). Auch auf Hangschutt (††) fehlt *Cupressus*. Im Hangenden der gebankten Kalke hangschuttüberdeckte Mergel (---→2) mit Zwergsträuchern (*Juniperus squamata*) und geschnitztem *Juniperus indica*-Krummholz. An der Schottersohle des Kali Gandaki Salzausblühungen mit *Triglochin maritima* (→3).

N Jomosom (28° 47' N/83° 44' E. Gr.) 2700 m, gegen N, 17. 11. 1976, 13 Uhr. Photo: G. MIEHE

Extra-zonal *Cupressus torulosa*-woodlands (↔) at the drought line of forests on a windblown and sunny slope edaphically dependent and located on rocky limestone. The zonal vegetation is semi-desert scrublands (*Caragana gerardiana*).

sionsgrenze der Seekreide zusammen; dort, wo Runsen in diese Sedimente eingeschnitten sind und den Felskern mit gebankten Kalken freigelegt haben, greift *Cupressus* weiter den Hang hinunter. Im Hangenden der gebankten Kalke liegen hangschuttreiche Mergel; sie sind baumfrei und mit Zwergsträuchern besetzt (→2). Darüber liegen Quarzite mit *Juniperus indica*-Krummholz.

Hangschutt hat bezüglich der Waldfähigkeit ähnliche Eigenschaften wie Seekreide, denn dort, wo anstehender Fels von einer Hangschuttsschlepe bedeckt ist, liegt die Waldgrenze erst dort, wo anstehender Fels aufsteilt (††).

Zugänglich sind alle diese Hangpartien, eine unterschiedlich weit fortgeschrittene Nutzung ist daher als Ursache dieser Standortdifferenzierung wenig wahrscheinlich. Die Jahresniederschläge dürften hier bei ca. 300 mm liegen (Jomosom, 2 km entfernt, hat zwischen 141 und 347 mm; DOBREMEZ 1976, S. 76). 8 km weiter talabwärts, bei ca. 400 bis 500 mm Jahresniederschlag, stockt auf Tillit noch Zypressenwald. Am unteren Cha Lungpa, im ‚Jeula-Forest‘, mit Jahresniederschlägen von wahrscheinlich unter 300 mm im langjährigen Mittel, stockt *Cupressus* dagegen auf Moräne, dünnt aber dort aus, wo der Windschatten der talabwärts gelegenen Flanke aussetzt. Aus dem Vergleich dieser drei Standorte an der unteren Waldgrenze, wovon sich der am südlichsten gelegene (bei 400 bis 500 mm Jahresnieder-

schlag) dadurch auszeichnet, daß er auf Substratunterschiede nicht reagiert und die jenseits der 300 mm Isohyete gelegenen Vorkommen eine Reaktion auf das Substrat nur unter Windwirkung zeigen, sollte geschlossen werden können, daß der Talwind des Thak Khola jenseits eines Schwellenwertes von ca. 300 mm Jahresniederschlag einen edaphischen Biotopwechsel an der unteren Waldgrenze beeinflusst. Zu prüfen bliebe, ob die Hypothese, daß die untere Waldgrenze im Inneren Himalaya etwa mit der 200 mm Isohyete zusammenfällt, zu halten ist.

#### Wald und Grasland als Antagonisten<sup>9)</sup> in steilen Flanken des Hohen Himalaya

Die Vorstellungen über die Ursachen der Verbreitung von Grasland stimmen nicht überein. Als Beitrag zu dieser Kontroverse sollen Beobachtungen zur Verbreitung von Horstgrasfluren im Hohen Himalaya mitgeteilt werden<sup>10)</sup>.

In der Südabdachung der Himalaya-Hauptkette sind die überwiegend S-exponierten Schichtkopfhänge N-vergenter Gneise, mit Hangneigungen von meist mehr als 37°, waldfrei und mit Horstgrasfluren besetzt. Diese tussockähnlichen Gramineen haben eine Amplitude, welche aus der Stufe subtropischer immergrüner Bergwälder durch die Nebelwaldstufe bis ca. 4100 m in die Mattenstufe aufragt. Da sie bei großer Uniformität unter extremen edaphischen Bedingungen steiler Gneis-Flanken durch mehrere Höhenstufen hindurchgreift, kann diese Formation als azonal eingeordnet werden. Durch den aus dem Kali Gandaki-Tal bekannten Niederschlagsgradienten kann die Verbreitungsgrenze dieser Flankenbegrasung etwa mit der 1200 mm Jahresisohyete korreliert werden. Das Niederschlagsregime ist monsunal, die Horstgrasfluren wären demnach auf wechselwechtes Hochgebirge beschränkt.

