

DIE GEBIRGE UND HOCHLÄNDER DER TROPEN UND SUBTROPEN

von
W. Haffner
mit 10 Abbildungen, 2 Tabellen und 11 Fotos

Summary

The Mountains and Highlands of the Tropics and Subtropics.

1864, approximately 120 years ago, the scientific traveller and geographer *R. v. Schlagintweit* established the High Mountain Research at the University of Giessen. Actually in the field of High Mountain Research the following topics are under discussion:

- the analysis of the horizontal and vertical arrangement of the geocological factors in high mountain areas
- the pattern and ecology of the upper forest line, the upper limit of land use etc.
- the analysis of the ecological factors limiting human life in the mountain and high altitude environment.

Besides these basic questions applied and practical points of view intend to become more and more important in the future.

This lecture therefore deals with the following three chapters:

- 1) The geo-ecological characteristics of tropical and subtropical mountains
- 2) The human environment in tropical and subtropical mountains
- 3) The overexploitation of natural resources in densely populated mountains of the tropics and subtropics.

Zusammenfassung

1864, also vor etwa 120 Jahren, begründete der Forschungsreisende und Geograph *Robert v. Schlagintweit* die Hochgebirgsforschung an der Universität Gießen. In der Hochgebirgsforschung sind heute vor allem folgende Fragen aktuell:

- die Analyse der horizontalen und vertikalen Differenzierung der ökologischen Faktoren in Gebirgen
- der Verlauf und die ökologische Bedingtheit von Höhengrenzen, z.B. der Vegetation und Landnutzung
- die Analyse der ökologischen Grenzbedingungen des Lebens im Hochgebirge.

Neben diesen grundlegenden Fragen scheinen mir für die Zukunft immer mehr angewandte und praxisbezogene Gesichtspunkte in den Vordergrund zu rücken.

Dieser Einführungsvortrag behandelt deshalb in 3 Kapiteln:

- 1) Die landschaftsökologischen Grundzüge der tropischen und subtropischen Gebirge

- 2) Tropische und subtropische Gebirge als Lebensraum des Menschen
- 3) Die Übernutzung der natürlichen Ressourcen in dicht bevölkerten Gebirgen der Tropen und Subtropen.

EINLEITUNG

Die Erforschung der Gebirge und Hochländer in Tropen und Subtropen hat an der Universität Gießen Tradition. 1864, also bereits vor fast 120 Jahren, übernahm *Robert von Schlagintweit*, zur damaligen Zeit einer der besten Kenner der Alpen und der Hochgebirge Südasiens, die erste Professur für Geographie in Gießen (Foto 1). Zusammen mit seinen Brüdern *Adolf* und *Hermann* hatte *Robert von Schlagintweit* sich durch mehrjährige Forschungsreisen nach Süd- und Zentralasien einen Namen gemacht. Die wissenschaftlichen Untersuchungen der *Gebrüder von Schlagintweit*, angeregt von *Alexander von Humboldt*, waren außerordentlich weit gespannt: von der Geologie, Klimatologie, erdmagnetischen Messungen, astronomischen Untersuchungen bis hin zur Ethnographie. Die Ergebnisse der *Schlagintweit*'schen Forschungsreisen besaßen damals - vor 120 bis 140 Jahren - große Aktualität: Zum ersten Mal erfuhr man in Europa etwas über die Höhen- und Reliefverhältnisse Süd- und Zentralasiens. Denn ähnlich wie schon *Alexander von Humboldt* vor ihnen in der Neuen Welt, so erfaßten die *Gebrüder von Schlagintweit* nun in den Gebirgen Asiens mit Hilfe exakter barometrischer Höhenmessungen die Höhen- und Reliefunterschiede. Ihre Meßergebnisse sind in einer Fülle von Geländeprofilen, Skizzen und künstlerisch bestechenden Landschaftszeichnungen festgehalten. Erst seit den Reisen der *Gebrüder von Schlagintweit* kennt man in Europa „Hochasien“. Gemeinsam mit *Josef Dalton Hooker* und anderen großen englischen Forschungsreisenden lieferten die *Gebrüder von Schlagintweit* die Grundlage für die moderne Himalaya-Forschung.

Auch die Nachfolger von *Robert von Schlagintweit* in Gießen haben sich als Hochgebirgsforscher ausgewiesen. *Wolfgang Sievers* (1860 - 1921) übernahm zwei Forschungsreisen in die kolumbianischen Anden, *Fritz Klute* (1885 - 1952) gehörte zu den besten Kilimanjaro-Kennern seiner Zeit. Von bleibendem Wert ist seine bereits 1912 mit Hilfe der um diese Zeit neu entwickelten terrestrischen Fotogrammetrie aufgenommene topographische Karte der Hochgebirgsregion des Kilimanjaro (*Klute, 1920*).

Waren mehrjährige Expeditionen in außereuropäische Gebirge vor 100 Jahren noch ein zeitraubendes, oft mit Lebensgefahr verbundenes Abenteuer, so ist bei heutigen Forschungsreisen aller Heroismus fehl am Platz: Auf den Reiserouten der *Gebrüder von Schlagintweit* trifft man inzwischen Touristen aus aller Herren Länder, und auch Gießener Studenten kartieren, messen, befragen - organisatorisch und häufig auch finanziell völlig auf sich selbst gestellt - in entlegenen Gebirgen des Jemen und in den Hochtälern des Himalaya an der Grenze Tibets (Foto 2).

Ein Maß für die heutigen weltweiten Aktivitäten im Bereich der Hochgebirgsforschung ist die große Zahl von internationalen Organisationen, die sich mit der Hochgebirgsforschung befassen, z. T. mehrjährige Forschungsprojekte organisieren, Symposien veranstalten, ja sogar spezielle Veröffentlichungsreihen und Zeitschriften herausgeben (Tab. 1).

Tab. 1: Internationale Organisationen, die sich mit Hochgebirgsforschung befassen

1965	Arbeitsgemeinschaft für Vergleichende Hochgebirgsforschung
1968	IGU Commission on High Altitude Geoecology
	heute: IGU Commission on Mountain Geoecology
	International Biological Programme (IBP)
	Man and Biosphere (MAB)

1975 United Nations University

Schwerpunkt:

Use and Management of Renewable Natural Resources: Highland - lowland interactive systems

1981 International Mountain Society

Die Erforschung der großen Gebirge der Erde ist seit Jahrzehnten in ein neues Stadium getreten: nicht mehr groß angelegte Entdeckungsreisen im Sinne *Alexander von Humboldt's* oder der *Gebrüder von Schlagintweit*, sondern kleinräumige Detailforschung ist heute aktuell. Als Beleg sei nur auf die großmaßstäblichen topographischen Spezialkarten (Maßstab 1:50.000 und größer) hingewiesen, die es mittlerweile von den Riesenvulkanen Afrikas, vom Nanga Parbat, dem Mount Everest und anderen markanten Hochgebirgsmassiven der Erde gibt (vgl. *Schneider, 1957*).

Dabei treten immer mehr Fragestellungen in den Vordergrund, die zwar auch der spezialisierten Detailforschung bedürfen, aber deutlich einen Zug zur Synthese, zur vergleichenden Zusammenschau, zur Interdisziplinarität haben:

- (1) Die alte, aber von Geologen und Geophysikern immer wieder neu gestellte Frage nach der geologisch-tektonischen Genese der großen Gebirgsgürtel der Erde wird durch die Theorie der Plattentektonik seit etwa drei Jahrzehnten wieder diskutiert. Die 'Plattentektonik' erklärt auf faszinierende Weise großräumige Erhebungs- und Senkungsvorgänge, Massenverlagerungen kontinentalen Ausmaßes (Plattenverschiebungen), die Entstehung von Tiefseegräben, von mittelozeanischen Schwellen und schließlich die Gebirgsbildung im systematischen Zusammenhang. Vieles ist noch Hypothese, viele Fragen stehen noch offen.
- (2) Ein zweiter Fragenkomplex befaßt sich mit dem in Gebirgen besonders kompliziertem geographischen Formenwandel im Sinne von *H. Lautensach*, von *C. Troll* programmatisch formuliert als „ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung“. Horizontale und vertikale Differenzierung der ökologischen Faktoren in Gebirgen, Untersuchungen zum horizontalen und vertikalen, d.h. dreidimensionalen Landschaftsaufbau (*Troll, 1955, 1959, 1966*) der großen Gebirge der Erde, Fragen über Verlauf und ökologische Bedingtheit von Höhengrenzen, z.B. der Vegetation und der Landnutzung, die Analyse der ökologischen Grenzbedingungen des Lebens im Hochgebirge, sind die wesentlichen Inhalte dieses Forschungsansatzes.
- (3) Die Gebirge als Lebensraum des Menschen - dies ist z.Zt. ein besonders aktuelles Thema der Hochgebirgsforschung, ein Fragenkomplex, der auch unter praxisbezogenen Gesichtspunkten zunehmende Bedeutung gewonnen hat, - international gefördert vor allem durch das Man- und Biosphere-Programm der UNESCO. Schlagwortartig versucht dies auch das Rahmenthema „Tropische Gebirge: Landschaftsökologie und Agrarwirtschaft“ dieses Symposiums zu verdeutlichen. Bei aller Bedeutung der Grundlagenforschung, scheinen mir für die Zukunft auch in der Hochgebirgsforschung angewandte Fragestellungen stärker im Vordergrund stehen zu müssen als bisher. Denn durch Übernutzung, ja Zerstörung der natürlichen Ressourcen in den Gebirgen wird dieser Lebensraum zunehmend bedroht. Eine ganze Reihe von Vorträgen dieses Symposiums befaßt sich mit diesem Problem, ordnet sich ein in die Thematik einer neuen internationalen Zeitschrift: „Mountain Research and Development“.

Als Einführung zu diesem zweitägigen Symposium möchte ich in den folgenden 40 Minuten die beiden Arbeitsschwerpunkte heutiger geographischer Forschung in den Gebirgen der Tropen und Subtropen vorstellen: erstens die landschaftsökologischen Fragestellungen, die sich mit dem „Ökosystem tropischer und subtropischer Gebirge“ befassen und zweitens Untersuchungen zum „Gebirge als Lebens- und Wirtschaftsraum für den Menschen“.

Im Rahmen eines Einführungsvortrages sei es erlaubt, etwas ins Lehrbuchhafte abzugleiten. Als Einstieg sei die Frage nach der landschaftsökologischen Charakterisierung tropischer und subtropischer Gebirge gestellt, und nach der Unterscheidung von tropischen und außertropischen Gebirgen im landschaftsökologischen Sinn.

