

## HOCHGEBIRGE VON SEMIEN – ÄTHIOPIEN: ZWEI KARTEN ZUR DYNAMIK DER HÖHENSTUFUNG VON DER LETZTEN KALTZEIT BIS ZUR GEGENWART

Mit 4 Abbildungen, 3 Photos und 2 Beilagen (III, IV)

HANS HURNI

**Summary:** Simen mountains – Ethiopia: Two maps on the dynamics of altitudinal belts from the last cold period to the present day.

In the first map (supp. III), the last cold period glacial and periglacial forms and limits are shown in a scheme and a detailed survey throughout the whole of Simen (cf. Fig. 1). The orographic snowline, reconstructed by the moraines of the glacial belt, varies very much with slope aspect, being up to 300 m lower in northern facing catchments. Widespread periglacial slope rubble deposits with depths up to 15 m, are mapped to scale if deeper than 2 m. Their lower limit with depths of 0.1 m can be detected in soil profiles only. Parts of this limit, which were not investigated in the field, are reconstructed according to the topographical correlations of the mapped parts with altitude, slope aspect, length, and gradient. The periglacial belt in Simen enclosed 470 sq km, and the glacial belt 30 sq km, with 13 sq km covered by ice. Formation processes and related climatic conditions can be used to date the last cold period. The climate being 7 °C cooler and poor in rainfall and run-off, correlates with a climatic period in Ethiopia between about 20000 and 12000 BP (Late Wurm, cf. H. HURNI, 1981).

No map is given for the Holocene period. However, it is possible to distinguish three morphological main processes. A first process is the intensive natural erosion period immediately after the last cold period, before vegetation regrowth took place in the periglacial belt. A second process is the pedodynamic period of soil formation and deposition of volcanic ash in a long and stable period. A third process finally, is the increasing human interference with soil erosion on the cultivated fields below about 3700 m, during the last two millennia (cf. Abb. 2).

In the second map (supp. IV), present day altitudinal belts are shown in a scheme and survey of the Simen mountains. Resulting correlations of the mapped geobotanical limits (cf. Fig. 3) with altitude, slope aspect and gradient, can be interpreted ecologically with own climatic data (eg. Fig. 4). The frost detrital, or lower periglacial limit lies at approximately the altitude of 180 days of frost change per year. The Erica timber line correlates with a mean annual temperature of 7.7 °C, and the Hagenia-Juniperus-Olea tree limit with 8–10 °C, whereas the Acacia trees are limited in southern facing aspects at 3100 m by frost, and in northern facing aspects at 2400 m by the here intensified rainfall and clouding, and the reduced radiation. An interesting coincidence can be observed between the Erica timber line and the climatic barly limit, whereas the upper limit of grains and pulses' cultivations proceeds parallel to the Acacia limit, about 300 m higher up. A treatening ecological catastrophe with irreversible damage to nature and agriculture, is the conclusion

drawn from the study of the dynamics of altitudinal belts with regard to human interference (cf. H. HURNI and B. MESSERLI, 1981).

Das Hochgebirge von Semien, in der offiziellen englischen Transliteration mit „Simen“ übersetzt, bildet mit dem Gipfel Ras Dedschen („Ras Dejen“, 4543 m ü. M.) die höchste Erhebung des äthiopischen Hochlands und wird deshalb auch das „Dach von Afrika“ genannt (C. W. NICOL, 1972). Das rund 3000 km<sup>2</sup> große, aus miozänen Trapp-Basalten aufgebaute Massiv hat mit seiner faszinierenden Schönheit schon viele Reisende, Touristen und Wissenschaftler angezogen und ist zu einem bedeutenden Zielgebiet der Hochgebirgsforschung geworden. Einerseits bilden die zerklüfteten Steilabfälle und afro-alpinen Hochflächen ein Refugium für die heute endemischen Walya-Steinböcke und Semien-Füchse (B. NIEVERGELT, 1981), zu deren Schutz 1969 ein Nationalpark gegründet wurde. Andererseits ist das gleiche Gebirgssystem intensiv durch Ackerbau in Subsistenz genutzt. Im Umland von Semien liegen zudem die berühmten historischen Kulturzentren Aksum, Gonder und Lalibela.

Gezwungenermaßen führt die Überschneidung so gegensätzlicher Einflüsse zu Konflikten zwischen menschlicher Nutzung und Naturschutz, mit denen sich neben der äthiopischen Regierung internationale Organisation wie der *World Wildlife Fund* (seit 1971), die Stiftung *Pro Semien* (seit 1974) und das *World Heritage Committee* (seit 1978) intensiv beschäftigen. Das Hauptziel der Bemühungen ist die Bekämpfung der zunehmenden Destabilisierung des gesamten Geo-Ökosystems, durch Erfassung und Kontrolle von Schlüsselmechanismen wie der Bevölkerungszunahme, der Ausdehnung des Ackerlands oder der Bodenerosionsprozesse (H. HURNI and B. MESSERLI, 1981). Wegen der großen Unzugänglichkeit des Raumes konnten die zahlreichen Forschungsarbeiten bisher nur punktuell erfolgen oder beschränkten sich auf das Gebiet des Nationalparks (vgl. die Bibliographie Semiens von O. SCHAEERER, 1979<sup>1)</sup>).

Die hier eingesetzte Methode der Landschaftsforschung nach Höhenstufen stellt bewußt die räumliche Betrachtungsweise in den Mittelpunkt. Sie wurde in einem zweijährigen Feldaufenthalt angewandt, um einen Überblick über den Landschaftswandel Semiens während der letzten 20000 Jahre zu geben. Frühere Forschungsbeiträge können aus der Sicht der ganzheitlichen, d. h. Raum und Zeit umfassenden

<sup>1)</sup> Beiträge über Semien in der ERDKUNDE: Bde VIII (J. BUEDEL), IX (J. WERDECKER), XXII (J. WERDECKER, sowie L. BRANDSTAETTER), 24 (C. TROLL), 28 (S. HASTENRATH), 32 (M. A. J. WILLIAMS et al).

Analyse ergänzt und kritisch besehen werden. Der vorliegende Artikel, der Beiträge zur Geomorphologie und Klimageschichte, zur Pedogenese und schließlich für die Gegenwart, zur Klimaökologie von Natur- und Kulturpflanzen liefert, kann die Forschungsergebnisse allerdings nur zusammenfassen<sup>2)</sup>. Die beiden Karten (Beilage III und IV) stellen zwei Momentaufnahmen dar, deren vergleichende Betrachtung die Dynamik des Landschaftswandels von der letzten Kaltzeit bis zur Gegenwart aufzeigt.

### 1. Die letztkaltzeitlichen Höhenstufen (Spätere Würmzeit)

Formen und Grenzen der letztkaltzeitlichen, geomorphologisch aktiven Glazial- und Periglazialstufe sind auf der Kartenbeilage III wiedergegeben. Die zeitliche Einordnung der letzten Kaltzeit in die spätere Würmzeit von rund 20 000 bis rund 12 000 BP erfolgte auf Grund der Klimarekonstruktion aus den analysierten Formen und ihrer Eingliederung in die Klimageschichte Äthiopiens und der südlichen Sahara (H. HURNI, 1981). Moränen der letztkaltzeitlichen Gletscher sind für einzelne Gebirge oder Einzugsgebiete schon von E. NILSSON (1940: 57–63), E. MINUCCI (1938: 39), S. HASTENRATH (1974: 176–186) und M. A. J. WILLIAMS et al (1978: 40–46) kartiert worden. Andere Autoren wie J. BUEDEL (1954: 146), J. WERDECKER (1955: 314) und P. A. MOHR (1962: 164) bestätigen ihr Vorkommen in einer Höhenstufe zwischen 3700 m und 4300 m. J. BÜDEL (1954: 146) erwähnte erstmals periglaziale Ablagerungen und B. MESSERLI (1975: 389–395) beschrieb ihre höhenmäßige Abfolge in einem allgemeinen Schema, während M. A. J. WILLIAMS et al (1978: 40–46) einen speziellen Typus von Talgrundverfüllungen („deposits on valley floors“) in zwei steilen Seitentälern des Mesheha-Tals untersuchten. Eine ältere Kaltzeit, wie sie E. NILSSON (1940: 61), unterstützt durch J. HÖVERMANN (1954) und H. SCOTT (1958: 13) postulierte, ist noch nicht eindeutig nachgewiesen.

#### Methodologie

Im Gegensatz zu der isolierten Betrachtungsweise einzelner Formen oder Einzugsgebiete durch die zitierten Arbeiten während relativ kurzer Feldarbeitszeit, erlaubt die hier im Mittelpunkt stehende Methode der ganzheitlichen Betrachtung eine viel detailliertere und spannendere Analyse der letzten Kaltzeit, ihrer morphologischen Prozesse und Klimabedingungen. Das methodologische Vorgehen ist mit drei Phasen so gewählt, daß es subjektiv vorgefaßte Interpretationen möglichst ausschließt. In der ersten Phase werden sämtliche fossilen Lockermassen, die unter einer im Natur-

zustand rund 70 cm mächtigen Bodenschicht begraben sind, ungenetisch beschrieben und in Formengruppen klassifiziert. Die zweite Phase rekonstruiert die wahrscheinlichsten Formungsprozesse jeder Formengruppe unter Abwägung aller möglicher Bildungsprozesse wie Massentransport, Massenbewegung, Massenselbstbewegung oder Bildung in situ als erste, größte Differenzierung. Die dritte methodologische Phase stellt fest, ob die Bildung der verschiedenen Formengruppen gleichzeitig stattfinden konnte oder mußte.

