

Zur Vergletscherungsgeschichte des Rolwaling Himal und des Kangchenjunga Himal (Nepal, Himalaya Südabdachung)

von Oliver König

Vorwort

Für die Anregung und Betreuung der Arbeit danke ich Prof. Dr. Matthias Kuhle.
Die Geländearbeiten im Rolwaling Himal und im Kangchenjunga Himal in 1997 wurden im Verbund mit Frau Dr. Sigrid Meiners durchgeführt, der ich herzlich danke.
Besonderer Dank gilt meinen Eltern für ihre Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	1
1. Einleitung.....	7
1.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	7
1.2 Material und Methoden.....	7
1.3 Gang der Abhandlung.....	8
1.4 Stand der Forschungen über die Arbeitsgebiete.....	9
1.5 Zur Orographie, Geologie und Klimatologie der Arbeitsgebiete.....	11
1.5.1 Zur Orographie und Geologie des Rolwaling Himal.....	12
1.5.2 Zur Orographie und Geologie des Kangchenjunga Himal.....	13
1.6 Zur Methode der Berechnung der Schneegrenze - am Beispiel des Rechten Rolwaling Gletschers und des Phernikharka Khola Gletschers.....	14
1.6.1 Der Verlauf der Schneegrenze des rezenten Rechten Rolwaling Gletschers.....	15
1.6.2 Der Verlauf der Schneegrenze des rezenten Phernikharka Khola Gletschers.....	17
1.6.3 Vergleich und Interpretation der Ergebnisse der Schneegrenzberechnung für den Rechten Rolwaling Gletscher und den Phernikharka Khola Gletscher.....	18
1.6.4 Rahmen- und Randbedingungen.....	19
1.6.5 Zusammenfassung.....	21
2. Empirische Befunde zur Vergletscherungsgeschichte des Rolwaling Himal und des Kangchenjunga Himal.....	23
2.1 Zur rezenten, postglazialen und LGM-zeitlichen Vergletscherung des Rolwaling Himal.....	23
2.1.1 Zur rezenten Vergletscherung des Rolwaling Himal.....	23
2.1.1.1 Zur rezenten Vergletscherung des orographisch linken Rolwaling Khola Talschlusses.....	23
2.1.1.2 Zur rezenten Vergletscherung des orographisch rechten Talschlusses des Rolwaling Khola	25
2.1.1.3 Die orographisch linke, nordexponierte Flanke des Rolwaling Khola mit den kleineren Gletschern des Yalung Ri, des Ramdang Peaks und einiger namenloser Gipfel... 26	
2.1.1.4 Die rezente Vergletscherung der orographisch linken Haupttalflanke talauswärts des Yalung Ri.....	27
2.1.1.5 Die rezente Vergletscherung der Rolwaling Khola Nordflanke mit dem Gaurisankar als herausragendem Gipfel.....	28
2.1.1.6 Der Verlauf der rezenten klimatischen Schneegrenze im Rolwaling Himal.....	29

2.1.2 Morphologische Indikatoren zur vorzeitlichen Vergletscherung des Rolwaling Himal.....	30
2.1.2.1 Der orographisch rechte Talschluß des Rolwaling Khola - Indikatoren für das Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung	30
2.1.2.2 Der orographisch linke Talschluß des Rolwaling Khola - Indikatoren für das Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung.....	33
2.1.2.3 Morphologische Indikatoren, die eine größere Gletscherbedeckung des Yalung Gebietes wahrscheinlich machen.....	35
2.1.2.4 Indikatoren zur vorzeitlichen Vergletscherung der Gletschervorfelder der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke zwischen Sanmakharka und Ramdin....	38
2.1.2.5 Das Rolwaling Khola zwischen Sanmakharka und dem Kloster von Na.....	39
2.1.2.6 Morphologische Indikatoren zur vorzeitlichen Vergletscherung des Rolwaling Khola zwischen dem Kloster von Na und dem Talausgang des Rolwaling Khola.....	50
2.1.2.7 Zusammenfassung der bisher dargestellten Befunde über das Rolwaling Khola.....	57
2.1.2.8 Das Bhote Kosi zwischen Lamobagar und Singali Bazar.....	60
2.1.2.9 Zusammenfassung der Befunde für das Bhote Kosi im Talabschnitt zwischen Lamobagar und Singali.....	67
2.1.3 Zusammenfassung der Befunde über den Rolwaling Himal.....	67
2.2 Zur rezenten, postglazialen und LGM-zeitlichen Vergletscherung des Kangchenjunga Himal.....	69
2.2.1 Die rezente Vergletscherung des Kangchenjunga Himal.....	69
2.2.1.1 Das Gletscherinventar des Ghunsa Khola.....	69
2.2.1.2 Das rezente Gletscherinventar des Simbua Khola.....	73
2.2.1.3 Der Verlauf der rezenten klimatischen Schneegrenze im Kangchenjunga Himal.....	74
2.2.2 Zur postglazialen und LGM-zeitlichen Vergletscherung des Kangchenjunga Himal..	75
2.2.2.1.1 Das Ghunsa Khola zwischen dem Talschluß und dem Talausgang des Lhonak Khola.....	75
2.2.2.1.2 Das Lhonak Khola.....	83
2.2.2.1.3 Der Talabschnitt zwischen Lhonak und Kanbachen.....	87
2.2.2.1.4 Ein orographisch rechtes Seitental westlich des Lhonak Khola und nördlich von Ramdan	91
2.2.2.1.5 Der Abschnitt zwischen Ramdan Moränenkomplex und Kanbachen.....	94
2.2.2.1.6 Geomorphologische Indikatoren im Talabschnitt des Ghunsa Khola zwischen Kanbachen und Ghunsa.....	95
2.2.2.1.7 Der Talabschnitt zwischen Ghunsa und Hellok.....	101
2.2.2.1.8 Das Yamatri Khola.....	108

2.2.2.2 Das Simbua Khola.....	110
2.2.2.3 Das Tamur Khola.....	118
2.2.3 Zusammenfassung der Befunde über den Kangchenjunga Himal.....	121
3.1 Die vorzeitliche Eisausdehnung im Rolwaling und Kangchenjunga Himal.....	124
3.1.1 Die Rekonstruktion vorzeitlicher Gletscherstände im Rolwaling Himal.....	124
3.1.2 Die Rekonstruktion vorzeitlicher Gletscherstände im Kangchenjunga Himal....	130
3.2 Die Korrelation der Befunde für den Rolwaling Himal und den Kangchenjunga Himal	133
3.3 Die Befunde aus dem Rolwaling Himal und dem Kangchenjunga Himal im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren.....	135
4. Zusammenfassung.....	140
5. Literaturangaben.....	141
6. Anhang.....	151

Tabellen, Abbildungen, Photos und Karten

I Tabellen

Tabelle 1: Die verwendeten Kartenblätter der Nepal Topographical Map Series

Tabelle 2: Übersicht über die rezenten und vorzeitlichen Schneegrenzen ausgewählter Gletscher des Rolwaling Himal und Kangchenjunga Himal

Tabelle 3: Die Veränderung der Höhenlage der realen Schneegrenze des Rechten Rolwaling Gletschers in Abhängigkeit von den Reliefparametern

II Abbildungen

vgl. Karte 5 und Karte 6

III Photos

vgl. Karte 5 und Karte 6

IV Karten

Kartentexte (Band 2: Seite3)

Karte 1: Glazialgeomorphologische Kartierung des Rolwaling Himal

Karte 2: Kartengruppe der für den Rolwaling Himal rekonstruierten Vergletscherung

Karte 3: Glazialgeomorphologische Kartierung des Kangchenjunga Himal

Karte 4: Kartengruppe der für den Kangchenjunga Himal rekonstruierten Vergletscherung

Karte 5: Die Photostandorte, Abbildungslokalitäten und Probenentnahmestellen im Rolwaling Himal

Karte 6: Die Photostandorte, Abbildungslokalitäten und Probenentnahmestellen im Kangchenjunga Himal

1. Einleitung

In der Zeit von September bis Dezember 1997 hatte der Autor die Gelegenheit, Feldarbeiten im nepalesischen Teil des Himalaya durchzuführen. Im Rahmen dieser Expeditionen wurden Teile des Rolwaling Himal und Teile des Kangchenjunga Himal aufgesucht (**Abbildung 1**). Eine Auswahl an Tälern beider Arbeitsgebiete wurde hinsichtlich ihres rezenten und vorzeitlichen glazialgeomorphologischen Formenschatzes untersucht.

Ergänzt wurden diese Expeditionen durch zwei weitere Reisen nach Nepal in den Khumbu Himal sowie den Langtang Himal (2000) und durch vergleichende glazialgeomorphologische Untersuchungen in den Alpen und Skanden zwischen 1997 und 2001.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit versucht, einen Beitrag zur Kenntnis der quartären Vergletscherungsgeschichte der Himalaya Südabdachung zu liefern. Die Interpretation des glazigenen Formenschatzes der besuchten Talschaften bildet die Grundlage für die Ausweisung von Vergletscherungsphasen in der Zeit zwischen der Gegenwart und dem letzten Hochglazial (Last Glacial Maximum, LGM) mit einem Schwerpunkt auf der Rekonstruktion der maximalen hochglazialen Eisausdehnung in den Untersuchungsgebieten. Auf der Basis der rekonstruierten Gletscherstände werden Schneegrenzabsenkungen berechnet. Über das Maß der berechneten Schneegrenzabsenkungen werden die Gletscherstände in den behandelten Talschaften in Beziehung gesetzt (**Karte 1 bis Karte 4**).

1.2 Material und Methoden

Die in **Tabelle 1** aufgelisteten Blätter der Nepal Topographical Map Series 1:50000 und für die südlicheren Gebiete die Blätter der Nepal Topographical Series 1: 25000 bilden die Kartengrundlage für die vorliegende Abhandlung. Die Karten sind im Auftrag des Survey Department of His Majesty's Government of Nepal erstellt worden und teilweise erst seit Anfang 2000 offiziell erhältlich.

Höhenangaben, Ortsbezeichnungen und geographische Namen sind den obigen Kartenwerken entnommen. Die von der nepalesischen Administration in dem genannten topographischen Kartenwerk festgelegten Bezeichnungen werden als eindeutig und relevant verstanden. Die Höhenangaben durch den Autor beziehen sich auf den Mittleren Meeresspiegel (Pegel Indien).

Alle wesentlichen genannten Lokalitäten in den Arbeitsgebieten sind den Karten in der Anlage zu entnehmen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit fußen auf der Methode der morphologischen Reliefanalyse. Hierbei galt es insbesondere, den glazialgeomorphologischen Formenschatz aufzunehmen, zu beschreiben und mit Hilfe geeigneter Photographien zu dokumentieren. Zusätzlich wurden Proben zur sedimentologischen Laboranalyse entnommen. Die Photostandorte und Probenlokalitäten sind in **Karte 5** und **Karte 6** verzeichnet.

Der Kern der Methode der glazialgeomorphologischen Reliefaufnahme liegt in der Analyse der zwischen einzelnen Relieftteilen bestehenden Lagebeziehung. Die Darstellung der Beziehung einzelner Elemente eines Reliefs ermöglicht es, Aussagen zum früheren Landschaftsbild eines Raumes abzuleiten, die einer hohen Wahrscheinlichkeit unterliegen. Hierbei ist zwischen empirischen Befunden mit hohem und niedrigerem Indikatorwert zu unterscheiden (vgl. KUHLE 1991: Fig.22 u. DERS.:Kapitel 4.6).

Wesentliche Textteile der das Relief beschreibenden Ausführungen finden sich in den Phototexten, wobei - nicht zuletzt im Interesse der Lesbarkeit der vorliegenden Arbeit - im Rahmen der Bildtexte die Beschreibung nicht immer eindeutig von der Interpretation der Formen bzw. deren Lagebeziehung zu trennen ist. Es finden sich in den Texten zu vielen Photos Interpretationen morphologischer Befunde, die erst später im Textteil detailliert erarbeitet werden.

Im Verlauf der Abhandlungen werden Schneegrenzberechnungen durchgeführt. Die für die Berechnungen angewandte Methode ist in einem gesonderten Kapitel beschrieben (**Kapitel 1.6**). Die Ergebnisse der Berechnungen sind in **Tabelle 2** zusammengefaßt.

1.3 Gang der Abhandlung

Zunächst gilt es, einen Überblick über den Stand glazialgeomorphologischer Forschungen zu den Arbeitsgebieten zu geben. In Kombination mit der daran anschließenden Beschreibung der orographischen, klimatischen und geologischen Grundlagen der Arbeitsgebiete leitet dieser Teil zur Beschreibung der Geomorphologie der zu behandelnden Talschaften über. Hierbei wird insbesondere auf die Trennung zwischen der Formenbeschreibung und der Formeninterpretation Wert gelegt. Zusammenfassende Aussagen zum Ausmaß und Ablauf der vorzeitlichen Vergletscherung der Arbeitsgebiete schließen sich in einem dritten Kapitel an. Hierbei gilt es, neben der Interpretation der eigenen morphologischen Befunde, die Ergebnisse anderer Autoren mit den eigenen Daten in Beziehung zu setzen und eventuell bestehende Diskrepanzen aufzuzeigen.

Der historische Gegenstand dieser Arbeit und insbesondere die morphologische Reliefanalyse zur Herstellung relevanter Lagebeziehungen einzelner Reliefeinheiten machen es u. U. notwendig, Ergebnisse der Schrift zu berücksichtigen, die erst in späteren Textteilen ausführlich behandelt werden.

Die ausführlichere Ausarbeitung einzelner Geländesituationen und Reliefausschnitte dient mitunter als Muster für die im folgenden Text knappere Beschreibung und Interpretation vergleichbarer Phänomene.

1.4 Stand der Forschungen über die Arbeitsgebiete

Für den Rolwaling Himal sind mit Hilfe angemessener bibliographischer Methoden keine Arbeiten zu ermitteln, die die rezente oder vorzeitliche Vergletscherung umfangreich beschreiben, sieht man von dem vom Autor 1999 vorgelegten Artikel und der Arbeit von MEINERS (1999) zur post-hochglazialen Vergletscherungsgeschichte ab. Die Nordabdachung des Untersuchungsgebietes findet Berücksichtigung in den Arbeiten von KUHLE (1999:59 hier Photo 14, Figure 3). Die "...mittlere klimatische Schneegrenzhöhe im Hoch-Würm ..." gibt KUHLE (1999: 6, Figure 2) mit 4300m an.

Die von KUHLE (1990) vorgelegte Arbeit über die Südabdachung des Kangchenjunga Himal gibt eine Übersicht über die Vergletscherungsgeschichte eines Teiles der in diesem Arbeitsgebiet zu behandelnden Talschaften. Die entsprechenden Befunde werden im empirischen Teil zu den eigenen Ergebnissen in Beziehung gesetzt. Die "... mittlere klimatische Schneegrenzhöhe im Hoch-Würm ..." für das Kangchenjunga Gebiet gibt KUHLE (1999: 6, Figure 2) mit 4000m an. Die LGM (Last Glacial Maximum, ca. 16.000 bis 60.000 Jahre BP, d.h. ca. Marine Isotope Stage 2 und 3, vgl. KUHLE 1987:Table 1 wohingegen OWEN et al. 2002 nur den Zeitraum zwischen 18.000 und 25.000 Jahren [MIS 2] als LGM bezeichnen) Eisrandlage für den Kangchenjunga Himal sieht KUHLE (1990, 1998b) in 890m nahe der Siedlung Thuma durch moränisches Material in Kombination mit glazifluvialen Sedimenten belegt. Für diese ERL (Eisrandlage) gibt KUHLE (1990) die Lage der Schneegrenze in 3900m an, dies "represents an equilibrium snowline depression of 1660m." (S. 420).

Eine unter der Leitung von DYHRENFURTH im Jahre 1930 durchgeführte Expedition führte u. a. ins Ghunsa Khola zur Kangchenjunga Westseite bis in Höhe der Siedlung Pang Pema. Glazialgeomorphologische Aufnahmen wurden nur am Rande durchgeführt, sollten jedoch trotzdem Beachtung finden. DYHRENFURTH (1931) nimmt an, "daß noch vor wenigen hundert Jahren, das ganze Kangchen-Tal wenigstens bis Khunza eisverfüllt war" (S. 308). (Khunza=Ghunsa, 3407m). Des weiteren beschreibt DYHRENFURTH für das Yalung Tal "vier Systeme von Seitenmoränen übereinander" (S.307). "Da der Höhenabstand des ältesten (obersten) Moränenwalles nur wenige hundert Meter beträgt, handelt es sich offenbar nur um Rückzugs- bzw. Stillstandsphasen der Postglazialzeit"

(DYHRENFURTH 1931:307). KURZ (1931) dokumentiert den Gletscherstand von 1930 in einer Karte im Maßstab 1:100000. Außerdem liegt eine Arbeit von MAYEWSKI u. JESCHKE (1979) zur Gletscherveränderung seit 1812 vor.

In einer geomorphologisch fundierten Arbeit belegt MEINERS (1999) post- und spätglaziale Gletscherschwankungen für den Rolwaling Himal und den Kangchenjunga Himal. Für das erstgenannte Gebiet geht MEINERS (ebd.) von einer "late Late Glacial" Schneegrenzabsenkung von "approx. 800m" (ebd. 1999:368) aus. Im Kangchenjunga Himal beschreibt die Autorin eine Schneegrenzabsenkung im Zeitabschnitt zwischen "middle to late Late Glacial" von 900m bis 1300m (ebd.1999:371). Die geomorphologischen Befunde werden im empirischen Teil stärker berücksichtigt.

Der Aufsatz von ASAHI u. WATANABE (2000) zur Vergletscherungsgeschichte des Kangchenjunga Himal steht im Widerspruch zu den Befunden von KUHLE (1990), MEINERS (1999), KÖNIG (1999) und DHYRENFURTH (1931) sowie zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit und läßt sich nicht mit den Befunden aus benachbarten Gebieten (vgl. **Kapitel 3.2**) korrelieren. Die von ASAHI u. WATANABE (2000: Figure 3) beschriebenen Eisrandlagen einzelner Gletscher für das LGM schwanken um 1500m Höhenmeter zwischen 3000m und 4500m. Während der rezent größte Gletscher des Kangchenjunga Himal, der Kangchenjunga Gletscher, im LGM kaum weiter ausgedehnt war als heute, senkt sich eine, so ASAHI u. WATANABE (2000) weiter, ins LGM zu stellende Eisrandlage des Yamatri Gletschers - eines kleineren, niedrigeren und südlicheren Einzugsgebietes - um ca. 1500m auf 3000m gegenüber der heutigen ERL ab. Dieses drastisch unterschiedliche Verhalten der Gletscher wird von den Autoren weder kritisch reflektiert noch ist es schlüssig zu begründen. "The interpretation of aerial photographs and the field observations clarified that changing valley morphology from an ambiguous U-shaped to a V-shaped along the Ghunsa Khola at an altitude of approximately 2800m represents the former maximum extent" (ASAHI et al. 2000). Demgegenüber steht die empirisch belegte Ansicht von KUHLE 1982:173: "Trogtäler alpinen Musters aber sind selten und größtenteils auf den Inneren Himalaya beschränkt. Es dominieren Kerbtalformen ..." im Bereich der Ablationsgebiete der letzthochglazialen Gletscherausdehnung.

Die Ansicht der vier Autoren (ASAHI et al. 2000b) steht zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit im Widerspruch und ist in sich nicht schlüssig. OWEN et al. (2002) schließen sich dennoch der Ansicht von ASAHI et al. (2000b) an, ohne die für das Gebiet vorliegende Arbeit des Autors (KÖNIG 1999) zur Kenntnis zu nehmen oder die zitierten Arbeiten von KUHLE (1990) und MEINERS (1999) kritisch zu reflektieren oder eigene Geländebefunde beizusteuern.

Hinsichtlich des Einflusses der Vergletscherung Tibets auf das Ausmaß der Vergletscherung des Bhote Kosi Durchbruchstaes im Rolwaling Himal gilt es, die Arbeiten von KUHLE (1987, 1988a, 1988b, 1991, 1997, 1998a, 1999, 2002) zu

berücksichtigen. KUHLE (ebd.) kann für die, hier aufgrund ihrer räumlichen Nähe zu den Arbeitsgebieten des Autors herauszuhebenden Talschaften des Bote Chu (zwischen Langtang Himal und Rolwaling Himal), des Bhote Kosi Nadi ([Nangpa La-Tal bzw. Kyetrak Gletscher nördlich des Passes] östlich des Rolwaling Khola im Khumbu Himal) und des Arun Khola Eisinjektionen im Sinne von Auslaßgletschern eines tibetischen Inlandeises von Norden auf die Himalaya Südabdachung belegen (vgl. **Kapitel 3.3**). Für das Kangchenjunga Gebiet erscheint eine solche Eisinjektion aus Norden aufgrund der Orographie des Talschlusses weniger bedeutsam, obschon dies nicht bedeutet, daß nicht eine Kombination der Einzugsgebiete über die Wasserscheide nach Tibet hinweg bestanden haben kann.

Die von ITURRIZAGA (1999a, 1999b) vorgelegten Arbeiten zur Differenzierung der Schuttkörper in Hochasien sind insbesondere hinsichtlich der Interpretation der in den Arbeitsgebieten häufig vorgefundenen Umlagerung von glazial sedimentiertem Material und der resultierenden Schuttkörperbildung von Bedeutung.

1.5 Zur Orographie, Geologie und Klimatologie der Arbeitsgebiete

Die großklimatischen Rahmenbedingungen sind, soweit sich dies aus der bisher bekannten Datenbasis ableiten läßt, für beide Arbeitsgebiete hinsichtlich der Bedeutung für die vorliegende Fragestellung annähernd gleich und können deshalb zusammenfassend beschrieben werden. Langjährige, aussagekräftige Klimameßreihen einzelner Meßstationen fehlen für beide Gebiete.