Die Befunde aus afrikanischen Gebirgen, etwa dem Jebel Marra (13° N/24° E. Gr.), wo die Verbreitung des Graslandes durch vom Menschen gelegtes Feuer wahrscheinlich bedingt ist, zwingt dazu, die Bedeutung dieses Faktors im Himalaya zu diskutieren. Abgebrannte Flanken konnten sowohl im Hohen als auch im Inneren Himalaya beobachtet werden. Die Sukzession im Inneren Himalaya setzt mit *Berberis* spp. und Hochstaudenfluren der Mattenstufe ein (*Mecynopsis nepalensis*), geschwendet wird zur Gewinnung von Weideflächen, evtl. auch zur Anlage von Filialfluren (vgl. MIEHE 1982, S. 113f.). Im Unterschied dazu kann in den steilen Flanken des Hohen Himalaya nicht geweidet werden, das Vieh wird durch Zäune ferngehalten. Lediglich Wildheu wird im Winter und Vormonsun als Zufutter abgesehen. Die abgebrannten Flanken können zur Wildheugewinnung nicht mehr genutzt werden, das nach dem Feuer frisch austreibende Gras kann dem Vieh, da die Flanken unzugänglich sind, nicht zugute kommen. Es ist demnach zu

<sup>9)</sup> Vgl. WALTER 1973, S. 328ff.

<sup>10)</sup> Vgl. KUHLE 1982, Abb. 97, 99, 110, 118, 125, 128, 130, 132.

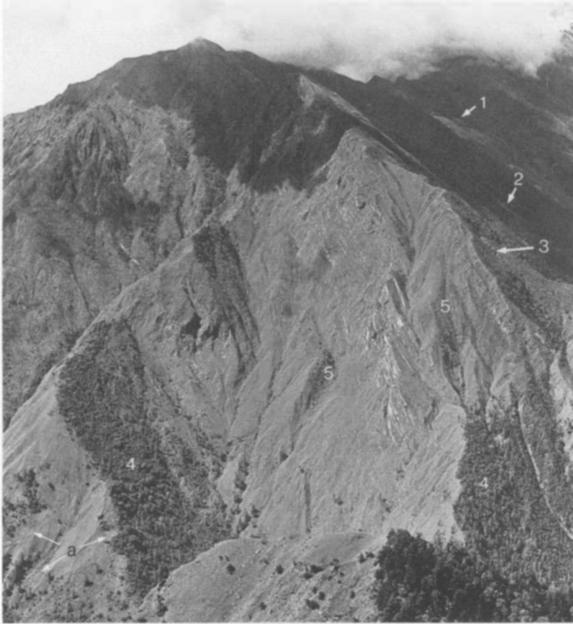


Photo 4: Grasland und Wald als Antagonisten in windbeblasenen Flanken bei mindestens 1200 mm Jahresniederschlag im Ghasa Gateway: Windbestrichene Flanken sind von Horstgrasfluren (*Helictotrichon asperum*, *Festuca ovina*) besetzt, Leelagen mit Nebelwald bestockt. Auf Schichtflächenhängen kommt es zu Rutschungen und sukzessiver Wiederbesiedlung (→1-3). Auch geringe Reliefunterschiede, welche Windschutz geben, ermöglichen das Aufkommen von Gehölzen (→4,5). a: Filialfluren. Orographisch linke Thak Khola-Flanke, unterhalb des Thulo Bugin (28° 36' N/83° 40' E.Gr.), 3720m, gegen WSW. 11.10.1977, 14 Uhr. Photo: G. MIEHE

Transverse gorge of the Kali Gandaki (Ghasa Gateway), min. precipitation 1200 mm/p.a.: Windblown slopes are covered with tussocks, cloud forests are confined to wind-protected slopes.

vermuten, daß ohne Absicht gezündelt worden ist. Die horstgrasbesetzten Steiflanken könnten damit als feuer verursacht betrachtet werden.

