Zeitschrift: Bericht über die Tätigkeit der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft

Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft

Band: 76 (1956-1958)

Artikel: Über den geologischen Bau des Nepal-Himalaya mit besonderer Berücksichtigung der Siwalik-Zone und der Talbildung

Autor: Hagen, Toni

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-832792

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ÜBER DEN GEOLOGISCHEN BAU DES NEPAL-HIMALAYA

mit besonderer Berücksichtigung
der Siwalik-Zone und der Talbildung

von
TONI HAGEN

Mit 10 Figuren im Text und 9 Tafeln

Zollikofer & Co. AG, Buchdruckerei, St.Gallen
1959

INHALTSVERZEICHNIS

I. Natürliche Gliederung 7
II. Über die Grundzüge des geologischen Baus des Nepal-Himalaya 12
1. Die tektonischen Einheiten 12
2. Die Wurzelzonen 18
3. Alte Grabenstrukturen 22
4. Parautochthone Zonen im Mittelland 23
5. Strukturen im Mittelland 23
6. Frühe Anlage der Transversalstrukturen 25
III. Die Siwaliks 27
1. Allgemeines 27
2. Lithologie 28
3. Über die Fauna 30
4. Der Bau der Siwalik-Zone in Nepal 31
a) Erläuterungen zu Tafel 4, Ostnepal 31
b) Erläuterungen zu Tafel 5, Zentralnepal 36
c) Erläuterungen zu Tafel 6, Zentralnepal 37
d) Erläuterungen zu Tafel 7, Westnepal 38
IV. Gebirgsbildung und Gewässernetz 41
1. Heutige Flußsysteme 41
2. Tektonik und Gewässernetz 44

Verzeichnis der Abbildungen im Text

Fig. 1 Das Relief von Nepal 12
Fig. 2 Die Gliederung Nepals in Naturräume 13
Fig. 3 Tektonische Kartenskizze von Nepal 22
Fig. 4 Die tektonischen Wurzelbogen 23
Fig. 5 Die Machhapuchhare, 6997 m (Annapurna), von Süden 30
Fig. 6 Die Schichtrippenlandschaft der Siwaliks 31
Fig. 7 Die Siwalik-Überschiebung von Petkot (Westnepal) 42
Fig. 8 Kartenskizze des Gewässernetzes und der Wasserscheiden 43
Fig. 9 Die Everest-Makalu-Gruppe von Osten her, über das Arun-Tal gesehen 31
Fig. 10 Die Verteilung der Nagelfluh der Oberen Siwaliks und ihre Beziehung zu wahrscheinlichen alten Flußläufen 48

Verzeichnis der Beilagen

Tafeln 1–3 Tektonische Profile durch den Nepal-Himalaya . . . . } Unter
Tafeln 4–7 Geologische Kartenskizzen der Siwalik-Zone . . . . . } Streifband
Tafeln 8–10 Geologische Profile durch die nepalische Siwalik-Zone . } im Anhang

I. NATÜRLICHE GLIEDERUNG

Das Königreich Nepal liegt zwischen Tibet und Indien und erstreckt sich vom 80. bis zum 88. Längengrad und vom 27. bis zum 30. Breitengrad. Mit seiner Fläche von rund 141 000 km² ist das Land ungefähr viermal so groß wie die Schweiz. Es bildet ein langgestrecktes Viereck, welches sich auf über 900 km Länge vorwiegend an der Südabdachung des Himalaya hinzieht (Fig. 1, S. 12). An seiner schmalsten Stelle, im Querschnitt, östlich von Kathmandu, ist das Land nur 130 km breit, während es in Westnepal, im Querschnitt des Karnali-Flusses, eine Breite von 255 km erreicht. Während östlich des Meridians von Kathmandu die Hauptkette des Himalaya gleichzeitig die Grenze gegen Tibet bildet, reicht westlich davon das nepalische Territorium weit über die Hauptkette auf das tibetische Plateau hinaus.

Auf Grund seiner Lage ist Nepal der tropisch-subtropischen Klimazone zuzurechnen. Die Gebirge verursachen allerdings eine Klimaverschiebung, welche bis zum arktischen Bereich greift.

Der Himalaya weist nun gegenüber den meisten andern Gebirgen eine Sonderheit auf: Die höchste Kette ist nicht gleichzeitig auch Hauptwasserscheide. Diese liegt vielmehr stellenweise weit nördlich der Hauptkette, und die dort entspringenden Flüsse traversieren die Hauptkette in gewaltigen Durchbruchsschluchten.

Der Nord-Süd-Querschnitt von Nepal zeigt eine ausgesprochene Gliederung in Naturräume, welche geologisch bedingt sind, nämlich von Süden nach Norden:

Der Terrai: Dies ist der nepalische Anteil an der Alluvialebene des Ganges. Er liegt nur durchschnittlich 200 m über Meer und zeigt praktisch keinen Anstieg zum Fuß des Gebirges. Nur in wenigen, lokal begrenzten Zonen ist das Ganges-Alluvium durch jüngste Krustenbewegungen etwas gehoben. Aus diesem Grunde ist die Grenze Alluvialebene-Gebirge eine scharfe Linie, ohne irgendwelchen Übergang. Die südlichsten Gebirgsketten steigen also nicht allmählich aus der Gangesebene an wie etwa unsere Alpen aus dem schweizerischen Mittelland über die vermittelnde gefaltete und überschobene Molasse und über die Voralpen.

Dies bedeutet jedoch nicht, daß das Molassegebirge am Nordrand der Gangesebene direkt fehlen würde; die nach Süden ausklingen-

den Molassegebirge sind nur ins frühere Gangesmeer und Gangesbecken abgesunken und vom Ganges-Alluvium zugedeckt worden.

Der nepalische Terrai bildet einen Streifen von durchschnittlich 30 bis 40 km Breite. Nur östlich des Narayani-Flusses (Fig. 2 und 4, S. 13/23) verläuft die indisch-nepalische Grenze auf etwa 60 km Länge unmittelbar am Fuß des Gebirges.

Der Südteil des nepalischen Terrai ist dicht besiedelt, und zwar mit vorwiegend indo-arischer Bevölkerung. Nepalische Bevölkerung der sogenannten tibeto-birmanischen Gruppe findet sich nur in den großen Handelszentren, in welche die Handelswege aus dem nepalischen Hinterland einmünden. Der nördliche Teil des Terrai ist von dichten Urwäldern bedeckt. Diese enthalten nur einzelne kleine Siedlungen in Rodungsinseln. Dafür beherbergen sie aber noch eine Menge wilder Tiere, wie Tiger, Leoparden, Bären, wilde Büffel und Rhinozeros.

Siwalik-Kette. Der Name Siwalik ist von Shiwa Lekh abgeleitet; denn Shiwa ist ein hinduistischer Gott, Lekh bedeutet Gebirge auf nepalisch. Die Siwaliks, das südlichste Randgebirge, erhebt sich vorwiegend ganz unvermittelt aus dem Terrai. Das Siwalik-Gebirge entspricht geologisch der Molasse entlang dem Alpenrand. Die Tektonik der Siwaliks weist große Ähnlichkeiten mit der alpinen Molasse auf, wogegen die lithologischen Verhältnisse ziemlich verschieden sind. Ein großer Unterschied zwischen der Siwalik-Zone und der alpinen Molasse besteht aber auch darin, daß das Siwalik-Gebirge teilweise von der nächst nördlich gelegenen Mahabharat Lekh durch ausgedehnte Längstäler abgetrennt ist. Diese heißen *Dun.* Hie und da hört man in Nepal hiefür auch die Bezeichnung «Mid Terrai». Von Westen nach Osten können die folgenden großen Dun ausgeschieden werden: Surkhet, Dang und Chitawan (Fig. 2 und 3, S. 13/22).

Die Siwalik-Zone ist – wie der Nordteil des Terrai – praktisch unbesiedelt; nur den Hauptrouten entlang finden sich vereinzelte kleine Dörfer und Weiler. Es ist ein ausgesprochen unwirtliches Gebiet mit einer wild zerrissenen und von Urwald bedeckten Schichtrippenlandschaft (Fig. 6, S. 31). Im Gegensatz zu den Alpen ist die Siwalik-Zone mehr linear angeordnet, mit zum Teil mehreren hintereinander liegenden Ketten und zwischenliegenden Isoklinaltälern.

Terrai und Siwalik-Zone sind von April bis Oktober schwere Malariagebiete und deshalb in dieser Zeit menschenleer. Im Winter

allerdings marschiert auf den Hauptrouten vom nepalischen Hinterland zu den großen Marktplätzen an der indischen Grenze ein kontinuierlicher Strom von schwerbeladenen nepalischen Bauern, die ihre Produkte auf den Markt bringen.

Die durchschnittliche Höhe der Siwalik-Ketten liegt zwischen 1000 und 1500 m. Die größten Höhen reichen bis rund 2000 m. In Westnepal (nördlich Tsamali) steigen sie direkt aus der Gangesebene steil bis zur genannten Höhe an.

Die *Mahabharat Lekh* – nach dem berühmten altindischen Epos Mahabharat so benannt – erreicht Höhen bis rund 3000 m. Sie bildet einen natürlichen Schutzwall für das weiter nördlich gelegene, wieder bedeutend tiefere und sanfter geformte nepalische Mittelland. Geologisch entspricht die Mahabharat Lekh den Deckenfronten der großen Überschiebungsdecken der Alpen. Die Strukturen entsprechen teilweise etwa unsern Randketten, wie Säntis oder Pilatus.

Mit erstaunlicher Regelmäßigkeit zieht sich die Mahabharat Lekh durch das ganze Land, von Sikkim im Osten bis Garhwal im Westen, das ist eine Distanz von über 900 km (Fig. 1 und 2, S. 12/13). Die Mahabharat Lekh weist im allgemeinen steile Geländeformen auf und ist demzufolge vorwiegend nur dünn besiedelt. In einzelnen Zonen, wo ihre Höhe nicht über 2000 m steigt, wie zum Beispiel bei Palpa-Tansing, finden sich darauf allerdings größere Siedlungen und sogar Städte.

Das *nepalische Mittelland* erstreckt sich in der Längenausdehnung von Sikkim bis Garhwal, also durch das ganze Land. Es ist im Süden durch die Mahabharat Lekh und im Norden durch die Hauptkette des Himalaya eingefaßt. Das Mittelland weist im allgemeinen sanftere Geländeformen auf. Die weiten Talböden der großen Flüsse liegen nur 500 bis 800 m über Meer, und auch die Höhenzüge im Mittelland selbst steigen im allgemeinen kaum über 2000 m.

Das nepalische Mittelland beherbergt den größten Teil der 8,4 Millionen Menschen in Nepal. Aus dem relativ geringen Flächenanteil (nur rund 25 %), welcher das Mittelland im gesamten Land Nepal einnimmt, kann man ermessen, daß die Bevölkerungsdichte dort sehr groß sein muß (Fig. 2, S. 13).

Während die Mahabharat Lekh sich mit großer Regelmäßigkeit von Osten nach Westen durch das Land zieht, weist das Mittelland auch in der genannten Längsrichtung eine gewisse Gliederung auf.

Das Mittelland ist am deutlichsten ausgeprägt zwischen dem Kali Gandaki im Westen und dem Dudh Kosi im Osten, ferner wieder in den weiten Becken des Arun und des Tamur (Fig. 2, S. 13). Zwischen dem Kali Gandaki und dem Seti Ganga im Westen ist das Mittelland durch eine viel höher gelegene Zone unterbrochen, welche bis über 4000 m steigt (Fig. 1, S. 12). Dies ist der *Vorhimalaya*, welcher sich im Gebiete des Mittellaufs des Karnali nach Süden vorschiebt. Es sind die Gebirgsketten des Hiunchuli, Chakhure Lekh, Takhurji Lekh, Chuli Lekh und Raskot Lekh, welche in weitem Bogen unter anderm das 2400 m hoch gelegene *Becken von Jumla* umfassen. Dieses Becken weist ein vom übrigen Mittelland verschiedenes Klima und demzufolge auch andersgeartete Vegetation auf. Es ist aber trotz der relativ großen Höhe von vorwiegend indoarischen Volksgruppen relativ dicht besiedelt.

Auch in Ostnepal, im Meridian des Kangchendzönga, ist das Mittelland durch einen großen Nord-Süd streichenden Gebirgszug unterbrochen. Es ist die Singalila-Kette, welche sich vom Kangchendzönga nach Süden zieht und sich schließlich mit der Mahabharat-Kette vereinigt (Fig. 1, S. 12).

Im Einzugsgebiet östlich des Kali Gandaki steigt der *Hochhimalaya* ganz unvermittelt aus dem nepalischen Mittelland auf. Die Annapurna zum Beispiel erhebt sich aus der Ebene von Pokhara (700 bis 800 m) auf eine Horizontaldistanz von nur 25 km bis zur gewaltigen 8000 m hohen und 50 km langen Barriere (Fig. 5, S. 30).

Geologisch entspricht das *Mittelland* den zur Hauptsache *überschobenen Deckenmassen* mit relativ flachen Strukturen.

Die *Hauptkette des Himalaya* trägt die höchsten Berge der Erde. Sie ist durch die weit im Norden entspringenden großen Flüsse in einzelne Gruppen gegliedert, nämlich von Westen nach Osten (vgl. Karte): Api-Saipal, Kanjiroba, Dhaulagiri, Annapurna, den Gurkha Himal mit Manaslu und Himalchuli, Ganesh Himal, Langtang Himal, Rolwaling Himal mit Gauri Sankar, Cho Oyu, Everest 8848, Makalu und schließlich den Kangchendzönga.

Zwischen den einzelnen Gebirgsgruppen zwängen sich die Durchbruchsflüsse in den gewaltigsten Schluchten der Erde nach Süden. So fließt zum Beispiel der Kali Gandaki zwischen Annapurna und Dhaulagiri bei Dana in einer Höhe von nur 1200 m, während die beiden genannten Achttausendergipfel in Luftlinie nur 35 km voneinander entfernt sind.

Auch die Gipfel des Manaslu und der Annapurna Nr. 2 liegen etwa gleich weit voneinander entfernt, und dazwischen zwängt sich der Marsyandi in seiner Schlucht nur 1400 m über Meer nach Süden.

Die großen Durchbruchsflüsse entspringen am sogenannten *tibetischen Randgebirge*, an der Wasserscheide zwischen dem Tsangpo und dem Ganges-System. Dieses weist durchschnittlich Höhen von nur 6000 bis 6500 m auf. Ausnahmsweise steigen seine Gipfel bis zur Siebentausendergrenze. Der Zwischenraum zwischen der Himalaya-Hauptkette und dem tibetischen Randgebirge schwankt zwischen wenigen Kilometern und bis über 60 km (zum Beispiel im Langu-Becken nördlich des Dhaulagiri).

Die Flüsse haben zwischen dem Haupthimalaya und dem tibetischen Randgebirge zum Teil breite Talbecken ausgeräumt. Diese werden als *Innerer Himalaya* bezeichnet (Fig. 1 und 2, S. 12/13). Der Innere Himalaya ist besonders gut ausgebildet im Oberlauf des Humla Karnali, im Langu-Becken, im Thakkhola, im Manangbhot, im Kutang, im Becken von Kyirong, im Rongshar und im Phung Chu (Oberlauf des Arun). Landschaftlich bildet der Innere Himalaya eine Übergangszone vom nordindischen Monsungebiet zur ariden Zone des tibetischen Hochlandes. Das tibetische Randgebirge grenzt, wie schon in seinem Namen ausgedrückt wird, das tibetische Hochland gegen Süden ab.

Die *heutige Wasserscheide* liegt nicht mehr überall auf dem tibetischen Randgebirge. Infolge der von Süden verstärkten Erosion haben zum Beispiel der Kali Gandaki und der Phung Chu sich rückwärts nach Norden eingeschnitten und Teile des ehemaligen tibetischen Plateaus erfaßt (Fig. 8, S. 43).

Geologisch entspricht die Hauptkette den steilgestellten Wurzeln der Decken, während das Randgebirge die Grenze bildet zwischen dem durch relativ steifes Verhalten ausgezeichneten, gehobenen tibetischen Plateau und der kompliziert gebauten Faltungs- und Schuppenzone des Inneren Himalaya.

Östlich des Meridians von Kathmandu bildet die Hauptkette des Himalaya die Grenze gegen Tibet. Westlich der genannten geographischen Länge verläuft die Grenze vorwiegend auf dem tibetischen Randgebirge. Das Becken von Mustang im nördlichsten Zipfel von Nepal ist dem eigentlichen tibetischen Plateau zuzuschreiben, obschon auch das Mustangbecken noch nach Süden entwässert wird.