Das Klima der Himalayasüdabdachung wird bestimmt durch die Lage südlich von 28° nördlicher Breite und den monsunalen Niederschlägen, deren Hauptmenge zwischen Juni und September fällt (vgl. TAKAHASHI u. ARKAKAWA 1981). Die Niederschlagsmenge schwankt in Abhängigkeit von der Orographie und der absoluten Höhe in den Arbeitsgebieten zwischen ca. 3000mm und ca. 600mm (vgl. ZIMMERMANN et al. 1986: Fig.2, SHRESTA 2000, MIEHE et al. 2001), tendenziell fällt im Osten Nepals mehr Niederschlag als im Westen. Kleinräumig erfaßte diesbezügliche Informationen fehlen. Die Jahresmitteltemperatur der Arbeitsgebiete schwankt zwischen ca. 17 °C in den tieferen Lagen unterhalb von 900m Meereshöhe und unter -20 °C in den Gipfelregionen des Kangchenjunga (8586m, vgl. KUHLE 1987). In dieser Höhenstufe sind alle Klimafaktoren kleinräumig einer hohen Variabilität unterworfen, die im wesentlichen durch die Orographie bestimmt wird (vgl. die Klimadiagramme in JACOBSEN 1990, ZIMMERMANN et al. 1986, MIEHE et al. 2001).

Von herausragender Bedeutung für die Gletscherernährung ist der Umstand, daß die Zeit der höchsten Niederschlagsmenge in den Abschnitt des Jahres fällt, der die höchsten Temperaturen aufweist, da es sich um monsunale Niederschläge handelt. Die winterlichen, nicht monsunalen Niederschläge tragen kaum mehr als 20 Prozent zur

Niederschlagsgesamtsumme bei (SHRESTA 2000, vgl. das Diagramm "Kamachin" [Kanbachen] in MIEHE et al. 2001). Die rezenten Gletschereinzugsgebiete ragen so weit über die temporäre sommerliche Schneegrenze hinaus, daß ein erheblicher Teil der Sommerniederschläge positiv in die Haushaltsbilanz eingehen kann (vgl. AGETA 1976). In extremer Weise steht dieser Konstellation die Ernährung der Gletscher der Skanden gegenüber: Hier reichen die Einzugsgebiete im Sommer kaum über die temporäre Schneegrenze hinaus, der relative Einfluß der sommerzeitlich sehr hohen Niederschläge verliert somit an Bedeutung (vgl. WINKLER 1996:485ff.).

1.5.1 Zur Orographie und Geologie des Rolwaling Himal

Das Bhote Kosi entwässert als Nordsüd verlaufendes Durchbruchstal zu Tibet u. a. die Nordwestabdachungen des Melung Tse, des Jobo Garu sowie des Gaurisankar (7135m) (**Karte 1**).

Der Bhote Fluß wird unterhalb der Einmündung des Sangawa Khola Tamba genannt, der weitere Talverlauf wird als Tamba Kosi bezeichnet. Nahe der Siedlung Chinpurta, südöstlich von Kathmandu, mündet der Tamba in den Sun Kosi. Der Teil des Arbeitsgebietes im Bhote Kosi beschränkt sich auf den Talabschnitt zwischen der Siedlung Lamobagar (1965m, **Karte 1**) im Norden und der Einmündung des Dolti Khola (850m, ein orographisch rechtes Seitental, nördlich der Siedlung Charikot) im Süden. In diesem ca. 31 km langen Talabschnitt fällt der Talboden von 1970m auf 850m ab. Die höchsten Gipfel erreichen oberhalb der Siedlung Lamobagar Höhen bis 4800m an der westlichen Talflanke bzw. 4720m an der östlichen Talflanke (**Photo 1**, **Photo 73**).

Das von Ost nach West verlaufende Rolwaling Khola ist ein orographisch linkes Seitental des Bhote Kosi, dessen Einmündung in 1430m ca. drei Kilometer südlich von Lamobagar liegt (**Photo 3**). Das Wassereinzugsgebiet ist ca. 330km² groß. Die Nordabdachung des Rolwaling Tales kulminiert im 7135m hohen Gaurisankar Hauptgipfel (**Photo 4**), dem höchsten Gipfel dieses Arbeitsgebietes. Nach Norden wird das Tal begrenzt durch eine im Mittel wenig über 6000m hohe Kette, deren längenkreisparallel verlaufende Fortsetzung unterhalb des Kang Korob (6703m) die Wasserscheide zum (dem Khumbu Himal zuzuordnenden) Bhote Kosi Nadi bildet (talauswärtig Dudh Kosi, Thame Khola - die Siedlung und das berühmte Kloster Thame liegen am Talausgang, vgl. KÖNIG 2002). Dieser Teil der Rolwaling Taleinfassung, d.h. die östliche Begrenzung, kulminiert in einem 6943m hohen Gipfel. Der 5760m hohe Teshi Lapcha La vermittelt ins Thame Khola.

Die südliche Talbegrenzung des Arbeitsgebietes bildet die Sambur Danda Kette, die im östlichen Talabschnitt Höhen bis 6730m erreicht und, im Gegensatz zur Nordflanke des Rolwaling Khola, kontinuierlich nach Westen hin abfällt.

Des weiteren münden im Talabschnitt zwischen Lamobagar und Singali Bazar die Täler Sleri Khola, Khare Khola sowie das Karduwa Khola orographisch rechts in das Bhote Kosi ein. Für die orographisch linke Flanke sind die Täler Sangawa Khola, Gumbu Khola und Deni Khola zu nennen.

Das ca. 25 km lange Khare Khola konnte während der Expedition aufgesucht werden. Das Ostnordost nach Westsüdwest verlaufende Tal beginnt im oberen Abschnitt der Südabdachung des Rolwaling Khola mit dem Paß Yalung La (5350m, zwischen Yalung Ri (5647m, **Photo 5**) und Ramdang Peak (6258m)) und mündet in Höhe der Siedlung Suri Dhoban (1000m) orographisch links ins Bhote Kosi. Der Talschluß erreicht eine maximale Höhe von 5930m (Ramdang Peak).

In den nördlichen Abschnitten des Untersuchungsgebietes stehen im wesentlichen Migmatite und Paragneise an - im nordöstlichen Teil (dem nordöstlichen Teil des Einzugsgebietes des Rechten Rolwaling Gletschers) finden sich Granite. Getrennt durch die MCT Zone bestimmen südlich von Gongar Shists (MCT) und Phyllite das geologische Bild (vgl. HAGEN 1968, SCHELLING 1989, STÖCKLIN 1980).

1.5.2 Zur Orographie und Geologie des Kangchenjunga Himal

Der Kangchenjunga Himal ist im wesentlichen in drei Haupttäler gegliedert: Das Nup Khola, das Ghunsa Khola und das Simbua Khola - diese Täler vereinigen sich nahe der Siedlung Hellok (1520m) zum Tamur Khola (**Karte 3**). Das ca. 52km lange, von Nordost nach Südwest verlaufende ca. 750km² große Ghunsa Khola entwässert den größten Teil des Kangchenjunga Himal Einzugsgebietes. Das Tal wird vom Kangchenjunga (8586m), dem dritt höchsten Berg der Erde, überragt und von einer Gebirgskette eingefafßt, die nördlich der Alm Ramdan eine mittlere Höhe von über 7000m aufweist. Zwischen einem namenlosen Gipfel (6792m) und dem Tent Peak (7362m) trennt diese Kette den Kangchenjunga Himal vom Inneren Himalaya. Südlich des Tent Peak bildet der Gipfelgrat bis zum Khanla Khan (5562m) die östliche Abgrenzung des Kangchenjunga Himal zu Sikkim. Der Kangchenjunga Hauptgipfel als Teil dieser Gebirgskette trennt die Einzugsgebiete des Ghunsa Khola und des ca. 40km langen Simbua Khola. Die Wasserscheide zwischen diesen Haupttälern verläuft über den Kangchenjunga (8596m), den Kanbachen (7912m), den Khumbarkarna (7711m), den Boktoh (6114m), den Lapsan La (5161m) und die Pasan Dada. Westlich von Cheram sinkt der Gratverlauf unter 5000m. Das in der vorliegenden Arbeit nicht behandelte Nup Khola schließt sich westlich des Nupchu Peaks an und wird durch die Tanga Kette bzw. die Birdhunga Dada und die Lowa Dada vom Ghunsa Khola getrennt.

Das Ghunsa Khola ist kein Durchbruchstal zu Tibet und unterscheidet sich somit deutlich vom Bhote Kosi (Rolwaling Himal). Der niedrigste dem Ghunsa Khola Einzugsgebiet

zuzuordnende Paß zur Himalaya Nordabdachung erreicht im nördlichsten Teil des Lhonak Khola eine Höhe von 6016m (Chabuk La); östlich findet sich der 6114m hohe Jinsan La.

Das Simbua Khola wird durch die Simhalila Range zwischen Kangchenjunga und Khanla Khan (5562m) in östlicher Richtung begrenzt. Südlich des Rathon (6682m), zwischen Rathon und Kokthan (6148m), sinkt die Grathöhe auf ca. 5200m; der erste Paß unterhalb der 6114m Isohypse, der nach Sikkim vermittelt. Die Simbua Khola Südabdachung bildet eine bis maximal 5400m hohe Kette, die ca. 6km östlich des Kokthan keine Höhen über 5000m mehr erreicht und die Wasserscheide zum Kabeli Khola bildet. Das Wassereinzugsgebiet ist ca. 310km² groß.

Im Tamur Khola erstreckt sich das Arbeitsgebiet zwischen Hellok im Norden (1520m) und dem ca. 28km südwestlich gelegenen Dobhan (650m), südlich der Konfluenz von Nema Khola und Tamur Khola. Die höchsten Gipfel der Seitentäler dieses Talabschnittes reichen nicht über die 4000m Isohypse (Neghun 3880m).

Die Geologie des Untersuchungsgebietes wird bestimmt durch Paragneise, Augengneise und Migmatite, deren komplizierte räumliche Differenzierung bisher noch nicht umfangreich beschrieben ist. In den nördlichsten Abschnitten finden sich "marginal granites of the Himalayan Schuppen zone" (HAGEN 1968), wie sie auch im nordöstlichen Bereich des Rolwaling Himal anstehen.

1.6 Zur Methode der Berechnung der Schneegrenze - am Beispiel des Rechten Rolwaling Gletschers und des Phernikharka Khola Gletschers

Das folgende Kapitel beschreibt die für die Berechnungen der Schneegrenze angewandte Methode am Beispiel zweier rezenter Gletscher - des Rechten Rolwaling Gletschers und des Phernikharka Khola Gletschers (**Karte 1**) (vgl. KUHLE 1986c, JACOBSEN 1990).

Die Berechnung der Schneegrenze bietet die Möglichkeit der numerischen Beschreibung und Klassifikation von rezent oder vorzeitlich vergletscherten Raumeinheiten. Diese sind, repräsentiert durch absolute Zahlenwerte, weitestgehend von den Geländeformen und absoluten Dimensionen losgelöst. Die Reduktion der einen Gletscher beschreibenden Parameter auf wenige numerische Werte bietet die Möglichkeit, für eine große Anzahl von Gletschern mögliche Aktions- und Interaktionsräume glazialer Wirkungsgefüge zu erfassen. Diese können als zwischenzeitlich von den determinierenden Faktoren Geländeform und Klima abgehoben und vergleichbar gelten und müssen in einem weiteren Schritt in den Raum zurück projiziert werden.

1.6.1 Der Verlauf der Schneegrenze des rezenten Rechten Rolwaling Gletschers

Für den rezenten Rechten Rolwaling Gletscher (**Photo 6, Photo 7**) können zwei wesentliche Rahmendaten bestimmt werden:

Das Einzugsgebiet erreicht eine mittlere Höhe von ca. 6300m (zur Bedeutung der oberen Grenze der Gletscherhöhenstufe siehe. **Kapitel 1.6.4**). Der rezente Gletscher endet in 4600m. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes berechnet KUHLE (1986c) mit Hilfe des Basiswertes [Basiswert = (höchster Gipfel + rez. Gletscherende)/2] (vgl. THAR-Methode in TORSNES et al. 1993).

Große Bedeutung kommt dem Grad der Schuttbedeckung der Ablationszunge zu. Für die hier anzustellenden Berechnungen sind nur die Klasse I ("Gletscher mit durch Talflanken kanalisierten, schuttfreien oder bis 25% schuttbedeckten Ablationsbereichen und durchschnittlichen Gipfelhöhen unter 7000m") und die Klasse II ("Gletscher, deren Ablationsgebiet zu mehr als 25% von Schutt bedeckt wird und deren durchschnittliche Gipfelhöhe unter 7000m liegt.") von Bedeutung (vgl. KUHLE 1986c: S. 46). Der rezente Rechte Rolwaling Gletscher weist eine Schuttbedeckung des Ablationsbereiches von weniger als 25% auf.

Entsprechend der von KUHLE (1986c: S. 42) modifizierten Berechnungsmethode von v.HÖFER (1879) ergibt sich folgender Wert für die Höhe der Schneegrenze:

$$[1] \quad (6300 + 4600)/2 = 5450 \text{ (m)}$$

Die rechnerische Schneegrenze (S_m) liegt in ca. 5450m. Von Bedeutung ist, daß die Schneegrenze als auf der Gletscheroberfläche liegend verstanden wird - für rezente Gletscher läßt sich diese Isohypse mit im Verhältnis zu vorzeitlichen Gletscherstadien hoher Genauigkeit im Gelände bzw. mit Methoden der Fernerkundung bestimmen. Für die Ermittlung der Lage dieser Isohypse im Raum für vorzeitliche Gletscheroberflächen ist ein höherer Abstraktionsgrad zwingend.

Die 5450m Isohypse (S_m) trennt eine mittlere Ablationsgebietslänge von 7 km von einer durchschnittlichen horizontalen Ausdehnung des Akkumulationsgebietes von 1,5 km. Das Längenverhältnis zwischen Nähr- und Zehrgebiet beträgt auf der Basis von S_m daher ca. 1:4 (1,5 km : 6 km) - 1:5 (1,5 km : 7,5 km). Diese Angaben exakter zu fassen ist, wie im folgenden deutlich wird, für den hier behandelten Gletscher nicht zweckdienlich.

Die vertikale Ausdehnung kann zur Horizontalen wie folgt in Beziehung gesetzt werden:

$$[2] \quad 6300\text{m} - 5450\text{m} = 850\text{m} \text{ Vertikale der Gletscherteilgebiete, vgl. [1]}$$

Die Schneegrenzberechnungsmethode von KUHLE (1986c) setzt die sich aus diesen Verhältnissen abzuleitende Winkeldifferenz zwischen Nähr- und Zehrgebiet eines Gletschers in Beziehung zu den Parametern mittlere Einzugsgebietshöhe, Eisrandlage

und horizontale Ausdehnung des Gletschers. Auf der Basis empirisch ermittelter Referenzgletscher verschiedener Rahmenbedingungen läßt sich die Abweichung des Verlaufes der realen Schneegrenze (S_r) von der oben ermittelten rechnerischen Schneegrenze (S_m) berechnen. Die empirischen Daten der Referenzgletscher gehen in die von KUHLE (1986c: Fig. 4) publizierten Regressionsgeraden ein. MEINERS (1996: Tabelle im Anhang) ergänzt diesen Datenbestand durch die Verwendung dieser Methode für einen Teil der Gletscher des Tien Shan und des Karakorum; JACOBSEN (1990: Tabellen in Anhang) steuert empirische Befunde aus dem Manaslu Himal bei.

Die Winkel der Gletscherteilgebiete berechnen sich wie folgt:

$$[3] \quad \text{Nährgebietswinkel} = \text{ArcTAN}(850\text{m}/1500\text{m}) * 180/\text{PI}() = 29,54^\circ$$

$$\text{Zehrgebietswinkel} = \text{ArcTAN}(850\text{m}/7000\text{m}) * 180/\text{PI}() = 6,92^\circ$$

Das Nährgebiet fällt in diesem Beispiel mit einer mittleren Steigung von ca. 30° ein; der Zehrgebietswinkel beträgt ca. 7° .

Die Winkeldifferenz berechnet sich zu

$$[4] \quad \text{Nährgebietswinkel} - \text{Zehrgebietswinkel} = 30^\circ - 7^\circ = 23^\circ$$

Die mittlere Steigung der Oberfläche des Einzugsgebietes ist um 23° steiler als die mittlere Neigung des Ablationsgebietes ober- bzw. unterhalb des Bezugspunktes der rechnerischen Schneegrenze (S_m) in 5450m ([1]).

Der Abbildung 4 in KUHLE (1986c: 46) sind die Regressionsgeraden zur Ermittlung des empirisch abgeleiteten FSD (Faktor der Schneegrenzdifferenz) zu entnehmen. Die oben ermittelten Werte der Winkeldifferenz sind mit der zugrunde liegenden Funktion der von KUHLE (1986c) gewählten Darstellung in eine lineare mathematische Beziehung zu setzen.

Abzuleiten ist für das Beispiel des Rechten Rolwaling Gletschers ein mittlerer FSD von +13.

Mit Hilfe dieses Faktors ist der Zahlenwert der rechnerischen Schneegrenze (S_m) wie folgt zu korrigieren:

$$[5] \quad S_r = S_m - (FSD * \text{Gesamtgletschervertikale}/100)$$

$$S_r = 5450\text{m} - (13 * 1700\text{m}/100)$$

$$S_r = 5229\text{m}$$

Die korrigierte Schneegrenze liegt also bei 5229m. Die Abweichung von der rechnerischen Schneegrenze beträgt 221m. Die **Tabelle 3** bietet eine Übersicht über die Veränderung der Höhenlage der realen Schneegrenze in Abhängigkeit von der Veränderung der horizontalen Ausdehnung der Gletscherteilgebiete. Deutlich wird, daß die Verschiebung des Längenverhältnisses zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet, vermittelt über den FSD bzw. die Winkeldifferenz, zugunsten des Nährgebietes zur Annäherung von S_r an S_m führt. Bereits eine horizontale Verschiebung um 500m führt unter sonst gleichen Bedingungen zu einer Veränderung der realen Schneegrenze um ca. +110m. Ohne Berücksichtigung der Reliefparameter wäre für eine gleiche Veränderung der Schneegrenze ein 220m höheres Einzugsgebiet "zu fordern" bzw. eine tiefere Eisrandlage anzunehmen.

Resultierend ist für den Rechten Rolwaling Gletscher festzuhalten:

Die rezente reale Schneegrenze des Rechten Rolwaling Gletschers liegt, berechnet auf der Basis der oben zugrunde gelegten Daten, in ca. 5230m, d.h., ein Gletscher der genannten empirisch und deduktiv ermittelten Dimensionen und Rahmenbedingungen müßte die Schneegrenze in ca. 5230m zu liegen haben, um aktuell im Gleichgewicht zu sein.

1.6.2 Der Verlauf der Schneegrenze des rezenten Phernikharka Khola Gletschers

Photo 8 zeigt den 6737m hohen Pherni, den höchsten Gipfel des Einzugsgebietes des Phernikharka Khola Gletschers. Der größte Teil des Gletschers ist genetisch eng an die Flanke direkt unterhalb dieses Gipfels geknüpft. Ostwärts fällt der das Einzugsgebiet eingrenzende Kammverlauf bis auf ca. 6000m bis zum Gipfel Tharina Bhanjyan (6230m) ab. Der Gletscher endete 1997 in 4800m (◆). Die mittlere Einzugsgebietshöhe berechnet sich zu ca. 6500m. Der Ablationsbereich ist zu weniger als 25 % mit Schutt bedeckt.

Die oben erläuterten mathematischen Beziehungen lassen sich für die den Phernikharka Khola Gletscher beschreibenden Parameter wie folgt herstellen:

[1] $(6500\text{m} - 4800\text{m}) / 2 = 5650\text{m}$

[2] $6500\text{m} - 5650\text{m} = 850\text{m}$

[3] Nährgebietswinkel= $\text{ArcTAN}(850\text{m}/400\text{m}) * 180/\text{PI}() = 64,8^\circ$

Zehrgebietswinkel= $\text{ArcTAN}(850\text{m}/1200\text{m}) * 180/\text{PI}() = 35,31^\circ$

[4] Nährgebietswinkel - Zehrgebietswinkel = $65^\circ - 35^\circ = 30^\circ$

=> FSD = 20 (vgl. KUHLE 1986c: Abbildung 4)

[5] $S_r = S_m - (\text{FSD} * \text{Gesamtgletschervertikale}/100)$

$S_r = 5650\text{m} - (20 * 1700\text{m}/100)$

$S_r = 5311\text{m}$

In Worten: Die rechnerische Schneegrenze (S_m) liegt bei 5650m (vgl. [1]). Oberhalb dieser Isohypse nimmt der Gletscher eine in die Horizontale projizierte Strecke von ca. 400m ein, unterhalb eine durchschnittliche Länge von ca. 1200m. Die entsprechend berechneten Winkel führen zu einer Winkeldifferenz von ca. 30° - abgeleitet wird ein Faktor der Schneegrenzdifferenz (FSD) von 20. Diese Parameter korrigieren den Wert S_m . Die reale Schneegrenze (S_r) für den Phernikharka Khola Gletscher liegt in ca. 5310m Höhe.

Schlußfolgernd ist für den Phernikharka Khola Gletscher festzuhalten:

Die reale Schneegrenze des Phernikharka Khola Gletschers liegt, berechnet auf der Basis der oben zugrunde gelegten Daten, in ca. 5310m. Ein Gletscher der genannten empirisch und deduktiv ermittelten Dimensionen und Rahmenbedingungen müßte die Schneegrenze in 5310m zu liegen haben, um aktuell im Gleichgewicht zu sein.

1.6.3 Vergleich und Interpretation der Ergebnisse der Schneegrenzberechnung für den Rechten Rolwaling Gletscher und den Phernikharka Khola Gletscher

Die **Karte 1** verdeutlicht den Größenunterschied zwischen dem Rechten Rolwaling Gletscher und dem Phernikharka Gletscher. Gletschertypologisch ist ersterer als Firnkesseltyp und letzterer als Flankenvereisung einzuordnen (KUHLE 1986c: Tafel II).

