

GEOÖKOLOGISCHE STUDIEN IN ECUADOR Bericht über eine Studienreise 1985

Mit 2 Abbildungen

WILHELM LAUER und M. DAUD RAFIQPOOR

Im Rahmen von Studien zur rezenten und pleistozänen Landschaftsökologie tropischer Gebirge unternahmen die Autoren dieses Berichtes im Juli/August 1985 eine Studienreise nach Ecuador, um dort ein weiteres Arbeitsgebiet aufzuschließen. Nach Forschungen in den randlichen Tropengebieten des lateinamerikanischen Kordillerensystems in Mexiko und Bolivien sollen nunmehr die Arbeiten im äquatorialen Tropenraum Ecuadors fortgesetzt werden. Die Thematik ist Teil des langfristigen Forschungsprojektes zur „Vergleichenden Geoökologie der Erde“ im Rahmen der Kommission für Erdwissenschaftliche Forschung der Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz.

Arbeitsgebiet und Reiserouten

Als Arbeitsgebiet wurde der sehr regenreiche Nordteil der Ostkordillere Ecuadors zwischen den Vulkanen Antisana (5704 m NN) und Cayambe (5790 m NN) ausgewählt (Abb. 1). Auf drei Profilirouten wurden Studien zur Höhenstufung von Klima und Vegetation sowie zur heutigen und pleistozänen Vergletscherung begonnen.

Die Profile führten:

1. von Quito (2800 m NN) über die Papallacta-Paßregion der Ostkordillere (4400 m NN) ins östliche Tiefland des Aguarico-Flusses bei Lago Agrio (400 m NN).
2. von Quito entlang dem binnenwärtigen Hang der Ostkordillere am Gebirgsabfall des Vulkans Cayambe im Höhenintervall zwischen 2500 und 3000 m über Ibarra (2215 m NN), durch die Talung des Rio Chota (1800 m NN), zum Páramo El Angel (3700 m NN).
3. von Quito über den Pichincha-Paß in der Westkordillere (3400 m NN) ins Tiefland um Santo Domingo de los Colorados (600 m NN).

Bisherige Forschungen

Am Antisana wurden bereits 1740 von CH. M. DE LA CONDAMINE und P. BOUGUER Höhenmessungen vorgenommen. ALEXANDER VON HUMBOLDT und AIMÉ DE BONPLAND hielten sich 1802 vier Tage lang am

Antisana auf und bestiegen ihn bis zur Schneegrenze. Die allgemeine geologische Erforschung begann durch die Geologen ALPHONS STÜBEL und WILHELM REISS in den Jahren zwischen 1868 und 1872. Sie widmeten sich der topographischen Geländeaufnahme und erforschten die Gesteine des Vulkans Antisana und die rezente Vergletscherung. WILHELM REISS beschrieb als erster das morphologische Bild des Antisana-Vorlandes als Wirkung einer früheren Vergletscherung. THEODOR WOLF veröffentlichte 1903 eine Übersichtskarte des Antisana mit einigen geologisch-petrographischen Anmerkungen im Maßstab 1:200 000. HANS MEYER besuchte das Gebiet um den Antisana im Jahre 1903. Er widmete sich Studien zur Geomorphologie und zur Pflanzenwelt der gesamten Paßregion von Papallacta und diskutierte eingehend das Problem der pleistozänen Vergletscherung dieses Raumes.

Die quartärmorphologischen Erkenntnisse seit dieser Pionierzeit der Erforschung gipfeln in den Arbeiten von WALTHER SAUER, der schließlich den Stand der Forschung bis 1971 in seiner „Geologie von Ecuador“ niederlegte. Er befaßte sich darin in einem größeren Kapitel auch mit der pleistozänen Vergletscherung der ecuadorianischen Anden und unterscheidet vier Eiszeiten, die von Interglazialen unterbrochen werden. Diese sind nach seiner Auffassung durch die vieldiskutierten, terrestrischen wie lakustren „Cangagua-Sedimente“ charakterisiert. Eine vollständige chronologische Gliederung der Eiszeiten konnte er jedoch mangels Datierungen nicht vornehmen.