Eine Klassifizierung von Gebirgen in tropische, subtropische oder außertropische Gebirge ist vom Ansatz her eine klimatische Typisierung, und zwar eine Einordnung der Gebirge nach der Lage in den Klimagürteln der Erde. Es überrascht etwas, daß in den meisten Definitions- und Abgrenzungsversuchen für die Tropen die Gebirge ausgespart oder vernachlässigt werden, so z.B. in der wohl bekanntesten Klimagliederung nach *Köppen*.

Der überzeugendste Versuch einer klimaökologischen Tropenabgrenzung, der auch Gebirge und Hochländer miteinbezieht, stammt von *Troll (1966)* und in erweiterter Form von *Lauer (1975)*. Wie die Tiefländer, so sind nach *Troll* auch Gebirge und Hochländer in den Tropen charakterisiert durch ein thermisches Tageszeitenklima (Tagesamplitude $>$ als Jahresamplitude), die Höhengebiete der Außertropen (= Subtropen, gemäßigte Zone, Polargebiete) dagegen durch ein thermisches Jahreszeitenklima (Tagesamplitude $<$ Jahresamplitude). Die folgende, keineswegs vollständige, tabellarische Übersicht mag einige wesentliche landschaftsökologische Unterschiede zwischen tropischen Gebirgen und außertropisch-subtropischen Gebirgen verdeutlichen, und zwar, wie sie in direkter Abhängigkeit vom tropischen Tageszeiten- bzw. vom außertropischen Jahreszeitenklima abgeleitet werden können.

Tab. 2: Ökologische Auswirkungen:

eines ausgeprägten Jahreszeitenklimas
im Bereich subtropischer Gebirge

eines ausgeprägten Tageszeitenklimas im Bereich tropischer Gebirge

-
- | | |
|---|--|
| - typische Periodizität im Bereich pflanzlichen und tierischen Lebens (Winterruhe) | - keine thermisch bedingte Periodizität im Bereich pflanzlichen und tierischen Lebens |
| - jahreszeitlich geregelte Anbauzyklen und Formen der Weidewirtschaft (Transhumanz) | - keine jahreszeitlich geregelten Anbauzyklen und Formen der Weidewirtschaft |
| - saisonale Schneedecke (Winterschnee)
Nepal-Himalaya: untere Grenze ca. 2800 m | - unterhalb der klimatischen Schneegrenze nur tageszeitliche Schneedecke (Nacht-schnee) |
| - Schneeakkumulation im Winter, Schneeablation im Sommer;
lange Gletscherzungen | - kurzfristiger Wechsel von Schneeakkumulation und -ablation; kurze Gletscherzungen |
| - saisonaler Wechsel der unteren Frostgrenze zwischen ca. 1000/1400 m (Winter) und ca. 4500 m (Sommer);
gelegentliche Fröste im Gebirgsvorland | - nur geringe Schwankung der Untergrenze regelmäßiger Fröste
- im subnivalen Bereich häufiger Frostwechsel zwischen Tag und Nacht |

- Nadelgehölze, z.T. Fallaubgehölze bilden die obere Waldgrenze (Anpassung an einen thermischen Winter)
- immergrüne breitlaubige Gehölze bilden die obere Waldgrenze
- oberhalb der Waldgrenze: Krummholzstufe; Anpassung der Gehölze und Zwergsträucher an Schneedruck.
- oberhalb der Waldgrenze: hochandine und afro-alpine Vegetation, gekennzeichnet durch Schopfbblattgewächse.

Diese vergleichende Übersicht belegt deutlich die geoökologischen Unterschiede zwischen tropischen und subtropischen Gebirgen, ausgelöst durch die jahreszeitliche Isothermie in den Tropen und thermische Jahreszeiten in den Außertropen. Sie weist aber auch darauf hin, daß das jeweilige Gebirgsklima nur aus der Lage in den Klimagürteln der Erde verständlich wird. Gebirgsklimate stellen nur eine Variante des lagetypischen Tieflandklimas dar, bedingt durch:

- (1) die gesetzmäßige Abnahme der Temperatur mit der Höhe,
- (2) die Zunahme der Strahlung mit der Höhe,
- (3) die Wirkung des Gebirgskörpers als Hindernis im Strömungsfeld der atmosphärischen Zirkulation und dem daraus resultierenden Luv- und Lee-Effekt sowie der vertikalen Niederschlagsdifferenzierung.

1. Thermisch bedingte Höhenstufung tropischer und subtropischer Gebirge

Die gesetzmäßige Abnahme der Temperatur mit der Höhe induziert einen hypsometrischen Klimawandel, der sich in allen vom Klima abhängigen Landschaftselementen widerspiegelt, vor allem in der Höhenstufung der Vegetation und Landnutzung. Hohe Gebirge der Tropen ragen z.B. aus einer frostfreien Fuß- und Montanstufe über die Höhengrenze der Warmtropen (im Sinne von *Wissmann, 1948*) in die Region der kalten und schließlich nivalen Tropen, in den Anden z.B. aus dem Bereich der Tierra Caliente bis in die Höhenstufe der Tierra Fría und Helada (Abb. 1).

2. Das Strahlungsklima

Die im Gebirge mit zunehmender Höhe verminderte Luftfeuchte und Luftrübung und die daraus resultierende verstärkte Ein- und Ausstrahlung führt in tropischen Gebirgen zu einer mit der Höhe zunehmenden Tagesamplitude der Lufttemperatur. Tropische Gebirge besitzen deshalb ein im Vergleich zum umliegenden Tiefland besonders ausgeprägtes Tageszeitenklima.

Die höchsten Werte der Globalstrahlung werden nicht in den wolkenreichen Gebirgen der inneren Tropen, sondern in den kontinentalen, trocken-subtropischen Hochgebirgen (Karakorum, Westhimalaya, Hochland von Tibet, peruanisch-bolivianische Anden, Rocky Mountains) gemessen.

Geringe Luftfeuchte und minimaler Bewölkungsgrad sind bei hohem sommerlichen Sonnenstand die Hauptgründe für die extremen Einstrahlungswerte und verursachen die expositionsbedingten Unterschiede in der Vegetation, der Landnutzung, der Höhe der Schneegrenze usw. Strahlungsbedingte Expositionsunterschiede spielen zwar auch in Gebirgslagen der gemäßigten Breiten eine wichtige Rolle, allerdings im Vergleich zu den trocken-subtropischen Hochgebirgen in abgeschwächter Form. Bereits in wolkenreichen randtropischen Gebirgen, wie z.B. im östlichen Himalaya, am ausgeprägtesten jedoch in äquatorialen Breiten, verwischen schließlich einstrahlungsbedingte Expositionsunterschiede mehr und mehr. Zunehmend entscheidet hier Grad und Dauer der Bewölkung über die Intensität und Dauer der Besonnung und damit über räumliche Temperaturdifferenzen. Thermisch bevorzugt sind deshalb hier wolkenarme Leelagen und

vor Aufkommen der mittäglichen Konvektionsbewölkung schon stark bestrahlte ostexponierte Hänge.

Das extreme Strahlungsklima rand- und subtropischer Gebirge ist darüber hinaus verantwortlich für starke Schwankungen der Bodentemperaturen zwischen Tag und Nacht, für das Vorkommen von Frostmusterböden und schließlich für den Büßerschnee. Extreme Einstrahlungswerte steigern darüber hinaus alle thermisch gesteuerten Klimaphänomene, sie verursachen die ausgeprägte Thermik besonnter Hänge und stellen damit den Motor für die Tal- und Hangwindssysteme dar. Talwinde erreichen in trockenen Himalayatälern Sturmstärke (vgl. *Meurer*, in diesem Band), während in den feuchten innertropischen Gebirgen die tageszeitlich alternierenden Lokalwind-systeme zwar durchaus feststellbar sind, die Thermik, und damit die Windgeschwindigkeit jedoch stark reduziert ist. Ausdruck für diese geringen Windgeschwindigkeiten sind die windempfindlichen Schopfbblattgewächse der hochandinen Paramo-Vegetation und der afroalpinen Hochgebirgsvegetation. (Foto 3).

Extreme Strahlungswerte führen neben der großen Massenerhebung in subtropischen Breiten (Hochland von Tibet, Hochland von Bolivien) zu einer stärker ausgeprägten Anhebung der Isothermen als dies in gemäßigten oder innertropischen Gebirgen der Fall ist. Daraus resultiert ebenfalls der Anstieg klimatisch bedingter Höhengrenzen wie der Schneegrenze, der Waldgrenze u. a. sowie landwirtschaftlicher Höhengrenzen.

3. Hygrische Besonderheiten

Tropen und Subtropen gemeinsam ist ein ausgeprägtes hygrisches Jahreszeitenklima. Dies gilt naturgemäß auch für die Gebirge dieser Breiten. Niederschlagshöhe und -regime sind im einzelnen abhängig von der jeweiligen Lage der Gebirge in den großräumigen atmosphärischen Zirkulationssystemen. Deshalb lassen sich die feuchtklimatischen Verhältnisse tropischer und subtropischer Gebirge in gleitender Reihe von arid über wechselfeucht bis zu immerfeucht charakterisieren (Abb. 1 und 2). Trotz extremer Unterschiede in Niederschlagshöhe und -regime zeigen sich jedoch aus hygrischer Sicht auch deutliche Gemeinsamkeiten.

In vielen hohen Gebirgen der Tropen und Subtropen besteht ein Klimakontrast zwischen feuchter Luvseite und trockener Leeseite. Ein bekanntes Beispiel ist der Himalaya mit seiner den feuchten Monsunwinden zugewandten Südseite und der in Lee gelegenen trockenen tibetischen Gebirgsabdachung (Abb. 3). Auch der Kilimanjaro erhält im Regenschatten (Nordabdachung) nur knapp die Hälfte der Niederschläge, die an der luvseitigen, passatexponierten Südseite gemessen werden (Abb. 4). Ebenso werden die Niederschlagsrekorde auf der Erde an der luvseitigen Abdachung von Gebirgen in niederer und mittlerer Breitenlage erreicht. Hier kommt es durch das Zusammenspiel von orographisch bedingtem Stau effekt und zusätzlich konvektiver Anhebung der über tropisch warmen Meeren besonders stark mit Feuchtigkeit beladenen Luftmassen zu extrem hohen Jahresniederschlagssummen (Debundscha am Fuß des Kamerunberges: 10.299 mm Jahresniederschlag; Cherapunji in den Kasiabergen, Assam: 10.798 mm, Mt. Waialeale auf Kauai, Hawaii: mehr als 14.000 mm).

