

## GEOMORPHOLOGISCHE KARTIERUNG IN DER APOLOBAMBA-KORDILLERE (BOLIVIEN)

Anwendung des Legendenkonzepts der GMK 100 in einem randtropischen Hochgebirge

Mit 4 Abbildungen, 8 Photos und 3 Beilagen<sup>1)</sup> (V-VII)

M. DAUD RAFIQPOOR

*Summary:* Geomorphological mapping in the Apolobamba Cordillera (Bolivia). Application of the GMK 100 legends concept in high mountains of the marginal tropics

After an introductory discussion of the approach of geomorphologically detailed mapping (GMK), this paper proceeds to present the application of the recently developed German GMK legends concept at a scale of 1:100,000 (GMK 100) to the mapping of the high mountain range on the edge of the tropics (Apolobamba Cordillera, Bolivia). The paper addresses problems which arise in the application during fieldwork of this methodology.

In general the legend of the GMK 100, supplemented by some additions to the landform ensemble of the periglacial phenomena in the sub-nival altitudinal belt of high mountains, proved to be a very qualified basis for geomorphological mapping even in the tropical mountain ranges at high altitudes. It was certainly possible to confirm this experience in the Bolivian field when applying the GMK approach of Central European high mountains in respect of foregoing the representation of slope gradient areas and vaulting lines in the GMK of high mountains.

As a result of the geomorphological research undertaken in Bolivia, those spatial units which are characteristic for the area under investigation in respect of hypsometric landform development, geology, and hydrological conditions were described on the basis of the "GMK 100 of the Charazani Uplands". The geomorphological altitudinal belts of the Apolobamba Cordillera are discussed in a scheme of the three-dimensional arrangement of the landform ensemble as an example for the asymmetric construction of the altitudinal limits in the high mountain areas of the Andes of the marginal tropics.

Checking the terrain and providing supplements for a geological map of the Bolivian Geological Service (GEOBOL), which had been based predominantly on photo-geological interpretations, also permitted the making of a geological map at a scale of 1:100,000 of the area under investigation to be revised as a basis for the detailed geomorphological map. This paper concludes with a brief sketch of the geomorphologically relevant geological-petrographic conditions in the study area, which acts as a description of the accompanying geological map (Supplement VII).

### 1 Einleitung

Die Geowissenschaften werden gegenwärtig zunehmend mit der Aufgabe konfrontiert, Grundlagen für die Landschaftsbewertung und -planung sowie

landschaftsökologische Strukturanalysen zu erstellen. Von diesen wird eine Darstellung der physisch-geographischen Faktoren und der ökologischen Wechselbeziehungen als Grundlage einer langfristigen Umweltsicherung erwartet. Einem solchen Anspruch wird die Geomorphologie am besten durch geomorphologische Detailkarten (GMK) unterschiedlicher Maßstäbe gerecht, da diese für die konkrete Frage eine repräsentative Basis bereitstellen. Als repräsentativ gilt hierbei alles, was zur durchschnittlichen Ausstattung eines Landschaftsausschnitts gehört (STÄBLEIN 1990, 613).

In der Diskussion um das GMK-Konzept wird u. a. auf die Inhaltsfülle bei der Darstellung der Formenvelt der Hochgebirge verwiesen (LESER u. SCHAUB 1987, 32). Unbestritten ist die Bedeutung geomorphologischer Detailkarten für die wissenschaftliche Forschung (ZEPP 1987, 56). Bei ihrer praktischen Anwendung müssen allerdings die Entscheidungskriterien erst durch Hinzufügung eines Bewertungsschlüssels in Verbindung mit Geländekontrollen abgeleitet werden (MÄUSBACHER 1985). Die Anwendbarkeit dieser Karten ist mehrfach hervorgehoben und an Einzelbeispielen erprobt worden (LESER 1980, 1983; BARSCH u. MÄUSBACHER 1980; FINKE 1980; MÄUSBACHER 1983). Ihre Einsatzmöglichkeit in der Planung hängt vor allem davon ab, inwiefern der Kartennutzer mit den verwendeten Termini der Kartenlegende vertraut ist. Dieses Problem wird sicherlich bei den bolivianischen Planungsbehörden auftreten, da in diesem Land, wie auch in vielen anderen lateinamerikanischen Ländern, die Erfahrung mit

<sup>1)</sup> Für die finanzielle Unterstützung meiner Feldaufenthalte möchte ich der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz, aufrichtig danken. Gedankt sei auch dem Bundesministerium für Forschung und Technologie sowie dem Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, aus deren Mitteln der Druck der Kartenbeilagen finanziert werden konnte. Die Kartographen des Geographischen Instituts der Universität Bonn, insbesondere Herr Dipl.-Ing. DIETRICH GLADENBECK, haben keine Mühe bei den umfangreichen kartographischen Arbeiten gescheut. Ihnen gilt mein besonderer Dank.

derartigen Karten grundsätzlich fehlt. Erst in jüngerer Zeit sind von der Arbeitsgruppe GARLEFF und STINGL Versuche unternommen worden, in Zusammenarbeit mit argentinischen Kollegen Beispielräume im Andenfußbereich Argentiniens nach dem GMK-Prinzip zu kartieren, um die Anwendbarkeit des GMK-Konzepts sowie die Möglichkeit einer effizienten Wiedergabe der Geländeaufnahmen in einer einfarbigen Karte zu erproben (ABRAHAM DE VAZQUEZ u. a. 1987; GARLEFF u. a. 1989).

Aus der Besonderheit der Hochgebirgsnatur des Untersuchungsgebietes in der oberen Charazani-Talung (Bolivien) ergab sich eine Fülle von Informationen, deren sinnvolle Generalisierung eine wesentliche Aufgabe bei der graphischen Gestaltung der Karte (Beilage V) war.

## 2 Problemstellung

Die Hochgebirge der Erde, insbesondere die lateinamerikanischen, bildeten aufgrund ihrer natürlichen Ausstattung mit fruchtbaren, meist vulkanischen Böden und den vergletscherten Gebirgszügen als Wasserreservoir einen Gunstraum für eine frühe Besiedlung. Diese leitete in den Kordilleren Lateinamerikas eine anthropogene Beanspruchung des Hochgebirges ein, die sich in der Devastierung der natürlichen Vegetation, insbesondere der Wälder im Bereich der kritischen Grenzareale (obere Waldgrenze) sowie in der Umgestaltung der Natur- zur Kulturlandschaft mit den daraus resultierenden Folgen (z. B. Stoffaustrag aus dem Hochgebirgsraum infolge großer Reliefenergie) ausdrückt.

In der oberen Charazani-Talung wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Einfluß des Menschen auf Hochgebirgsökosysteme im Wohngebiet der Kallawaya (bolivianische Anden)“ (SEIBERT 1982) zur Evaluation solcher Fragen auch eine auf den Methodenansatz der „Geomorphologischen Detailkartierung der Bundesrepublik Deutschland“, speziell GMK 100 (FRÄNZLE u. a. 1979), beruhende Kartenaufnahme angestrebt. Als Ziel wurde die

Erfassung des geomorphologischen Prozeßgefüges und der Formenwelt als Strukturelement der Landschaft in den Höhenstufen der Apolobamba-Kordillere anvisiert, um im Zusammenhang mit den Ergebnissen anderer Teildisziplinen der Geographie sowie der Vegetationskunde zur Klärung praxisrelevanter Fragen, wie z. B. Hanglabilität und Bodenerosion im Kallawaya-Gebiet, beizutragen.

## 3 Methodik

Im vorliegenden Beitrag werden die Methodik der Geländeaufnahmen sowie die Problematik der Anwendung des Legendenkonzepts der GMK 100 am Beispiel eines randtropischen Hochgebirges aufgezeigt sowie einige wesentliche Ergebnisse geomorphologischer Forschungen aus dem bolivianischen Untersuchungsgebiet vorgestellt. Die Legende der GMK 100 erwies sich während der Feldkartierung bei der Aufnahme frostbedingter Formen und Prozesse in der subnivalen Höhenstufe der Apolobamba-Kordillere als ergänzungsbedürftig. Sie wurde daher mit Hilfe der „Grünen Legende“ (LESER u. STÄBLEIN 1975, 1980) zu einer Arbeitslegende erweitert.

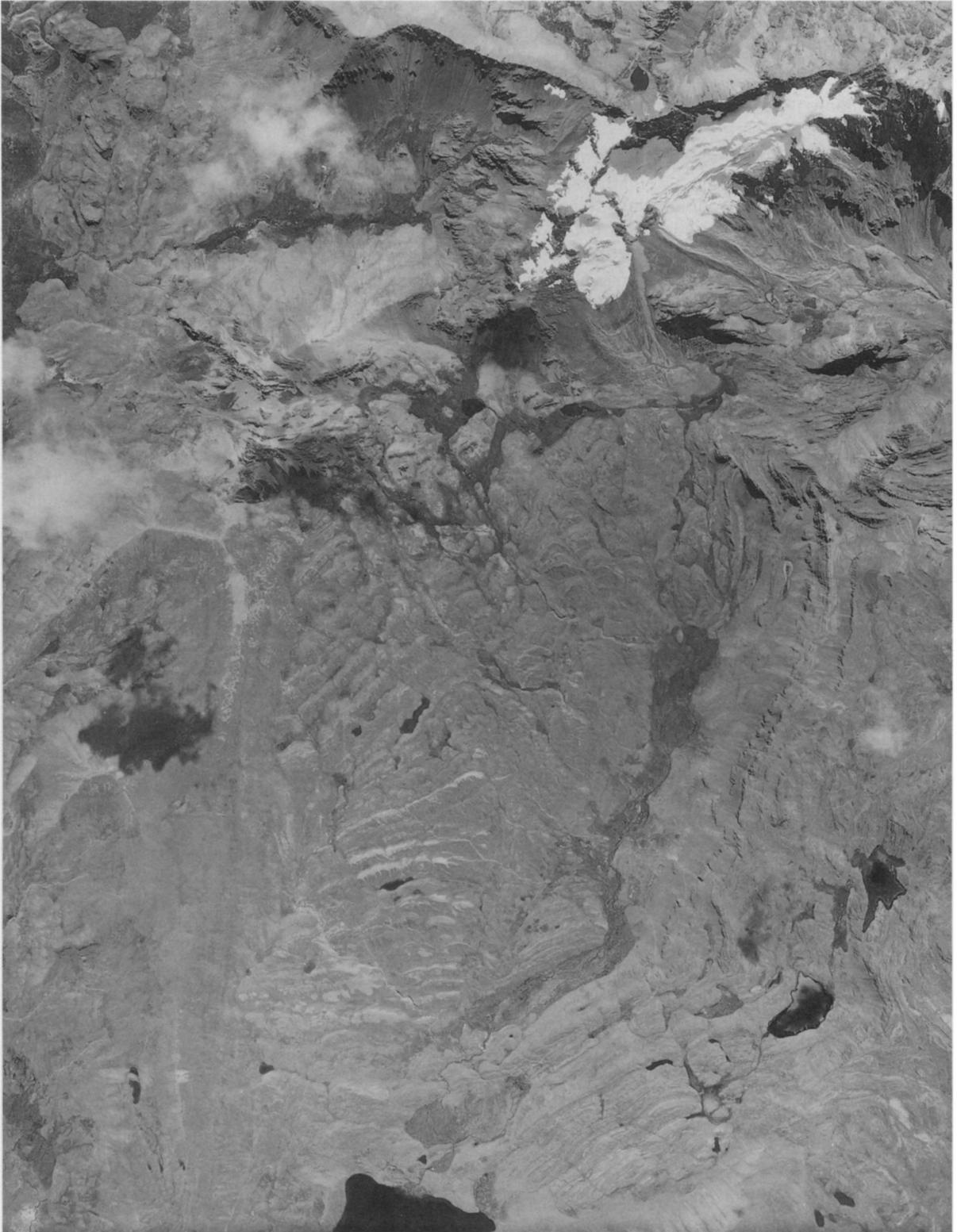
Das Bestreben, in der vorgesehenen Zeit eine optimale Kartierarbeit zu leisten, konnte nur mit Hilfe flächendeckender Luftbildinterpretation als Vorstufe der Feldarbeit realisiert werden. Dabei wurden die Bildserien von vier Befliegungstreifen<sup>2)</sup> in einem Umfang von insgesamt 102 Bildern ausgewertet. Die in überwiegender Zahl als großmaßstäbig (1:40 000) vorliegenden Luftbilder bieten mit ca. 60% Überlappung genügend Auflösung für eine stereoskopische Betrachtung und Auswertung. Bei Bildern dieses Maßstabs kann im Bereich des Sichtfeldes des Stereoskops ein Landschaftsausschnitt von ca. 4 × 4 km aus der „Vogelperspektive“ überschaut werden. Dies ermöglicht ein gutes Verständnis der geomorphologischen Zusammenhänge und erleichtert eine perspektivische Landschaftsbeurteilung und Reliefsprache.