#### Überblick

Es zeigt sich, daß in Semien sämtliche fossilen Lockermassen in Höhenlagen über 3000 m gleichzeitig in der letzten Kaltzeit gebildet oder aufgearbeitet wurden. Die Formungsprozesse deuten zudem darauf hin, daß die Formen hauptsächlich in der frost- oder eisaktiven periglazialen oder glazialen Höhenstufe gebildet wurden. Als Illustration zu den nachfolgenden Erläuterungen ist mit Abb. 1 die Ausbildung der letztkaltzeitlichen Formengruppen in einem typischen NW-Abhang Semiens so dargestellt, wie sie im heutigen Landschaftsbild in Erscheinung tritt.

Formengruppen, Höhengrenzen und Höhenstufen der letzten Kaltzeit sind in Beilage III einerseits in einem idealisierten Ansichts-Schema und andererseits auf der Karte wiedergegeben. Die Karte enthält mit Absicht nur die Relief-Schummerung (Südbeleuchtung!), sowie Bergnamen und Flüsse, welche allerdings äußerst reduziert geflossen sein mußten. Heutige Dörfer, Wege, Landnutzung und Vegetation wurden weggelassen.

#### Glazialstufe („glacial belt“)

Moränen („moraines“), ungenetisch definiert als Schuttwälle aus verfestigtem Lockermaterial von kantigem, unsortiertem, nicht eingeregelter Geröll in einer gelbbraunen Grundmasse aus tonigem Silt, sind generell oberhalb 3780 m bis je nach Exposition oberhalb 4320 m anzutreffen. Die Genese dieser Schuttwälle führt eindeutig zu Formungsprozessen von Materialtransport durch Eis und gelegentlich durch Abrutschen von Material über Schneehalden. Da es Schwierigkeiten in der Abgrenzung zur nächstunteren Formengruppe gibt, werden nur solche Schuttwälle gesichert als Moränen klassifiziert, die entweder ihre Kammlinie nicht streng hangabwärts, sondern etwas quer zum Hang haben, oder aber solche, die eindeutig zu einem Einzugsgebiet mit Karform zugeordnet werden können. Insgesamt sind auf der Karte rund 50 Moränen kartiert und zu 20 Gletschern zugeordnet. Sie kommen vornehmlich in NE- bis W-exponierten Hängen vor, mit zwei Ausnahmen in den S-Expositionen der obersten Gipfel. Die letztkaltzeitlichen Gletscher lagen hauptsächlich in den W- bis NE-Abhängen der obersten drei Gipfelgruppen und bedeckten im Maximalstadium rund 13 km<sup>2</sup> Fläche.

Als Abgrenzung der Glazialstufe von der Periglazialstufe wird die orographische Schneegrenze („orographic snowline“) definiert. Die nach zwei verschiedenen Methoden aus

<sup>2)</sup> Ausführliche Dokumentation: H. HURNI, 1980 und 1981 i. Dr.: Die Dynamik der Höhenstufung im Hochgebirge von Semien (Äthiopien) von der letzten Kaltzeit bis zur Gegenwart (mit 3 Karten). Geographica Bernensia, Bern.

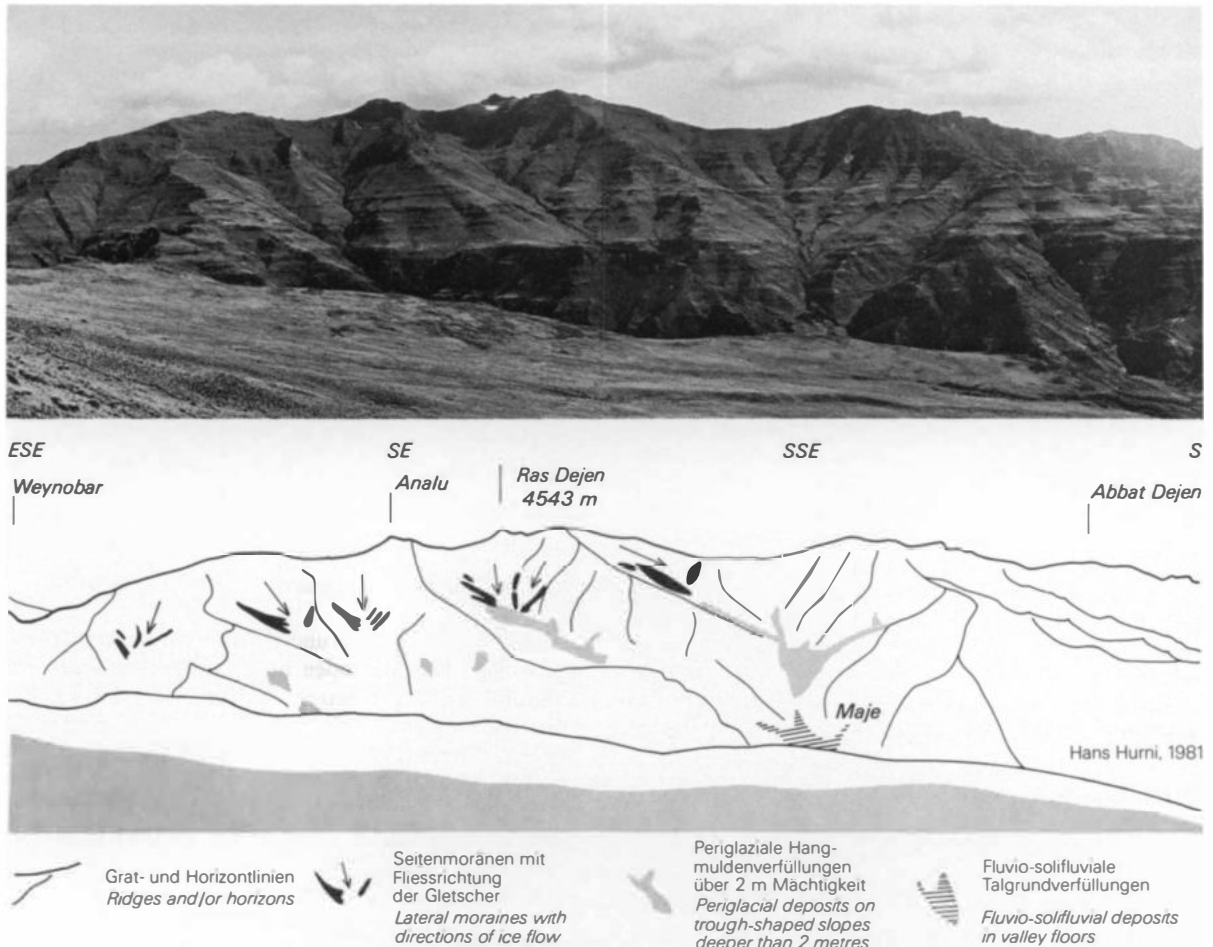


Abb. 1: Panorama der NW-Flanke des Dejen-Massivs, aufgenommen von der S-Flanke des Kidis Yared-Massivs in 4150 m Höhe. Letzt-kaltzeitliche Formengruppen treten in der gegenwärtigen Morphologie relativ klar hervor.

Panoramic view of the northwestern aspect of the Dejen massif seen from the southern side of the Kidis Yared massif at 4150 m. The last cold period form groups can be detected fairly easily in the present day morphology. H. HURNI, Feb. 1976

den Moränen der kurzen Gletscher gemittelte lokale Schneegrenze (vgl. B. MESSERLI, 1967) schwankt wie die Gletscher bis zu 300 m zwischen den N- und S-Expositionen (s. Schema auf Beilage III). Anhand der topographischen Analyse nach Höhe und Exposition wird sie auf der Karte auch außerhalb der Gletscher ergänzt. Die gesamte so abgegrenzte Glazialstufe umfaßt in Semien im letztkaltzeitlichen Maximum eine Fläche von rund 30 km<sup>2</sup>.

#### Periglazialstufe („periglacial belt“)

Eine sehr weitverbreitete Formengruppe fossiler Lockermassen sind die Hangmuldenverfüllungen („periglacial solifluction deposits on trough-shaped slopes“). Es sind Formen von verfestigtem Lockermaterial in Hangmulden, die aus nicht geschichtetem, z. T. aber hangwärts oder hangparallel flach eingeregelter, unsortiertem, kantigem Geröll in einer stark verbackenen, sehr einheitlichen Grundmasse aus gelb-

braunem, tonigem Silt bestehen. Die Genese der zwischen 0,1 m und 15 m mächtigen Verfüllungen ergibt Prozesse von Massenbewegungen unter Mitwirkung von Bodenwasser im Frostwechsel. Selektive Verwitterung oder vulkanische Auflagen, wie sie W. KULS und A. SEMMEL (1965: 295) in Godjam für periglazial-ähnliche Lockermassen deuteten, müssen in Semien als Genese eindeutig ausgeschlossen werden. Zudem ist nachweisbar, daß Moränen und die periglazialen Hangmuldenverfüllungen gleichzeitig gebildet oder überarbeitet wurden. Sie gehen im ganzen Hochland fließend ineinander über, ohne sich gegenseitig zu überlagern, und sind zudem unter den gleichen Klimabedingungen entstanden. Die intensive nachkaltzeitliche Erosion mit Kerbung der Verfüllungen ließ z. T. längliche, streng hangwärts verlaufende Wallformen als Restverfüllungen zwischen zwei Kerben zurück, die auch mit Moränen verwechselt werden könnten. S. HASTENRATH (1974: Abb. 2–4) hat diese Problematik nicht erwähnt und wohl deswegen eine weit höhere Anzahl Morä-

nen kartiert. Periglaziale Hangmuldenverfüllungen setzen generell unterhalb rund 4200 m ein und reichen bis 3400–3600 m hinunter, hangabwärts in Mächtigkeit zunehmend. Wenn über 2 m mächtig, dann sind sie ein formbildendes Element der Landschaft und werden auf der Karte maßstabsgetreu wiedergegeben. Sie umfassen rund 100 km<sup>2</sup> Hangfläche.