Hohe Niederschlagsmengen an einer Gebirgsabdachung bedeuten jedoch keineswegs immer zunehmende Niederschlagsmengen mit zunehmender Höhenlage. Im Unterschied zu den Gebirgen hoher Breiten, z. B. der Alpen, steigt nämlich in niederen Breiten die Niederschlagshöhe mit zunehmender Höhe nicht an, sondern tropische Gebirge besitzen eine typische Stufe maximaler Niederschläge. Eine noch darüber befindliche Hochgebirgsregion ist dagegen in der Regel wieder beträchtlich niederschlagsärmer als die Gebirgsabdachung oder der Gebirgsfuß. Dies gilt jedoch, wie *Weischet* bereits 1965 nachgewiesen hat, nur bei vorherrschend konvektivem Niederschlagstyp. Da in vielen Gebirgen der Tropen sowohl konvektive als auch advektive Niederschläge (z. B.

in den Monsuntropen) auftreten oder jahreszeitlich alternieren, ergeben sich im Einzelfall beträchtliche Unterschiede in der Höhenlage der Stufe maximaler Niederschläge (Abb. 2).

Für Ceylon hat *Domrös (1968)* z.B. nachgewiesen, daß zur Monsunzeit mit vorherrschend advektivem Niederschlagstyp die Jahressummen des Niederschlags mit der Höhe kontinuierlich zunehmen. In den durch Konvektionsniederschläge charakterisierten Zwischenmonsunzeiten entwickelt sich jedoch eine typische Maximalstufe der Niederschläge, und zwar im unteren Hangbereich des zentralen Berglandes. Die Beobachtung der Gipfelpyramide des Mt. Everest Massivs zeigt, daß bei länger andauernden Konvektionswetterlagen die Gipfelregion als schneefreie schwarze Pyramide weit über das Niveau der Konvektionsbewölkung hinausragt. Bei advektiven Winterniederschlägen oder sommerlich advektiven Monsunniederschlägen jedoch reicht der Schneefall bis in die Gipfelregion hinauf.

Die Höhenstufe maximaler Niederschläge ist als Hauptkondensationsniveau allgemein durch Wolken- und Nebelreichtum gekennzeichnet (Foto 4). Folge der besonders niederschlagsreichen und luftfeuchten ökologischen Standortverhältnisse sind epiphytenreiche Wolken- und Nebelwälder. Das „Auskämmen“ des Nebels durch die Vegetation erhöht in der Nebelwaldstufe die klimatische Feuchte noch zusätzlich.

Dies belegen mit Hilfe von Nebelmessern (Niederschlagsmesser + aufgesetztes Nebelnetz nach *Grunow*) gewonnene Niederschlagswerte aus Nepal. In den 5 Monsunmonaten des Jahres 1963 lag der im Nebelmesser abgelesene Wert um 500 mm höher als im üblichen Regenmesser (*Kraus, 1966* für Ostnepal). Noch drastischere Unterschiede ergaben sich im Kali-Gandaki-Tal in Zentralnepal (vgl. *Meurer, 1983*). An windexponierten Standorten im Bereich des Hauptkondensationsniveaus war der „Auskämm“-Effekt besonders deutlich feststellbar. In den Nebelmessern mit Netz wurden um ein Drittel höhere Niederschlagssummen registriert als im üblichen Regenmesser ohne Netz. Das höhenstufenspezifische Feuchteklima im Hauptkondensationsniveau tropischer und subtropischer Gebirge ist nicht nur verantwortlich für die üppigen Nebel- und Wolkenwälder, sondern es steuert maßgeblich den Wasserhaushalt tiefer gelegener, meist trockener Gebirgsstufen bis hinein ins Gebirgsvorland.

Die komplizierte, aber dennoch sehr systematische dreidimensionale klima-ökologische Variabilität tropischer Gebirge ist aus einem vergleichenden, primär für die Anden entwickelten Schema von *Lauer (1975)* zu ersehen (Abb. 1). Deutlich spiegelt sich die ökologische Spannweite zwischen humiden und trockenen tropischen Gebirgen in der jeweils lagetypischen Höhenstufung der Vegetation.

Als Spiegelbild des klima-ökologischen Unterschieds zwischen Gebirgen der Tropen und Ausertropen kann das hier wiedergegebene schematische Vegetationsprofil der Erde von der Arktis zur Antarktis von *Troll (Abb. 5)* betrachtet werden. Die Interpretation des Profils zeigt:

- In der Vertikalen reicht die Vegetation (aber auch die landwirtschaftliche Nutzung) in den inner-tropischen Gebirgen doppelt so hoch hinauf wie in den Gebirgen der gemäßigten Zone. Der Grund für ein weit ausgeprägteres Klimagefälle bzw. für eine stärker ausgeprägte Höhenstufung von Vegetation und Landnutzung in den inneren Tropen ist die niedrigere Breitenlage.
- Maximale Höhen erreichen die klimabedingten Höhengrenzen, z.B. Waldgrenze, klimatische Schneegrenze u.a., in den strahlungsreichen subtropischen Gebirgen.
- Die Nebelwaldgebiete zeigen sowohl floristisch, als auch klima-ökologisch eher Verwandtschaft zu den wintermilden, stark ozeanisch beeinflussten kühlen Regenwäldern der Südhemisphäre als zu den nordhemisphärischen Subtropen. Ähnliches gilt für hochandine oder afroalpine Vegetation oberhalb der Waldgrenze (vgl. *Troll, 1959*).

Immerfeuchte Gebirge der Tropen und Subtropen sind bis heute siedlungsfeindliche Waldregionen geblieben. Nicht nur Gebirge in äquatorialer Lage wie der Ruwenzori oder der Kamerunberg sind hier einzuordnen, sondern auch die Südabdachung des Assam-Himalaya. Extrem hohe Niederschläge und fast ganzjährige hohe Luftfeuchte sind hier die limitierenden ökologischen Faktoren für den Getreidebau und für die Speicherung von Erntevorräten.

In den wechselfeuchten bis hin zu den ariden Tropen und Subtropen, d.h. ökologisch in Wassermangelgebieten, sind die Gebirge allgemein feuchtere, oft humide und dann stärker bewaldete Inseln, die aus einem relativ trockeneren Flachland aufragen. Die gebirgige Insel Tenneriffa, das zentrale Bergland Ceylons, der westliche Himalaya, der Kilimanjaro (Abb. 4 und 6) oder der Mt. Kenya seien als klassische Lehrbuchbeispiele genannt. Auf dem Satellitenbild des Kilimanjaro (Abb. 4) ist der Gegensatz zwischen trockenbrauner Savannenzzone im Gebirgsvorland und am Gebirgsfuß und dem grünen, montanen Nebelwaldring deutlich erkennbar. Auch dieser Nebel- und Wolkenwaldring am Kilimanjaro ist wegen zu hoher und ganzjähriger Feuchte bis heute unbesiedelt und deshalb erhalten geblieben. Er bietet ausgedehnte Brenn- und Nutzholzreserven und dient als Lieferant für Trink- und Bewässerungswasser in die darunter liegenden ökologisch trockeneren Höhenstufen, den Regionen dichter Besiedlung und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung (vgl. Abb. 6). Traditionell spielt die Waldweide in vielen Gebirgen, wie z.B. auch im Nepal-Himalaya (Foto 5), eine wichtige Rolle. Ähnlich regelhafte ökologische Abhängigkeiten zwischen relativ feuchtem Gebirge und trockenem Vor- oder Umland sind schließlich aus den ariden Tropen, z.B. den Gebirgen der Sahara, bekannt. Auch hier sind klimatisch feuchtere Gebirge wichtige Wasserspender. In dem von *Mensching (1982)* beschriebenen randtropischen, aus einer trockenen Fußstufe auf knapp über 3000 m aufragenden Vulkangebirge des Jebel Marra bildet die montane Stufe oberhalb 1800 m wegen des besonderen Feuchteklimas und dem damit im Zusammenhang stehenden Landschaftswasserhaushalt die am intensivsten genutzte Höhenstufe: in der relativ feuchten Höhenregion mit Oberflächenwasser und degradierten, keineswegs nur auf edaphisch besonders feuchte Standorte beschränkten Gehölzen ist sogar regenzeitlicher Feldbau (Hirse, Weizen) möglich. In dieser klimagünstigen Höhenregion finden sich auch die insbesondere in Trocken- und Dürrezeiten für die Viehhaltung wichtigen Futterreserven. Schließlich liefern die bereits stark übernutzten Wald- und Gehölzreste das nötige Brenn- und Bauholz. Kein Gebirgswadi führt jedoch ganzjährig Wasser bis ins Vorland. In größerer Entfernung vom „wasserspendenden“ Gebirge fallen schließlich sogar die Brunnen jahreszeitlich trocken.

Bedingt durch die im Vergleich zu den Gebirgen der gemäßigten Zone niedrigere Breitenlage kann die agrarwirtschaftlich nutzbare Höhenstufe z.B. im Nepal-Himalaya die doppelte Höhe erreichen wie in den Alpen. Hier stehen durch die Vertikalgliederung des Gebirges Gebiete mit außerordentlich unterschiedlicher klima- bzw. agrar-ökologischer Ausstattung der landwirtschaftlichen Nutzung zur Verfügung. Im nepalesischen Himalaya sind das Vorland und die tiefen Talagen durch den Naßreisbau, die mittleren Gebirgslagen durch Mais-, Hirse- und Weizenanbau gekennzeichnet. In den Hochtälern der Himalaya-Hauptkette dominiert die Viehwirtschaft, Kartoffel- und Gerstenanbau haben nur einen flächenmäßig geringen Anteil (Abb. 7, Foto 6).

Die Bewirtschaftung der gesamten sich oft über mehrere Tausend Höhenmeter erstreckenden agrarisch nutzbaren Höhenstufen (zwischen 200 und 4700 m) erfolgt in der Regel nicht mehr durch eine einzige ethnische Gruppe: zu groß sind die zu bewältigenden Höhendistanzen, zu diffizil und zu unterschiedlich sind die sehr spezialisierten Methoden einer tropischen Tiefland- oder Höhenlandwirtschaft (Foto 6 und 7). Nur auf Fernweidewirtschaft spezialisierte Hirtenvölker sind in der Lage, Höhendistanzen von mehreren 1000 Metern zwischen Gebirgsvorland und Hochgebirgsregion zu überbrücken. Höhenspezifische Systeme der Landnutzung, dokumentiert

durch das Vorherrschen typischer Anbaugewächse, besondere Formen des Fruchtwechsels, durch Flur-, Haus- und Siedlungsformen, sowie durch spezifische Ausprägung der Gebirgsweidewirtschaft usw. sind aus vielen Gebirgen der Erde bekannt. Für den Himalaya sind sie in vergleichender Sicht vor allem von *Uhlig (1975)* beschrieben und als Staffelsysteme gekennzeichnet worden (Abb. 8).