In der **Tabelle 2** sind u. a. die oben berechneten Werte für die Schneegrenzen S_m und S_r zusammengefaßt. Die für den Phernikharka Khola Gletscher ermittelten Werte sind

in beiden Fällen höher als die des Rechten Rolwaling Gletschers - Unterschiede ergeben sich aus dem Maß der Abweichung.

Besonders auffällig ist die Abweichung zwischen der rechnerischen und der realen Schneegrenze der einzelnen Gletscher, die zwischen 220m und 339m liegt. Die reale Schneegrenze beider Gletscher liegt erheblich unter der rechnerischen Schneegrenze. Der Umfang dieser Abweichung liegt über der Differenz der rechnerischen Schneegrenze der Gletscher (200m). Beachtenswert ist die Differenz zwischen S_m und S_r für die beiden Gletscher. Während die rechnerische Schneegrenze um 200m abweicht reduziert sich diese Differenz für die reale Schneegrenze auf ca. 80m.

Die Differenz zwischen S_m und S_r der Gletscher resultiert im wesentlichen, wie oben gezeigt werden konnte, aus der Steilheit der Einzugsgebiete. Dies gilt für den Phernikharka Khola Gletscher in stärkerem Maß als für den Rechten Rolwaling Gletscher. Die Winkeldifferenz der Gletscherteilgebiete ist als Größe in die Berechnung der Differenz der S_r beider Gletscher eingegangen. Daraus folgt, daß die verbleibende Differenz anderen Faktoren zuzuschreiben ist. Die Differenz zwischen den für die S_m ermittelten Werten ist mit 200m deutlich höher (linear in eine Temperaturveränderung übersetzt, würde der Unterschied zwischen diff. S_m und diff. S_r ca. 1,2 °C bis 2 °C betragen).

1.6.4 Rahmen- und Randbedingungen

Die **Tabelle 2** zeigt, daß die Variationsbreite der rechnerischen Schneegrenze verschiedener Gletscher kleinräumig Werte über 200m annehmen kann. Als wesentlicher Faktor in die Schneegrenzberechnung geht das Verhältnis zwischen dem Oberflächenwinkel des Akkumulations- und dem Oberflächenwinkel des Ablationsgebietes ein. Der FSD (KUHLE 1986c) berücksichtigt über die Gletschertypologie hinaus auch weitere Faktoren, z. B. den Grad der Bedeckung der Ablationszunge mit Obermoränen. Diverse Arbeiten belegen für die Gletscher der Himalaya Südabdachung, daß mit großer Häufigkeit der Grad der Obermoränenbedeckung mit der Größe der Winkeldifferenz und der Länge der Ablationszunge ansteigt (**Photo 6, Photo 9, Photo 10**, KUHLE 1986c, 1987; ergänzend die Photos in den Arbeiten von: MEINERS 1999, OHMORI 1999, vgl. GADES et al. 2001). Für diesen Fall muß es eine optimale Ausbildungszone geben, da mit größerer Gletscherausdehnung die Winkeldifferenz in der Regel sinkt, so daß die Steilheit der einfassenden Einzugsgebietsflanken progressiv ansteigend hinter der Gletscherfläche zurück bleibt. Das Niedertauen langer Ablationszungen von aktuell im Rückzug befindlichen Gletschern führt häufig zu einer höheren Moränenabdeckung der Ablationszunge. Die für den Gletschererhalt notwendige Lage der Schneegrenze ist dann höher - für vorstoßende Gletscher ist wahrscheinlich tendentiell mit einer geringe-

ren Schuttbedeckung zu rechnen. Hieraus muß sich bei hinlänglich großen Gletschern ein markanter Unterschied der Werte der Schneegrenzberechnung in Eisaufbauphasen gegenüber Eisabbauphasen ergeben.

Des weiteren sind alle Klimafaktoren in ihrer kleinräumigen Anordnung zu berücksichtigen. Die in Abhängigkeit vom Relief stark differierende Niederschlagsverteilung in einem Gebiet scheint dem Autor deshalb für die Arbeitsgebiete von besonderer Bedeutung. Entsprechende Daten sind auf der Basis langjähriger Niederschlagsmessungen zu erzielen. Die für den aktuellen Verlauf der Schneegrenze relevanten Daten ließen sich aus Eiskernen bzw. Eisprofilen im Akkumulationsgebiet der Gletscher gewinnen.

Die von KUHLE (1986c) vorgestellte Methode bietet die Möglichkeit, den Faktor Relief in die Überlegungen zum Verlauf der Schneegrenze mit einzubeziehen und so die räumliche Differenz der Höhenlage der orographischen Schneegrenze einzelner Gletscher oder sogar Gletscherteilsysteme exakter zu erfassen. Die Gesamtzahl und die starke Abhängigkeit der die Schneegrenze bestimmenden Klimafaktoren lassen ohne die Basis langjähriger Meßdaten eine exaktere Bestimmung der vorzeitlichen Schneegrenzverläufe nicht zu. Der Einfluß der Fläche auf die Ausdehnung der Gletscher ist in der Methode von KUHLE (1986c) möglicherweise unterrepräsentiert. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der Übergang von sekundärer zu primärer Gletscherernährung als Folge der Veränderung der Flächenverhältnisse zwischen Nähr- und Zehrgebiet mit der Absenkung der Schneegrenze (vgl. KUHLE 1998b: Fig. 11, Fig. 12).

Das Austauen von Obermoränen kann für rezente Gletscher als Hinweis auf den Verlauf der Schneegrenze gewertet werden, wenn ein angemessener Höhenwert zum ersten Austauen von Obermoränen (ca. 50m bis 100m) addiert wird. Problematisch ist dies für große Eisströme, da das Austauen der Obermoräne u. U. nur ein Gletscherteilsystem repräsentiert (vgl. hierzu die Teilgletscher des Linken Rolwaling Gletschers und **Photo 11**).

Des weiteren ist im Himalaya die obere Grenze der Gletscherausbreitung zu berücksichtigen (**Photo 11**, KUHLE 1986b, 1986d, 1986e, 1987, FRESHFIELD 1903:234, eine Teleaufnahme von V. SELLA die den eisfreien Gipfelaufbau des Kangchenjunga von Süden zeigt. Ergänzend die Aufnahmen in KUHLE 1985: 40, 220, 225, 236, 248). Oberhalb von ca. 7600m bis 7800m erschweren die extrem niedrige Temperatur und die sehr hohe Windgeschwindigkeit die Akkumulation von Schnee bzw. Eis in nicht besonders begünstigten Positionen. Von grundlegender Bedeutung ist, daß das Hauptakkumulationsgebiet eines Gletscher eine untere und eine obere Begrenzung erfährt. Der oberen Begrenzung fehlen dabei die Schärfe und die zwingenden Bedingungen (0°C Isotherme) der unteren. Dennoch ist mindestens oberhalb der 7600m Isohypse der Anteil des für die Gletscherhaushaltsbilanz akkumulierten Niederschlags stark

rückläufig. Die Bedeutung der Gipfelhöhen oberhalb von 7600m bleibt hinter dem Maß ihrer absoluten Höhe zurück; dies muß Einfluß auf alle Methoden zur Berechnung der Schneegrenze haben. Der weitaus größte Teil der Flanken oberhalb von 7000m der Himalaya Südabdachung ist zudem sehr steil, der Anteil der primären Gletscherakkumulationsgebiete bleibt deutlich hinter dem der indirekten Ernährung über Eislawinen zurück. Die extrem hohe Diskrepanz (bis ca. 1700 Höhenmeter) zwischen den von BENN u. LEHMKUHL (2000) für den Mt. Everest berechneten Werten der Lage der rezenten Schneegrenze (TSAM-Methode oder LOUIS 1955: 6874m bzw. MELM-Methode oder LICHTENECKER 1938: 5580m, das Karbodenniveau berücksichtigend, läge die Schneegrenze in ca. 5200m, vgl. GROSS et al. 1977) ist wahrscheinlich auf diesen Effekt zurückzuführen.

Von Bedeutung kann hinsichtlich der Frage der oberen Gletschergrenze die Veränderung dieser Grenze mit dem Einsinken der vorzeitlichen Schneegrenze in das Relief sein - entsprechende umfangreiche Arbeiten fehlen. KUHLE (1986e:161) bilanziert auf der Basis einer für das letzte Hochglazial angenommenen Schneegrenzabsenkung von 1200m eine obere Grenze der Gletscherhöhenstufe zu dieser Zeit zwischen 5800m und 6540m.

Für den rezenten Yalung Gletscher im Simbua Khola, also der Vergletscherung der Kangchenjunga Südabdachung, verändert sich die mittlere Einzugsgebietshöhe beispielsweise wie folgt: Bleibt die obere Gletschergrenze unberücksichtigt, dann erreicht das Einzugsgebiet eine mittlere Höhe von 7442m, kappt man das Einzugsgebiet in 7900m, dann verbleibt eine Höhe von 7297m. Die Begrenzung des Einzugsgebiets auf eine maximale Höhe von 7700m reduziert die mittlere Einzugsgebietshöhe auf 7229m. Obschon die maximale Differenz der mittleren Einzugsgebietshöhe in diesem Fall ca. 213m beträgt, reduziert sich die mittlere Lage der Schneegrenze nur um 63m als Folge der nicht maßgeblich veränderten Gletscheroberfläche bzw. der Winkeldifferenz zwischen Nähr- und Zehrgebiet des Gletschers. Mit dem für das Hochglazial zu erwartenden tieferen Einsinken der Schneegrenze in das Relief verändert sich die Winkeldifferenz maßgeblich, und der Einfluß der Gletscherobergrenze gewinnt u.U. stark an Bedeutung.

Die "Optimalzone der Gletschereisbildung" (KUHLE 1986e:204) ist somit in einem Schnittbereich der vertikalen und der horizontalen Ausdehnung eines Gletschers zu bestimmen. Von evidenter Bedeutung ist die Veränderung dieses Schnitttraumes im Zusammenhang mit dem Einsinken der Schneegrenze in das Relief.

1.6.5 Zusammenfassung

Für die Berechnungen rezenter und vorzeitlicher Schneegrenzen ist das Verhältnis der Oberflächenwinkel der Akkumulations- und Ablationsgebiete zu berücksichtigen und

die rechnerische Schneegrenze mit Hilfe eines empirisch ermittelten Faktors, der gletschertypabhängig ist, zu korrigieren. Die Ergebnisse dieser Berechnungen für die behandelten Gletscher sind in **Tabelle 2** dargestellt. Die ermittelten Werte werden, obschon sie exakt berechnet sind, als ungefähre Angabe verstanden. Es ist nicht sinnvoll, eine exakte Streuung anzugeben, da im Einzelfall viele der einflußnehmenden Faktoren nicht mit hinlänglicher Genauigkeit in die Berechnung der Schneegrenze einbezogen werden können. Der Zahlenwert der Ergebnisse der hier verwendeten Methode wird nicht ungenauer als das Ergebnis der "einfachen" Berechnung der rechnerischen Schneegrenze. Der Aussagewert des ersten Ergebnisses ist, in Beziehung zu rezenten Gletschern gesetzt, tragfähiger (vgl. KUHLE 1986c, JACOBSEN 1990, vgl. TORSNES et al. 1993) und wird konsequent auf die Berechnung vorzeitlicher Schneegrenzen übertragen. Es wird zu zeigen sein, daß die Erfassung vorzeitlicher Gletscherpegel für die Berechnung und Interpretation der entsprechenden Schneegrenzen von wesentlicher Bedeutung ist (vgl. **Tabelle 3**). Die in der Regel angewandte Methode, wobei sich Ermittlungen der Änderung des Gletscherstandes auf frontale Gletscherpositionsänderungen beziehen, kann erweitert werden durch die Bezugnahme auf die potentielle vorzeitliche Gletscheroberfläche.

2. Empirische Befunde zur Vergletscherungsgeschichte des Rolwaling Himal und des Kangchenjunga Himal

2.1 Zur rezenten, postglazialen und LGM-zeitlichen Vergletscherung des Rolwaling Himal

2.1.1 Zur rezenten Vergletscherung des Rolwaling Himal

Das Themengebiet der rezenten Vergletscherung des Rolwaling Himal wird in drei räumliche Bereiche gegliedert (**Karte 1**):

- die Vergletscherung des Talschlusses des Rolwaling Khola - insbesondere des Linken und Rechten Rolwaling Gletschers,
- die orographisch linke Flanke des Rolwaling Khola mit den kleineren Gletschern des Ramdang Peaks und des Yalung Ri,
- die Vergletscherung der Nordabdachung des Rolwaling Khola mit dem Gaurisankar (7135m) als herausragendem Gipfel.

2.1.1.1 Zur rezenten Vergletscherung des orographisch linken Rolwaling Khola Talschlusses

Photo 12 zeigt das in den Zungenbeckensee "Tsho Rolpa" kalbende Gletscherende des flächen- und streckenmäßig größten Gletschers des Untersuchungsgebietes Rolwaling Himal, des orographisch links im Talschluß des Rolwaling Khola liegenden Linken Rolwaling Gletschers. Der Seespiegel und somit die Kalbungsfront des Gletschers lag zum Zeitpunkt der Geländearbeiten in 4530m Höhe (vgl. **Photo 13**). Der Gletscher ist ca. 15 km lang. Die stark mit Schutt bedeckten letzten 3 km des Gletschers (**Photo 14**) sind mit dem Haupteinzugsgebiet des Gletschers über eine ca. 300m breite, steile Engstelle des Talgefäßes verbunden (**Photo 15**). Die Oberfläche des Gletschers fällt hier auf einer Vertikalen von ca. 500m von 5300m auf 4950m ab. Nördlich dieser Engstelle schließt sich ein ca. 12 km langer und bis 3,5 km breiter Gletscherteil an. Der weitaus größte Teil des Einzugsgebietes ist den ostexponierten Flanken dieses Teilbereiches zuzuordnen.

Die Exposition der Teileinzugsgebiete ist aufgrund der großen zum Teil flachgeneigten Gletscheroberfläche hinsichtlich der Bedeutung für die Gletscherhaushaltsbilanz nicht von prägender Bedeutung, wobei hier ausdrücklich zwischen dem Einfluß der Gesamtstrahlungsmenge und dem der speziell expositionsbedingten Einstrahlungsdifferenzierung zu unterscheiden ist. Die nördlichsten 6,5 km des Gletschers liegen oberhalb der 5600m Isohypse und sind bei einer mittleren Breite von 1,5 km eingefäßt

von Flanken, die durchschnittlich nicht höher als 6250m sind. Dies verdeutlicht, in Verknüpfung mit dem steil stehenden Sonnenstand bei ca. 28° N Breite und der relativ großen flachlagernden Fläche des Gletschers, die zurücktretende Bedeutung der Exposition der Teilgletschereinzugsgebiete in Relation zur unten beschriebenen Vergletscherung der steilen N- bzw. S-exponierten Flanken des Rolwaling Khola (**Kapitel 2.1.1.3** und **Kapitel 2.1.1.5**).

Der in **Photo 14** zu erkennende Teil des Einzugsgebietes des Linken Rolwaling Gletschers bildet nur einen sehr geringen flächenmäßigen Anteil des gesamten Einzugsgebietes. Die Schuttverteilung auf der Gletscheroberfläche in 4900m unterhalb der Steilstufe im Tallängsprofil kennzeichnet die Trennung der Gletscherteilströme als zu zwei unterschiedlichen Einzugsgebieten gehörig. Der orographisch linke Gletscherteilstrom wird von der sich rechts anschließenden Ablationszunge seitlich abgedrängt (**Photo 15**). Die kalbende Gletscherfront weist keine eindeutige Zweigliederung auf (**Photo 12**). Das Gletscherende ist genetisch im wesentlichen mit dem von Norden nach Süden verlaufenden oberen Einzugsgebiet des Linken Rolwaling Gletschers verknüpft. Die mittlere Einzugsgebietshöhe dieses Teils des Linken Rolwaling Gletschers berechnet sich zu ca. 6400m, während die Einzugsbereichshöhe des südlichsten Teils des Einzugsgebietes zu 6600m zu mitteln ist.

Die Eisrandlage des rezenten Gletschers bzw. der Gletscherteilsysteme ist u.a. hinsichtlich der Bestimmung der rezenten Schneegrenze problematisch, da der Eisstrom vermutlich auf der Seeoberfläche aufschwimmt und demzufolge nicht die Höhe des Gletscherendes bei nicht vorhandenem See widerspiegelt. Die Morphologie des Seebodens, wie sie u.a. bei CHIKITA-KAZUHISA et al. (1999) beschrieben wird, läßt vermuten, daß der Gletscher auch innerhalb des den See begrenzenden Ufermoränenwalles (**Photo 16**) bezüglich der Höhe weiter herunterreichen könnte. Festgehalten werden kann, daß das Gletscherende unterhalb des Seespiegels liegen müßte, d.h. die ERL des Linken Rolwaling Gletschers läge unterhalb von 4530m.

Des weiteren ist für die Berechnung der Schneegrenze zu berücksichtigen, daß das Ablationsverhalten des Gletschers durch den Einfluß des Seewassers erheblich verändert wird. Der für den Verlauf der Schneegrenze berechnete Wert (5360m, **Tabelle 2**) wird daher kritischer zu bewerten sein, als dies für die übrigen Gletscher dieses Untersuchungsgebietes der Fall sein wird.

Photo 12 und **Photo 15** belegen, daß die Zungen der lokalen Vergletscherung der Südflanke im Talabschnitt zwischen dem südlichsten Eckpfeiler (6659m) des Akkumulationsgebietes des Linken Rolwaling Gletschers und dem Ramdang die Ablationszunge des Linken Rolwaling Gletschers rezent nicht erreichen (vgl. **Kapitel: 2.1.1.3**).

Das mit Obermoräne bedeckte Gletscherende des in **Photo 15** dokumentierten Gletschers der Ramdang Nordostflanke liegt am Standort des Betrachters in 4900m, d.h. ca. 350m oberhalb des Haupttalgletschers. Der Ramdang (6258m) bildet den höchsten Gipfel des Einzugsgebietes. Die mittlere Einzugsgebietshöhe berechnet sich zu 6000m, die rezente Schneegrenze zu 5320m.

Die Zungenenden der Vergletscherung des Tshoboje (6886m) erreichen den Linken Rolwaling Gletscher nicht. Der markante Gipfel an der Talkonfluenz zwischen dem rechten und linken Rolwaling Khola Talschluß ist bis ins Gipfelniveau flankenvereist (**Photo 6**). Die Gletscherzungen in SW-Exposition reichen bis ca. 5200m hinab. Nordöstlich unterhalb des Gipfels schließt sich ein ca. 3 km langer Gletscher an. Das Gletscherende erreicht den Talausgang des Seitentales nicht, der Kontakt zur Ablationszunge des Haupttalgletschers fehlt ((→) **Photo 15**).

2.1.1.2 Zur rezenten Vergletscherung des orographisch rechten Talschlusses des Rolwaling Khola

Neben dem flächenmäßig zweitgrößten Gletscher des Rolwaling Himal, dem Rechten Rolwaling Gletscher, sind insbesondere zwei kleinere Gletscher zu berücksichtigen, da sie, obschon sie deutlich hinter der Fläche des Rechten Rolwaling Gletschers zurück bleiben, für große Teile der Talschaft morphologisch prägend und hinsichtlich der Interpretation der Morphogenese dieses Talabschnittes von Bedeutung sind.

Photo 6 bietet einen Überblick über den rechten Teil des Einzugsgebietes des orographisch Rechten Rolwaling Gletschers. Im Bildvordergrund ist links der Tshoboje (6686m) zu erkennen. Die Aufnahme erfolgte aus 4800m Höhe, unterhalb des Yalung Ri Gipfels stehend, mit nordöstlicher Blickrichtung. Das Rolwaling Khola setzt sich links im Bild talauswärts fort.

Ein 6647m hoher Gipfel bildet die nordöstlichste Begrenzung des Einzugsgebietes (**Photo 7**). Der mit 6757m zweithöchste Gipfel des Einzugsgebietes des orographisch rechten Rolwaling Gletschers bildet den nördlichsten Gipfel des Einzugsgebietes des orographisch linken Rolwaling Gletschers. Beide Gletscher sind südlich dieses Gipfel durch einen im Minimum 6200m hohen Grat getrennt, der sich bis zu dem 6771m hohen südlichen Eckpfeiler des Nährgebietes des rechten Gletschers erstreckt. Teile dieses Grates sind vergletschert, so daß beide Hauptgletscher über einige Transfluenzspässe miteinander verbunden sind.

Die schuttbedeckte Zunge des rechten Rolwaling Gletschers endet in ca. 4600m Höhe (**Photo 17**). Das Einzugsgebiet erreicht eine mittlere Höhe von ca. 6300m. Die Schneegrenze liegt in ca. 5330m.

Des weiteren finden sich ein ca. 1,5 km² kleiner, flachlagernder Gletscher in Südexposition, dessen Gletscherende in 5200m liegt (**Photo 18**), und der Phernikharka Khola Gletscher (**Photo 8, Photo 19, Kapitel 1.6.2**), dessen rezentes Gletscherende bis in 4800m hinabreicht (**Tabelle 2** und **Tabelle 3**) in diesem Talabschnitt.

2.1.1.3 Die orographisch linke, nordexponierte Flanke des Rolwaling Khola mit den kleineren Gletschern des Yalung Ri, des Ramdang Peaks und einiger namenloser Gipfel

Der rezent vergletscherte Teil der Südabdachung des Rolwaling Khola erstreckt sich vom 6719m hohen Eckpfeiler im Südwesten des Arbeitsgebietes bis zu einem 5618m hohen Gipfel südlich von Ramdin. Talauswärts dieses Peaks erreicht die Kette das Schneegrenzniveau nicht mehr. Der Autor hatte Gelegenheit, insbesondere das Gebiet zwischen Yalung Ri (5647m) und Ramdang Peak (6258m) genauer zu untersuchen. Hingegen konnten die Einzugsgebiete des Flankenabschnittes westlich des Gletscherendes des linken Rolwaling Gletschers nicht aufgesucht werden.