Aus den Luftbildern wurden alle erkennbaren geomorphologischen Merkmale auskartiert, das hydrographische Netz detailliert aufgenommen und der Verlauf der Kämme und weiterer Reliefwechsellinien festgehalten. Rauheiten der Erdoberfläche konnten mit den in der GMK 25-Legende vorgesehenen Signaturen wiedergegeben und flächenmäßig abgegrenzt werden. Diese Informationen wurden mit Hilfe eines TOKO 15 42 65-Stereoskops japanischer Bauart auf einseitig matte Astralonfolien, die auf die Größe der Luftbilder zugeschnitten waren, aus den

<sup>2)</sup> Folgende Luftbildbefliegungen decken das Arbeitsgebiet vollständig ab:

Befliegung Vuelo CUCCERA	(1963/64)	1:40 000	70 Bilder
Befliegung USAF	(1974)	1:50 000	9 Bilder
Befliegung HYCON	(1955/56)	1:50 000	8 Bilder
Befliegung Proyecto Bol M-9	(1975)	1:75 000	15 Bilder

Die Luftbilder wurden beim Instituto Geográfico Militar (IGM) in La Paz käuflich erworben.



**Abb. 1:** Luftbildausschnitt zu Beilage VI  
**Aufnahme:** Instituto Geográfico Militar La Paz 6. 5. 1964  
Detail of aerial photograph for Supplement VI

Luftbild-Stereopaaren direkt herausgezeichnet. Anschließend wurden nur die „Herzstücke“ der ausgewerteten Luftbilder aus dem geringfügig verzerrten Nadirbereich zusammenkomponiert und auf die entsprechenden topographischen Karten projiziert („Entzerrung“).

Als Ergebnis konnte für das gesamte Kartiergebiet eine auf der Grundlage der Luftbildinterpretation entstandene „vorläufige geomorphologische Detailkarte“ im Maßstab der Luftbilder (1:40 000) entworfen werden, die die Basis der Feldkartierungen darstellte. Beilage VI präsentiert exemplarisch eine Luftbildkartierung aus der Umgebung des Colera-Massivs zum Vergleich mit der dazugehörigen Luftaufnahme (Abb. 1). Das Beispiel veranschaulicht in vollem Umfang die Aussagekraft der Luftbildinterpretation und deren Einsatz bei den Geländeaufnahmen zur GMK 100 des Charazani-Berglandes.

#### 4 Feldkartierung

Für eine großmaßstäbige geomorphologische Kartierung des Charazani-Berglandes auf Basis der GMK 25 (BARSCH u. MÄUSBACHER 1980; LESER 1980, 1983; MÄUSBACHER 1983; FISCHER 1984) bzw. GMK 10 oder GMK 5 (LESER u. ZOLLINGER 1987; LESER u. SCHAUB 1987) waren in Bolivien die Arbeitsgrundlagen leider sehr unzureichend. Deshalb wurde eine Kartierung nach dem GMK 100-Prinzip vorgezogen. Als Kartiergrundlage standen zur Verfügung:

- Zwei amtliche TK-50-Blätter für den westlichen Teil des Projektgebietes. Für das eigentliche Wohngebiet der Kallawaya fehlte jedes topographische Grundlagenmaterial.
- Eine auf der Grundlage von Luftbildinterpretation entstandene, größtenteils revisionsbedürftige geologische Karte des bolivianischen geologischen Dienstes im Maßstab 1:100 000.
- Eine handcolorierte Wiedergabe der o. a. Karte im Maßstab 1:50 000 für den Bereich der TK-50-Blätter Kaata und Villa General Gonzales.
- Luftbilder der Befliegungsmissionen des Instituto Geográfico Militar (IGM), La Paz.

Um mit den Kartierarbeiten zu beginnen, mußte für die GMK 100 zunächst ein vollständiges topographisches Grundlagenmaterial erstellt werden (LAUER u. RAFIQPOOR 1990).

Für die Geländekartierung wurden die topographischen Karten auf den Maßstab der Luftbilder (1:40 000) vergrößert. Dadurch war es möglich, die tatsächliche Lage der Einzelformen unter Zuhilfenahme der Luftbilder im Gelände sehr genau zu lokali-

lisieren. Die Feldreinkarte wurde ebenfalls im Maßstab der Luftbilder (1:40 000) gezeichnet und anschließend auf 1:100 000 verkleinert. Dies erlaubt einen möglichst geringen Inhaltsverlust bei der Generalisierung.

Die Geländearbeit erfolgte in zwei Hauptfeldkampagnen von jeweils drei Monaten (Juli bis Oktober 1983 und April bis Juni 1984). Die beiden Feldaufenthalte wurden bewußt auf zwei unterschiedliche Zeiträume verteilt, um zur Beurteilung der Prozeßabläufe und Formenvielfalt die aktualmorphodynamischen Prozesse in der Trocken- und der ausgehenden Regenzeit beobachten und aufnehmen zu können. Ein einmonatiger Geländeaufenthalt im Juli/August 1987 galt schließlich der Klärung einiger offener Fragen und der Aufnahme anthropogen verursachter Landschaftsschäden im Zuge des Ausbaus des Straßennetzes im Kallawaya-Gebiet (RAFIQPOOR 1994).

Bei der Geländekartierung wurde der Akzent in erster Linie auf die Erfassung geomorphogenetischer Gesichtspunkte gelegt, während die geomorphographischen Elemente weniger betont wurden. Die Erfahrung mit der GMK aus mitteleuropäischen Gebirgen, daß im Hochgebirge die geomorphographischen Signaturen in den häufigsten Fällen eine Übersetzung der wahren Reliefbedingungen darstellen, bestätigte sich auch in der Apolobamba-Kordillere. RATHJENS (1985) stellt z. B. fest, daß der Verzicht auf die Darstellung geomorphographischer Signaturen im Kartenblatt der GMK 100 eines Hochgebirgsraumes in erster Linie auf die Darstellung der Hangneigungen, der Kammlinien und Wölbungen zutrifft.

Aus diesen Gründen wurde auf eine Darstellung der Neigungsklassen und Wölbungslinien in der „GMK 100 des Charazani-Berglandes“ verzichtet. Im glazialen Vorland der Apolobamba-Kordillere wurden zur besseren Kennzeichnung verschiedener Moränengenerationen, die sich auch im Landschaftsbild physiognomisch recht gut widerspiegeln (Photo 1)<sup>3)</sup>, eine Strich- und Schraffensignatur eingesetzt, um die Jungmoränen der letzten Eiszeit mit den scharfen Kammlinien (Strichsignatur) von den verwaschenen Wällen der älteren Moränen (Schraffensignatur) zu unterscheiden (Beilage V).

Bei der Darstellung der Kämme und Grate ist es sinnvoll – da sie ebenfalls durch das Höhenlinienbild auf der Karte gut zum Ausdruck kommen – besonders auf die genetischen Gesichtspunkte zu achten. So wurden die scharfen Kammlinien im Bereich der von der pleistozänen Vergletscherung überprägten Hoch-

<sup>3)</sup> Vgl. hierzu LAUER u. RAFIQPOOR (1986, Beilage VI)



*Photo 1:* Blick aus ca. 5000 m Höhe auf das wassergefüllte Zungenbecken des Suches-Tales als Beispiel für das glaziale Vorland der Apolobamba-Kordillere. Dort sind mindestens zwei Moränenkomplexe zu erkennen

*Photo:* RAFIQPOOR, Juli 1987

View from a height of c. 5000 m a. s. l. down to the water-filled tongue basin of the Suches Valley, which presents an example of the glacial nature of the Apolobamba Cordillera foreland, where at least two moraine complexes can be discerned

kordillere mit einer Gratsignatur versehen. Kämmе, die mit der Streichrichtung der geologischen Schichten zusammenfallen und beispielsweise mit Überschiebungsbahnen oder anderen Unstetigkeitslinien verbunden sind, konnten als Schichtkämme kartiert werden. Die im Bereich der letzteiszeitlichen subnivalen Höhenstufe gelegenen und heute als Reliefwechsellinien in Erscheinung tretenden weichen Kämmе erhielten eine Kammsignatur. Dadurch wurde eine zusätzliche genetische Differenzierung der Kamm- und Gratlinien vorgenommen und durch ihre differenzierte Wiedergabe dem Höhenlinienverlauf des Kartenbildes ein zusätzlicher plastischer Effekt vermittelt.

Bei der Kartierung von Talformen erwies sich im Steilrelief der Kordillere die Erfassung der oberen Spannweite der Täler als problematisch. Auf diese Frage machte bereits RATHJENS (1985) bei der Aufnahme des GMK 100 „Rosenheim“ aufmerksam. Im Hochgebirgsraum sind die Täler generell durch die Kammverläufe zu den Nachbartälern begrenzt. Damit wird die in der Legende zur GMK 100 vorgesehene obere Spannweite von 1000 m sehr leicht überschritten. Deshalb lassen sich hier aus Maßstabsgründen die Täler nicht mit den Baukastenelementen von konvexen und konkaven Wölbungslinien erfassen. Nach dem Vorschlag von RATHJENS (1985)

wurde das Talprofil durch eine Signatur in der Tiefenlinie zur Darstellung gebracht. Während bei den großen Tälern sich die Talform leicht aus dem Höhenlinienbild der Karte entnehmen läßt, wurde bei den kleinen Tiefenlinien eine Differenzierung hinsichtlich der Taltiefe vorgenommen, worüber hier die Größe der Signatur in der Tiefenlinie Auskunft gibt.

Schwerwiegender war während der Kartierung die Entscheidung bei der Ansprache der Prozeß- und Strukturbereiche. Es gibt zwar für die GMK-Blätter der Bundesrepublik Deutschland die sogenannten Entscheidungsleiter (MÄUSBACHER 1983; REINIRKENS 1982), die auf die Erfahrung der GMK 25 aufbauend, eine gute Hilfestellung bei der Suche nach Abgrenzungskriterien zur Beurteilung der Prozeßbereiche leistet. Bei der praktischen Durchführung der Kartierung hängt jedoch eine sinnvolle Entscheidung über die räumliche Einordnung der Prozeß- und Strukturbereiche vom Kartierer selbst ab.

Bei der GMK 25 Blatt „Königssee“ (FISCHER 1984) wurden z. B. die fluvialen Ablagerungen (vorwiegend Kies) und die Hangschuttvorkommen gleichwertig als *denudativ* kartiert, während große Teile des Kartenblattes im Bereich des Dachsteinkalks und der Dolomite der Trias als *gravitativ* dargestellt sind. Auf dem Blatt „Rosenheim“ (RATHJENS 1985) wurden ebenfalls die Akkumulationsformen am Fuße der steilen



*Photo 2:* Blick von der Hochfläche von Ulla Ulla auf die Apolobamba-Kordillere. Links Nevado Ulla Khaya (5612 m NN), rechts Nevado Akamani (5391 m NN). Im Vordergrund Moränenwälle der letzten Eiszeit

*Photo:* RAFIQPOOR, August 1987

View from the Ulla Ulla plateau to the Apolobamba Cordillera. On the left the Nevado Ulla Khaya (5612 m a. s.l.), on the right the Nevado Akamani (5391 m a. s.l.). In the foreground moraine walls of the last ice age

Wände und Deckenstirnbereiche als *denudativ* aufgenommen. Bei den beiden Kartenautoren wird offensichtlich unter dem Prozeßbereich „*denudativ*“ lediglich das bei der Denudation entstandene Akkumulationsprodukt verstanden. In der GMK 100 des Charazani-Berglandes werden unter *denudativ* sowohl das Denudationsprodukt, d. h. die Akkumulationsbereiche am Hangfuß einschließlich Hangschutt und Bergsturzschutt, als auch der Relieftteil, in dem dieser Prozeß abläuft und der z. B. durch Hangrückverlegung umgestaltet wird, zusammengefaßt. Differenziert wird hier sinnvollerweise durch die entsprechenden Signaturen für das Substrat bzw. für das oberflächennahe Festgestein.