Mit quartärmorphologischen Aspekten beschäftigen sich derzeit vorwiegend Geologen der Escuela Politécnica Nacional in Quito (M. HALL und ARMIN JANSEN). STEFAN HASTENRATH (1981) beschreibt in seinem Buch: „The Glaciation of the Ecuadorian Andes“ drei Moränengenerationen auf der Basis von Luftbildstudien und eigenen Erhebungen. Die tiefsten Moränenlagen am Antisana reichen hangabwärts an der Westabdachung nach seiner Kartierung bis ca. 4400 m und an der Ostabdachung bis 3200 m. Diese Moränengruppe stellt er zeitlich in das Spätglazial (ca. 11 000 B.P.). Eine weitere Moränengruppe liegt in 4600 bis 4700 m auf der Westseite und bei ca. 4000 m auf der Ostseite. Diese gehören seiner Auffassung nach zu einer Vorstoßphase der kleinen Eiszeit. Die dritte Moränengeneration liegt in der Nähe der

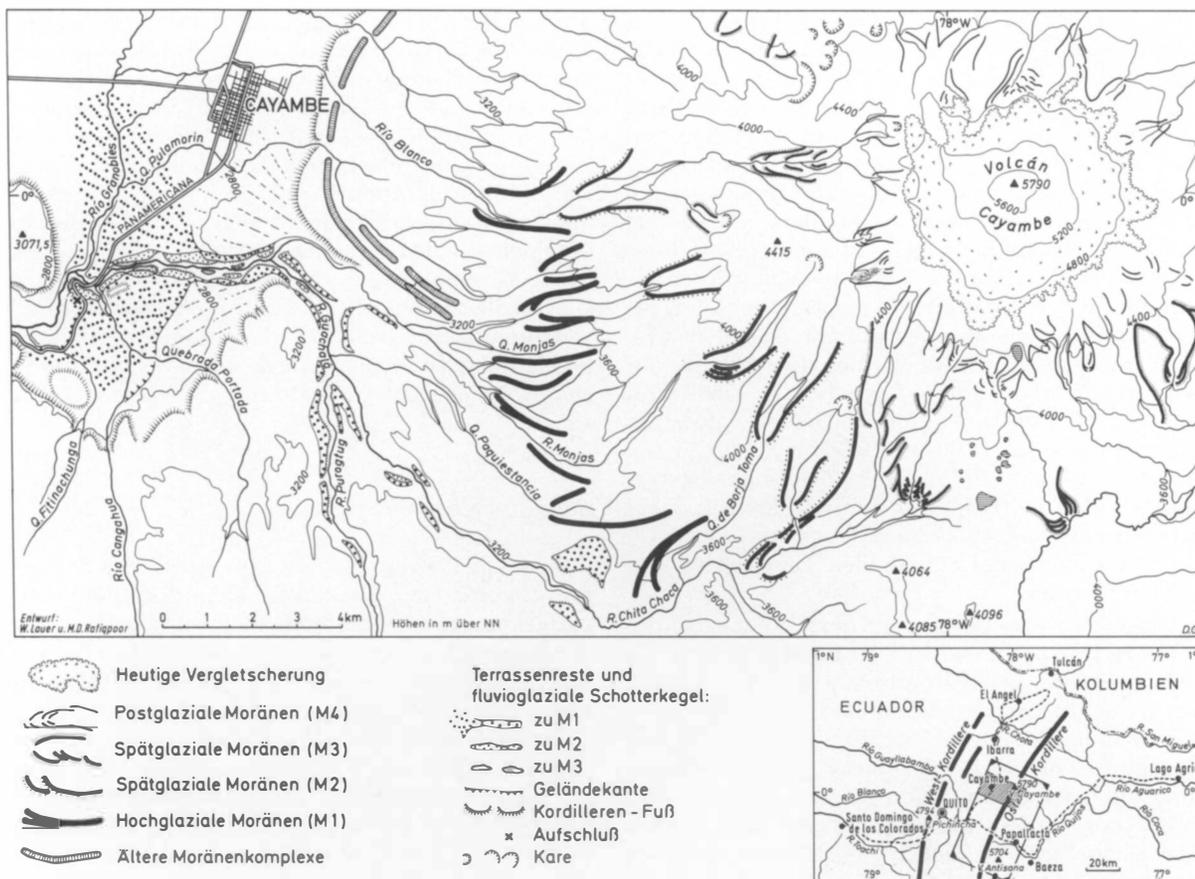


Abb. 1: Glazialmorphologische Skizze der Westabdachung des Vulkans Cayambe, Ecuador

heutigen Gletschergrenze und gehört vermutlich in das letzte Jahrhundert.