Die Untergrenze der Periglazialstufe („lower limit of dominant solifluction processes“) wird als untere Grenze der Hangmuldenverfüllungen mit über 0,1 m mächtigen Auflagen definiert. Derart flachgründige Verfüllungen sind nicht mehr morphologisch formbildend, sondern nur noch pedologisch horizontbildend. Sie müssen als B-Horizonte des heutigen Bodens anhand von Aufschlüssen nachgewiesen werden. Die Bodenerosionsschluchten der obersten Gerstenhänge erleichtern mit freiliegenden Profilaufschlüssen den Nachweis dieser Verfüllungshorizonte (H. HURNI, 1975: 160). Die Untergrenze ihres Vorkommens liegt im Mittel bei 3500 m und verläuft parallel zur Schneegrenze: 3400 m in N-, 3600 m in S-Expositionen. Zusätzlich liegt die Grenze am Fuß von langen und/oder steilen Hängen im Mittel um 50 m tiefer, resp. bei kurzen und/oder flachen Hängen höher als der Durchschnitt. Diese gute Korrelation mit der Topographie erlaubt es, mit Hilfe der 80 km im Feld kartierten Untergrenze die übrigen 160 km Grenzlänge zu interpolieren (gesperrte Signatur). Die gesamte letztkaltzeitliche Periglazialstufe umfaßt im Kartengebiet rund 470 km<sup>2</sup> Fläche.

#### *Reliefbedingte Ausnahmen*

Eine dritte letztkaltzeitliche Formengruppe bilden die Talgrundverfüllungen („fluvio-solifluvial deposits on valley floors“), d. h. Formen von verfestigtem Lockermaterial in Talsohlen aus unterschiedlichen kantengerundetem, teilweise sortierten und geschichtetem Geröll in uneinheitlicher, wechselgelagerter, gelbbrauner Grundmasse aus Ton bis Sand. Talgrundverfüllungen kommen generell oberhalb 3000 m nur in steilen Seitentälern vor und haben Mächtigkeiten von 1–40 m. Ihre Genese ergibt, daß eine Durchmischung von fluvialen und solifluvialen Prozessen stattfand, von Murgängen über Bodenfließen bis zu Solifluktion. Sie reichen tiefer als die weitverbreiteten Hangmuldenverfüllungen der Periglazialstufe hinunter und sind edaphische Ausnahmen. Trotzdem haben M. A. J. WILLIAMS et al (1978) zwei Talgrundverfüllungen für morphogenetische Überlegungen zur Periglazialstufe verwendet und erhielten deshalb übertriebene Höhendifferenzen.

#### *Klimageschichte*

Die umfassenden Untersuchungen der glazialen und periglazialen Formen der letzten Kaltzeit im ganzen Semien-Gebirge ermöglicht eine Rekonstruktion und zeitliche Einordnung des wahrscheinlichsten Paläoklimas der Bildungsperiode. Es war ein rund 7 °C kälteres, abfluß- und niederschlagsarmes Klima mit Winterniederschlägen und möglicher gelegentlicher Sommerbewölkung ohne monsonale Gewitter, das während einiger Jahrtausende gleichmäßig blieb (H. HURNI, 1981).

Aufgrund der Klimageschichte Äthiopiens nach F. GASSE (1975), M. A. J. WILLIAMS und D. A. ADAMSON (1980: 287), J. A. COETZEE (1967: 88) oder K. W. BUTZER (1980: 272), muß dieses Klima mit der letzten massiven Temperaturniederung und Trockenheit südlich der Sahara zwischen 20000 und 12000 BP korreliert werden, mit einem möglichen Maximum zwischen 17000 und 15000 BP (W. LAUER und P. FRANKENBERG, 1979). Die Behauptung J. HÖVERMANN'S (1954: 133), daß die Vergletscherung in den letzten Jahrhunderten BP stattfand, kann mit 14 C-Daten klar widerlegt werden. Proben von tiefsten organischen Horizonten auf Grundmoränen sind in den Mooren der Berge Bwahit, Mesarerya und Analu entnommen und datiert worden. Das älteste Datum zeigt mit 4120 ± 90 BP (H. ÖSCHGER und T. RIESEN, B-3043) an, daß die Formen nicht subrezent sind. Leider ist eine ältere Datierung wegen Erosion, Kontamination oder andern Gründen nicht gelungen, so daß die Vergletscherung nur als „älter als 4120 Jahre“ datiert werden kann.

#### *Gras- und Waldstufe („mountain steppe“, „forests“)*

Letztkaltzeitliche Gras- und Waldstufen können mit geomorphologischen Methoden nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der Klimarekonstruktion und mit Hilfe von Resultaten aus anderen Gebirgen (E. M. VAN ZINDEREN-BAKKER and J. A. CÖTZEE, 1972; M. A. J. WILLIAMS and D. A. ADAMSON, 1980: 287; A. C. HAMILTON, 1977) nehmen wir an, daß die Waldstufe einen relativ schmalen, ev. verschwindenden Gürtel zwischen rund 2200 und 3000 m einnahm. Diese vage Hypothese ist im Ansichtsschema von Beilage III angedeutet, nicht aber auf der Karte selbst wiedergegeben.

## 2. Holozäne Prozesse und Höhenstufen

Die Zwischenzeit zwischen den beiden Momentaufnahmen der Kartenbeilagen kann nicht kartographisch festgehalten werden, da die holozänen Höhenstufen einem starken Wandel unterlagen. Logischerweise erfolgte ein starker Anstieg von Höhengrenzen, eventuell mit kleinen Oszillationen über das heutige Niveau hinaus. Generell sind aber für das Holozän drei morphologisch wirksame Prozesse mit Hilfe von Profilaufschlüssen differenzierbar.

Zu Beginn des Holozäns, mit Einsetzen der monsonalen Tätigkeit, aber noch vor der Wiederbesiedlung der letztkaltzeitlichen Periglazialstufe mit dichter Vegetation, fand eine morphodynamische Periode intensiver natürlicher Erosion statt, die die letztkaltzeitlichen Glazial- und Periglazialablagerungen durch formbildende Erosionsrinnen bis 15 m tief kerbte (vgl. Photo 1). Dieselbe Erosionsphase ist auch als Erosionshorizont in Bodenprofilen nachweisbar.

Ein nächster holozäner Hauptprozeß ist die pedodynamische Periode tiefgründiger Bodenbildung und -auflage über den Spülfächen und älteren Horizonten. Ein humoser Andosol (E. FREI, 1978: 119–131) von im Mittel 70 cm Mächtigkeit (H. HURNI, 1975: 162) bildete sich während einer längeren Zeitperiode unter Klimabedingungen aus, die ähnlich



Photo 1: Drei Elemente zur Dynamik der Höhenstufung sind im tektonisch gekappten Jinbar-Tal sichtbar: Letztkaltzeitlich-periglaziale Hangmuldenverfüllungen mit frühholozänen Erosionsrinnen und die gegenwärtige Erikawald-Grenze bei 3700 m.

H. HURNI, Imet Gogo (3926 m), Sept. 1974

Three elements on the dynamics of altitudinal belts can be seen in the tectonically cut Jinbar valley: Last cold period periglacial slope deposits with early Holocene erosion gullies, and the present day Erica timber line at 3700 m.

wie heute, eventuell auch etwas wärmer und feuchter waren. Es besteht zudem die Möglichkeit der Einwehung von Vulkanaschen (B. MESSERLI, 1975: 390), eine häufige Erscheinung im basaltischen Hochland von Äthiopien (vgl. M. A. J. WILLIAMS and D. A. ADAMSON, 1980: 292, oder F. GASSE et al 1980: 385). Generell dürften die Höhenstufen im Holozän nur unwesentlich von der heutigen natürlichen Höhenstufung abgewichen sein.

Ein dritter geomorphologischer Hauptprozeß im Holozän ist die Periode verheerender anthropogener Bodenerosion mit einsetzendem Ackerbau in Semien vor rund 2000 Jahren (L. P. KIRWAN, 1972; vgl. auch A. C. HAMILTON, 1977: 193). Wegen der geringen Erodierbarkeit der Andosole verursachen die Prozesse während einer Menschengeneration eine nur wenig sichtbare Schadenszunahme, denn die Bodenerosion beträgt auch in steileren Hängen nur rund 20 Tonnen pro ha jährlich (H. HURNI, 1979 und in Vorb.). Durch die lange Besiedlungszeit aber wurden die flacheren, erstbesiedelten Teile sehr stark degradiert (vgl. Photos 2 und 3). Aufgrund der Bodenerosionsschäden, die eine primäre Steuergröße des anthropogenen Landschaftswandels darstellen, kann mit Abb. 2 der Vorgang der menschlichen Landnahme in Semien rekonstruiert werden.

### 3. Die gegenwärtigen Höhenstufen

Ein wichtiger Beitrag zur Beurteilung des natürlichen Potentials für die traditionelle Landwirtschaft ist die Analyse der gegenwärtigen Höhenstufung, da in Gebirgen die Höhe neben dem Relief der wichtigste limitierende Naturfaktor für die menschliche Nutzung darstellt. Es können folgende gegenwärtige Höhengrenzen in Semien beobachtet werden:

1. Geomorphologische Grenzen der Solifluktion, wie Strukturbodengrenze (Höhenlage im Mittel 4300 m) und Solifluktionsgrenze (4100 m).
2. Geobotanische Grenzen der natürlichen Vegetation, wie Frostschutzgrenze (4225 m), Erika-Waldgrenze (3715 m), Bergwaldobergrenze (ca. 3150 m) und Savannenobergrenze (ca. 2000 m). Neben den Stufengrenzen gibt es Obergrenzen einzelner Baumarten, wie Hagenia-Juniperus-Olea-Grenze (3275 m) oder Akaziengrenze (2730 m).
3. Landnutzungsgrenzen, wie obere Gersten-Anbaugrenze (3715 m) und obere Grenze des Anbaus von Weizen im Fruchtwechsel mit Gerste und Hülsenfrüchten (ca. 3150 m).