Bei der Ansprache des ein ausgegliedertes Areal charakterisierenden Prozesses wurde versucht, den raumprägenden Prozeß auf der Karte darzustellen. Daher wurde auch mit der Prozeßfarbe *strukturell* sehr sparsam umgegangen, um das betreffende Areal möglichst sinnvoll einem Prozeßbereich zuzuordnen (Beilage V). Die Substrattypen konnten durch flächendeckende Beprobung des Untersuchungsgebietes mit Hilfe eines Bohrstabs bestimmt und angesprochen werden. Die oberflächennahen Festgesteine wurden bei den geologischen Feldaufnahmen, die sich quasi als „Nebenprodukt“ der geomorphologischen Kartierung ergaben, erfaßt.

Die GMK 100 des Charazani-Berglandes setzt sich aus folgenden sieben Informationsschichten zusammen:

- Topographie einschließlich Wölbungstypen im glazialen Vorland der Kordillere,
- Morphographie und Morphometrie,
- Substrattypen und oberflächennaher Untergrund,
- Beobachtete Prozeßspuren aktueller und vorzeitlicher Morphodynamik einschließlich deren Strukturbereiche,
- Kleinformen, Einzelformen und Oberflächenrauheiten einschließlich Kulturterrassen,
- Hydrographie,
- Anthropogene Formen (Dörfer, Wegenetz, Straßen etc.) und Höhepunkte.

##### 5 Geomorphologische Raumdifferenzierung

Wie die Übersichtskarte in Beilage V zeigt, treffen im ausgewählten Arbeitsgebiet drei unterschiedliche Landschaftstypen zusammen (s. u.), in denen sämtliche für ein randtropisches Hochgebirge charakteristischen geomorphologischen Merkmale studiert werden können (LAUER u. RAFIQPOOR 1990). Das Untersuchungsgebiet läßt sich in vier geomorphologische Großeinheiten gliedern, die nur teilweise mit



*Photo 3:* Blick von der Einmündung des Río Amarte in den Río Charazani auf das zentrale Charazani-Tal. Im Hintergrund die vergletscherte Apolobamba-Kordillere, im Vordergrund der Río Charazani mit Terrassenresten, die ackerbaulich genutzt werden. Erosionsfurchen zergliedern den Hangfuß

*Photo:* RAFIQPOOR, Juni 1984

View from the junction of the Río Amarte with the Río Charazani into the central Charazani valley. In the background is the glaciated Apolobamba Cordillera, in the foreground the Río Charazani with terrace remnants which are used for agriculture. Furrows caused by erosion dissect up the foot of the slope

den zu behandelnden geologischen Faziesbereichen identisch sind. Größtenteils werden sie durch das Relief, den hypsometrischen Wandel klimatischer Parameter, die Vegetationsbedeckung und die anthropogene Beeinflussung der Landschaft bestimmt. Diese Raumeinheiten sind hinsichtlich des Formenschatzes und der Prozeßkombinationen selbständige Glieder im Gesamtsystem dieses Hochgebirges.

1. Der Südteil der *Apolobamba-Kordillere*, der mit den vergletscherten Nevados von Ulla Khaya und Akamani im Nordosten des Kartenblatts liegt, stellt ein Beispiel für die ausgeprägte Hochgebirgslandschaft dar (Photo 2). Die Hochkordillere zeichnet sich durch rezente Vergletscherung und neuzeitliche Moränenablagerungen im Vorfeld der heutigen Gletscher sowie durch eine ausgeprägte periglaziale Morphodynamik aus. Die ausgedehnten rezenten Frostschuttgebiete mit Strukturböden sind in der Apolobamba-Kordillere oberhalb von 4700–4800 m großflächig verbreitet. Als Gegenstück hierzu sind die Frostschuttfelder des Tolcacota-Massivs in der SE-Ecke des Kartenblattes zu nennen. Gletscherschliffflächen, Rundhöckerfluren, Hängetäler, Kare mit

scharfen Zwischenkarscheiden, vermoorte Talböden sowie schließlich Glatthänge in Nordexpositionen und Steilhänge mit zusammengesetzten Sturzhaldenböschungen in den Südexpositionen (Kammasymmetrie im Sinne von KLAER 1962, 1977) komplettieren den Formenschatz der subnivalen Höhenstufe der Hochkordillere (Beilage V).

2. Die *Bergländer von Charazani/Tolcacota* bilden im zentralen Teil des Arbeitsgebietes die nordöstlichen Ausläufer des Muñecas-Berglandes, das als eine tektonisch abgesunkene Scholle den Hauptzug der bolivianischen Ostkordillere zwischen Achacachi am Titicaca-See und Ulla Ulla unterbricht. Diese Einheit besitzt im Vergleich zur Apolobamba-Kordillere einen „mittelgebirgs“-artigen Charakter (Photo 3). Für diese Bergländer ist generell eine ausgeprägte Zerschneidung der Hänge, vor allem im Hangfußbereich, infolge linearer Erosion typisch, wo ein mächtiges Schuttpaket solifluidalen Ursprungs die Hänge auskleidet. Als weiteres morphologisches Element greifen von den Kammlagen dieser Bergländer die Moränenzungen des Jungpleistozäns in das Talssystem fingerförmig ein und markieren dort bei etwa



Photo 4: Die Hochfläche von Ulla Ulla als glaziale Akkumulationslandschaft. Im Vordergrund ein Bultmoor aus *Distichia muscoides* unterhalb der Fontanili-Linie. Oberhalb davon die Estancias der Llama- und Alpaca-Züchter. Im Hintergrund sind die Moränenablagerungen des Vorlandes der Hochkordillere zu sehen

Photo: RAFIQPOOR, Juni 1984

The Ulla Ulla plateau as a landscape of glacial accumulations. In the foreground a cushion moor formed by *Distichia muscoides* below the Fontanili line. Above it are the estancias of llama and alpaca breeders. In the background the moraine deposits of the High Cordillera foreland can be discerned

4000–3900 m die tiefsten Eisrandlagen der letzten Vereisung.

3. Im Nordwesten schließt sich die *Hochfläche von Ulla Ulla* als Teil des bolivianischen Altiplano an, das zugleich auch das glaziale Vorland der Apolobamba-Kordillere darstellt (Photo 4). Sie ist als eine breite glaziale Schiefebene an der Westabdachung der Kordillere ausgebildet, in der die durch Periglazialprozesse überformten Moränen der vorletzten Eiszeit als abgerundete Wälle wannenartige Täler entstehen lassen. In diese Altglaziallandschaft sind die Gletscherzungen der letzten Eiszeit vorgestoßen, wo sie ausgeprägte Zungenbecken und Endseen sowie scharfgratige Seiten- und Endmoränen bis etwa 4300 m NN aufgestaut haben. Die Glazifluvialablagerungen der letzten Eiszeit überdecken an den Ausgängen der jungen Glazialtäler die Ablagerungen der vorletzten Vereisung unter Bildung einer mustergültigen glazialen Serie in der Suches-Niederung. Dort übernimmt der gleichnamige Fluß als letztes Glied dieser Serie die Rolle des Vorfluters für die Gletscherbäche einschließlich der Rinnsale aus der Fontanilli-Zone (Beilage V).

4. Das *Bergland von Putina* liegt als glazial überprägtes Mittelgebirge im Bereich der Kreideablagerungen jenseits des Río Suches vorwiegend auf dem peruanischen Staatsgebiet.

Das gesamte Untersuchungsgebiet ist stark reliefiert und erstreckt sich zwischen 2700 m und ca. 5200 m NN (Schneegrenze) über eine Vertikaldistanz von insgesamt 2500 Höhenmetern. Diese Höhenspanne entspricht einer Luftlinienentfernung von nur etwa 25 km. Daraus ergibt sich ein Landschaftsgradient mit raschem Wandel geomorphologischer Formen und Prozesse. Der hypsometrische Formenwandel wird in erster Linie durch die klimatischen Bedingungen des Arbeitsgebietes gesteuert. In diesem Zusammenhang spielen aber auch die petrographischen Eigenschaften des geologischen Fundaments, die Beschaffenheit des Pflanzenkleides und nicht zuletzt auch die Techniken der Landnutzung bei den Prozeßkombinationen eine wichtige Rolle. Aus der engen Verflechtung physisch-geographischer und kultur-geographischer Phänomene ergab sich ein landschaftsökologisch orientierter Ansatz der geomorphologischen Bestandsaufnahme des Arbeitsgebietes, der

tierra nevada	< 1 °C	<b>NIVALE STUFE</b>
5200 m		— Schneegrenze — (obere Strukturbodengrenze)
tierra	320 FWT	obere (vorwiegend Formen der freien Solifluktion)
4700 m		<b>SUBNIVALE STUFE</b>
4500 m	3,5 °C	(vorwiegend Formen der halbgebundenen und der gebundenen Solifluktion)
helada		untere
4200 m	300 FWT	— untere Solifluktionsgrenze —
4000 m	6,5 °C	obere Viehgangeln, Erdschlipfe, kleinräumige Bodenversetzungen
tierra	100 FWT	<b>STUFE DER ANTHROPO-ZOOGENEN FORMUNG (NUTZUNGSRAUM DER KALLAWAYA)</b>
3500 m	9,5 °C	Barrancabildung, Bodenabspülung, Rutschungen, Lateralerosion der fließenden Gewässer, Murgänge etc.
fria		untere
3000 m	12,5 °C	— Untergrenze der Lockersubstratdecken — (Untergrenze der fossilen Glatthänge)
2700 m		
tierra templada	> 18 °C	<b>TROPISCHER HÖHENWALD</b>

Abb. 2: Schematische Darstellung der geomorphologischen Höhenstufen des Kallawaya-Gebietes (FWT = Frostwechseltage)

Schematic presentation of geomorphological altitudinal belts of the Kallawaya region (FWT = days of freeze-thaw cycles)

das Studium der vertikalen Anordnung der Formenwelt und deren steuernde morphodynamischen Prozesse in ihrem räumlichen Wandel erlaubte. Sie werden nachfolgend diskutiert.

### 5.1 Geomorphologische Höhenstufung des Kallawaya-Gebietes

Im Kallawaya-Gebiet wurden oberhalb der lokalen oberen Waldgrenze (2700 m NN) auf der Grundlage der Formenvergesellschaftung drei wesentliche geomorphologische Höhenstufen erkannt (Abb. 2). Der stark zertalte untere Abschnitt des Kallawaya-Gebietes kann wegen der anthropogenen Beeinflussung und der Formenvielfalt als eine *Stufe der anthropo-*

*zoogenen*<sup>4)</sup> Formung zwischen 2700 und 4200 (4300) m umschrieben werden. Darüber erstreckt sich bis zur Schneegrenze die für das Hochgebirge morphologisch bedeutsame *subnivale Höhenstufe* und oberhalb davon schließlich die *nivale Stufe*.