II. ÜBER DIE GRUNDZÜGE DES GEOLOGISCHEN BAUS DES NEPAL-HIMALAYA

1. Die tektonischen Einheiten

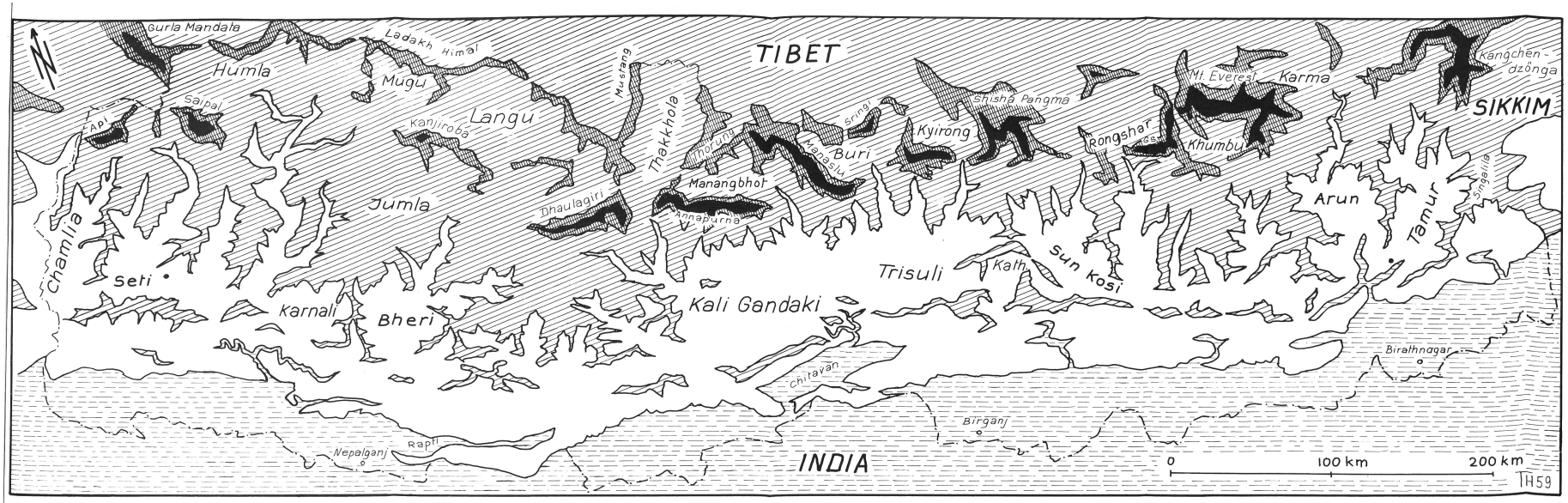
Als der Verfasser 1950 zum ersten Male nepalischen Boden betrat, befand er sich geologisch weitgehend in Neuland. Nur einige wenige Begehungen um die Hauptstadt Kathmandu lagen vor sowie einige «traverses» des Altmeisters der Himalaya-Geologie, J. B. AUDEN vom Geological Survey of India. So fragmentarisch die Beobachtungen des letzteren auch waren, so hat er doch einige Wesenszüge der Geologie Südostnepals schon erkannt, wie etwa die Mahabharat-Synklinale im Tamur in Ostnepal, dann die Auflage von «Darjeelinggneisen» auf jüngeren Sedimenten, die er mit der sogenannten «Krol»-Serie verglich. Östlich von Kathmandu vermutete er bei Deopur unter den Darjeelinggneisen andersgeartete Formationen. Doch war es ihm unter der Bewegungseinschränkung des damaligen Regimes nicht möglich, jenen Aufschlüssen nachzugehen.

Der englische Geologe BOWMAN bestimmte einige Krinoiden vom Chandragiripaß südlich Kathmandu als Ordovizien. Ferner lagen einige wenige fragmentarische Untersuchungen in der Siwalik-Zone vor im Hinblick auf gewünschte Kohle- und Erdölvorkommen.

Dem Verfasser war es in achtjähriger Feldarbeit vergönnt, das Gesamtgebiet von Nepal kreuz und quer zu durchwandern. Die Deckenstruktur stand für ihn schon nach wenigen Begehungen im Gebiet von Kathmandu außer Zweifel. Im folgenden sollen nun in kurzen Zügen die tektonischen Leitlinien des Nepal-Himalaya skizziert werden.

Die *Hauptkette* des Himalaya mit den höchsten Gipfeln wird durchweg aus steil nordfallenden Serien von kristallinen Gesteinen gebaut. Diese bilden die *Wurzeln* der Decken, welche von hier aus nach Süden überschoben worden sind. Die kristallinen Hauptdecken wurden unter dem Namen der *Kathmandu-Decken* zusammengefaßt. Der Südrand der Decken, wo diese auf die Molasse(-Siwaliks) aufgeschoben sind, wird als «Main Boundary Thrust» bezeichnet. Diese bestehen aus Formationen, welche vom Präkambrium bis zum Silur-Devon reichen. Die ursprünglichen Sedimente sind allerdings durch

Fig. 1



weniger als 300 m

300 m – 2000 m

2000 m – 6000 m

6000 m – 7000 m

über 7000 m

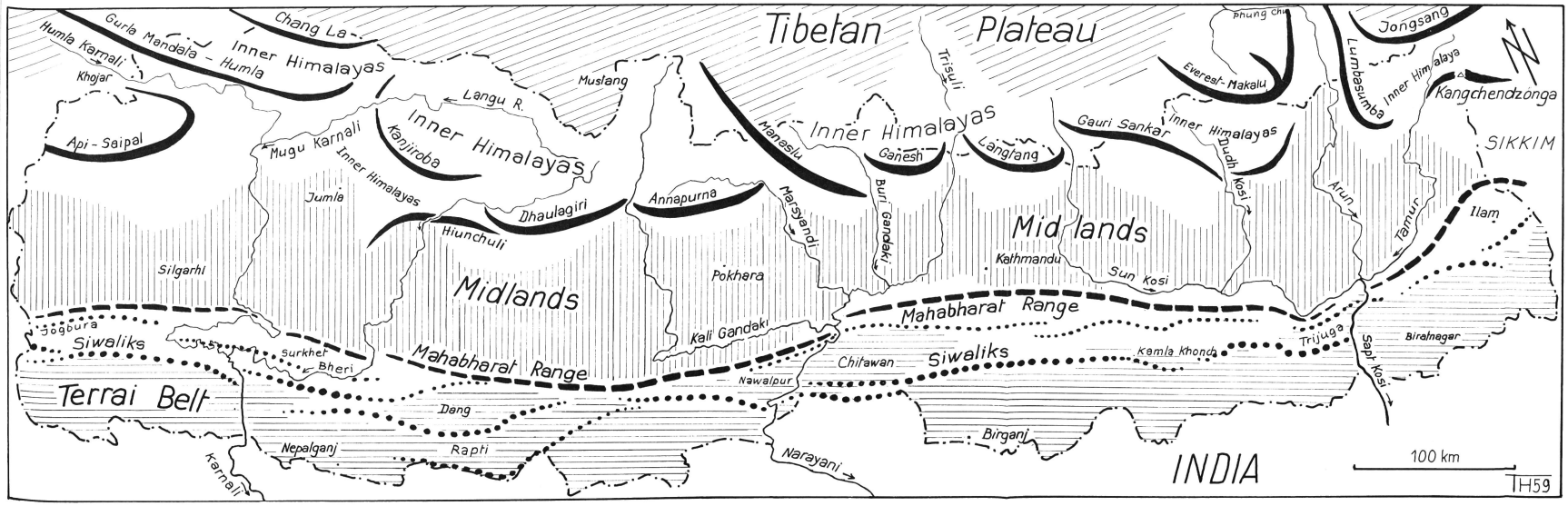


Fig. 2

Great Himalaya Range
(root-arcs of the main nappes)

Midlands

Mahabharat Range

Siwaliks

Terrai Belt

mannigfache Intrusionen verdrängt oder zu Gneisen und kristallinen Schiefern, Kalksilikatgesteinen und Kalkmarmoren umgewandelt worden. Es gibt aber gleichwohl Zonen, in denen die ursprünglichen Sedimente von der Metamorphose fast nicht erfaßt worden sind, wie zum Beispiel am Phulchok südlich Kathmandu. Hier kann denn auch einigermaßen ein stratigraphisches Profil erkannt werden.

Schon in früheren Publikationen des Verfassers wurden die Kathmandu-Decken mit den Garhwal-Decken von J. B. AUDEN verglichen. Die Garhwal-Decken entsprechen anderseits wieder dem «Zentralgneis» und der «Almora Thrust mass» von HEIM und GANSSER. Beim Abschluß der Feldarbeit in Westnepal konnte diese Verbindung auch tatsächlich im Feld festgestellt werden.

Die Zone der Garhwal-Decken ist schon seit langem als «unfossiliferous» in die Fachliteratur eingegangen. Dies ist verständlich unter Berücksichtigung der starken Metamorphose, welcher diese Formationen unterlegen sind.

Es gelang jedoch dem Verfasser im Jahre 1956 am Phulchok südlich Kathmandu, in Zusammenarbeit mit Mr. B. P. MALLA, Mining Engineer des Nepal Bureau of Mines, neben Krinoiden und andern Fossilresten auch gut erhaltene Trilobiten von silurischem Alter zu finden. Von hier ausgehend, war es bis zu einem gewissen Grade möglich, die Serien der überschobenen Kathmandu-Decken zu gliedern.

Ein Blick auf die tektonische Karte von Nepal zeigt, daß die Kathmandu-Decken in zwei verschiedene Zonen von der Wurzelzone in der heutigen Hauptkette weit nach Süden überschoben worden sind (Fig. 3, S. 22), nämlich zwischen Kathmandu und dem Arun-Tal in Ostnepal und im Gebiet von Jumla-Dailekh in Westnepal (Tafel 3, Profil 80). In beiden genannten Zonen sind die Kathmandu-Decken in Synklinalen mit axialen Depressionen vor der Erosion bewahrt geblieben (Fig. 3, S. 22).

Es darf angenommen werden, daß zwischen den Meridianen von Kathmandu und Dhaulagiri die überschobenen Massen der Kathmandu-Decken vorhanden gewesen, jedoch durch die Erosion abgetragen worden sind. Das gleiche dürfte zutreffen westlich des Meridians des Saipal. Westlich außerhalb von Nepal treten ja die überschobenen «Zentralgneise» wieder in Erscheinung, wie HEIM und GANSSER und J. B. AUDEN festgestellt haben. Die Synklinalform, in welcher die Schubmassen von Almora erhalten geblieben sind, setzt

sich von Garhwal nach Osten, nach Nepal hinein, fort als Baitadi-Synklinale (Fig. 3, S. 22). Da diese aber nach Osten einen starken axialen Anstieg aufweist, sind in Nepal selbst die überschobenen Kristallinmassen nicht mehr vorhanden. Die Zone von Tejam von HEIM und GANSSER entspricht dabei den Bajang-Decken in Nepal.

In den überschobenen Kathmandu-Decken zwischen Kathmandu und dem Arun treten in der Kosi-Antiklinale die liegenden Nawakot-Decken in einem tektonischen Fenster von rund 160 km Länge zum Vorschein. Dies ist das *tektonische Fenster von Okhaldhunga* (Fig.3, S. 22; Tafel 3, Profile 80). Darin lappen von Norden her die Kathmandu-Decken als zwei Halbklippen hinein. Ein kleineres tektonisches Fenster besteht im Arun-Tal, bei Dumlingtar.

Zwischen Jumla und Saipal erscheinen die liegenden Formationen erneut im tektonischen Doppelfenster von Galwa (Fig. 3, S. 22). Faziell gehört diese Zone zu den Bajang-Decken, jedoch dürfte die tektonische Stellung der Triasformationen in der Galwa-Zone als autochthon bis parautochthon bezeichnet werden. Östlich des Arun biegt das Streichen der Kathmandu-Decken abrupt nach Südosten ab, und sie enden unter spitzem Winkel an der Main Boundary Thrust etwa 20 km nordöstlich Dharan (Fig. 3 und 4, S. 22/23).

In den Kathmandu-Decken konnten maximal fünf einzelne Dekken ausgeschieden werden. Doch nicht über das ganze Gebiet sind alle fünf Decken gleichzeitig entwickelt. Östlich des Gaurisankar verkümmert beispielsweise die Kathmandu-Decke Nr. 4.

Die Wurzel der Kathmandu-Decke Nr. 5 leitet mittels der *Himalaya-Randschuppenzone* über zum *tibetischen Randsynklinorium*. Dieses besteht aus ziemlich vollständigen Serien vom Kambrium bis zum obersten Mesozoikum. Die tieferen Schichten sind allerdings teilweise durch Granitintrusionen ersetzt, so daß stellenweise die silurisch-devonischen Kalke direkt auf dem Granit aufliegen (zum Beispiel am Dhaulagiri). Das tibetische Randsynklinorium weist komplizierte Falten- und Schuppentektonik auf mit ausgeprägten Rückfaltungserscheinungen im Südteil, in der Nähe der Deckenwurzeln.

In zwei Zonen in Nepal ist das tibetische Randsynklinorium gut ausgebildet, nämlich im Saipal-Becken und im Gebiet von Langu-Thakkhola-Manangbhot (Fig. 3, S. 22). Besonders interessant ist das letztere Gebiet. Die entsprechende Sedimentzone ist ringsum von Kristallin eingefaßt, nämlich von den Deckenwurzeln im Süden

und vom Mustang- und Manaslu-Gebiet im Norden. Infolge starken axialen Anstieges der Synklinoriumsaxe nach Westen und nach Osten verbinden sich die genannten Granite östlich und westlich um die Sedimentzone herum mit dem Kristallin der Wurzeln. Der axiale Anstieg östlich von Manangbhot ist geradezu flexurartig: Die devonischen Kalke bilden dort Plattenschüsse von rund 2000 m Höhe mit sehr steilem westlichen Fallen.

Das *Saipal-Randsynklinorium* (Fig. 3, S. 22; Tafel 3, Profil 86) kommt dadurch zustande, daß die Wurzeln der dortigen Kathmandu-Decken wenig östlich des Saipal aus dem Ost-Streichen nach Norden und sogar nach Nordwesten und Westnordwesten scharf abbiegen (Fig. 3 und 4, S. 22/23; Tafel 3, Profil 86).

A. Gansser hat weiter westlich in der Sedimentfüllung des Saipal-Synklinoriums die norische Fauna gefunden. Nördlich an das Saipal-Synklinorium schließt sich die Humla-Karnali-Antiklinale an (Fig. 3, S. 22), und noch weiter nördlich setzt die Wurzelzone der Kathmandu-Decken wiederum ein. Die Wurzelzone ist also östlich des Saipal etwa um die parautochthone Zone von Galwa nach Norden versetzt.

Östlich des Meridians der Shisha Pangma schließen sich die *Khumbu-Decken* nördlich an die Kathmandu-Decken an. Aus Kristallin-Antiklinalen und aus Verwerfungen heraus steigen sie aus dem tibetischen Plateau und entwickeln sich nach Osten zu bedeutender Mächtigkeit (Fig. 3, S. 22). Östlich des Arun sind sie sogar bis zur Main Boundary Thrust vorgestoßen (Tafel 3, Profil 1). Im Fenster von Angbung (Fig. 3, S. 22) erscheinen im Liegenden der Khumbu-Decken völlig anders geartete, kaum metamorphe Serien, bestehend aus Quarziten, Chloritschiefern, Phylliten und Tüpfelschiefern. Diese Zone wird als parautochthone Kuppel betrachtet. Sie dürfte dem kohleführenden Karbon des Rangit-Tales im östlich benachbarten Sikkim entsprechen.

Die Khumbu-Decken bestehen aus ähnlichen Schichten wie die Kathmandu-Decken, nämlich aus paläozoischen Formationen, die durch mannigfache Intrusionen teilweise ersetzt und metamorphisiert sind. Es sind hauptsächlich Gneise verschiedener Varietäten, zum Beispiel der sehr verbreitete Barungneis, dann Migmatite, Granite, kristalline Schiefer, Kalksilikatfelse und Marmore. Die auf den Kathmandu-Decken aufliegenden mächtigen silurisch-devonischen Kalke scheinen auf den Khumbu-Decken weitgehend zu feh-

len. Am Mount Everest folgen über den wohl kambrischen «Peliten» die permokarbonischen Schiefer, Quarzite und Kalke.

Es konnten drei Khumbu-Decken ausgeschieden werden. In der Everest-Gruppe jedoch finden sich hangend noch weitere Schuppen. Östlich des Arun nehmen diese größere Ausmaße an und bilden die *Kangchendzönga- und Lumbasumba-Decke* im Hangenden der Khumbu-Decken (Tafel 3, Profile 1 und 2). Sie bestehen fast ausschließlich aus Gneisen und Glimmerschiefern und sind auch über die Singalila-Kette mit den Darjeelinggneisen bei Darjeeling verbunden.

Sowohl die höheren Schuppen in der Everest-Gruppe als auch die Kangchendzönga- und Lumbasumba-Decke tauchen östlich des Arun als Kristallinfalten und Kristallinantiklinalen nach Norden in die Sedimente des tibetischen Plateaus (Fig. 3, S. 22).

Liegend zu den Kathmandu-Decken finden sich zwischen den Meridianen des Dhaulagiri und des Arun die *Nawakot-Decken* (Fig. 3, S. 22). Diese bestehen im allgemeinen aus Formationen von paläozoischem bis mesozoischem Alter. Doch ist es vorderhand schwierig, eine allgemeingültige Schichtreihe anzugeben, da im Streichen große Wechsel auftreten.

Im Gebiet südlich Pokhara–Gurkha sind in den Nawakot-Decken vor allem triassische Quarzite, Dolomite und Kalke vertreten. Die gleichen tektonischen Einheiten enthalten aber weiter nördlich bedeutend ältere Formationen, die über das Perm bis ins Paläozoikum reichen. Es scheinen also innerhalb der Decken in Wurzelnähe mehr ältere Schichten vertreten zu sein, während die jüngeren Schichtglieder – in einer Art Gleitbrett-Tektonik – weiter nach Süden verfrachtet worden sind, eine Erscheinung, die in den Alpen namentlich durch die Arbeiten von R. Helbling bekannt geworden ist. Im tektonischen Fenster von Okhaldhunga treten in den Nawakot-Decken große Kristallinformationen in Form von Augengneisen, Migmatiten und Glimmerschiefern auf. Zweifellos sind also die Nawakot-Decken in Streichrichtung nicht einheitlich gebaut, sondern faziell und auch tektonisch großen Wechseln unterworfen. Als Beispiel sei das gänzliche Auskeilen der viele hundert Meter mächtigen triassischen Dolomite südwestlich Nawakot in Ost-Richtung erwähnt.

Die Nawakot-Decken bestehen im Maximum aus vier einzelnen Decken. Weitere Untersuchungen dürften noch mehr tektonische Trennungen erkennen lassen.