Horstgrasbesetzte Steilwände wurden jedoch auch im oberen Thulo Khola beobachtet, das bis dahin unbegangen war (s. KUHLE 1983, S. 5f.). Es muß daher, auch Blitzzündung ausgenommen, andere, nicht-anthropogene Ursachen für Horstgrasfluren geben. Die Hangneigung allein kann Baumwuchs nicht verunmöglichen und der Fels ist nur selten ohne Klüfte, die Wurzelraum bieten. Nur in harten, jüngst glazial überschliffenen Flanken wurde dies quadratmeterweise beobachtet.

Der Niederschlag beträgt etwa das Siebenfache des Niederschlags, der für das als natürlich erachtete, zonale Grasland angenommen wird (s. WALTER 1973, S. 334). Dabei ist jedoch zu bedenken, daß die zonalen Gehölzarten des Nebelwaldes schon bei ca. 1200 mm in extrazonale Sonder-

nischen-Standorte wechseln, und wahrscheinlich schon bei erheblich höherem als 200 mm Jahresniederschlag nicht mehr konkurrenzfähig sind. Bedacht werden muß auch, daß in diesen steilen Flanken der Oberflächenabfluß enorm ist und zudem die beregnete Fläche größer und damit der Niederschlag geringer ist. Bei einem saisonalen Niederschlagsregime sind Horstgräser durch ihr schnelles Vertrocknen und den Schutz des Vegetationskegels durch den dünnen Bult an die hier herrschende jahreszeitliche Trockenheit gut angepaßt. Der Nachweis, daß solche Flanken natürlicherweise Grasland tragen oder potentiell natürliches Waldland sind, ist nur über Einzäunungsversuche und durch Ausschluß von Bränden zu führen.

Am Beispiel der Horstgrasflurenverbreitung im Thak Khola kann die Bedeutung des Windes für den Antagonismus von Gehölzen und Grasland diskutiert werden (vgl. Photo 4). Im Ghasa Gateway sind luvseitige Flankenteile waldfrei, auch wenn sie weniger als 37° steil sind, während erheblich steilere Hänge in Lee Nebelwald tragen. Selbst Grate, die um nur wenige Meter aus der Flanke herausragen und Windschutz geben, tragen leeseitig Gehölze (Photo 4:5).

Die Diskussion des Befunds kann edaphische Gründe wie etwa Flachgründigkeit der steilen Gneis-Schichtkopfhänge oder die globale Hangbestrahlung, welche für ESE- und für ENE-Expositionen nicht wesentlich unterschiedlich sein sollte, als ausschlaggebende Faktoren außer acht lassen. Auch Wind kann, trotz einer stark zuwachs-mindernden Wirkung (vgl. CELIŃSKI u. WIKI 1977, S. 108), Waldwuchs nicht unterdrücken, denn windbeblasene Flanken im Thak Khola weiter talaufwärts, wo der Wind stärker wird und der Niederschlag dazu noch geringer ist, sind waldbestanden. Der Waldbestand in diesen Flanken setzt aber gerade dort ein, wo die Horstgrasfluren ihre nördliche Verbreitungsgrenze haben. Es entsteht der Eindruck, daß unter sommerfeuchten Bedingungen bis ca. 1200 mm Jahresniederschlag unter Windwirkung Grasland konkurrenzkräftiger ist als Wald. Auszuschließen ist das nicht, denn die Bulte der Horstgräser können das Aufkommen von Baumjungwuchs erschweren, evtl. sogar verunmöglichen, indem die Nettoassimilationsrate für Baumjungwuchs durch die Konkurrenz während der Vegetationsperiode vermindert ist und damit bei den Frosttrockniswetterlagen des Spätwinters, die der Talwind wahrscheinlich entscheidend verschärft, die Frosthärte gering ist und der Baumjungwuchs abstirbt.

Nach Beobachtungen im Quertal des Dudh Kosi bei Lugha (27° 40' N/86° 43' E. Gr.), wo augenscheinlich vor wenigen Jahren die Flanke abgebrannt (worden) war und Gehölze nur im Windschatten von Hangrippen und in Runsen wieder aufgekommen waren, während die im Talwind liegende Flanke außer wenigen *Pinus wallichiana*, welche das Feuer überdauert hatten, keine Gehölzverjüngung zeigte, wäre denkbar, daß auch in Thak Khola das Feuer auslösend für diese windbedingt unterschiedlichen Sukzessionen war, bei der nach dem Feuer im Windschatten eine Gehölzsukzession (Photo 4:5) und in Luv die Sukzession mit Gramineen begonnen hätte. Der Talwind des Thak Khola würde dieses feuerinitiierte Gefügemuster stabilisieren.