### 5.2 Stufe der anthropo-zoogenen Formung zwischen 2700–4200 (4300) m

Diese morphologische Höhenstufe deckt sich praktisch mit dem engeren Siedlungsraum der Kallawaya. Je nach Art der Landnutzung, Prozeßkombination und Formenvergesellschaftung läßt sie sich doch in zwei Teile untergliedern. Der untere Teil (2700 und 3900 m NN), in dem Ackerbau auf Terrassen betrieben wird, zeichnet sich durch Barranca-Bildung, Bodenabspülung, Rutschungen, Lateralerosion der fließenden Gewässer und Murgänge aus. Der obere Teil (3900–4200/4300 m) – agrargeographisch als Stufe mit Knollenfruchtanbau und Beweidung definiert (LAUER 1984, 1987; MAHNKE 1982, 1985) – wird durch Viehgangeln, Rasenabschälung, Erdschlipfe, kleinräumige Bodenversetzungen etc. gekennzeichnet (Photo 5). Die letztgenannten dokumentieren die Prozeßkombination zwischen Landnutzung (Beweidung) und Bodenfrost (Kammeisbildung) in einer Übergangszone zur subnivalen Höhenstufe.

Im gesamten unteren morphologischen Stockwerk lassen die anthropogen bedingten Prozesse in Verbindung mit den natürlichen Faktoren spezifische Formen entstehen. In der Ackerbaustufe, in der die Hänge (vor allem in der Hangfußregion) mit mächtigen und leicht zu mobilisierenden Lockersubstratlagen bedeckt sind, kann man zwischen zwei Typen der Massenverlagerung unterscheiden:

- naturbedingte Massenselbstbewegung,
- anthropogen ausgelöste Massenverlagerung.

Die *naturbedingte Massenselbstbewegung* wird in erster Linie durch die jahresperiodische Niederschlagsverteilung (Regenzeit von Oktober bis April) gesteuert. Dabei sind insbesondere die Starkregen erosionsintensiv und lösen alljährlich in den Barrancas Murgänge aus, die als ein breiiges Feststoff-Wasser-Gemisch (ABELE 1979; BUNZA u. a. 1976) den Prozeß der linearen Erosion intensivieren und vor allem für die Bewohner der unteren Talregionen mit katastrophalen Folgen verbunden sind (Photo 6). Diese Art des linearen Massentransportes führt wiederum zu Hangunterschneidungen (Lateralerosion), die zu-

<sup>4)</sup> Unter dem Begriff „zoogen“ verbirgt sich der Einfluß der Beweidung in der Ackerbau- und Weidestufe der Kallawaya.



Photo 5: Rasenabschälung und Viehgangeln im Bereich der Kreidesandsteine bei Estancia Ococoya an der Straße Charazani-La Paz bei 4300 m NN

Photo: RAFIQPOOR, Juli 1987

Turf-exfoliation and cattle tracks in the area of the Cretaceous sandstones near Estancia Ococoya on the Charazani-La Paz road at 4300 m a. s. l.

sätzlich Nachsackungen und Rutschungen provozieren.

Rutschungen an Steilhängen sind die wichtigsten morphologischen Erscheinungen dieser Höhenstufe, die hier vorwiegend als „Rotationsrutschungen“ auftreten. Ursache dafür bildet die o. g. mächtige Lockersubstratdecke. Fällt z. B. der Hang mit der Schichtfläche des Gesteinsuntergrundes zusammen, so kann es in der Regenzeit bei einer Durchfeuchtung des Materials zum Abgleiten des auf dem geologischen Untergrund ruhenden Schuttpaketes kommen. Auf diese Weise ereignen sich im Kallawaya-Gebiet alljährlich in der Regenzeit unzählige Rutschungen mit Abrißnischen und Schuttkegeln, die das Straßen- und Wegenetz gefährden und das Landschaftsbild ständig verändern. Infolgedessen kann man im Charazani-Tal Generationen von Rutschungen beobachten. Einige von ihnen sind wegen ihres hohen Alters heute sogar terrassiert und werden ackerbaulich genutzt (RAFIQPOOR 1994, 104 f).

Die *anthropogen ausgelöste Massenverlagerung* intensiviert die naturbedingten Massenselbstbewegungsprozesse. In der Ackerbaustufe zwischen 2700 bis etwa 3900 m werden sie z. B. durch Bodenbearbeitung und Lockerung des Oberbodens, durch Beweidung mit Groß- und Kleintieren auf Brachflächen

sowie aufgrund mangelnder Pflegemaßnahmen der künstlich errichteten Terrassen begünstigt. Die Bodenbearbeitung führt außerdem dazu, daß sich in der Nacherntezeit die feine Bodenkrume entlang der zusammengefallenen Teile der Terrassenmauer hangabwärts bewegt und am Wegrand kleine konische Ablagerungen bildet. Auf den für die nächste Saat frisch vorbereiteten Feldern kommt es darüber hinaus zur Ausblasung der staubigen Feinmaterialteilchen in einer Zeit, in der das Arbeitsgebiet von heftigen Berg-Tal-Winden betroffen ist (KISTEMANN u. LAUER 1990). Auf diese Weise geht der landwirtschaftlichen Nutzung die wichtigste Grundlage verloren. Oberhalb 3900 m NN fördert die Beweidung bei nun einsetzendem Bodenfrost (Kammeisbildung) die Massenverlagerung unter Bildung von Formen der gebundenen Solifluktion (Photo 5).

### 5.3 Die subnivale Höhenstufe

Die subnivale Höhenstufe umfaßt im Kallawaya-Gebiet das Höhenintervall zwischen der unteren Solifluktionsgrenze (4200/4300 m NN) und der rezenten Schneegrenze (5200 m NN). Auch diese Stufe wird je nach Häufigkeit der Solifluktions- und Strukturbodenformen in eine untere und eine obere Subnival-



Photo 6: Murgang an der Barranca von Huata Huata (oben: Regenzeit 1984) sowie Murgang an der Einmündung dieser Barranca in den Río Charazani (unten: Regenzeit 1983)

Photo: RAFIQPOOR 1983 u. 1984

Debris flow on the Barranca of Huata Huata (above: 1984 rainy season), and debris flow at the junction of this barranca with the Río Charazani (below: 1983 rainy season)

stufe eingeteilt. Während im unteren Bereich dieser Höhenstufe die Formen der gebundenen und halbgebundenen Solifluktion mit Rasenabschälung, Solifluktionsterrassen, Rasengirlanden etc. dominieren, gewinnen im oberen Teil unter zunehmender Auflichtung der Pflanzendecke allmählich Formen der

freien Solifluktion wie Streifen, Erdstreifen (Photo 7), Polygonböden, Steinringe, Zellenböden, Erdknospen etc. die Oberhand. Für die subnivale Höhenstufe der tropischen Hochgebirge gilt, daß hier wegen plötzlichen Einsetzens des Frostes die Formen der gebundenen, der halbgebundenen und der freien



Photo 7: Erdstreifen am Südabhang des Colera-Massivs in 4800 m Höhe

Photo: RAFIQPOOR, Juni 1984

Sorted stripes of earth on the southern slope of the Colera massif at 4800 m a. s. l.

Solifluktion sich mosaikartig bis zur Schneegrenze erstrecken können (HÖLLERMANN u. POSER 1977; FURRER u. GRAF 1978).

Ein solches Gefüge des Kleinformenschatzes der Subnivalstufe wird aber insofern modifiziert, als sich in Abhängigkeit vom Substrat und dem Zustand der Pflanzendecke eine Häufung bestimmter Formengruppen von unten nach oben erkennen läßt, so daß man daher durchaus von einer unteren Subnivalstufe mit vorwiegend Formen der gebundenen und halbgebundenen sowie einer oberen mit häufigem Auftreten von Formen der freien Solifluktion sprechen kann.

Charakteristisch für die subnivale Höhenstufe der Apolobamba-Kordillere ist eine klimatische Asymmetrie der West- und Ostabdachungen des Gebirges (Abb. 3), die im Zusammenhang mit dem Vegetationsbesatz und der anthropogenen Nutzung einen ebenso asymmetrischen Verlauf der geomorphologischen Höhengrenzen verursacht (Abb. 4). Trotz ähnlichem Jahresgang sind die Niederschlagsmengen auf den beiden Gebirgsflanken wegen des Luv-Lee-Effekts unterschiedlich hoch. Landschaftsökologisch wirkt sich diese Feuchteasymmetrie in erster Linie im Vegetationsbesatz beider Gebirgsabdachungen aus. SEIBERT u. MENHOFER (1991/92, 390) konnten einen asymmetrischen Aufbau der Vegetationshöhenstufen

für den Südteil der Apolobamba-Kordillere nachweisen.

Abbildung 4 zeigt für die Kordilleren-Westseite eine etwas breitere subnivale Höhenstufe gegenüber ihrer Ostabdachung. Die um ca. 200 m tiefere Lage der Solifluktionsgrenze auf der Westseite der Kordillere gegenüber ihrer Ostflanke erklärt sich durch klimatische Ursachen (Regenschatteneffekt und daraus resultierenden schlechteren Wachstumsbedingungen für die Pflanzenwelt, höhere Zahl der Frostwechsellage in den entsprechenden Höhenlagen gegenüber der Ostseite des Gebirges etc.) und zusätzlich durch anthropogene Beeinflussung (intensivere Beweidung der Westabdachung). Auch die Schneegrenze liegt auf der trockeneren Westabdachung um ca. 200 m höher als auf der Ostflanke. Auf der Ostabdachung des Gebirges hingegen rücken die Schnee- und Solifluktionsgrenzen infolge ausreichender Feuchtigkeit und einer damit verbundenen günstigeren Wachsmöglichkeit für die Pflanzenwelt (bis ca. 4400 m eine fast geschlossene Büschelgrasdecke mit dichtem Unterwuchs) sowie wegen der Akkumulation größerer Schneemassen enger zusammen.

Oberhalb 4400 m NN lichtet sich die Büschelgrasdecke auch auf der Ostseite der Apolobamba-Kordillere allmählich auf. Zu den Büschelgräsern gesellen sich einige Polsterpflanzen wie z. B. *Pycnophyllum fili-*

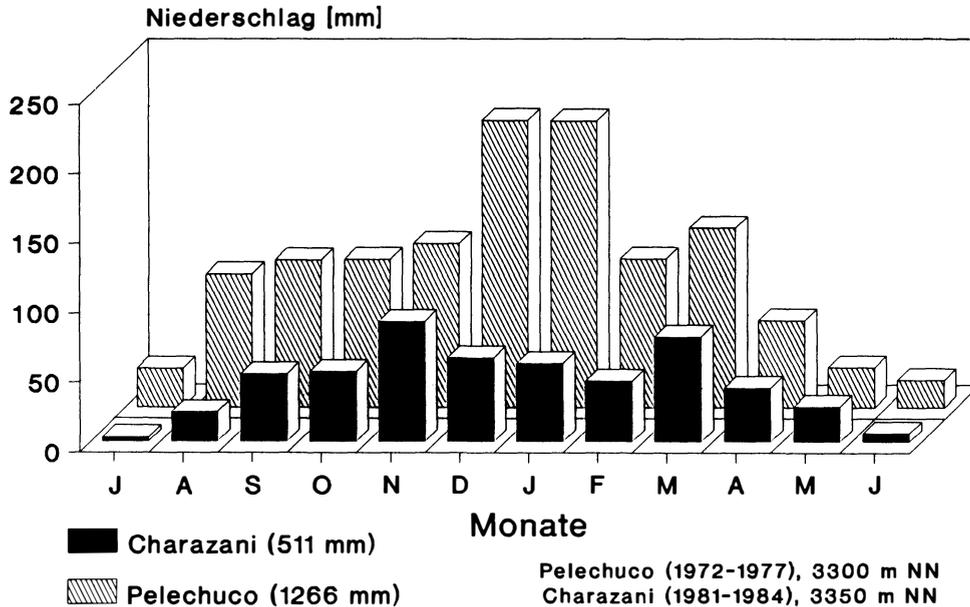


Abb. 3: Niederschlagsverteilung an den Stationen Pelechuco (Ost-) und Charazani (Westabdachung der Apolobamba-Kordillere)

Precipitation distribution of the Pelechuco (eastern-) and Charazani stations (western slope of the Apolobamba Cordillera)

forme (Caryophyllaceae). Auf vegetationslosen Standorten bewirkt das Kammeis die Bildung von Auffrierböden und bei günstigeren Substratverhältnissen die Entstehung von Frostmusterböden. Ein solches Mosaik verschiedener Formen von Solifluktion und Strukturböden setzt sich in der subnivalen Höhenstufe der Apolobamba-Kordillere bis zur Schneegrenze fort.