Besonders interessant ist das West-Ende der Nawakot-Decken im Meridian des Dhaulagiri. An der Südflanke der Dhaulagiri-Gruppe schalten sich zwischen die Wurzeln der Nawakot-Decken und diejenigen der Kathmandu-Decken neue Serien mit nach Westen zunehmender Mächtigkeit ein. Dies sind die Jajarkot-Decken und die Hiunchuli-Decken. Sie sind südlich und südöstlich von Jajarkot etwa 50 km nach Süden überschoben und in der Jaljala-Synklinale vor der Erosion erhalten geblieben (Fig. 3, S. 22; Tafel 3, Profil 80).

In den nördlich anschließenden Gebieten des Bheri-Uttar-Ganga-Tales hingegen sind sie über der Kali-Antiklinale wegerodiert (Fig. 3, S. 22). Im geöffneten Antiklinalkern erscheinen die Formationen der *Piuthan-Zone*. Dies sind vorwiegend Kalke, Dolomite, Quarzite und bituminöse Schiefer, welche dem obern Mesozoikum bis untern Tertiär zuzuschreiben sind. An mehreren Stellen der Piuthan-Zone wurden Nummuliten gefunden. Die Piuthan-Zone grenzt im Süden an die Main Boundary Thrust. Sie erstreckt sich unter Verschmälerung vom Meridian des Dhaulagiri nach Westen bis wenige Kilometer westlich des Karnali (Fig. 3, S. 22). Die Piuthan-Zone besteht aus zahlreichen Schuppen der oben erwähnten Formationen; zu eigentlicher Deckenbildung ist es nicht mehr gekommen.

Außer dem Bereich der überschobenen Hiunchuli- und Jajarkot-Decken greift die Piuthan-Zone weiter westlich, bei Dullu-Dailekh, auch noch nach Norden unter die paläozoischen Formationen (Tafel 3, Profil 70). Dies ist nicht nur aus der Struktur ersichtlich, sondern auch an Erdgas, welches an mehreren Stellen, jedoch über Strukturen, aus den paläozoischen Schichten zum Vorschein tritt und permanente heilige Flammen speist. Ohne Zweifel ist hier in den liegenden Piuthan-Formationen Erdöl vorhanden. Die Lösung der Frage, ob es kommerziell auswertbar sei, bleibt weitern detaillierten Untersuchungen vorbehalten.

Besonders interessant ist nun die Unterlage der Piuthan-Zone, welche im tektonischen Halbfenster am Westende der Kali-Antiklinale zu beobachten ist. Dort liegen die obermesozoischen Kalke und Dolomite verzahnt und verschuppt mit viel älteren paläozoischen Schichten. Es ist wohl ein Äquivalent der Dagshai-Schichten von AUDEN in Garhwal, wo ja Eozän auf den paläozoischen Dagshai-Schichten transgrediert.

Nach Osten, im Oberlauf der Bheri-Uttar Ganga, treten die Piuthanschichten immer mehr zurück, wogegen die paläozoischen

Schiefer ihrer Unterlage an Bedeutung gewinnen. Die Piuthanschichten keilen im Meridian des Dhaulagiri schließlich ganz nach Osten zwischen den einzelnen Nawakot-Decken aus. Die Schuppen der Piuthan-Zone sind also gewissermaßen als westliche Fortsetzung und als Ende der Nawakot-Decken zu betrachten.

Westlich Dailekh, bei der großen Flußschlinge des Karnali (Fig. 3, S. 22), beginnt eine neue tektonische Zone, die *Dailekh-Zone*. Lithologisch entspricht sie den Jajarkot-Decken; doch steht sie nicht in direktem Zusammenhang mit diesen. Es ist eine Schuppenzone ohne Deckenbildung. Mindestens vier Schuppen mit entsprechenden Repetitionen können ausgeschieden werden. Sie wurzeln autochthon; die ganzen Dailekh-Schuppen mit ihrem Südsüdost-Streichen stoßen bei der Karnali-Schlinge von Ra unter beträchtlicher Winkeldiskordanz an die Piuthan-Zone. Weiter im Westen, nach einer Antiklinalstruktur im Seti Ganga (Fig. 3, S. 22), verschmälert sich die Dailekh-Zone auf nur wenige Kilometer und zieht sich als schmales Band bis zur Westgrenze von Nepal.

Nördlich an die Dailekh-Zone schließt sich die *autochthone bis parautochthone Dandeldhura-Zone* an. Um Dandeldhura besteht diese hauptsächlich aus Graniten und nimmt daselbst auch eine größere Ausdehnung an (Fig. 3, S. 22). Nördlich auf dem Granit findet sich eine normale, gut differenzierte Folge von Kambrium-Silur-Karbon bis zur Trias.

Die *Bajang-Decken* sind teilweise von Norden über die Dandeldhura-Zone überschoben. In der Chamlia-Antiklinale tritt weiter im Norden unter den Bajang-Decken die Dandeldhura-Zone nochmals in Erscheinung.

Nordöstlich Doti ist in einer Synklinale ein Rest der überschobenen Kathmandu-Decken auf den Bajang-Decken als tektonische Klippe, die *Klippe* von *Dhanukana* (Fig. 3, S. 22), erhalten geblieben.

2. Die Wurzelzonen

Wir wollen nun einige besonders interessante Erscheinungen in der Wurzelzone der großen Decken betrachten. Die betreffenden Gebiete sind – im Gegensatz zu den Alpen – ausgezeichnet aufgeschlossen.

Die Wurzeln der Kathmandu-Decken verlaufen nicht etwa in einer einzigen geraden Linie in Streichrichtung (wie etwa die Wur-

zeln am Südrand der Alpen gezeichnet und auf Hunderte von Kilomtern parallelisiert worden sind). Die großen Deckenwurzeln sind vielmehr durch *Querstrukturen* in einzelne *Bogen und Segmente* aufgeteilt, die sich wie Girlanden aneinanderreihen. Diese einzelnen tektonischen Wurzelbogen sind identisch mit den durch die Durchbruchsflüsse voneinander separierten großen Gebirgsgruppen.

Die nach Süden konvexe Form der Wurzelbogen entsteht dadurch, daß die meisten Querstrukturen aus Antiklinalaufbrüchen mit nördlichem Axialgefälle bestehen. Die markanteste dieser Querantiklinalen ist wohl diejenige des *Arun-Tales* in Ostnepal. Wenn man die beidseitigen Kristallinformationen durch die Luft verbunden denkt, so gelangt man zu einer Scheitelhöhe von nicht weniger als 16 km! Man darf zwar die entsprechenden Strukturen nicht ohne weiteres durch die Luft miteinander in Beziehung bringen, da so mächtige Formationen über der heutigen Antiklinale primär schon nicht bestanden haben. Aber jedenfalls erreicht diese Antiklinale ein ganz gewaltiges Ausmaß. Sie besitzt eine Länge von mindestens 100 km, und auch darüber hinaus sind ihre Spuren noch weitere 100 km nach Norden und Süden indirekt erkennbar, zum Beispiel in einer Transversalverschiebung in den Siwaliks; im vorliegenden Nord-Süd-Streichen der Strukturen (Fig. 3, S. 22) und im Gewässernetz im Oberlauf des Arun (im Phung Chu, vgl. Fig. 8, S. 43).

Aber nicht nur der Arun, sondern auch die meisten andern großen Durchbruchstäler verlaufen in Querantiklinalen, wenn diese auch teilweise weniger ausgeprägt sein mögen.

Als Folge der Antiklinalstruktur der Quertäler, welche die Hauptkette des Himalaya in einzelne Gruppen aufteilen, ergibt sich unerwarteterweise für die *einzelnen Gebirgsgruppen* eine *Synklinalstruktur*. Alle die großen Gebirgsgruppen, mit den *höchsten Gipfeln*, liegen – im Längsprofil Ost–West betrachtet – in *Synklinalen*. Auch der Mount Everest verdankt seine alles überragende Höhe nicht etwa einer axialen Kulmination, sondern auch er liegt in einer Synklinale.

Ähnlich wie in den Alpen, wo zum Beispiel die Wurzeln der helvetischen Decken und die ostalpinen Deckenwurzeln weit auseinander liegen, gibt es auch in Nepal Gebiete, in denen weit auseinander liegende Wurzelsysteme zu beobachten sind. Auf die Divergenz der Kathmandu- von den Khumbu-Wurzeln östlich des Arun wurde schon hingewiesen. Westlich des Meridians des Dhaulagiri – man sieht auch hierin, was für eine wichtige Scheidelinie dieser Meridian

in bezug auf die Streichrichtung ist – spalten sich nun von der Südseite des Dhaulagiri-Wurzelbogens die Wurzeln der Jajarkot- und Hiunchuli-Decken ab (Fig. 4, S. 23). Letztere beschreiben westlich des Bheri einen scharfen Bogen nach Süden und entfernen sich beim Schnitt mit dem Karnali rund 120 km von den Wurzeln der Kathmandu-Decken. Westlich des Karnali (Fig. 4, S. 23) streichen sie wieder nach Norden und finden ihre Fortsetzung – allerdings ohne direkte Verbindung – in den Wurzeln der Bajang-Decken. Dieser ganze große Bogen des Karnali stimmt nun auffallend mit dem oben definierten Vorhimalaya überein, welcher das Jumla-Becken nach Süden abschließt (Fig. 1, S. 12). Dies ist eine Gebirgskette, welche mit ihren Höhen bis über 4000 m das übrige Mittelland weit überragt, obschon es seiner Lage nach zum Mittelland zu zählen wäre.

Der *Karnali-Wurzelbogen* ist zwar von den überschobenen Kathmandu-Decken stellenweise überdeckt, doch fällt auch hier die starke Überhöhung der Wurzelgebiete gegenüber dem Umgelände auf, gleich wie dies schon im Hochhimalaya festgestellt werden konnte. Im Karnali-Tal, nördlich des gleichnamigen Bogens, wurden alte Flußterrassen und Seeablagerungen gefunden, die nach Süden rund 400 m ansteigen. Die Hebung des Karnali-Bogens muß also jung sein.

Es fällt auch auf, daß der Dhaulagiri der westlichste der Achttausender ist. Weiter westlich davon reichen die Höhen nur noch knapp bis 7000 m. Es scheint, als ob die Aufsplitterung der Energie auf zwei zu hebende Wurzelgebiete zu dieser nur geringeren Höhe geführt habe. Höchst merkwürdig erscheint nun aber das praktisch lückenlose Übergreifen der gehobenen Wurzelzone am Westende der Dhaulagiri-Gruppe über die gänzlich verschiedenen Zonen der Kathmandu-Decken und des Hiunchuli. Wir haben also hier ein Beispiel, in welchem die spätere Deckenbildung keineswegs schon in den vororogenen Sedimentationsräumen vorgezeichnet war. Vielmehr hat die spätere Heraushebung der Decken schief über zwei gänzlich verschiedene Teilträge der Geosynklinalen hinweggegriffen. Man muß sich die Überschiebung der Hiunchuli- und Jajarkot-Decken einerseits und der Kathmandu-Decken anderseits wohl eher als eine Wechselwirkung vorstellen denn als ein Nacheinander. Die Hiunchuli-Wurzeln und ihre Schuppen, als westliche Fortsetzung des Dhaulagiri-Bogens, waren offenbar schon *vor* der Kathmandu-Überschiebung im Gebiet von Jumla etwas gehoben. Die Kath-

mandu-Decken sind in die Bresche zwischen Hiunchuli-Schuppen und der parautochthonen Dandeldhura-Zone nach Süden vorgeprellt (Fig. 3 und 4, S. 22/23).

Als südlichste parautochthone Schuppen paläozoischer Formationen finden wir diejenigen der *Dailekh-Zone*. Diese stoßen im Gebiet der großen Karnali-Schlinge bei Ra unter spitzem Winkel an die Piuthan-Zone. Die merkwürdige Schlinge des Karnali steht wohl mit der Hebung dieser südlichsten Schuppen in ursächlichem Zusammenhang (Fig. 4, S. 23). Die Schuppen der Dailekh-Zone bestehen aus Phylliten, Schiefern und Quarziten. Ein Teil enthält auch ausgedehnte Augengneise, Glimmerschiefer und Grünschiefer, vorwiegend Amphibolite.

Die Wurzelbogen der Kathmandu-Decken (Fig. 4, S. 23) bilden das Rückgrat des heutigen Nepal-Himalaya. Sie bauen vor allem die zentralnepalischen Achttausender auf (Dhaulagiri, Annapurna, Manaslu). Obschon die Wurzelbogen zur selben tektonischen Einheit (der Kathmandu-Decken) gehören, fügen sich die einzelnen Glieder der Bogengirlanden nicht regelmäßig aneinander. Es fällt vor allem der quergestellte Manaslu-Bogen auf (Fig. 2, S. 13, und Fig. 4, S. 23), welcher sich fast rechtwinklig östlich an den Annapurna-Bogen fügt. Auch der nächstöstlich benachbarte Ganesh-Bogen scheint nach Norden versetzt, wie auch der folgende Langtang-Bogen. Vom Gauri Sankar an nach Osten nehmen die Kathmandu-Decken (wie schon oben erwähnt) an Bedeutung ab. Ihre Wurzelbogen wenden sich nach Süden (im Gauri-Sankar- und Kangtega-Bogen). Nach weitem Ausbiegen in nördlicher Richtung, um die Arun-Antiklinale herum (Fig. 4, S. 23), streicht ihr Wurzelbogen abrupt nach Südosten bis fast zur Main Boundary Thrust.

Vom Gauri Sankar an nach Osten fügt sich dafür nördlich an die Kathmandu-Wurzelbogen ein neues Element, nämlich die Wurzelbogen der Khumbu-Decken (Fig. 4, S. 23). Auch diese machen die gewaltige Ausbuchtung nach Norden um die Arun-Querantiklinale mit. Sie divergieren aber östlich des Arun gewaltig von den Kathmandu-Wurzeln und ziehen nach Osten, wo sie von nun an die Wurzeln der Kangchendzönga-Masse bilden.

Weit im Westen bilden die Schuppen im *Changla-Bogen* ein Äquivalent der Khumbu-Decken. Doch kam es hier nicht mehr zu eigentlicher Deckenbildung. Hochinteressant ist nun die Feststellung, daß ein Teil der Wurzelbogen sich nach Nordwesten in das tibetische

Plateau hinein verliert, bzw. als einfache Kristallinantiklinalen und Verwerfungen unter die tibetischen Sedimente taucht. Wir können also keineswegs die einzelnen Wurzelsegmente bewegungsmechanisch miteinander verbinden. Die heutige gestaffelte Anordnung deutet auch auf eine zeitliche Staffelung der spätorogenen Hebung und Herauspressung der Wurzeln. Dhaulagiri- und Annapurna-Bogen sind die zentralen Schubbogen. Von hier wurden die weiteren tektonischen Wurzelbogen nacheinander nach Osten und auch nach Westen angegliedert.

3. Alte Grabenstrukturen

In einem einzigen Durchbruchstal, nämlich dem Kali Gandaki zwischen Dhaulagiri und Annapurna, sind die beiden entsprechenden Wurzelbogen nicht durch eine Antiklinalstruktur voneinander getrennt. Die hier durchstreichende Querstörung ist aber nicht minder bedeutend: Es ist die *Dangarjong-Verwerfung* und der *Thakkhola-Graben.* Die Sprunghöhe der Verwerfung beträgt südlich Mustang mindestens 2000 m, und der ganze Oberlauf des Kali Gandaki, welcher mit Thakkhola bezeichnet wird, stellt einen ausgeprägten Quergraben dar. Dessen Ur-Anlage ist wohl vororogen zu datieren; jedoch wurde er während des Orogens reaktiviert.

Im Thakkhola finden wir auch die Erklärung für die merkwürdige Anlage des Gewässernetzes, bei welchem die großen Flüsse weit im Norden entspringen und die Hauptkette des Himalaya nach Süden durchbrechen. Im Thakkhola konnte nämlich eine vor- und frühorogene Gebirgsbildung beobachtet werden, mit alten Tälern, in welchen teilweise eine Flyschfazies abgelagert worden ist. Wie bei Dullu in der Piuthan-Zone, so findet sich auch bei Muktinath in der Thakkhola-Zone eine permanente Flamme, gespiesen von Erdgas, welches offenbar von Petroleum herrührt.

Die Gipfelflur, welche sich vom Dhaulagiri und von der Annapurna beidseits des Thakkhola-Grabens nach Norden zieht, deutet auffällig auf eine alte, fast peneplenisierte Landoberfläche hin, in welche der Thakkhola-Graben eingebrochen ist. Das *tibetische Randgebirge* (Fig. 2, S. 13) ist ohne Zweifel vor- oder frühorogenen Ursprunges. Es war die *erste Wasserscheide* zwischen Tsangpo und Ganges.