Zur ökologischen Vegetationskunde kann man auf Arbeiten von MISAEEL ACOSTA-SOLIS zurückgreifen, in denen umfangreiche Pflanzenlisten mitgeteilt werden, die beim Studium der Vegetation sehr hilfreich sind. In jüngster Zeit hat der Heidelberger Geobotaniker WERNER RAUH die Paßregion um Papallacta bereist und seine Erkenntnisse in mehreren Publikationen verwertet.

Übersichtskarten, die ganz Ecuador betreffen, liegen den Bereich der Klimageographie, Hydrologie und Geologie vor und sind zur allgemeinen Einführung in den Raum durchaus brauchbar. Leider ist das Klimanetz in diesem Bereich nicht allzu dicht.

Als Forschungsmittel für geomorphologische und vegetationskundliche Arbeiten stehen Luftbilder im Maßstab 1:60 000 zur Verfügung und ebenso topographische Karten in den Maßstäben 1:25 000, 1:50 000 und 1:100 000. Sie überstreichen allerdings nur Teile des Arbeitsgebietes.

Studien zur Glazialmorphologie

Die Gipfel der Vulkane Antisana und Cayambe tragen – je nach Topographie und Exposition – bis in eine Höhe zwischen 4800 und 4600 m ewigen Schnee. Nur wenige markante Gletscherzungen unterschreiten die 4600-Meter-Marke. Die klimatische Schneegrenze liegt an den feuchten Ostflanken des Kordillerenzuges eher bei 4600 m, an den trockenen Westflanken bei ca. 4800 m. Zeugen pleistozäner Vergletscherungen wurden im Gelände und mit Hilfe von Luftbildern erkannt und kartiert. Im gesamten über 4000 m aufragenden Massiv zwischen dem Antisana und Cayambe konnten vier Moränengenerationen als Relikte des wohl letzteiszeitlichen Vereisungszyklus festgestellt werden. Als Beispiel berichten wir über einige vorläufige Ergebnisse unserer Studien an der Westflanke des Cayambe-Massivs, an der die einzelnen Moränengenerationen in den Höhenbereichen von zwischen 4400 m und der heutigen Vereisungsgrenze, zwischen 3800 und 4000 m, zwischen

3600 und 3800 m und zwischen 3300 und 3500 m liegen (Abb. 1). Bei den erstgenannten Moränengenerationen handelt es sich zweifellos um postglaziale Rückzugsmoränenstaffeln. Es schließen sich hangabwärts rings um den Vulkan in Höhen von 3800 und 4000 m Moränengruppen an, die einen markanten Stand einer etwas älteren Vergletscherung ausdrücken. In Analogie zu Studien, die an den anderen Vulkanen Ecuadors, insbesondere im Chimborazo, von CLAPPERTON (1985) gemacht wurden, ist es wahrscheinlich, daß diese Gruppe einem jüngeren, spätglazialen Vorstoß angehört (ca. 11 000 B.P.?). Dies gilt ebenso auch für die nur unweit tiefer abgelagerte Moränengruppe zwischen ca. 3600 und 3800 m, die wohl einem älteren Spätglazialvorstoß zuzuordnen ist (ca. 13 000 bis 15 000 B.P.; vgl. hierzu auch CLAPPERTON, 1985). Die zu den beiden letztgenannten Moränengruppen gehörigen fluvioglazialen Schotterfelder sind als Terrassensimse im Tal des Rio Guachalá abgelagert und bilden eine untere und mittlere Terrasse.

Die oberen Schotterterrassen des Rio Guachalá gehören zu einem älteren Moränenstand in ca. 3300 bis 3500 m Höhe, dessen Konturen jedoch im Gelände nur undeutlich auszumachen sind. Sie breiten sich im Cayambecken kegelförmig über dem fossilen Bodenhorizont einer mächtigen Tuff-Löß-Ablagerung - in Ecuador Cangagua genannt - aus und sind ihrerseits ebenfalls von Cangagua mit einem fossilen Boden überdeckt. Dieser genannte Moränenkomplex mit den sehr ausgedehnten Schotterfeldern dürfte dem letzten Hochglazial zugehören, doch fehlt es bislang an Datierungen.