## Literatur

- CELIŃSKI, F. u. WIKA, S.: Über den Einfluß der vorherrschenden Winde auf die Ausbildung der Waldgesellschaften. In: *Vegetation und Klima. Ber. Int. Symp. Int. Ver. Vegetationskde.* Hg. v. R. TÜXEN. Vaduz 1977, S. 99–116.
- DOBREMEZ, J.-F.: *Le Népal. Ecologie et Biogéographie.* Paris 1976.
- DOBREMEZ, J.-F. u. JEST, C.: Carte écologique du Népal. I – Région Annapurna-Dhaulagiri. In: *Documents pour la Carte de la Végétation des Alpes*, 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, documents 4*, CNRS), Paris 1974.
- DOBREMEZ, J.-F. u. SHAKYA, P.R.: Carte écologique du Népal. Biratnagar-Kanchenjunga 1:250 000. (= *Cahiers népalais, documents 7*, CNRS), Paris 1977.
- DOBREMEZ, J.-F. u. SHRESTHA, T. B.: Carte écologique du Népal. Région Jumla-Saipal 1:250 000. (= *Cahiers népalais, documents 9*, CNRS), Paris 1978.
- ELLENBERG, H.: *Die Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht.* 2. völlig neu bearb. Aufl., Stuttgart 1978.
- FLOHN, H.: Beiträge zur Meteorologie des Himalaya. In: *Khumbu Himal. Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya.* Hg. v. W. HELLMICH. Bd. 7/2, Innsbruck 1970, S. 25–45.
- HAFFNER, W.: *Nepal Himalaya. Untersuchungen zum vertikalen Landschaftsaufbau Zentral- und Ostnepals.* (= *Erdwissenschaftl. Forschung 12*), Wiesbaden 1979.
- HAGEN, T.: *Report on the Geological Survey of Nepal, Bd. 2: Geology of the Thakkhola.* (= *Denkschriften d. Schweizer. Naturforsch. Ges.* 86/2), Zürich 1968.
- HARA, H., STEARN, W. T. u. WILLIAMS, L. H. J.: *An Enumeration of the Flowering Plants of Nepal, Bd. 1*, London 1978.
- HARA, H. u. WILLIAMS, L. H. J.: *An Enumeration of the Flowering Plants of Nepal, Bd. 2*, London 1979.
- HARA, H., CHATER, A. O. u. WILLIAMS, L. H. J.: *An Enumeration of the Flowering Plants on Nepal, Bd. 3*, London 1982.
- HOLTMEIER, F.-K.: Der Einfluß der orographischen Situation auf die Windverhältnisse im Spiegel der Vegetation. In: *Erdkunde* 25, 1971, S. 178–195.
- KLEINERT, CHR.: *Haus- und Siedlungsformen im Nepal-Himalaya unter Berücksichtigung klimatischer Faktoren.* (= *Hochgebirgsforschung 4*), München 1973.
- KUHLE, M.: Obergrenze von Frostbodenerscheinungen. In: *Z. Geomorph.*, N.F. 22, 1978, S. 350–356.
- : Der Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya. Ein Beitrag zur Geomorphologie extremer Hochgebirge. Textteil, Abbildungsteil, Empirische Grundlage (1983). (= *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd. 41*), Berlin 1982.
- LÜDI, W.: *Die Pflanzengesellschaften des Lauterbrunnentales und ihre Sukzession.* (= *Pflanzengeograph. Kommission d. Schweiz. Nat.forsch. Ges. Beiträge zur geobot. Landesaufnahme 9*), Zürich 1921.
- MEURER, M.: *Geoökologische Untersuchungen im nepalesischen Kali Gandaki-Tal. Die klimatische Differenzierung eines Himalaya-Durchbruchstaes in dreidimensionaler Sicht.* In: *Gießner Beiträge zur Entwicklungsforschung R I*, Bd. 8, Gießen 1982, S. 163–186.
- MIEDE, G.: *Vegetationsgeographische Untersuchungen im Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya.* (= *Dissertationes Botanicae Bd. 66, 1, 2*), Vaduz 1982.
- RAUH, W.: Über polsterförmigen Wuchs. Ein Beitrag zur Kenntnis der Wuchsformen der höheren Pflanzen. In: *Nova Acta Leopoldina*, N.F. 7, 49, Halle 1939, S. 267–508.
- SCHWEINFURTH, U.: Über klimatische Trockentäler im Himalaya. In: *Erdkunde* 10, 1956, S. 297–302.
- : Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya. (= *Bonner Geogr. Abh.* 20), Bonn 1957.
- : Der Himalaya – Landschaftsscheide, Rückzugsgebiet, Spannungsfeld. In: *Geogr. Zeitschrift* 53, 1965, S. 241–260.
- : Der Innere Himalaya. In: *Geogr. Zeitschrift. Beihefte: Erdkundliches Wissen* 9, Wiesbaden 1982, S. 15–24.
- : Man's impact on vegetation and landscape in the Himalayas. In: *Man's impact on vegetation.* Hg. v. W. HOLZNER, M.I.A. WERGER u. I. IKUSIMA. Den Haag, 1983, S. 297–309.
- STANTON, J.D.A.: *Forests of Nepal.* London 1972.
- TROLL, C.: Das Pflanzenkleid des Nanga Parbat. Begleitworte zur Vegetationskarte der Nanga-Parbat-Gruppe (NW-Himalaya) 1:50 000. In: *Wiss. Veröff. Dt. Mus. Länderkde.*, N.F. 7, Leipzig 1939, S. 151–180.
- WALTER, H.: *Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung.* Bd. 1: Die tropischen und subtropischen Zonen. 3., umgearb. Aufl., Stuttgart 1973.
- : *Vegetationszonen und Klima. Die ökologische Gliederung der Biogeosphäre.* 3., umgearb. Aufl., Stuttgart 1977.
- WALTER, H. u. WALTER, E.: Das Gesetz der relativen Standortskonstanz, das Wesen der Pflanzengesellschaften. In: *Ber. D. Bot. Ges.* 66, 1953, S. 227–235.
- WEISCHET, W.: Der tropisch-konvektive und außertropisch-advektive Typ der vertikalen Niederschlagsverteilung. In: *Erdkunde* 19, 1965, S. 6–14.
- ZHENG DU, ZHANG YONG-ZU u. YANG QIN-YE: *Physico-geographical differentiations of the Qinghai-Xizang Plateau.* In: *Proceedings of Symp. on Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau.* (Abstracts). Hg. v. Acad. Sinica, Peking, 1980, S. 1851–1860.