Die ganze Anlage des *Randsynklinoriums* von *Langu-Muktinath-Manangbhot* zeigt ebenfalls eine Grabentektonik. Die Falten und

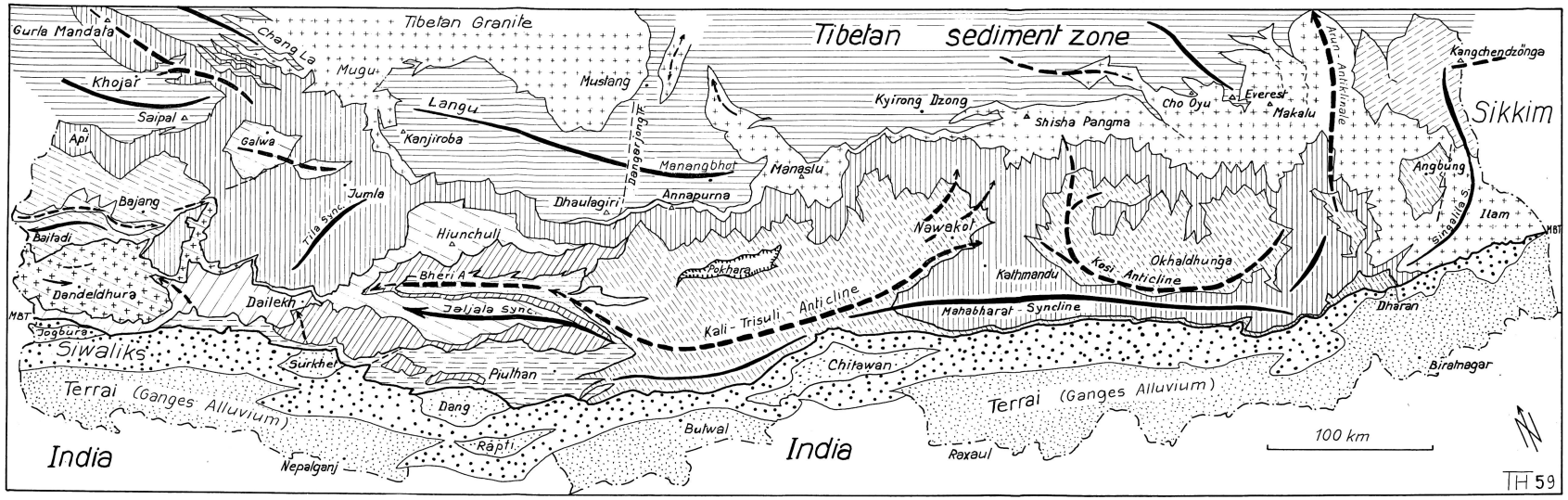
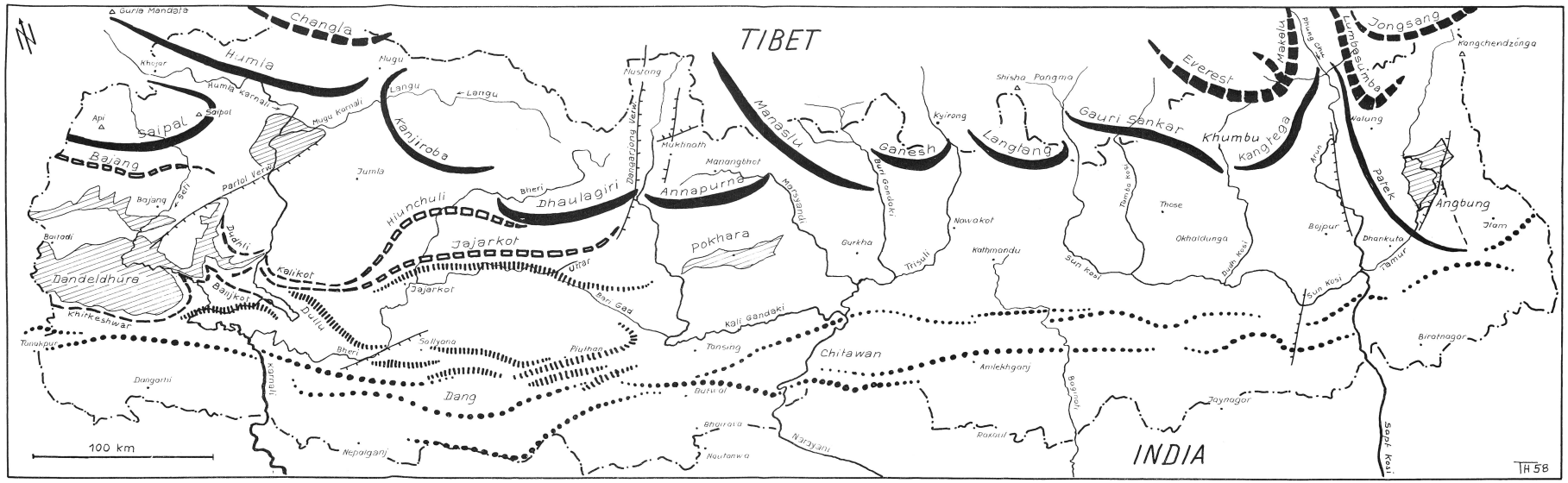


Fig. 3

Anticline
Syncline
Thrustfault
Ganges Alluvium
Siwaliks (Tertiary)
Dailekh-Zone
Piuthan-Zone
Hiunchuli-Zone
Dandeldhura-Zone (autochthonous)
Bajang nappes window of Galwa
Jajarkot nappes Muri-Zone
Kathmandu n.
Nawakot nap.
Khumbu n. (i. E.) Kathm. n. 5 (i. W.)
Pokhara-Zone
Kangchendzönga n. Lumbasumba n.
Angbung-Zone
Tibetan Sediment-Zone
granite (parautochthonous)

MBT = Main Boundary Thrust

Fig. 4



Verwerfung

paraautochthone – autochthone-Zonen

Isoklinalketten der Siwaliks

Schuppenwurzeln der Piuthan-Zone

paraautochthon wurzelnde Schuppen der Dandeldhura-Zone und Dailekh-Zone

Wurzeln der Bajang-Decken, Hiunchuli-Decken und Jajarkot-Decken

Wurzelbogen der Kathmandu-Decken

Wurzelbogen der Khumbu-Decken, der Lumbasumba-Zone und der Kangchendzönga-Decke

Schuppenstrukturen, welche im allgemeinen von Norden und Süden her gegen die Synklinoriumsachse gerichtet sind, wurden höchstwahrscheinlich durch gewaltige Verwerfungen und Staffelbrüche im Untergrund verursacht. Durch diese sind die aufliegenden mesozoischen Sedimente (teilweise sogar wohl subaquatisch) gegen die Grabenmitte zu abgerutscht und verfaltet worden. Im Zusammenhang mit dieser Grabenstruktur steht offenbar auch die große Granitmasse von Mustang, die wohl höchstens tertiären Alters ist (Tafel 3, Profil 59).

4. Parautochthone Zonen im Mittelland

Neben den parautochthonen Schuppen erscheinen südlich der Hauptwurzeln aber auch noch tektonisch nicht gestörte Zonen, welche als autochthon bis parautochthon zu bezeichnen sind. Die Zone von Angbung östlich des Arun wurde schon erwähnt. Als tiefstes tektonisches Element überhaupt wurde die *Zone von Pokhara* ausgeschieden (Fig. 3, S. 22).

Diese erscheint in einem schmalen tektonischen Fenster von rund 60 km Länge unter den Nawakot-Decken. Die Formationen der Quarzite, Phyllite und Konglomerate von Pokhara sind schwer zu deuten. Sie könnten sowohl dem Perm als auch weit tieferen Schichten zuzuschreiben sein, als Äquivalent der paläozoischen Unterlage der Piuthan-Zone. Besonders hervorzuheben ist die auffallende Tatsache, daß dieses tiefste tektonische parautochthone Element sehr nahe an den Wurzeln der Kathmandu-Decken liegt, nämlich nur rund 15 km entfernt.

5. Strukturen im Mittelland

Im Bereich der überschobenen Decken, also im *nepalischen Mittelland*, finden wir relativ einfache Strukturen. Jedenfalls stehen wir nicht vor der Kompliziertheit etwa der überschobenen penninischen oder helvetischen Decken mit den abgescherten Schubmassen, Rückfaltungen usw. Hauptstruktur des Mittellandes ist ein großes Gewölbe, welches daher *Mittelland-Antiklinale* genannt wird. Diese streicht jedoch keineswegs parallel zu den Deckenwurzeln in der allgemeinen Westnordwest-Ostsüdost-Streichrichtung. Vielmehr ist diese Antiklinale auch von den schon erwähnten Querstrukturen beeinflußt. Sie gliedert sich in zwei Hauptteile, nämlich die Kosi-Antiklinale in Ostnepal und die Kali-Trisuli-Antiklinale in Zentral-

nepal (Fig. 3, S. 22). Wie schon in ihren Namen angedeutet ist, fließen die Hauptflüsse in diesen Antiklinalen. Die beiden genannten Antiklinalen stehen nicht in direkter Verbindung miteinander, da sie zwei große, nach Süden konvexe Bogen bilden. Am Ost-Ende ist die *Kosi-Antiklinale* nach Norden gegen die große Arun-Antiklinale aufgebogen, und im Westen biegt ihr Hauptast in die Querantiklinale des Sun Kosi ein mit Kernablösungen auf beiden Seiten. Die *Kali-Trisuli-Antiklinale* nimmt ihren Anfang im Trisuli-Tal mit steilem axialem Anstieg nach Süden und biegt dann in westliche Richtung ein. Im Gebiet der Einmündung des Bari Gad in den Kali Gandaki biegt sie nach Nordwesten ab, um dem Bari Gad–Bheri zu folgen.

Hauptmerkmal der Mittelland-Antiklinale ist ihre unsymmetrische Anlage. Der Süd-Schenkel ist stark abgequetscht, der Scheitel stellenweise durch eine Verwerfung ersetzt.

Die zweite Hauptstruktur folgt südlich anschließend an die Mittelland-Antiklinale.

Dies ist die *Mahabharat-Synklinale.* Wie in ihrem Namen angedeutet ist, folgt die Mahabharat-Kette dieser Synklinalstruktur. Sie zieht sich lückenlos vom Arun im Osten bis zum Kali Gandaki bei der Einmündung des Bari Gad. Am Unterlauf des Sun Kosi wird sie durch die Bhojpur-Synklinale abgelöst, welche nach Nordosten aufgebogen ist. Östlich des Arun ist die Mahabharat-Synklinale wieder prägnant ausgebildet, jedoch biegt auch diese gegen die Grenze von Darjeeling zu nach Nordosten und Norden ab in die Sinagalila-Kette und in die Kangchendzönga-Quersynklinale (Fig. 3, S. 22).

Im Meridian von Kathmandu weist die Mahabharat-Synklinale eine axiale Depression auf. In dieser sind die großen überschobenen Massen der Kathmandu-Decken vor der Erosion bewahrt geblieben.

Im Meridian des Dhaulagiri endet die Mahabharat-Synklinale und tritt bis zur West-Grenze von Nepal kaum mehr in Erscheinung. Die Schuppen der Piuthan-Zone, der Dailekh-Zone und die parautochthone Zone von Dandeldhura ließen keinen Spielraum zur Schaffung einer großräumigen Muldenstruktur.

Westlich des Meridians des Dhaulagiri ändert das Strukturbild des Mittellandes vollkommen. Es sind nicht mehr die großen Hauptstrukturen vorhanden, welche eine deutliche Gliederung ergeben. Vielmehr liegen zahlreiche kleinere Strukturen völlig ungeordnet durcheinander (Fig. 3, S. 22). Dies hängt offenbar mit dem Er-

scheinen der parautochthonen Zonen und Schuppen zusammen, welche schon primär die Divergenz der Wurzelzonen verursacht hat und auch später auf neue Krustenbewegungen vorzugsweise mit Verwerfungen und Schachbrettstruktur reagiert hat. In diesem Zusammenhang ist zum Beispiel die *Partol-Verwerfung* zu nennen, die entlang der parautochthonen Zone von Dandeldhura zieht (Fig. 3 und 4, S. 22/23).

Möglicherweise steht auch der Nordrand des Synklinoriums von Langu mit der Partol-Verwerfung in genetischem Zusammenhang; denn er liegt auffällig in Fortsetzung der Partol-Verwerfung (Fig. 3, S. 22).

Aber auch die Dhanukana- und Tila-Synklinalen streichen in der selben Richtung, welche zuletzt wieder zur großen Dangarjong-Verwerfung parallel streicht. Es scheint sich also bei den beiden letztgenannten Strukturen um alte Querstörungen zu handeln, welche im Spätorogen reaktiviert worden sind.

Gesamthaft betrachtet weist also das Mittelland nur dort die relativ einfachen, aber großräumigen Strukturen auf, wo auch die Wurzelbogen eine klare, einfache Gliederung zeigen. Dies ist zwischen dem Kali Gandaki–Dhaulagiri und dem Arun der Fall (Fig. 3 und 4, S. 22/23).

6. Frühe Anlage der Transversalstrukturen

Zusammenfassend ist es schwierig, eine allgemeingültige Parallele mit den Alpen zu ziehen. Es bestehen zwar viele Ähnlichkeiten tektonischer Natur, doch sind im Himalaya viel mehr tiefere, vormesozoische Schichtglieder an den Überschiebungsdecken beteiligt als in den Alpen, bzw. fehlen in den Kathmandu-Decken die mesozoischen Formationen ganz. Es scheint, als seien die Decken im Himalaya nicht aus der eigentlichen Geosynklinale herausgehoben worden, sondern hauptsächlich aus deren ehemaligem Südrand und aus dem südlich anschließenden Kontinentalrand.

Große Ähnlichkeit mit den Alpen weisen die Detailstrukturen auf, etwa die Rückfaltungserscheinungen auf dem Rücken der Deckenwurzeln oder die Verfaltungen an den Deckenfronten. Letztere drängen einen Vergleich mit dem Säntis geradezu auf.

Die großen Querstrukturen dagegen suchen ihresgleichen in den Alpen, obschon gerade in neueren Publikationen R. Staub mit Nachdruck auf solche hingewiesen hat.

In ihrer ersten Anlage handelt es sich zweifellos um alte, vororogene Bildungen. Ihr Streichen stimmt auffallend mit demjenigen der Aravalli-Gebirgskette überein. Aber auch die variszischen Strukturen im alten Gondwanaland südlich der Gangesebene streichen zum größten Teil Nord–Süd. Als Vorphase zum Orogen und während des Orogens wurden die alten Querstörungen wieder reaktiviert.

Sie haben schon bestanden im Untergrund der alten Himalaya-Geosynklinalen. Die Arun-Querantiklinale wurde zu ihrer heutigen Höhe zweifellos *nach* erfolgter Deckenüberschiebung aufgeworfen; denn die Decken sind allesamt von dieser Querstruktur erfaßt.

Besondere Bedeutung ist dem *Thakkhola-Graben* und besonders der im Westen an ihn grenzenden schon erwähnten *Dangarjong-Verwerfung* zuzumessen. Bei Dangarjong ist die Westseite um mindestens 2000 m gehoben: Silurische Kalke liegen heute dort *neben* der flyschartigen Thakkhola-Serie, in welcher u. a. Nummuliten gefunden worden sind.

Auf zweifache Art läßt sich nun eine alte Verbindung des Thakkhola-Grabens mit dem Gebiet der heutigen Piuthan-Zone denken: Die Piuthan-Zone, von ähnlichem obermesozoisch-tertiärem Alter wie die Thakkhola-Serie, liegt in der südwestlichen Verlängerung derselben (Fig. 3, S. 22). Die Dangarjong-Verwerfung scheint sich zudem durch die heutigen Kathmandu-Decken irgendwie nach Südsüdwesten zu verlängern: Der heutige Ostrand der Piuthan-Zone liegt auffallend erhöht gegenüber dem im Osten anschließenden Mittelland (Fig. 1, S. 12). Dies kommt auch landschaftlich zum Ausdruck, indem jene Gebiete sehr dünn oder überhaupt nicht besiedelt sind, dafür aber ausgedehnte Weiden und Koniferenwälder aufweisen. Es ist anzunehmen, daß vor der Auftürmung des Himalaya die jungmesozoische Thakkhola-Serie in einem einzigen zusammenhängenden Becken mit der Piuthan-Serie abgelagert worden ist. Diese Anordnung, quer zum heutigen Streichen, deutet ebenfalls auf transversale, vororogene Trog- und Schwellenbildung in der alten Geosynklinale.

III. DIE SIWALIKS

1. *Allgemeines*

Die Siwalik-Zone, das Äquivalent der alpinen Molasse, bedeckt ausgedehnte Zonen entlang dem Südrand des Gebirges. Die nördliche Begrenzung der Siwaliks wird durch die sogenannte *Main Boundary Thrust* gebildet, während sie im Süden natürlich durch das Ganges-Alluvium begrenzt ist.

Die Siwalik-Zone erstreckt sich von Belutschistan im Westen ohne Unterbruch bis nach Burma, das ist auf eine Länge von 4000 km. Die stratigraphische Parallelisierung selbst auf diese weiten Strecken steht außer Zweifel, obschon natürlich lokale Eigenheiten vorhanden sind. Die Main Boundary Thrust ist ein tektonischer Begriff: Er sagt gar nichts aus über die beidseitigen Formationen. Es ist eine Schubfläche, welche steil nach Norden fällt und längs welcher ältere Formationen auf die Siwaliks aufgeschoben sind. In weiten Gebieten ist die Main Boundary Thrust identisch mit den Deckenfronten. In anderen Gebieten jedoch sind nur parautochthone Schuppen auf die Siwaliks aufgeschoben. Im Gebiet von Nepal ist dies südlich der Piuthan-Zone, auf eine Länge von rund 260 km, der Fall (Fig. 3, S. 22). Zwischen den Meridianen von Piuthan und Dharan (in Ost-Nepal) sind die Fronten der Nawakot-Decken in der Main Boundary Thrust auf die Siwaliks aufgeschoben. Östlich von Dharan grenzen auf 20 km Länge die Kathmandu-Decken (unter Winkeldiskordanz in bezug auf das Streichen der Siwaliks) an die Siwaliks, und östlich davon übernehmen die Khumbu-Decken dieselbe Rolle (Fig. 3, S. 22).

Die Zusammensetzung der Siwalik-Ablagerungen zeigt, daß sie nichts anderes sind als der Alluvialschutt, welcher von dem verwitterten Himalayagebirge durch die Flüsse zu Tal getragen worden ist. Es ist im Grunde genommen der gleiche Prozeß, den die heutigen Flüsse immer noch ausführen.

Die Untersuchungen von Medlicott und Middlemiss führten früher zur Annahme, daß die Main Boundary Thrust nicht nur die Linie darstellt, längs der die Deckenfronten auf die Siwaliks aufgeschoben worden sind, sondern daß sie gleichzeitig auch die primäre Nordgrenze der im Tertiär abgelagerten Siwalik-Formationen dar-

stellt, also die primäre Grenze zwischen den Siwalik-Schuttfächern und dem damaligen Südrand des Gebirges ist. A. HEIM hat immer wieder die Annahme vertreten, daß die Main Boundary Thrust teilweise eine alte Landoberfläche darstellt, auf welcher die vormarschierenden Decken in einer Reliefüberschiebung nach Süden gelangt wären.