Der **Karte 1** ist zu entnehmen, daß die kleineren Gletscher des westlichsten Teils der Rolwaling Khola Südabdachung den Linken Rolwaling Gletscher nicht erreichen. Über das Schneegrenzniveau reichen in diesem Talabschnitt nur einige wenige steile Gipfelaufbauten hinaus, so daß sich, sieht man von den Ramdang Gletschern ab, rezent keine großen Eiskörper bilden können. **Photo 15** belegt lokale Vergletscherungen in diesem Flankenabschnitt, deren Akkumulations- bzw. Ablationsgebiete keinen Beitrag zur Ernährung des Linken Rolwaling Gletschers leisten. Die mittlere Höhe der Flanke zwischen Ramdang Peak und der südlichsten Begrenzung des Einzugsgebietes des Linken Rolwaling Gletschers liegt mäßig über 5600m. Die Gletscher enden einige Dekameter oberhalb des Ablationsgebietes des Haupttalgletschers. Es kann gefolgert werden, daß ein nur mäßiges Einsinken der Schneegrenze in das Relief zur Verbindung der Flankenvergletscherung mit dem Linken Rolwaling Gletscher führen würde.

Photo 20 verdeutlicht die Lagebeziehung der rezenten Vergletscherung des Yalung Talgefäßes. Drei Gletscher lassen sich differenzieren:

1. Ein flachlagernder Gletscher unterhalb des Yalung Ri am orographisch linken Rand des Gebietes (**Photo 21**), dessen mittlere Einzugsgebietshöhe ca. 5500m beträgt und der bis 5200m herabreicht. Die SW-exponierte Abdachung des Yalung Ri (Talschluß des Khare Khola) ist, entgegen der des Ramdang Peaks, nicht vergletschert.
2. Der Ramdang-Nord-Gletscher, ein ca. 3 km langer nordexponierter Gletscher unterhalb des Ramdang Peaks. Eingegrenzt wird dieser durch ein im Mittel 6000m hohes Einzugsgebiet und eine ERL in 4800m (**Photo 22, Photo 39**).

3. Ein ca. 2 km langer Gletscher unterhalb eines 5945m hohen Vorgipfels des Ramdang Peaks, dessen Einzugsgebiet ganz links in **Photo 20** und **Photo 23** zu erkennen ist und dessen Eiskörper in 4750m endet (**Photo 24**).

Die Ergebnisse der Berechnungen zum Verlauf der rezenten Schneegrenze sind der **Tabelle 2** zu entnehmen. Ergänzend zu den obigen Ausführungen zur Schneegrenzbe-
rechnung kann am Beispiel dieser drei Gletscher abgeleitet werden:

Der Berücksichtigung der Winkeldifferenzen zwischen Akkumulationsgebiet und Ablationsgebiet, wie sie die Methode von KUHLE (1986c) fordert, kann für diese kleinen Gletscher keine zwingende Bedeutung beigemessen werden. Die in Abhängigkeit von der Gesamtgröße eines Gletschers notwendige Exaktheit der Bestimmung der Gleichgewichtslinie (GWL) bzw. der Schneegrenze läßt sich für diese Gletscher mit Hilfe der Geländemethoden, die zu Gebote gestanden haben, nicht hinlänglich genau ermitteln. Als diesbezüglich problematisch zu erachten ist insbesondere das Verhältnis zwischen Breite und Länge der Eiskörper. Dem gegenüber steht die besondere Bedeutung, die kleineren Gletschern sowohl hinsichtlich ihrer Expositionsabhängigkeit als auch ihrer Reaktionsgeschwindigkeit auf Änderungen der klimatischen Rahmenbedingungen zukommt.

Insbesondere der kleine Yalung Ri Gletscher (**Photo 21**) gewinnt hierdurch an Bedeutung. Das relativ niedrige nordostexponierte Einzugsgebiet bildet, im Gegensatz zur eisfreien südwestexponierten Flanke, die unterste Grenze der möglichen Vergletscherung dieses Gebietes. Wird der dokumentierte Gletscher nur als Ablationsrest verstanden, belegt die in **Photo 21** markierte historische Laterofrontalmoräne (s.u., zum vorzeitlichen Formenschatz des Yalung Talgefäßes) einen in der Vertikalausdehnung kleinen aber aktiven nordostexponierten Gletscher. Hinsichtlich der Interpretationsmöglichkeiten liegt der Vorteil dieses sehr kleinen Gletschers in der relativ geringen Fehlerbreite der expositionsabhängigen Schneegrenzermittlung. Die geringe Vertikale der Gletscher läßt, einen kontinuierlichen Verlauf vorausgesetzt, nur einen relativ schmalen Raum vertikaler und horizontaler Ausdehnung für die potentielle Lage der Schneegrenze in ca. 5530m zu.

2.1.1.4 Die rezente Vergletscherung der orographisch linken Haupttalflanke tal- auswärts des Yalung Ri

Westlich des Yalung Ri schließen sich einige kleinere Eiskörper an, die einer Typisierung als Flankenvereisungen bzw. Eisfelder gerecht werden (**Photo 23**). Die nordexponierte Vergletscherung eines 5546m hohen namenlosen Gipfels südlich der Siedlung Ramdin bildet den letzten vergletscherten Gipfel der Südabdachung des Rolwaling Khola. Der Gletscher reicht nicht unter 5200m hinab. Da es sich um einen

Gletscher mit mäßig steilen Teilgebieten handelt, liegt die Schneegrenze zwischen 5300m und 5400m.

Die Südabdachung des Gipfelgrates zwischen Yalung Ri und dem namenlosen Gipfel, d.h. die nördliche Begrenzung des Khare Khola, ist nicht vergletschert. Dies belegt die Expositionsabhängigkeit der Vergletscherung der Nordabdachung. Zu berücksichtigen ist der Selbstverstärkungseffekt auch kleinerer Gletscher, d.h., an einer Lokalität, die rezent gerade noch vergletschert ist, würde u.U. unter gleichen Bedingungen initial kein Gletscher entstehen können (vgl. KADOTA et al. 1997).

2.1.1.5 Die rezente Vergletscherung der Rolwaling Khola Nordflanke mit dem Gaurisankar als herausragendem Gipfel

Westlich des 6737m hohen Pherni (**Photo 25**) schließt sich die Rolwaling Khola Nordabdachung an. Den höchsten Punkt dieses Grates bildet der Gaurisankar Hauptgipfel (7135m, **Photo 4**). Ca. 1,5 km westlich des Gaurisankar überragt die Kette keine Höhen oberhalb der 6000m Isohypse, östlich des Gaurisankar schließen sich bis zum oben genannten Gipfel vier 6000er an.

Das Erscheinungsbild der rezenten Vergletscherung wird geprägt durch Flankenvereisungen und konektierte breite "Gletscherfelder" (der formbeschreibende Begriff Gletscherzunge wird diesen Eisflächen in weiten Teilen nicht gerecht). Die südexponierten Flanken des Gaurisankar sind bis in das Gipfelniveau flankenvereist. Es bilden sich kleine, durch Eisabbrüche gestörte Gletscherzungen (**Photo 26** und **Photo 4**) im oberen Themlung Khola. Dieses mündet in 3200m in das Rolwaling Khola (**Photo 27**). Das Themlung Khola konnte nicht aufgesucht werden. Exakte Angaben zur Ausdehnung der Vergletscherung der Südabdachung des Gaurisankar sind deshalb nicht möglich. Für das amtliche Kartenwerk sind die Gletscherenden zwischen 5000m und 5200m kartiert. Die Vergletscherung des Chhesugolchha Khola reicht aus einem im Mittel 6000m hohen Einzugsgebiet bis in 5150m Höhe herab.

Die **Karte 1** sowie die entsprechenden Photos dokumentieren die Größe und die Lage der Gletscher (**Photo 6**, **Photo 25**, **Photo 28**). Unterhalb des Gaurisankar bildet sich eine Gletscherzunge, die weit hinter der Fläche der Ablationsgebiete des Rechten oder Linken Rolwaling Gletschers zurückbleibt.

Die Vergletscherung des höchsten Gipfels des Arbeitsgebietes trägt u.a. der Lage des Gaurisankar in bezug zur Taltiefenlinie und dem Haupteinzugsgebiet des Rolwaling Khola im Talschluß Rechnung. Der Gipfel ist nicht dem Talschluß des Rolwaling Khola zuzuordnen, sondern ist Teil der orographisch rechten Talflanke. Der Talboden des Rolwaling Khola unterhalb der aus dem Einzugsgebiet des Gaurisankar entstehenden Gletscher liegt in ca. 3250m Höhe. Die horizontale Strecke zwischen diesem Punkt und dem Gipfel beträgt ca. 6 km. Der Rechte Rolwaling Gletscher erreicht bis zur rezenten

ERL in 4600m eine mittlere Länge von 8,5 km - die Entfernung von der mittleren Einzugsgebietshöhe bis in 3250m Taltiefenlinienhöhe beträgt ca. 24 km. Die einem Gaurisankar Gletscher zugrundeliegende Reliefenergie ist somit viel größer als die das Ausmaß der beiden Rolwaling Gletscher beeinflussende Reliefenergie.

Im Mittel kann von einer Einzugsgebietshöhe von ca. 6000m im Flankenabschnitt zwischen dem 6756m Vorgipfel des Gaurisankar (nicht eingeschlossen) und dem Phernikharka Khola Gletscher Einzugsgebiet im Osten ausgegangen werden (**Photo 25**). Die rezenten Eiskörper reichen durchschnittlich bis ca. 5100m, abschnittsweise bis 5000m hinab (**Photo 29**). Die Steilheit der die Einzugsgebiete bildenden Flanken muß dabei berücksichtigt werden. Einzelne, sehr hohe Gipfelaufbauten treten aufgrund der kleinen Fläche und Steilheit der entsprechenden Flankenabschnitte bezüglich der Bedeutung für die Gletscherhaushaltsbilanz deutlich zurück und können weitgehend unberücksichtigt bleiben (s.u. **Kapitel 2.2.1.1** zur Vergletscherung der Nordwand des Kangchenjunga). Dies gilt insbesondere für den Gaurisankar.

Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Steilheit der Akkumulationsgebiete in Kombination mit deren Südexposition. Die Grenze zwischen Nähr- und Zehrgebiet liegt in weiten Teilen innerhalb des unteren Viertels des steilen Bereiches der in **Photo 25** dokumentierten Flanke. Die Winkeldifferenz zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet ist besonders groß (vgl. die Überlegungen am Beispiel der Vergletscherung der Pherniostflanke in **Kapitel 1.6**).

Westlich von $86^{\circ} 19'$ ö.L. überragen die Gipfel des Arbeitsgebietes die Schneegrenze nicht.

2.1.1.6 Der Verlauf der rezenten klimatischen Schneegrenze im Rolwaling Himal

Die mittlere klimatische Schneegrenze liegt im hier behandelten Teil des Rolwaling Himal in ca. 5340m Höhe (**Tabelle 2**). Dieser Wert ist über alle berücksichtigten Gletscher gemittelt. Der Einfluß der extremen Werte für die Vergletscherung des Gaurisankar und der Tshoboje SW Flanke auf diesen Mittelwert wurde eingeschränkt berücksichtigt. Die mittlere Abweichung der realen Schneegrenze von der rechnerischen Schneegrenze beträgt ca. 130m (mittlere rechnerische Schneegrenze: 5470m). Offensichtlich stark expositionsbedingte Unterschiede der Lage der Schneegrenze werden durch den Einfluß der zugrundeliegenden Reliefparameter teilweise kompensiert. Dies gilt für diesen speziellen Raum und das rezente Ausmaß der Vergletscherung und ist nicht übertragbar.

Die Kombination aus Relief und Klimafaktoren bedingt für den Rolwaling Himal einen Gletschertypus, dessen reale Schneegrenze im Mittel unterhalb der rechnerischen Schneegrenze liegt. Das Einsinken der Schneegrenze in das Relief und der daraus

resultierende stärkere reliefbildende Charakter der Vergletscherung muß diese Relation sukzessive ändern (vgl. PENCK u. BRÜCKNER 1909: Bd.1 zur Gletscherobergrenze, KUHLE 1998b: Fig. 11 bzw. Fig. 12).

2.1.2 Morphologische Indikatoren zur vorzeitlichen Vergletscherung des Rolwaling Himal

Im folgenden Kapitel werden ausgewählte morphologische und sedimentologische Indikatoren beschrieben, die Rückschlüsse auf die Vergletscherungsgeschichte des Rolwaling Khola zulassen. Die detaillierte zeitliche Einordnung und damit die Interpretation der Befunde in ihrem großräumigen Kontext sind der Zusammenfassung in **Kapitel 3** zu entnehmen, die sich auf die Ergebnisse aus dem Rolwaling Himal und dem Kangchenjunga Himal stützt.

2.1.2.1 Der orographisch rechte Talschluß des Rolwaling Khola - Indikatoren für das Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung

Entsprechend den obigen Ausführungen wird mit dem Begriff "orographisch rechter Talschluß des Rolwaling Khola" eine Raumeinheit definiert, die hinsichtlich der rezenten Vergletscherung und Morphologie nur eingeschränkt zu verstehen ist. Gemeint ist das Gebiet nördlich der Wirtschaftsfläche Sanmakharka (**Photo 30a**).

Verständlich wird diese Einteilung vor dem Hintergrund der Vorstellung des Einsinkens der Schneegrenze in das Relief. Es wird zu zeigen sein, daß auf der Basis einer kleinen Schwankungsbreite der Schneegrenzhöhe der orographisch rechte vom orographisch linken Rolwaling Khola Talschluß zu trennen ist. Die besondere Lage des Einzugsgebietes des Linken Rolwaling Gletschers läßt jedoch vermuten, daß diese Trennung bei steigendem Gletscherpegel nicht aufrecht zu erhalten ist. Die Nähe der Zungenenden beider Rolwalinggletscher im Bereich der Talkonfluenz (Sanmakharka, 4550m) stützt die Annahme einer Konfluenz beider Gletscher im Ablationsgebiet bei nur geringer Schneegrenzabsenkung (vgl. **Photo 31**: Am Talausgang beider Täler trennen die Firste der jungen Moräneneinfassungen nur einige Dekameter Horizontaldistanz.).

Hinweise, die ein aktuelles Vorstoßen bzw. eine positive Massenbilanz eines Gletschers dieses Gebietes stützen, waren nicht zu ermitteln. Die zeitliche Verzögerung in der Übertragung der die Massenbilanz positiv beeinflussenden Ereignisse bzw. Haushaltsjahre in tatsächliche Volumenveränderungen eines Gletschers machen solche Aussagen problematisch (vgl. WINKLER 1996).

Das schuttbedeckte Ablationsgebiet des Rechten Rolwaling Gletschers (**Photo 6, Photo 17**) wird auf einer Länge von 4 km von einer Laterofrontalmoräne eingefasst, die im Mittel des auswärtigsten Kilometers ca. 20 bis 30 Höhenmeter über die Gletscheroberfläche hinausragt und talaufwärts kontinuierlich ansteigt. Der Verlauf dieser Moräne läßt sich sowohl orographisch rechts als auch links des Gletschers verfolgen. Die Moränenwallinnenhänge sind, soweit sie vom rezenten Gletscher unterschritten werden, frisch aufgeschlossen; die Außenhänge sind hingegen durch den Vegetationsbesatz konsolidiert. Das Gletscherende (**Photo 17**) liegt ca. 300m taleinwärts der auswärtigen Begrenzung des Moränenwalles (d.h. der Endmoräne). Bezüglich der Abgrenzung von Ufermoränen und Endmoränen besteht in den Übergangsbereichen ein methodisches Problem: Während sich beispielsweise Satzendumoränen morphologisch eindeutig von den zugehörigen Ufermoränen trennen lassen, ist dies für klassische wallförmige Zungenbeckeneinfassungen nicht in gleicher Schärfe möglich. Die Endmoräne muß hier als Sonderfall der Ufermoräne verstanden werden, soweit nicht eindeutige morphologische oder prozeßuale Gründe dem widersprechen. Der oben in diese Arbeit eingeführte Begriff der Laterofrontalmoräne erfaßt diesen problematischen Übergangsbereich von Ufer- zu Endmoränen wallförmiger Ausprägung (vgl. KUHLE 1991, WINKLER 1996, WINKLER u. HAGEDORN 1999).

Beidseitig der Moräne des rechten Rolwaling Gletschers haben sich Ufermoränentäler gebildet, die über einen eigenen Abfluß verfügen. Das orographisch rechte Ufermoränental, und somit das gesamte Wassereinzugsgebiet rechts außerhalb des Zungenbeckens, wird unterhalb des Dudh Pokari durch das Zungenbecken des Rolwaling Gletschers entwässert. Erweitert wird dieses Wassereinzugsgebiet durch das sich links in **Photo 18** anschließende kleinere Talgefäß.

Die beschriebene Ufermoräneneinfassung belegt einen Gletscherpegel bis mindestens in Höhe des Firstes. Der Gletscher, der über die eindeutig durch die Ufermoräneneinfassung repräsentierte Talstrecke von 4 km an der Oberkante des Walles angelegen hat, reichte zu diesem Zeitpunkt mindestens bis in 4500m Höhe hinab (die talauswärtige Begrenzung des Tsho Rolpa erreicht eine Höhe von 4530m [**Photo 14**], s. auch **folgendes Kapitel**).

Der Bereich der Zungenbeckeneinfassung, der terminologisch der Endmoräne zuzuordnen ist, weist eine mehrfache Gliederung auf (**Photo 30a (■)**), die eine Differenzierung weiterer Eisrandlagen zulässig erscheinen läßt (s.u., **Kapitel: 2.1.2.5**). Die mit 4500m angegebene Höhe der vorzeitlichen Eisrandlage wird auf der Basis einer solchen weiteren Differenzierung unterschritten. Es gilt insbesondere, die Nähe der Moräneneinfassungen des Rechten und Linken Rolwaling Khola Gletschers in diesem Talabschnitt (Sanmakharka) zu berücksichtigen. Der angegebene Pegel stellt die Grenze dar, die hinsichtlich des konfluenzlosen Agierens der beiden Gletscherablationsgebiete

nicht erheblich unterschritten werden kann (**Photo 16** oder **Photo 32**). Dieses Problem ist erst nach der detaillierten Betrachtung des Linken Rolwaling Gletschers näher zu beschreiben. Hierbei gilt es, den Umstand zu berücksichtigen, daß eine synchrone Veränderung der Eisrandlage zweier Gletscher nicht der gleichen Schneegrenzabsenkung entsprechen muß. Dies gilt für diese Gletscher weniger hinsichtlich der Exposition als hinsichtlich des Reliefs und der daraus resultierenden Schneegrenzdifferenz (s.o. **Kapitel 1.6.1**). Zusätzlich ist eine Spanne zu berücksichtigen, die zwischen dem ersten einander beeinflussenden Kontakt der Moränen zweier Gletscher und dem Eiskontakt liegt. Insbesondere für vertikale Veränderungen der Lage der Schneegrenze im Dekameterbereich muß dieser Umstand berücksichtigt werden.

Die flachlagernde rezente Gletscherzunge des orographisch rechten Rolwaling Gletschers ist bis zum Zungenende aktiv (**Photo 17**), das heißt, es handelt sich nicht um einen vom Einzugsgebiet getrennten Toteiskomplex. Bemerkenswert ist die im Verhältnis zur Oberflächenpegelveränderung geringe horizontale Verkürzung des Eiskörpers. Eine geringe Veränderung der Länge geht mit einer starken relativen Gesamtvolumenveränderung, d.h. einem Rückgang der Mächtigkeit einher (**Photo 9**).

Der Verlauf der Ufermoräneneinfassung des Rechten Rolwaling Gletschers, der der ERL in 4500m zuzuordnen ist, läßt sich talaufwärts bis mindestens in eine Höhe von 5000m verfolgen (**Photo 7**). Dies schließt Obergrenzen von Flankenverkleidungen mit moränischem Lockergestein ein ((—) **Photo 33**), wenn diese in eine eindeutige Lagebeziehung zu den Ufermoränenwällen zu bringen sind, so daß mit hoher Wahrscheinlichkeit Ufermoränenreste von Grundmoränenresten unterschieden werden können. Insbesondere das mit Hilfe von **Photo 7** (◆) belegte Ansetzen eines Moränenzwickels im Lee des Konfluenzbereiches zweier Gletscherteilströme in 5000m an einer Festgesteinsvollform läßt sich gut mit den Ufermoränenfirsten (**Photo 6**) korrelieren und spiegelt einen Eispegel in entsprechender Höhe wider. Die hergestellte Lagebeziehung zweier morphologisch unabhängiger Formen ist für die genetische Interpretation des Moränenzwickels von entscheidender Bedeutung. Hangverkleidungen mit glazigenem Substrat, Gefällewechsel der Flankenquerprofile und Schliffgrenzen belegen höhere Gletscherniveaus in diesem Talgefäß (**Photo 6, Photo 19, Photo 34**). Diese Befunde dokumentieren eine Eisoberfläche, die mindestens oberhalb von 5300m im mittleren Bereich des Talgefäßes gelegen haben muß (**Photo 19**). Das heißt, der zugehörige Gletscher beschränkte sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf den rechten Rolwaling Khola Talschluß, sondern reichte über die Sanmakharka hinaus..