## Karten

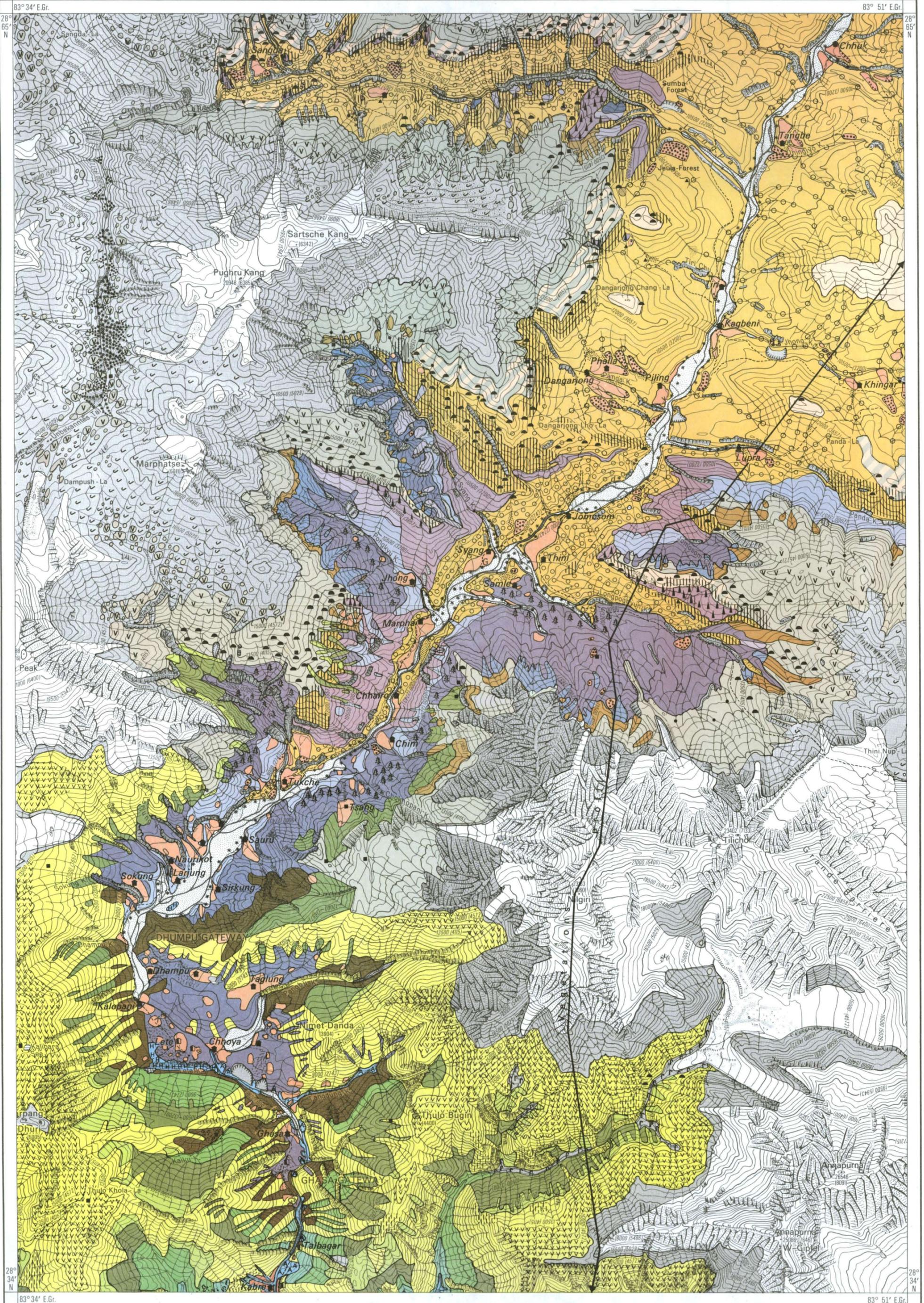
- Khumbu Himal (Nepal): 1:50 000.* Freytag-Berndt und Artaria, 2. Aufl., Wien 1978. (= *Forschungsunternehmen Nepal-Himalaya*. E. SCHNEIDER, F. EBSTER.)
- Shorong/Hinku 1:50 000* v. E. SCHNEIDER. Freytag-Berndt und Artaria, 2. Auflage, Wien 1979. (= *Nepal Kartenwerk d. Arbeitsgemeinschaft f. Vergleich. Hochgebirgsforschung 5*.)