Von den zitierten Höhengrenzen ist nur eine Auswahl im ganzen Hochland kartierbar. Die übrigen sind entweder nur noch sehr lückenhaft vorhanden oder erfordern mehrjährige Beobachtungen, wie z. B. die Landnutzungs-Stufengrenzen, welche deshalb nur in einem 150 km<sup>2</sup> großen Teilgebiet im und um den Nationalpark im Maßstab 1:50 000 kartiert wurden und hier nicht beigelegt sind (s. H. HURNI, 1981 i. Dr.). Kartierbare Höhengrenzen der Gegenwart sind auf der Kartenbeilage IV wiedergegeben.

#### Kartengrundlage („topographic situation“)

Die topographische Grundlage der Übersichtskarte ist ein Mosaik von vier Karten unterschiedlicher Maßstäbe (s. Vermerk auf Karte). Orts- und Gebietsbezeichnungen, sowie Fluß- und Bergnamen sind größtenteils im Feld evaluiert, zum Teil aber auch den Karten entnommen worden. Nicht das ganze Kartenblatt ist auch im Feld verifiziert. Informationen über Wald, Buschwald und Anbauflächen i. w. S. („cultivated land“) sind nur in Höhen oberhalb rund 3000 m im Feld

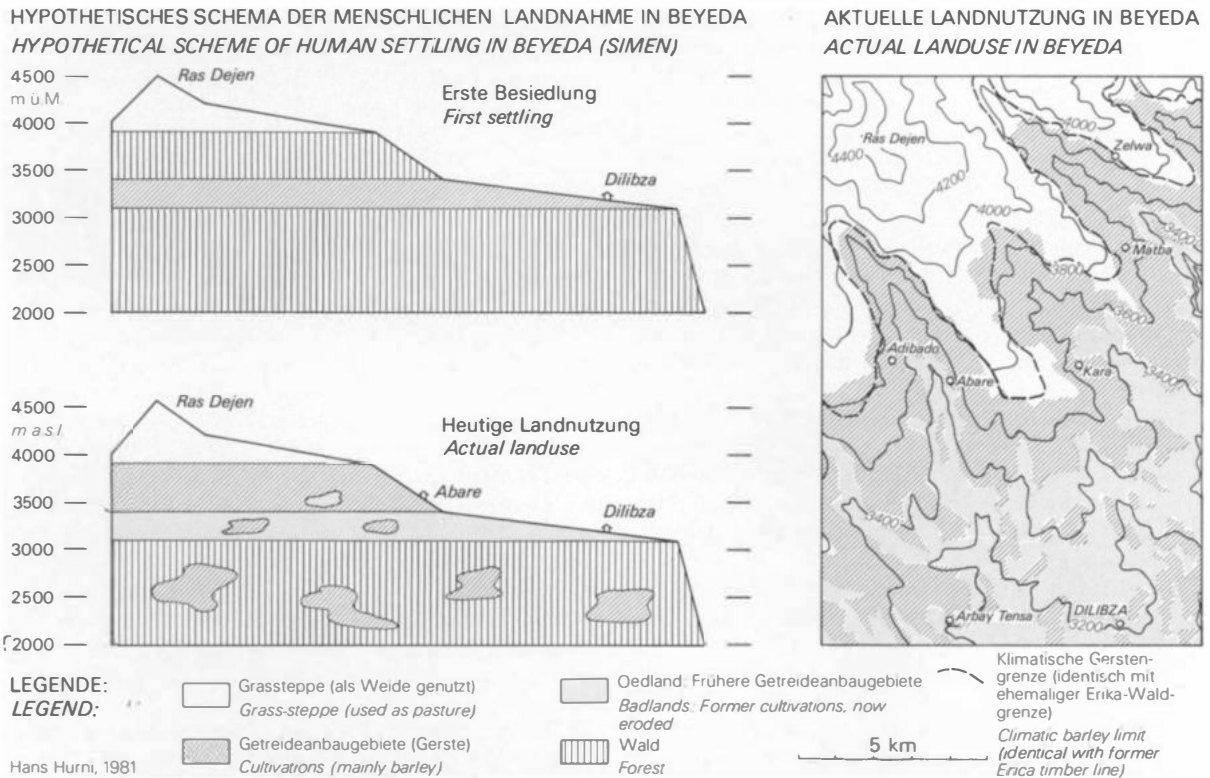


Abb. 2: Aktuelle Landnutzung und menschliche Landnahme in historischer Zeit, rekonstruiert nach den Bodenerosions-Schäden in Beyeda (E-Semien, vgl. Beilage IV)

Actual landuse and human settling in historical times, reconstructed with the soil erosion damages for Beyeda (E-Simen, cf. supplement IV)



Photo 2: Traditioneller Subsistenz-Ackerbau mit Getreide und Hülsenfrüchten, die dominante Landwirtschaftsform in Semien. M. COENDET, bei Debark, Sept. 1976

Traditional subsistence agriculture with grains and pulses, the dominating land use system in Simen.



Photo 3: Jahrhunderte dauernde Landnutzung ohne Bodenkonservierung hat die steileren Hänge in tieferen erstbesiedelten Höhenstufen völlig zerstört und sogar die Akkumulationen am Hangfuß sekundär angeschnitten.

H. HURNI, bei Igziabhra, Beyeda, Nov. 1974

Centuries old landuse without soil conservation has completely destroyed the agricultural soils on steeper slopes in lower, first settled altitudes, and even secondarily cut the soil accumulations on the foot of the slope.

kartiert (Stand 1976/77), während die Teile darunter nach Interpretationen guter Luftbilder gemacht wurden (s. Vermerk; Stand 1963/64). Als Besonderheit müssen die Kirchhaine („mainly orthodox church grove forest“) erwähnt werden, da diese die letzten quasi-natürlichen Baumbestände in weiten Teilen des flacheren Hochlands repräsentieren (vgl. O. SEEBALD, 1968: 17). Weiter ist das Relief in Südbeleuchtung geschummert, genau umgekehrt zu normalen Kartenwerken. Es fällt bei der 6farbigen Grundlagenkarte sofort auf, wie stark die Getreideflächen in Semien gegenüber den Wald- und Grasflächen dominieren: Rund 50% des Blattes sind kultiviert. Ausgewählte Höhengrenzen sind in Rot aufgedruckt und werden im folgenden detailliert erläutert und analysiert.

Das Ansichtsschema auf der Kartenbeilage IV gibt das Landschaftsbild idealisiert wieder, durch die Verteilung der natürlichen Vegetation mit Wald, Gras-Steppe und Frost-

schuttstufe, aber auch mit der Landnutzungsstufung. Zudem sind Neigungsdifferenzen durch das Doppelschema angedeutet, indem die N- und S-Expositionen sowohl steil als auch flach dargestellt sind.

#### Frostschuttgrenze („frost detrital limit“)

Die untere Periglazial- oder Frostschuttgrenze („lower limit of periglacial belt“) ist als scharf einsetzende obere Grenze der afro-alpinen Vegetation mit über 50% Bodenbedeckung festgelegt (Höhenlage im Mittel bei 4225 m). Rund 100 m oberhalb dieser Grenze liegt parallel dazu die untere Strukturbodengrenze, welche Solifluktuations-Kleinformen wie Streifen, Steinzungen und Steinpolygone nach unten abgrenzt. Andererseits verläuft rund 100 m unterhalb der Frostschuttgrenze die untere Solifluktuationsgrenze, welche Erdstreifen, Zellenböden, Girlanden und Rasenauffrierungen in dichtem Vorkommen nach unten abgrenzt. Die Formen und Höhengrenzen sind nach K. GRAF (1973: 109ff), G. FURRER und R. FREUND (1973), S. HASTENRATH (1974, 1978) sowie G. FURRER und K. GRAF (1978) klassifiziert worden. Die Strukturboden- und die Solifluktuationsgrenze verlaufen mit gleicher topographischer Korrelation parallel zur kartierten Frostschuttgrenze (vgl. Abb. 3). Diese ist auf der ganzen Länge von 68 km im Feld kartiert und umrahmt insgesamt 8–9 isolierte Gipfelgruppen.

Mit den übrigen kartierten Grenzteilen der gegenwärtigen Höhenstufen wird die Frostschuttgrenze in Abb. 3 topographisch nach Höhe, Exposition und Hangneigung analysiert. Sie ist schwach expositions- und neigungsabhängig mit Differenzen bis zu 150 m.

Zusammen mit der Solifluktuations- und Strukturbodengrenze ist die Frostschuttgrenze klimaökologisch interpretierbar, und zwar am ehesten als temperaturabhängige Grenze. Sie korreliert ungefähr mit der Höhenlage von 180 Frostwechseltagen pro Jahr (H. HURNI und P. STAEBLI, 1980). Weiter sind auch Bodenfeuchtigkeit, Sonnenstand, Bewölkung und Winde verantwortlich für ihre Reliefdifferenzen, mit einem besonderen Einfluß von winterlichen Schneefällen.