Das Zungenende des rezenten Phernikharka Gletschers (**Photo 18**) endet in 4800m, ca. 200m talauswärts des Überganges von schuttfreier zu schuttbedeckter Gletscherzunge (**Photo 19**). Die Gletscheroberfläche ist in ein Zungenbecken eingesunken, das bis mindestens 4600m hinabreicht und durch eine Laterofrontalmoräne eingefafßt wird

(**Photo 16**, diese Aufnahme verdeutlicht die Lagebeziehung der den Gletscher nächsten Zungenbeckeneinfassungen des Rechten und des Linken Rolwaling Gletschers sowie des Phernikharka Gletschers). Der eisfreie Zungenbeckenboden liegt im Mittel wenige Dekameter oberhalb des Bodens des anzunehmenden Bodens des Rechten Rolwaling Khola Zungenbeckens. Der Verlauf der jeweiligen Laterofrontalmoräne der beiden Gletscher kann nicht unabhängig voneinander interpretiert werden. Von wesentlicher Bedeutung wird diese Beziehung talauswärts des Dudh Pokari (**Photo 6** und **Photo 19**). Die orographisch rechte Ufermoräne des Phernikharka Gletschers verläuft gestreckt vor der Flanke, die Schuttakkumulationsformen sind auf das Ufermoränental eingestellt. Für den unteren Teil der linken zugehörigen Zungenbeckeneinfassung läßt sich eine solche markante Form nicht in gleicher Schärfe erkennen. Die Auflösung der (bis zur Engstelle im Talquerprofil oberhalb des Dudh Pokari) markanten orographisch linken Ufermoräne des Phernikharka Gletschers läßt sich als Mischform zwischen Podest-, Satz- und Ufermoräne interpretieren. Das Einsinken der rezenten Gletscherzunge unter das niedrigste Niveau dieses Moränenkörpers grenzt das Gebiet mit einer steilen Kante zum Zungenbeckeninneren ab. Talauswärts wird die Form durch das verhältnismäßig steile Einfallen des Außenhangs und einen Gefälleknick zum Haupttalboden begrenzt (**Photo 6**). Der flachlagernde Zungenbeckenboden im Verbund mit den oben beschriebenen morphologischen Indizien belegt den Schluß der rampen- bzw. podesttypischen Aufhöhung des Zungenbeckenbodens. Im Zusammenhang mit diesem Typ der flachlagernden Podeste ist das Verhältnis von Zungenlänge und dem Winkel zwischen Ablations- und Akkumulationsgebiet bzw. der resultierenden Verlagerung der Schneegrenze zu berücksichtigen. Die Unterscheidung zwischen Dammgletschermoräne und Podestgletschermoräne folgt häufig dieser sich verschiebende Winkeldifferenz und bleibt im Übergangsbereich zwischen den Morärentypen relativ unscharf. Auf den Begriff Dammgletschermoräne wird daher hier verzichtet.

2.1.2.2 Der orographisch linke Talschluß des Rolwaling Khola - Indikatoren für das Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung

Photo 14 zeigt das rezente Gletscherende des Linken Rolwaling Gletschers in 4530m (Seespiegel des Tsho Rolpa). Der Eiskörper kalbt in den See. Dies ist aktuell bestimmend für die Genese der Morphologie am Gletscherende. Gleiches hat für alle Eisrandlagen zwischen dem Ende des Sees und dem rezenten Gletscherende zu gelten. Es gilt zunächst, die Rahmenbedingungen erfassen, die zur Entstehung des Sees führen konnten.

Der 1997 ca. 3 km lange und im Mittel 500m breite See (eine detaillierte Beschreibung findet sich bei CHIKITA-KAZUHISA et al. 1999 oder RICHARDSON u. REYNOLDS 2000) füllt das durch eine vorzeitliche Laterofrontalmoräne des Linken Rolwaling Khola Gletschers entstandene Zungenbecken aus. Das Niveau des Seespiegels ist dabei gekoppelt an die tiefste, in diesem Fall auch talauswärtigste Firststelle der Zungenbeckeneinfassung. Der Abfluß des Sees lag 1997 im Bereich des Wallfirstes ca. 2m unterhalb der oberen Grenze des Moränenwalles (**Photo 31**). Ausgehend vom Seende, lassen sich rechts und links der Wasseroberfläche talaufwärts Lockermaterialwälle verfolgen, die im Mittel, je weiter sie taleinwärts vermessen werden, einen höher über den Seespiegel aufragenden Innenhang aufweisen. Der First fällt kontinuierlich in talauswärtige Richtung ein. Ausgenommen eines ca. 50m langen flachen Abschnittes am rechten Ende des Sees, ist der Innenhang in allen Bereichen frisch aufgeschlossen und vegetationsfrei. Die Außenhänge sind mit einer für die Höhenstufe typischen Vegetationsdecke stabilisiert (vgl. MIEHE 1982). Die steilen Innenhänge werden durch den See unterbrochen. Die den See einfassenden Ufermoränenwälle sind in weiten Bereichen freistehend, das heißt, sie sind durch ein relativ schmales Tal von der sich jeweils anschließenden Flanke des Haupttales getrennt (**Photo 35**). Abschnittsweise werden diese Ufermoränenseitentäler unterbrochen durch Akkumulationsformen aus den Flanken. Die ungestörte orographisch linke Zungenbeckeneinfassung läßt sich über ca. 2,5 km verfolgen.

Etwa 1 km auswärts der rezenten ERL ist der Ufermoräneninnenhang stärker gegliedert (**Photo 36**, vgl. **Photo 12** und **Photo 15**). Die Verlängerung des Gefälles der oben beschriebenen orographisch rechten Zungenbeckeneinfassung verdeutlicht, daß der rezente Gletscherpegel im Talabschnitt der ERL ca. 100 Höhenmeter unterhalb dieses Ufermoränenpegels liegt. Einschließlich der rezenten ERL lassen sich mit Hilfe von unterschiedlichen Ufermoränenrestenniveaus mindestens drei Gletscherpegel zwischen 100m flankenaufwärts oberhalb des Sees und dem rezenten Gletscher differenzieren (**Photo 36**).

Die orographisch rechte Flanke südöstlich des Tshoboje (6686m) ist weitgehend glazial überprägt. Der vertikalen Orientierung morphologischer Elemente steht eine markante talauswärts einfallende "quasihorizontale" Ausrichtung einer zweiten, großräumigeren Formengruppe gegenüber (**Photo 15, Photo 24, Photo 31**). Die lokale Vergletscherung des im Konfluenzbereich des Rechten und Linken Rolwaling Gletschers stehenden Tshoboje (6686m) prägt den Formenschatz des Flankenabschnittes vorwiegend in vertikaler Richtung. Unterhalb des Gipfels kann rezent eine Flankenhöhe von ca. 2600m überprägt werden. Im Vorfeld der genetisch an die Flankenvereisung des Tshoboje Gipfels gebundenen kurzen Gletscherzungen bilden sich rezent glaziale und fluvioglaziale Akkumulationsformen, die in Abhängigkeit von der Steilheit der Flanke in Schuttkörper übergehen. Diese sind auf ein Niveau außenseitig der den Tsho Rolpa einfassenden

Laterofrontalmoräne des vorzeitlichen Linken Rolwaling Khola Gletschers eingestellt (vgl. **Photo 31**). Zum Zeitpunkt der Genese der Tsho Rolpa Zungenbeckenseeeinfassung haben die Gletscher der orographisch linken Flanke des Rolwaling Khola zwischen der rezenten ERL des Linken Rolwaling Gletschers und der talauswärtigsten Begrenzung der Zungenbeckenseeeinfassung nicht bis unterhalb des Niveaus des Firstes der den Tsho Rolpa einfassenden Laterofrontalmoräne hinabgereicht.

Die Beschreibung höherer Gletscherpegel des Linken Rolwaling Gletschers wird gestützt durch einen quasihorizontal verfolgbaren, konvex angelegten Gefällewechsel im Talquerprofil der Flanke zwischen 5200m und 5000m und zwischen 4600m und 4800m (**Photo 14, Photo 16, Photo 24**). Ergänzende bzw. entsprechende morphologische Indizien für Gletscherpegel in diesen Höhen können für die orographisch linken Flanke des gleichen Talabschnittes beschrieben werden (**Photo 16, Photo 32**). Talauswärts schließt sich das Yalung Talgefäß an.

2.1.2.3 Morphologische Indikatoren, die eine größere Gletscherbedeckung des Yalung Gebietes wahrscheinlich machen

Ausgehend von den Enden der oben genannten drei Gletscher (**Kapitel 2.1.1**) des Yalung Gebietes sind deutlich durch Laterofrontalmoränen eingefasste Zungenbecken im Dekameterbereich vor den Gletschern zu erkennen (**Photo 20, Photo 21, Photo 22**). Gemeinsam ist allen drei Zungenbeckeneinfassungen der Eindruck der "Frische", den die Formen hinterlassen. Der Ufermoräneninnenhang fällt steil ein und wird in weiten Teilen vom rezenten Gletscherabfluß unterschritten. Der Außenhang grenzt sich nur im Fall des Yalung Ri Gletschers mit einem scharfen Knick deutlich vom Gefälle der Umgebung ab. Die Außenhänge der vorzeitlichen Zungenbeckeneinfassungen der beiden links im Talgefäß liegenden Gletscher gehen in am jeweiligen First ansetzende, gestreckte Schutthänge über, die sich bis ca. 30 Höhenmeter vor der Tiefenlinie des Rolwaling Khola verfolgen lassen.

Getrennt werden diese Zungenbecken durch einen zugerundeten, lockermaterialverkleideten Rücken im Anstehenden (**Abbildung 2, Abbildung 3**), der abrupt mit einer quasi haupttalparallel angelegten scharfkantigen Dreiecksform endet. Die Dreiecksform ist in diesem Zusammenhang zwanglos in Beziehung zur Lithographie des Anstehenden (vgl. **Photo 5, Photo 37**) zu setzen und läßt sich nicht direkt als Indiz für eine vorzeitliche Eisbedeckung werten. Beide Zungenbecken enden in etwa gleicher Höhe in 4650m. Die Angabe entspricht der Firsthöhe der Laterofrontalmoräne am talauswärtigsten Punkt der Formen. Der Talboden im Zungenbecken liegt einige Dekahöhenmeter tiefer und wird durch die Entwässerung der glazialen Hohlform rezent tiefer verlegt. Beide Zungenbecken belegen eine ERL zweier getrennter Gletscher zwischen 4600m und 4650m Höhe. Die sich an die Laterofrontalmoränen anschließenden gestreckten

Schuttkörper werden in ihrem oberen Abschnitt fluvial zerschnitten und bauen zur Haupttal tiefenlinie hin sekundäre Schuttkegel und Schwemmfächer mit guter Materialsortierung auf (**Photo 23, Photo 38**).

Die Firsthöhe der oben beschriebenen Zungenbeckeneinfassung des Yalung Ri Gletschers beträgt ca. 5100m am tiefsten Punkt. **Photo 21** verdeutlicht zum einen die unterschiedliche Höhenlage der Zungenbeckenerste und belegt zum anderen die unterschiedliche Höhe der Einzugsgebiete und den zu berücksichtigenden Größenunterschied der drei beschriebenen Gletscher. Die deutliche morphologische Abgrenzung der Zungenbecken von ihrer Umgebung und die "Frische" der Moräneninnenhänge läßt die ERL bei sonst gleichen Bedingungen zeitlich zusammenrücken.

Die aus den bekannten Parametern abzuleitende Schneegrenze liegt in ca. 5300m, so daß die Interpretation, die genannten Zungenbeckeneinfassungen genetisch als zu einer Schneegrenzabsenkung zusammengehörig zu fassen, gestützt wird. Ergänzt wird dieser Befund weiterhin durch ein quasi paralleles Verhältnis der Parameter der rezenten Gletscher zu den entsprechenden vorzeitlichen Werten. Veränderungen der Exposition der Gletscher ergeben sich aus der Änderung der Größe nicht. Inwieweit die größere Fläche der entsprechenden Gletscher die deutliche Expositionsabhängigkeit (vgl. dazu die Schneegrenzberechnungen der südexponierten Gletscher der Rolwaling Khola Nordabdachung) hinsichtlich der Haushaltsbilanz zurück drängt, könnte nur spekulativ extrapoliert werden.

Insbesondere die Zungenbeckeninnenhänge im Frontalbereich der Formen der beiden orographisch rechts im Yalung Talgefäß liegenden Gletscher sind für die weitere morphologische Analyse der Talschaft von Bedeutung, da sie Hinweise auf die Mächtigkeit der vorgelagerten Schuttkörper geben können. Klassische Schuttkegel, beginnen in den meisten Fällen mit einer Mächtigkeit die knapp über 0m liegt. Die hier gezeigte Akkumulationsform weist vor dem Hintergrund der Scheitellinienlänge von ca. 1,5 km bereits zu Beginn eine Mächtigkeit im Dekameterbereich (40m bis 60m) auf. Einen weiteren Hinweis auf die Mächtigkeit liefert der in **Photo 38** dokumentierte Einschnitt mit einer Aufschlußhöhe von mindestens 20m (oberhalb von **(*)** in **Photo 38**). Die Schuttkegel bzw. Übergangsformen zwischen Podestmoränen und Schuttkegeln verkleiden die von ihnen überdeckten Flankenpartien vollständig. Insbesondere der Schuttkegel, der sich dem Ramdang-Nord-Gletscher anschließt, hebt sich deutlich von der Schuttverkleidung der sich talauswärts anschließenden orographisch linken Rolwaling Khola Flanke ab, wie **Photo 23** (links im Bild) belegt. Die Schuttkörperoberflächenneigung konnte mit 30° bis 35° Grad bestimmt werden. Die Akkumulationsformen gleichen das zugrundeliegende Relief aus. Schlußfolgernd kann festgestellt werden, daß Hinweise, die Aufschluß hinsichtlich des Ausmaßes der vorzeitlichen Vergletscherung dieses Raumes geben könnten, überarbeitet bzw. über-

deckt wurden. In welchem Umfang die sehr große Lockermaterialmenge durch die vergleichsweise kleinen Gletscher produziert worden ist, ist nicht eindeutig zu klären (**Photo 39**, vgl. MEINERS 1999: Photo 5, insbesondere die markierte neoglaziale Ufermoräne). Das heißt, dem Verhältnis zwischen der Größe der potentiellen Herkunftgebiete des Lockermaterials und der Größe der Schuttkörper ist u.U. ein Hinweis auf die vorzeitliche Vergletscherung zu entnehmen. Dies setzt voraus, daß eine derart große Materialmenge auf engem Raum entweder glazial aufbereitet werden kann oder der Zeitraum für die Verwitterung des Anstehenden und damit die in situ Bildung des Lockermaterials hinlänglich lang war. Letzteres ist insbesondere auch aufgrund der Befunde anderer Autoren (**Kapitel 3.2**) zur Vergletscherung des Himalaya und zur periglazialen Morphodynamik auszuschließen, da nicht davon ausgegangen werden kann, daß Räume oberhalb von 5400m hinlänglich langen eisfreien Perioden unterlegen gewesen haben, so daß eine in situ Bildung ohne glazialen Abtransport denkbar wäre. Dem steht die Möglichkeit entgegen, daß das Material oberhalb der Schneegrenze eines größeren Gletschers aufbereitet und nicht abtransportiert worden ist (vgl. die Grundmoränen in Paßnähe zu Tibet in KUHLE 1999). Die beschriebenen morphologischen Zusammenhänge sind zu den Analysen zu **Photo 23** in Beziehung zu setzen (hier insbesondere der aus dem Ufermoränenrest orographisch links bei Na abgeleitete Eispegel) .

Weitere Indizien für einen vorzeitlichen größeren Ramdang-Nord-Gletscher liefert die morphologische Analyse des mit Hilfe von **Photo 39** dokumentierten Reliefausschnittes. Die Gletscherzunge (Ablationsgebiet) des Ramdang-Nord-Gletschers wird durch einen schmalen Grat vom benachbarten parallel verlaufenden Tal getrennt. An tieferen Abschnitten dieses Grates wird rezent moränisches Material über den Kamm gedrückt und bildet kleine Schuttkegel unterhalb der entsprechenden Scharten. Gletschereis reicht rezent nicht maßgeblich in das unvergletscherte Tal hinein. Die zum Teil wallartig angelegten Lockergesteinsformen in der Talmitte können als seitlich zur Hauptgletscherzunge eines vorzeitlichen Ramdang Gletschers angeordnete Ufer- bzw. Minipodestmoränen verstanden werden. Der nördlichste Teil des Tales unterhalb des Yalung Ri war demgemäß mit Eis eines größeren Ramdang Gletschers verfüllt. Die Markierung (◆) in **Photo 39** verweist auf die Laterofrontalmoräne eines solchen Gletscherteiles (tiefster Punkt im Zungenbecken 5080m). Rechts im Bild ist der Fuß (5100m) der in **Photo 21** gezeigten Zungenbeckeneinfassung des Yalung Ri Gletschers zu erkennen. Im Vorfeld dieses Moränenwalles schließt sich ein mäßig geneigter Talboden an, der durch einen scharfen Knick zur überlagernden, oben beschriebenen Ufermoräne eines größeren Ramdang-Nord-Gletschers abgegrenzt ist. Mit der gleichen Schärfe läßt sich diese Moräne von den Akkumulationsformen trennen, die in einen genetischen Zusammenhang mit der Vergletscherung des Yalung Ri zu stellen sind.

Die das sich V-förmig zum Talausgang verengende Yalung Talgefäß gliedernden Rücken im Anstehenden ist mit Hilfe des Textes zu **Photo 5** beschrieben (vgl. MEINERS 1999:Photo 9). Ergänzend ist auf die korrespondierende Oberkante der Lockermaterialdecke der orographisch linken Talflanke unterhalb des Vorgipfels des Yalung Ri zu verweisen (**Photo 5**). Die Schuttbedeckung ist häufig durch anstehende Abschnitte unterbrochen und wenig mächtig. Der scharfe, das Streichen der Schichten nachzeichnende Festgesteinsgrat, der die linke Flanke bildet, endet unvermittelt in einer in 4350m einsetzenden Dreiecksform (**Photo 5**).

2.1.2.4 Indikatoren zur vorzeitlichen Vergletscherung der Gletschervorfelder der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke zwischen Sanmakharka und Ramdin

Photo 29 ermöglicht eine Übersicht über die Gletschervorfelder der rezenten Vergletscherung der rechten Rolwaling Khola Flanke zwischen Sanmakharka (im Vorfeld der beiden Rolwaling Gletscher) und der Siedlung Ramdin (3600m) an der Taleinmündung des Chhesugolchha Khola (**Photo 40**). Der bis ca. 5000m hinabreichenden Gletscherzunge des namenlosen Gletschers unterhalb des 6737m hohen Pherni, dessen Ostflankenvergletscherung den Phernikharka Khola Gletscher bildet, schließt sich eine flache Laterofrontalmoräne an (**Photo 25**). Der First der Endmoräne überragt das rezent steil herabhängende Gletscherende um wenige Dekameter und zeichnet eine flache Trogform nach. Der Fuß dieser Moräne endet oberhalb einer Steilstufe im Querprofil der Flanke (**Photo 25, Photo 30** und **Abbildung 4**) in ca. 5000m. Das sich rechts anschließende Zungenbecken einer aktuell deutlich kürzeren Gletscherzunge ist durch schmale, wallförmige Ufermoränen belegt. Diese Moränenleisten reichen einige Dekameter weiter hinab als das sich links anschließende Zungenbecken, so daß der Gletscher über den genannten Knick im Gefällewechsel im Flankenquerprofil hinabgereicht haben muß.

Das direkt oberhalb von Na befindliche Talgefäß nimmt einen Gletscher auf, dessen Ende ebenfalls in ca. 5000m liegt. Eine End- oder Podestmoräne fehlt diesem Gletscher. Die Linie (—) in **Photo 29** markiert rechts und links unterhalb des rezenten Ablationsgebietes am Anstehenden ansetzende diamiktische Lockermaterialwälle, die als historische Ufermoränen verstanden werden können und sich extrapolierend zu einer Laterofrontalmoräne zusammenfügen lassen. Der frontale Teil dieser Zungenbeckeneinfassung fehlt in Abhängigkeit von der Steilheit des zugrundeliegenden Reliefs bzw. von der hieraus resultierenden stärkeren Morphodynamik. Das vom Gletscher aufbereitete Lockermaterial wird fluvial, glazifluvial und gravitativ verlagert und baut zum überwiegenden Teil den stark

zergliederten polygenetischen Schwemmfächer von Na auf (vgl. **Kapitel 2.1.2.5** und **Photo 41**).

Westlich dieser Lokalität, oberhalb der Siedlung Dhogre, schließt sich eine vergleichbare Geländesituation an. Flankenaufwärts der Gefälleänderung der Haupttalflanke läßt, in diesem Fall morphologisch unspezifisch sedimentiertes, glazigenes Lockermaterial auf einen vorzeitig ausgedehnten Gletscher schließen. Der scharfe im Lockermaterial angelegte First oberhalb von (▲) in **Photo 42** und unterhalb des rezenten Gletschers ist nicht eindeutig als Moränenrest im morphologischen Sinn zu interpretieren. Obwohl der Wall einen Bogen zu einem möglichen vorzeitlichen Gletscherende nachzeichnet, bliebe die Interpretation als Frontalmoränenabschnitt vage. Der Wallaußenhang liegt an der Kante der Steilstufe. Es fehlt die für den Aufbau der Form notwendige Basis. Des weiteren wird der Außenhang des potentiellen Ufermoränenabschnittes rezent durch den Abfluß aus einem kleineren Gletscherteilsystem stark unterschritten. An dieser Lokalität wird demzufolge glazigenes Material von drei Seiten in einem Umfang erodiert und verlagert, der eine eindeutige genetische Formenansprache nicht zuläßt. Die Genese des Materials hingegen erscheint eindeutig glazigen bzw. glazial vorbereitet.

Die beschriebenen Reste der Zungenbeckeneinfassung des Gletschers sind gut zu korrelieren und deuten auf einen vorzeitlichen Gletscherpegel hin, der auf eine im Ablationsgebiet einige Dekameter mächtigere Gletscherzunge schließen läßt. Die exponierte Lage der Moränenreste und die daraus resultierende besondere Erosionssituation, insbesondere im Stirnabschnitt der Formen, machen eine genauere Angabe problematisch. Hinweise liefern die Einsetzpunkte der Ufermoränen, die in Folge der Möglichkeiten der Bestimmung einer eindeutigen Eisrandlage für die Schneegrenzbe-rechnungen stark an Bedeutung gewinnen. Alle in diesem Abschnitt genannten ERL erreichen den Talboden des Rolwaling Khola nicht (**Karte 1** und **Karte 2 I,II**).