Die subnivale Höhenstufe der Apolobamba-Kordillere ist aus den geschilderten Gründen auch hinsichtlich der morphologischen Höhengrenzen asymmetrisch aufgebaut, wobei sie auf der Ostseite der Kordillere von oben und unten her um ca. 400 m eingengt, auf der Westseite aber in derselben Größenordnung breiter ausgebildet ist. Die klimatische Asymmetrie der Páramostufe konnte LAUER (1979) für die tropischen Anden aufzeigen.

#### 6 Geologisch-petrographische Verhältnisse des Kallawaya-Gebietes

Wie bereits erwähnt, fehlte bislang für das Kartiergebiet eine weitgehend auf der Basis von Geländebegehungen aufgenommene geologische Karte. Den meisten Arbeiten, die sich mit der Geologie des Untersuchungsgebietes bzw. seiner Nachbarräume befassen (mit Ausnahme von NEWELL 1949 und MAR-

TINEZ 1980), fehlt es an Versuchen, den geologischen Werdegang des entsprechenden Raumes in den großen Rahmen der Entwicklungsgeschichte der andinen Geosynklinale zu stellen (RIVAS 1968).

Die vorliegende geologische Karte (Beilage VII) entspricht zwar in großen Zügen der „Mapa geológico de Bolivia 1:100 000“ des Bolivianischen Geologischen Dienstes (GEOBOL 1980), die Grenzen der geologischen Formationen konnten jedoch im Laufe der Feldkartierung zur GMK 100 überprüft, korrigiert und die Karte vor allem hinsichtlich der glazialen Ablagerungen, die im Bereich des Kartenblattes einen beträchtlichen Raum einnehmen, verfeinert und als eine neubearbeitete geologische Karte des Charazani-Berglandes vorgelegt werden. Eine Darlegung der historisch-geologischen Zusammenhänge des Arbeitsgebietes würde den Rahmen dieses Artikels überfordern. Es wird daher im folgenden versucht, die petrographisch-tektonischen Gegebenheiten des Kartiergebietes kurz zu umreißen, sofern sie für die geomorphologischen Fragestellungen von Interesse sind.

Das Untersuchungsgebiet kann generell in vier große Faziesbereiche gegliedert werden:

- Der altpaläozoische Faziesbereich besteht aus monotonen Schiefen, Phylliten, Tonschiefern, Sandsteinen und Quarziten des Ordoviz-Devon. Das Jungpaläozoikum (Permo-Karbon) ist vorwiegend aus

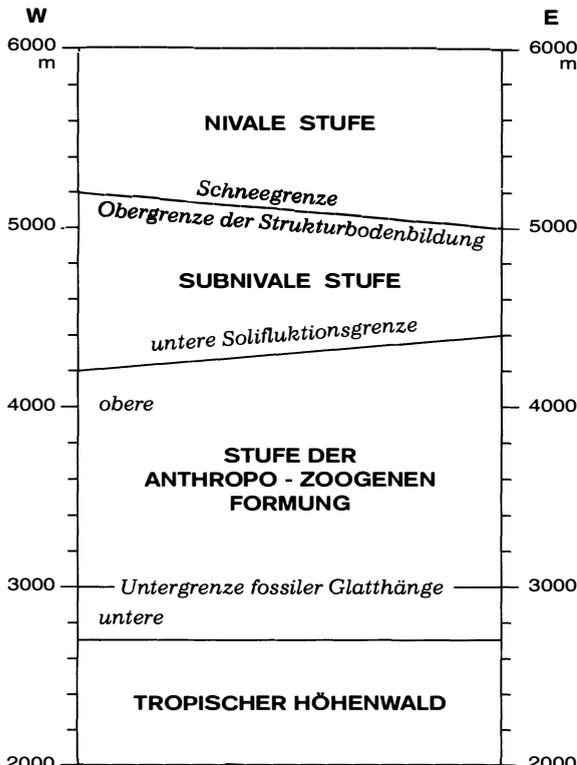


Abb. 4: Asymmetrischer Verlauf der geomorphologischen Höhengrenzen an den West- und Ostflanken der Apolobamba-Kordillere

Asymmetric course of the geomorphological altitudinal lines on the western and eastern flanks of the Apolobamba Cordillera

Kalken, Kieselschiefern, Sandsteinen, Quarziten und Lutiten aufgebaut, wobei die permischen Evaporite im Bereich des Kartenblattes relativ große Areale bedecken und morphologisch von besonderem Interesse sind. Die Gesteine des Alt- und Jungpaläozoikums sind tektonisch stark deformiert und entlang großräumiger Verwerfungen (z. B. Suches- und Sucuiti-Lineament) steil gestellt, wo sie durch Bildung bizarrer Felsformen in Erscheinung treten. Die tektonischen Linien stellen größtenteils innerhalb dieses Gesteinskomplexes die Leitbahnen des gegenwärtigen Entwässerungssystems dar. Die weichen und leicht metamorphen Schiefer und Phyllite sind gegenüber der Verwitterung und Abtragung wenig widerstandsfähig. Sie konnten daher im Laufe der jüngeren geologischen Entwicklung leichter abgetragen und durch lineare Erosion zu steilen Kerbtälern zerschnitten werden. Die widerständigeren Quarzite dieser Faziesbereiche liefern die Hauptmasse der glazifluvialen Schotterkörper im Vorland der Apolobamba-Kordillere.

Bei den im Nordosten des Kartenblattes entlang des Sucuiti-Lineaments schräg gestellten ordovizischen Tonschiefern und Phylliten haben sich während des Pleistozäns oberhalb der Schneegrenze Kare gebildet, die in der Karmulde entweder einen Karsee oder ein Moor tragen. Ähnlich haben sich in der Eiszeit auch die devonischen Schiefer des Tolcacota-Massivs östlich des Río Amarete verhalten und vergleichbare glaziale Erosionsformen entstehen lassen.

Die ordovizischen und devonischen Gesteine neigen zu sehr raschem Zerfall, insbesondere im Bereich der subnivalen Höhenstufe der Kordillere, in der oberhalb 4700 m der ganzjährige Einfluß des Bodenfrostes morphodynamisch wirksam ist. Die altpaläozoischen Gesteine liefern große Mengen an kantig-rugigem Frostschutt, die besonders an steilen, meist südlich exponierten Hängen zur Schutthaldenbildung tendieren und entlang der Sturzbahnen als Steinschlaghalden mustergültige Schuttkegel entstehen lassen.

Die Evaporite des Perm neigen zur Verkarstung. Die leichtlöslichen Gipse sind vielerorts durch subrosive Tätigkeit des Untergrundwassers aufgelöst; sie verursachten Nachsackungserscheinungen des darüberliegenden Materials. Die Erdfälle und Dolinen, die auf der Straße von Pumasani nach La Paz zwischen der Estancia Pachachani und Estancia Allkhamarini vorkommen, gelten als Zeugen solcher Subrosionen in den Gipsvorkommen im südlichen Teil des Kartenblattes (Photo 8). Die ebenmäßigen Trichter sind entlang einer Linie angeordnet, die die Existenz einer Verwerfungslinie wahrscheinlich machen, an der vermutlich eine unterirdische Entwässerung stattfindet, die zur Auslaugung der Gipsablagerungen geführt hat. Die Dolinen erreichen Tiefen zwischen 5 und 10 m. Das Karstphänomen im Bereich der Permkalke drückt sich im Kartiergebiet aber vorwiegend in Kleinformen aus. Neben den Dolinen sind es vor allem Karren, die hauptsächlich als Linienkarren in Gefällsrichtung des Gesteins auftreten und/oder als Kluftkarren, die die Gesteinsoberfläche als Längsklüfte durchziehen. GRAF (1984, 24) nimmt für die Verkarstung der Kordillerenkalke sog. hochalpine Bildungsbedingungen an, wonach nach dem eiszeitlichen Schlift die Oberfläche freigegeben wurde, auf der dann die Korrosion einsetzte.

– Im zentralen Teil des Kartenblattes tritt ein tertiäres Vulkan-Massiv auf, das aus weißlich-gelblichen und rosaroten Porphyriten (Phonolite, Rhyolithe, Dazite, Latite) besteht. Das Vulkan-Massiv ist für geomorphologische Fragestellungen in mehrfacher Hinsicht von Interesse. Durch Geschiebeanalysen unter Zuhilfenahme von Vulkanitgeröllen konnten



Photo 8: Dolinen-Reihe in permischen Evaporiten (Gips) an der Straße von Pumasani nach La Paz zwischen der Estancia Pachachani und Estancia Allkhamarini (4600–4700 m NN)

Photo: RAFIQPOOR, Juni 1984

Row of dolines in Permian evaporites (gypsum) on the road from Pumasani to La Paz between the Estancia Pachachani and the Estancia Allkhamarini (4600–4700 m a. s. l.)

z. B. die Einzugsgebiete mittel- und jungpleistozäner Gletscher sowie die Strömungsrichtung der eiszeitlichen Gletscherzungen rekonstruiert werden (LAUER u. RAFIQPOOR 1986, vgl. auch Beilage V).

Das Massiv durchstößt die permischen Kalke und stellt sie an seinen Rändern steil unter Bildung von Felswänden, die beispielsweise am Curva-Paß (4849 m NN) und am Cerro Pumasani (4719 m NN) sehr gut beobachtet werden können. Die Gesteine des Vulkan-Massivs sind ähnlich wie die des Paläozoikums von den mesozoischen Gebirgsbildungsphasen erfaßt und stark zerstückelt worden. Diese tektonische Beanspruchung begünstigt heute in den Höhenlagen oberhalb 4000 m die Frostsprengung insofern, als dadurch größere und kleinere Blöcke entlang des Kluftsystems aus dem Gesteinsverband gelöst und an steilen Hängen schwerkraftbedingt verlagert werden. Solche Ereignisse führen zum Steinschlag sowie zur Bildung von Block- und Schutthalden am Hangfuß und fördern die Entstehung von Steinschlagfrosthängen (STÄBLEIN 1983, 1987). Außerdem neigen die Vulkanite mit ihrer grobkristallinen Textur in Verbindung mit dem besonders in der winterlichen Trockenzeit auftretenden, intensiven Frostwechsel (LAUER 1982) zur raschen Vergrusung. Das Vulkan-Massiv ist durch Exarationsarbeit der eiszeitlichen Gletscher in ein System von Tälern aufgelöst, die

gebirgswärts in Karen – meist mit einem kleinen Karsee – enden. Hängetäler und ausgedehnte Rundhöckerfluren als Ausdruck glazialer Erosion sind hier sehr häufig anzutreffen.

– Als dritter Faziesbereich sind die glazialen Akkumulationsgebiete zu nennen, die als Grund- und Endmoränen, glazifluviale Schotterfelder, fluviolacustre Seesedimente und fluviale Terrassen das westliche Vorland der Apolobamba-Kordillere einnehmen. Die Moränenablagerungen sind hinsichtlich ihrer petrographischen Wertigkeit in zwei Gruppen zu gliedern: Die Mittelpleistozän-Moränen (?) sind verbacken und härter; sie bilden ein sanftes, kuppiges Gelände im Vorfeld der durch jugendlich frische Formen gekennzeichneten letzteiszeitlichen Moränenwälle (Photo 1). Letztere sind als lockergefügte, glaziale Produkte anzusprechen, die z. T. an steileren Flanken der Glazialtäler, wie beispielsweise am rechten Hang des Río Cañuma oder am linken Ufer der Laguna Catantria (Beilage V), zu Rutschungen neigen. Im tiefeingeschnittenen Talsystem des Río Charazani bilden die Moränen der letzten Eiszeit in den Talschlußbereichen einen fast geschlossenen Kranz (Beilage V u. VII). An den Hängen der unteren Tallagen fehlen solche Sedimente oder sie sind nur als winzige, unbedeutende Relikte erhalten. Sie spielen daher für die Reliefgestaltung in diesem

Bereich keine besondere Rolle. Auf der Hochfläche von Ulla Ulla sind die Glazialablagerungen aber großflächig verbreitet. Hier fallen die Erosionserscheinungen wie z. B. Hangrutsche, Uferanbrüche usw. trotz der Anfälligkeit der Sedimente mangels Gefälle jedoch kaum ins Gewicht. Die glazifluvialen Schotterfluren im Vorfeld der Moränen sind durch zahlreiche Rinnen gegliedert. Diese Rinnen neigen nur bei Starkregenereignissen zur Schutführung und Bildung großer alluvialer Schwemmfächer (LAUER u. RAFIQPOOR 1986).

