

DIE TERRASSEN AN DER SETI KHOLA – EIN BEITRAG ZUR QUARTÄREN MORPHOGENESE IN ZENTRALNEPAL

Mit 4 Abbildungen und 6 Photos

KLAUS HORMANN

Summary: Terraces on the Seti Khola – a contribution to quaternary morphogenesis in Central Nepal.

The morphological contrast between the Himalayas and Subhimalayan Mountains is particularly pronounced in Central Nepal. Immediately south of the glaciated Annapurna, Himalchuli and Ganesh Himal ranges, the E-W-running Pokhara-Gurkha subsidence zone caused important quaternary accumulations by all rivers coming from the Himalayas. In Eastern Nepal, such an accumulation zone in the northern parts of the Subhimalayan Mountains is missing.

The terraced deposits of the Seti Khola river (Pokhara) served as the key for dating and classifying the quaternary deposits of Central Nepal. Near the Seti Khola, two types of younger quaternary deposits, the Pokhara gravels and the Gaunda conglomerate can be followed over 60 km and identified as deposits of two separated cold periods. Large scale tectonic movements in the time between the last two Himalayan glaciations are responsible for the fact that north of Pokhara the (older) conglomerates form higher terrace levels than the Pokhara gravels, whereas in the whole Pokhara basin and up to 16 km downstream, the Gaunda conglomerate is covered by the Pokhara gravels. In the Pokhara basin, the terraces are mostly developed in Pokhara gravels, and terrace levels in general cannot be attributed to different accumulation sheets.

In addition to the well preserved accumulation sheets of the last two Himalayan glaciations, older deposits probably of quaternary age have been studied. Central Nepal seems to present excellent conditions for the study of quaternary chronology in Asia.

The photos (except no 6) give a profile following the Seti Khola river. Their regional sequence is: photo no 5 (northernmost), 4, 3, 1 and 2 (southernmost).

I. Begriffe zur Großgliederung Nepals

Das gesamte Gebirgsland zwischen Indus (im W und N), Tsangpo (N und E) und Indus-Ganges-Ebene (im S) kann man schlecht als Ganzes Himalaya nennen, denn Himal, Himalaya¹⁾ heißen in Nepal wie in Nordindien nur Gebirgsgruppen, die etwa über die klimatische Schneegrenze (5000–6000 m) aufragen. Namen wie Niederer oder Mittlerer Himalaya für Bergländer, deren Gipfelhöhen weithin 2000–3000 m nicht übersteigen, finden bei Einheimischen kein Verständnis.

Deshalb benutze ich in Nepal folgende Landschaftsnamen: Das gesamte Gebirgsland nenne ich Himalaya-Gebirgssystem oder kurz Himalayasystem. Es gliedert sich in Subhimalaya-Bergland (etwa 90 km breit, Gipfelhöhen nur selten über 4000 m) und Himalaya. Im Süden schließt sich als nächste Großlandschaft die Indus-Ganges-Ebene an.

Der Gegensatz zwischen Subhimalaya-Bergland und Himalaya ist keineswegs in Nepal überall gleich stark ausgeprägt. Am schärfsten ist er in Zentralnepal, wo z. B. auf der Südseite der Annapurnakette die Gipfelhöhen innerhalb von 20 bis 30 km von 2000–3000 m auf 7000–8000 m ansteigen. In Teilen von Ost- und Westnepal ist der Anstieg dagegen teilweise als ganz kontinuierlich zu bezeichnen.

II. Geologisch-geomorphologischer Überblick

Kennzeichnend für die geologische Erforschung Nepals ist die Tatsache, daß für den größten Teil des Landes das Alter der Gesteine nicht bekannt ist. Einigermaßen klar datiert sind bisher nur die Siwalikschichten am Südrand des Himalaya-Systems (Miozän bis Pleistozän)²⁾ und die Sedimente der Tibetischen Zone, die vor allem in Zentral- und Westnepal die nördlichsten Gebiete einnehmen (Ordovizium bis Kreide, siehe BORDET et al. 1971). Aus dem gesamten Bereich dazwischen sind bis jetzt nur ganz vereinzelt Fossilvorkommen bekannt geworden (Silur, siehe GANSSER

²⁾ Von „Glazialablagerungen“ in den Oberen Siwalikschichten (WADIA 1961, S. 366 und 410) kann wohl kaum gesprochen werden. Die Vorstellung von quartären Moränen in diesen Gebieten von 300–600 m Höhe ü. M., mit etwa 300 mm Niederschlag pro Jahr, wo in 100 km Umkreis die Berge 3000 m nicht oder knapp erreichen, kann ich nach meinen Erfahrungen in Nepal, wo die eiszeitlichen Gletscher stets innerhalb des Himalaya endeten und dabei nur an wenigen Stellen bis 2000 m hinabreichten, nur als absurd bezeichnen. Auch HEUBERGER betrachtet die von ihm (1956, S. 360 f.) im Subhimalaya-Bergland in 2000 m Höhe beschriebenen Bildungen nicht mehr als Moränen. Mit Recht betont GANSSER (1964, S. 50), daß manche Fanglomerate kaum von Moränenmaterial zu unterscheiden sind.

Daß die Oberen Siwaliks bis ins Alt- oder gar Mittelquartär reichen, wird nicht durch Glazialablagerungen, sondern durch ihre Säugetierfauna wahrscheinlich gemacht.

¹⁾ him (Nepali) heißt Schnee (Sanskrit: hima, siehe TURNER 1965, S. 639).

1964, S. 148, Permokarbon, siehe FUCHS und FRANK 1970, S. 43). Die absoluten Altersbestimmungen (BORDET et al. 1971, S. 191 f.) ergaben meist präkambrisches Alter für Gesteine aus dem Subhimalaya-Bergland von Zentralnepal.

Die Siwalikzone, die Faltenmolasse des Himalaya-Systems, bildet eine 5 bis 50 km breite Schichtkamlandschaft, die sich aufgrund ihrer edaphischen Trockenheit (wasserdurchlässige Sandsteine und Konglomerate) deutlich von den nördlich anschließenden Gebieten abhebt. In den relativen und absoluten Höhen besteht dagegen kein grundsätzlicher Unterschied zum übrigen Subhimalaya-Bergland. Junge Falten tektonik hat innerhalb und z. T. auch am Nordrand der Siwalikzone mehrere Beckenlandschaften, Duns genannt, entstehen lassen, deren ebene Flächen von jungen Flußalluvionen gebildet werden.

Auf die Siwalikzone sind, von N nach S, metamorphe Sedimente größtenteils unbekanntes Alters aufgeschoben. Die mehr oder weniger steil nach N einfallende Schubbahn, der *Main Boundary Fault*, stellt die klarste tektonische Leitlinie im ganzen Himalaya-System dar; sie ist über die gesamte Länge des Systems zu verfolgen.

Die metamorphen Sedimente Zentralnepals (Phyllite, Quarzite, Karbonatgesteine, Glimmerschiefer) bewirken im Subhimalaya-Bergland einen Reichtum an Strukturformen wie asymmetrische Bergkämme, wechselnde Breite der Täler, strukturbedingte Laufrichtungsänderungen, doch betrifft das die Formen mittlerer Größenordnung; das Großrelief im Subhimalaya-Bergland, dessen Gipfelhöhen sich in Zentralnepal überwiegend zwischen 2000 und 3000 m bewegen, ist eher als monoton zu bezeichnen.

Der scharfe Reliefgegensatz Subhimalaya-Bergland – Himalaya in Zentralnepal findet seine Begründung in einem ebenso klaren geologisch-tektonischen Wechsel: Der Südrand des Himalaya fällt im Bereich Dhaulagiri – Annapurna – Himalchuli – Ganesh Himal zusammen mit dem Südrand eines mächtigen Komplexes hochmetamorpher Gesteine (vorwiegend Gneise; Kathmandu- und Khumbu-Decken HAGENS, Kristallin-Decken von FUCHS und FRANK, Basis der Tibet-Platte von BORDET), der den Sockel der tibetischen Sedimentserie bildet. Die Grenze zwischen diesem Gneis-Komplex und den liegenden metamorphen Sedimenten des Subhimalaya-Berglandes ist eine Überschiebungsbahn, die besonders in Ostnepal gewaltige Überschiebungsbeträge erkennen läßt (siehe HAGEN 1969, Profile 14 bis 30 und GANSSER 1964, geol. Übersichtskarte). Nur in Zentralnepal fällt diese tektonische Grenze zusammen mit der großmorphologischen. In Ostnepal biegt dagegen die tektonische Grenze z. T. weit nach S. aus. Es scheint mir deshalb fraglich, ob man generell als Südrand des Himalaya einen „Main Central Thrust“ (GANSSER 1964, S. 147, 241, 243) annehmen kann. Man sollte ihn jedenfalls nicht allein aus geomorphologischen Gründen postulieren; es ist bis jetzt keines-

falls erwiesen, daß der Himalaya-Südrand immer mit der bedeutendsten Überschiebungsbahn zusammenfällt.