- Operational Navigation Chart H 9, 1:1 000 000.* Hg. Defense Mapping Agency, Aerospace Center St. Louis Air Force Station, Missouri 1970, 63 118.

# Vegetationskarte des Thak Khola (Zentraler Himalaya)

## Vegetation map of Thak Khola (Central Himalaya)



Beilage VII zu ERDKUNDE 38,4 Beitrag Miehe



# Vegetationskarte des Thak Khola (Zentraler Himalaya)

## Vegetation map of Thak Khola (Central Himalaya)

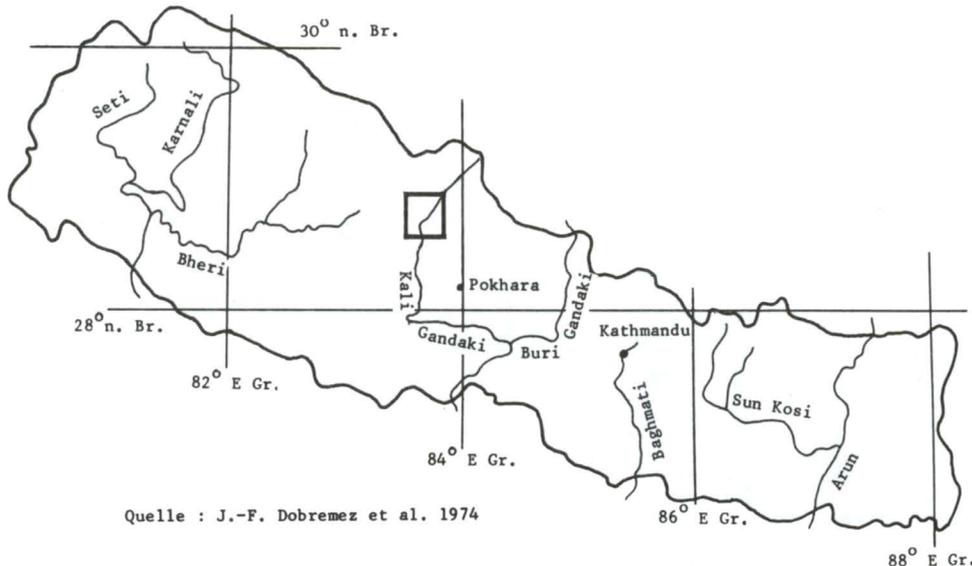
Maßstab 1:100 000

(1 cm der Karte = 1 km der Natur)