Gemessen an den ökologischen Ansprüchen des Menschen erweisen sich vor allem mittlere tropische und subtropische Gebirgslagen immer als thermische, vielfach auch als hygrische Gunsträume. Denn Gebirge reichen im Vergleich zu benachbarten Tiefländern in thermisch kühlere, häufig auch weniger schwüle, gesündere Höhen. Noch Mitte dieses Jahrhunderts hat *Filchner (1953)* das Himalaya-Vorland und die tief eingeschnittenen schwülheißen Täler des Gebirges als „Fieberhölle“ beschrieben.

Entscheidend für die Bewertung aus anthropogener Sicht ist demnach nicht nur der empfundene größere Klimakomfort, sondern vor allem auch das Zurückbleiben der Malaria. Allgemein gelten das zentrale Bergland Ceylons, die Hochländer Ostafrikas, des Jemen oder auch die andinen Hochbecken Südamerikas als „gesunde Tropen“.

Die geomedizinisch optimale Höhenstufe in den Tropen und Subtropen erfährt ihre obere Begrenzung durch den sich mit zunehmender Höhe verringenden O_2 -Partialdruck. Dadurch wird der Organismus Bedingungen ausgesetzt, die von Höhenphysiologen allgemein als „Höhenstress“ bezeichnet werden (Abb. 7). Um so erstaunlicher ist es, daß die kulturellen Kernräume Tibets, aber auch die der andinen Indianer-Hochkulturen in dieser Höhenstufe mit bereits verstärkter, höhenbedingter physiologischer Belastung liegen, und daß die Obergrenze der Ökumene hier bis in Höhen über 5000 m hinaufreichen kann. Zum einen liegt dies in den besonders günstigen thermischen Verhältnissen der stahlungsreichen Subtropen begründet. Zum anderen liegt es jedoch an der autochthonen Hochgebirgsbevölkerung, die sich durch physiologische Anpassungserscheinungen und einer seit Generationen andauernden Auslese an die klimatischen Bedingungen des Hochgebirges bestmöglichst angepaßt hat. Für Neuzuwanderer in diese Risikozonen oberhalb 3000 bis 3500 m ü.NN kann die höhenbedingte physiologische Belastung so stark sein, daß wenigstens vorübergehend deutliche Zeichen der Höhenkrankheit auftreten. Die von Bergsteigern als „Todeszone“ bezeichnete Höhenstufe, in der der menschliche Organismus sich nicht mehr erholen kann, sondern physiologisch nur noch abbaut, setzt erst ab ca. 7000 m ein. Nur die höchsten Gipfel des Himalaya und des Karakorum erreichen diese Höhen überhaupt.

Bei aller bisher beschriebenen klimaökologischen Gunst darf bei einer Bewertung tropischer und subtropischer Gebirge als Lebensraum des Menschen allerdings die Benachteiligung durch das Gebirgsrelief nicht übersehen werden. Diesen Gebirgen fehlen nämlich die etwa aus den Alpen bekannten glazial überformten, breit ausgeräumten, und deshalb besonders siedlungs- und verkehrsgünstigen U-Täler in der für die Besiedlung klimatisch geeigneten Höhenstufe. Typisch ist in Gebirgen niederer Breitenlage bis in Höhen um 4000 m ein steiles Kerbtalrelief und das weitgehende Fehlen von Flachformen. Wenn diese Gebirge trotz deutlicher Reliefnachteile häufig dicht besiedelt sind, so war eine Voraussetzung der Terrassenfeldbau, eine dem Steilrelief optimal angepaßte Bodenbearbeitungstechnik. In den jemenitischen Gebirgen sind sogar besonders steil exponierte Berg- und Felsgipfel die bevorzugten Standorte für die enggestellten burgartigen Siedlungen (Foto 8).

Die hier für tropische und subtropische Gebirge skizzierten reliefbedingten Nachteile fehlen in intramontanen Becken- und Hochtallagen. Höhenbedingte klimaökologische Gunst trifft hier zusammen mit deutlichen Reliefvorteilen und bewirkt dadurch eine besondere Gunst des natürlichen Lebensraumes. Sowohl in den großen Gebirgssystemen der alten wie der neuen Welt sind in diese von Hochgebirgsketten umrahmten und damit auch strategisch geschützten beckenarti-

gen Hochländer besonders dicht bevölkert (Abb. 9). In den intramontanen Hochländern und Becken sind auch besondere kulturelle Leistungen vollbracht worden. Erinnerung sei an die Hochkulturen der Inka und der Tibeter. So sind in den intramontanen Beckenlagen größere Städte entstanden, wie z.B. in den Anden Quito oder La Paz. Auch im Himalaya liegen die wenigen großen Städte in den Becken von Kashmir und Kathmandu. Ein weiteres Beispiel ist das arabisch-jemenitische Hochland, mit seiner alten Stadtkultur in den Becken von Sana'a oder Sada.

Die Übernutzung der natürlichen Ressourcen in dichtbevölkerten Gebirgen der Tropen und Subtropen

Ohne Zweifel haben sich in der Vergangenheit mittlere Höhenlagen in den Gebirgen der Tropen und Subtropen als bevorzugte Siedlungs- und Agrarwirtschaftsräume erwiesen (*Alkämper, 1982*).

Die Erfahrung lehrte die Gebirgsbewohner, berggrutsch- und lawinensichere Siedlungsplätze auszuwählen (Foto 6). Drohenden Naturkatastrophen (Überschwemmung, Vermurung, Berggrutsch, Lawinen) versuchte man rechtzeitig auszuweichen. Noch heute werden in Nepal bei akuter Berggrutschgefahr ganze Dörfer aufgegeben.

Die Bergbewohner versuchen nicht, aktiv durch Verbauungsmaßnahmen, Anpflanzen von Schutzgehölzen usw. Berggrutsch und Bodenerosion aufzuhalten, sondern sie geben der übermächtigen Natur nach. Es wäre jedoch verfehlt, die Auseinandersetzung der bergbäuerlichen Bevölkerung mit der Natur nur als passiv zu verstehen. Denn traditionelle Agrargesellschaften waren durchaus in der Lage, aktiv ihre natürliche Umwelt zu verändern (Foto 9 und 10). Man denke nur an die Reliefumgestaltung bei der Anlage von Naßreisterrassen in den asiatischen Gebirgen oder an die Veränderung der Boden- und Bodenwasserverhältnisse bei der Anlage von Regenrteflächen in den jemenitischen Gebirgen. Aber jegliche anthropogene Umgestaltung der Naturlandschaft spielte sich in festen, von der Natur gesetzten Grenzen ab. Wer diese Grenzen aus Mangel an Erfahrung überschritt, dem gegenüber konnte sich die Gebirgsnatur rächen, gelegentlich in katastrophalem Ausmaß. Man verstand sich gewissermaßen darauf - abgesichert durch zur Tradition gewordene Erfahrung - das Gleichgewicht zwischen anthropogener Nutzung und Naturpotential aufrechtzuerhalten. Nur aus dieser Haltung heraus ist es Bergbewohnern (sei es in Nepal, in Jemen oder am Kilimanjaro) über Jahrhunderte hinweg gelungen, der Natur ihres Gebirgslandes den Lebensunterhalt abzurufen.

Wenn seit einigen Jahrzehnten nicht nur von Ausnutzung der ökologischen Ressourcen, sondern von Übernutzung bis hin zur irreversiblen Zerstörung der ökologischen Lebensgrundlage die Rede ist, so liegt der ganz wesentliche Grund dieser jungen Entwicklung in der rapiden Bevölkerungszunahme, vor allem in den schon bisher dicht bevölkerten Gebirgen Asiens oder auch Afrikas. Insbesondere in Gebirgen mit agrarökologisch günstigen Grundvoraussetzungen, d.h. in den traditionell bereits dicht bevölkerten Berggebieten hat sich das Bevölkerungswachstum mittlerweile einer kritischen Schwelle genähert - oder sie bereits überschritten. Von Tag zu Tag steigert sich das Mißverhältnis von Bevölkerung und agrarischer Produktion, und es stellt sich die Frage, ob eine Steigerung der agrarischen Produktion überhaupt noch möglich ist, oder ob das Agrarpotential dieser dichtbevölkerten Berggebiete bereits ausgeschöpft ist. Stark vereinfacht steht man in tropischen und subtropischen Gebirgen - wie überall in Ländern der Dritten Welt mit zu geringer Nahrungsmittelproduktion - vor der zweifachen Aufgabe: Intensivierung oder Vergrößerung der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Neben chronischer Kapitalarmut, wie in vielen Ländern der Dritten Welt, sind in tropischen Gebirgen starke Reliefierung, vor allem aber auch fehlende Verkehrserschließung Standortnachteile, welche die Einführung von technischen Neuerungen auf landwirtschaftlichem Gebiet verzögern

oder ganz unmöglich machen. Besonders aktuell ist daher die Entwicklung von Alternativmethoden, die weitgehend auf die Verwendung und Weiterentwicklung autochthoner arbeitsintensiver Techniken und einer stark verbesserten Humuswirtschaft beruhen. „Ökofarming“ als Alternative zur kapitalaufwendigen technisierten Landwirtschaft wird in dem Aufsatz von *Egger (1982)* vorgestellt. Wenn Ökofarming auf der Basis intensiver Humuswirtschaft vor allem für tropische Höhenlagen propagiert werden kann, dann deshalb, weil hier, bedingt durch relativ niedrige Temperaturen, der Humusabbau im Vergleich zu tropischen Tiefländern stark verlangsamt ist. Die Techniken des Ökofarming sind allerdings in vieler Hinsicht noch nicht ausgereift und es fehlt an Erfahrungen. Von Kritikern wird hervorgehoben, daß vor allem sichere Erfahrungswerte über Flächenerträge und schließlich Angaben zur Rentabilität fehlen. Für die Mehrzahl der bäuerlichen Betriebe in tropischen Bergländern, vor allem bei kapitalexensiver Selbstversorgungswirtschaft, gibt es nur einen Weg der Produktionssteigerung: die Erweiterung der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Arbeitskraft ist bei immer noch zunehmender Bevölkerungszahl in der Regel im Überschuß verfügbar, und in Gebirgen gibt es im Vergleich zum Vorland meist auch noch ackerbaulich bisher nicht genutzte Wald- und Weideareale. Typisch auf den Profilskizzen des Kilimanjaro (Abb. 6) und des Nepal-Himalaya (Abb. 10) ist das Nebeneinander von äußerst dicht bevölkerten agrarisch intensiv genutzten Höhenstufen und fast unbesiedelten, allenfalls extensiv weidewirtschaftlich genutzten Waldgürteln. Was liegt näher als eine Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in diese Waldgürtel. Wenn auch in der wolkenreichen Stufe tropischer Bergwälder die typischen tropischen Kulturpflanzen (Reis, Hirse, Mais) nicht mehr gedeihen, so sind die Voraussetzungen für den Kartoffel- und Getreideanbau, aber auch für eine Intensivierung der Viehwirtschaft durchaus gegeben. Weder am Kilimanjaro noch in vielen Teilen des Nepal-Himalaya ist aus klimatologischer Sicht die absolute Höhengrenze des Anbaus erreicht. Aus geoökologischen Gründen ist allerdings vor einer Rodungstätigkeit größeren Ausmaßes zu warnen, denn der nebel- und wolkenreiche Höhenwald bildet das natürliche Reservoir für Trink- und Bewässerungswasser der tiefer gelegenen, dicht besiedelten Höhenstufen. Nur hier entspringen - sieht man von der eigentlichen Hochgebirgsregion oberhalb der Waldgrenze ab - perennierende Gewässer, vor allem viele kleinere Hangbäche und Quellen.