III. Die Terrassensysteme Zentralnepals

Mit der geomorphologischen Eigenart Zentralnepals, daß die Grenze Himalaya – Subhimalaya-Bergland besonders scharf ausgeprägt ist, steht in genetischem Zusammenhang ein zweites Merkmal: Der Reichtum an Schotterterrassen in den Tälern der großen Flüsse des Subhimalaya-Berglandes, der besonders im Vergleich mit Ostnepal auffällt. Während in Ostnepal in den von mir besuchten Tälern nur niedrige Terrassen (10–15 m) zu verfolgen waren und die Karten auch sonst keine höheren ausgedehnten Terrassen zeigen³⁾, haben alle größeren Flüsse Zentralnepals einen mehr oder weniger langen Abschnitt, auf dem sie von bis zu 100 m hohen Terrassen begleitet werden. Bemerkenswert ist dabei, daß diese Flüsse (Kali Gandaki, Seti Khola, Marsyandi Khola, Buri Gandaki, Bhote Kosi) unterhalb ihres terrassenreichen Abschnittes wieder in ausgesprochene Kerbtäler ohne Terrassen eintreten (siehe Abb. 1). Sieht man ab von den Terrassen im Längstal der Kali Gandaki, für die eine eigene Erklärung zu suchen ist (Gandaki-Längsmulde, Graben?), so bilden die Terrassenabschnitte der Flüsse eine parallel zum Himalaya verlaufende Reihe, die am besten als junge Senkungszone zu erklären ist. Nach zwei Provinzhauptstädten, die in dieser Zone liegen, habe ich sie *Pokhara-Gurkha-Senkungszone* genannt⁴⁾. Großtektonisch kann man sie als Senke vor der in Zentralnepal besonders mächtigen und geradlinig geschlossenen Stirn der Kathmandu-Khumbu-Decke(n) erklären, als einen Bereich, der noch nicht von den Deckenüberschiebungen und Verschüppungen erfaßt ist, der aber unter dem Einfluß der Aufschüppungen weiter im N eine isostatische Senkungsbeziehung erleidet (Massenausgleich erst über mittlere Entfernungen). Solange Einzel-Einbrüche an N-S-streichenden Verwerfungen nicht nachzuweisen sind, lassen sich die Terrassenabschnitte an den Flüssen am ein-

³⁾ LOMBARD (1958, S. 7) und BOESCH (1965, S. 81) haben sehr hohe Terrassen im westlichsten Teil von Ostnepal beschrieben, doch nehmen diese Terrassen offensichtlich nur kleinere Flächen am Hang ein.

⁴⁾ DOLLFUSS und USSELMANN (1971, S. 5 und S. 15) halten die Terrassenbereiche der Flüsse Zentralnepals jeweils für einzelne Einbruchsbecken. Sicher waren die Senkungsbeziehung nicht in allen Teilen der Pokhara-Gurkha-Senkungszone gleich stark, doch habe ich keine N-S-streichenden Verwerfungen nachweisen können. Die von DOLLFUSS und USSELMANN (S. 49 und 55) innerhalb von Terrassenablagerungen kartierten Verwerfungen halte ich ausnahmslos für Erosionsränder fluvialer Terrassen; die im Bereich der metamorphen Gesteine von ihnen ausgeschiedenen „failles probables“ sind zumindestens hinsichtlich ihres quartären Alters reine Vermutungen.

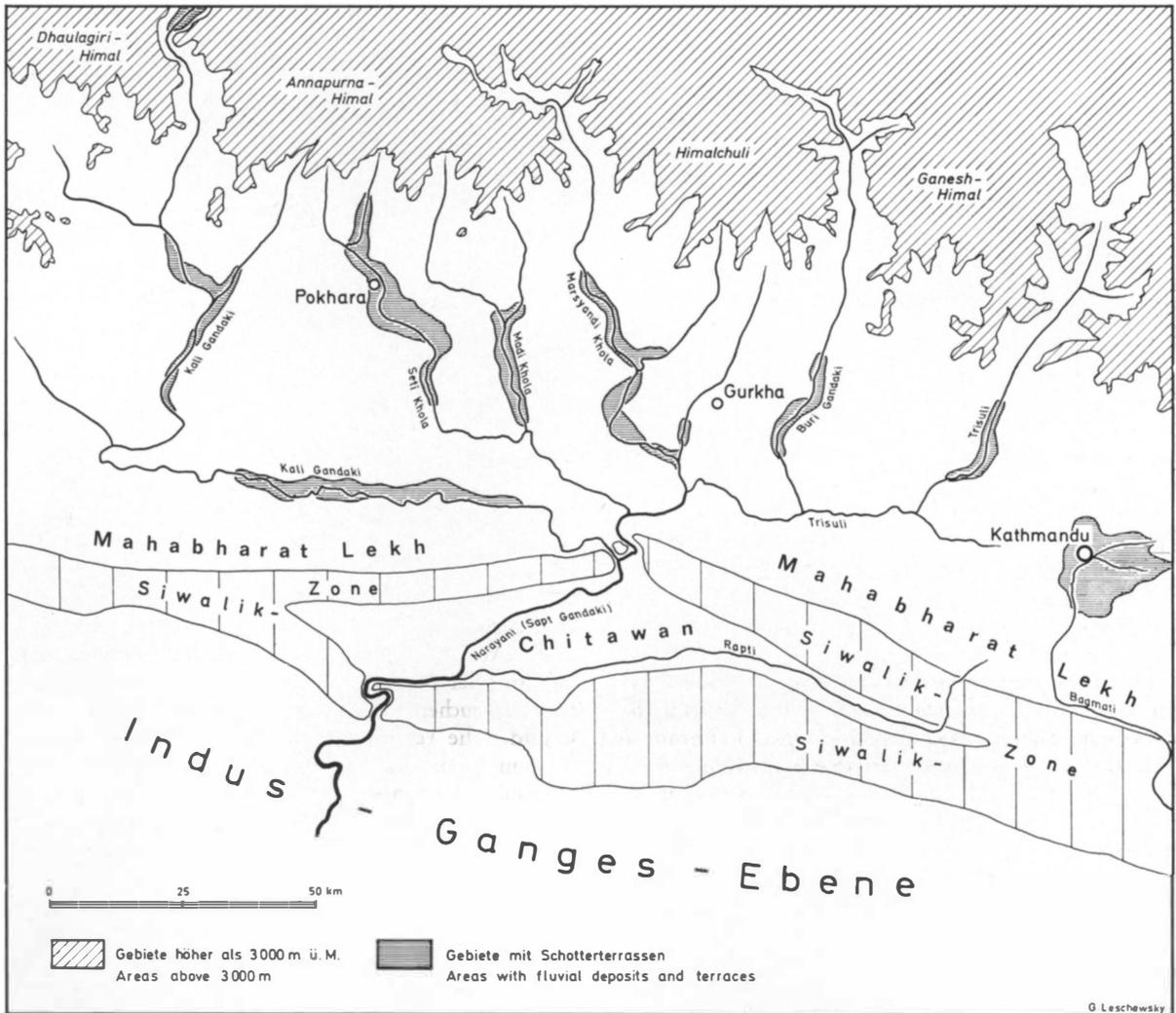


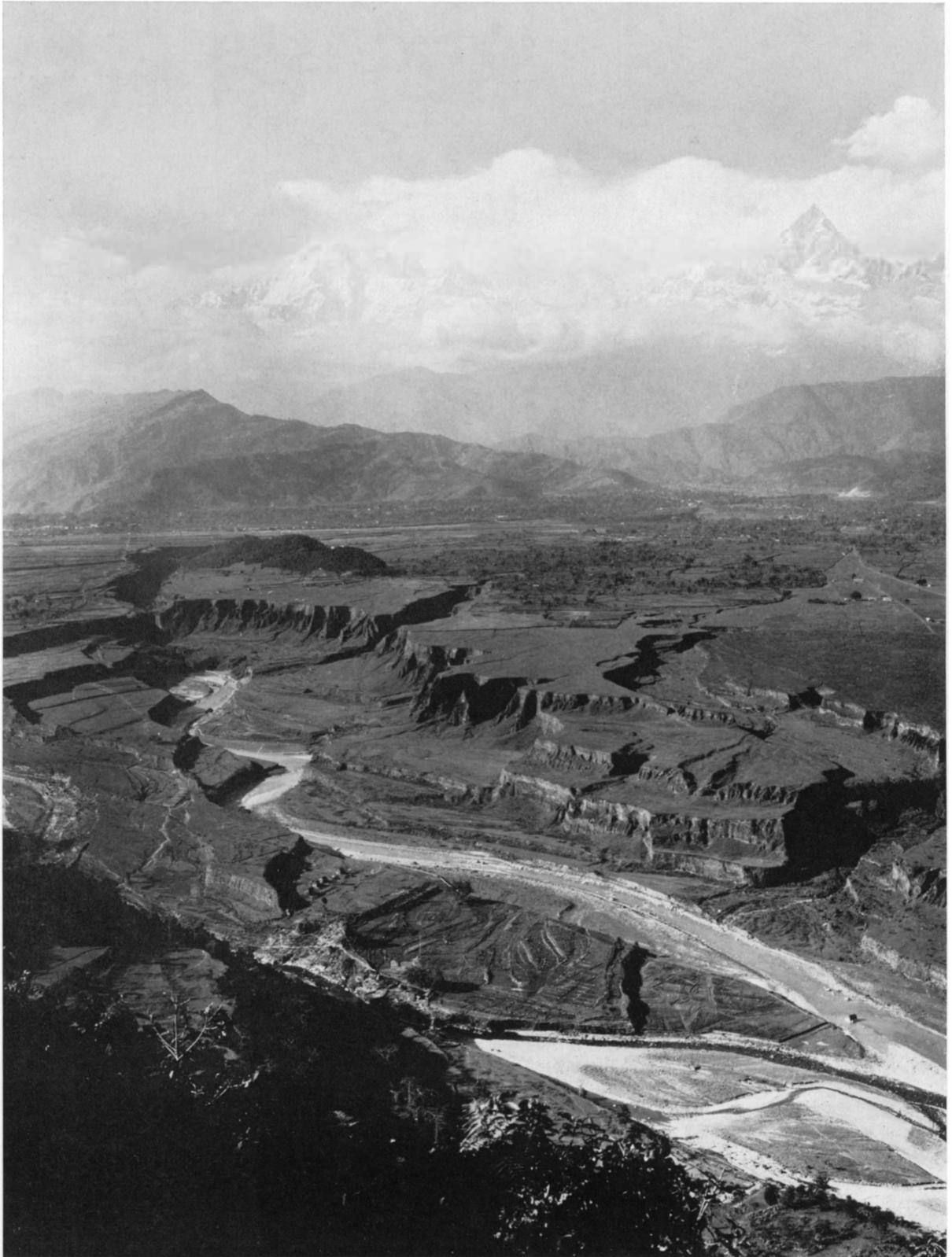
Abb. 1: Die Gebiete mit Terrassensedimenten im Subhimalaya-Bergland von Zentralnepal. Es lassen sich nördlich der Siwalikzone drei tektonisch bedingte Sedimentationszonen erkennen: Pokhara-Gurkha-Senkungszone, Gandaki-Längstal und Kathmandu-Becken.