#### Erika-Waldgrenze

Die nächsttiefere Grenze ist die Stufengrenze zwischen geschlossenem Erika-Wald (*Erica arborea*, *Hypericum revolutum*) und der afro-alpinen Grassteppe („upper timber line of Ericaceous forests“, 3715 m). Sie kann nur dort festgelegt werden, wo die aktuellen Waldrestflächen noch vorhanden sind oder anhand von Wurzelstöcken rekonstruiert werden können. Zudem liegt die so definierte Waldgrenze wegen des anthropogenen Drucks durch Überweidung bis 100 m zu niedrig (vgl. F. KLÖTZLI, 1975). Auf der Karte sind 175 km Waldgrenze direkt kartiert. Sie zeigen eine starke Neigungsabhängigkeit mit 200 m höheren Werten in steilen Lagen als in flachen (vgl. Abb. 3), hingegen eine geringe Expositions-differenzierung. Die topographische Analyse dient zur Er-

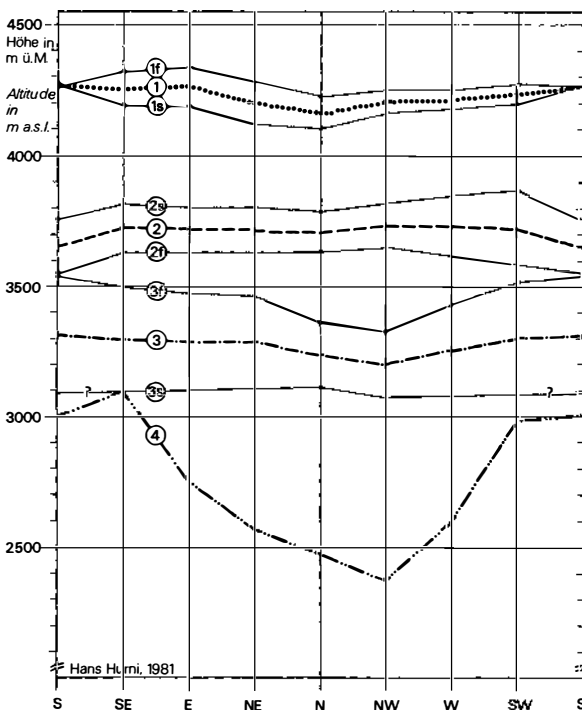


Abb. 3: Topographische Analyse der kartierten gegenwärtigen Höhengrenzen: Korrelationen mit Höhe, Exposition und Hangneigung. Die linear interpolierten Punkte repräsentieren die Durchschnittswerte von mindestens 4, im Mittel 11 kartierten Grenzteilstücken von 0,5 km Länge. 1 Frostschuttgrenze; 2 Erika-Waldgrenze; 3 Hagenia-Juniperus-Olea-Grenze; 4 Akazien-grenze. Nur steile Hänge über 15°: 1s, 2s, 3s; nur flache Hänge unter 15°: 1f, 2f, 3f

Topographic analysis of the mapped altitudinal limits: Correlations with altitude, slope aspect, and slope gradient. The linearly interpolated points represent average values of mapped sections of 0.5 km lengths (minimum 4, on the average 11 sections per point). Averages of all values: 1, 2, 3, 4 (symbols see supplement IV); only steep slopes over 15°: index s, only gentle slopes: index f

gänzung der fehlenden Grenzteil ohne Wald (135 km, gesperrte Signatur).

Mehrjährige Klimamessungen der Stationen Gich Camp an der Waldgrenze erlauben mit Abb. 4 eine klimaökologische Interpretation der Grenze.

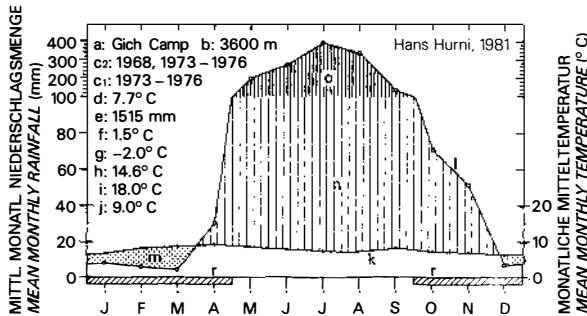


Abb. 4: Klimadiagramm der Station Gich Camp (a) an der Erika-Waldgrenze (b)

The climate at the Erica timber line in Gich Camp, 3600 m  
 Meßperioden für Temperatur (c1) und Niederschlag (c2). Jahresmitteltemperatur (d) und Niederschlagsmenge (e). Absolute Extremaltemperaturen (g, i), mittlere tägliche minimale (f)/maximale (h) Temperaturen des kältesten/wärmsten Monats, sowie mittlere tägliche Temperaturschwankung (j). Jahresgang von Monatsmittel-Temperaturen (k) und -Niederschlägen (l). Aride (m) und humide (n) Monate sowie mittl. monatliche Niederschlagsmenge über 100 mm (o, mit dem Faktor 10 reduziert). Monate mit absoluter Minimaltemperatur unter 0° (r).

Die Jahresmitteltemperatur von 7,7 °C entspricht im tropischen Tageszeitenklima mit geringen jahreszeitlichen Schwankungen den Bodentemperaturen in 30–60 cm Tiefe (H. WALTER, 1960: 35; H. HURNI und P. STAEBLI, 1980) und ist nach W. LAUER (1976: 80) gerade noch ausreichend für die Ausbildung von Baumvegetation. Für die signifikant höhere Lage der Waldgrenze an steilen Hängen müssen zusätzlich Faktoren geltend gemacht werden. W. LAUER (Diskussionsbeitrag zu C. TROLL, 1978: 562) begründet die Erhöhung mit der besseren Erwärmung von meist steileren Blockhalden und der dadurch bewirkten Herabsetzung der Frostwechselfrequenz. F. KLÖTZLI (1975) unterstreicht neben biogenmechanischen Faktoren den Einfluß des Wassers, durch starke Vernässung flacher Partien in der Regenzeit. Letztere Begründung wirkt sich auch auf die wohl zentrale Frost- und Wärmeabhängigkeit aus, indem die größere Vernässung und Verdunstung auf flachen Partien eine stärkere Abkühlung des Bodens verursacht. Die Beobachtungen zeigen zusätzlich, daß höhere Waldteile nicht nur an Blockschutt gebunden sind. Deshalb muß die Bedeutung von Kaltluft miteinbezogen werden, indem die nächtlichen Kaltluftmassen von Gipfeln über flache Hänge weniger schnell abfließen und damit die Frostgefahr erhöhen. Diese Beobachtung wird von Bauern für Gerstenfelder am häufigsten erwähnt.

Es besteht eine interessante ökologische Identität der Erika-Waldgrenze mit der klimatischen Gersten-Anbau-

grenze („barley fields“). Es sind von J. WERDECKER (1968: Beilage II) kartierte Gerstenfelder oberhalb der Waldgrenze und der klimatischen Gerstengrenze beim Dorf Atär („Atere“ in Beyeda) heute weitgehend verschwunden, da sie zu starke Frostschäden erlitten. Die aktuelle Anbaugrenze stimmt weitgehend mit der ehemaligen Waldgrenze überein und hat damit ihre klimaökologische Limitierung erreicht (s. Kartenbeilage IV).

### Hagenia-Juniperus-Olea-Grenze

Die dritte kartierte Höhengrenze ist nicht eine Stufengrenze, sondern die Obergrenze der Baumarten *Hagenia abyssinica*, *Juniperus procera* und *Olea chrysophylla*, alles Vertreter der oberen montanen Waldstufe (F. KLÖTZLI, mdl. Mitt. in B. NIEVERGELT, 1981). Die eigentliche Stufengrenze zwischen dem subalpinen Erikawald und dem Bergwald liegt 200–300 m tiefer, kann aber nicht kartiert werden, da sie anhand von Baumarten im heutigen Landschaftsbild im Gegensatz zu den kartierten Einzelbäumen nur noch in steilsten Hanglagen abgrenzbar ist. Die 115 km im Feld kartierten Teile der Hagenia-Juniperus-Olea-Grenze verlaufen in Gebieten, wo die Dichte dieser Baumarten 1 Exemplar pro km<sup>2</sup> übersteigt. Die übrigen 175 km sind anhand von Abb. 3 rekonstruiert (gesperrte Signatur), wobei diese Grenzteil entweder in nicht untersuchten Gebieten liegen oder aber die erforderliche Baumdichte nicht aufweisen.

Trotz ihrer geringeren Kartierungsgenauigkeit darf auch die obere Grenze von Hagenia, Juniperus und Olea als klimatische Temperaturgrenze angesehen werden (vgl. J. A. CÖTZEE, 1978: 489). Jahresmitteltemperaturen in 3500 m liegen bei 8 °C und in 3300 m bei 10 °C, so daß Bodentemperaturen von 8–10 °C die entscheidende Limitation darstellen.

### Akaziengrenze

Die tiefstliegende kartierte Höhengrenze ist wiederum eine Artengrenze, die Akazien-Obergrenze. Akazien gehören zur mittleren montanen Waldstufe (B. NIEVERGELT, 1981) und kommen in Einzelexemplaren oder kleineren Gruppen vor allem noch in steilen, vom Ackerbau verschonten Hanglagen vor. Bei der geforderten Mindestdichte von 1 Exemplar pro km<sup>2</sup> können die Akazien fast durchgehend kartiert werden (115 km). Ergänzende Grenzteil mit gesperrter Signatur (175 km) liegen also immer außerhalb der Feldkartierungen und werden nach Abb. 3. ergänzt.

Die oberste Höhenlage der kalteempfindlichen Akazien schwankt als einzige in Abb. 3 sehr stark nach der Hangexposition. Da die Grenze mit Höhen von nur 2400–3100 m gebirgsumfassend ist, wird vermutet, daß die Akazien in den S-exponierten, niederschlags- und bewölkungsarmen Lagen Semiens bis zu ihrer absoluten Frostgrenze bei 3100 m vorkommen, während sie in den niederschlagsreichen, strahlungsärmeren N-Expositionen durch das Wärmedefizit nur bis 2400 m hinaufreichen (vgl. W. LAUER und P. FRANKENBERG, 1977).