2.1.2.5 Das Rolwaling Khola zwischen Sanmakharka und dem Kloster von Na

Als Sanmakharka wird der Bereich der Konfluenz des Rechten und Linken Rolwaling Khola Tales bezeichnet (**Karte 1**). Die Kharka erstreckt sich zwischen ca. 4500m im Bereich der Moränenfirste der beiden Hauptgletscher und 4200m unterhalb der sehr steilen Flanke der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke unterhalb des Pherni (**Photo 8**, **Photo 30**). Das Talquerprofil in diesem Abschnitt ist, soweit es nicht durch Seitentäler unterbrochen wird, trogförmig. Der Talboden talauswärts der Laterofrontalmoränen des Linken und Rechten Rolwaling Khola Gletschers sowie des Phernikharka Khola Gletschers ist orographisch rechts durch fluvial-akkumulativ überprägende Morphodynamik gestaltet. Die orographisch linke Seite des Talbodens unter-

liegt dem Einfluß der beschriebenen Schuttkörper im Vorfeld der Vergletscherung der Yalung Talschaft (**Photo 43, Photo 30**).

Die Außenhänge der Laterofrontalmoränen des Rechten- und Linken Rolwaling Gletschers sind durch einen markanten Wechsel im Talquerprofil deutlich vom Gefälle der Haupttal tiefenlinie abzugrenzen (**Photo 8**). Dies gilt nicht für die Entwässerungsrinnen beider Zungenbecken. Diese wirken, geprägt durch die fluviale Morphodynamik im Lockermaterial, vermittelnd zwischen dem Zungenbeckenboden bzw. der Seeoberkante des Tsho Rolpa und dem Gefälle im Vorfeld der Außenhänge der Zungenbeckeneinfassungen.

Die Ausschnittvergrößerung aus **Photo 30** verdeutlicht eine weitere Gliederung der Morphologie der Sanmakharka (**Photo 30a**). Dem First der Laterofrontalmoräne des Rechten Rolwaling Gletschers schließt sich ca. 50 Höhenmeter unterhalb in Richtung Talmitte eine flachere Vollform ((■) **Photo 30a** in 4450m) an. Diese grenzt sich durch einen Außenhang und getrennt durch eine Tiefenlinie, die den Zwickel zwischen den beiden markanten Laterofrontalmoränen entwässert, von der Moräne des Linken Rolwaling Gletschers ab (**Photo 8**). Ein schmaler Lockermaterialwall umrahmt die Form an ihrer oberen äußeren Begrenzung. Die Oberfläche der Vollform zeigt eine talauswärts gerichtete fluviale Strukturierung. Die Orientierung dieser Form, die sich aus dem Verhältnis von Breite zu Länge ableiten läßt, entspricht längs der Hauptachse nicht dem Haupttalgefälle, sondern der Verlängerung des unteren Abschnittes des Zungenbeckens des Rechten Rolwaling Gletschers. Die fluviale Oberflächenstrukturierung folgt dagegen dem Haupttalgefälle. Die Akkumulation verengt den Abfluß des Linken Rolwaling Khola Talschlusses, d.h. des orographisch linken Talabschnittes des Rolwaling Khola oberhalb dieser Form. Der Abfluß erfolgt zwischen der anstehenden linken Rolwaling Khola Flanke und der beschriebenen Vollform. Diese wird als Moränenrest eines älteren Gletscherstandes des Rechten Rolwaling Gletschers verständlich (vgl. **Abbildung 5**).

Hinweise auf die Morphologie des Seebodens und eine dann tiefere ERL bei nur mäßig längerer Gletscherzunge des Linken Rolwaling Gletschers liegen nicht vor (vgl. jedoch **Photo 35**). Insbesondere die Geländesituation im Zwickelbereich der beiden Hauptgletscher macht die Annahme unwahrscheinlich, daß es sich bei dieser Form um einen Grundmoränenrest eines Rolwalinggletschers handelt, dessen Ablationszunge aus beiden rezenten Gletschern zusammengesetzt war. Große Teile des talaufwärts abdachenden Außenhangs des Moränenrestes unterliegen nicht dem direkten Einfluß der Unterschneidung des Abflusses des Linken Rolwaling Gletschers. Hinweise für eine diesbezüglich nennenswerte Verlagerung der Entwässerung des Rechten- oder Linken Rolwaling Gletschers finden sich nicht.

Der zur linken Rolwaling Khola Flanke orientierte Verlauf des beschriebenen Moränenkörpers (**Photo 30**) wird, unter Berücksichtigung der Lage des Phernikharka

Khola Gletschers, verständlich. Die Zungenbecken des Rechten Rolwaling- und des Phernikharka Khola Gletschers verlaufen am Talausgang des rechten Rolwaling Khola Talschlusses annähernd parallel. Die in **Photo 8** dokumentierten Ufermoränen belegen dies. Orographisch rechts wird das Zungenbecken des Phernikharka Gletschers durch die Pherni Ostflanke eng begrenzt. Eine vorspringende Felsnase ((→) in **Photo 8**), die sich in 4850m mit einem markanten Gefällewechsel von der Flanke abhebt, verengt die Abflußmöglichkeit des Phernikharka Gletschers, so daß ein entsprechend großer Eiskörper phasenweise zur Talmitte abgedrängt werden muß und Einfluß auf den Verlauf der Zunge des Rechten Rolwaling Gletschers zu nehmen hätte. Dieser wird entsprechend talaufwärts abgelenkt und folgt nicht der Hauptgefällelinie. Aufgrund der Starrheit der Gletscherzungen ist der Ablenkungsraum nicht auf die eigentliche Engstelle zu begrenzen, sondern talaufwärts auszudehnen.

Die oben genannte Felsnase ist bis zu ihrem Wurzelpunkt an der Pherni Ostflanke mit Lockermaterial verkleidet. Die Korngrößenverteilung dieses Lockermaterials umgreift die Fraktionen Ton bis Block. Die Außenhänge der Felsnase sind gestreckt und mit ca. 35° bis 40° geneigt. Der haupttalauswärts orientierte Hang, d.h. der Sichelforminnenhang ist in seinem kontinuierlichen Verlauf in ca. 4550m Höhe gestört. Unterhalb dieser Isohypse schließt sich eine annähernd 90° steile Wand im Anstehenden an, die sich talauswärts fortsetzt (**Photo 44**). Die sich oberhalb der Felsnase anschließende südostexponierte unvergletscherte Felsflanke dient aktuell nicht als Schutteinzugsgebiet für die Lockermaterialverkleidung der anstehenden Vollform. Das in **Photo 8** zu erkennende potentielle Schuttkörpereinzugsgebiet ist durch eine schmale Runse kanalisiert. Das Ende dieser Runse befindet sich im oberen Drittel des Sichelforminnenhanges. Das Material sedimentiert hier nicht, sondern wird bis zur Tiefenlinie über die genannte Steilstufe hinweg transportiert. Dies verdeutlicht, daß es auf der Basis der bestehenden morphologischen Rahmenbedingung auszuschließen ist, daß die Lockermaterialverkleidung der Felsnase durch einen rezenten Prozeß aufgebaut wird. Das Leistungspotential der in situ Verwitterung des Anstehenden ist im Vergleich zur Lockermaterialmenge zu gering. Entscheidend ist, daß das potentielle Schutteinzugsgebiet für den Aufbau eines Schuttkörpers aus primär bereitgestelltem, d.h. in situ verwittertem Material, also einer Form, die sich über die genannte Versteilung der Flanke hinaus fortzusetzen hat, auf der Felsnase zu klein erscheint. Das sedimentierte glazigene Material ist weniger als Indiz für eine größere lokale Vergletscherung dieses Flankenabschnittes als mehr als Indiz für eine stärkere Vergletscherung des Rolwaling Khola zu interpretieren. Dementsprechend findet es weiter unten erneut Berücksichtigung (**Kapitel 2.1.2.6**).

Zunächst gilt es, die Morphologie der Zungenbeckeneinfassungen der drei die Oberflächenform von Sanmakharka bestimmenden Gletscher differenzierter zu

betrachten. Die gegenseitige direkte Bestimmtheit der Lage der vorzeitlichen Gletscherstände zwischen 4200m und 4500m ist eindeutig belegt. Die Moränen zeigen, daß zum Zeitpunkt der bisher genannten weitesten Ausdehnung des Rechten Rolwaling Gletschers dieser von den beiden anderen Hauptgletschern getrennt lag. Dies gilt für Schneegrenzabsenkungen, die die Eisrandlagen des Rechten Rolwaling Gletschers in 4400m bedingen (vgl. **Tabelle 2**). Die oben für den Phernikharka Gletscher beschriebene Ufermoränensequenz (vgl. **Photo 19**) macht es in hohem Maße wahrscheinlich, daß die zwei kleineren Gletscher im Talgefäß nordöstlich des Phernikharka Khola zum Zeitpunkt einer solchen Schneegrenzabsenkung keinen Kontakt mit dem Phernikharka Khola Gletscher hatten.

Zu berücksichtigen ist die komplexe Reaktion jedes Gletschers auf die gleichen klimatologischen Einflüsse auf der Basis der morphologischen Rahmenbedingungen für einen Gletschervorstoß. So kann beispielsweise eine durch den Gletscher angelegte Aufhöhung des Zungenbeckens durch die Akkumulation von Grundmoräne in einer längeren Gletscherzunge resultieren, die ältere tiefere Eisrandlagen überfährt (vgl. **Photo 128**, vgl. KUHLE 1991: 129).

Talauswärts der sich durch einen markanten Gefällewechsel im Tallängsprofil absetzenden Moränen der Lokalität Sanmakharka schließt sich ein orographisch rechts von der Talmitte liegender Bereich vorwiegend fluvial geprägter Oberflächenformung an. Die linke Talseite unterliegt dem formengebenden Einfluß von Schuttkörpern, die genetisch an die orographisch linke Flanke geknüpft sind. Der eingeschränkt anastomisierende Abfluß des gesamten Rolwaling Talschlusses verläuft, eingeengt durch die genannten Schuttkörper, vornehmlich unterhalb der sehr steil stehenden orographisch rechten Flanke (**Photo 44**, **Photo 8**). Markant tritt der sehr steile Flankenabschnitt in Erscheinung, der direkt an die Einmündung des Phernikharka Khola anknüpft. Die Wand fällt in weiten Teilen mit 90° ein und erreicht abschnittsweise eine Höhe von 200m. Der den steilen Teil der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke von den flacheren oberen Abschnitten abgrenzende Gefälleknick im Talquerprofil fällt, wie in **Photo 8** zu erkennen ist, talauswärts ein. Der Knick im Talquerprofil läßt sich mit Hilfe des **Photo 30** bis 500m talaufwärts vor Na verfolgen.

Photo 44 (vgl. auch **Photo 45**) zeigt einen Ausschnitt dieser Wand. Deutlich wird, daß sich das Gefälle der Wand bis zur rezenten Taltiefenlinie nicht nennenswert ändert. Das Flußbett liegt über Dekameterlängen dicht am anstehenden Festgestein - es finden sich keine fluvial angelegten Unterschneidungsformen oder Hinweise, die jahreszeitlich deutlich höhere Abflußpegel dokumentieren. Der gesamte sehr steil stehende Abschnitt der Flanke weist keine entsprechend dem Haupttalgefälle orientierten Hinweise fluvialerosiver Morphodynamik auf. Die Flanke unterliegt nicht dem direkten schuttliefernden Einfluß eines vergletscherten oberen Flankenabschnittes. Die frontale

Aufnahme einer Flankenpartie belegt zum einen die Stabilität der Form (**Photo 45**) und gibt zum anderen Hinweise auf die aktuelle Morphodynamik und Schuttproduktion unvergletscherter Einzugsgebiete, die rezent relativ frei von älteren Schuttakkumulationen sind (vgl. dazu das Schutteinzugsgebiet oberhalb der sichelförmigen, lockermaterialverkleideten Felsnase am Talausgang des Phernikharka Khola, **Photo 8**). Die Schuttlieferung aus den oberen, flacher geneigten Flankenteilen erfolgt zu einem großen Teil auf breiter Front entlang des Gefälleknicks. Die Bündelung dieser Materialverlagerung oberhalb der Steilstufe führt zur Bildung kleiner Schuttkegel (**Photo 44**). Die fraktionell den Blöcken zuzuordnenden Anteile dieses Schuttkörpers entstammen überwiegend dem direkten Nachbrechen der Flanke. Die Schuttkegel werden hinsichtlich des Aufbaus ihrer Form durch Komponenten der Fraktionen Grobsand bis Grobkies bestimmt. Diese Fraktionen können in Abhängigkeit von der Abflußmenge und Erosionsleistung des mäandrierenden Flusses in die Schottersohle integriert werden (vgl. HJULSTRÖM 1935). Übersteigt die Anlieferung die Denudationsleistung des Fließgewässers, bauen sich Schuttkegel auf. In **Photo 44** lassen sich zwei Schuttkörpertypen differenzieren: einerseits der vergleichsweise kleine, im wesentlichen aus den Korngrößenfraktionen Grobsand bis Grobkies aufgebaute Kegel im Bildmittelgrund und andererseits die Schuttakkumulationsform am Standort des Betrachters. Hier finden sich große kantengerundete Blöcke, deren Längsachsen nur mäßig länger als die Querachsen sind, eingebettet in eine Feinmaterialmatrix, die durch einen Tonanteil, der zwischen 5 Prozent und 7 Prozent liegt, bestimmt ist. Das Verhältnis der Achsenlängen der Blöcke ist insofern von Bedeutung, als die rezent aus der Wand brechenden Gesteinspartien der Blockfraktion plattig ausgebildet sind. Die Schuttakkumulationen am Standort des Betrachters sind genetisch in Beziehung zu dem östlichsten Gletscher der Rolwaling Nordabdachung (**Photo 29, Photo 30**) zu stellen und rekrutieren einen großen Teil des Materials aus glazigenen Sedimenten.

Im Talabschnitt zwischen dem Fuß des Sanmakharka Moränenkomplexes und 500m talaufwärts vor Na finden sich direkt unterhalb der beschriebenen steilen Wand keine Akkumulationsformen oder -formenreste, die Hinweise auf eine vorzeitliche Vergletscherung liefern könnten. Die sehr stark dem Einfluß der Schuttkörper der linken Talflanke ausgesetzte linke Talbodenseite bietet nur mäßig aussagekräftige morphologische Indizien. In **Photo 23** und **Photo 30** ist der Einfluß der Schuttakkumulationsformen aus der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke deutlich zu erkennen. Der Talboden ist übersät mit Blöcken, die im wesentlichen aus der orographisch rechten Flanke stammen und über die flachen Schuttkörper bis zur Talmitte gelangen können. Das gleichsinnige Gefälle der Akkumulationshänge wird in kurzen, taltiefenliniennahen (ca. 30-50m oberhalb der rezenten Schottersohle) Abschnitten durch zum Tallängsprofil parallel laufende Lockergesteinswälle unterbro-

chen, die sich bis maximal 6m bis 8m über den einfassenden flachlagernden Schuttkörper erheben. Quer- und Längsachse sind in allen Fällen größer als die vertikale Ausdehnung. Das die flachen, abgerundeten Wälle aufbauende Material umgreift die Fraktionen Ton bis Block (Kantenlängen bis > 2m, die Morphologie entspricht der von „rundlichen“ Blöcken, entgegen der plattigen Form). **Photo 46** zeigt zwei der genannten Wälle in 4250m Höhe ca. 1km östlich von Na und ca. 40m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie. Des weiteren fällt der hohe Anteil an großen, regellos abgelegten und zum weitaus größten Teil nicht kantengerundeten Blöcken auf. Neben Blöcken, die auf dem Schuttkörper aufliegen, finden sich auch Blöcke, die in die beschriebenen Wälle integriert sind, und solche, die als den Schuttkörper aufbauender Bestandteil zu werten sind. Die bescheidenen bekannten Informationen zu Größe, Lage und Materialverteilung innerhalb der Wälle machen eine eindeutige genetische Interpretation problematisch. Festgehalten werden kann, daß es sich nicht um rezente Formen handelt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich um "abgesetzte" Mittelmoränen (Medialmoränen) eines älteren Gletschervorstoßes (vgl. WINKLER 1996: Figur 19). Ein großer Teil des die sich orographisch links anschließenden Schuttkörper aufbauenden Materials stammt aus glazial aufbereitetem Lockermaterial der Flanken. Das heißt, es handelt sich um umgelagerte lokale oder ferntransportierte Moräne.

Des weiteren müssen Flankenversteilungen der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke Berücksichtigung finden (**Photo 43**). Die herausragenden Felsrücken enden abrupt mit einem Gefälleknick (—). Die Versteilung dieser Flankenpartien ist nicht in Beziehung zu einem rezenten Prozeß zu setzen; diese wirken in diesem Talabschnitt reliefausgleichend. Die unterschrittenen Felsvorsprünge spiegeln zwei Niveaus wieder: ca. 4400m für die talaufwärtige Form und ca. 4600m für die talauswärts gelegene Form. Horizontal trennt die beiden Felskanten ca. 1 km. Die Formen entstehen mit hoher Wahrscheinlichkeit durch eine quer zum Flankengefälle verlaufende Eisbewegung - vor diesem Hintergrund gilt es zu berücksichtigen, daß die talauswärtigere Unterschneidungskante höher am Hang liegt. Ein entsprechender Gletscher muß nicht nur länger gewesen sein, sondern auch mächtiger, und zwar mindestens 200m nach oben, plus das dem Eiskörper zugrundeliegende Niveau des Talbodens.

Ebenfalls in **Photo 43** ist die Veränderung des orographisch linken Teils des Talquerprofils unterhalb der Einmündung des Tales, das sich an die Nordostabdachung des Yalung Ri anschließt, zu erkennen. Das Flankenprofil wird durch eine Terrasse unterbrochen, die über eine Strecke von ca. 1,5km im Tallängsprofil zu verfolgen ist. **Photo 23**, aufgenommen aus 4500m, bietet die Möglichkeit, diese Gefälleveränderung zu verfolgen. Die linke Seite des Talquerprofils des Rolwaling Khola wird durch eine Lockermaterialterrasse unterbrochen, die ca. 300m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie (gemessen in der Mitte der Terrasse) liegt. Die obere Außenkante der Form fällt tal-

auswärts leicht ein, das Gefälle entspricht etwa dem des Talbodens. Der Außenhang der Terrasse ist in weiten Teilen steiler als die angrenzenden Schutthaldenhänge. Die Schutthalden erreichen in Abhängigkeit vom aufbauenden Gestein ihre maximale Neigung. Der in Rede stehende Außenhang der Terrasse ist an drei Seiten eingegrenzt durch Schutthalden. Zusätzlich schließen sich unterhalb des Außenhanges kleine Schuttkegel an. Diese Schuttakkumulationen sind alle flacher geneigt. Die Form erstreckt sich insbesondere haupttalauwärts über den Talausgang des Seitentales hinaus. Teile der Flanke oberhalb der Terrassenaußenoberkante weisen eine konkave Wölbung auf, die sich deutlich von der Wölbung des auf die Terrassenkante eingestellten Schuttkörpers differenzieren läßt. Talauwärts ist die Terrassenkante bis zur Überprägung durch einen Seitentalschuttkegel zu verfolgen. Hier paust sich die Kante, unterstützt durch die Aufreihung großer Blöcke, bis zum Einzugsgebiet eines großen Schutfächers durch. Der Außenhang der Form ist durch Runsen und Abflußbahnen gegliedert. Die scharfen Einschnitte sind nur zum Teil an lithologische Gunstbedingungen gebunden. Das Gefälle der Außenkanten dieser Rinnen entspricht nicht dem Fallen und Streichen der Schichten, zeichnet dieses jedoch versteilt nach. Demgegenüber wird der Schuttkegel unterhalb der Nordabdachung des nördlichen Vorgipfels des Yalung Ri rechts und links durch dem Streichen und Fallen des Anstehenden folgende Kanten eingeengt.

Die Verlängerung der Terrassenoberaußenkante vermittelt talauwärts zu einer Gefälleveränderung im Anstehenden von flacher (oben) zu steiler (unten). Korrespondierende Akkumulationsformen schließen sich talauwärts an und sind in **Photo 47** (am äußersten rechten Bildrand) belegt.

Die Schuttkegel, die genetisch mit der Vergletscherung der Yalung Ri Nordostflanke verknüpft sind, fußen zum Teil (der talauwärtige Teil der Kegelform) oberhalb der Terrassenkante, sind also nicht auf die Haupttaltiefenlinie eingestellt (**Photo 23**). Talauwärts hat der Kegel die rezente Erosionsbasis erreicht (**Photo 47**). Der Terrassenrest verschwindet unter der Kegeloberfläche bzw. wird in diese integriert. Unterhalb eines unterschrittenen und dadurch versteilten Felsrückens ist die Terrassenkante weitgehend erhalten. Inwieweit die erkennbare Dreigliederung der Form auf den Erosions- und Überprägungsschutz der sich oberhalb anschließenden Felsflanke zurückzuführen ist, läßt sich mit den gebotenen Geländemethoden nicht eindeutig ableiten.

Photo 47 zeigt u.a. die Form aus anderer Perspektive. Diesem Moränenterrassenrest vorgelagert ist eine flache, talauwärts und zur Taltiefenlinie einfallende Terrasse (—•—), deren Außenkante ca. 30m über der Taltiefenlinie liegt. Die Terrasse ist aus Lockermaterial aufgebaut. Die Korngrößenverteilung erstreckt sich über die Fraktionen Ton bis große Blöcke. Letztgenannte erreichen Kantenlängen bis 8m und liegen zum überwiegenden Teil in einer nicht sortierten Feinmaterialmatrix eingebettet. Die Hang-

neigung der Terrasse resultiert nicht aus der rezenten Unterschneidung durch den Fluß und ist weitgehend vegetationsfixiert. Dasselbe gilt für die sich hangauswärts anschließende Terrasse. Beide Terrassenkörper enden talauswärts an einem genetisch mit den oberen Flankenpartien verknüpften Schuttkegel.