Areas with terraced fluvial deposits in Central Nepal. There are three main accumulation zones in the Subhimalayan Mountains north of the Siwaliks: Pokhara-Gurkha subsidence zone, Lower-Kali-Gandaki zone and Kathmandu basin.

fachsten als die in den Tälern gelegenen Teile einer zusammenhängenden Senkungszone erklären. Im Bereich der zwischen den Flüssen gelegenen Bergrücken ist eine Einsenkung natürlich schwerer nachzuweisen als an den mit Akkumulation reagierenden Flüssen.

Die Pokhara-Gurkha-Senkungszone war in Zentralnepal die Voraussetzung zur Ablagerung mächtiger Schottermassen. Die Zerschneidung dieser Schottermassen zu reich gegliederten Terrassensystemen, teilweise mit mehrmaligem Wechseln zwischen Erosion und Akkumulation, muß dagegen durch Klimaschwankungen erklärt werden. Das geht schon aus der Tatsache hervor, daß nur solche Flüsse in Zentralnepal große Terrassensysteme haben, deren Einzugsgebiet Gebiete umfaßt, die noch heute vergletschert sind.

Eine ganz merkwürdige Sonderstellung nimmt allerdings in dieser Hinsicht das Becken von Kathmandu ein. Dieses größte der himalayanahnen Akkumulationsgebiete ist nicht etwa ein besonders tiefer Teil des Subhimalaya-Berglandes, sondern bildet mit seinem 1400 m hohen Beckenboden eine auf der östlichen Hauptquerwasserscheide Nepals gelegene besondere Massenerhebung! Das spricht dagegen, daß es sich um ein Einbruchsbecken handelt. Der Bagmati entwässert das Becken nach S, durch den hier fast 3000 m hohen Mahabharat Lekh, anstatt zum Trisuli oder Sun Kosi zu fließen, von denen er durch nur 1700 m hohe Pässe getrennt wird. Sein Lauf ist sicher antezedent zur Heraushebung des Mahabharat Lekh. Der Mahabharat Lekh (Lekh = Gebirge) ist der unmittelbar nördlich



der Siwalikzone gelegene Teil des Subhimalaya-Berglandes, der höher ist als die weiter nördlich folgenden Gebiete. Diese Zone verdankt ihre besondere Höhe der Aufschiebung auf die Siwaliksedimente. Antezedente Durchbrüche durch den Mahabharat Lekh haben auch andere, größere Flüsse in Nepal (z. B. Karnali, Bheri, Kali Gandaki und Sun Kosi). Beim Kathmandu-Becken war die Akkumulation dadurch besonders begünstigt, daß die Tiefenerosion des relativ kleinen Bagmati nur schwerer als die seiner größeren Nachbarn mit der Heraushebung des Mahabharat Lekh Schritt halten konnte. Da die das Kathmandu-Becken umrahmenden Berge (maximal 2900 m) auch bei einer Absenkung der Höhenstufen der Vegetation um 1000 m noch durchweg innerhalb der Waldstufen blieben, ist es wenig wahrscheinlich, daß man die Terrassen des Kathmandu-Beckens mit Klimaschwankungen korrelieren kann. Zur tektonischen Erklärung der Terrassenbildung im Kathmandu-Becken genügt es, einen Wechsel in der Hebungsgeschwindigkeit des Mahabharat Lekh anzunehmen.

IV. Die Terrassen an der Seti Khola

a) *Das Becken von Pokhara als Schlüssel für die Gliederung der Terrassensysteme*

Eines der besten Beispiele dafür, daß sich Flüsse, die aus vergletscherten Himalayagebieten kommen, ganz anders verhalten haben als ihre auf das Subhimalaya-Bergland beschränkten Nebenflüsse, bietet die Seti Khola, die auf der Südflanke der Annapurnakette entspringt und den Hauptfluß des Beckens von Pokhara bildet. Sie erlebte einen gewaltigen eiszeitlichen Akkumulationszyklus, der von ihren Nebenflüssen nicht mitgemacht wurde. So kam es dazu, daß die Seti Khola Schwemmkegel in die Nebentäler (flußaufwärts) vorschüttete. Die Seen in der Umgebung von Pokhara (Phewa Tal, Begnas Tal, Rupakot Tal; Tal [nepali] = See) sind, wie schon GURUNG (1965, S. 7) angenommen hat, vom Hauptfluß aufgestaute Nebentäler, nicht Reste eines großen Pokhara-Sees (HAGEN 1969, S. 151).

Der Schlüssel zur Gliederung der Terrassensysteme Zentralnepals liegt ausgerechnet in einem Gebiet, das in Nepal nach dem Kathmandu-Becken am leichtesten zu erreichen ist, nämlich im Becken von Pokhara (Photo 1). Bereits am Ostrand des Flugplatzes von Pokhara lassen sich die Ablagerungen zweier Eiszeiten überschauen. Die besondere Bedeutung des Pokhara-Beckens für die Erforschung der quartären Morphogenese Nepals liegt einmal in der Tatsache begründet, daß wir hier Übereinanderlagerung, nicht Ineinanderschichtung der Ablagerungen verschiedener Eiszeiten vorfinden, zum anderen darin, daß im Pokhara-Becken mehrere geomorphologische und stratigraphische Elemente über große Entfernungen zu verfolgen sind. Das am klarsten zu erkennende geomorphologische Element ist die große Pokhara-Fläche (Photo 1), deren Schotter auch zugleich ein wichtiges stratigraphisches Element sind: die Pokhara-Schotter. Sie bilden den unmittelbaren Untergrund der Pokhara-Fläche; es handelt sich um kalkreiche Schotter, die entweder gar nicht verfestigt sind, oder unmittelbar unter der Oberfläche eine mäßige Verkittung aufweisen. Auch die tieferen Terrassenflächen sind größtenteils in den Pokhara-Schottern entwickelt. Der Fluß, der diese Schotter aufgeschüttet hat, die Seti Khola, ist heute bis zu 100 m unter die Pokhara-Fläche eingeschnitten; die größte Gesamt-Terrassenhöhe findet man im Zentralteil des Beckens.

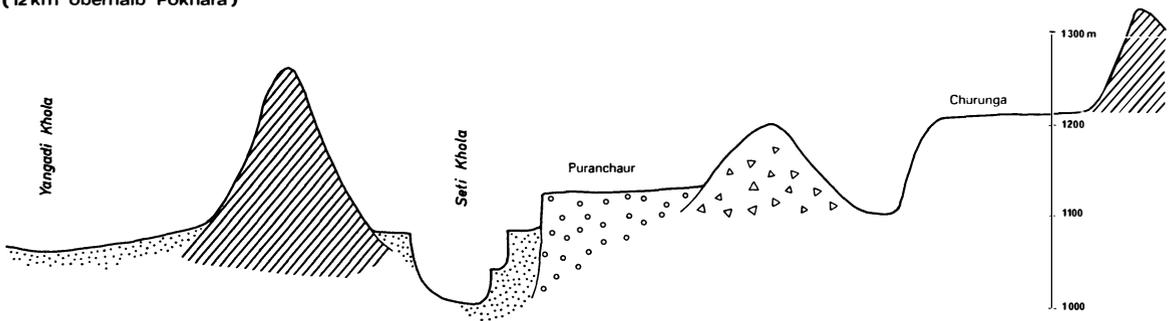
Wenn auch auf einer geologischen Karte fast für das ganze Becken Pokhara-Schotter zu kartieren wären, so läßt sich doch unschwer feststellen, daß unter den Pokhara-Schottern ältere Konglomerate eine wesentliche Rolle spielen. Einen sehr instruktiven Einblick in die geologischen Verhältnisse des Pokharabeckens erhält man bereits unmittelbar neben dem Flugplatz Pokhara, wenn man von seinem Nordende nur wenige Schritte in Richtung zur Seti Khola Brücke geht (alte Brücke, 500 m südlich der neuen Brücke der Straße Kathmandu – Pokhara). Steht man an der kleinen Terrassenstufe, die den Ostrand des Flugplatzes bildet, so sucht man zunächst vergeblich die Seti Khola. Diese fließt in einer 50 m tiefen Schlucht, die so schmal ist,

Photo 1: Blick aus 1100 m Höhe nach NW über die Seti Khola und die Ebene von Pokhara (800 m) auf die Annapurna-Kette (links Annapurna 8078 m, rechts Machapuchare 7000 m). Das ausgedehnte Haupt-Terrassenniveau (Pokhara-Fläche) wird von Ablagerungen der letzten Eiszeit gebildet. Links der Bildmitte ragt eine bewaldete Kuppe aus Glimmerschiefer/Phyllit/Quarzit (mit tiefgründiger roter Verwitterung) über die Pokhara-Fläche (mit flachgründigen Böden) auf. Links der Kuppe die 50 m tiefe Schlucht der Seti Khola in den Gaunda-Konglomeraten (Ablagerungen der vorletzten Eiszeit), die die Pokhara-Schotter teilweise unterlagern (vorwiegend im nördlichen Teil des Beckens). Weiter oberhalb (hinter der Kuppe) ist die Schlucht teilweise nur 2–3 m breit. Links vor der Kuppe tritt die Seti Khola aus ihrer im Gaunda-Konglomerat ausgebildeten Schlucht, um in den Pokhara-Schottern eine breite Schottersohle zu entwickeln (Vordergrund). Die tiefer als die Pokhara-Fläche gelegenen Terrassen sind spät- oder postglaziale Erosionsterrassen, vereinzelt dabei gleichzeitig exhumierte ältere Terrassenoberflächen, z. B. die Fläche unmittelbar rechts (orographisch links) des Unterendes der Schlucht, in ca. 15 m Höhe über dem Fluß, noch ca. 40 m überragt von der Pokhara-Fläche. Aufnahmeort: Barsamai, 1100 m. Hor. Bildwinkel 30°, 18. 2. 72.