- Als vierte petrographische Einheit sind die weichen, rötlich-bunten Sandsteine, Mergel und Lutite der Kreide-Formationen zu nennen, die den westlichen Kartenrand jenseits der Suches-Überschiebung erfassen (Beilage VII). Diese Gesteine treten in einer eindrucksvollen Wechsellagerung weicher und härterer Schichten auf und verleihen diesem Kartenausschnitt eine besondere morphologische Prägung. Während die erosionsanfälligen Sandsteine und Mergel zu abgerundeten und weichen Formen modelliert wurden, sind die widerständigeren, kalkigen Ablagerungen als Härtlinge herauspräpariert und bilden Schichtrippen. Entlang der Suches-Störung sind die Kreide-Sedimente schräggestellt und bilden stellenweise in paralleler Anordnung zum Río Suches eine enggestaffelte Schichtkammlandschaft.

Die den Gesteinsuntergrund überlagernde Solifluktionsdecke ist hier wegen ihrer Lage unterhalb der Stufe der freien Solifluktion weitgehend mit einem geschlossenen Pflanzenkleid der Hochpuna überzogen. Durch Viehtritt, als Folge einer Überweidung (ZECH u. FEUERER 1982), ist stellenweise die Vegetationsdecke unterbrochen, so daß an diesen Stellen die Solifluktion durch die Einwirkung des Bodenfrosts und Viehgangeln (Photo 5) unter Bildung von Rasenabschälung (TROLL 1947), Erdschlipfen sowie klein- und großräumigen Bodenversetzungen und Rutschungen wirksam werden kann.

### Literatur

- ABRAHAM DE VAZQUEZ, E. M.; BRUNOTTE, E.; GARLEFF, K. u. STINGL, H. (1987): Geomorphologische Karte 1:100 000 Bajada Amarilla, Provinz Mendoza, Argentinien. In: Berlin. Geogr. Abh. 42, 65-76.
- BARSCHE, D. u. LIEDTKE, H. (1980): Geomorphologische Detailkartierung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Berliner Geogr. Abh. 31, 7-12.
- BARSCHE, D. u. MÄUSBACHER, R. (1980): Auszugs- und Auswertekarten als mögliche nutzungsorientierte Interpretation der Geomorphologischen Karte 1:25 000 (GMK 25). In: Berliner Geogr. Abh. 31, 31-48.
- BUNZA, G.; KARL, J. u. MANGELSDORF, J. (1976): Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde. In: Schriftenreihe d. ehem. Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde 11, 1-68.
- DEMEK, J. (1976): Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung. Wien.
- FINKE, L. (1980): Anforderungen aus der Planungspraxis an ein geomorphologisches Kartenwerk. In: Berliner Geogr. Abh. 31, 75-81.
- FISCHER, K. (1984): Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25 000 der Bundesrepublik Deutschland (GMK 25, Blatt 16, C8443 Königssee). GMK-Schwerpunktprogramm, Berlin.
- FRÄNZLE, O.; BARSCHE, D.; LESER, H.; LIEDTKE, H. u. STÄBLEIN, G. (1979): Legendentwurf für die geomorphologische Karte 1:100 000 (GMK 100). Heidelberger Geogr. Arb. 65.
- FURRER, G. u. GRAF, K. (1978): Die subnivale Höhenstufe am Kilimandscharo und in den Anden Boliviens und Ecuadors. In: Erdwissenschaftliche Forschung XI, 441-457.
- GARLEFF, K.; ABRAHAM DE VAZQUEZ, E. M. u. WAHLE, H. (1989): Geomorphologische Karte 1:100 000 La Junta - Agua Nueva, Provinz Mendoza/Argentinien. Bamberger Geogr. Schr. 7.
- GRAF, K. (1984): Karstphänomen in den bolivianischen Anden. In: Geogr. Helvetica 39, 17-25.
- HAEFNER, H. (1963): Vegetation und Wirtschaft der oberen subalpinen und alpinen Stufe im Luftbild (dargestellt am Beispiel des Dischma-Tales und weiteren Teilen der Landschaft Davos, Schweiz) - Diss. Univ. Zürich.
- HÖLLERMANN, P. u. POSER, H. (1977): Grundzüge der räumlichen Ordnung in der heutigen periglazialen Höhenstufe der Gebirge Europas und Afrikas. Rückblick und Ausblick. In: POSER, H. (Hg.): Formen, Formengesellschaften und Untergrenzen in den heutigen periglazialen Höhenstufen der Hochgebirge Europas und Afrikas zwischen Arktis und Äquator. Abh. d. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Mathm.-Phys. Klasse, 3. F., Nr. 31, 333-354.
- KISTEMANN, TH. u. LAUER, W. (1990): Lokale Windsysteme in der Charazani-Talung (Bolivien). In: Erdkunde 44, 46-59.
- KLAER, W. (1962): Die periglaziale Höhenstufe in den Gebirgen Vorderasiens. Ein Beitrag zur Morphogenese der Hochgebirge in den subtropischen Breiten. In: Zeitschrift für Geomorphologie N. F., Bd. 6, 17-32.
- (1977): Zur Morphogenese und Formungsdynamik innerhalb des periglazialen Stockwerks der Hochgebirge Vorderasiens. In: POSER, H. (Hg.): Formen, Formengesellschaften und Untergrenzen in den heutigen periglazialen Höhenstufen der Hochgebirge Europas und Afrikas zwischen Arktis und Äquator. Abh. d. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Mathm.-Phys. Klasse, 3. F., Nr. 31, 261-274.

- LAUER, W. (1979): Die hypsometrische Asymmetrie der Páramo-Höhenstufe in den nördlichen Anden. In: Innsbrucker Geogr. Stud. 5 - Leidlmair-Festschrift, 115-130.
- (1982): Zur Ökoklimatologie der Kallaway-Region (Bolivien). In: Erdkunde 36, 223-247.
- (1984): Natural potential and the land-use system of the Kallaway in the Upper Charazani Valley (Bolivia). In: Erdwissenschaftliche Forschung XVII, 173-196.
- (1987): Geoökologische Grundlagen andiner Agrarsysteme. In: Tübinger Geogr. Stud. 96, 51-71.
- LAUER, W. u. RAFIQPOOR, M. D. (1986): Die jungpleistozäne Vergletscherung im Vorland der Apolobamba-Kordillere (Bolivien). In: Erdkunde 40, 125-145.
- (1990): Topographische Karte des Berglandes von Charazani (Bolivien). In: Erdkunde 44, 37-46.
- (1991): Landschaftssysteme in den tropischen Anden und ihr Wandel durch Klima und Mensch. In: HUBER, M. G. (Hg.): Verantwortung für die Zukunft - Klima- und Umweltforschung an der Universität Bonn, 93-95.
- LESER, H. (1980): Maßstabsgebundene Darstellungs- und Auswertungsprobleme geomorphologischer Karten am Beispiel der Geomorphologischen Karte 1:25 000. In: Berliner Geogr. Abh. 31, 49-65.
- (1983): Anwendung und Auswertung geomorphologischer Kartierungen und Karten. In: Materialien zur Physischen Geographie 5, 5-13.
- LESER, H. u. STÄBLEIN, G. (1975): Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1: 25 000 (2. Entwurf für die Legende GMK 25). Sonderheft der Berliner Geogr. Arb., Berlin.
- (1980): Legende der Geomorphologischen Karte 1: 25 000 (GMK 25), 3. Fassung im GMK-Schwerpunktprogramm. In: Berliner Geogr. Abh. 31, 91-100.
- LESER, H. u. ZOLLINGER, G. (1987): Die Anwendung der „Grünen Legende“ im Maßstab 1:5000. Probleme der großmaßstäbigen geomorphologischen Kartierung - dargestellt am Beispiel eines Kartenausschnittes vom Badischen Oberrheingrabenrand. In: Berliner Geogr. Abh. 42, 9-15.
- LESER, H. u. SCHAUB, D. (1987): Geomorphologische Kartierung im Hochgebirge. Ein Anwendungsbeispiel der „Grünen Legende“ im Maßstab 1:10000. In: Berliner Geogr. Abh. 42, 31-37.
- MAHNKE, L. (1982): Zur indianischen Landwirtschaft im Siedlungsgebiet der Kallaway (Bolivien). In: Erdkunde 36, 247-254.
- (1985): Anpassungsformen der Landnutzung in einem tropischen Hochgebirge - Der agrare Wirtschaftsraum der Kallaway-Indianer (Bolivien). Diss. RWTH Aachen.
- Mapa Geológico de Bolivia 1:100 000. Proyecto Cordillera. Servicio Geológico de Bolivia - Programa Naciones Unidas Para el Desarrollo. Prospección Minera en áreas seleccionadas. Agosto 1980, La Paz, Bolivia.
- MARTINZ, C. (1980): Géologie des Andes Boliviennes. Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie. Travaux et Documents de l'ORSTOM, N° 119, Paris.
- MÄUSBACHER, R. (1982): Die geomorphologische Karte von Oobloyah Bay, NW-Kanada, als außereuropäisches Beispiel. In: Berliner Geogr. Abh. 35, 55-62.
- (1983): Die geomorphologische Detailkarte der Bundesrepublik Deutschland (GMK 25) - ein nutzbarer Informationsträger auch für die Nicht-Geomorphologen. In: Materialien zur Physischen Geographie 5, 15-28.
- (1985): Die Verwendbarkeit der Geomorphologischen Karte 1: 25 000 (GMK 25) der Bundesrepublik Deutschland für Nachbarwissenschaften und Planung. In: Berliner Geogr. Abh. 40, 1-97.
- NEWELL, N. D. (1949): The Geology of the Titicaca-Region. Geol. Soc. Am., Memoir 36, New York.
- RAFIQPOOR, M. D.: Studien zur Morphodynamik in den Höhenstufen der Apolobamba-Kordillere - Eine Kartenaufnahme nach dem Methodenansatz der Geomorphologischen Kartierung (GMK 100). Erdwissenschaftliche Forschung, Stuttgart (Im Druck).
- (1994): Geomorphologische Detailkartierung und Höhenstufung als Grundlage zur landschaftsökologischen Bewertung tropischer Hochgebirgsökosysteme am Beispiel der Apolobamba-Kordillere (Bolivien). In: Abh. d. Math.-nat. Klasse der Akad. d. Wiss. u. d. Literatur, Mainz, Nr. 2, 93-113.
- RATHJENS, C. (1985): Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:100 000 der Bundesrepublik Deutschland (GMK 100, Blatt 3 C8338 Rosenheim). GMK-Schwerpunktprogramm, Berlin.
- REINIRKENS, P. (1982): Aufnahme und Abgrenzung der geomorphologischen Prozeß- und Strukturbereiche auf der geomorphologischen Karte 1:100 000 am Beispiel von Blatt Neuwied. In: Berliner Geogr. Abh. 35, 49-54.
- RICHTER, M. u. LAUER, W. (1987): Pflanzenmorphologische Merkmale der hygrischen Klimaviefalt in der Ostkordillere Boliviens. In: Aachener Geogr. Arb. 19, 71-108.
- RIVAS, S. (1968): Geología de la región Norte del Lago Titicaca. Servicio Geológico de Bolivia, 2, La Paz.
- SCHLINGMANN, W. (1988): Mediciones referentes a la erosión de suelos en la región del Norte Boliviano. In: Ecología en Bolivia, No. 12, Noviembre, 17-28.
- SEIBERT, P. (1982): Ökosystemforschung in den bolivianischen Anden. In: Naturwiss. Rundschau 35, 147-157.
- SEIBERT, P. u. MENOEFER, X. (1991/92): Die Vegetation des Wohngebietes der Kallaway und des Hochlandes von Ulla Ulla in den bolivianischen Anden, Teil I u. II. In: Phytocoenologia 20 (2 u. 3), 145-276 u. 289-438.
- STÄBLEIN, G. (1983): Formung von Hängen, Halden und Wänden. Beobachtungen im Bereich der antarktischen Halbinsel. In: POSER, H. und SCHUNKE, E. (Hg.): Mesoförmungen des Reliefs im heutigen Periglazialraum. Berichte über ein Symposium. Abh. d. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Math.-Phys. Klasse. 3. Folge, Nr. 35, 160-171.
- (1987): Periglaziale Mesoreliefformen und morphoklimatische Bedingungen im südlichen Jameson-Land, Ost-Grönland. In: Abh. d. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Math.-Phys. Klasse, 3. Folge, Nr. 37, 114.