## Landnutzungsgrenzen

## Literatur

Agroklimatisch von besonderem Interesse ist die Tatsache, daß die Höhengrenze des Weizens und der Hülsenfrüchte, also der unteren Landnutzungsstufe Semiens, parallel zur Akaziengrenze rund 300 m oberhalb dieser verläuft und dieselben topographischen Korrelationen aufweist (s. Schema auf Beilage IV: „grains and pulses“). Der Weizen (*Triticum spp.*) ist ebenfalls kälteempfindlich und reagiert auf übermäßigen Regen (L. H. BROWN and J. COCHEME, 1973: 180–192). Die Weizengrenze ist somit ungefähr identisch mit der nicht kartierten natürlichen Stufengrenze zwischen Bergwald und Erikawald. Es ist kein Zufall, daß beide Höhengrenzen der Landnutzung, sowohl die Gersten- wie die Weizengrenze, klimaökologisch bestimmt sind, wenn man versteht, daß die traditionelle Landwirtschaft in Semien ein natürlich gewachsenes System darstellt.

## 4. Ausblick

Die Untersuchung der Höhenstufen-Dynamik ermöglicht es, den Landschaftswandel im Hochgebirge von Semien während der letzten 20 000 Jahre zu beschreiben. Seit der letzten Kaltzeit sind die Höhenstufen um ziemlich genau eine Stufenbreite angestiegen, so daß die letzte kaltzeitliche Periglazialstufe von der gegenwärtigen afro-alpinen Grassteppe und die letzte kaltzeitliche Glazialstufe von der gegenwärtigen Periglazial- oder Frostschuttstufe überdeckt wird. Die Schneegrenze, in der Kaltzeit bei 4250 m, würde heute rund 700 m höher bei rund 5000 m deutlich oberhalb der obersten Gipfel liegen.

Während Klimaschwankungen eine nach menschlichem Ermessen langsame Veränderung des Geo-Ökosystems Semien bewirkten, sind die anthropogenen Prozesse von viel stärkerer Dynamik. Schlüsselmechanismen zwischen den Subsystemen Mensch, Landnutzung und Natur, wie die Ausdehnung des Ackerlandes bis über die klimaökologisch bestimmten Landnutzungsgrenzen, die Bevölkerungszunahme und die Bodenerosionsprozesse auf Ackerflächen, führen zu einer beschleunigten Destabilisierung des Geo-Ökosystems (H. HURNI and B. MESSERLI, 1981). Die natürliche Bevölkerungszunahme liegt bei 2–3% pro Jahr (P. STAEHLI, 1978: 59), die Bodenerosionsprozesse betragen jährlich rund 20 Tonnen pro ha von einem mittleren Gerstenhang (H. HURNI, 1979 und in Vorb.). Die natürlichen Landressourcen sind aufgebraucht (Abb. 2). Ein ökologisch stabiler Ackerbau kann nur durch angepaßte Bodenkonservierung erreicht werden, für deren einfache Anwendung die notwendigen Grundlagen bereitstehen (H. HURNI, 1980b).

Aus der hier dargestellten Untersuchung über die Dynamik der Höhenstufung tritt die drohende ökologische Katastrophe mit irreversibler Schädigung von Natur und Landwirtschaft im Hochgebirge von Semien klar zutage. Sie kann nur durch aktives Eingreifen der lokalen Bevölkerung unter Mitarbeit der äthiopischen Regierung wirksam bekämpft werden.

- BRANDSTAETTER, L.: Meßtechnik und Darstellungstechnik in der topographischen Kartographie. In: Erdkunde XXII, H. 1, 1968, 39–41
- BROWN, L. H. and COCHEME, J.: A study of the agroclimatology of the highlands of eastern Africa. In: WMO Technical Note Nr. 125, 1973, 197 S.
- BUEDEL, J.: Klima-morphologische Arbeiten in Äthiopien im Frühjahr 1953. In: Erdkunde VIII, H. 2, 1954, 139–156
- BUTZER, K. W.: Pleistocene history of the Nile Valley in Egypt and Lower Nubia. In: The Sahara and the Nile, Balkema, Rotterdam, 1980, 253–280
- COETZEE, J. A.: Pollen analytical studies in East and Southern Africa. In: Palaeoecology of Africa 3, 1967, 146 S.
- , : Phytogeographical aspects of the montane forests of the chain of mountains on the eastern side of Africa. In: Erdwiss. Forschung XI, Steiner, Wiesbaden, 1978, 482–494
- FREI, E.: Andepts in some high mountains of east Africa. In: Geoderma 21, 1978, 119–131
- FURRER, G. und FREUND, R.: Beobachtungen zum subnivalem Formenschatz am Kilimandjaro. In: Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd. 16, Berlin, 1973, 180–203
- FURRER, G. und GRAF, K.: Die subnive Höhengrenze am Kilimandjaro und in den Anden Boliviens und Ecuador. In: Erdwiss. Forsch. XI, Steiner, Wiesbaden, 1978, 441–457
- GASSE, F.: L'évolution des lacs de l'Afar Central (Ethiopie et T.F.A.I.) du Plio-Pleistocène à l'Actuel. Thèse Univ. Paris VI (5 vols), 1975, 568 S.
- GASSE, F., ROGNON, P. and STREET, F. A.: Quarternary history of the Afar and Ethiopian Rift Lakes. In: The Sahara and the Nile, Balkema, Rotterdam, 1980, 361–400
- GRAF, K.: Vergleichende Betrachtungen zur Solifluktion in verschiedenen Breitenlagen. In: Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd. 16, Berlin, 1973, 104–154
- HAMILTON, A. C.: An upper Pleistocene pollen diagram from highland Ethiopia. In: Abstracts X. INQUA Congress, 1977, 193
- HASTENRATH, S.: Glaziale und periglaziale Formbildungen in Hoch-Semien, Nord-Äthiopien. In: Erdkunde 28, 1974, 176–186
- , : On the three-dimensional distribution of subnival soil patterns in the high mountains of east Africa. In: Erdwiss. Forsch. XI, Steiner, Wiesbaden, 1978, 458–480
- HOEVERMANN, J.: Über die Höhenlage der Schneegrenze in Äthiopien und ihre Schwankungen in historischer Zeit. In: Nachr. d. Akad. der Wiss. in Göttingen, Math.-Phys.-Chem. Abt. Nr. 1, 1954, 111–137
- HURNI, H.: Bodenerosion in Semien – Äthiopien (mit Kartenbeilage 1:25 000). In: Geographica Helvetica H. 4, 1975, 157–168
- , : Semien – Äthiopien: Methoden zur Erfassung der Bodenerosion. In: Geomethodica 4, Basel, 1979, 151–182
- , : Die Dynamik der Höhenstufung im Hochgebirge von Semien (Äthiopien) von der letzten Kaltzeit bis zur Gegenwart (mit drei Karten). In: Unveröff. Diss. (Teil), Univ. Bern, 1980, 1–184
- , : A nomograph for the design of labour-intensive soil conservation measures in rain-fed cultivations. In: Conservation 80, Arnold, London, 1980b, 185–210
- HURNI H. und STAEHLI, P.: Beiträge zum Klima des Semien-Gebirges (Äthiopien). In: Unveröff. Diss. (Teil), Univ. Bern, 1980, 185–262
- HURNI, H.: Simen mountains – Ethiopia: Palaeoclimate of the last cold period (Late Würm). In: Palaeoecology of Africa 13, Balkema, Rotterdam, 1981