Nach den Untersuchungen des Verfassers scheint diese Annahme plausibel, da die Siwaliks stellenweise ziemlich weit nach Norden unter die überschobenen Decken reichen. Daraus folgt selbstredend, daß der heutige Ausbiß der Main Boundary Thrust keinesfalls die primäre Nordgrenze der Siwalik-Ablagerungen darstellen kann. Die Interpretation der Reliefüberschiebung nach HEIM scheint außerdem in gewissen Gebieten Nepals gesichert.

2. *Lithologie*

Die Siwalik-Formationen bestehen aus detritischem Material von großer Mächtigkeit, nämlich primär 5 bis 6 km. Das Material setzt sich zusammen aus Sandsteinen, Mergeln, Mergelschiefern und Konglomeraten. Der größte Teil der Formationen weist große Ähnlichkeit auf mit dem Schutt, welchen die heutigen Flüsse noch aus dem Himalaya in die Gangesebene transportieren. Abgesehen von lokalen Störungen besteht die ganze oben genannte Mächtigkeit aus ein und derselben Abfolge, beginnend im mittleren Miozän und endigend im untern Pleistozän.

Die folgende Tabelle (nach D. N. WADIA) gibt die Übersicht über die Siwalik-Formationen:

Ober-Siwaliks 2000–3000 m	Dichte Nagelfluhkonglomerate, erdige Tone, Sande, Schotter, mit graduellem Übergang zum Alluvium	Unter-Pleistozän – Unter-Pliozän
Mittel-Siwaliks 2000–2500 m	Graue und weiße Sandsteine, mit Mergeln und Tonen	Pontien – Mittel-Miozän
Unter-Siwaliks 1300–1800 m	Hellrote knotige Mergel und Tone mit vereinzelten grauen Sandsteinen und Pseudokonglomeraten (Nahan-Serie) Dunkle harte Sandsteine, rote und purpurfarbene Mergel und Pseudokonglomerate	Mittel-Miozän, Tortonien Helvetien

Die Lithologie der Siwaliks läßt auf ihren Ursprung schließen: Sie sind zur Hauptsache der durch Wasser verwitterte Schutt des granitischen und allgemein kristallinen Kerns des Hochhimalaya, d. h. der Kathmandu-Decken, Khumbu-Decken und Hiunchuli-Decken.

Die Zusammensetzung besonders der Middle-Siwalik-Sandsteine zeigt exakt denselben Mineralgehalt wie das Herkunftsmaterial, nämlich die Granite der großen Decken. Man findet darin Feldspat, Quarzit, Muskowit, Biotit, Hornblende, Turmalin, Magnetit, Granat, Epidot, Rutil, Zirkon usw. Es gibt in Nepal Zonen, wo die Middle-Siwalik-Sandsteine einem Granit zum Verwechseln ähnlich sehen: das ist der «Appenzeller Granit» des Himalaya (zum Beispiel westlich Chatra)!

Der Ablagerungsraum der Siwalik-Formationen wird allgemein der Schwemmlandablagerung eines großen alten Siwalikflusses (nach Pilgrim) zugeschrieben, der von Assam dem Südfuß des Himalaya entlang nach Nordwesten bis zur Nordwest-Ecke des Punjab geflossen sei. Von hier aus hätte der Siwalikfluß in südlicher Richtung das sich zurückziehende Miozänmeer erreicht. Dieser alte Siwalik-Flußlauf wird als Folge des alten schmalen Meeres (Gangesmeer), welches als Rest des alten Himalaya-Meeres nach Auftürmung des Gebirges noch erhalten geblieben ist, gedeutet.

Nach Pascoe wird der alte Siwalikfluß auch «Indobrahm» genannt. Er soll alle Gewässer des heutigen Tsangpo-Brahmaputra, Ganges und Indus aufgenommen und in den Golf von Sind (nördlich Karachi) geführt haben.

Die anfängliche Auffassung der Siwalik-Ablagerungen, wonach sie vor allem Schwemmkegeln und Schuttfächern bei der Einmündung der heutigen Flüsse in das Gangesmeer zugeschrieben werden können, ist kaum haltbar in Anbetracht der Tatsache, daß besonders die Unter- und Mittel-Siwaliks eine auffallende Homogenität in jeder Richtung aufweisen. Die dreifache lithologische Gliederung in Ober-, Mittel- und Unter-Siwaliks läßt sich mit erstaunlicher Regelmäßigkeit über die ganze mehrere 1000 km lange Ausdehnung der Siwalik-Zone erkennen. Aber auch ihre Ablagerung ist längs einer wohldefinierten und kontinuierlichen Linie erfolgt, die kaum irgendwo unterbrochen ist.

Auch sind die Mineralien der Sandsteine der Middle-Siwaliks kaum sortiert. Zusammensetzung und Textur sprechen für eine sehr

schnell erfolgte Sedimentation. In kurzer Zeit brachten offenbar die verjüngten Himalaya-Flüsse gewaltiges Schuttmaterial aus dem Himalaya. Dies wiederum läßt auf eine sehr intensive, rasche Hebung schließen. Große Zonen der Siwaliks zeigen kaum eine Schichtung. In den massigen Mittel-Siwalik-Sandsteinen ist es oft sehr schwer, ein Schichtfallen festzustellen. Das Luftbild gibt darüber oft mehr und sicherere Anhaltspunkte als ein Aufschluß in den zerklüfteten Erosionsgräben. Dies sind natürlich nur allgemeine Feststellungen. Lokal sind namentlich in den Ober-Siwaliks dennoch Gliederungen in Streichrichtung zu beobachten, wie die Untersuchungen des Verfassers noch zeigen werden.

3. Über die Fauna

Es ist erstaunlich, daß nach hundert Jahren Siwalik-Forschung eine detaillierte stratigraphische Aufgliederung der Siwalik-Formationen offenbar noch nicht möglich geworden ist. Zweifellos ist daran die relativ geringe lithologische Differenzierung innerhalb der drei großen Stufen (Unter-, Mittel- und Ober-Siwaliks) schuld, obschon die Fauna der Siwaliks reichhaltig ist. Sie erscheint dagegen von allergrößter paläontologischer und zoologischer Bedeutung.

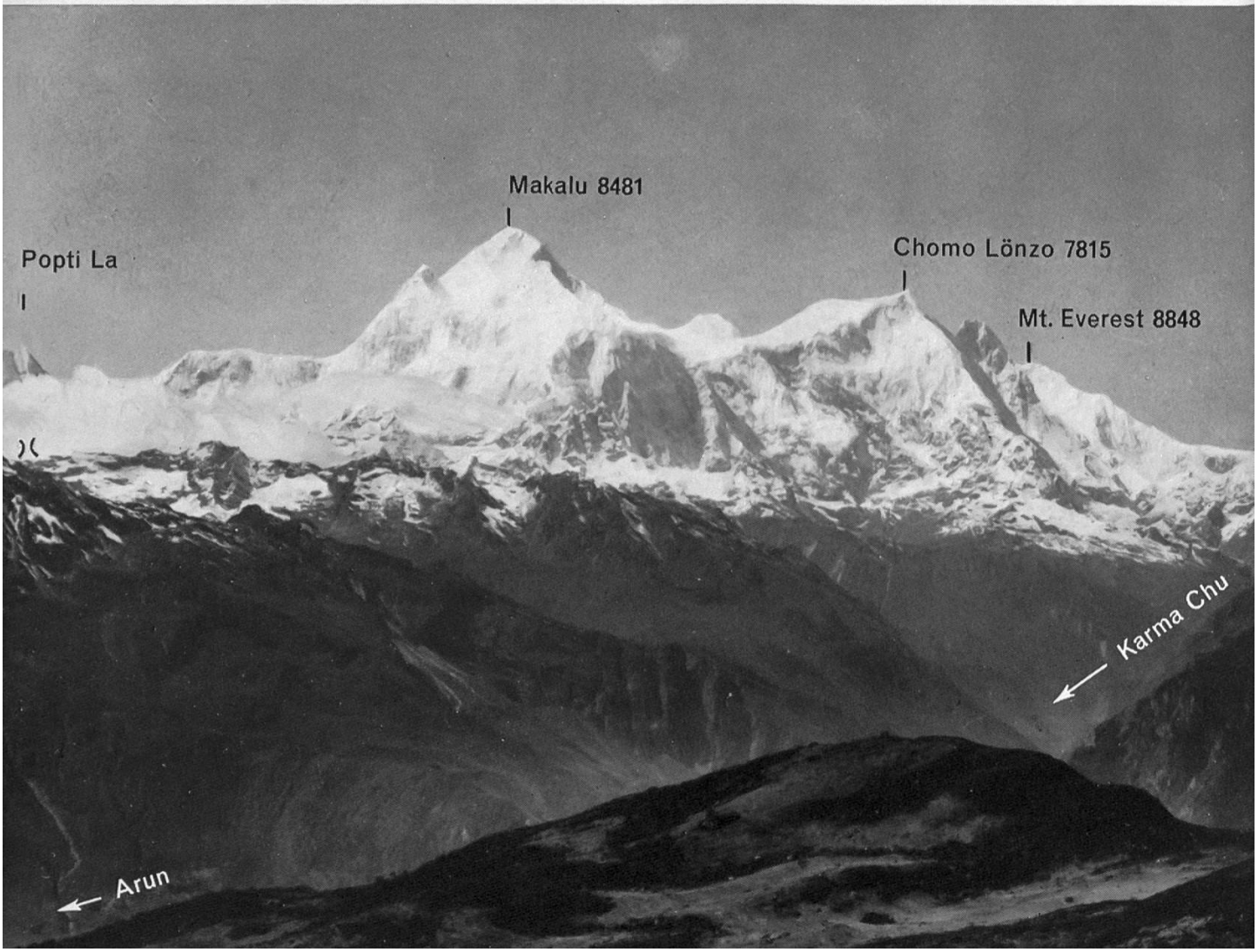
Die Erforschung der Siwalik-Fauna ist vor allem das Verdienst von PILGRIM. Es gelang ihm, eine erstaunliche Homogenität der Fauna über die gesamte Siwalik-Zone zu beweisen. Er konnte ferner die Standorte, Beziehungen und Wanderungen der verschiedenen Gruppen von prähistorischen Säugetieren in der Siwalik-Zone analysieren. In der Siwalik-Epoche war die Verbreitung der höheren Säugetiere in Indien bedeutend größer als heute. Besonders interessant waren seine Funde der höchstentwickelten Säuger, der *Primaten.*

15 Arten von anthropoiden Affen, welche zwischen dem mittleren Miozän und dem frühen Pleistozän gelebt haben, konnten festgestellt werden. Aus den Ober-Siwaliks wurden menschliche Artefakten bestimmt.

Hauptsächlichstes Leitfossil sind jedoch die prähistorischen Elefanten. Von diesen hat PILGRIM eine vollständige Liste vom untern Pliozän bis zum Mittel- und Ober-Pleistozän aufgestellt.

Jedoch, wie schon oben erwähnt, konnte diese detaillierte, ja minutiöse paläontologische Gliederung bisher nicht auch zu einer entsprechenden stratigraphischen Gliederung der Siwalik-Zone be-

Fig. 5. Die Machhapuchhare 6997 m (Annapurna) von Süden ▶


Makalu 8481
Popti La
Chomo Lönzo 7815
Mt. Everest 8848
Karma Chu
Arun

nützt werden, da die mangelhafte lithologische Differenzierung nicht eine sichere Korrelation mit den Fossilien ermöglicht.

Aus diesem Grunde haben auch die Untersuchungen des Verfassers nicht zu wesentlich neuen stratigraphischen Erkenntnissen der Siwalik-Zone geführt. Die Siwalik-Zone konnte nur im Rahmen der Gesamtaufnahme von Nepal untersucht werden, und es konnte keine Zeit für das Nachforschen von Fossilien verwendet werden. Einige wenige Elefantenknochen harren noch der Auswertung.

Im folgenden soll nun auf die Struktur und die Stratigraphie der Siwaliks von Nepal eingegangen werden, soweit dies unter Benutzung der einfachen Dreiteilung der Unter-, Mittel- und Ober-Siwaliks möglich ist.

4. *Der Bau der Siwalik-Zone in Nepal*

Auf das Landschaftsbild der nepalischen Siwalik-Zone wurde schon in Abschnitt I eingegangen. Die Siwaliks bilden einen Streifen zwischen der Gangesebene und der Main Boundary Thrust von durchschnittlich 20 bis 25 km Breite. Nur an einer einzigen Stelle, nämlich bei Dharan in Ostnepal, sind sie für wenige Kilometer unterbrochen, indem das Ganges-Alluvium dort direkt bis zu den Nawakot-Decken reicht. Sonst zieht sich der Siwalik-Streifen lükkenlos durch, von der Ostgrenze von Sikkim an bis Garhwal. Die maximale Breite von 52 km erreicht die Siwalik-Zone im Meridian von Dang (Fig. 3, S. 22). Wir wollen nun die Geologie der Siwalik-Zone im Detail und anhand der Karten betrachten.

a) Erläuterungen zu Tafel 4, Ostnepal

An der Ostgrenze von Nepal beginnt die Siwalik-Zone als schmaler Streifen. Nach Westen verbreitert sich die Zone des Mittel-Siwalik-Sandsteins rasch auf rund 5 km. Auffallend ist das weite Ausholen der Siwalik-Zone – immer in den Mittel-Siwaliks – nach Süden im Bereich des Kankai Khola (Khola = Fluß, Bach); zwischen Ganjabari und dem Bagra Khola südlich Danabari erreicht sie eine Breite von rund 20 km.

Sowohl das allgemeine Streichen als auch die Strukturen weisen hier auffallende Abnormitäten auf. Das generelle Streichen ist nach Südosten gerichtet; es hat auch dem Kankai Khola seine Richtung gegeben. Durch Ganjabari streicht eine Antiklinale in nördlicher Richtung, mit leicht nach Westen konvexem Bogen. Nördlich und

Fig. 6. Oben: Die Schichtrippenlandschaft der Siwaliks
Fig. 9. Unten: Blick von Osten über das Arun-Durchbruchstal nach Westen. Über einer ausgeprägten alten (wohl prä- bis interglazialen) Landoberfläche (4500–5000 m) erhebt sich die Everest-Makalu-Gruppe wie eine isolierte Hebungsinsel. Das Arun-Tal hat sich in V-Form mit nach unten steiler werdenden Talflanken in die präglaziale Landoberfläche eingeschnitten. – Die flache Mulde zwischen Makalu und Chomo Lönzo ist durch die geologische Struktur bedingt: sie entspricht der Everest-Längssynklinale.

nordöstlich von Danabari zeigt sich eine lokale Synklinale mit nördlich anschließender Antiklinale mit allgemeinem Streichen in Südost-Richtung. Auch durch Sikarkateri streicht eine lokale Antiklinalstruktur in der selben Südost-Richtung (vgl. Tafel 8, Profil 7). Nach Westen, zum Bagra Khola hin, dreht das Südost-Streichen in reine Süd-Richtung ab, und bei Phungnangtar, welches auf der Main Boundary Thrust liegt, erscheint eine Antiklinale mit reinem Ost-Streichen. Mit axialem Gefälle taucht diese Antiklinale in Ost-Richtung unter die überschobenen Khumbu-Decken.

Die Antiklinale von Phungnangtar verliert sich in Richtung Kherwa, wird dann aber durch zwei lokale Aufschiebungen beidseits der Antiklinalachse abgelöst. Die nördlich davon gelegene verläuft ganz in den Mittel-Siwaliks, die südliche dagegen zieht sich aus den Siwaliks heraus in das rezente Ganges-Alluvium. Es ist die bekannte *Siwalik-Überschiebung*, über welche der Verfasser schon früher (Lit. HAGEN, 1956) berichtet hat. Die Sandsteine der Mittel-Siwaliks sind hierbei längs eines glatten Schnittes um 15 m auf den Schutt des obersten, rezenten Ganges-Alluviums überschoben.

Zwischen Bagra Khola und Dharan beschreibt die Streichrichtung einen schwachen, nach Süden konvexen Bogen, und bei Dharan streichen die Mittel-Siwaliks-Sandsteine unter Winkeldiskordanz in nordwestlicher Richtung unter die überschobenen Kathmandu-Decken. Bei Dharan verschwindet die Siwalik-Zone für rund 2,5 km überhaupt. Nirgends sonst in ganz Nepal wurde die Beobachtung gemacht, daß die Deckenfronten (Nawakot- und Kathmandu-Decken) bis zum Ganges-Alluvium vorgestoßen sind. Westlich Dharan erscheinen die Mittel-Siwaliks wiederum mit einem gegenüber vorher etwas nach Westen abgeknickten Streichen. Ein weiterer Knick ist westlich des Sapt Kosi festzustellen, indem das Streichen zwischen dem genannten Fluß und dem Unterlauf des Trijuga Khola nach Westen gerichtet ist. Westlich des Sapt Kosi verbreitert sich die Siwalik-Zone wieder sprunghaft und erreicht eine Breite von 30 km. Strukturen in den Siwaliks treten aber erst wieder weiter westlich auf, im Querschnitt von Birnagar-Namje. Östlich des erstgenannten Ortes streicht eine Antiklinalstruktur in schwachem Bogen nach Osten. Zwischen Betaha und Lalpatta findet sich eine Synklinalstruktur mit Südost-Streichen. Im gleichen Querschnitt erscheinen auch in einer lokalen Aufschiebung die braunen Schiefer der Unter-Siwaliks (Tafel 8, Profil 11).

Durch Namje streicht eine Verwerfung in Südsüdwest-Richtung. Es ist eine Transversalverschiebung, in welcher die östliche Seite nach Süden vorgeschoben scheint. Gleichzeitig sind die Ränder im Nordteil der Verwerfung antiklinal aufgebogen.