Man kann also nicht genügend davor warnen, diese bisher allenfalls extensiv weidewirtschaftlich genutzten Waldgürtel in den tiefer liegenden, dicht besiedelten und ackerbaulich genutzten Raum mit einzubeziehen. In Ostafrika (Kilimanjaro, Mt. Kenya) verhindern mittlerweile Forstgesetze die landwirtschaftliche Erschließung des Höhenwaldgürtels. In Nepal sind Siedlungen im Bereich der feuchten Tannenwaldstufe rar, weil bis heute die Höhenstufe der Dauersiedlungen insbesondere bei den indisch-hinduistischen Volksgruppen in etwa der Höhengrenze des Mais- und Hirseanbaus entspricht. Die Waldstufe, in der noch Kartoffeln und allenfalls nordische Getreidearten gedeihen, wird den traditionellen Eßgewohnheiten entsprechend bis heute gemieden. Umso größer ist in Nepal der Druck auf die Salwaldzone des Himalayavorlandes (Bharbar- und Siwalik-Zone). Die ausgeprägte edaphische Trockenheit in dieser Region, bedingt durch wasserdurchlässige Schotter und Konglomerate im Untergrund und das daraus resultierende Fehlen von Oberflächenwasser oder wenigstens von oberflächennahem Grundwasser, ist der limitierende ökologische Faktor für den Ackerbau (Reis, Mais) und Ursache für das fast völlige Fehlen von Dauersiedlungen. Aus ökologischer Sicht müßte die Anlage von Baumkulturen vor allem im Bereich der edaphisch trockenen Bhabar-Zone erfolgreicher sein als etwa der Trockenfeldbau, es sei denn, Mais und Hirse würden unter dem schützenden Kronendach von Waldbäumen kultiviert werden. Ein kombinierter land- und forstwirtschaftlicher Anbau, wie er von *v. Maydell (1982)* vorgestellt wurde, erscheint unter diesen ökologischen Voraussetzungen als erfolgversprechend.

Die Erweiterung der landwirtschaftlichen Nutzfläche erweist sich als besonders problematisch in den bereits seit vielen Jahrhunderten intensiv genutzten und dicht bevölkerten Kernräumen tropischer und subtropischer Gebirge. Hier ist nämlich flächenhafte Ausdehnung des Ackerbaus gleichbedeutend mit einem Vordringen in auf Dauer ungeeignete, weil zu steile Hanglagen, d.h. in typische Grenzertragsgebiete. Die Rodung der durch Brennholz und Futterentnahme in der Regel bereits stark degradierten Buschwälder leitet jene irreversiblen morphodynamischen Prozesse ein, die mit kleineren zuerst kaum wahrgenommenen Bodenerosionsschäden beginnen und häufig in Bergrutschschäden katastrophalen Ausmaßes enden. Drastische Beispiele enthalten die in diesem Band veröffentlichten Aufsätze von *Kienholz* (Nepal) und *Werner* (Mexiko). *Weise* (1983) hat mit einer Gruppe Gießener Geographiestudenten den vielseitigen Usachenkomplex der Erosions- und Bergrutschschäden im Gharwal-Himalaya untersucht.

Irreversible Boden- und Erosionsvorgänge beschränken sich keineswegs nur auf rezent in die ackerbauliche Nutzung einbezogene Grenzstandorte, sondern sie richten besonders große ökonomische Schäden in altgenutztem, seit Generationen terrassiertem Kulturland an. Im Himalaya ist so manches jahrhundertealte Dorf (Foto 11) heute vom Bergrutsch unmittelbar bedroht. Die Gründe liegen auf der Hand: Übernutzung der ökologischen Ressourcen und einseitige Priorität ökonomischer Interessen. Zunehmender Brennholzbedarf und durch chronischen Viehfuttermangel bedingte überstarke Schneitelung der als Futterbäume genutzten Gehölze führen zur Eliminierung auch der letzten Bäume im Kulturland (Foto 10). Ungeregelte künstliche Bewässerung, vor allem jedoch die rigorose Anlage von Straßen in unbefestigter Hanglage bewirken, daß jahrhundertealte stabil gebliebene Ackerterrassenkomplexe nun nach kräftigem Regen in Bewegung geraten. Allerdings führt keineswegs nur raubbauartige Übernutzung der natürlichen Ressourcen zu irreversiblen ökologischen Schäden. Aus den Gebirgen des Jemen ist das Gegenteil bekannt geworden (*Alkämper et al., 1979*). Wanderarbeit in die benachbarten Ölstaaten und das damit zusammenhängende extrem hohe Lohnniveau sind die Gründe für den heutigen Mangel an landwirtschaftlichen Arbeitskräften. Die daraus resultierende Vernachlässigung der jahrhundertealten Terrassenkomplexe führt nicht nur zum Einstürzen der Terrassenmauern, sondern schließlich zum Abtransport der in generationenlanger, mühevoller Arbeit hinter den Mauern angesammelten Bodenpakete bis hin ins Gebirgsvorland. Nicht eine durch zunehmenden Bevölkerungsdruck verursachte Übernutzung führt hier also zur Zerstörung der ökologischen Ressourcen, sondern eine sozioökonomisch bedingte Extensivierung hervorgerufen durch Arbeitskräftemangel.

Die ökologischen Probleme in den Gebirgen der Tropen und Subtropen scheinen heute kaum noch lösbar. Degradierte Wälder und Böden, die negative Veränderung des Wasserhaushalts sind weitgehend irreversible Folgen einer Übernutzung. Glauben wir allerdings nicht, daß die Probleme der bergbäuerlichen Bevölkerung in der Vergangenheit weniger existentiell waren.

Der Nahrungsspielraum war immer eng, und die durchschnittliche Lebenserwartung von wenig über zwanzig Jahren bedarf wohl keines bewertenden Kommentars. In Anerkennung der im Gebirge von der Natur gesetzten Grenzen, wurde Landwirtschaft - wie es der Schweizer Agrarwissenschaftler *Etienne* (1968) formulierte, als „Kunst des Möglichen“ verstanden. Die Beherrschung dieser „Kunst“ ist heute mehr gefordert denn je, ob in den Bergen Ostafrikas, Nepals oder des Jemen.

Abb. 1: Schema einer dreidimensionalen ombrothermischen Gliederung der tropischen Vegetationsgürtel und Stufen (nach Lauer, 1975)

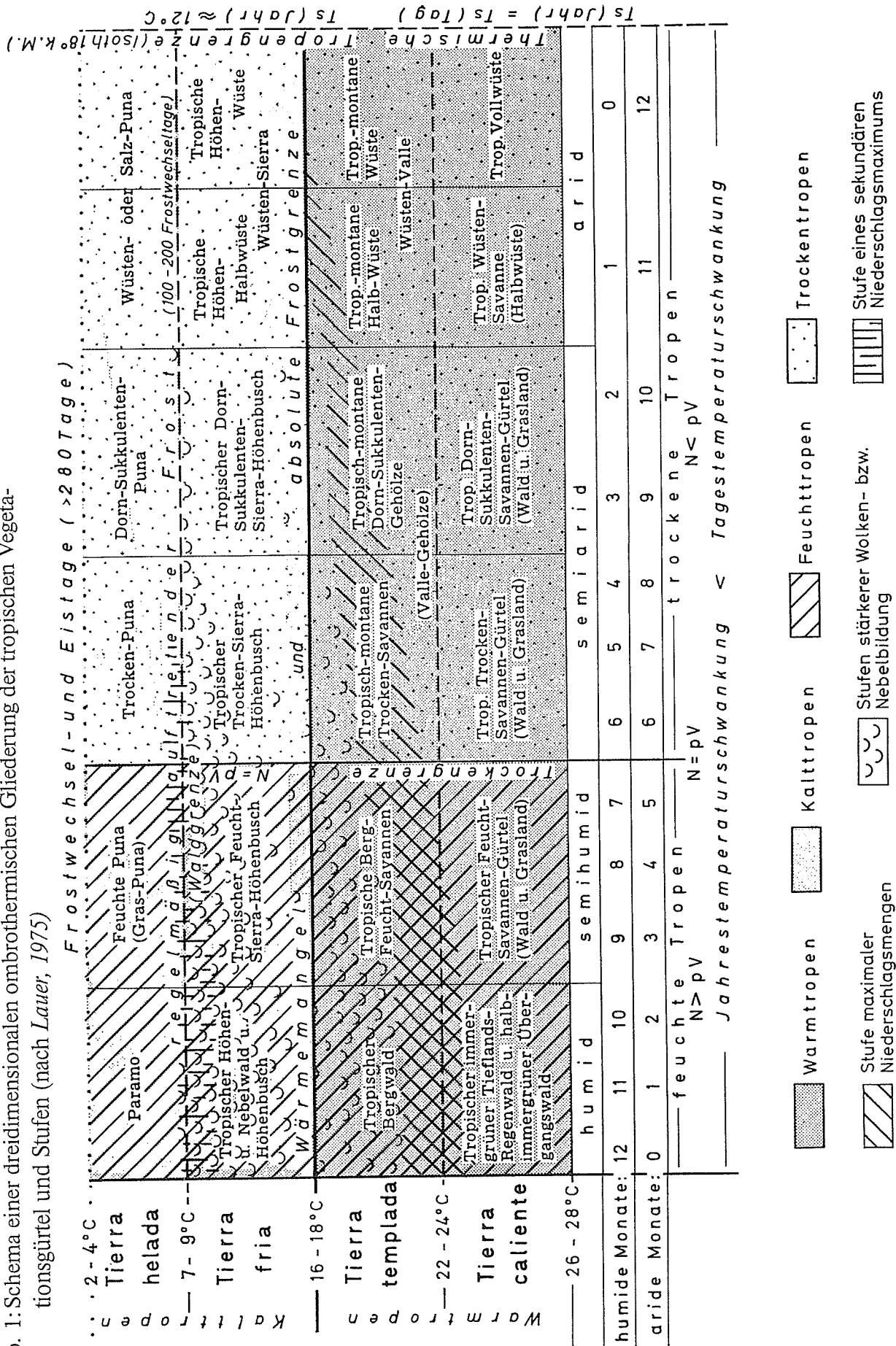


Abb. 2: Jährliche Niederschlagssummen verschiedener Gebirgsabdachungen in Abhängigkeit von der Meereshöhe. Schraffierte Fläche = Höhenlage der Maximalstufe (nach Lauer, 1976)