Isohypsensabstand: 300 ft (= 91,44 m)

- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | IMMERGRÜNER HÖHEN- UND NEBELWALD - UNTERE STUFE<br>( <i>Neolitsea pallens</i> , <i>Quercus semecarpifolia</i> , <i>Lepisorus loriformis</i> )   |  | MÄSSIG FEUCHTE BIS MÄSSIG TROCKENE MATTENSTUFE   |
|  | IMMERGRÜNER HÖHEN- UND NEBELWALD - MITTLERE STUFE<br>( <i>Rhododendron arboreum</i> , <i>Acer caudatum</i> , <i>Tsuga dumosa</i> )  |  | ZWERGSTRAUCHFORMATION DER TROCKENEN MATTENSTUFE<br>( <i>Potentilla fruticosa</i> var. <i>ochreatea</i> , <i>Astragalus</i> sp. indet. 212/1977 )                                 |
|  | IMMERGRÜNER HÖHEN- UND NEBELWALD - OBERE STUFE<br>( <i>Abies spectabilis</i> , <i>Betula utilis</i> , <i>Rhododendron campanulatum</i> )  |  | SPALIERSTRÄUCHER UND CYPERACEEN - RASENPOLSTER IN DER OBEREN STUFE DER GEHEMMTEN SOLIFLUKTION<br>( <i>Potentilla fruticosa</i> var. <i>pumila</i> , <i>Kobresia nepalensis</i> ) |
|  | SUBTROPISCHER KONIFERENWALD ( <i>Pinus roxburghii</i> )   |  | DORNZWERGSTRAUCHFORMATION AUF REZENTEN UND SUBREZENTEN SCHOTTERAKKUMULATIONEN DER HOCHGEBIRGSHALBWÜSTE<br>( <i>Astragalus bicuspis</i> )   |
|  | TEMPERIERTER KONIFERENWALD ( <i>Pinus wallichiana</i> )   |  | FORMATION GERINNEBEGLEITENDER STRÄUCHER PERIGLAZIALEN MILIEUS ( <i>Hippophae tibetana</i> )  |
|  | TEMPERIERTER KONIFERENMISCHWALD ( <i>Pinus wallichiana</i> , <i>Picea smithiana</i> , <i>Cupressus torulosa</i> , <i>Juniperus indica</i> )   |  | ZWERGSTRAUCHFORMATION AUF SCHWEMMSCHUTTFÄCHERN PERIGLAZIALEN MILIEUS ( <i>Salix</i> cf. <i>eriostachya</i> )   |
|  | TEMPERIERTER KONIFERENMISCHWALD ( <i>Pinus wallichiana</i> , <i>Cupressus torulosa</i> )  |  | ZWERGSTRAUCHFORMATION AUF FLURWÜSTUNGEN<br>( <i>Artemisia gmelinii</i> )   |
|  | TROCKENER KONIFERENMISCHWALD ( <i>Pinus wallichiana</i> , <i>Juniperus indica</i> )   |  | FORMATION HORSTWÜCHSIGER GRAMINEEN IN STEILEN FLANKEN DER SÜDABDACHUNG DES HOHEN HIMALAYA<br>( <i>Helictotrichon asperum</i> , <i>Festuca ovina</i> )                            |
|  | TROCKENER KONIFERENWALD ( <i>Cupressus torulosa</i> )   |  | CYPERACEEN - RASEN IN DER MATTENSTUFE DER SÜDABDACHUNG DES HOHEN HIMALAYA ( <i>Kobresia</i> spp. )   |
|  | TROCKENER KONIFERENWALD ( <i>Juniperus indica</i> )   |  | CYPERACEEN - RASENPOLSTERSODEN IN DER FROSTSCHUTTSTUFE<br>( <i>Kobresia pygmaea</i> )  |
|  | BOREALER KONIFERENWALD ( <i>Abies spectabilis</i> )   |  | LÄGERFLUREN IN DER HOCHGEBIRGSHALBWÜSTE<br>( <i>Hyoscyamus niger</i> var. <i>agrestis</i> )  |