Ob das durch eine deutliche Geländekante von ca. 10-20 m Sprunghöhe abgetrennte, höher gelegene Beckenniveau mit steigender Tendenz zum Gebirgsrand hin gleichfalls als fluvioglazialer Schotterkegel einer noch älteren Moränengeneration angehört, kann bislang nicht eindeutig gesagt werden. Doch würde ein am unteren Gebirgshang, östlich von Cayambe, in etwa 3000 m Höhe gelegener langgestreckter, bogenförmiger, als Moräne deutbarer Wall hierzu die einfachste Erklärung bieten.

Zweifellos aber unterlagert Moränenmaterial, das in einem Aufschluß im Mündungsbereich des Rio Guachalá in den Rio Grenobles in einer Höhe von 2700 m aufgespürt werden konnte, die gesamten Terrassenablagerungen der vorher genannten letzteiszeitlichen Stadiale. Es handelt sich um eine groblockige Ablagerung aus Vulkaniten, die teilweise bis zu 1,5 m Durchmesser erreichen und deutlich Gletscherschliffspuren aufweisen. Sie sind in eine lehmigtonige Matrix eingebettet. Von den Bodenbildungen der die Moräne überlagernden Cangagua-Schichten wurden zu Datierungszwecken jeweils Proben entnommen. Im ganzen konnten dort drei fossile Böden ausgemacht werden, die den Schlüssel zur Abfolge des letztglazialen Vereisungszyklus darstellen mögen.

Freilich können ohne Datierungen noch keine schlüssigen Aussagen gemacht werden. Doch sei wenigstens angedeutet, daß die Höhenanordnung der Moränen und die Wechsellagerung der jeweiligen Schichten im Fluvioglazialbereich verschiedene Vereisungsepochen markieren. Geht man davon aus, daß die ältesten Moränen in 2700 m Höhe möglicherweise dem vorletzten Glazial angehören, wie dies in Analogie zu den Arbeiten SAUERS im Bereich des Hochbeckens von Quito geschlossen werden kann, so darf vielleicht mit aller Vorsicht gefolgert werden, daß die umschriebenen Moränenstände und die jeweilig dazugehörigen fluvioglazialen Schotterfluren die eiszeitliche Abfolge des letzten Glazials dokumentieren.

Studien zu Klima und Vegetation

Zur Gliederung der Temperaturhöhenstufung wurden auf allen Profilrouten Bodentemperaturmessungen in 40 cm Bodentiefe durchgeführt. Da die Bodentemperatur - gemessen in 30-40 cm Bodentiefe - im isothermen äquatorialen Bereich an einem überschatteten Standort auf ebener Fläche etwa die Jahresmitteltemperatur, wie sie auch in der Wetterhütte gemessen wird, widerspiegeln, konnte daraus der Temperaturgradient im jeweils durchfahrenen Höhenintervall bestimmt werden. Für die feuchte Ostabdachung zwischen dem Ort Lago Agrio (400 m NN) und dem Papallacta-Paß in 4400 m wurde ein Temperaturgradient mit der Höhe von 0,52 °C/100 m ermittelt. Dies entspricht der Norm aller feucht-tropischen Klimate im äquatorialen Bereich geradezu modellhaft. Abb. 2 zeigt nur geringe Abweichungen der Einzelwerte von der durch eine Regressions-