Besondere Berücksichtigung ist einem Abschnitt des Außenhanges der Terrasse im linken Bildteil von **Photo 47** zu widmen (*), der durch den frischen Eindruck des akkumulierten Materials auffällt. Hier ist der Terrasse eine zweite, ca. 5m bis 10m oberhalb der Tiefenlinie liegende Akkumulationsform vorgelagert. Diese fällt insbesondere durch die geringe Dichte der Vegetationsdecke auf. Die oberen Abschnitte werden von den Seiten her von der Vegetationssukzession wieder bedeckt. Der untere terrassenförmige Bereich ist vegetationsfrei und wird vom rezenten Abfluß unterschritten. Dieser Ausschnitt der orographisch linken Flanke des Rolwaling Khola liegt der Einmündung der Abflüsse der Gletscher oberhalb von Na und dem Kloster von Na auf der rechten Talseite gegenüber. Im Bildvordergrund von **Photo 47** ist der Abfluß des Gletschers oberhalb des Klosters von Na zu erkennen (vgl. **Photo 29**). Hinsichtlich der genetischen Interpretation dieses Geländeausschnittes ist zu berücksichtigen, daß die rechts, d.h. talauswärts der konvexen Form liegenden großen Blöcke (längste Kante > 3m) auf ihrer oberen Fläche vegetationsbedeckt sind und auf dieser Vegetationsdecke frisch verwittertes Material bis zur Fraktionsgröße "Kantenlänge bis ca. 0,2m" zu finden ist. Die Vegetationsbedeckung der großen Blöcke ist weitgehend intakt und nicht durch Erosionsformen geschädigt.

Das frisch verwitterte oder aufbereitete Material stammt aus der orographisch rechten Flanke des Rolwaling Khola und ist als Produkt schneller gravitativer Massenbewegungen, die in enger genetischer Beziehung zum Ausmaß der Vergletscherung der Rolwaling Khola Nordflanke oberhalb von Na stehen, zu sehen. Die hohe Energie führt zur Verteilung des Schuttes auf höhere Abschnitte der orographisch links im Haupttal liegenden Terrassenkante. Die im **Photo 29** zu erkennenden großen, dunkleren Blöcke (Kantenlängen über 0,4m) sind morphogenetisch nicht mit diesem Prozeß in Beziehung zu setzen. Es handelt sich nicht um eine primäre Unterschneidungskante, d.h. Erosionskante des Haupttalflusses; diese Erosionskante ist sekundär in dem Material der Terrasse angelegt.

Photo 29 und **Photo 30** ermöglichen eine Übersicht über den orographisch rechten Flankenabschnitt des Rolwaling Khola zwischen Sanmakharka und Na. Der talaufwärtige Abschnitt dieser Talseite ist oben beschrieben. Der die rechts in **Photo 30** zu sehende steile Wand nach oben begrenzende Gefälleknick läßt sich bis ca. 1km vor Na verfolgen und "verschwindet" hier in einer Schuttschürze (*). Diese Schuttschürze setzt in ca. 4400m am Anstehenden der Flanke an und erstreckt sich über eine Talstrecke von ca. 1 km unterhalb des südwestlichst exponierten Pherni Gletschers,

dessen historische Laterofrontalmoräne oberhalb der Schuttschürze in **Photo 30** (◆) zu erkennen ist. Die gestreckte, durch jüngere kleinere Schuttkegel abschnittsweise aufgelöste Schuttschürze ist nicht unvermittelt mit den Akkumulationen zu verknüpfen, die sich talauswärts des Abflusses des letztgenannten Gletschers anschließen. Die Oberfläche der Schuttverkleidung fällt, abgesehen von den Zerschneidungen durch die rezenten Abflüsse, mit auffällig gleichem Gefälle ein. Deutlich wird anhand der genannten Photos, daß die aus der aktuellen Geländesituation resultierende rezente Morphodynamik die Form zerschneidet und gliedert. Die zu rekonstruierende Oberfläche der Schuttschürze läßt keine Rückschlüsse auf eine ursprüngliche Gliederung in einzelne Schuttkegel oder -halden zu. Diese Akkumulationsform kann als auf breiter Front vor dem Nebentalgefäß angelegt verstanden werden. Das Zungenende eines hangenden, die Talbreite ausfüllenden Gletschers schob sich bis an den scharfen Gefälleknick vor und schüttete glazial aufbereitetes Lockermaterial über die Felskante ins Haupttal. Abzuleiten ist, daß zu diesem Zeitpunkt im Haupttal an der Felsflanke kein Gletscher angelegen haben kann, die besondere Steilheit der Flanke und das kleinräumig eingegrenzte Einzugsgebiet des Gletschers bedingen, daß Eisrandlagen dieses Gletschers zwischen 4800m und 4200m nicht durch glaziale Akkumulationsformen im Ablationsgebiet repräsentiert werden können. Des weiteren muß bei Eisrandlagen unter 4500m die Vergletscherung des Haupttales Berücksichtigung finden. Morphologisch ist dieser Flankenabschnitt von dem sich östlich anschließenden Talabschnitt unterhalb der oben beschriebenen Wand zu trennen - genetisch eindeutig in Beziehung zu setzende Akkumulationsformen fehlen unterhalb dieser Wand, östlich des den bezüglichlichen Gletscher orographisch links eingrenzenden Felsrückens, völlig.

Talauswärts grenzt die Schuttschürze an den Schwemmfächer von Na. Dieser erstreckt sich über eine mindestens 1 km breite Front und reicht von der Kegelwurzel bis zur unterschrittenen Fächeraußenkante an der Haupttaltiefenlinie über eine Strecke von mindestens 1,5 km. Der Schuttfächer ist durch zeitlich und räumlich differierende akkumulativ und erosiv wirkende Prozesse gegliedert. Art und Umfang dieser Morphodynamik sind eng an die Vergletscherung des Einzugsgebietes oberhalb von Na gekoppelt. Dieses Einzugsgebiet erstreckt sich zwischen 6100m und 6737m auf einer Firstlänge der Rolwaling Khola Nordabdachung von ca. 3,5 km (**Photo 25**). **Photo 29** zeigt das rezente Gletscherende und die Talstrecke zwischen diesem und den hangaufwärtigsten Häusern der Siedlung Na. Die vertikale Distanz zwischen diesen Punkten beträgt ca. 800m. Der Abfluß des Gletschers wird u.a. durch vorzeitliche Ufermoränen am Talausgang eines schüsselförmig angelegten Ablationsgebietes kanalisiert und beschränkt sich rezent im unteren Abschnitt auf eine schmale Rinne. Diese Tiefenlinie ist in ihrem oberen Teil im Anstehenden angelegt und durch eine klammähnliche Form in ca. 4500m fixiert. Talauswärts dieses Einschnittes verläuft der Abfluß durch eine in

Lockermaterial angelegte Erosionsrinne, die sich in engen Grenzen bis zur Haupttaltiefenlinie verfolgen läßt (vgl. **Photo 23**; im Bildvordergrund ist die Abflußrinne zu erkennen, eine anschließende Akkumulationsform in Bereich der Haupttaltiefenlinie fehlt).

Diese Rinne zerschneidet im oberen Abschnitt ihres Verlaufes (in ca. 4720m) einen durch Murbahnen gegliederten Schuttkegel, der unterhalb des genannten Festgesteinschnittes ansetzt und sich durch eine Gefälleveränderung markant vom Schwemmfächer absetzt (**Photo 30, Photo 41, Abbildung 6**). Der talauswärtige, orographisch rechte Teil des Schuttfächers ist nicht exakt zu begrenzen, da die Form durch den oben beschriebenen Schuttkegel überlagert wird. Talaufwärts ist der Schuttkegel gut erhalten und weitgehend konsolidiert. Der klammartige Einschnitt im Festgestein oberhalb des Schuttkegels kanalisiert die Entwässerung des Einzugsgebietes oberhalb von Na fast vollständig. In **Photo 30** ist das rezente Einzugsgebiet des größten Teils des Schwemmfächers zu erkennen. Der orographisch linke Ufermoränenabschnitt, der oben erwähnten Laterofrontalmoräne trennt den Schwemmfächer von Na von seinem Haupteinzugsgebiet.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Die Bildung des Schwemmfächers von Na muß in einen genetischen Zusammenhang zur Vergletscherung des Einzugsgebietes oberhalb von Na gesetzt werden. In einer zweiten Phase setzt der Schuttkegel auf die Schwemmfächeroberfläche auf. Rezent wird der Schuttkegel zerschnitten. Der Schwemmfächer entsteht wahrscheinlich als fluvio-glaziale Eisrandbildung eines bis knapp unterhalb der Klamm in ca. 4500m herabreichenden Gletschers. Zu diesem Zeitpunkt werden u.U. einzelne Abflußbahnen im Festgestein angelegt. Der entsprechende Gletscher zieht sich zurück, der Abfluß erfolgt auf relativ breiter Front. In einem folgenden Schritt stößt der Gletscher bis zum Niveau der rechts und links oberhalb der Klamm in 4500m noch verfolgbaren Ufermoränenreste vor. Der Abfluß ist an die talauswärtigste Rinne gebunden, der Schuttkegel entsteht. Der neuerliche Gletscherrückzug entspricht dem aktuellen Stand. Die Akkumulationsformen werden rezent zerschnitten.

Ein weitreichender Unterschied zwischen den beiden genannten vorzeitlichen Eisrandlagen ergibt sich aus ihrer Lagebeziehung zu auffälligen Änderungen des Flankenquerschnitts oberhalb des Schwemmfächers. Der ältere Gletscher hat bis über den Gefälleknicke hinausgeragt und diesen so ausgeglichen. Der flachgeneigte Bordensander, der rezent morphologisch als Schwemmfächer in Erscheinung tritt, konnte entstehen. Die jüngere Eisrandlage lag oberhalb der Gefälleversteilung. Das glazial aufbereitete Material wurde als Kegel mit steilerem Gefälle sedimentiert (**Abbildung 6, Abbildung 7**). Drei Eisrandlagen sind abzuleiten: die rezente ERL in ca. 5000m und zwei vorzeitliche ERL in ca. 4800m und ca. 4500m.

Haupttal auswärts schließt sich an den Schwemmfächer von Na der Einflußbereich eines kleineren Gletschers der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke an. Das entsprechende Einzugsgebiet ist in **Photo 25** am linken Bildrand zu erkennen. Das Akkumulationsgebiet des Gletschers liegt zwischen der oben genannten Abflußrinne des Gletschers oberhalb von Na und der mit Hilfe von **Photo 48** dokumentierten Engstelle im Talquerprofil zwischen Dhogre und Na (**Photo 41, Photo 29**). Die für **Photo 29** gewählte Perspektive ermöglicht die morphologische Gliederung der Flanke. Dem rezenten Gletscherende vorgelagert ist moränisches Material, das im Abschnitt oberhalb von 5000m morphologisch nicht eindeutig zuzuordnen ist, jedoch hinsichtlich der Deutung der Genese als glaziales Sediment eindeutig scheint. Orographisch links schließt sich ein sichelförmiger Wall an, dessen Außenhang nur mäßig durch den Abfluß eines kleineren Einzugsgebietes unterschritten wird. Dieser sichelförmige Wall ist bis zu einer konvex gewölbten Gefälleveränderung des Seitentallängsprofils zu verfolgen (in **Photo 41** ist dies zu erkennen). Seitentaleinwärts dieser Form schließt sich ein großflächiges, relativ lockermaterialfreies, konvex gewölbtes Areal an, das von einer steilen Stufe talauswärts begrenzt wird. Orographisch rechts wird dieser Raum durch eine Dekameter hohe Steilstufe im Anstehenden begrenzt. Zum genannten sichelförmigen Wall korrespondierende Akkumulationsformen finden sich nicht. Die Oberkante der Felsstufe zeichnet jedoch ein vergleichbares Niveau nach. Unterhalb der genannten Steilstufe im Längsprofil des Seitentales schließen sich Schuttkörper an, die sich in mindestens zwei Niveaus gliedern lassen und die durch den rezenten Abfluß zerschnitten werden. An die Reste einer höher ansetzenden und steiler einfallenden Schuttschürze (vgl. die obige Beschreibung der Schuttschürze unterhalb der Pherni Nordwestflanke) knüpfen flacher geneigte Schuttfächern ähnliche Formen an.

Das Material, das die Blockhalde aufbaut, an deren Ansatzpunkt das Kloster von Na ((→) in **Photo 42**) gebaut wurde, stammt aus einem eng zu begrenzenden Teil der Flanke oberhalb einer Steinschlagrinne. Die Korngrößenverteilung im sichtbaren Bereich der Blockhalde läßt nicht auf glazigenes Ausgangsmaterial schließen. Der Flankenabschnitt oberhalb der Halde, der als Einzugsgebiet für die Blöcke angesprochen werden kann, erreicht eine Höhe von 5200m. Oberhalb der Steinschlagrinne schließt sich ein konvexes, V-förmig eingetieftes Einzugsgebiet im Festgestein an. Die Engstelle vermittelt zwischen Einzugs- und Akkumulationsgebiet - es entsteht eine sanduhrähnliche Formenordnung.

Kann diese Form als Ergebnis einer Flankenvereisung interpretiert werden und dann in Bezug zu den von MEINERS (1999) beschriebenen taltiefenlinienparallelen Erosionskanten gesetzt werden? In jedem Fall würde dies Eisfreiheit im Haupttal voraussetzen. Ausgehend von den Überlegungen zur Schneegrenzabsenkung, die in Beziehung zu einer ERL zwischen Beding und Na stünde (vgl. **Tabelle 2: Gletscher Karte 2II**), ist dies nicht auszuschließen. Der u.a. in **Photo 23** dokumentierte

Moränenrest belegt einen Gletscher im Haupttal, dessen Oberkante in diesem Talabschnitt in ca. 4200m gelegen hat und dessen Ende talauswärts der Schutthalde zu bestimmen ist. Die notwendige Schneegrenzabsenkung (ca. 200m siehe **Kapitel 3**) rückt den beschriebenen konvexen V-förmigen Flankenabschnitt in das Niveau einer denkbaren lokalen Vergletscherung. Ergänzend sind der Einfluß einer solchen Schneegrenzabsenkung auf die Vergletscherung der Flanke direkt oberhalb von Na und der resultierende Einfluß aus den talauswärtigen Flankenabschnitten zu berücksichtigen. Talauswärts der Schutthalde und vor der Engstelle im Talquerprofil des Rolwaling Khola zwischen Beding und Na ist in 4200m ein Terrassenrest erhalten (**Abbildung 8**), der annähernd taltiefenlinienparallel einfällt, mit dem in **Photo 23** gezeigten Ufermoränenterrassenrest der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke in eine Lagebeziehung zu setzen ist und zu einem Eisniveau in 4200m bis 4250m vermittelt (**Photo 41, Abbildung 9**). Talauswärts wird die durch einen Gefällewechsel im Flankenprofil belegte Terrasse durch eine Felsflanke begrenzt, die zur Engstelle im Talquerprofil zwischen Dhogre und Na vermittelt (**Photo 49, vgl. Abbildung 10**). Die Taltiefenlinie verläuft in diesem Talabschnitt in 4000m Höhe nicht im Anstehenden. Die Oberflächenstruktur der oben beschriebenen Schutthalde zeichnet die Terrassenkante nach (**Photo 42**). Die kleineren Fraktionen der oberen Hälfte des Schuttkörpers sind zu einem großen Teil auf ein Niveau eingestellt, das der Verlängerung der talauswärts in 4200m anschließenden Terrassenkante nach talaufwärts entspricht. Dieser Terrassenrest gliedert die Schuttkörperoberfläche in zwei Abschnitte. Die Blöcke mit den größten Dimensionen finden sich im taltiefenliniennahen Abschnitt der Form. Große Blöcke können sich aufgrund ihrer hohen kinetischen Energie "springend" über die Schuttkörperoberfläche bewegen. Daraus resultiert eine Beziehung zwischen der maximalen Sprunghöhe eines Blockes und den Dimensionen des Terrassenrestes. Das heißt, ein auf ein Niveau flankenseitig eines Ufermoränenterrassenrestes eingestellter Schuttkegel kann trotzdem zu Blockakkumulationen unterhalb der Terrassenkante führen. Die Kegeloberfläche dient u.U. als "Sprungbrett" für gröbere Komponenten.

2.1.2.6 Morphologische Indikatoren zur vorzeitlichen Vergletscherung des Rolwaling Khola zwischen dem Kloster von Na und dem Talausgang des Rolwaling Khola

Das Kapitel behandelt den ca. 20 km langen Talabschnitt zwischen dem sich talauswärts des Klosters von Na anschließenden vorspringenden Festgesteinsrücken (**Photo 48, Photo 49**) und dem Talausgang des Rolwaling Khola, d.h. der Einmündung in das Bhote Kosi (**Photo 3, Photo 50**). Die Taltiefenlinie erstreckt sich von 4000m im Osten bis auf 1450m im Westen (**Abbildung 11**).

Insbesondere für den Talabschnitt zwischen der Einmündung des Themlun Khola (unterhalb des Gaurisankar) in 3200m und dem 6121m hohen namenlosen Gipfel nord-nordöstlich von Na ist der Einfluß der rezenten Vergletscherung auf die Morphologie nahe der Haupttaltiefenlinie zu berücksichtigen. In **Kapitel 2.1.1** konnte gezeigt werden, daß Art und Umfang der rezenten Vergletscherung sowohl der orographisch rechten als auch der orographisch linken Flanke im wesentlichen bestimmt sind durch Flanken- bzw. Wandvergletscherungen, die in steil herabhängenden, kurzen Gletscherzungen enden. Im Vorfeld dieser rezenten Gletscher finden sich häufig kleinere Moränenwälle, die in Abhängigkeit von der Steilheit des jeweiligen Flankenabschnittes direkt - oder getrennt durch anstehende Flankenpartien - in Schuttkörper unterschiedlicher Größe übergehen (**Photo 40**). Die direkten Gletschervorfelder sind nicht umfangreich mit Lockermaterial ausgefüllt, das heißt, zwischen den genannten Moränen und der rezenten ERL der meisten Gletscher ist ein quasi moränenfreier Raum (vgl. **Photo 21**). Dieser Abschnitt zwischen der historischen Laterofrontalmoräne und der rezenten ERL bietet die Möglichkeit, die nur mäßige Schuttproduktion der entsprechenden Flankenvereisung abzuschätzen.

Die Steilheit der orographisch rechten und linken Rolwaling Khola Flanke zwischen dem Kloster von Na und der Einmündung des Themlun Khola macht die Genese oder den Erhalt größerer oder verbreiteter Lockermaterialakkumulationen im mittleren Höhenabschnitt der Flanken nahezu unmöglich. Die rechte Talflanke oberhalb der Siedlung Beding in 3710m erreicht - auf einer horizontalen Distanz von ca. 3 km - eine Höhe von 6000m (zum Vergleich: Dies entspricht hinsichtlich der Reliefenergie dem oberen Abschnitt der Kangchenjunganordwand; vgl. **Photo 11**). Umfangreiche Schuttakkumulationen bauen sich infolge gravitativer Massenselbstbewegungen nahe der Taltiefenlinie auf (**Photo 40**) und sind nicht eindeutig von überarbeiteten Grundmoränenresten zu differenzieren, da häufig glazigenes Sediment mit eingearbeitet wird. Die Einordnung des Schotterbettes bei Beding (3710m) als direkt mit einer Eisrandlage verknüpfbare glazifluviale Schotterflur kann auf der Basis morphologischer Befunde nicht eindeutig vorgenommen werden (**Photo 51**). Es konnte kein Aufschluß dokumentiert werden, der die Verzahnung von moränischem mit glazifluviem Material belegt (vgl. KUHLE 1990:Fig.8). Dennoch kann aufgrund der räumlichen Nähe die Schotterflur von Beding in Beziehung zu den tiefsten Eispegelbefunden unterhalb des Klosters von Na und, daran anschließend, den talauswärts der belegten Engstelle im Talquerprofil zwischen Beding und Na gezeigten Moränenresten wenige Dekameter oberhalb der Taltiefenlinie, gesetzt werden. Eine ERL in diesem Talabschnitt ist somit wahrscheinlich.

Das Talquerprofil des Rolwaling Khola bei Beding, wie es halbseitig in **Photo 40** zu erkennen ist, ist gestuft trogtalförmig. Ein markanter Gefällewechsel von konkav über konvex zu konkav ist durch die 4000m Isohypse oberhalb von Beding (3710m) nach-

gezeichnet ((---)) in **Photo 29, Photo 51, Photo 52**, vgl. hinsichtlich des talauswärtigen Anschlusses **Photo 53** (....)). Die Stufe ist im Anstehenden angelegt und läßt sich talauf- und abwärts verfolgen. Der Standort für **Photo 54** liegt auf der Außenkante dieser Stufe. Die entgegen der Talflanke flacher geneigte Oberfläche der Stufe ist zu einem großen Flächenanteil mit Lockermaterial bedeckt, das sich in erster Linie in Beziehung zur vorzeitlichen Ausdehnung der Vergletscherung der sich flankenseitig oberhalb anschließenden Einzugsgebiete setzen läßt (**Photo 55, Photo 56**), das heißt, sie ist der lokalen Vergletscherung der Flanke zuzuordnen. Die aktuelle Morphodynamik in diesem Talabschnitt wirkt im wesentlichen linear erosiv - in ihrem Ausmaß eingeschränkt durch die weitreichende Fixierung der vorzeitlichen Akkumulationsformen durch den Vegetationsbesatz. Kegelförmige Akkumulationsformen schließen sich talab- und talaufwärts an die beschriebene Vollform an (vgl. **Photo 57**). Diese vergleichsweise kleinen Formen entstehen nahe der rezenten Taltiefenlinie und sind auf diese eingestellt.

Die oben beschriebene Terrassenkante entstand in Abhängigkeit einer dem Haupttalgefälle folgenden, die Flanken überprägenden Morphodynamik. Der konvexe Gefällewechsel, d.h. die Unterkante des flacheren Abschnittes der Terrasse (**Photo 54**) läßt sich mit den im Talabschnitt unterhalb des Klosters beschriebenen Moränenresten in 4200m Höhe in eine direkte genetische Beziehung setzen. Talauswärts von Dhogre (3850m, unterhalb der Terrasse) wird dieses Niveau durch die deutliche Trogform im unteren Flankenabschnitt gestützt. **Photo 58** belegt eine korrespondierende Schliiffgrenze und Reste diamiktischen Materials - vermutlich handelt es sich um Grundmoränenreste - an der orographisch linken Talflanke zwischen Dhogre (3850m) und Beding (3710m) in ca. 4050m Höhe - ebenfalls ca. 200m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie.