Die *Transversalverwerfung von Namje* scheint überhaupt eine größere Bedeutung zu haben. Neben den Unter-Siwaliks tritt von hier an nach Westen auch zum ersten Male die Nagelfluh der Ober-Siwaliks auf, in der Mahamanda Danda, auf dem Höhenrücken südlich des Tawa Khola.

Weiter westlich, bei Tintale, findet sich abermals eine Transversalverwerfung mit Süd-Streichen. Eine Transversalverschiebung konnte hier nicht festgestellt werden, jedoch sind auch hier die Bruchränder antiklinal aufgebrochen. Sprunghaft setzen von der Tintale-Verwerfung an nach Westen neue Siwalik-Strukturen ein, vor allem unmittelbar südlich der Main Boundary Thrust. Es sind zwei Antiklinalen, wobei in der nördlichen die Unter-Siwaliks zum Vorschein treten. Nordwestlich Tamarni findet sich eine lokale Synklinale.

Ferner verschmälert sich in dieser Verwerfung die Breite der Siwalik-Zone sprunghaft von 30 km auf nur etwa 18 km. Bei Lalpatta nimmt auch eine Antiklinale ihren Anfang, welche sich auf rund 50 km Länge nach Westen zieht und die Bildung des Dun-Tales des Kamla-Flusses verursacht hat. Die Verhältnisse am Südrand der Siwalik-Zone unmittelbar westlich des Kamla-Flusses sind nicht abgeklärt, da von jenem Gebiet keine Begehung vorliegt. Es scheint, als ob auch der Kamla-Fluß beim Eintritt in die Gangesebene einer Transversalverwerfung folgt: Westlich davon scheinen die Siwaliks sprunghaft nach Süden vorzuprellen.

Die Main Boundary Thrust zeigt im Bereich des vorliegenden Kartenblattes einige interessante Erscheinungen, besonders zwischen dem Sapt Kosi und der Namje-Verwerfung. Nordwestlich Batase tritt der Sun Kosi in die Main Boundary Thrust, folgt dieser für rund 3 km, biegt sodann nach Osten ab und gelangt wieder ganz in die Kathmandu-Decken. Bei Bamrang tritt der Sun Kosi wiederum seitlich aus den überschobenen Nawakot- und Kathmandu-Decken heraus und folgt bis Kurule mehr oder weniger der Main Boundary Thrust. Hier tritt er wieder in die Decken zurück und durchbricht erst bei Chatra gemeinsam mit dem Arun wieder die Siwaliks endgültig nach Süden.

Zwischen Batase und Bamrang treten somit die überschobenen Nawakot- und Kathmandu-Decken als Halbklippe nach Südsüdosten auf die Siwaliks. Dies wird durch die Mahabharat-Synklinale verursacht, welche in jener Zone nach Südosten streicht, also unter schiefem Winkel quer über die Main Boundary Thrust hinaus. Die Mahabharat-Synklinale endet also auf den Siwaliks. Sie erscheint erst beim Arun und östlich davon wieder, aber im Streichen gewaltig nach Norden versetzt. Nur lokale Strukturen ersetzen die Mahabharat-Synklinale im Gebiet zwischen Batase und dem Arun; sie alle zeigen ein Südsüdost-Streichen, also eine beträchtliche Winkeldiskordanz zur Main Boundary Thrust und zu den Siwaliks.

Nur östlich des Arun, im Gebiet von Dharan, scheint das Streichen in den Decken parallel mit der Main Boundary und demjenigen der Siwaliks zu verlaufen. Östlich davon fällt aber wiederum die große Winkeldiskordanz zwischen den Kathmandu- und Khumbu-Decken und den Siwaliks auf. Bei Andheri enden die Kathmandu-Decken mit Südsüdost-Streichen, und auch die hangenden Khumbu-Decken treffen unter einem spitzen Winkel auf die Main Boundary Thrust und biegen erst bei Phungnangtar in das allgemeine Ost- und Ostsüdost-Streichen ein.

Zwischen Phungnangtar und östlich des Kankai-Flusses besteht durchweg eine beträchtliche Winkeldiskordanz im Streichen zwischen den Khumbu-Decken beidseits der Main Boundary Thrust, d. h. zwischen den Khumbu-Decken und der Siwalik-Zone. Wo der Kankai River bei Langling über die Main Boundary Thrust tritt, findet sich ein Knotenpunkt einer Nord–Süd und einer West–Ost streichenden Antiklinale in den überschobenen Decken. In die Siwalik-Zone nach Süden setzen sich diese Querstrukturen nicht fort. Aber auch östlich von Langling finden sich in den Decken noch Strukturen, welche fast im rechten Winkel auf die Main Boundary Thrust und damit auch auf die Siwalik-Strukturen stoßen. Erst die Gangabari-Antiklinale setzt sich über die Main Boundary Thrust hinweg fort.

Im Überblick betrachtet, läßt sich nun die Siwalik-Zone in Streichrichtung in vier verschiedene Abschnitte einteilen. Der östlichste Abschnitt, zwischen Sikkim und Phungnangtar, ist gekennzeichnet durch ein vorwiegend Südsüdost-Streichen der Siwaliks, durch gleichsinniges Streichen der Schichten in den Decken, jedoch mit rechtwinklig dazu gerichteten Strukturen in den Decken. Nur

die östlichste Antiklinale zieht sich von den Decken über die Main Boundary Thrust in die Siwaliks; alle andern enden von Norden her an derselben. Die Querantiklinale des Oberlaufes des Kankai-Flusses dürfte die südlichste Fortsetzung der großen *Telok-Transversalverwerfung* sein, welche das tektonische Fenster von Angbung nach Osten begrenzt.

Im Abschnitt zwischen Phungnantgar und Dharan fehlen Strukturen in den überschobenen Kathmandu- und Khumbu-Decken. Ihre Schichten streichen dagegen schief an die Main Boundary Thrust. Die Kathmandu-Decken enden unter schiefem Winkel bei Andheri.

Der Abschnitt zwischen Dharan und der Namje-Verwerfung zeichnet sich durch Fehlen der Siwalik-Strukturen aus. Die Halbklippe der überschobenen Nawakot- und Kathmandu-Decken bei Batase deutet auf eine Reliefüberschiebung; denn das Schichtstreichen in den liegenden Siwaliks stimmt nicht überall mit der Basisfläche der hangenden Decken überein.

Die abrupte Verbreiterung der Siwalik-Zone zwischen der Namje-Verwerfung und dem Sapt Kosi deutet auf eine Hebung dieser ganzen Zone. Es liegt nahe, diese Hebung mit der großen Arun-Querantiklinale weiter im Norden in Beziehung zu bringen. Westlich der Namje-Verwerfung verlaufen alle Strukturen und Schichten beidseits der Main Boundary Thrust gleichsinnig; die Kräfte waren in diesem Abschnitt gleichmäßig südwestlich gerichtet. Im Abschnitt Dharan–Phungnangtar lassen sich aus den sich kreuzenden Strukturen deutlich zwei verschiedene Richtungen und Phasen der gebirgsbildenden Kräfte ableiten: Die Decken wurden zuerst in Westsüdwest-Richtung überschoben; in einer späteren Phase entstanden die Siwalik-Strukturen mit West-Ost-Streichen durch Kräfte aus Norden, wobei gleichzeitig die Deckenfronten über bereits erodierte Siwalik-Zonen noch weiter nach Süden gelangten.

Im gleichen Abschnitt sind auch noch rezente Kräfte tätig. Auf die Siwalik-Überschiebung auf das oberste Ganges-Alluvium bei Kherwa wurde schon hingewiesen. Bei Dharan nun steigt das Ganges-Alluvium zum Fuß der Hügel um rund 200 m an. Durch diese Hebung wurde im Laufe der letzten hundert Jahre der Lauf des Sapt Kosi, der früher von seinem Austritt in die Gangesebene in gerader Richtung nach Süden geflossen ist, fortwährend nach Westen verlegt. Dabei wurden alljährlich nach heftigen Monsunregen die berüchtigten Verheerungen angerichtet. Die Regierung von Indien

versucht nun diesen Überschwemmungen durch den Bau eines Erddammes wenig südlich von Chatra Einhalt zu gebieten.

Im Zusammenhang mit jüngsten Krustenbewegungen können wir uns die Frage stellen: Warum fließt der Sun Kosi bei Batase nicht in gerader Richtung weiter nach Süden, über die Siwaliks in die Gangesebene hinaus? Der Paß von Batase liegt nämlich nur 400 m höher als das Flußbett des Sun Kosi. Es ist sehr wohl möglich, daß der Sun Kosi früher über jenen Paß direkt nach Süden geflossen ist, jedoch durch eine späte Hebung der Siwalik-Kette nach Osten abgelenkt wurde. Funde von Flußgeröllen aus den Decken im Gebiet südlich Batase würden dieses Rätsel lösen. Zeitmangel verbot es dem Verfasser, jenes Tal zu begehen.

Daß diese Annahme eines alten direkten Laufes des Sun Kosi durchaus plausibel ist, wird durch eine diesbezügliche Beobachtung weiter im Westen, bei Muksar, gestützt. Dort wurden nämlich im Bachgraben zwischen Muksar und dem südlichsten Siwalik-Kamm grobe kristalline Gerölle gefunden, welche im Einzugsgebiet jenes Baches nirgends anstehen, sondern die aus den Decken viel weiter nördlich hergebracht worden sind. Vor geologisch sehr kurzer Zeit muß also aus den Decken heraus über Tintale ein Bach über die heutige südlichste Siwalik-Kette geflossen sein. Erst durch eine subrezente Hebung kann die genannte Kette nördlich Muksar gehoben worden sein. Die Gerölle liegen nämlich zuoberst, als ob sie eben erst von einem Unwetter dort abgelagert worden wären.

b) Erläuterungen zu Tafel 5, Zentralnepal

Dieser Abschnitt der Siwaliks ist durch zahlreiche Strukturen gekennzeichnet, welche normal streichen; durch vermehrtes Auftreten der Ober-Siwaliks und der Unter-Siwaliks und namentlich durch die Divergenz der Strukturen westlich von Hitaura und die dadurch bedingte Ausweitung der Siwalik-Zone mit zwischenliegendem Dun-Tal des Chitawan und Angliederung neuer Strukturen im Süden. Insbesondere treten hier auch die überschobenen Siwaliks deutlich in Erscheinung, zum Beispiel im Querschnitt zwischen dem Bagmati und Dardara (Tafel 9, Profil 27). Die Strukturen und das Schichtstreichen in den überschobenen Decken sind durchaus parallel zu denjenigen in den Siwaliks. Querstrukturen fehlen sowohl in den Decken als auch in den Siwaliks vollkommen. Die Kräfte waren hier offenbar sehr einheitlich nach Südwesten gerichtet.

Besonders muß auf die Tatsache hingewiesen werden, daß nördlich des großen Dun-Tales von Chitawan im Mittelland eine ausgesprochene Scharung der Strukturen in den Decken (es sind hier die Nawakot-Decken) festzustellen ist. Ohne Zweifel dürften die vielen Kilometer mächtigen Siwalik-Formationen im Untergrund des Chitawan Dun als steifer Block, als Hindernis gewirkt haben, vor dem sich die gebirgsbildenden Kräfte stauten und zur eben geschilderten Scharung der Strukturen geführt haben. Der Chitawan-Block wurde offenbar als Ganzes nach Süden gedrückt und hat die südlich von ihm aus der Gangesebene auftauchenden Strukturen verursacht.

c) Erläuterungen zu Tafel 6, Zentralnepal

Im vorliegenden Abschnitt zeigten sich das rasche Schmälerwerden der Siwalik-Zone und das Verschwinden des Chitawan Dun nach Westen. Bei Butwal ist die Siwalik-Zone nur noch durch eine homogene Serie von Mittel-Siwalik-Sandsteinen vertreten, höchstens durch eine Verwerfung gedoppelt. Von Ratomate an nach Westen zeigen sich wieder neue Strukturen. Zunächst ist es der Antiklinalaufbruch von Ratomate-Manbare, dann südlich daran anschließend die große Synklinale von Harrebarre. Nordwestlich davon divergieren die Strukturen, und gleichzeitig treten neue solche in größerer Zahl auf (Tafel 10, Profil 43). Das große Rapti Dun öffnet sich nach Westen, und an dessen Süd-Flanke treten mächtige Ober-Siwalik-Nagelfluhgesteine auf. Bei Bangesal erscheint sogar eine Siwalik-Überschiebung, indem die hellen Mittel-Siwalik-Sandsteine dort halbkreisförmig über die Ober-Siwalik-Konglomerate überschoben sind. Ein bedeutender Antiklinalaufbruch zeichnet die Gebirgskette aus, welche das Rapti Dun im Norden begrenzt. In zwei Streifen treten auch die Unter-Siwalik-Schiefer zum Vorschein (Tafel 10, Profil 72).

Im Meridian, in welchem das *Rapti Dun* die größte Breite von 10 km aufweist, beginnt weiter nördlich das noch größere *Dun von Dang*. Dieses mißt 70 km in der Länge, und seine größte Breite beträgt 17 km. Nördlich des Dang Dun erscheint die Siwalik-Zone nur in einem ganz schmalen Streifen unter der Main Boundary Thrust. Stellenweise grenzen sogar die Piuthan-Schuppen direkt an die Alluvialfüllung des Dangbeckens. Die Struktur im Boden des Dang scheint im wesentlichen eine Antiklinale zu sein; denn an dessen

Südrand treten Unter-Siwalik-Formationen mit Süd-Fallen auf, während die Mittel-Siwaliks an der Main Boundary Thrust Nord-Fallen zeigen (vgl. Tafel 10, Profil 69).

In der Osthälfte des vorliegenden Kartenblattes verlaufen das Schichtstreichen und die Strukturen beidseits der Main Boundary Thrust parallel. Westlich von Manbare jedoch treten diesbezüglich Veränderungen auf. Diese treffen zusammen mit dem West-Ende der Nawakot-Decken und dem Einsetzen der Schuppen der obermesozoisch-tertiären Piuthan-Zone. Bei Singling, am West-Ende der Nawakot-Decken, weisen diese ein Streichen und auch Strukturen auf, welche nach Westen gerichtet sind. Es ergibt sich somit hier an der Main Boundary Thrust eine deutliche Winkeldiskordanz, da die Siwaliks ein Streichen von Südosten zeigen.

Von Bangesal bis zum Ost-Ende des Dang Dun ist das Schichtstreichen beidseits der Main Boundary Thrust wieder normal. Jedoch beim Öffnen des Dang Dun nach Westen tritt die Winkeldiskordanz der Main Boundary Thrust entlang erneut ein, und zwar wieder im gleichen Sinne wie bei Singling, indem die Piuthan-Schuppen nach Westen streichen, die Siwalik-Zone nach Nordwesten.

Im ganzen gesehen zeigt dieser Abschnitt zwischen Manbare und Dang mit seinen zahlreichen Antiklinalen, Synklinalen und ihren Kernablösungen eine gewisse Ähnlichkeit mit der Tektonik des Schweizer Jura. Die Antiklinalen jedoch zeigen nicht den Juratypus, sondern die auch für die Schweizer Molasse so typischen Antiklinalaufbrüche mit Vertikalstellung der Schichten anstelle des Scheitels (vgl. Tafel 10, Profil 64).

d) Erläuterungen zu Tafel 7, Westnepal

In diesem Abschnitt ist das West-Ende des Dang Dun ersichtlich. Das Rapti-Tal öffnet sich erneut zu einem weiten Dun, und dessen südlich begrenzende Siwalik-Kette taucht in West-Richtung endgültig unter das Ganges-Alluvium. Dieser untere Teil des Rapti-Tales ist demnach ein Isoklinaltal. Aus dem Dang heraus entwickeln sich nach Westen wieder zahlreiche sich ablösende Strukturen. Zunächst, im Gebiet des Sarda-Flusses, liegen sie ganz in den Mittel-Siwaliks. Später jedoch, weiter im Westen, treten in den Kernen der Antiklinalaufbrüche die Unter-Siwaliks zum Vorschein. In diesem Querschnitt zeigen sich nun auch wieder Abnormitäten im Streichen der Siwalik-Strukturen. Eine Antiklinale biegt aus dem normalen Nordwest-

Streichen bei Takarkot in westlicher Richtung ab und reicht bis zum Ganges-Alluvium. Bei Chyama treten in deren Kern, unmittelbar am Rand des Ganges-Alluviums, die Unter-Siwaliks zum Vorschein.

Nördlich dieser Zone ist der Austritt des Bheri-Flusses aus der Piuthan-Zone in die Siwaliks durch eine große West–Ost streichende Antiklinale mit Axialgefälle in Ost-Richtung vorgezeichnet. Diese Antiklinale setzt sich noch weiter nach Osten fort als bedeutende Verwerfung, welche die paläozoischen Schichten der Jajarkot-Decken mit einer Sprunghöhe von mehreren hundert Metern an die Piuthan-Zone grenzen läßt.

Östlich dieser Verwerfung bedeckt die Piuthan-Zone eine sehr große Fläche (vgl. Fig. 3, S. 22); westlich davon jedoch, zwischen den Siwaliks und den Jajarkot-Decken, zieht sie sich nur als schmaler Saum entlang der Main Boundary Thrust nach Nordwesten. Zweifellos reicht aber die Piuthan-Zone auch im Abschnitt zwischen dem Bheri und dem Karnali unter die überschobenen Decken weiter nach Norden, wie schon im Abschnitt II/2 ausgeführt worden ist. Hier vorhandene Querstrukturen (zum Beispiel die nach Norden in die Tiefe tauchende Querantiklinale der Ranimatta) scheinen aber nicht über die Main Boundary Thrust hinaus nach Süden zu greifen. Für die Entstehung des Dun von Surkhet kann vorderhand keine befriedigende Erklärung gegeben werden. Es scheint eine Antiklinalstruktur vorzuliegen. Sie steht vielleicht doch irgendwie mit den oben genannten Querstrukturen in Beziehung.