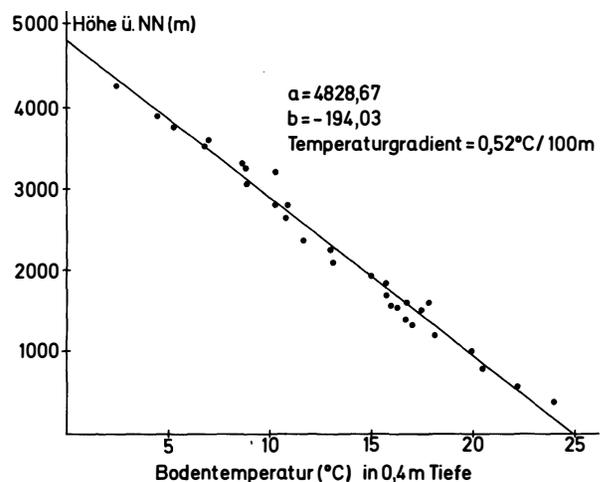


Abb. 2: Bodentemperatur und Meereshöhe am immerfeuchten Ostabhang des Antisana-Massivs

grade ausgedrückten Norm in den einzelnen Höhenabschnitten. In der Zone der stärksten Niederschläge um ca. 1500 mm NN und ebenso auch im Nebelwaldbereich und oberhalb der Waldgrenze zwischen 3500 und ca. 4000 m weichen die Messungen schwach negativ, hingegen in niederschlagsärmeren Stufen positiv von der Normgeraden ab. Höhere Verdunstungsraten im überfeuchten Bereich dämpfen die Temperatur, günstigere Einstrahlungsverhältnisse erhöhen sie leicht.

Zugleich können die Bodentemperaturen auch insbesondere als ökologisches Wärmemaß für die Höhengliederung der Vegetation benutzt werden (vgl. hierzu WALTER u. MEDINA 1969, LAUER 1982). Die Temperaturen liegen an der Waldgrenze bei ca. 3500 bis 3600 m um 6 °C. Dies entspricht genau dem Wert, der den Baumwuchs aus physiologischen Gründen im tropischen Bereich limitiert (WALTER u. MEDINA 1969). Der gemessene Temperaturgradient markiert die 0-Grad-Grenze bei 4800 m, fast genau also an der Schneegrenze der feuchten Abdachung beider Vulkanmassive.

Die Vegetation der sehr feuchten Ostabdachung, jenseits des Papallacta-Passes, ist charakterisiert durch einen immergrünen Regenwald verschiedener floristischer Zusammensetzung entsprechend den Temperaturhöhenstufen. An der Waldgrenze, die im Bereich der Paßregion keineswegs mehr nur durch natürlichen Florenbestand repräsentiert wird, fallen besonders die beiden Baumgattungen *Oreopanax* und *Buddleia* mit kugeligen Schirmkronen auf und ebenso eine spindelförmige, hochwüchsige Melastomataceae, die bis zu 8 m hoch werden kann. Darüber ordnet sich ein mehr oder weniger dichtes *Eupatorium-Baccharis*-Gebüsch an, durchsetzt von Gehölzstreifen von *Polylepis weberbaueri*, die entlang der Gebirgsbäche, aber auch auf stärker erwärmten Gesteinsrücken, die dichtesten Bestände bilden und in Höhen von bis zu 4000 m NN aufsteigen. In drainagearmen Sumpffurchen am unteren Rand der Páramostufe gedeihen der baumförmig wachsende Blechnum-Farn *Lomaria loxensis* und *Puya hamata* (3800 bis 3900 m NN). In der zentralen Páramo-Stufe wird das Bild geprägt von Polster- und Rosetten-Pflanzen, unter denen *Plantago rigida* für die Polster-, und eine *Werneria*- sowie eine *Lucilia*-Art für die Rosettenvegetation als Vertreter dieser beiden Lebensformen genannt werden können. Ebenso gibt es eine weitere *Werneria* als Polsterpflanze. Zusammen mit üppigen Bärlappfluren von *Lycopodium saururus* geben sie ein überaus exotisches Bild ab, durchsetzt von Büschelgräsern der Gattungen *Festuca* und *Calamagrostis*.

Die Páramostufe ist im Raum von Papallacta kaum unterbrochen von einer auffälligen Trockenzeit, wenn auch regenarme und regenreiche, wolkenverhangene Jahreszeiten – je nach der Luftmassenkonstellation – miteinander abwechseln. Durch das überaus hohe Nebelaufkommen das ganze Jahr über