|  | SOMMERGRÜNER EPIPHYTENREICHER LAUBWALD MIT IMMERGRÜNEN KONIFEREN ( <i>Juglans regia</i> , <i>Crypsinus malacodon</i> , <i>Pinus wallichiana</i> )                                       |  | LÄGERFLUREN IN DER FEUCHTEN MATTENSTUFE UND BEI WALDWEIDESIEDLUNGEN ( <i>Rumex nepalensis</i> , <i>Urtica dioica</i> )   |
|  | SOMMERGRÜNER LAUBWALD ( <i>Betula utilis</i> )  |  | SALZWIESEN IN DER HOCHGEBIRGSHALBWÜSTE<br>( <i>Triglochin maritima</i> )   |
|  | TROPISCHER SCHLUCHTWALD ( <i>Rhaphidophora glauca</i> )   |  | FROSTBODENFLUREN ( <i>Eriophyton wallichii</i> )   |
|  | SKLEROMORPHER ERICACEEN - WEIDEBUSCHWALD ( <i>Rhododendron arboreum</i> , <i>Zanthoxylum armatum</i> , <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>wightianum</i> )                              |  | DORFNAHE WEIDEN ( <i>Artemisia roxburghiana</i> )  |
|  | TROCKENES KONIFERENKRUMMHOLZ ( <i>Juniperus indica</i> )  |  | ACKERFLÄCHEN   |
|  | GEWÄSSERBEGLEITENDE GEHÖLZE AUF RUTSCHUNGEN ( <i>Alnus nepalensis</i> )   |  | ORTSCHAFT  |
|  | GEWÄSSERBEGLEITENDE GEHÖLZE AUF SUBREZENTEN SCHOTTERAKKUMULATIONEN ( <i>Hippophae salicifolia</i> )   |  | ORTSWÜSTUNG  |
|  | SOMMERGRÜNES KRUMMHOLZ MIT IMMERGRÜNEN STRÄUCHERN, KONIFEREN UND BAMBUS ( <i>Betula utilis</i> , <i>Rhododendron campanulatum</i> , <i>Juniperus recurva</i> , <i>Arundinaria</i> sp. ) |  | PARTIELLE ORTSWÜSTUNG  |
|  | BAMBUS - DICKICHT ( <i>Arundinaria</i> sp. )  |  | HAUPTVERKEHRSWEGE  |
|  | STRAUCHFORMATION SUBREZENTER SCHOTTERAKKUMULATIONEN SUBTROPISCHEN MILIEUS ( <i>Colebrookea oppositifolia</i> )  |  | REZENTE SCHOTTERFLUREN   |
|  | DORNSTRAUCHFORMATION AN DER UNTEREN WALDGRENZE DER HOCHGEBIRGSHALBWÜSTE ( <i>Caragana gerardiana</i> , <i>Cotoneaster tibeticus</i> )   |  | FELS UND SCHUTT  |
|  | GALERIESTRAUCHFORMATION DER HOCHGEBIRGSHALBWÜSTE ( <i>Rosa sericea</i> , <i>Lonicera hypoleuca</i> )  |  | GLETSCHER UND FIRN   |
|  | DORNZWERGSTRAUCHPOLSTERFORMATION DER HOCHGEBIRGSHALBWÜSTE ( <i>Caragana gerardiana</i> )  |  |  |
|  | ZWERGSTRAUCHFORMATION DER FEUCHTEN MATTENSTUFE ( <i>Potentilla fruticosa</i> var. <i>rigida</i> , <i>Caragana jubata</i> , <i>Rhododendron lepidotum</i> )                              |  |  |
|  | <i>Juniperus squamata</i> ( vorzugsweise in S - Exposition und Luv )  |  |  |
|  | DORNSTRAUCHFORMATION DER GRAMINEENDOMINIERTEN MATTENSTUFE UND REZENTER SCHOTTERAKKUMULATIONEN PERIGLAZIALEN MILIEUS ( <i>Rubus hypargyrus</i> var. <i>niveus</i> )                      |  |  |



Itinerar s. G. Miede 1982, Abb. 2a

Pflanzennamen nach: H. Hara et al. (1978 ff.)  
An Enumeration of the Flowering Plants of Nepal. London. 3 Bde.

AUFGENOMMEN 1976 UND 1977 VON GEORG MIEHE

Topographische Grundlage : One Inch to a Mile,  
Survey of India: Nepal 62 P 5, 6, 9, 10, 13, 14

Grundkarte und Vergletscherung nach M. Kuhle 1982