Der Babai-Fluß, welcher das Dang Dun entwässert, tritt östlich von Bargadaha aus den Siwaliks in die Gangesebene hinaus. Der Antiklinalaufbruch, durch welchen der untere Teil des Babai-Tales, südlich Lekhprarajuli, gekennzeichnet ist, taucht axial nach Nordwesten in die Tiefe. Dies erklärt auch das sprunghafte Zurücktreten der Siwalik-Grenze um 15 km nach Norden.

Das große Siwalik-Längstal, in welchem der Karnali und der Bheri bis zum Zusammenfluß fließen, wird durch eine ausgedehnte Serie von einförmig nordfallenden Ober-Siwalik-Konglomeraten gebildet. Bei Rekcha ist ersichtlich, wie die Piuthan-Zone teilweise in Schuppen über die Siwaliks geschoben sind (vgl. Tafel 10, Profil 84).

Bei Chisapani, wo der Karnali längs einer schwachen Antiklinalstruktur die Siwalik-Kette durchbricht, zieht offenbar auch eine Verwerfung mit Transversalverschiebung durch. Die Siwaliks greifen

westlich des Flusses bedeutend weiter nach Süden. Im ganzen gesehen weist jedoch das große Ober-Siwalik-Becken von Kune Ghat eine sehr eintönige Struktur auf (Tafel 10, Profil 81).

Zwischen Chuchekanda und Garbha treten nun aber wieder ausgeprägte Querströmungen auf in Form von Antiklinalen, Antiklinalaufbrüchen und Synklinalen. Das merkwürdige Knie des Thuli-Flusses ist solchen Querstrukturen zuzuschreiben.

Westlich von Garbha komplizieren sich die Verhältnisse wieder, indem sich längs der Main Boundary Thrust deutlich eine aufgeschobene Siwalik-Zone erstreckt. Die Jogbura Dhar (Dhar = Hügelzug) wird durch nordfallende Ober-Siwalik-Konglomerate gebaut, die jedoch nach oben ohne scharfe Grenze in junge Schotter übergehen. Auch diese weisen noch das gleiche Nord-Fallen auf. Die Hebung der Jogbura Dhar muß also als sehr jung datiert werden.

Ein sehr augenfälliger Beweis für junge Krustenbewegungen in diesem Sektor wurde in der *Siwalik-Überschiebung* von Petkot gefunden: Eine Antiklinale zieht sich von Champ nach Nordwesten, biegt östlich von Petkot nach Westen und Südwesten ab und geht 3 km westlich Petkot in eine Überschiebung über. Und zwar sind dort die hellen Sandsteine der Mittel-Siwaliks und braunen Schiefer der Unter-Siwaliks auf eine sichtbare Länge von 150 m über das oberste, lose Ganges-Alluvium überschoben (Fig. 7, S. 42). Zweifellos setzt sich diese Überschiebung nach Norden in die Tiefe noch fort.

Zu den selben jungen Krustenbewegungen gehören offenbar auch die merkwürdigen Terrassen, die sich vollkommen isoliert und ohne jeden sichtbaren Grund zwischen Tsamali und Dhangarhi aus dem sonst völlig ebenen Ganges-Alluvium erheben.

Durch Pipal Thok endlich verläuft die letzte Querstörung in Form einer flachen Synklinale. Im Kali Ganga nördlich Thanakpur scheint ebenfalls eine Querstörung durchzustreichen. Eine Antiklinalstruktur ist zwar nur angedeutet, jedoch ist das Siwalik-Gebirge östlich des Kali Ganga auffallend nach Süden versetzt. (Der Kali Ganga ist nicht mit dem Kali Gandaki in Zentralnepal zu verwechseln!)

Zusammenfassend können wir also in den Siwaliks eine deutliche Gliederung in verschiedene tektonische Zonen feststellen, nämlich in eine überschobene Siwalik-Zone und eine gefaltete Siwalik-Zone. Nach Süden klingen die Falten unter das Ganges-Alluvium aus. Die überschobene Zone liegt in Nähe der Main Boundary Thrust; sie ist

jedoch nicht auf der ganzen Länge zwischen Sikkim und Garhwal durchgehend ausgebildet. Auf einige allgemeine Zusammenhänge, insbesondere auf die Frage der Schuttfächer in den Siwaliks, soll im nächsten Abschnitt noch kurz eingegangen werden.

IV. GEBIRGSBILDUNG UND GEWÄSSERNETZ

1. Heutige Flußsysteme

Schon im ersten Abschnitt wurde darauf hingewiesen, wie die Hauptkette des Himalaya nicht auch die Hauptwasserscheide zwischen dem Ganges- und dem Tsangpo-Gewässernetz ist. Diese Wasserscheide liegt vielmehr weit nördlich der heutigen Hauptkette. Diese eigenartige Konfiguration der Wasserscheiden ist nicht nur auf den Nepal-Himalaya beschränkt, sondern man trifft sie im ganzen Bereich des Himalaya zwischen Pamir und Assam, d. h. auf einer Länge von rund 3000 km. Im genannten Gebiet sind drei Hauptsysteme an der Entwässerung beteiligt, nämlich das Tsangpo-Brahmaputra-System, das Indus-System und das Ganges-System. Das letztere entwässert den Himalaya direkt nach Süden. Indus und Tsangpo entspringen unweit nördlich der Nordwestecke von Nepal, im Gebiet des heiligen Sees Manesarowar–Mayum-Paß. Von hier aus fließt der Tsangpo rund 1200 km in Ostsüdost-Richtung und Ost-Richtung und biegt erst nach dem östlichen Eckpfeiler des Himalaya beim 7756 m hohen Namcha Barwa brüsk nach Süden und Südosten zum Golf von Bengalen ab. Der Indus fließt vom Manesarowar-See rund 800 km nach Westnordwesten und biegt dann um den 8125 m hohen Nanga Parbat, den westlichen Eckpfeiler des Himalaya, nach Süden ab.

Wenn hier von «Eckpfeilern» des Himalaya gesprochen wird, so ist damit keineswegs gemeint, daß das Himalayagebirge mit diesen Eckpfeilern endet. Es erstreckt sich darüber hinaus noch über gewaltige Distanzen; jedoch biegt es in den genannten Eckpfeilern scharf nach Süden ab. Indus und Tsangpo fließen also nicht östlich und westlich um das Himalayagebirge herum, sondern durchbrechen es an jenen Stellen, an welchen es einen fast rechtwinkligen Knick aufweist.

Wir wollen nun das Gewässernetz im Nepal-Himalaya etwas näher betrachten: Der gesamte Nepal-Himalaya liegt im Bereich des Gewässernetzes des Ganges (Fig. 8, S. 43). Und dies, obschon die Hauptkette – namentlich im Westen – gänzlich in Nepal liegt. Wir haben im Abschnitt II/3 gesehen, wie diese merkwürdige Konfiguration des Gewässernetzes ihre Erklärung darin findet, daß die heutige Hauptkette als jünger zu datieren ist als das weiter nördlich gelegene tibetische Randgebirge. Wir haben auch im Abschnitt II/6 gesehen, wie die Ur-Anlage des Gewässernetzes durch alte Transversalstrukturen gegeben wurde. Gewässernetz und Orogenese hangen eng zusammen.

Heute besteht das Gewässernetz aus drei Gruppen von Flüssen (Fig. 4 und 8, S. 23/43), nämlich von Westen nach Osten: dem Karnali-System, dem Narayani-System und dem Sapt-Kosi-System. In diesen drei genannten Flüssen werden alle Flüsse des Hochhimalaya und des Mittellandes gesammelt, und nur diese drei Flüsse haben einen Durchbruch durch die Mahabharat-Kette in die Gangesebene hinaus geschaffen.

Das Karnali-System setzt sich zusammen aus dem Seti Ganga, Humla Karnali, dem Mugu Karnali (dessen Oberlauf Langu heißt) und dem Bheri (dessen Oberlauf Barbung genannt wird). Humla Karnali und Mugu Karnali vereinigen sich wenig südlich des Durchbruches durch die Hauptkette zwischen Saipal-Bogen und Kanjiroba-Bogen. Der Seti Ganga vereinigt sich erst bei der Main Boundary Thrust mit dem Karnali und der Bheri sogar erst in der Siwalik-Zone. Wir wollen nun auf die Beziehungen zwischen Talbildung und Struktur etwas näher eintreten.

Der oberste Lauf das *Humla Karnali* liegt in der Purang-Synklinale zwischen dem Wurzelbogen des Saipal und dem Humla-Bogen (Fig. 3, S. 22). Purang gehört zum tibetischen Plateau. Wenig unterhalb Khojarnath frißt sich der Humla Karnali in einer gewaltigen Schlucht in die Humla-Antiklinale. In dieser pendelt er bis etwas östlich von Simikot und biegt dann nach Süden ab. Hierbei durchschneidet er die Wurzeln der Kathmandu-Decken und trifft im Fenster von Galwa auf die liegenden mesozoischen Karbonatserien, welche faziell den Bajang-Decken entsprechen. Das Fenster von Galwa wird durch einen kuppelartigen Aufbruch gebildet. Nicht von ungefähr ist in dieser geschwächten Zone auch der Zusammenfluß des Humla Karnali mit dem Mugu Karnali zu finden (Fig. 4, S. 23).

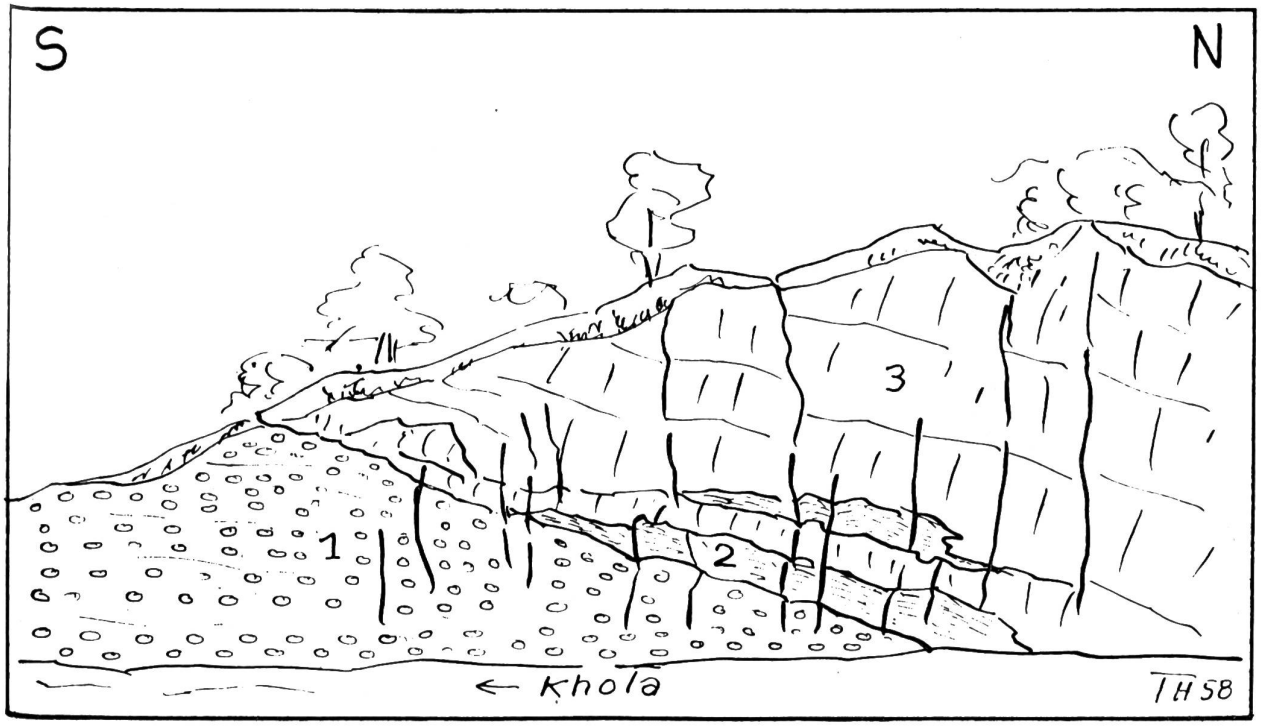


Fig. 7

Die Siwalik-Überschiebung von Petkot (Westnepal)
1 oberstes, rezentes Ganges-Alluvium; grobe Schotter
2 braune Schiefer der Unter-Siwaliks
3 helle Sandsteine der Mittel-Siwaliks
Die sichtbare Überschiebungslänge beträgt rund 150 m

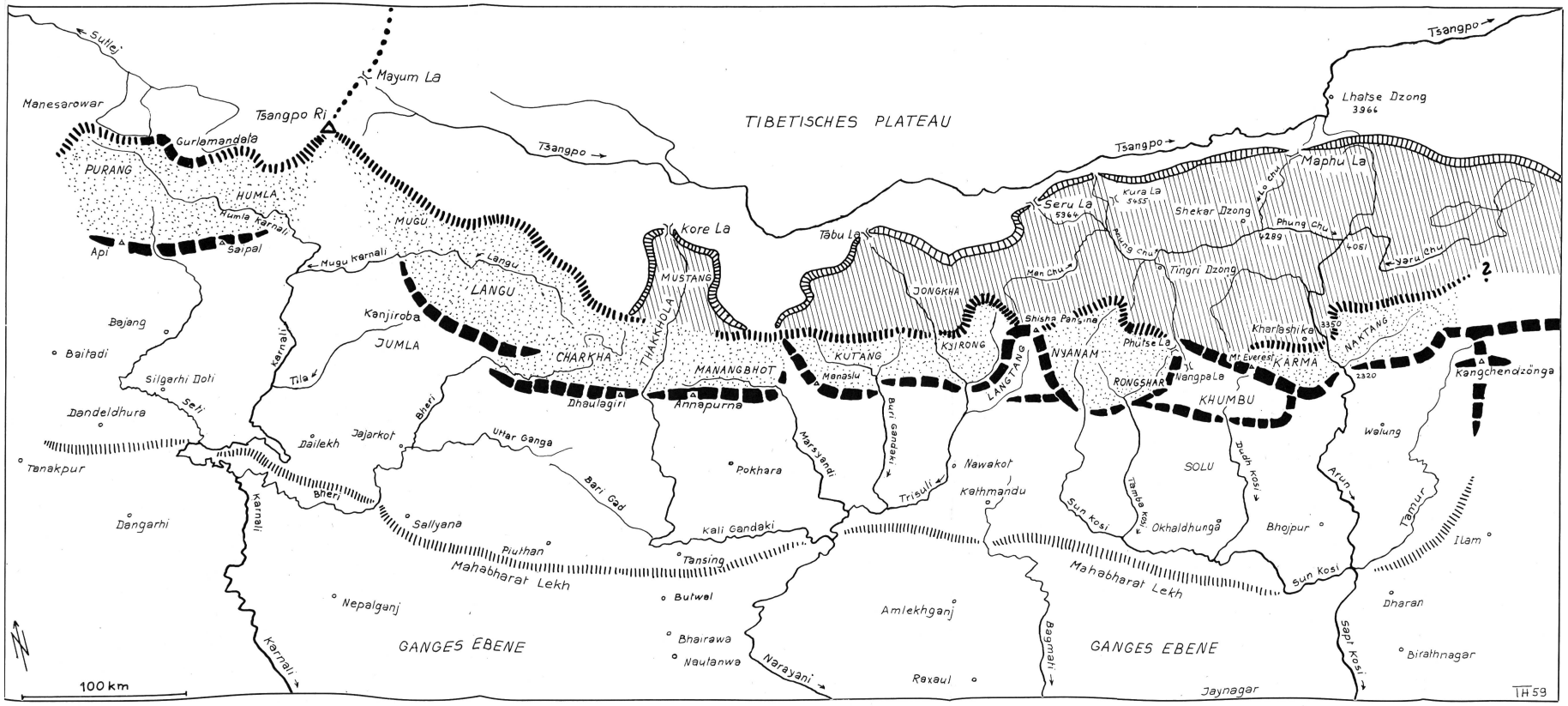


Fig. 8

Wasserscheide Indus-Brahmaputra (Tsangpo)
Watershed Indus-Tsangpo

Wasserscheide Ganges-Tsangpo
Main watershed Ganges-Tsangpo

von Süden angezapfte Becken des Tibetischen Plateaus
Basins of the Tibetan Plateau, drained to the south

Tibetisches Randgebirge (= Hauptwasserscheide westl. Thakkhola)
Tibetan marginal range

Becken des Innern Himalaya
Basins of the Inner Himalayas

Himalaya-Hauptkette
Himalayan main range

Mahabharat-Kette

Der *Mugu Karnali* entwässert das Langu-Becken, welches durch das tibetische Randsynklinorium gleichen Namens gebildet wird. Das obere Langu-Tal, bis zu seinem Durchbruch durch den Kanjiroba-Bogen (Fig. 3 und 4, S. 22/23), ist also ein Synklinaltal.

Nach dem Zusammenfluß von Humla Karnali und Mugu Karnali fließt der Karnali in Südsüdwest-Richtung in einer wenig ausgeprägten Antiklinalstruktur. Gewaltig ist seine Schlucht, wo er den Vorhimalaya bei Porapalni durchbricht. (In Fig. 4 ist dies der Schnitt mit den Hiunchuli- und Jajarkot-Bogen.) Die weit ausholenden Flußschlingen südlich davon werden durch die dort wurzelnden Schuppen der Dailekh-Zone verursacht (erste Schlinge, welche nach Osten ausholt) und durch die auf die Siwalik-Zone aufgeschobenen Schuppen der Piuthan-Zone (zweite Schlinge, welche nach Westen ausholt) (siehe Fig. 4, S. 23). Von seinem westlichsten Punkt ist ihm der kürzeste Weg durch die Siwalik-Kette nach Süden abermals versperrt. Er fließt in einem Isoklinaltal in den Siwaliks noch rund 30 km nach Osten, bevor er in einer durch eine Transversalverschiebung prädestinierten Schlucht endlich die Gangesebene gewinnt.