unterscheidet sich diese Stufe in ihrer floristischen Zusammensetzung deutlich von dem nur ca. 100 km nördlich davon auftretenden Páramo El Angel, in dem die ebenso exotischen Schopfbblattgewächse der Gattung *Espeletia hartwegiana* dominieren, die in den Páramos von Kolumbien und Venezuela das zentrale Verbreitungsgebiet haben. Ein deutliches Merkmal der unterschiedlichen Florentwicklung dürfte aber auch in den Niederschlagsmengen und in der Verteilung über das Jahr liegen. An der Station Papallacta in 3610 m Höhe beträgt die jährliche Niederschlagsmenge 1500 mm, an der Station El Angel in 3055 m Höhe nur 923 mm. Beide Stationen liegen zwar unterhalb der Páramoregion, doch dürfte sowohl die Mengenrelation die Unterschiede klar definieren als auch der Páramo El Angel eine deutlichere Trockenzeit in den Monaten Juli bis September aufweisen.

Literatur

- BOUGUER, P.: Relation abrégée du Voyage fait en Pérou par Messieurs de l'Académie Royal des Sciences pour mesurer les degrés du Meridien aux environs de l'Equateur, etc., 1748.
- CLAPPERTON, C. M. u. McEWAN, C.: Etapas de las morrenas correspondientes al periodo glacial del cuaternario tardio, en el valle del Rio Mocha, Chimborazo-Carihuairazo, Ecuador. In: Revista del Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas (ECPEIGE), No. 15, Quito 1985, 1-19.
- HALL, M. L.: El volcanismo in el Ecuador. Biblioteca Ecuador, Quito 1977.
- HASTENRATH, S.: The Glaciation of the Ecuadorian Andes. Rotterdam 1981.
- HUMBOLDT, A. VON: Kosmos, Bd. IV. Stuttgart 1858.
- LA CONDAMINE, CH. M. DE: Journal du Voyage fait par ordre du Roi á l'Equateur, 1751.
- LAUER, W.: Zur Ökologikologie der Kallawaya-Region (Bolivien). In: Erdkunde, Bd. 36, 1982, 223-247.
- LAUER, W. u. KLAUS, D.: Geocological investigations of the timberline of Pico de Orizaba, Mexico. In: Arctic and Alpine Research, Vol. 7, No. 4, 1975, 315-330.
- MEYER, H.: Die gegenwärtigen Schnee- und Eisverhältnisse in den Anden von Ecuador. In: Globus, Bd. 35, H. 10, 1904, 149-157.
- : Eiszeitliche Untersuchungen in den Anden von Ecuador. In: F. Ratzel-Gedächtnisschrift, 1904, 257-268.
- : Die Eiszeiten in den Tropen. In: Geogr. Zeitschr., Bd. 10, 1904, 593-600.
- : In den Hochanden von Ecuador. Berlin 1907.
- REISS, W.: Reisebriefe aus Südamerika (1868-1876). Wiss. Veröff. d. Ges. f. Erdkunde zu Leipzig, Bd. IX. München, Leipzig 1921.
- REISS, W. u. STÜBEL, A.: Reisen in Südamerika. Das Hochgebirge der Republik Ecuador. Petrographische Untersuchungen. Berlin, Bd. I 1892-1898, Bd. II 1896-1902.
- SAUER, W.: Contribuciones para el conocimiento del

- cuaternario en el Ecuador. In: *Annales de la universidad central de Quito*, 77 (382), 1950, 327-364.
- : *Geología del Ecuador*. Editorial de Ministerio de Educación, Quito 1965.
- : *Geologie von Ecuador. Beiträge zur regionalen Geologie der Erde*, Vol. XI. Berlin, Stuttgart 1971.
- STÜBEL, A.: *Skizzen aus Ecuador*. Berlin 1886.
- : *Die Vulkanberge von Ecuador*. Berlin 1897.
- STÜBEL, A. u. WOLF, TH.: *Sieben Vulkane des Hochlandes von Ecuador*. 1903.
- WALTER, H. u. MEDINA, E.: *Die Bodentemperatur als ausschlaggebender Faktor für die Gliederung der alpinen Stufe in den Anden Venezuelas*. In: *Ber. d. Dt. Bot. Ges.*, 82, 1969, 275-281.
- WOLF, TH.: *Geografía y Geología del Ecuador*, Leipzig 1892.