- HURNI, H. und MESSERLI, B.: Mountain research for conservation and development in Simien – Ethiopia (with map 1:100 000). In: *Mtn Research and Development* Vol. 1, Nr. 1, Boulder, 1981
- HURNI, H., i. Dr.: Klima und Dynamik der Höhenstufung von der letzten Kaltzeit bis zur Gegenwart. In: *Hochgebirge von Semien – Äthiopien* Vol. II, *Geographica Bernensia*, 1981
- , : in Vorb.: Soil erosion processes and soil conservation design in Simien – Ethiopia (vorl. Titel). In: *Simien mountains – Ethiopia* Vol. III, *Geographica Bernensia*
- KIRWAN, L. P.: The Christian topography and the kingdom of Axum. In: *Geogr. Journal* 138, 1972, 166–177
- KLOETZLI, F.: Zur Waldfähigkeit der Gebirgssteppen Hoch-Semiens (Nordäthiopien). In: *Beitr. naturk. Forsch. Süd.-Dtl.*, Karlsruhe, Bd. 34, 1975, 131–147
- KULS W. und SEMMEL, A.: Zur Frage pluvialzeitlicher Solifluktionvorgänge im Hochland von Godjam, (Äthiopien). In: *Erdkunde* XIX, 1965, 292–297
- LAUER, W.: Klimatische Grundzüge der Höhenstufung tropischer Gebirge. In: *Tagungsbericht und wiss. Abh.*, 40. Dt. Geographentag, Innsbruck, 1976, 76–90
- LAUER, W. und FRANKENBERG, P.: Zum Problem der Tropengrenze in der Sahara. In: *Erdkunde* 31, H. 1, 1977, 1–15
- LAUER, W. und FRANKENBERG, P.: Zur Klima- und Vegetationsgeschichte der westlichen Sahara. *Adak. der Wiss. und Lit.*, Mainz, Nr. 1, 1979, 59 S.
- MESSERLI, B.: Die eiszeitliche und die gegenwärtige Vergletscherung im Mittelmeerraum. In: *Geographica Helvetica* 3, 1967, 105–228
- , : Formen und Formungsprozesse in den Hochgebirgen Äthiopiens. In: *Tagungsbericht und wiss. Abh.*, 40. Dt. Geographentag, Innsbruck, 1975, 389–395
- MINUCCI, E.: Ricerche geologiche nella regione del Semien. In: *R. Acc. Vol. I, Roma*, 1938, 37–46
- MOHR, P. A.: General report on an expedition to the Semien mountains. In: *Bull. of the Geophys. Observatory, Addis Abeba*, 6, 1962, 155–167
- NICOL, C. W.: *From the roof of Africa*. Knopf, New York, 1972
- NIEVERGELT, B.: Ibex in an African environment, ecology and social system of the Walia ibex in the Simien mountains, Ethiopia. In: *Ecological Studies* Vol. 40, Springer, Berlin, 1981
- NILSSON, E.: Ancient changes of climate in British East Africa and Abyssinia. In: *Geogr. Annaler* 22, 1940, 1–79
- OESCHGER, H. und RIESEN, T., 14 C-Labor, Phys. Institut, Univ. Bern  
*Pro Semien Stiftung*: Gegründet 1974 zur Unterstützung und Realisierung interdisziplinärer Forschung in Semien. Birchstraße 95, 8050 Zürich
- SCHAERER, O.: A bibliography on nature and man of the Simien mountains. Pro Semien Stiftung, Zürich, 1979, 147 S.
- SCOTT, H.: Biogeographical research in high Simien (Northern Ethiopia) 1952–1953. In: *Proc. Linn. Soc. London*, 1958, 1–91
- SEEBALD, O.: Bericht über botanische Studien und Sammlungen am Tanasee und im Semyen-Gebirge. In: *Stutt. Beitr. Naturk.* 194, 1968, 40 S.
- STAEHLI, P.: Changes in settlement and land use in Simien, Ethiopia, especially from 1954 to 1975. *Geographica Bernensia* G 8, 1978, 33–72
- TROLL, C.: Die naturräumliche Gliederung Nord-Äthiopiens. In: *Erdkunde* 24, 1970, 249–268
- , : Polylepsis – Hagenia – Leucosidea, eine merkwürdige Konvergenz von Gehölztypen in der tropischen und subtropischen Gebirgsvegetation Südamerikas und Afrikas. *Erdwiss. Forsch. XI*, Steiner, Wiesbaden, 1978, 561–563
- VAN ZINDEREN-BAKKER, E. M. und COETZEE, J. A.: A re-appraisal of Late-Quaternary climatic evidence from tropical Africa. *Palaeoecology of Africa* 7, 1972, 151–181
- WALTER, H. (Hrsg.): *Grundlagen der Pflanzenverbreitung. Standortstheorie*. In: *Einführung in die Phytologie III/1*, Stuttgart, 1960
- WERDECKER, J.: Beobachtungen in den Hochländern Äthiopiens auf einer Forschungsreise 1953/54. In: *Erdkunde* IX, H. 4, 1955, 305–317
- , : Das Hochgebirgsland von Semyen. In: *Erdkunde* XXII, H. 1, 1968, 33–39
- WILLIAMS, M. A. J., STREET, F. A. and DAKIN, F. M.: Fossil periglacial deposits in the Semien highlands, Ethiopia. In: *Erdkunde* 32, 1978, 40–46
- WILLIAMS, M. A. J., and ADAMSON, D. A.: Late Quaternary depositional history of the Blue and White Nile rivers in central Sudan. In: *The Sahara and the Nile*, Balkema, Rotterdam, 1980, 281–304
- World Heritage Committee*: Adoptiert durch die UNESCO, hat das Welterbe-Komitee der „Konvention zum Schutze des kulturellen und natürlichen Erbes der Welt“ 1978 den Semien-Nationalpark auf ihre „Liste des gefährdeten Welterbes“ genommen und gewährt technische Unterstützung. WHC Sekretariat, UNESCO, Paris
- World Wildlife Fund*: Mit Projekt 1241 unterstützt der WWF den Semien-Nationalpark mit einem Park Warden seit 1971. Vgl. WWF Yearbooks seit 1972. WWF, 1196 Gland, Schweiz

## RAINFALL IN SOUTH AMERICA. SEASONAL TRENDS AND SPATIAL CORRELATIONS

With 4 figures

CESAR CAVIEDES

Meinem verehrten Lehrer,  
Herrn Professor Dr. Wolfgang Weischet,  
zu seinem 60. Geburtstag gewidmet

**Zusammenfassung:** Die jahreszeitliche Verteilung und der Jahresgang der Niederschläge in Südamerika.

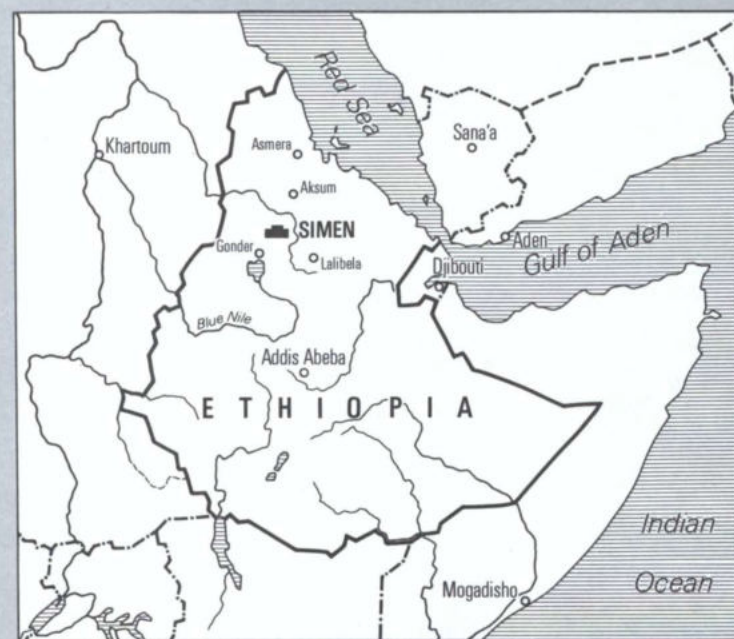
Der Jahresgang der Niederschläge (Abb. 1) in den tropischen Tiefländern des Kontinents hat zenitalen Charakter. In der Äquatorzone sind die Regen nicht äquinoktialen Ursprungs, wie

man erwarten würde. In den Küstengebieten im Norden, Nordosten und Süden des Kontinents werden die Niederschläge nicht vom Sonnenstand bestimmt, sondern von allochthonen Witterungsgeschehen und advektiven Luftmassenbewegungen. Regenfälle erfolgen bei niedrigem Sonnenstand. Die Amplitude der jähr-



# Simen Mountains Ethiopia

1:100000

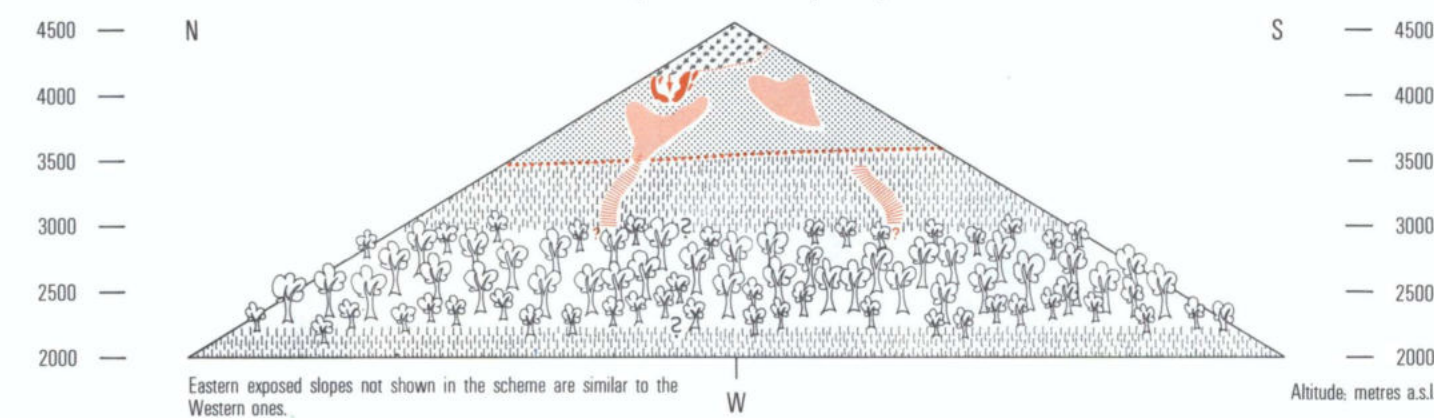


## Altitudinal Belts of the Last Cold Period (Late Wurm)

### Simen Mountains – Ethiopia: Altitudinal Belts of the Last Cold Period (Late Wurm)

Hans Hurni · Institute of Geography · University of Berne · Switzerland

#### Scheme of the Last Cold Period Altitudinal Belts Dependent on Slope Aspect



#### Key for Map and Scheme

- Moraines (with reconstructed direction of ice flow)
- Periglacial solifluction deposits on trough-shaped slopes, with depths greater than 2 m
- Lower limit of dominant solifluction processes with deposits thicker than 0.1 m. If the symbol is discontinuous, this limit is interpolated (not investigated in the field, based upon the topographical analysis (see text))
- Fluvo-solifluction deposits on valley floors (with lower altitudinal limits unknown)

#### Additional Key for Scheme

- Glacial belt (Climatic snowline of coldest phase, 4250 m ± 150 m, dependent on slope aspect)
- Periglacial belt (Climatic limit, 3500 m ± 100 m, dependent on slope aspect, slope length, and gradient)
- Mountain steppe (?) (No field evidence)
- Forests (?) (No field evidence)



#### Topographic Source Materials

The map is compiled from the maps ND 3710 (1:250 000) of the Ministry of Land Reform and Administration, Addis Ababa, "Hoch-Simenen" (1:50 000) by J. Wendecker (1968), "Debank" and "Simen Mountains National Park" (1:25 000) by Pro-Simien Foundation, Zurich, Institute of Geography, Berne, World Wildlife Fund, Morges, and Ethiopian Forestry and Wildlife Authority, Addis Ababa (1978).