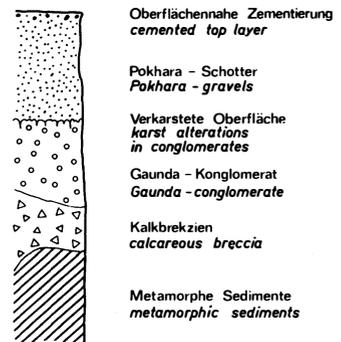
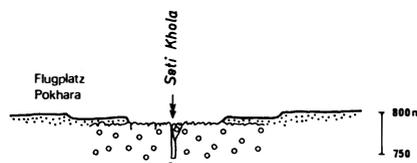
Seti Khola river (foreground), Pokhara plain and Annapurna range. The main terrace level of the Pokhara plain is formed by the Pokhara gravels, deposited during the last Himalayan glaciation. In part, these gravels are underlain by the Gaunda conglomerate (last but one glacial period), in which the Seti Khola eroded narrow gorges. The terraces below the Pokhara plain have been eroded in late- and postglacial time.

Profil 1

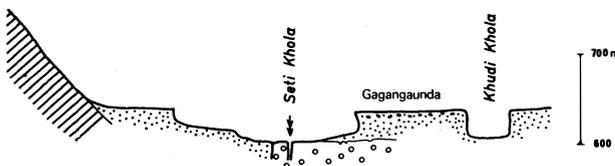
(12 km oberhalb Pokhara)

**Profil 2**

(Pokhara)

**Profil 3**

(16 km unterhalb Pokhara)

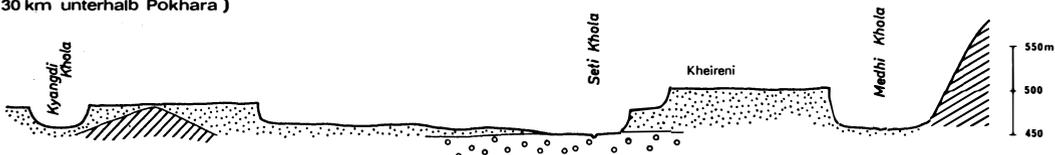


0 1 km

Überhöhung 1:3

Profil 4

(30 km unterhalb Pokhara)



D. Busch

Abb. 2: Querprofile über das Tal der Seti Khola in Zentralnepal. Die Lage der Profile zum Längsprofil der Seti Khola ist in Abb. 4 angegeben. Im Pokhara-Becken und südlich davon (Profile 2 bis 4) liegt die Oberfläche der Ablagerungen der vorletzten Eiszeit (Gaunda-Konglomerat) tiefer als die Oberfläche der Schotter der letzten Eiszeit (Pokhara-Schotter). Weiter nördlich (Profil 1) sind die jüngeren Schotter in die älteren eingeschachtelt (Vergrößerung von Profil 2 und 3 siehe Abb. 3).

Profiles crossing the Seti Khola valley in Central Nepal. The position of the profiles is indicated in Abb. 4. In the Pokhara basin and south of it (profiles 2 to 4), the Gaunda conglomerate (last but one cold period) is covered by the Pokhara gravels (last cold period); north of the Pokhara basin (profile 1), the accumulation of the last cold period did not reach the top of the older Pleistocene deposits (Enlargement of profile 2 and 3 see Fig. 3).

daß man sie an einigen Stellen überspringen könnte. Zweieinhalb Kilometer flussabwärts, bei Mahadgaunda, führt eine Naturbrücke über die 50 m tiefer gelegene Seti Khola, entstanden durch Zusammenrutschen der Schluchtwände. Diese Schluchtstrecken sind für den Nordteil des Pokhara-Beckens charakteristisch. Sie

lassen einen Fluß, der etwa mit der Isar bei Bad Tölz zu vergleichen ist, teilweise fast völlig verschwinden.

Im ganzen Pokhara-Becken führen diese z. T. nur meterbreiten Schluchten aber nie gleich von der Pokhara-Fläche in die Tiefe; immer beginnen sie erst auf einer etwas tieferen Terrassenfläche, auf einer durch

eine Konglomeratoberfläche gebildeten Strukturterrasse. Die engen Schluchten sind also nicht in die Pokhara-Schotter eingetieft, sondern in ein wesentlich härteres Konglomerat (Abb. 3, Profil 2). Dieses Konglomerat (vorwiegend Kalkgerölle mit kalkigem Bindemittel) ist an seiner Oberfläche von dicht stehenden, mehrere Meter tiefen Karstergeln zernagt. Für die Be-

ziehung der Pokhara-Schotter zu diesem Konglomerat ist besonders aufschlußreich die epigenetische Schluchtstrecke bei Gagangaunda, 15 km unterhalb von Pokhara. Aus den Beobachtungen an dieser Stelle läßt sich folgender Ablauf rekonstruieren (die folgende Beschreibung ist auf Photo 2 und Abb. 3, Profil 3, ausgerichtet):

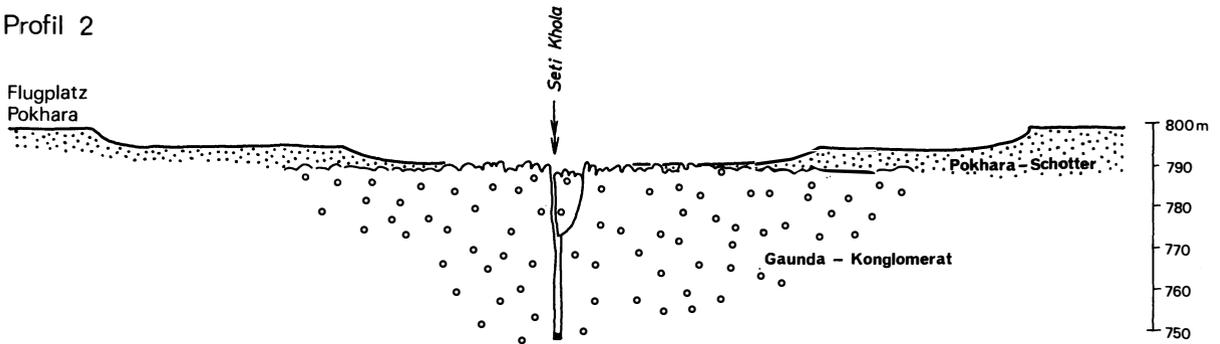


Photo 2: Durchbruch der Seti Khola (Blick flußabwärts) durch eine epigenetische Schlucht in Konglomeraten der vorletzten Eiszeit (Gaunda-Konglomerat) bei Gagangaunda (Pokhara-Becken). Zur Monsunzeit ergibt sich in der z.T. nur $\frac{1}{2}$ m breiten Schlucht ein Stau von ca. 15 m Höhe; die Wassermassen gehen dann über die Konglomeratbank hinweg. Der Steilabfall der Konglomerate in der linken Bildhälfte ist eine wiederfreigelegte interglaziale Terrassenstufe. Über dem Konglomerat, und in der rechten Bildhälfte auch daneben, lagern die in der letzten Eiszeit abgelagerten Pokhara-Schotter. Die horizontale Linie im oberen Bildviertel ist die eiszeitliche Akkumulationsoberfläche der Pokhara-Schotter. Der Überhang im linken Bildviertel ist durch eine oberflächennahe Zementierung der Pokharaschotter bedingt. Die mit Akazien bestandenen tieferen Flächen sind spät- oder postglaziale Erosionsterrassen; die unterste Terrasse links ist zugleich eine exhumierte Terrasse aus der Zeit vor der letzten Eiszeit. Profil 3 in Abb. 3 ist ein Schnitt quer über die epigenetische Schluchtstrecke dieses Bildes.

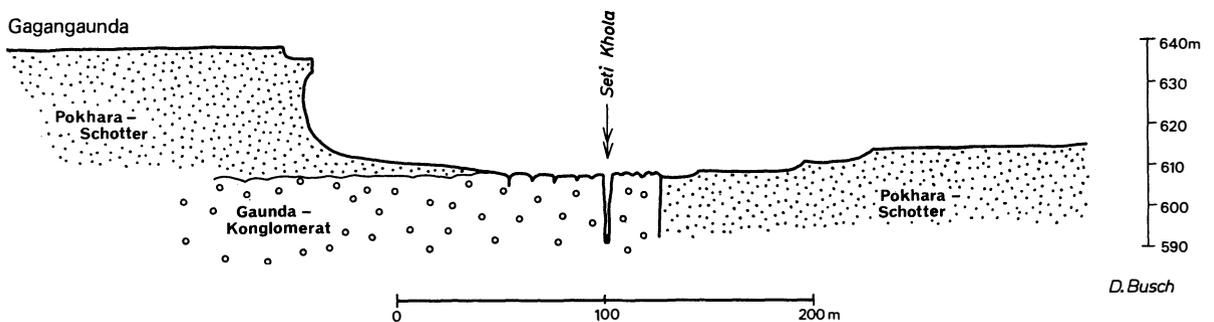
Aufnahmestandpunkt: 1 km nördlich Gagangaunda, auf der Hauptterrasse der letzten Eiszeit (Pokhara-Fläche), Blick nach SSE (flußabwärts), hor. Bildwinkel 80° , 19. 2. 72.

View downstream over the Seti Khola near Gagangaunda (18 km SE of Pokhara). In an epigenetic gorge that is in parts less than 1 m wide, the river crosses the Gaunda conglomerate of the last but one cold period. The rock wall emerging on the left side from the Seti river bed is a re-exposed interglacial terrace slope; the higher terraces on the left and all terraces on the right are developed in Pokhara gravels (last cold period). Profile 3 of Fig. 3 represents a section crossing the middleground of this picture.

Profil 2



Profil 3



D. Busch

Abb. 3: Querprofile über die Seti Khola im Becken von Pokhara (vergrößerte Darstellung der Profile 2 und 3 von Abb. 2). Zwischen die Ablagerung des Gaunda-Konglomerates in der vorletzten Eiszeit und die der Pokhara-Schotter in der letzten Eiszeit ist anzusetzen: a) eine Erosionsphase (siehe rechte Hälfte von Profil 3), b) die Verfestigung des Gaunda-Konglomerates und c) die Verkarstung der Konglomeratoberfläche (besonders auf Profil 2 sichtbar). Die epigenetische Eintiefung der Seti Khola in ihre enge Schlucht in den Konglomeraten erfolgte nach Ablagerung der Pokhara-Schotter.