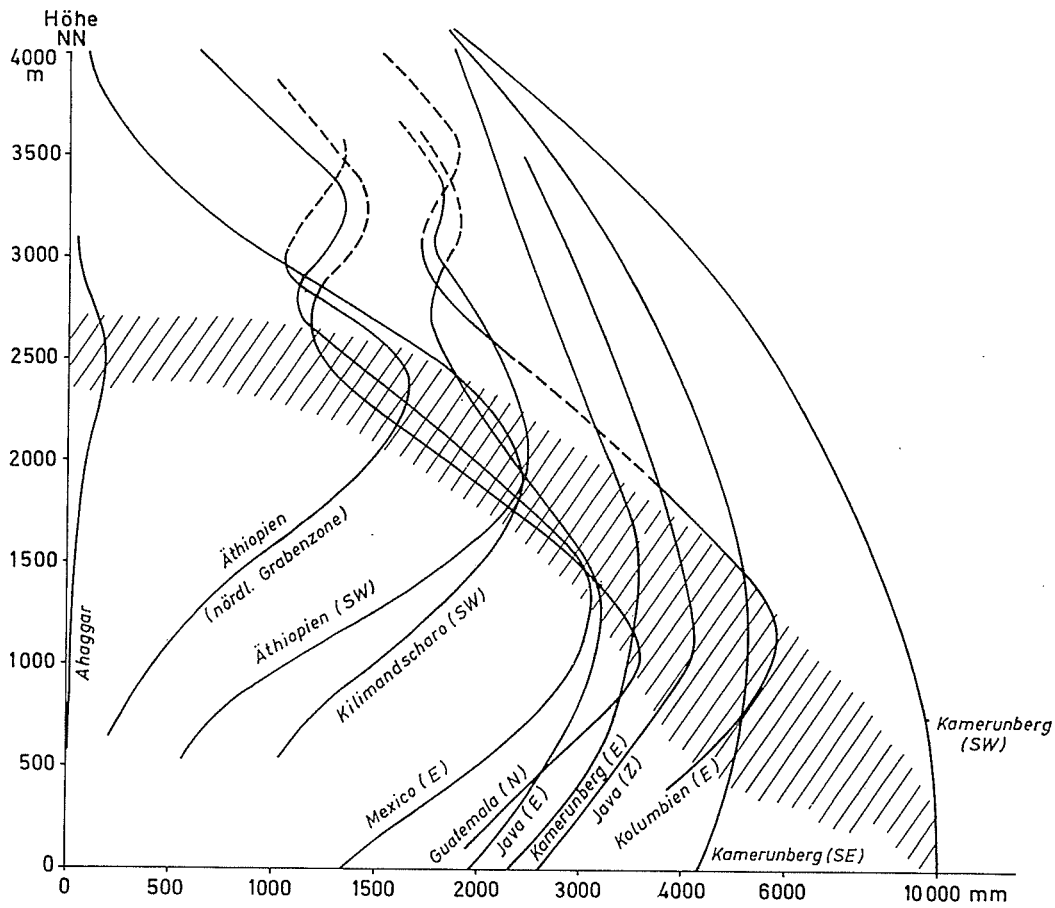


Abb. 3: Satellitenluftbild: Vegetationsstufen im Osthimalaya (s. Anlage)

Abb. 4: Satellitenluftbild Kilimanjaro und Fujiyama (s. Anlage)

Abb. 5: Schematisches Vegetationsprofil der Erde von der Arktis zur Antarktis (nach Troll, 1955)

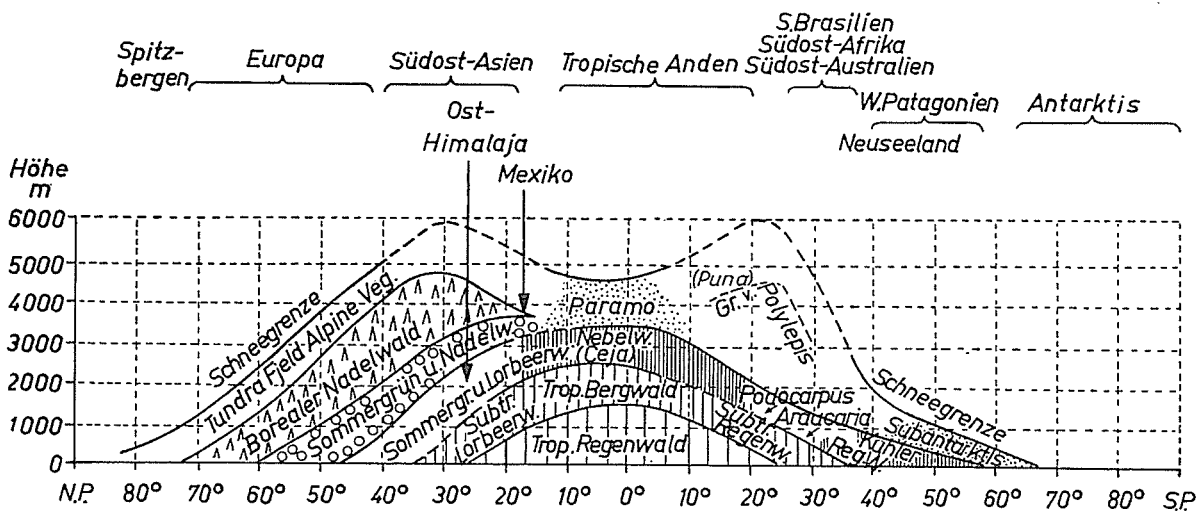
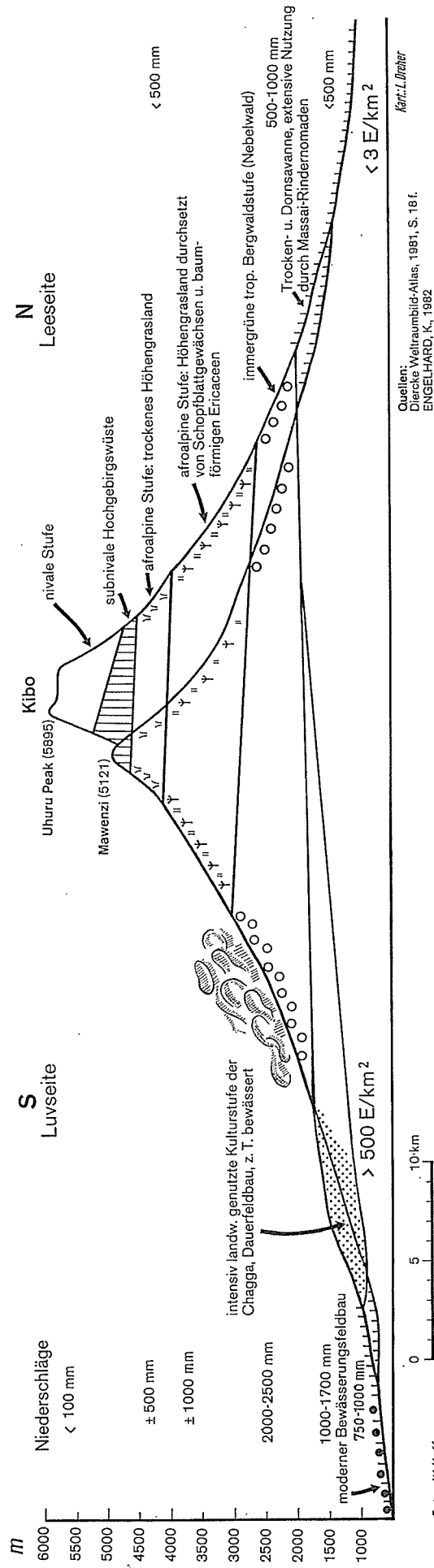


Abb. 6: Kilimanjaro - Klima, Vegetation, Landnutzung und Bevölkerungsdichte im Profil



Entw.: H. Hafner

Kart.: L. Dreher

Quellen:
Diercke, Weltatlas, 1981, S. 18 f.
ENGELHARD, K., 1982
Government of the United Republic of Tanzania, 1965:
Top Karte d. Kilimanjaro 1 : 100 000, Special Sheet
GRENZEBACH, K., 1977: Fig. 8, Kilimanjaro
und Mt. Meru und Umiland
KLUTE, F., 1926: Fig. 2, Jährlicher Niederschlag
in mm am Kilimandscharo und Meru

Abb. 7: Höhengrenzen in Ostnepal

Höhe in m	Höhengrenzen einiger Pflanzen	Klimatische Höhengrenzen	Höhengrenzen einiger Kulturpflanzen	Höhenstufen des Regenfeldbaus	Höhengrenzen der Besiedlung	Bevölkerung Ostnepals	Medizinische Höhengrenzen
6000	Absolute Grenze höherer Pflanzen	Klimatische Schneegrenze			Paßhöhe des Nangpa La		
5000	Juniperus, Salix	untere Frostbodengrenze			höchste Almhütte		physiologische Höhengrenze
			Kartoffel, Buchweizen, Gerste, Amaranth		höchste ständig bewohnte Einsiedelei	Sherpa	
					höchstes Sommerdorf mit Ackerbau	< 10 E/km ²	
4000	Abies webbiana	Waldgrenze			höchstes Dauerdorf		
				Gerste-Buchweizen-Kartoffelstufe eine Ernte im Monsunsommer Winter: Brache			
3000	Quercus semicarpifolia (immergrün)	untere Winterschneegrenze	Mais				Höhenstreß
			Hirse, Taro	Stufe der Zweizeigenwirtschaft: Sommer:			
			Wasserreis, Bananen	Kartoffeln und Mais/Hirse; Winter:		Thamang, Sunwar, Rai, Gurung	Höhengrenze Malaria
2000	Shorea robusta (sommergrün)	untere Frostgrenze	Agurmen	Weizen/Brache			
			Zuckerrohr				
	Pandanus			Mais-Hirse-Buchweizenstufe; im Winter: Brache, ein bis zwei Ernten im Monsunsommer			
1000	Zwergpalmen		Ananas			Pabatiya	
						180-300 E/km ²	