NEUERE FORSCHUNGEN ÜBER TIBET UND HOCHASIEN Bericht über ein Symposium in Göttingen 1985

PETER HÖLLERMANN

Während eines Symposiums vom 8. bis 11. Oktober 1985 in Göttingen wurden die Ergebnisse der Deutsch-Chinesischen Südtibet- und Mt. Everestexpedition 1984 unter der Leitung von WANG WENYING (Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica, Lanzhou) und M. KUHLE (Geographisches Institut der Universität Göttingen) einem größeren Kreis von Spezialisten und Interessenten vorgestellt und im Rahmen weiterer Forschungsberichte aus dem hochasiatischen Raum und seinen Randgebieten zur Diskussion gestellt. M. KUHLE zeichnete auch für die Organisation und Durchführung des Symposiums verantwortlich, an dem rund 50 Wissenschaftler aus 11 Ländern teilnahmen.

Nach den Grußadressen und einem einführenden Bericht über die Route und den Verlauf dieser 2. Deutsch-Chinesischen Gemeinschaftsexpedition vom 17. 8. bis 20. 11. 84 lag der erste inhaltliche Schwerpunkt bei der *gegenwärtigen und pleistozänen Vergletscherung*. WANG WENYING (Lanzhou) berichtete über die Gletscher in Südwesttibet und ihr Verhalten in jüngster Zeit, das sich weniger in Längenänderungen der stark obermoränenverhüllten Zungenenden als in Verschiebungen der Reichweite von Eispyramiden auf den aktiven Gletscherabschnitten kundtut. Während der Rongphu-Gletscher (nördlich des Mt. Everest bzw. Qomolangma) 1920-80 Rückzugstendenzen zeigte, wurden bei vielen anderen Gletschern des Gebietes seit 1974 (z. T. erst 1979) Vorstöße der Eispyramidenzone zwischen 13 und 75 m/Jahr registriert. M. KUHLE demonstrierte gleichfalls aus dem Gebiet des Rongphu-Gletschers ein neuartiges Verfahren, mittels reflektierter Infrarotstrahlen schon kurzfristig Verlagerungen von Obermoränen und Schuttdecken zu messen, und wies auf den großen Einfluß der intensiven Globalstrahlung für die Ablation der Eispyramiden hin. - W. KICK (Regensburg)

leitete durch den Vergleich mit älteren Bildern und Karten relativ geringe Änderungen des sehr schuttreichen Sachen-Gletschers nordöstlich des Nanga Parbat für die Zeit nach 1856 und besonders für die Phase nach 1900 ab, während viele andere Nanga Parbat-Gletscher sich durch erhebliche Mächtigkeitsabnahme im Laufe unseres Jahrhunderts auszeichneten. - In der Aussprache wurden die möglichen Gründe des so unterschiedlichen Gletscherverhaltens diskutiert.

ZHENG BENXING (Lanzhou) stellte für die Xixabangma-Region die Lage und Abfolge der Moränensysteme von den historischen bis zu den pleistozänen Eisrandlagen vor. Interglaziale Seeablagerungen und Paläoböden erlauben eine Gliederung in mehrere Glazial- und Interglazialphasen. Während dieser Beitrag eher auf eine relativ mäßige Ausdehnung der pleistozänen Vergletscherung schließen ließ, gelangt M. KUHLE anhand mehrerer morphologischer Indizien (genannt wurden Erratika, Moränenterrassen, Schriffe, Bortensander und Warwentone) für das Expeditionsgebiet zu pleistozänen Schneegrenzdepressionen von 1100-1300 m. Die Schneegrenze mußte damit während des letzten Hochglazials die mittlere Plateauhöhe Tibets unterschritten und zur Ausbildung eines großen Inlandeises mit mehreren Zentren geführt haben. Es soll sich um eine flächenhafte Eisbedeckung des tibetischen Hochlandes von 2-2,4 Mio km² gehandelt haben, wobei lediglich die ariden Becken im Nordosten (Tsaidam Depression u. a.) und vielleicht die Tsangpo-Furche im Südteil eisfrei blieben. Während gegenwärtig die intensive Globalstrahlung im trockenen Höhenklima Tibets den bekannten Heizflächeneffekt bewirkt, soll die hohe Albedo (75-95 %) der ausgedehnten Inlandeisoberfläche zu einem so ausgeprägten Energieverlust geführt haben, daß dadurch möglicherweise der An-