Profiles crossing the Seti Khola in the Pokhara basin (detail of the profiles 2 and 3 of Fig. 2). The profiles show that between the deposition of the Gaunda conglomerate and the deposition of the Pokhara gravels, there must have been a) a period of erosion, b) cementation of the Gaunda conglomerate and c) karstic alteration of the conglomerate.

1. Ablagerung eines kalkreichen Schotter (der später zum Konglomerat verkittet wurde). Das erste Terrassenniveau oberhalb der Schlucht (etwa 15 m über dem Niedrigwasser der Seti Khola) entspricht etwa der Akkumulationsoberfläche dieser Schotter. Daß diese älteren Schotter nicht mächtiger gewesen sind, läßt sich natürlich im Bereich dieses Bildes allein nicht beweisen, wird aber dadurch wahrscheinlich gemacht, daß dieses Niveau sich im Längsprofil genau in die Reihe der höchsten Konglomeratvorkommen einreicht (Abb. 4).

2. Teilweise Abtragung der noch nicht verfestigten Schotter. Dadurch Ausbildung der Terrassenstufe, die links der Seti Khola vom Flußbett zum ersten Terrassenniveau führt. Eine flächenhafte Abtragung des bereits verfestigten Konglomerates (das gesamte Gebiet rechts der Seti Khola und im Vordergrund müßte abgeräumt werden) ist wenig wahrscheinlich, da heute im Konglomerat nur enge Schluchten gebildet werden.

3. Verfestigung der Schotter zum Konglomerat.

4. Verkarstung der Konglomeratoberfläche: Bildung von Karstergeln und -zacken.

5. Erneute Akkumulation eines mächtigen kalkrei-

chen Schotter (Pokhara-Schotter), dessen Oberfläche die der alten Schotter an dieser Stelle um etwa 30 m überragt. Die ursprüngliche Oberfläche dieser Akkumulation ist im linken Bilddrittel erkennbar.

6. Zerschneidung der Pokhara-Schotter und dabei Ausbildung von Terrassen (Erosionsterrassen, keine Akkumulationsniveaus). Setzt man hier die Pokhara-Fläche auf + 45 m über dem Niedrigwasser der Seti Khola an, so lassen sich im Photo 2 folgende Erosionsniveaus unterscheiden: + 40 m (links), + 20 m und + 17 m (rechts), + 15 m (links und rechts). Die + 15 m-Terrasse entspricht der Konglomeratoberfläche (links Strukturterrasse, rechts Verlängerung dieser Strukturterrasse in die Schotter). Unter der Oberfläche der + 40 m-Terrasse (links) ist eine oberflächennahe Verfestigung der Schotter zu beobachten, die an der Schotterwand zu Überhängen geführt hat. Die Gefahr einer Verwechslung der Pokhara-Schotter mit dem älteren Konglomerat ist aber durch diese Verfestigungen nicht gegeben.

Das Konglomerat steht im Pokharabecken überall dort an, wo die Seti Khola enge Schluchten durch-

fließt. Nach zwei dieser Schluchtstrecken, bei Mahadgaunda (4 km unterhalb Pokhara) und Gagangaunda (15 km unterhalb Pokhara) nenne ich dieses Konglomerat *G a u n d a - K o n g l o m e r a t*.

Gaunda-Konglomerat und Pokharaschotter lassen sich aufgrund folgender Überlegungen als Ablagerungen zweier verschiedener Eiszeiten betrachten: Ein mehrmaliger tektonisch bedingter Wechsel zwischen Erosion und Akkumulation ist für dieses tief gelegene Becken sehr unwahrscheinlich, zumal keine tektonischen Störungen auf engerem Raum erkennbar sind. Der hohe Kalkanteil der Pokhara-Schotter und des Gaunda-Konglomerates (höher als der der rezenten Seti-Schotter) spricht ebenfalls für kaltzeitliche Akkumulation, wenn man eine stärkere Anfälligkeit der Kalke gegenüber der Frostsprengung annimmt. Schließlich beweist die Verkarstung der Oberfläche des Gaunda-Konglomerates, daß zwischen den beiden Akkumulationen ein beträchtlicher Zeitabstand besteht. Man kann darüber diskutieren, ob es besser ist, in diesem Zusammenhang von Eiszeiten oder Kaltzeiten zu sprechen. Die für Mitteleuropa gültigen Vorstellungen über den Klimaunterschied zwischen Interstadial und Interglazial sind für das Becken von Pokhara (28° Breite, 700 m ü. M., Januarmitteltemperatur 1957–68 = $13,2^{\circ}$) sowieso nicht anwendbar. Ich spreche von Eiszeiten, weil ich den Vorstoß der Gletscher im Himalaya als Ursache für die Akkumulationsphasen im Subhimalaya-Bergland betrachte. Bei Flüssen, deren Einzugsgebiet sich auf das Subhimalaya-Bergland beschränkt, fehlen durchweg derartige Akkumulationen. Leider läßt sich keines der Terrassensysteme der Pokhara-Gurkha-Senkungszone mit Moränen eiszeitlicher Gletscher verbinden. Überall sind zwischen die Terrassengebiete im Subhimalaya-Bergland und die von eiszeitlichen Gletschern überformten oberen Talabschnitte im Himalaya steile Kerbtalabschnitte eingeschaltet. Deshalb müssen der Ablauf der Vergletscherungen im Himalaya und die Terrassenbildungen im Subhimalaya-Bergland zunächst unabhängig voneinander untersucht werden.

Da die Pokhara-Schotter eine gewaltige Akkumulationsmasse darstellen (teilweise über 100 m mächtig, in einem Becken von 15 mal 5 km Größe) und sich keine nennenswerten jüngeren Akkumulationen oder Bodenbildungen innerhalb der Pokharaschotter erkennen ließen, halte ich die *P o k h a r a s c h o t t e r* für Ablagerungen der *l e t z t e n* Eiszeit. Dann sind die Terrassen, die tiefer liegen als die Pokharafläche, als spät- oder postglaziale Erosionsterrassen zu betrachten. Das *G a u n d a - K o n g l o m e r a t* ist wahrscheinlich in der *v o r l e t z t e n* Eiszeit abgelagert worden, doch kann höheres Alter zur Zeit nicht ausgeschlossen werden.

DOLLFUSS und USSELMANN (1971) haben als erste die Terrassenablagerungen der Pokhara-Gurkha-Senkungszone beschrieben und in Karten dargestellt. Sie unterscheiden 4 Niveaus (im engl. Teil levels, mit Ein-

schluß der hochgelegenen Brekzien sind es 5), von unten nach oben als Niveau 1, Niveau 2 usw. bezeichnet. Statt von Niveaus (levels) wird auch häufig, mit der gleichen Numerierung, von „nappes“ (sheets) gesprochen. DOLLFUSS und USSELMANN gehen offensichtlich davon aus, daß jedes tiefere „Niveau“ auch einem eigenen, jüngeren Akkumulationskörper (nappe, sheet) entspricht. Die auch von ihnen (S. 20, S. 39) beobachtete Überlagerung von Konglomeraten durch Schotter halten sie für eine lokale Erscheinung; ihre Altersgliederung baut nicht auf dem Gegensatz Konglomerate – Schotter auf, sondern auf der Einteilung in Niveaus. Die oberen „nappes“ (levels), Nr. 3 und 4, werden einer „ziemlich langen Kaltphase“ zugeordnet (S. 21, S. 33), an anderen Stellen wird von „quaternaire ancien“ gesprochen (S. 22, 24, 48, 55, 56). Die tieferen Niveaus sollen einer „neuen und jungen Kaltphase, gekennzeichnet durch wenigstens zwei Schwankungen“ (S. 24) entsprechen. Nach meinen Beobachtungen kann diese Interpretation der Niveaus für die Verhältnisse an der Marsyandi Khola zutreffen, wenn es auch wenig gerechtfertigt erscheint, von „quaternaire ancien“ zu sprechen. Bei zwei Eiszeiten liegt es wohl näher, zunächst an Zeitvorstellungen wie *Riß-Würm* zu denken. An der Marsyandi Khola ist aber schon der Nachweis zweier Eiszeiten weniger zwingend. Zwar scheint es sinnvoll, den mehrere Meter mächtigen roten Boden, der sich dort z. B. auf der großen Terrassenfläche von Rainstar findet (östlich Tarkughat, „Niveau 4“ bei DOLLFUSS und USSELMANN) für älter als *Würm* zu halten, doch konnten weder DOLLFUSS und USSELMANN noch ich nachweisen, daß die tieferen Terrassen (ohne rote Böden) einem eigenen Akkumulationskörper entsprechen. Im Becken von Pokhara lassen sich dagegen klar zwei verschiedene Akkumulationsphasen nachweisen, die durch eine Zeit tiefer Erosion und intensiver Verkarstung getrennt sind.

Der Nachweis von zwei Eiszeiten mit Hilfe der Terrassensedimente des Pokharabeckens gründet sich nicht auf die von DOLLFUSS und USSELMANN ausgeschiedenen 4 Niveaus – diese sind im Pokharabecken alle in der letzten Eiszeit oder im Postglazial gebildet worden! Während an der Marsyandi Khola das „Niveau 4“ sich durch einen mehrere Meter mächtigen roten Boden auszeichnet, konnte ich auf der Pokharafläche keine Böden dieser Art finden. Die an den Rändern der Schotterterrassen zu beobachtenden Bodenmächtigkeiten erreichten nur 50 cm, häufig sogar nur 20 cm. Die Tatsache, daß ein großer Teil des „Niveau 3“ (Pokharafläche) magere Weiden trägt, spricht ebenfalls gegen größere Bodenmächtigkeiten. Von Rotfärbung war in den Böden auf den Pokharaschottern keine Spur, sie war nur auf den die Pokharafläche überragenden Kuppen anstehenden Kristallins zu finden. Ganz abgesehen von der Altersdeutung der Pokharafläche war mir übrigens auch rein morphographisch eine Unterscheidung zwischen Niveau 3 und Niveau 4 im Pokharabecken nicht möglich. Ich habe sowohl auf den

von DOLLFUSS und USSELMANN westlich von Ganga-gaunda (Südteil des Pokharabeckens) ausgeschiedenen Niveau-4-Flächen gestanden wie auf dem Niveau 3 auf der gegenüberliegenden Seite und konnte beide Male nicht den geringsten Niveauunterschied feststellen. Schließlich muß noch betont werden, daß abgesehen von den im Flächenanteil unbedeutenden Strukturterrassen auf Gaunda-Konglomerat alle Niveaus im Pokharabecken im Körper der Pokharaschotter ausgebildet sind. DOLLFUSS und USSELMANN räumen ein (S. 20), daß keine großen petrographischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Niveaus im Pokharabecken bestehen. Zur Begründung, daß es sich bei den Niveaus um verschiedene „nappes“ handelt, führen sie zwei Argumente an:

1. Unterschiede in der Bodenmächtigkeit. Dazu ist einmal zu sagen, daß die Bodenmächtigkeit auf den Pokharaschottern überall als gering zu bezeichnen ist, wenn man sie mit den rubefizierten Terrassen etwa an der Kali Gandaki oder der Marsyandi Khola ver-

gleicht. Zum anderen sind gewisse Unterschiede in der Bodenmächtigkeit auch zwischen der würmzeitlichen Hauptterrasse und den spät- oder postglazialen Erosionsterrassen zu erwarten.