Field completion: 1977 (1980)

Design and Field Survey: H. Hurni (1976/1977/1980)  
Cartography: A. Brodbeck, R. Singer, S. Wutschlager  
Additions based on air photographs (1963/64) of the Mapping and Geography Institute, Addis Ababa.

Printed by Kümmerli + Frey, Berne, Switzerland  
Photoprocessed by E. Colloud & Co., Berne, Switzerland

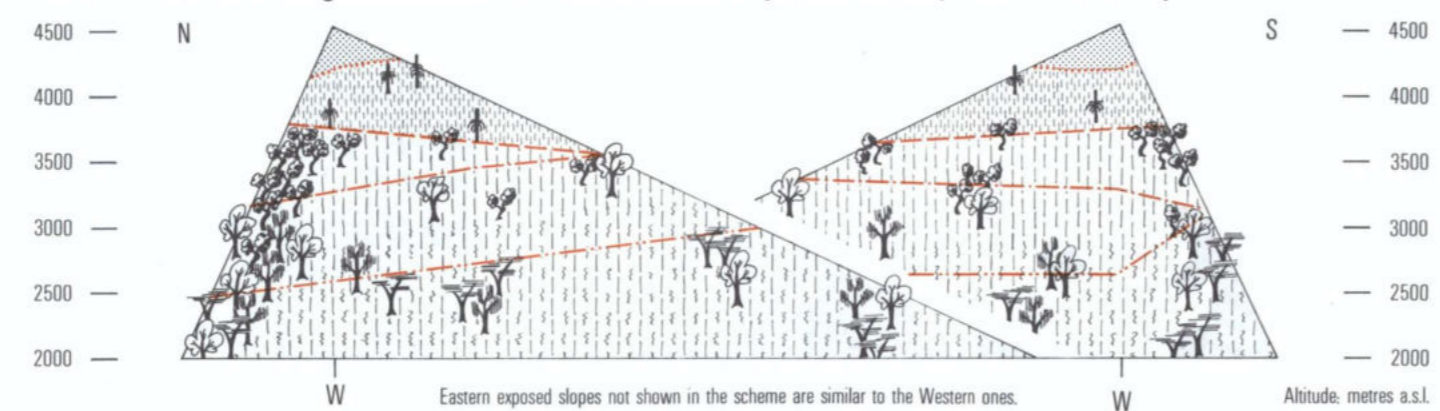
© Institute of Geography, University of Berne, Switzerland



# Simen Mountains – Ethiopia: Present Day Altitudinal Belts

Hans Hurni · Institute of Geography · University of Berne · Switzerland

Scheme of the Actual Vegetation Limits and Belts in Simen Dependent on Slope Gradient and Aspect

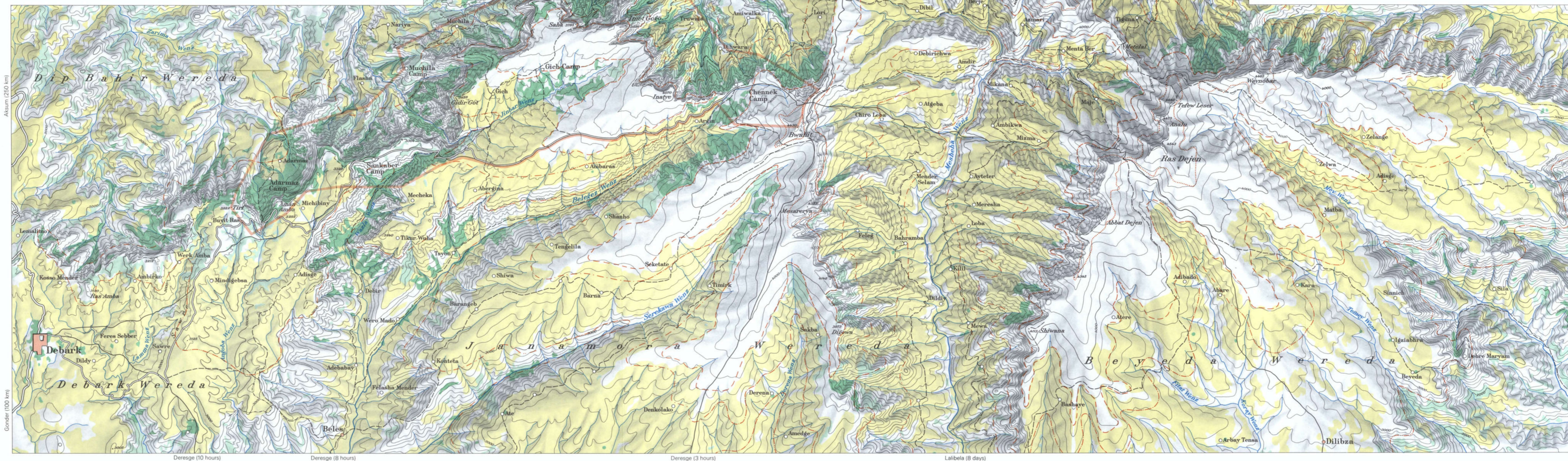


### Key for Map and Scheme

- Lower limit of periglacial belt, and upper limit of vegetation with over 50% ground cover (altitudinal variations mainly according to slope aspect, see text)
  - Upper timber line of Ericaceous forests, and climatic limitation of productive barley cultivation (altitudinal variations mainly dependent on slope gradient)
  - Upper limit of existing Hagenia-Juniperus-Olea trees (altitudinal variations mainly dependent on slope gradient)
  - Upper limit of existing Acacia trees. The upper limit of the agricultural belt of grains and pulses with one harvest per year extends 200 to 400 m higher than the Acacia limit (altitudinal variations mainly dependent on slope aspect)
- Discontinuous signs on the map are interpolated (missing evidence, or not visited), based upon the topographical analysis of the field observations.

### Additional Key for Scheme

- Frost dental belt with free solifluction forms
- Overgrazed afroalpine Festuca-Danthonia grassland
- Relict Erica (Wuchena) and Hypericum (Amicha) forests
- Barley fields (Gaba) with one harvest every second year per field
- Hagenia trees (Kosso)
- Juniperus trees (Tid)
- Grains and pulses with one harvest per year and field
- Relict Acacia trees and forests (Gar)



### Key for Topographic Situation

- Spot height
- District capital
- Subdistrict capital
- Major settlement (consisting of tukuls)
- All-weather road
- Rough dry-weather road (four wheel drive)
- Major trail
- Local trail (discontinuous symbol, not passable for animals)
- Forest
- Bush or scattered trees
- Cultivated land (barley, wheat, tef, maize, pulses, or fallow)
- Mainly orthodox church grove forest
- Simen Mountains National Park (proposed boundaries)
- Subdistrict (Wereda) boundaries of the Simen District
- Stream
- Contour interval 100 m
- Elevations in metres

### Topographic Source Materials

The map is compiled from the maps ND 37-10 (1:250 000) of the Ministry of Land Reform and Administration, Addis Ababa, "Hoch-Simyen" (1:50 000) by J. Werdoschke (1958), "Debarik" and "Simen Mountains National Park" (1:25 000) by Pro Simen Foundation, Church Institute of Geography, Berne, World Wildlife Fund, Morges, and Ethiopian Forestry and Wildlife Authority, Addis Ababa (1978).

Field completion: 1977 (1980)

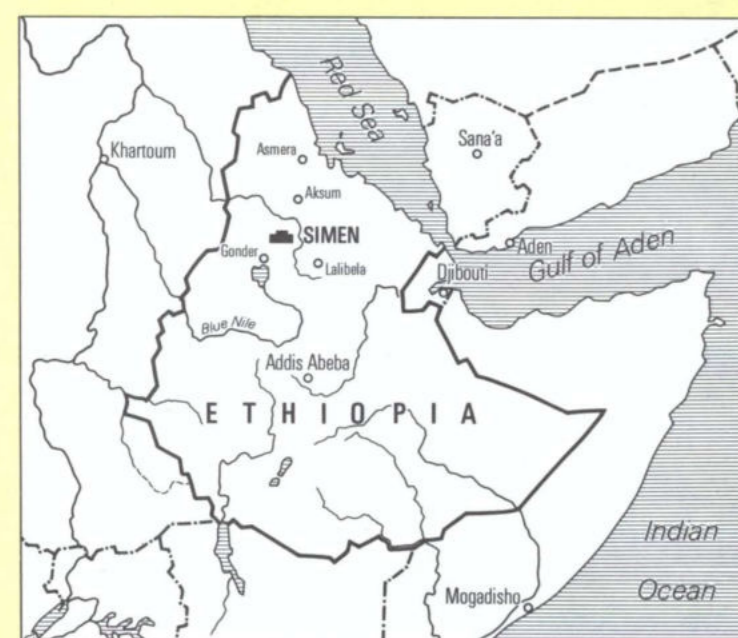
Design and Field Survey, H. Hurni (1976/1977/1980)  
Cartography, A. Brodbeck, R. Singer, S. Wulschlegel  
Additions based on air photographs (1963/64) of the Mapping and Geography Institute, Addis Ababa.

Printed by Kummerli + Frey, Berne, Switzerland  
Photoprocessed by E. Colloud & Co., Berne, Switzerland.  
© Institute of Geography, University of Berne, Switzerland.

Beilage IV zu ERDKUNDE 35, 2, Beitrag Hurni

# Simen Mountains Ethiopia

1:100 000



## Present Day Altitudinal Belts