Abb. 8: Äußerer Himalaya: Staffelsysteme einzelner Gruppen im Steillief (nach Uhlig, 1976)

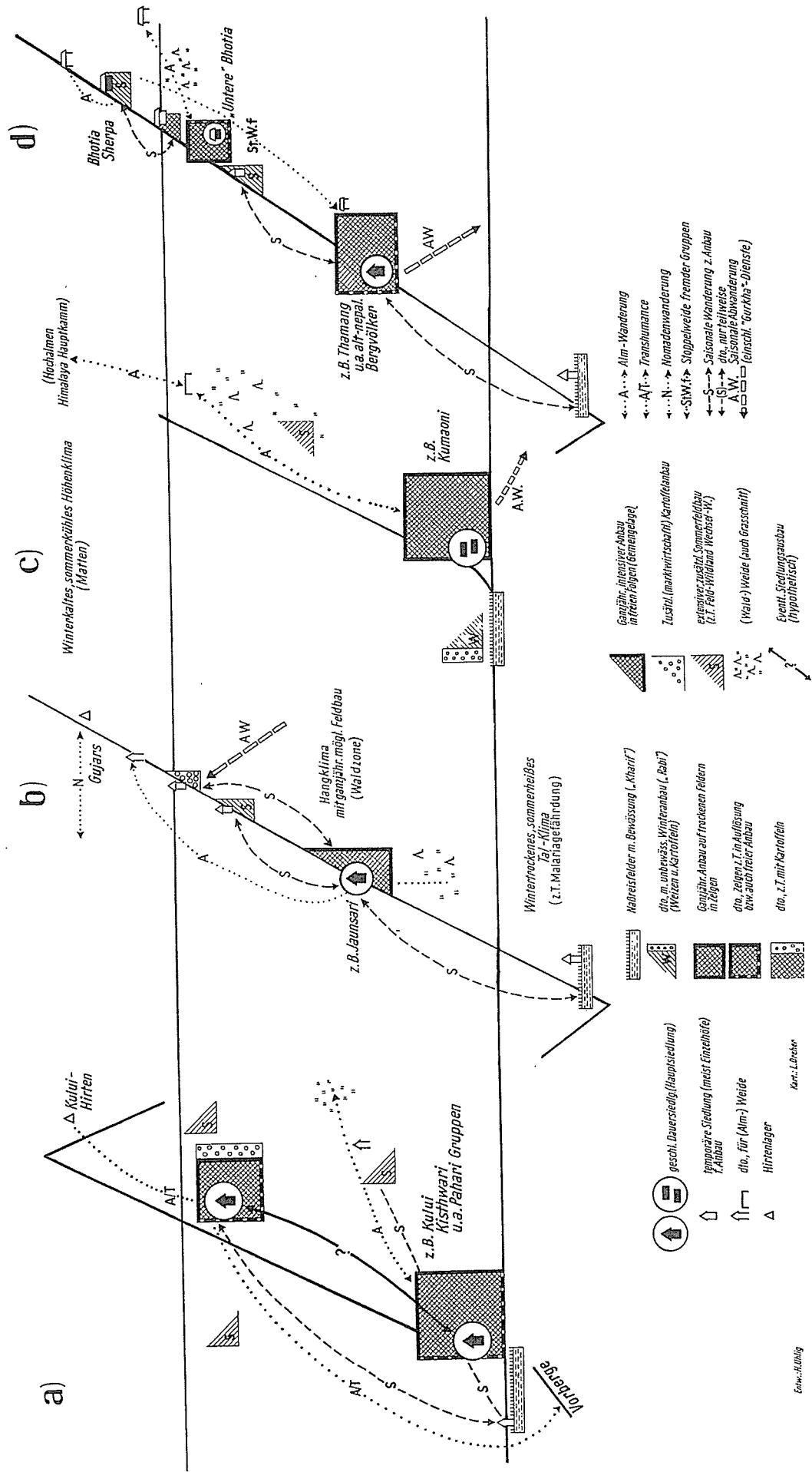


Abb. 9: Ecuador: Relief und Bevölkerungsverteilung (nach Sick, 1963)

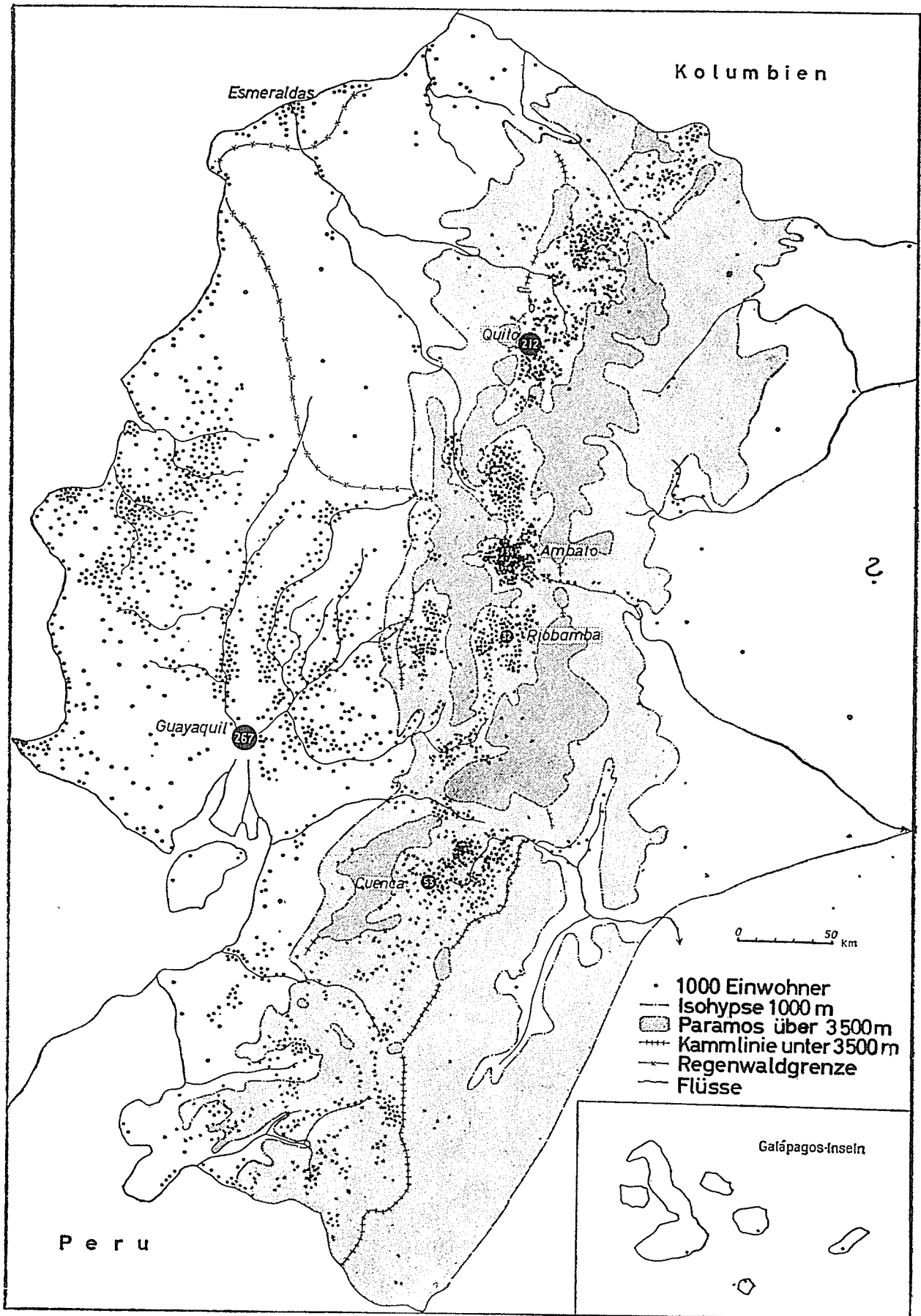
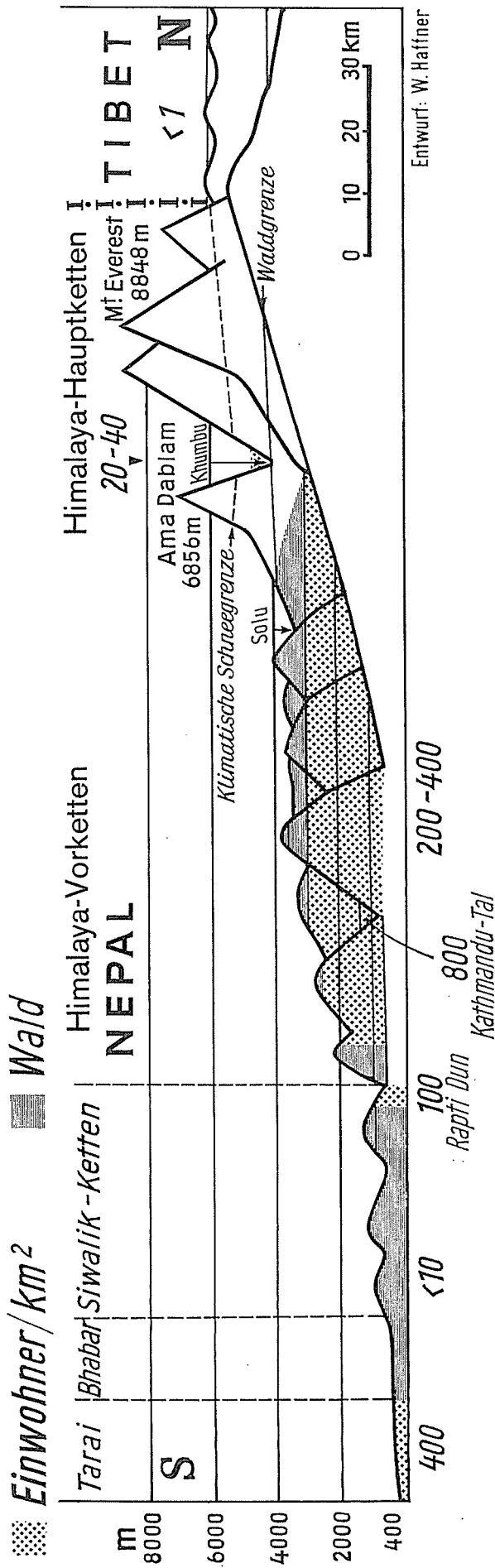