2. Die Tatsache, daß ein Teil der tieferen Niveaus frische „laves torrentielles“ zeigt (große Blockreihen und Geröllrücken, die auf den höheren Niveaus fehlen) soll eigene „nappes“ begründen. Auch mir ist der Blockreichtum der tieferen Niveaus aufgefallen; ich möchte das aber nicht als neue Ablagerung betrachten, sondern von Residualschottern sprechen, von Anreicherungen grober Gerölle, die sich bei der Formung der tieferen Terrassen aus dem größten Material der Schichten, die abgeräumt wurden, gebildet haben.

b) Der Einfluß quartärer Tektonik auf die Anordnung der Terrassen an der Seti Khola und auf das Längsprofil der Himalaya-Flüsse

Verbindet man die einzelnen Vorkommen des Gaunda-Konglomerates entlang der Seti Khola (siehe

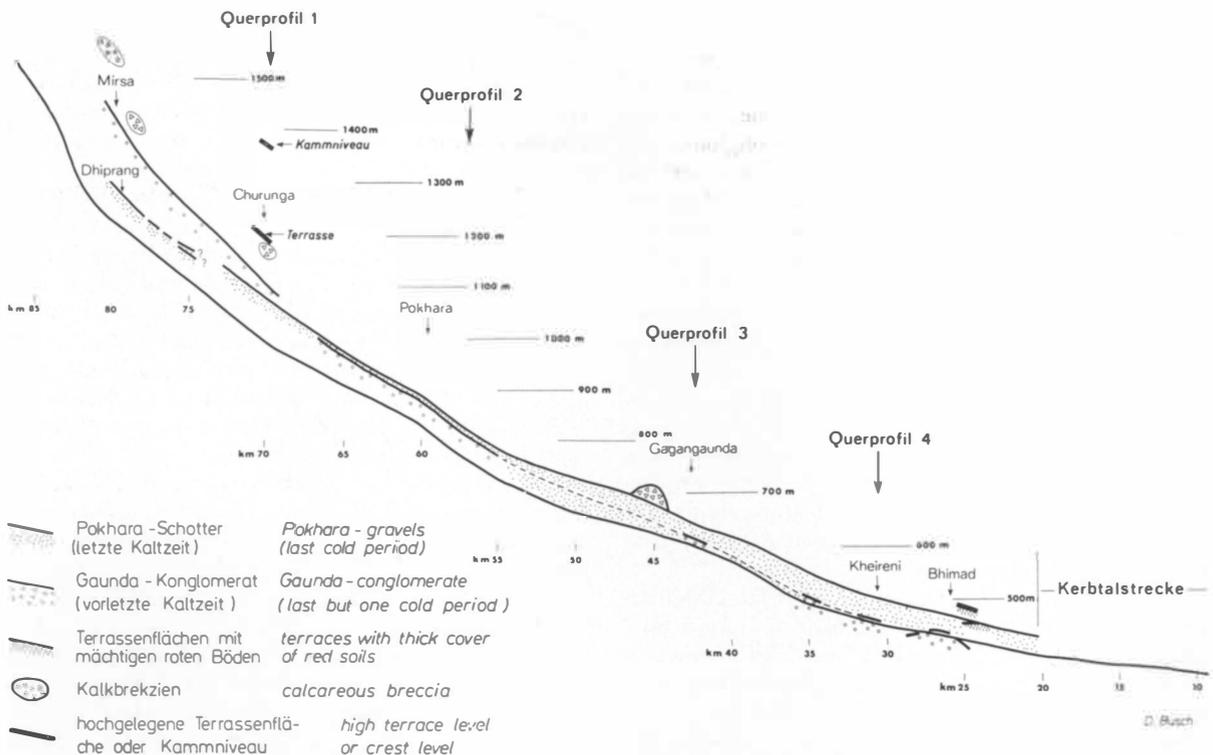


Abb. 4: Längsprofil der Seti Khola und ihrer wichtigsten Terrassen. Die tieferen Erosionsterrassen im Schotterkörper der Pokhara-Schotter wurden nicht gezeichnet. Die absoluten Höhenwerte des Profiles sind unsicherer als die relativen Höhen über kürzere Entfernungen (Terrassenhöhen). Knicke im Längsprofil sollten deshalb nur mit Vorsicht interpretiert werden. Insgesamt zeigt das Profil, daß die Oberfläche der Ablagerungen der vorletzten Eiszeit (Gaunda-Konglomerat) ein stärkeres Gefälle hat als die der Pokhara-Schotter, die in der letzten Eiszeit abgelagert wurden. Durch die Heraushebung des Nordteiles des Profiles gegenüber dem Südteil im Jungquartär hat sich am Nordende des Beckens von Pokhara eine Terrassenkreuzung ergeben.

Profile along the Seti Khola river. The lower terraces eroded in Pokhara gravels are not indicated. The accumulation surface of the Gaunda conglomerate (last but one cold period) is more inclined than that of the Pokhara gravels (last cold period), so that these two levels cross over north of Pokhara. This crossing over the terraces is caused by the differential subsidence of the northern and southern parts of the profile (in the northernmost part, there is even uplift).

Abb. 4), so stellt man fest, daß die Gaunda-Konglomerat-Oberfläche ein Gefälle hat, das größer ist als das der heutigen Seti Khola und auch größer als das der Pokharafläche. Bei Pokhara liegen die Konglomerate nur etwa 5 m unter der Pokharafläche und die Seti Khola ist mehr als 40 m in sie eingeschnitten. Bei Gagangaunda (Photo 2) erheben sich die Konglomerate nur noch 15 m über die Seti Khola; ihre Oberfläche liegt 30 m unter der Pokharafläche. 12 km unterhalb des Südendes des Pokharbeckens, bei der deutschen Entwicklungshilfe-Station Kheireni, und nochmal 4 km weiter flußabwärts, bei Bhimad, wird das Gaunda-Konglomerat gerade noch einmal vom Fluß angeschnitten. Oberhalb von Pokhara hebt sich das Konglomerat dagegen über die Pokharafläche (siehe Profil 1 in Abb. 2, Abb. 4 und Photo 3). Ganz offensichtlich war die tektonische Senkung im südlichen Teil des Pokharbeckens und auf den anschließenden 16 km in der Zeit zwischen den beiden großen Akkumulationen stärker als weiter im Norden. 22 km unterhalb des Beckens von Pokhara endet die Terrassenzone an der Seti Khola ziemlich abrupt, um von einem Kerbtalbereich abgelöst zu werden, der als Beweis junger Hebung betrachtet werden muß. Besonders interessant ist der unterste Abschnitt der Terrassenzone, zwischen den letzten Vorkommen des Gaunda-Konglomerates und dem unteren Kerbtalabschnitt. Gleich unterhalb der Stelle, wo die Seti Khola zum letzten Male das Gaunda-Konglomerat anschneidet, tauchen kleine Terrassen mit einem mehrere Meter mächtigen roten Boden auf. Sie liegen etwas höher als die anderen Terrassen ohne rote Böden, die ich als südliche Ausläufer der Pokharafläche betrachte. Bei Changpatan (Abb. 4, km 24) läßt sich auf der linken Talseite beobachten, wie ein mächtiger roter Boden von der Pokharafläche gekappt wird und nach NW unter die Pokharaschotter taucht. Aufgrund der gewaltigen Unterschiede in der Bodenausbildung scheint es mir ausgeschlossen, daß auch die Terrassen mit den roten Böden in der letzten Eiszeit gebildet wurden. Wir kommen hier kurz vor Erreichen des Kerbtalbereiches offensichtlich in eine Zone, wo im Jungquartär bereits wieder Hebung einsetzte oder wo zumindestens die Senkung nicht so stark war wie weiter im Norden. Wenn man diese älteren Terrassen ebenfalls als kaltzeitliche Bildungen auffaßt, so liegt es nahe, sie als Äquivalente des Gaunda-Konglomerates zu betrachten. Detailuntersuchungen in diesem Gebiet könnten aber auch ergeben, daß diese Terrassen auf eine noch frühere Akkumulationsphase zurückgehen.

Oberhalb von Pokhara läßt sich klar erkennen, daß die Oberfläche des Gaunda-Konglomerates die Pokharafläche kreuzt. Bei Puranchaur (links der Seti Khola, km 70 in Abb. 4, Profil 1 in Abb. 2) überragt die Konglomeratoberfläche die Pokharafläche bereits um 30 m, weitere 10 km oberhalb, bei Mirsa (km 80 in Fig. 4) um 120 m (siehe auch Photo 4). Dann aber (weitere 6 km aufwärts, bei 1500 m Höhe) enden sämt-

liche Terrassen: Es beginnt der sehr enge Himalaya-Kerbtalabschnitt der Seti Khola, der das Ende jeglicher Senkungstendenzen der Pokhara-Gurkha-Senkungszone anzeigt (Photo 5).