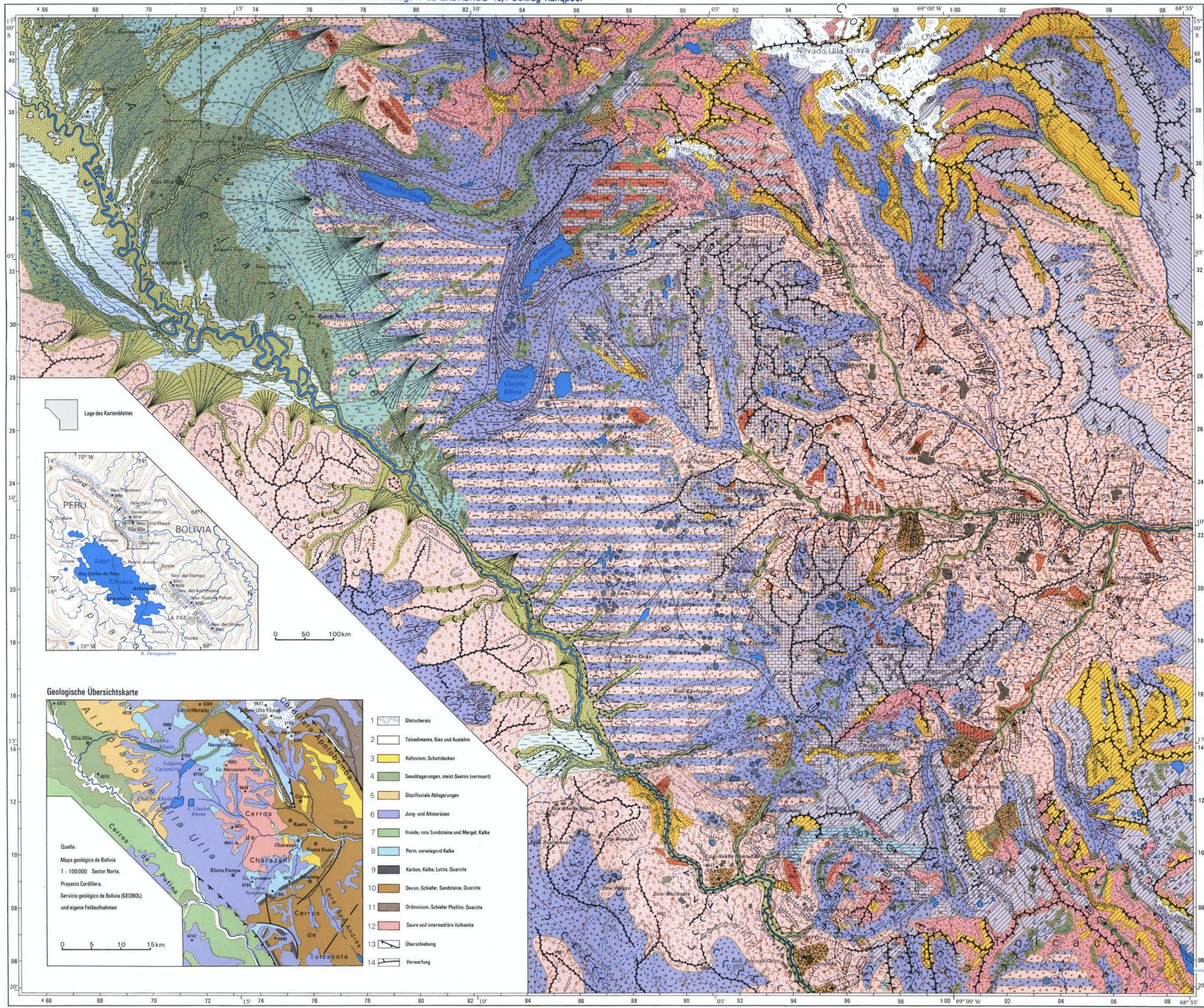
- (1990): Inventarisierung des Reliefs als eine Voraussetzung zur großräumigen geoökologischen Planung. In: Geogr. Rundschau 42, 1990, 613-617.
- TROLL, C. (1947): Die Formen der Solifluktion und die periglaziale Bodenabtragung. In: Erdkunde 1, 163-175.
- ZECH, W. u. FEUERER, T. (1982): Geoökologische Studien im Callawaya-Gebiet, Bolivien. In: Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung I, 131-141.
- ZEPP, H. (1987): Die Landschaftsplanung als Anwendungsfeld geomorphologischer Detailkarten. In: Berliner Geogr. Abh. 42, 55-63.

# Geomorphologische Karte des Charazani-Berglandes (Bolivien)

Mapa Geomorfológico de la Serranía de Charazani (Bolivia)

Beilage V zu ERDKUNDE 48,4 Beitrag Rafiqpoor

1:100 000 6. Oberflächennahe Festgesteinstypen



- Kanten und Geländestufen**
- Kantenhöhe <1-10m
  - Kantenhöhe 10-20m
  - Kantenhöhe >20m
  - Schichtkamm
  - Schichtrippe
  - Kamm
  - Grat

- Wölbungen**
- schwach, konvex (vorwiegend Almoränenkomplexe)
  - stark, konvex (vorwiegend Seiten- und Endmoränen der letzten Vereisung und der postglazialen Rückzugsphasen)

- Talformen**
- Muldenprofil (Talfiese <100m)
  - Muldenprofil (Talfiese >100m)
  - Kerprofil (Talfiese <100m)
  - Kerprofil (Talfiese >100m)
  - Asymmetrisches Muldenprofil
  - Asymmetrisches Kerprofil

- Geomorphologische Einzelzeichen**
- Rundhöcker
  - Kessel (Tafelkessel, Doline)
  - Kar
  - Abränsische
  - Barranca
  - Sporn
  - Kuppe
  - Tafelberg
  - Transfluenz-Paß
  - Delle
  - Eisstromrichtung

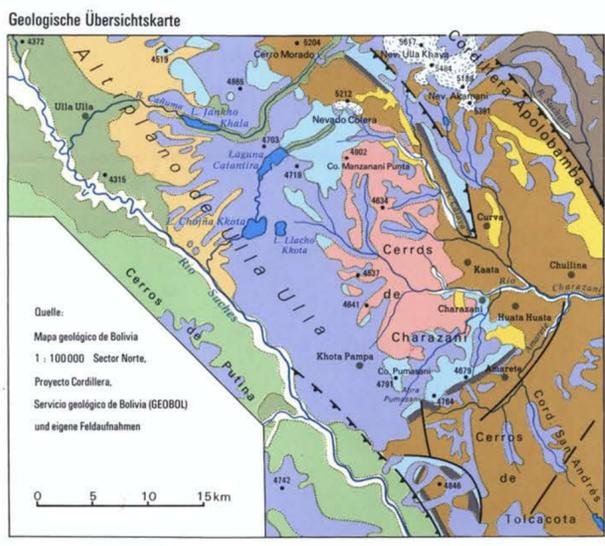
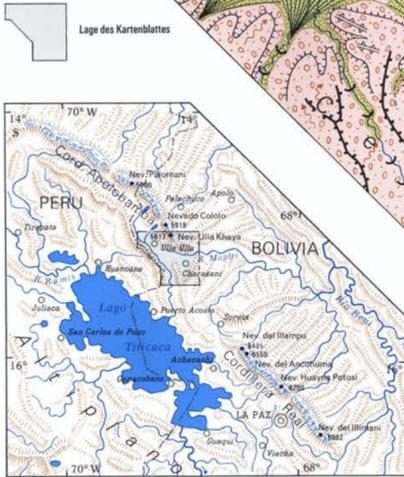
- Kleinstformen (Rauheit) Klein- und Mittelformbereiche**
- rillig
  - wellig
  - kuppig
  - kesselig
  - stufig
  - Bergsturz, Hangrutsch
  - Blickfeld
  - Schutthalde/Schuttkegel
  - Schwemmfächer/Schwemmkegel

- 6. Oberflächennahe Festgesteinstypen**
- Schiefer und Phyllite
  - Schiefer und Quarzite
  - Kalke und Lutite
  - Gips
  - Sandstein
  - Vulkanite

- 7. Lockersubstrattypen**
- Hangschutt
  - Bergsturzschutt
  - Lehmschuttdecken aus Schiefen und Quarziten, tiefgründig
  - Lehmschuttdecken aus Kalk, tiefgründig
  - Sandsteindecken, mächtig
  - Sand-Grusschuttdecken, tiefgründig
  - Feinschuttfrostböden
  - Moranen
  - Schotter, glazifluviale Akkumulation
  - Schotter, fluviatile Akkumulation
  - Seeton, fluviolacustre Sedimentation
  - Moor (Distichia - Bultmore) allgemein
  - Hangmoor
  - Moor auf Seeton
  - Moor auf Moräne
  - Glazifluvial auf Seeton

- 8. Geomorphologische Prozesse**
- Bergsturz, aktuell/vorzeltlich
  - Steinschlag
  - Hang- und Bodenrutschen (vorwiegend gebundene Solifluktion)
  - Solifluktion (freie Solifluktion)
  - Rinnenspülung (in den Barrancas als Mure)
  - flächenhafte Abspülung
  - Tiefenerosion
  - Seitenerosion

- 9. Hydrographische Verhältnisse**
- Flüsse, Bäche (ständig fließend)
  - Flüsse, Bäche (zeitweise fließend)
  - Seen, Tümpel
  - Altwässer des Rio Suches
  - Bewässerungskanal
  - vernaßte Bereiche



- Geological Symbols**
- Gletschereis
  - Talsedimente, Kies und Auslehn
  - Kolluvium, Schuttdecken
  - Seeablagerungen, meist Seeton (vermoort)
  - Glazifluviale Ablagerungen
  - Jung- und Altmoränen
  - Kreide; rote Sandsteine und Mergel, Kalke
  - Perm; vorwiegend Kalke
  - Karbon, Kalke, Lutite, Quarzite
  - Devon, Schiefer, Sandsteine, Quarzite
  - Ordovizium, Schiefer, Phyllite, Quarzite
  - Saure und intermediäre Vulkanite
  - Überschiebung
  - Verwerfung

**10. Geomorphologische Prozeß- und Strukturbereiche**

1 strukturell	3 gravitativ	5 cryogen (aktuelles Frostschuttböden)	7 cryogen/glazial, erosiv	9 glazial, erosiv (Rundhöcker, Gletscherschill)	11 strukturell/glazial, erosiv	13 fluvial	15 biogen
2 denudativ	4 karstig	6 cryogen (vorzeitige Lockersubstratdecken)	8 glazial/cryogen (ältere Moränenkomplexe)	10 glazial/akkumulativ (hoch- und spätglaziale Moränen)	12 glazifluvial	14 limnisch (huvo lacustre)	