Abb.10: Nepal Himalaya - Waldverteilung und Bevölkerungsdichte im Profil



Literatur

- ALKÄMPER, J., HAFFNER, W., MATTER, H.E., WEISE, O.R. & WEITER, M., 1979: Erosion Control and Afforestation in Haraz, Yemen Arab Republic. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe II, Bd. 2, Gießen und Sana'a.
- ALKÄMPER, J., 1982: Einfluß der Höhenlage auf Anbaumöglichkeiten und Ertrag. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd. 8, Tropeninstitut Gießen.
- BRENDEL, W., 1965: Höhenakklimatisation und Höhenkrankheit. In: Jahrbuch des Deutschen Alpenvereins, Bd. 90: 190-205. München.
- DOMRÖS, M., 1967/68: Untersuchungen der Niederschlagshäufigkeit auf Ceylon nach Jahresabschnitten. In: Jahrb. des Südasieninstituts der Univ. Heidelberg, Bd. II: 70-83. Wiesbaden.
- EGGER, K., 1982: Methoden und Möglichkeiten des „Ecofarming“ in Bergländern Ostafrikas. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd. 8, Tropeninstitut Gießen.
- ENGELHARDT, C., 1982: Interpretation des Satellitenbildes „Kilimanjaro Vegetationsstufen“. Weltraumbild-Atlas, Textband. Braunschweig.
- ETIENNE, G., 1968: Studies in Indian Agriculture. The Art of the Possible. Univ. of California Press. Berkeley.
- FILCHNER, W., 1953: In der Fieberhölle Nepals. Wiesbaden.
- FINSTERWALDER, R., 1935: Forschung am Nanga Parbat. Deutsche Himalaya Expedition 1934. Sonderveröffentlichung der Geogr. Ges. zu Hannover. Hannover.
- GRENZEBACH, K., 1977: Agrarräumlicher Strukturwandel infolge von Bevölkerungsverdichtung in dichtbesiedelten Grenzregionen der humiden Tropen Afrikas. Beispiele aus S-Senegal und N-Tanzania. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Band 3, Tropeninstitut Gießen.
- HAFFNER, W., 1978: Gutachten zur Anlage von Gehölzdauerkulturen und zur Verbesserung des Futterbaus im Al Baun-Gebiet, Arabische Republik Jemen. Im Auftrag der GTZ. Eschborn.
- HAFFNER, W., 1979: Nepal Himalaya. Untersuchungen zum vertikalen Landschaftsaufbau Zentral- und Ostnepals. Erdwiss. Forschg. Bd. XII. Wiesbaden.
- HAFFNER, W., 1982: Nepal Himalaya. Satellitenluftbild-Interpretation und landschaftsökologische Typisierung. In: GZ (Beihefte): Beiträge zur Hochgebirgsforschung und zur Allgemeinen Geographie (Festschrift für H. Uhlig zum 60. Geburtstag): 9-14. Wiesbaden.
- HOFMANN, R., 1982: Vikunjabewirtschaftung als Ergänzung der Haustierhaltung in den Hochanden. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd. 8, Tropeninstitut Gießen.
- KIENHOLZ, H., HAFFNER, F. & SCHNEIDER, G., 1982: Zur Beurteilung von Naturgefahren und der Hanglabilität - Ein Beispiel aus dem nepalesischen Hügelland. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd. 8, Tropeninstitut Gießen.
- KLUTE, F., 1920: Ergebnisse der Forschungen am Kilimandscharo 1912. Berlin.
- KÖPPEN, W., 1936: Das geographische System der Klimate. Hb. Klimatol. Vol. I, Tl. C: 1-45. Berlin.
- KRAUS, H., 1966: Das Klima von Nepal. Khumbu Himal (W. HELLMICH, Ed.), Bd. 1: 301-321. Berlin, Heidelberg, New York.

- LAUER, W., 1975: Vom Wesen der Tropen. Klimaökologische Studien zum Inhalt und zur Abgrenzung eines irdischen Landschaftsgürtels. Akad. der Wiss. u. Lit. Mainz, Math.-naturwiss. Klasse, Jg. 75, Nr. 3. Wiesbaden.
- LAUER, W., 1976: Klimatische Grundzüge der Höhenstufung tropischer Gebirge. In: Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen des 40. Deutschen Geographentag: 76-90. Innsbruck.
- LAUTENSACH, H., 1952: Der geographische Formenwandel. Colloquium Geographicum, 3. Bonn.
- MAYDELL, von, H.J., 1982: Möglichkeiten zur Erhöhung der humanökologischen Tragfähigkeit durch agroforstliche Maßnahmen in semiariden Gebieten tropischer und subtropischer Gebirge. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd. 8, Tropeninstitut Gießen.
- MENSCHING, G., 1982: Der Jebel Marra und seine Höhenstufen. In: GZ (Beihefte): Beiträge zur Hochgebirgsforschung und zur Allgemeinen Geographie (Festschrift für H. Uhlig zum 60. Geburtstag): 39-50. Wiesbaden.
- MESSERLI, B., 1973: Problems of Vertical and Horizontal Arrangement of the High Mountains of the Extreme Arid Zone (Central Sahara). Arctic and Alpine Research, 5, A 139 - A 147.
- MESSERLI, B., 1981: Mountain hazards and mountain geocology. In: Geological and Ecological Studies of Qinghai-Xizang Plateau, Vol. II: 1817. New York.
- MEURER, M., 1982: Untersuchungen zum Globalstrahlungsgang im nepalesischen Kali-Gandaki. In: GZ (Beihefte): Beiträge zur Hochgebirgsforschung und zur Allgemeinen Geographie (Festschrift für H. Uhlig zum 60. Geburtstag): 51-62. Wiesbaden.
- MOUNTAIN RESEARCH AND DEVELOPMENT published by the International Mountain Society, Boulder ISSN 0276-4741 seit 1981.
- MÜLLER, U. (Hrsg.), 1982: Bericht über die Exkursion und das Geländepraktikum des Geographischen Instituts Gießen in Nord-Indien und Nepal. Gießen.
- PATZELT, G., 1983: Die Berg- und Gletscherstürze vom Huscarán, Cordillera Blanca, Peru. Hochgebirgsforschung Bd. 6.
- POHLE, P., 1983: Die Anpassung des Menschen an den Lebensraum Hochgebirge - Beispiele aus dem Nepal - Himalaya unter besonderer Berücksichtigung der Manangba. Staatsexamensarbeit 1983.
- RATHJENS, C., 1982: Geographie des Hochgebirges. Bd. 1. Der Naturraum. Teubner Studienbücher Geographie. Stuttgart.
- RUDDLE, K. & MANSCHARD, W., 1981: Renewable Natural Resources and the Environment Pressing Problems in the Developing World. Dublin.
- SCHLAGINTWEIT, H., SCHLAGINTWEIT, A. & SCHLAGINTWEIT, R., 1861-1866: Results of a scientific Mission to India and High Asia, undertaken between the years MDCCCLIV and MDCCC VIII, by order of the Court of Directors of the Honourable East India Company. Leipzig.
- SCHLAGINTWEIT, R.v., 1865: Physikalisch-geographische Schilderung von Hoch-Asien. In: Petermanns Mitteilungen, Bd. 11: 361-377.
- SCHNEIDER, E., 1957: Mahalangur Himal, Chomolungma, Mount Everest. Karte 1:25.000. Deutscher Alpenverein, Österr. Alpenverein, Deutsche Forschungsgemeinschaft. Begleitworte zur Karte erschienen in: Hagen, T., Dyhrenfurth, G.O., v. Fürer-Haimendorf, C. & Schneider, E., 1959: Mount Everest. Zürich.
- SICK, W.-D., 1963: Wirtschaftsgeographie von Ecuador. Stuttgarter Geogr. Studien, Bd. 73. Stuttgart.

- SIEVERS, W., 1914: Reis in Peru und Ecuador. Ausgeführt 1909. Wiss. Veröffentlichungen der Gesellschaft f. Erdkunde zu Leipzig. Bd. 8.
- TROLL, C., 1943: Thermische Klimatypen der Erde. *Pet. Geogr. Mitt.*: 81-89.
- TROLL, C., 1959: Die tropischen Gebirge. Ihre dreidimensionale klimatische und pflanzengeographische Zonierung. *Bonner Geogr. Abh.* 25.
- TROLL, C., 1962: Die dreidimensionale Landschaftsgliederung der Erde. *Hermann von Wissmann-Festschrift*: 54-80. Tübingen.
- TROLL, C., 1966: Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung. *Erdkundl. Wissen*, 11. Wiesbaden.
- TROLL, C., 1967: Die klimatische und vegetationsgeographische Gliederung des Himalaya-Systems. *Khumbu Himal*, 1 (W. Hellmich Ed.): 353-388. Berlin.
- UHLIG, H., 1965: Das Neue Schloß als Geographisches Institut. Frühe geographische Vorlesungen. Die Gießener Geographen Robert von Schlagintweit und Wilhelm Sievers. *Gießener Geographische Schriften*, Heft 6. Gießen.
- UHLIG, H., 1975: Bergbauern und Hirten im Himalaya. In: *Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen*, 40. Deutscher Geographentag Innsbruck. Wiesbaden.
- WEISCHET, W., 1965: Der tropisch-konvektive und der außertropisch-advektive Typ der vertikalen Niederschlagsverteilung. *Erdkunde* 19: 6-14. Bonn.
- WEISCHET, W., 1969: Klimatologische Regeln zur Vertikalverteilung der Niederschläge in Tropengebieten. *Die Erde*: 287-306. Berlin.
- WEISCHET, W., 1977: Die ökologische Benachteiligung der Tropen. Stuttgart.
- WEISE, O.R., CHRISTIANSEN, T., DICKHOF, A., HAHN, A., LOOSER, U. & SCHORLEMER D., 1982: Die Bodenerosion im Gebiet der Dhauladhar Kette am Südrand des Himalaya/Indien. *Gießener Geographische Schriften*. Gießen.
- WERNER, G., 1982: Die Auswirkungen der Vegetationszerstörung auf die Ökologie im zentralen Hochland von Mexiko. *Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung*, Reihe I, Bd. 8, Tropeninstitut Gießen.
- WINIGER, M., 1981: Zur thermisch-hygrischen Gliederung des Mt. Kenya. *Erdkunde* 35: 248-262.
- WISSMANN, H.v., 1948: Pflanzenklimatische Grenzen der warmen Tropen. *Erdkunde* 2: 81-92. Bonn.
- WINTER, U., 1978: Klimatische Höhenstufen am Kamerunberg. *Kamerun-Grundlagen zu Natur- und Kulturraum. Probleme der Entwicklungszusammenarbeit*: 189-201. *Geographica Bernensia* G 9. Univ. Bern.
- ZINK, R.A., 1978: Ärztlicher Rat für Bergsteiger - Hochtouren in den Alpen, Trekking und Expeditionen. Stuttgart.