Der Einfluß junger tektonischer Bewegungen auf das Längsprofil der Himalaya-Flüsse wurde nach meiner Ansicht bisher überschätzt. HAGEN (1969, S. 142) betrachtet die gewaltige Stufe im Längsprofil der Kali Gandaki, wo der Fluß nach einer 40 km langen Flachstrecke auf 12 km Entfernung zwischen Dhumpu und Dana um 1000 m hinabstürzt, als Ausdruck der noch heute andauernden Heraushebung der Kathmandu-Decken. Tatsächlich bildet aber bei Dhumpu anstehendes Gestein gar nicht den Bettboden der Kali Gandaki, sondern nur das rechte Ufer; der Gefällsknick bei Dhumpu ist nicht durch Tektonik bedingt, sondern durch einen riesigen Bergsturz (Photo 6), ebenso wie in Ostnepal die große Stufe des Bhote Kosi bei Lamobagar. Die Bedeutung von Bergstürzen für die Längsprofilgestaltung von Karakorum-Flüssen ist von PAFEN (1959, S. 14) beschrieben worden. Der Einfluß der Heraushebung des Himalaya auf das Längsprofil der großen Himalaya-Flüsse ist nach meiner Ansicht durchweg großräumig; für scharf begrenzte Steilstrecken konnte bisher nirgends eine tektonische Ursache nachgewiesen werden.

c) *Terrassen, die höher liegen als die Ablagerungen der letzten und vorletzten Eiszeit*

Im Subhimalaya-Bergland von Zentralnepal finden sich Konglomerate und Brekzien, die älter sind als das Gaunda-Konglomerat. Bereits DOLLFUSS und USSELMANN (S. 20 und 52) haben zwei Vorkommen von älteren Ablagerungen auf den das Pokhar Becken umgebenden Bergen genannt. Ich konnte eine größere Zahl solcher Vorkommen ausmachen. Dabei trat vor allem eine Kalkbrekzie (gelegentlich auch als Konglomerat zu bezeichnen) in Erscheinung, die an mehreren Stellen über die Pokharafläche und über das Gaunda-Konglomerat aufragt. Auf den Vorkommen im Südtel des Pokharbeckens waren Terrassenflächen nicht zu erkennen; es handelt sich um über die Pokharaflächen aufragende Kuppen, die zum Teil auch aus den metamorphen Gesteinen aufgebaut sind. Es lag deshalb nahe, diese Brekzien für wesentlich älter als das Gaunda-Konglomerat, eventuell für tertiär zu halten.

Nördlich des Beckens von Pokhara, wo die Oberfläche des Gaunda-Konglomerates über der Pokharafläche liegt, lassen sich diese Kalkbrekzien besser an die Ablagerungen der beiden letzten Eiszeiten anschließen. Sie ragen an mehreren Stellen über die Terrasse der vorletzten Eiszeit auf und bei einem dieser Vorkommen, bei Churunga, findet sich auch eine sehr ebene, 500 mal 500 m große Fläche etwa 50 m über dem Niveau der vorletzten Eiszeit (siehe Profil 1 in Abb. 2 und Photo 3). Beim Durchmarschieren war mir die besondere Höhenlage der Churungafläche nicht bewußt; eine Untersuchung des Untergrundes unterblieb deshalb



Photo 3: Die Seti Khola oberhalb des Beckens von Pokhara (Blick flußaufwärts). Im Hintergrund die Annapurna-Kette (links Machapuchare 7000 m), rechts im Vordergrund das Dorf Hengjabesi (Gitternetz von Baumreihen). Dieses Dorf liegt auf einem eiszeitlichen Schwemmkegel der Seti Khola, der sich nicht nur flußabwärts, nach SE (nach rechts), sondern auch nach W (links), entgegen dem von W kommenden Nebenfluß Yangadi Khola, abdacht. Da die auf das Subhimalaya-Bergland beschränkten Nebenflüsse der Seti Khola keinen eigenen eiszeitlichen Akkumulationszyklus durchmachten, wurden sie aufgestaut, als ihr aus dem Himalaya kommender Vorfluter akkumulierte. In anderen Nebentälern der Seti Khola sind noch auf diese Weise entstandene natürliche Stauseen erhalten (z. B. die Pokhara-Seen).

Hinter dem Dorf Hengjabesi ist an einigen Stellen das Schotterbett der Seti Khola sichtbar. Jenseits der Seti Khola finden sich zunächst in lockeren Schottern ausgebildete Terrassen. Die oberste dieser Terrassen aus der letzten Eiszeit (bzw. dem Spät- oder Postglazial) ist die mit dem großen, hellen Komplex von noch nicht abgeernteten Reisfeldern. Darüber erheben sich mit einer etwa 40 m hohen Stufe Konglomerate, Ablagerungen der vorletzten Eiszeit (ihre Terrassenfläche trägt das Dorf Puranchaur). Die über die Terrassenfläche der vorletzten Eiszeit herausragende Kuppe (über dem Dorf) wird von Kalkbrekzien unbekannter Alters (Altquartär, Tertiär?) aufgebaut. Rechts dahinter noch eine große (helle) Terrassenfläche ca. 50 m über dem Terrassenniveau der vorletzten Eiszeit. Diese Terrasse ist eventuell einer drittletzten Eiszeit zuzuordnen. Das Querprofil 1 in Abb. 2 liegt etwa auf der Bild-Diagonalen links unten – rechts oben.

Aufnahmestandpunkt: Bergrücken 2 km SW Hengjabesi, 8 km NW Pokhara, Blick aus 1800 m Höhe nach NNE. Hor. Bildwinkel 80°. 2. 11. 71.

The Seti Khola north of the Pokhara basin, Annapurna range in the background. Right half of the foreground: the village of Hengjabesi, situated on an alluvial fan accumulated by the Seti Khola during the last cold period. This alluvial fan blocked the tributary Yangadi Khola (on left), which did not have a glacial accumulation period of its own. The first terraces behind the village of Hengjabesi and the Seti Khola were formed during the last Himalayan glaciation and in postglacial times; the highest of these terraces is the large bright one (rice fields). This terrace is surmounted by the Gaunda conglomerate (last but one cold period). The bright terrace above the Gaunda conglomerate terrace may perhaps be attributed to a third Himalayan glaciation.



Photo 4: Die Seti Khola an der Grenze Himalaya/Subhimalaya-Bergland. Blick aus 1600 m Höhe flußaufwärts nach N. Im Hintergrund die Gangapurna (7500 m, Annapurna-Kette). Die Terrassenflächen im rechten Bild Drittel wurden in der vorletzten Eiszeit gebildet, die sie aufbauenden Konglomerate sind besonders gut im senkrechten Abfall der nördlichsten dieser Terrassen zu erkennen. Im gleichen Niveau liegt am linken Bildrand, etwas unter der Bildmitte, die Terrasse mit dem Dorf Mirsa. Diese Terrassen aus der vorletzten Eiszeit überragen um etwa 100 m die in der Bildmitte und links vorne sichtbaren, aus Schottern (mit wesentlich geringerer Zementierung) aufgebauten Terrassen der letzten Eiszeit. Der große weiße Fleck links der Bildmitte wird nicht von quartären Akkumulationen, sondern von anstehendem Gestein gebildet: Abgrusender Mylonit, auf dem sich keine Vegetation halten kann. Photo 5 wurde (wieder nach N) von dieser Stelle aus aufgenommen. Während im Becken von Pokhara und weiter unterhalb die Konglomerate der vorletzten Eiszeit (Gaunda-Konglomerat) von den Schottern der letzten Eiszeit (Pokhara-Schotter) überlagert werden, erheben sie sich hier, am Südrand des Himalaya, über die Terrassen der letzten Eiszeit (Terrassenkreuzung oberhalb von Pokhara). Die Intensität der jungen Hebung nimmt nach N immer mehr zu, so daß 8 km oberhalb des Aufnahme standpunktes (bei dem bereits erwähnten großen hellen Fleck) schließlich alle Terrassen enden und ein reines Kerbtal beginnt (siehe Photo 5),

Aufnahmestandpunkt: 1 km SW Dhiprang, km 78 in Abb. 4, 1600 m Höhe, hor. Bildwinkel 42°, 20. 12. 72.

The Seti Khola at the limit between the Himalayas and Subhimalayan Mountains. View to the north (upstream) from about 1600 m altitude. The terrace levels in the right third of the picture and the higher one near the left margin (not that in the foreground on left) were formed during the last but one Himalayan glaciation, the others (centre and foreground left) during the last one or later. The bright spot in the remote ground of the valley (left part of the picture) is formed by mylonitic rock (not fluvial or glacial deposits). It marks the end of the Seti Khola terraces and the beginning of the more V-shaped valley. Picture 5 is taken from there.

leider. Hier sehe ich beträchtliche Chancen, eine drittletzte Eiszeit nachzuweisen.

An der Marsyandi Khola konnte ich bei Tarkughat auf der östlichen Talseite Schotter und Brekzien bis

100 m über der großen Rainastarfläche („Niveau 4“ bei DOLLFUSS und USSELMANN) finden. Wenn man die Rainastarfläche aufgrund ihres mächtigen roten Bodens in die vorletzte Eiszeit stellt, so ergibt sich also



Photo 5: Blick flussaufwärts nach N in das Himalaya-Kerbtal der Seti Khola. Unmittelbar unterhalb (südlich) des Standpunktes beginnen die ersten Schotterterrassen. Im vor uns liegenden Kerbtalbereich zeigen die nach unten immer steiler werdenden Hänge die intensive junge Hebung an. Trotz der geringen Meereshöhe (Flußbett im Vordergrund 1500 m) ist das schwer gangbare Tal von hier ab unbesiedelt.

Aufnahmestandpunkt: 2 km oberhalb Santal, auf der Kuppe (1700 m) mit der weißen Mylonitflanke (siehe Bild 4). Hor. Bildwinkel 80°, 21. 12. 71.

V-shaped valley of the Seti Khola inside the Himalayas (Annapurna range). View upstream, from about 1700 m altitude. The slopes, whose steepest parts are near the river, indicate the intensive recent uplift of the region.

auch hier eine Akkumulationsphase vor der vorletzten Eiszeit.