Der Bheri-Barbung entwässert denjenigen Teil des Langu-Synklinoriums, welcher unmittelbar nördlich der Dhaulagiri-Gruppe gelegen ist (Fig. 3 und 4, S. 22/23). In der Naht zwischen dem Dhaulagiri- und Kanjiroba-Wurzelbogen durchbricht er die Wurzelzone der Kathmandu-Decken. Auch die beiden nächsten Hindernisse, die Wurzelbogen der Hiunchuli- und Jajarkot-Decken, durchbricht der Bheri in gewaltigen Schluchten. Eine Antiklinale mit Verwerfung hat ihm den Ausgang aus der Schuppenzone von Piuthan erleichtert. Aber auch der Bheri muß von hier an noch rund 70 km hinter der Siwalik-Kette nach Westen fließen, bis er – gemeinsam mit dem Karnali – den Ausweg in die Gangesebene findet.

Der *Oberlauf des Kali Gandaki* wird durch den Thakkhola-Graben prädestiniert. Nach dem Durchbruch zwischen Dhaulagiri- und Annapurna-Bogen (Fig. 4, S. 23) fließt er nach Süden, bis er bei der Einmündung des Bari Gad in die Kali-Trisuli-Antiklinale eintritt. Der Weiterweg nach Süden ist ihm durch die Mahabharat-Kette versperrt, so daß er gezwungen ist, entlang dem Nordfuß des genannten Gebirges, vorgezeichnet durch die Kali-Antiklinale, 110 km nach Osten zu fließen. Nachdem er noch den Trisuli aufgenommen hat, durchbricht er die Mahabharat-Kette und tritt nun unter dem neuen Namen *Narayani* in das Dun-Tal von Chitawan.

Die genannte Durchbruchsstelle ist ebenfalls tektonisch durch eine ausgeprägte Scharung, durch einen Knotenpunkt der Mittellandstrukturen, prädestiniert.

Der *Trisuli*, wie auch seine größten Nebenflüsse, der *Buri Gandaki* und der *Marsyandi*, nimmt seinen Ursprung ebenfalls nördlich der Hauptkette und durchbricht diese in gewaltigen Schluchten in den Nahtstellen zwischen den Wurzelbogen des Manaslu, Ganesh und Langtang. Der Lauf des Trisuli nach dem Durchbruch ist durch die gleichnamige Antiklinale vorgezeichnet (Fig. 3, S. 22).

Der *Sun Kosi* durchbricht die Hauptkette in der Naht zwischen Langtang- und Gauri-Sankar-Bogen. Der direkte Ausweg nach Süden ist ihm durch die Mahabharat-Kette versperrt. Er ist gezwungen, an deren Nordfuß in der Sun-Kosi-Antiklinale rund 180 km nach Osten zu fließen, wobei er alle vom Himalaya herab fließenden Flüsse sammelt und erst nach der Einmündung in den Arun einen Ausweg nach der Gangesebene findet. An gleicher Stelle mündet auch der Tamur von Osten her in den Arun.

Der Lauf des *Arun* ist durch die mächtigste Querstruktur im Nepal-Himalaya gekennzeichnet, nämlich die schon beschriebene Arun-Antiklinale (Fig. 3 und 4, S. 22/23). Der Arun entwässert ein Gebiet von rund 25000 km², also mehr als die halbe Fläche der Schweiz!

Nördlich der Hauptkette zwischen dem Everest-Makalu-Bogen und dem Lumbasumba-Bogen durchschneidet der Arun die Hauptkette (Fig. 8, S. 43).

2. *Tektonik und Gewässernetz*

Die merkwürdige Tatsache des Ursprunges der Himalayaflüsse weit nördlich der Hauptkette und ihres Durchbruches hat natürlich schon seit langem und intensiv die Forscher beschäftigt.

Zwei Theorien standen sich gegenüber, um das eigenartige Durchbrechen der Flüsse durch die Hauptkette zu erklären. Die eine bestand darin, die Flußsysteme als vororogen, also als vor der Auftürmung des Himalaya entstanden zu betrachten. Die andere Theorie wollte den Durchbruch durch einfache, rückwärtsschreitende Erosion mit Anzapfung von tibetischen Flüssen von Süden her erklären.

L. R. Wagner untersuchte insbesondere die Verhältnisse im Arun. Er stellte dort fest, daß sein Längsprofil im Unterlauf eine flache

Kurve, also ein typisches Profil für einen ausgereiften Fluß aufweist. Der bedeutende Gefällsknick im Durchbruch durch die Hauptkette wollte allerdings nicht recht für einen «ausgereiften» Fluß passen. WAGNER hält im Prinzip an der primären Anlage des Gewässernetzes fest, doch kann seinen weiteren Erklärungen nicht mehr ohne weiteres gefolgt werden. Nach ihm entspricht die Überhöhung des Himalaya um rund 3000 m über das tibetische Plateau dem nach dem Ausräumen der großen Quertäler wiederhergestellten isostatischen Gleichgewicht. Er überlegte: Wenn man im Arun und im Sikkim-Himalaya das Gebirge nivellieren und die Täler mit dem anfallenden Schutt ausfüllen könnte, so würde daraus ein Plateau entstehen, dessen Oberfläche von 4600 m am Südrand des heutigen tibetischen Plateaus sanft gegen die Gangesebene hinunterfällt. Die ursprünglichen Himalayaflüsse hätten ihren Ursprung am tibetischen Plateaurand gehabt, hätten sich aber infolge verstärkter Erosion von Süden her nach rückwärts eingeschnitten. Um den durch die Erosion verursachten Massendefekt auszugleichen, sei aus isostatischen Gründen der tibetische Plateaurand um die oben schon genannten rund 3000 m gehoben worden.

ODELL glaubte ebenfalls an eine isostatisch bedingte Hebung des tibetischen Plateaurandes, jedoch als Folge des Massendefektes, entstanden nach dem Abschmelzen des eiszeitlichen Eisschildes im Himalaya.

G. O. DYHRENFURTH machte sodann die bedeutende Feststellung, daß die Achttausender wie Hebungsinseln über das Umgelände hinausragen. Dies ist der Eindruck, welchen auch die in Fig. 9 dargestellte Everest-Makalu-Gruppe aufdrängt.

Nach den Untersuchungen des Verfassers sind nun die spezielle Flußkonfiguration im Himalaya sowie dessen überragende Höhe vor allem tektonischen Kräften, und zwar Schubkräften und nicht nur einfachen Hebungen, zuzuschreiben. Es ist ja erstaunlich, daß WAGNER, der doch das ganze Aruntal begangen hat, die riesige Arun-Antiklinale mit ihrer totalen Scheitelhöhe von 16 km nicht erwähnt!

Als Schlußfolgerung nach den Untersuchungen des Autors ergibt sich der folgende erdgeschichtliche Ablauf:

Als erstes, früh- bis vororogenes Gebirge wurde das tibetische Randgebirge aus der Geosynklinale gehoben. Dieses bildete die erste Wasserscheide. Die Ur-Anlage des Gewässernetzes war durch alte Querstrukturen gegeben. Erst viel später, nämlich nach dem mitt-

leren Miozän, erfolgten die großen Deckenüberschiebungen nach Süden.

Die Urflüsse fanden Zeit, ihr Bett gleichzeitig mit der Hauptphase der Gebirgsbildung tiefer zu legen. Dies wurde noch begünstigt durch die schon früher einsetzende und noch andauernde Hebung des tibetischen Plateaus. Der Ur-Himalaya mag eine Höhe von etwa 3000 bis 4000 m, also in der Größenordnung unserer Alpen, gehabt haben. Zusammen mit der Hebung des tibetischen Plateaus ergab dies später eine totale Höhe von 7000 bis 8000 m. In einer sehr späten Phase, welche heute noch andauert, wurden die Wurzeln emporgepreßt zu ihrer heute alles überragenden Höhe in der Hauptkette. In dieser letzten Phase erfolgte die Hebung teilweise so schnell, daß die Flüsse nicht mehr Zeit fanden, ihr Bett im gleichen Maße tiefer zu legen; es entstanden tektonische Stauseen nördlich der Wurzelzonen, was durch ausgedehnte Seeablagerungen in den meisten Tälern nördlich der Hauptkette erwiesen ist. Im Thakkhola wurden diese pleistozänen Seeablagerungen sogar noch von der Wurzelhebung erfaßt: Sie steigen nach Süden, zu den Wurzeln hin, beträchtlich an.

Die Wurzeln wurden jedoch nicht auf ihrer ganzen Ost-West-Ausdehnung gleichmäßig in die Höhe gehoben. Durch die alten Querstörungen wurden die Stoßkräfte in einzelne bevorzugte Richtungen, zwischen den alten Querstrukturen, konzentriert. Dies ist die Erklärung für die Aufgliederung in die tektonischen Wurzelbogen, für die *synklinale Lagerung der höchsten Gipfel* und endlich für die Bildung der einzelnen Gebirgsgruppen zwischen den Durchbruchstälern. Die Achttausender können also sehr wohl als Hebungsinseln betrachtet werden, wenn auch nicht im Sinne einer Hebung «en bloc», aber doch im Sinne einer lokalen Emporpressung der Wurzeln und ihrer Rückenschuppe (Fig. 8, S. 43).

Natürlich haben die Flüsse infolge ihrer von Süden her viel stärkeren Erosion sich nach rückwärts eingeschnitten. So hat ohne Zweifel der Phung Chu (wie der Oberlauf des Arun genannt wird) ehemalige tibetische Flüsse angezapft, wie etwa das Becken von Tingri Dzong-Shekar Dzong. Es wird geologisch gar nicht lange dauern, bis er sogar den Tsangpo anzapft. Im Maphu-Paß und im Kura-Paß sind die obersten Rinnsale des Phung Chu nur wenige Kilometer vom Tsangpo entfernt.

Auch im Thakkhola-Graben hat der Kali Gandaki rückwärts Ge-

biete des tibetischen Plateaus angezapft, welche früher vom Tsangpo nach Norden entwässert worden sind.

Im *Mittelland* wurde das alte Gewässernetz noch weitgehend von späten tektonischen Ereignissen beeinflußt. Die *Mahabharat-Kette* hat sich erst sehr spät gegenüber dem Mittelland *gehoben*. Im Kathmandu-Tal steigen die pleistozänen Ablagerungen des ehemaligen Sees nach Süden, zur Mahabharat-Kette, um rund 250 m an! Ablagerungen von alten, ehemaligen «Alpenrandseen» wurden auch in andern Gebieten Nepals gefunden.

Durch die Hebung der Mahabharat-Kette übt diese nun eine Sammelfunktion für die Durchbruchsflüsse aus, wie schon in Abschnitt II/5 ausgeführt worden ist.

Es mag nun interessant erscheinen, zu versuchen, in den Siwaliks gewisse *Schuttfächer* auszuscheiden. In den Mittel-Siwaliks ist dies unmöglich, da diese eine außergewöhnliche lithologische Homogenität aufweisen. Die Verteilung der Nagelfluh der Ober-Siwaliks jedoch (Fig. 10, S. 48) weist auf die Anlage solcher Schuttfächer. Erstaunlicherweise finden sich nun *vor* den heutigen Mündungen der großen Flüsse (Sapt Kosi, Narayani) überhaupt keine Ober-Siwalik-Konglomerate. Nur der Karnali weist große Nagelfluh-Schuttfächer auf. Diese Schuttfächer sind in drei Zonen zusammengefaßt, nämlich zwischen Udaipur Garhi und dem Narayani, zwischen Piuthan und Babai-Fluß, zwischen Bheri und Karnali und untergeordnet noch östlich der Kali Ganga.

Es kann kein Zweifel bestehen, daß ein großer Teil der Querflüsse, welche heute in der Rinne am Nordfuß der Mahabharat-Kette gesammelt werden, ursprünglich in gerader Richtung nach Süden in den ehemaligen Ganges-Trog geflossen sind (Fig. 10, S. 48). So findet sich bei Udaipur ein Rest des Nagelfluhfächers des Ur-Dudh Kosi, im Gebiet des heutigen Bagmati der Fächer des Ur-Sun Kosi, nördlich von Bhikhna Thori der Fächer des Ur-Trisuli und Ur-Buri Gandaki, welcher mit demjenigen des Ur-Sun Kosi zusammenhängt, ferner beidseits des Narayani der Schuttfächer des Ur-Marsyandi.

Der Kali Gandaki ist auch zur Pliozänzeit nicht bei Tansing gerade hinaus nach Süden geflossen: Dort ist ebenfalls kein Nagelfluhfächer zu sehen. Ein solcher Fächer setzt erst wieder weiter westlich ein, im Meridian von Piuthan. Der Ur-Kali ist früher nach dem großen Durchbruch zwischen Dhaulagiri und Annapurna in südwestlicher Richtung geflossen und hat den Nagelfluhfächer des

Rapti- und Babai-Tales abgelagert. Diese Anlage steht offenbar mit der alten Dangarjong-Verwerfung in Beziehung, welche ja das ganze westlich dieser Linie gelegene Gebiet gehoben hat. Der Oberlauf des Bheri-Uttar stellt ein altes Tal dar, dessen oberstes Stück vom Mayangdi seitlich angezapft worden ist. Schon früher (HAGEN 1956) wurde die Vermutung ausgesprochen, daß dieses alte Hochtal einen früheren Lauf des Kali Gandaki darstellen könnte.

Wie aktiv die Hebung der Dangarjong-Verwerfung entlang gewesen ist, geht auch daraus hervor, daß in einem Gebiet etwa in der Größe der Schweiz alle Flüsse von diesem erhöhten Grabenrand nach Westen und Südwesten geflossen sind, wie der Langu, der Bheri-Barbung, der Bheri-Uttar Ganga zeigen. Der große Nagelfluhfächer im Karnali-Bheri-Längstal ist die vereinte Schüttung der drei genannten Flüsse. Dabei ist der Karnali ursprünglich direkt nach Süden geflossen; die großen Flußschlingen bei Ra bestanden zur Pliozänzeit sicher noch nicht.

WICHTIGSTE GEOLOGISCHE LITERATUR

AUDEN, J. B. — Traverses in the Himalaya. Records of the Geological Survey of India, vol. 69, part 2. Calcutta 1935.

— — The Structure of the Himalaya in Garhwal. Records of the Geological Survey of India, vol. 71, part 4. Calcutta 1937.

BORDET, P., und LATREILLE, M. — Esquisse géologique de l'Himalaya, de l'Arun et de la région de l'Everest. Paris 1958.

— — Esquisse géologique de la région de l'Everest et du Makalu. Paris 1958.

HAGEN, T. — Das Gebirge Nepals. Die Alpen, 32. Jahrgang, Hefte 5, 6, 7 und 11, 1956.

HEIM, A., und GANSSER, A. — Central Himalaya. Denkschriften der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Band 73, Abh. I. Zürich 1939.

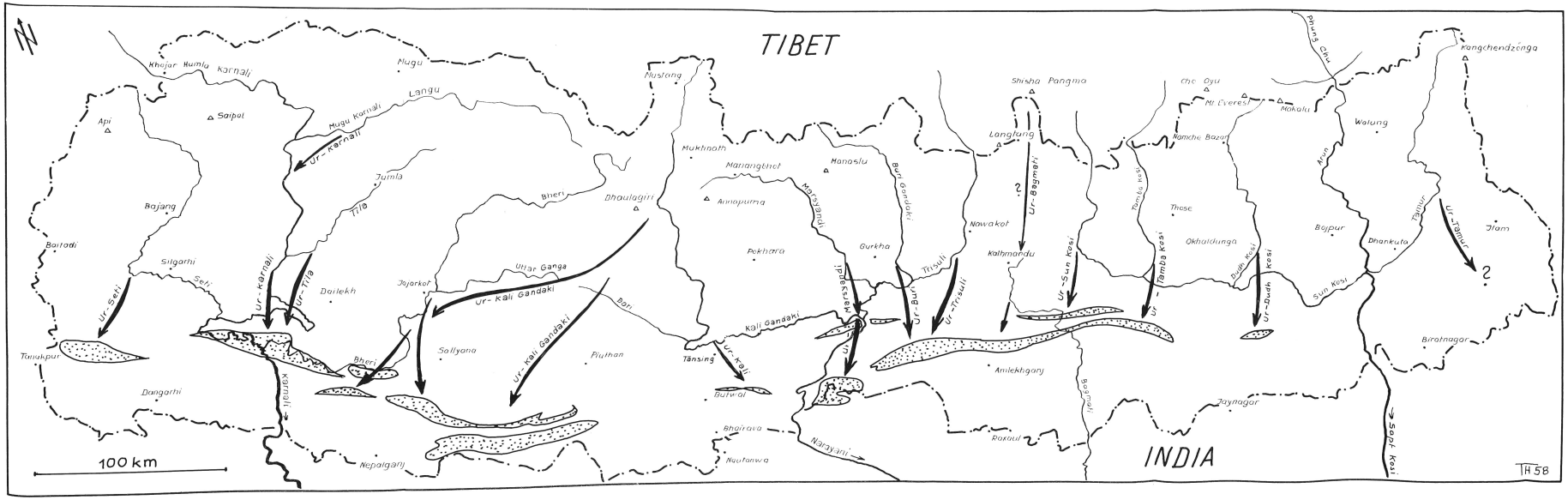
LOMBARD, A. — Un itinéraire géologique dans l'Est du Népal (massif du Mount Everest). Denkschriften der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Band 77, Abh. I. Zürich 1958.

MIDDLEMISS, C. S. — Geology of the Sub-Himalayas. Mem. G.S.I., vol. XXIV, pt. 2, 1890.

PILGRIM, G. E. — Correlation of the Siwalik Mamals. Rec. G.S.I., vol. XLIII, pt. 4, 1913.

WAGNER, L. R. — The Arun River Drainage Pattern and the Rise of the Himalaya. Geograph. Journal, vol. 89, 1937.

Fig. 10



Ober-Siwalik-Konglomerate
Upper Siwalik boulderbeds

wahrscheinliche alte Flußläufe
probable original river courses

Gipfel
Peak

Landesgrenze
boundary