**Other Symbols:** Straße, Weg, Saumpfad, Siedlungen, Höhenlinien und Höhenpunkte in m über NN, Gletscher

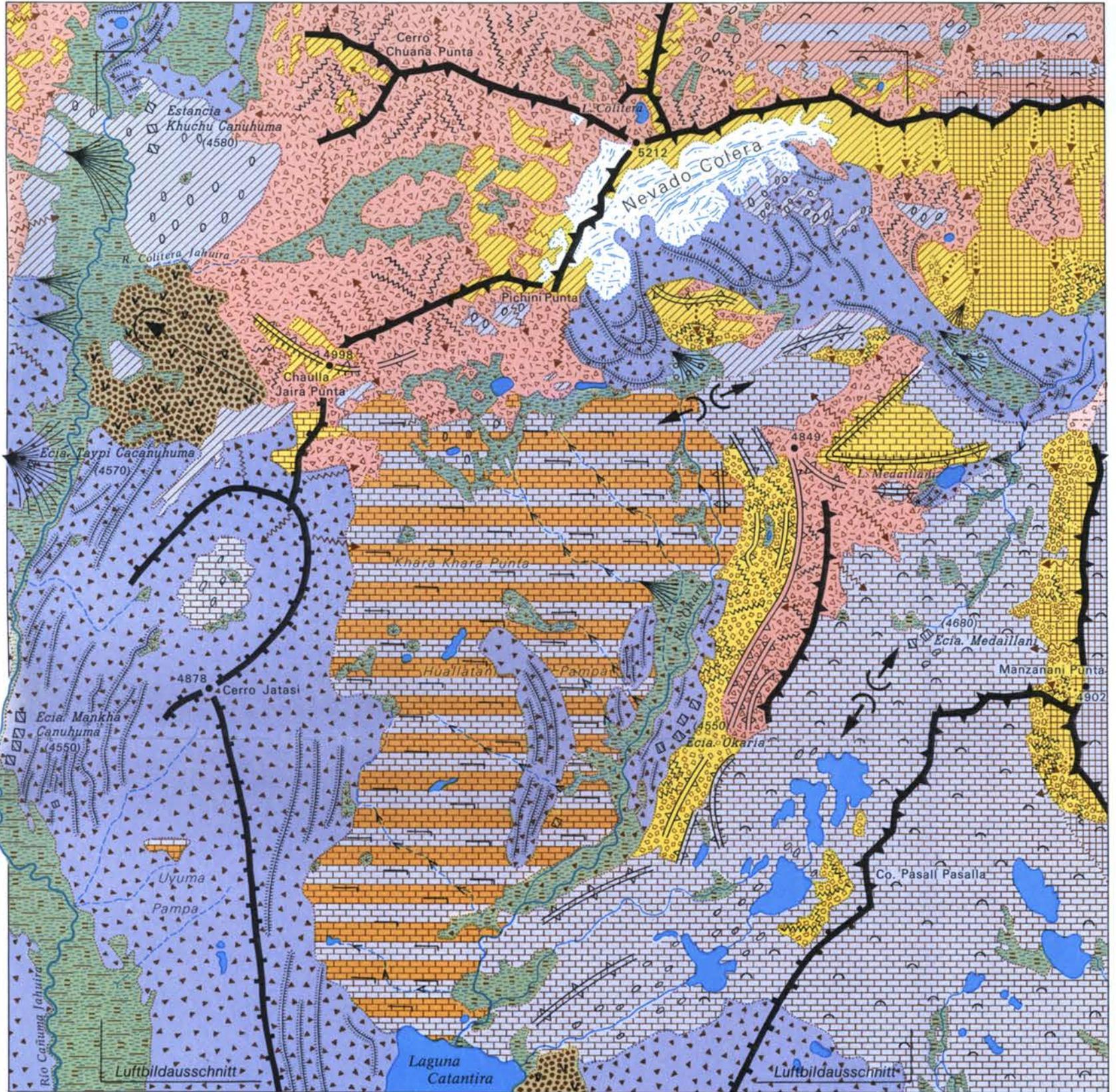
Aufnahme und Entwurf: M. Daud Rafiqpoor  
 Hergestellt mit Unterstützung der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, gedruckt mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung und Technologie und des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Alle Rechte vorbehalten.  
 © Dr. M. Daud Rafiqpoor 1992

Kartographie: Geographische Institute der Universität Bonn, D. Gladenbeck  
 Druck: Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, 1993

# Geomorphologische Detailkarte 1 : 40. 000 des Colera–Massivs (Charazani–Bergland) auf der Basis von Luftbildinterpretation

Mapa Geomorfológico 1:40.000 del Macizo de Colera (Serranía de Charazani)  
a Base de la Interpretación de las Fotos Aéreas

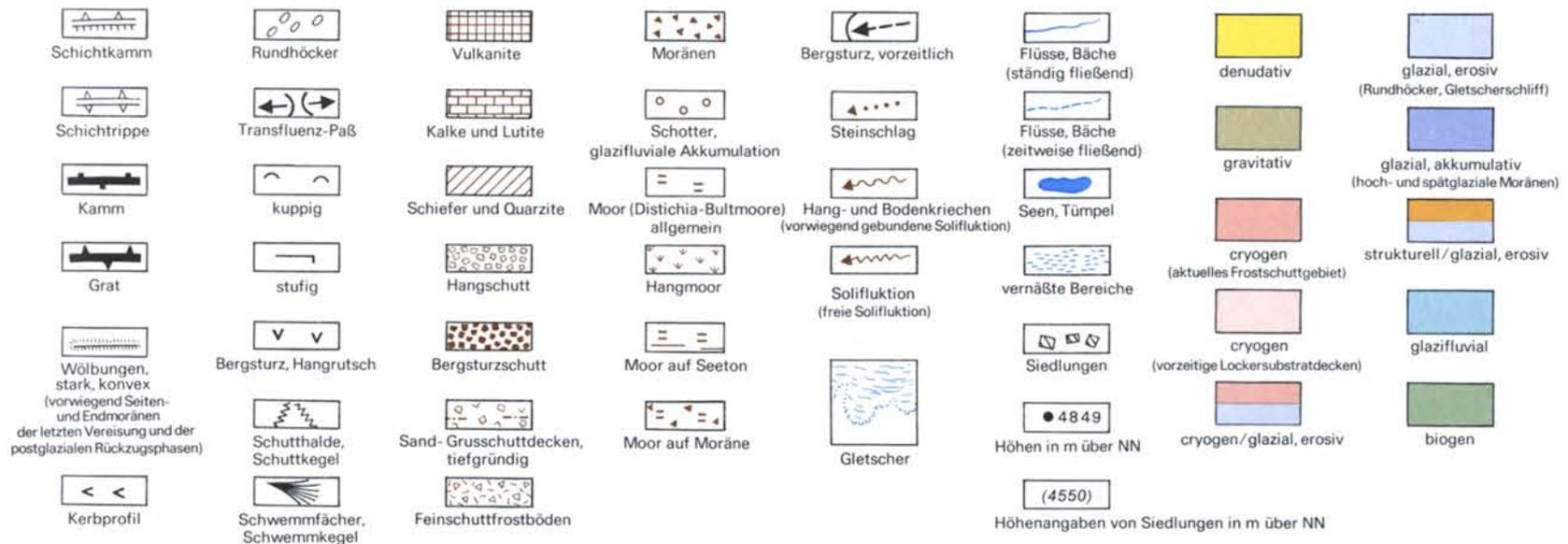
Beilage VI zu ERDKUNDE 48,4 Beitrag Rafiqpoor



Luftbildinterpretation und Entwurf: M. Daud Rafiqpoor  
© Dr. M. Daud Rafiqpoor, 1994

Kartographie: D. Gladenbeck  
Druck: Geographische Institute  
der Universität Bonn, 1994

0 1 2 km

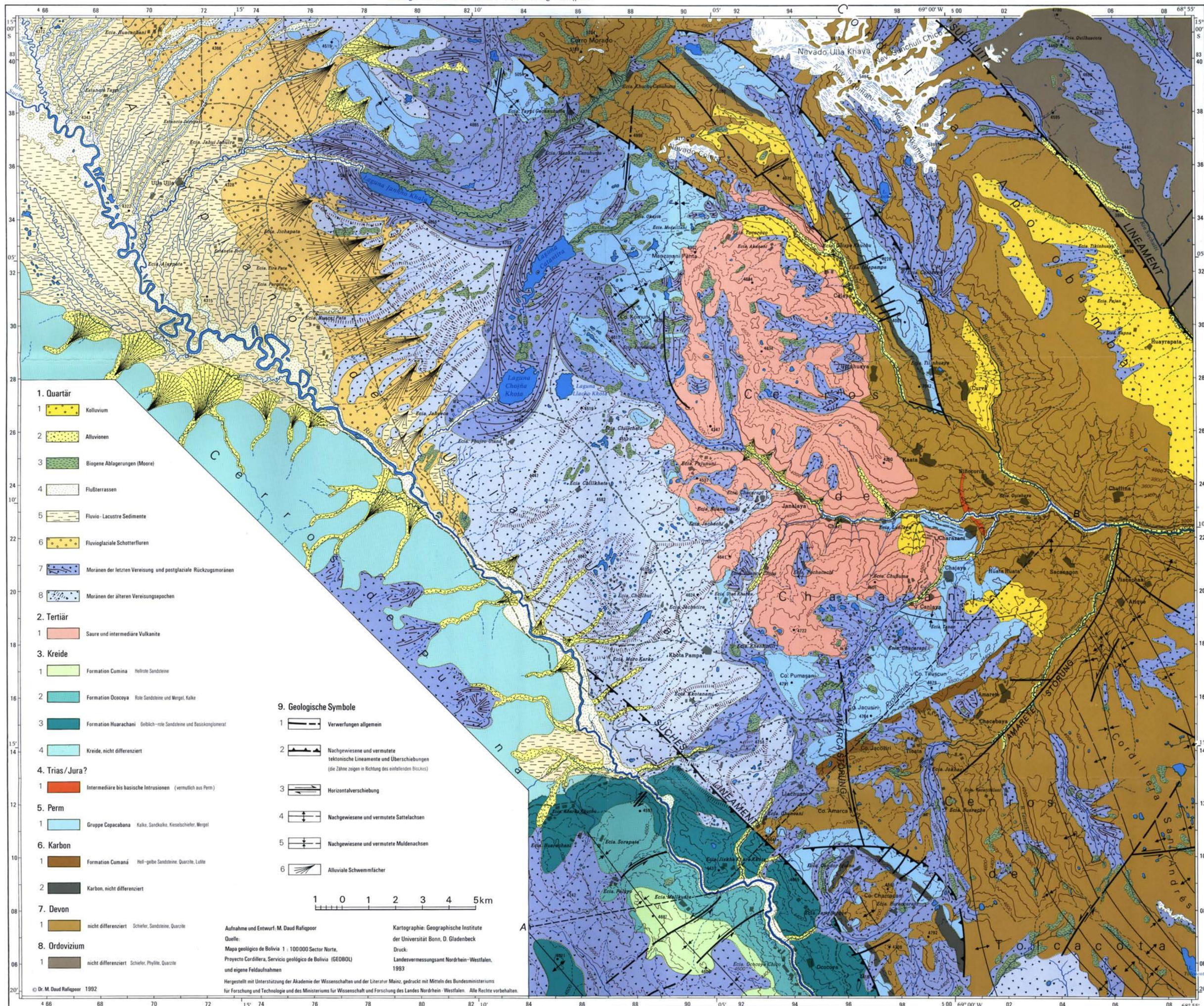


# Geologische Karte des Charazani – Berglandes (Bolivien)

Mapa Geológica de la Serranía de Charazani (Bolivia)

Beilage VII zu ERDKUNDE 48,4 Beitrag Rafiqpoor

1 : 100 000



- |                                    |                           |                                 |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 1 Kolluvium                     | 3. 1 Formation Cumina     | 5. 1 Gruppe Copacabana          |
| 1. 4 Flußterrassen                 | 3. 2 Formation Ocoyoa     | 6. 1 Formation Cumaná           |
| 1. 7 Moränen der letzten Vereisung | 3. 3 Formation Huarachani | 7. 1 Devon, nicht differenziert |

Längensstab Profil: 1 : 100000