Zusammenfassung. In Zentralnepal ist der Gegensatz zwischen Himalaya und Subhimalaya-Bergland außergewöhnlich scharf. Südlich der Himalaya-Ketten Annapurna, Himalchuli und Ganesh Himal verläuft eine junge Senkungszone, in der es entlang der Flüsse im Quartär zu mächtigen Schotterakkumulationen und zu Terrassenbildung gekommen ist. In Ostnepal fehlt eine derartige Akkumulationszone in der Nordhälfte des Subhimalaya-Berglandes. Eine Schlüsselstellung für die zeitliche Einordnung der Terrassensysteme Zentralnepals nehmen die Ablagerungen an

der Seti Khola (Pokhara) ein. Es lassen sich dort zwei Haupttypen von quartären Ablagerungen, die Pokharaschotter und das Gaunda-Konglomerat, klar unterscheiden, über 60 km verfolgen und zwei verschiedenen Eiszeiten zuordnen. Großräumige tektonische Verbiegungen in der Zeit zwischen der vorletzten und der letzten Eiszeit haben zu Terrassenkreuzungen geführt: Oberhalb von Pokhara sind die jüngeren Ablagerungen in die älteren eingeschachtelt, im Pokharabecken und bis 16 km unterhalb davon herrscht Übereinanderlagerung der Schotter der beiden Eiszeiten. Außerdem konnten Ablagerungen und Terrassen gefunden werden, die wahrscheinlich einer drittletzten Himalaya-Eiszeit angehören. Bei seinem Reichtum an (bisher nur



Photo 6: Der große Gefällsknick der Kali Gandaki bei Lete (Bildmitte, 2600 m), südöstlich des Dhaulagiri (im Hintergrund rechts, 8170 m). Links der Bildmitte beginnt die Steilstrecke der Kali Gandaki, in der der Fluß auf 12 km Entfernung mehr als 1000 m Höhendifferenz überwindet. Rechts der Bildmitte beginnt (durch die Kuppen verdeckt) die große Schottersohle, die auf 40 km Entfernung nur 300 m ansteigt (die Schottersohle rechts unten gehört einem Nebenfluß). Dieser Gefällsknick der Kali Gandaki ist nicht durch tektonische Heraushebung bedingt, sondern durch einen Bergsturz von der Dhaulagiriseite (Hintergrund) bedingt. Das Schichtfallen bietet hier ideale Voraussetzungen zur Bildung riesiger Abrißnischen; die Talverschüttung hat etwa 500 m Mächtigkeit. Der Dhaulagirigletscher (im Hintergrund rechts) hat in der Eiszeit bis zum Talboden hinabgereicht; im Bild links unten (bei den Waldstreifen, schwer erkennbar) befinden sich Moränenwälle.

Aufnahmestandpunkt: Nimek Danda (3900 m, 3 km NNE Dana), Blick nach NW, hor. Bildwinkel 80°, 2. 12. 71.

View (direction NW) over the Kali Gandaki valley at Lete (2600 m, centre of the picture) to the Dhaulagiri (8170 m). On the left, the beginning of the Ghasa Gateway, where the Kali Gandaki river descends 1000 m within a distance of only 12 km. Right of Lete, covered by the hills in the midground, begins the 40 km long flat sloping alluvial plain of the Kali Gandaki (the alluvial plain in the near middleground belongs to a tributary). The break of slope of the Kali Gandaki river profile at Lete is not caused by tectonic movements but by a vast landslide coming from the opposite (northwestern) side of the valley (left third of the picture). The Dhaulagiri glacier (right of Dhaulagiri) reached the valley ground during the glacial period.

wenig erforschten) quartären Ablagerungen kommt Zentralnepal eine besondere Bedeutung bei der Quartärgliederung in Asien zu.

Die Photos ergeben in folgender Reihe ein Profil entlang der Seti Khola: Photo 5 (nördlichstes Bild), 4, 3, 1 und 2 (südlichstes Bild).

Literatur

- BOESCH, H.: Morphologische Beobachtungen in Ost-Nepal. *Geographica Helv.* XX, S. 77–83, 1965.
- BORDET, P., COLCHEN, M., KRUMMENACHER, D., LE FORT, P., MOUTERDE, R. und REMY, M.: Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région de la Thakkhola. CNRS, Paris 1971.

- DOLLFUSS, O. und USSELMANN, P.: Recherches géomorphologiques dans le centre-ouest du Népal. CNRS, Paris (o. J., wahrscheinlich 1971).
- FUCHS, G. und FRANK, W.: The Geology of West Nepal between the Rivers Kali Gandaki and Thulo Bheri. Jahrb. d. Geol. Bu-Anst., Sonderbd. 18, Wien 1970.
- GANSSER, A.: Geology of the Himalayas. London 1964.
- H. M. *Government of Nepal*: The physical development plan for the Kathmandu Valley. Kathmandu 1969.
- GURUNG, H. B.: Pokhara Valley. Edinburgh 1965.
- HAFFNER, W.: Ostnepal – Grundzüge des vertikalen Landschaftsaufbaus. Khumbu Himal, Ergebn. Forsch.-Untern. Nepal Himalaya, Bd. 1, Liefg. 5, S. 389–426, 1967.
- HAGEN, T.: Report on the Geological Survey of Nepal, Vol. 2: Geology of the Thakkhola. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bd. LXXXVI/2, Zürich 1968.
- : Report on the Geological Survey of Nepal, Vol. 1: Preliminary Reconnaissance. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges., Bd. LXXXVI/1, Zürich 1969.
- HEUBERGER, H.: Beobachtungen über die heutige und eiszeitliche Vergletscherung in Ostnepal. Zeitschr. f. Gletscherkd. und Glazialgeol. Bd. III, H. 3, S. 349–364, 1956.
- LOMBARD, A.: Un itinéraire géologique dans l'est du Népal. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bd. 77/1, 1958.
- OESTERREICH, K.: Die Täler des nordwestlichen Himalaya. Pet. Mitt. Erg.-H. No 155, Gotha 1906.
- PAFFEN, KH., PILLEWIZER, W. und SCHNEIDER, H.-J.: Forschungen im Hunza-Karakorum. Erdkunde Bd. X, S. 1–33, 1956.
- SCHWEINFURTH, U.: Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya. Bonner Geogr. Abh. H. 20, Bonn 1957.
- TURNER, R. L.: A Comparative and Etymological Dictionary of the Nepali Language, Reprint, London 1965.
- WADIA, D. N.: Geology of India. 3. Aufl., New York 1961.
- WISSMANN, H. v.: Die heutige Vergletscherung und Schneegrenze in Hochasien. Abh. d. math.-nat. Kl. d. Akad. d. Wiss. u. Lit. Mainz, Nr. 14, S. 1101–1407, 1959.

GLAZIALE UND PERIGLAZIALE FORMBILDUNG IN HOCH-SEMYEN, NORD-ÄTHIOPIEN

Mit 4 Abbildungen, 6 Photos und 2 Tabellen

STEFAN HASTENRATH

Summary: Glacial and periglacial phenomena in High Semyen, North Ethiopia.

Glacial morphology in the peak regions of High Semyen is mapped, and altitudinal zonation of periglacial phenomena is studied in an effort to expand on recent field work in the high mountains of East Africa.

Soil frost phenomena are found upwards of 3700 m, with turf exfoliation and micro-terraces in the vegetation cover occurring between 3780 and more than 4350 m. Above 4250 m, stone stripes, fine earth stripes and polygons are most conspicuous, the characteristic dimension of polygons being considerably smaller than in the East African mountains. In general, observations are spatially consistent with conditions in East Africa. A marked asymmetry in the development of periglacial forms is noted, with exposures towards the northerly and westerly quadrants being favoured over the southerly and easterly directions.

Multiple moraine complexes and cirques are embedded in valleys in the northerly and westerly quadrants of Ras Dadjan, Buahit, and Silki-Abba Yared. Moraines are deeply weathered and carry abundant vegetation. Cirque bottoms lie around 4200–4300 m; lowest moraine ends reach to below 4000 m, and in the massif of Silki-Abba Yared even to about 3750 m.

The North-South contrast in glacial and periglacial morphology caused by radiation is peculiar to the outer tropics, and does not occur in equatorial East Africa. The West-East asymmetry results from the powerful diurnal control of circulation systems in low-latitude mountain massifs. This is characterized by a maximum of cloudiness and precipitation in the afternoon, thus reducing the daily totals of insolation on slopes of westerly aspect.

From a comparison with the high mountains of East Africa in terms of altitudinal location, soil and vegetation conditions, it is concluded that the moraines in the peak

regions of High Semyen were not formed in the course of the last few centuries. In the absence of absolute dating the lowest large moraines can tentatively be correlated with moraine complexes widely occurring on Mts. Kenya and Kilimanjaro with ends around 3400 m (11,000 ft.). The multiple smaller moraines in the upper portion of valleys in High Semyen may have their corollary in similarly arranged moraine arcs around 4000 m on Mts. Kenya (13,000–14,000 ft.) and Kilimanjaro (13,000 ft.). A hypothetical older glaciation in High Semyen extending to below 2600 m may need corroboration in the field; if confirmed, it may have to be viewed in perspective with incomplete indications of older lower-reaching glaciations reported for Mts. Kenya and Kilimanjaro. Other correlations between geomorphic events in High Semyen and the mountains of East Africa appear in context less satisfactory.

Pleistozäne Vereisung und klima-morphologische Höhenstufung in den tropischen Hochgebirgen gewinnen zunehmend Beachtung für Fragen der Geo-Ökologie und großräumiger Umweltsveränderungen. Für Ostafrika wird das Verständnis des glazialen und periglazialen Formenschatzes durch den räumlichen Zusammenhang mit der heutigen Gletscherwelt erleichtert. Die hauptsächlichen Moränenkomplexe im Kilimandscharo-Massiv und am Mount Kenya sind nahezu gänzlich kartiert (HUMPHRIES, 1972; BAKER, 1967); ein weniger vollständiges Inventar ist für die Ruwenzoris verfügbar (DE HEINZELIN, 1962; OSMASTON, 1965); Spuren pleistozäner Vereisung am Mount Elgon und in den Aberdares sind, abgesehen von NILSSONS (1940) früheren Aufnahmen, im Gelände und im Luftbild offensichtlich. Literaturangaben konnten im Laufe