In Flankenabschnitten der orographisch rechten Haupttalflanke oberhalb von Beding, die nicht dem Wirkungsbereich der lokalen Vergletscherung der Flanke unterliegen, belegen Schliiffgrenzen und Dreiecksformen im Anstehenden der Flanke vorzeitliche Gletscherpegel zwischen 4400m und 4600m, die zwischen talaufwärtigen und talauswärtigen Befunden vermitteln (**Photo 40, Photo 52, Photo 54, Photo 55**, ergänzend **Photo 29** [talauftwärts], **Photo 1** [talauswärts]). Es handelt sich bei den entsprechenden Flankenabschnitten um die Verlängerung von Spornen und Graten, die die Einzugsgebiete der lokalen Vergletscherungen trennen und, resultierend aus der Orographie der glazial überprägten Seitentäler, zur Taltiefenlinie an Haupttalflankenfläche gewinnen.

Bis zur Einmündung des Themlun Khola südlich des Gaurisankar lassen sich für die orographisch linke Haupttalflanke vergleichbare Formen verfolgen - das Talquerprofil ist ebenfalls trogtalförmig. Die Flankenabschnitte unterhalb von 4200m sind abschnittsweise sehr steil und konkav gewölbt. Eine konvexe Gefälleveränderung mit kurzem

Bogenmaß vermittelt zu den höheren, flacher geneigten, wiederum konkaven Flankenabschnitten. Taleinwärts des Themlun Khola verringert sich das Gefälle der oberen Flankenabschnitte der orographisch linken Flanke des Rolwaling Khola aufgrund der geringeren Höhen des Gipfelgrates deutlich (**Photo 59**). Das Gefälle der gesamten Flanke ist gleichsinniger und nicht durch deutliche annähernd taltiefenlinienparallel orientierte Gefällewechsel gegliedert. Dem gegenüber steht die Morphologie der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke im selben Talabschnitt, d.h. zwischen der Einmündung des Themlun Khola und der Einmündung des Haupttales in das Bhote Kosi bei Chechet in 1430m. Insbesondere die Flankenabschnitte unterhalb der 4000m Isohypse (**Photo 60, Photo 1, Photo 53**) fallen steil ein - Flankenneigungen von 40° bis 50° sind im Talabschnitt zwischen dem Themlun Khola und Ghodonadi Khola häufig. Das Flankenquerprofil entspricht dem klassischer Trogtäler, wie sie aus den Alpen und Skanden bekannt sind - wobei der Abstand der orographisch linken und der rechten Flanke, d.h. die Talsohlenbreite im Mittel mit hoher Wahrscheinlichkeit geringer zu sein scheint.

Das Chhesugolchha Khola mündet zwischen Ramdin und Chhimu Golche in 3600m in das Rolwaling Khola. Den Talausgang des orographisch rechten Seitentales bildet eine tief eingeschnittene Klamm (**Photo 40**). Die Klamm schneidet sich in eine konvexe Felsstufe ein, die bis in 3800m, d.h. ca. 200m über dem Haupttalboden verfolgt werden kann. Oberhalb von 3800m ändern sich Gefälle und Wölbung des Tallängsprofils des Chhesugolchha Khola (**Photo 61, Photo 62**). Das Gefälle der Taltiefenlinie ist zwischen 3800m und 4200m im Mittel ca. 8° steil, die Wölbung ist konkav. Die Flanken des Talgefäßes bis zur 4400m Isohypse sind sehr steil - im Durchschnitt erreichen sie eine Neigung von mäßig über 40°. Das Querprofil ist als trogtalförmig zu beschreiben; der Trogschulter schließen sich flankenaufwärts flachergeneigte Abschnitte an (**Abbildung 12**).

Der Talbodenabschnitt zwischen 4000m und dem Gefällewechsel in ca. 3800m ist flächendeckend mit Lockermaterial verfüllt, das morphologisch primär als Schuttkegel in Erscheinung tritt (**Photo 61**). Große Teile des diese Schuttkörper aufbauenden Materials sind glazial aufbereitet. Dies belegen die Verteilungskurve der Korngrößen sowie Facettierungen und lehrbuchhaft ausgeprägte glazigene Kritzungen der Blöcke. Die Schuttkörper sind flächenhaft vegetationsfixiert und werden durch die rezente fluviale Morphodynamik entlang linearer Abflußbahnen zerschnitten. Die Oberfläche der größeren Schuttkörper ist durch Abfluß- bzw. Murbahnen gegliedert. Die Oberkante der zum Haupttal vermittelnden konvexen Stufe am Talausgang ist praktisch frei von Lockermaterial. Das Gefälle der Taltiefenlinie direkt taleinwärts des Klammeschnittes ist über eine Strecke von ca. 100m annähernd horizontal. Das wahrscheinlich übertiefte Talgefäß dient hier als Materialfalle. Unterhalb der Klamm bilden sich keine großen

Schuttkegel - die fluviale Dynamik wirkt erosiv. Eine Moränenrampe, vergleichbar der unterhalb des Pherni Nordostgletschers, unterhalb des Talausganges des Chhesugolchha Khola im Rolwaling Khola kann nicht beschrieben werden.

Tallängs- und Talquerprofil des Chhesugolchha Khola werden als glazial überprägt interpretiert. Eisrandlagen im unteren Tal Drittel (insbesondere zwischen 4200m und 3800m) dieses Seitentales lassen sich auf der Basis der morphologischen Befunde nicht beschreiben. Die trichterförmige Morphologie des Talgefäßes muß hinsichtlich der Rekonstruktion vorzeitlicher Gletscherausdehnungen besonders berücksichtigt werden. Das Chhesugolchha Khola ist morphologisch als einem Kar ähnlich zu beschreiben, es ist gegenüber seinen tributären Tälern deutlich übertieft.

Insbesondere die Flankenschliffe und Unterschneidungen am Talausgang des Chhesugolchha Khola in 4300m (orographisch links) und 4400m (orographisch rechts) vermitteln zu Befunden in ähnlicher Höhe im Rolwaling Khola (**Photo 40, Abbildung 12, Abbildung 13**) und belegen einen Eispegel eines Chhesugolchha Khola Gletschers, der bis in mindestens dieses Niveau gereicht haben muß. Das Ausmaß der lokalen Vergletscherung dieses Rolwaling Khola Seitentales muß insbesondere hinsichtlich der potentiellen Bildung von glazigenen Akkumulationsformen am Eisrand in Beziehung zum Ausmaß der Vergletscherung des Haupttales gesetzt werden.

Photo 63 zeigt einen Ausschnitt der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke ca. 100m östlich, d.h. talaufwärts der Einmündung des Themlun Khola in das Rolwaling Khola südlich des Gaurisankar (**Photo 64**). An beiden Talseiten finden sich Sedimente mit morärentypischer Korngrößenverteilung bis ca. 100m bis 150m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie. Diese Grundmoränen sind in Beziehung zu den mit Hilfe der in **Photo 60** und **Photo 27** dokumentierten Befunden zu setzen (**Abbildung 14**). Die dichte Waldvegetation macht die morphologische Analyse schwierig. Dennoch sind die Höhe des Standortes für **Photo 63**, der auf einer anstehenden Felsterrasse liegt, und die schwache morphologische Kante, mit der sich die im Bild gezeigte Lockermaterialakkumulation von der Talflanke abgrenzen läßt, zu einem gemeinsamen Niveau ca. 100m bis 150m oberhalb der Taltiefenlinie in ca. 3250m zu vermitteln.

Der rezente Abfluß in dem schmalen und steilen orographisch linken Seitental (**Photo 27**) schließt moränisches Material bis in mindestens 3600m Flankenhöhe auf. Das glazial sedimentierte Ausgangsmaterial wird hier auf einer Höhe von mindestens 450m aufgeschlossen. Zwischen 3600m und 3500m findet sich moränisches Material außerhalb der Tiefenlinie bzw. der direkten Falllinie aufgeschlossen; dies ist als Hinweis auf die nachträglich nicht oder nur mäßig überprägte glaziale Ablagerung des Sedimentes an diesem Punkt zu werten. Das heutige Einzugsgebiet dieses rezent nicht vergletscherten Seitentales erreicht eine maximale Höhe von 4624m. Dies ist hinsichtlich der Genese des moränischen Materials von Bedeutung (s.u. die

Ausführungen zur Daldun Dada bzw. zum Daldun La, **Photo 65**). Für die im gleichen Talabschnitt nahe der Taltiefenlinie beschriebenen moränischen Lockermaterialakkumulationen ist eine direkte genetische Beziehung zu einer lokalen Vergletscherung des Gaurisankar als höchstem Gipfel des entsprechenden Einzugsgebietes aufgrund der bisherigen Befunde nicht auszuschließen (**Photo 63**). Für das in Rede stehende orographisch linke Seitental ist dieser Einfluß ca. 450m oberhalb der Taltiefenlinie unwahrscheinlich. Die ca. bis 3600m belegten Moränenreste können somit in zwei potentielle genetische Zusammenhänge gestellt werden. Neben einer lokalen Vergletscherung des im Mittel 4750m hohen lokalen Einzugsgebietes (der höchste an dieses Einzugsgebiet angeschlossene Gipfel ist 5098m hoch) des schmalen namenlosen Tales ist eine Eisverfüllung des Rolwaling Khola in Betracht zu ziehen. Dies würde einen Eispegel an der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke in mindestens 3600m belegen. Der erste Fall würde, deduktiv ermittelt, eine Lage der Schneegrenze in ca. 4200m erfordern. Dies entspräche einer Absenkung der Schneegrenze gegenüber dem rezenten Wert von mindestens 1100m auf der Basis der Annahme, daß es sich bei der unterhalb von 3600m aufgeschlossenen Moräne um verstürztes, d.h. sekundär transportiertes glazigenes Material oder um eine podestmorärentypisch sedimentierte Grundmoräne handelt.

Etwa 1 km talauswärts der Einmündung des Themlun Khola schließen sich Schotterfluren mit der Fraktionsgröße bis Grobkies an. Diese können in Beziehung zu der in **Photo 63** dokumentierten Terrasse gesetzt werden. Wird dieser Abschnitt als potentielle Eisrandlage der Haupttalvergletscherung verstanden, dann ist die Beziehung des Haupttalgletschers zur Vergletscherung des Themlun Khola, d.h. der Gaurisankar Südflanke zu klären (s.u. **Kapitel 2.1.2.7**). Ein weiterer Aufschluß (**Photo 66**) belegt neben glazigenem Material eine vorzeitliche (glazi-)fluviale, akkumulierende Morphodynamik in diesem Talabschnitt.

Die Daldun Dada Kette, wie die orographisch linke Rolwaling Khola Flanke in diesem Talabschnitt bezeichnet wird, erreicht eine maximale Höhe von 4624m (**Photo 65**). Das Flankenprofil ist im oberen Drittel deutlich flacher, das Rolwaling Khola Talgefäß weitet sich westlich des Gaurisankar (**Karte 1**). Untersucht werden konnten die Flankenabschnitte nahe des Daldun La, d.h. ein Niveau bis in ca. 4100m Höhe, ca. 1000m bis 1100m über der Taltiefenlinie des Rolwaling Khola in diesem Talabschnitt. Grundmoränenreste finden sich über eine flächige flankenparallele räumliche Ausdehnung von ca. 3 bis 4 km und sind nicht an einzelne lokale Einzugsgebietsnischen gebunden (**Photo 65**). Morphologisch eindeutige Indizien, die Hinweise auf eine lokale Vergletscherung geben, fanden sich im Abschnitt unterhalb von Gipfeln mit Höhen kleiner 4500m nicht. Talaufwärts schließen sich Flankenabschnitte mit Gipfelhöhen zwischen 4600m und 5100m an. Unterhalb dieser

rezent unvergletscherten Gipfel geben karähnliche Formen Hinweise auf eine vorzeitliche lokale Vergletscherung. Diese sind mit den oben (insbesondere zu **Photo 27**) beschriebenen Befunden in Beziehung zu setzen und belegen eine Schneegrenzabsenkung auf mindestens 4900m.

Photo 53 zeigt die orographisch rechte Rolwaling Khola Flanke zwischen dem Themlung Khola und dem Ghodonadi Khola. Die Flanke ist bis auf ein Niveau zwischen 4200m talauf- und 4000m talauswärts in horizontaler Richtung überschliffen. Der Flankenabschnitt - dieser Teil liegt der Daldun Dada Kette gegenüber - in der Bildmitte kann als vollständig glazial überprägt interpretiert werden. Talaufwärts belegt ein markanter, quasi tal-tiefenlinienparallel verlaufender Gefällewechsel ein nachweisbares Niveau glazialer Überformung der Flanke in ca. 4000m. Die Zurundung der Oberfläche ist nicht lithologisch begründbar und ist nicht vertikal zur Tal-tiefenlinie orientiert. Die rezente Morphodynamik ist geprägt durch kleinräumige Nachbrüche, die aus einer genetischen Beziehung zur Versteilung der Flanke durch einen glazialen Prozeß verständlich werden und prozessual entsprechend dem Flankengefälle folgend orientiert sind. Der in **Photo 1** dokumentierte Flankenabschnitt schließt sich unmittelbar talauswärts an die Einmündung des Ghodonadi Khola an und vermittelt zum Talausgang des Rolwaling Khola. Die gekennzeichneten Schlifffgrenzen stützen die Annahme eines Eispegels in mindestens 4000m in diesem Talabschnitt. Der Talboden unterhalb der Flanke verläuft zwischen 1600m und 2000m. Eine in Betracht zu ziehende lokale Vergletscherung ist hinsichtlich der Genese dieser Formen auszuschließen, so daß die Befunde hier die Annahme einer Eismächtigkeit von mindestens 2000m stützen.

Die Aufnahmen **Photo 67** und **Photo 68** verdeutlichen die Steilheit insbesondere der rechten Rolwaling Talflanke nahe des Talausganges und zeigen, ergänzend zu **Photo 1**, den unteren Flankenabschnitt aus günstigerer Perspektive. Das untere Drittel der Flanke ist gegenüber dem oberen Flankenabschnitt nochmals deutlich versteilt und annähernd kastenförmig eingeschnitten.

Photo 50 zeigt den Talausgang des Rolwaling Khola, d.h. die Einmündung ins Bhote Kosi. Der Rolwaling Fluß schneidet hier auf einer Länge von ca. 100m eine bis 70m tiefe Klamm ein, die mit Hilfe von **Photo 3** dokumentiert ist. Der Talboden der Klamm am Talausgang des Rolwaling Khola liegt in ca. 1400m Höhe. Der Verlauf der Klamm folgt u. U. einer lithologisch oder tektonisch angelegten Schwächezone - eine markante, die Klamm-einschneidung bedingende lithologische Struktur ist in diesem Talabschnitt nicht zu erkennen. **Photo 50** zeigt die Obergrenze des Geländeausschnittes, der morphologisch in direkte Beziehung zur oben beschriebenen Klamm zu setzen ist. Obschon die deutliche Kastenform, die als kennzeichnend für Klammern zu gelten hat, dem steilen Einschnitt des Rolwaling Flusses in diesem Talabschnitt fehlt, ist die

beidseitige deutliche Versteilung des Talquerprofils unterhalb der 1750m Isohypse deutlich zu erkennen. Der in dieser Weise übersteilte Talabschnitt erstreckt sich über eine Gesamtlänge von ca. 3 km. Der Talausgang des Rolwaling Khola hängt in diesem Niveau deutlich über dem Bhote Kosi, dessen Tiefenlinie hier in ca. 1400m Höhe verläuft.

2.1.2.7 Zusammenfassung der bisher dargestellten Befunde über das Rolwaling Khola

Der weitaus größte Teil der rezenten Gletscher des Arbeitsgebietes Rolwaling Himal ist dem Talabschnitt östlich des Klosters von Na zuzuordnen. Die klimatische Schneegrenze liegt in ca. 5340m Höhe (**Tabelle 2**).

Die **Karte 1** gibt eine Übersicht über die geomorphologischen Befunde. Die zeitliche Einordnung orientiert sich an den berechneten Schneegrenzabsenkungen (**Tabelle 2, Kapitel 3.1.1**) und lehnt sich an die von KUHLE (1999: Table 1) publizierte Tabelle an, die auch in der von MEINERS (1999) vorgelegten Arbeit Berücksichtigung findet. Die vorliegenden Befunde sind vier Hauptklassen zuzuordnen - eine weitere Differenzierung erscheint dem Autor auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse nicht sinnvoll. Die vier Klassen sind: 1. Würm zeitlich (LGM), 2. spätglazial, 3. neoglazial und 4. historisch.

Die historischen ERL wurden bereits im obigen Text als solche beschrieben. Sie finden sich in der Regel im direkten Vorfeld der rezenten Gletscher.

Im oberen Rolwaling Khola weisen sowohl Akkumulations- als auch Erosionsformen auf eine vorzeitliche Gletscherausdehnung über den Schnittpunkt der 4000m Isohypse mit der Tal-tiefenlinie hinaus hin. Neben hohen Flankenschliffen, also reinen Erosionsformen, finden sich insbesondere zwischen den rezenten Enden der beiden Rolwaling Gletscher und dem Kloster von Na Akkumulationsformen und Sedimente, die zu einer potentiellen Eisrandlage talaufwärts von Beding und talauswärts der Engstelle im Talquerprofil zwischen Na und Beding in ca. 3800m vermitteln. Die Schliffgrenze, wie sie in **Photo 44** gekennzeichnet ist, ist in direkter Lagebeziehung zu diesen Befunden zu sehen.

Der entsprechende Gletscher endete zwischen 3800m und 3900m, gemessen am rezenten Talprofil. Talauswärts dieser Lokalität lassen sich im Rolwaling Khola keine zwingenden Belege, wie etwa die Verzahnung von Moräne und glazifluvialen Vorschüttsanden, für eine Eisrandlage eines Rolwaling Khola Gletschers finden. Die Befunde am Talausgang des Themlun Khola sind in dieser Hinsicht nicht zwingend, können jedoch durch weitere Indikatoren gestützt werden.

Setzt man die Befunde für den Talausgang des Chhesugolchha Khola zusammen, ergibt sich folgendes Bild: Die mittlere Einzugsgebietshöhe des Tales liegt ca. 300m bis 400m tiefer als die des Talschlusses des Rolwaling Khola. Die Eisrandlage im Chhesugolchha Khola oberhalb von 3800m, d.h. talaufwärts der Schwelle zum Haupttal, belegt eine Schneegrenzabsenkung der lokalen Vergletscherung von ca. 600m gegenüber der rezenten Schneegrenze. Die oben beschriebene Schwelle, verstanden als glazigene Über-tiefung des Haupttales durch einen entsprechend hinabreichenden Haupttalgletscher, belegt, daß der Nebentalgletscher bei gleicher Schneegrenzabsenkung die Haupttal-tiefenlinie nicht vor dem Haupttalgletscher erreicht. Deutlicher: Wenn der Chhesugolchha Gletscher über die Schwelle am Talausgang hinausreicht, liegt hier bereits mit hoher Wahrscheinlichkeit der Haupttalgletscher und verschiebt die Erosions-basis. Der Nebentalgletscher schiebe sich auf das Haupttaleis auf (vgl. KUHLE 1987). Belegt ist, daß Schneegrenzabsenkungen, die für den Chhesugolchha Gletscher ca. 600m überschreiten, mit Schneegrenzabsenkungen für das Haupttal-einzugsgebiet zu korrelieren sind, die eine ERL des Haupttal-gletschers talauswärts der Einmündung des Chhesugolchha Khola ermöglichen. Die steilwandige Schüsselform des Chhesugolchha Khola erschwert die Berechnung der Schneegrenze, so daß die entsprechenden Werte nicht exakter zu fassen sind.

Das sich haupttal-talauswärts anschließende Them-lun Khola mündet in 3150m in das Rolwaling Khola. Eine mit den Befunden am Talausgang des Chhesugolchha Khola ver-gleichbare Gletscherbeziehung zwischen Haupt- und Nebentalgletscher ist aufgrund der empirischen Befunde nicht herzustellen, jedoch deduktiv über das Maß der Schneegrenz-absenkung in ähnlicher Weise wie bereits für Chhesugolchha Khola ableitbar, da die mittlere Einzugsgebietshöhe des Them-lun Khola annähernd der des Haupttal-gletschers entspricht.

Der höchste Gipfel des Arbeitsgebietes, der Gaurisankar, steht nicht im Talschluß des Haupttales, sondern 7km nördlich der Tal-tiefenlinie auf ca. halber Rolwaling Khola Tal-länge und bildet den Talschluß des Them-lun Khola. Der extreme Unterschied der dem Haupt- und dem Nebentalgletscher zugrunde liegenden Reliefenergie muß Einfluß auf die Lagebeziehung der beiden Gletscher haben.

Die enge Beziehung der Ausdehnung der vorzeitlichen Gletscher des Them-lun Khola, des Chhesugolchha Khola und des Rolwaling Khola ist hervorzuheben. Morphologisch oder sedimentologisch belegte Eisrandlagen der erstgenannten zwei Tal-ver-gletscherungen sind gebunden an Schneegrenzabsenkungen, die die Konfluenz der Gletscher mit dem Haupttal-gletscher ausschließen. Das heißt, sie sind an Eisrandlagen gebunden, die oberhalb von 3700m (Ramdin) und 3200m (Talausgang des Them-lun Khola) in den zum Rolwaling Khola tributären Tälern liegen.

Die Gipfel der Südflanke des Rolwaling Khola in diesem Talabschnitt erreichen keine Höhen über 5600m. Mit sinkender Einzugsgebietshöhe ist für einen längeren Zeitraum

mit dem konfluenzlosen Agieren der Nebentalgletscher und des Haupttalgletschers zu rechnen. Die lokale Vergletscherung einzelner Gipfel oberhalb des Daldun La (3915m) belegt dies.

Die Sedimente, die für den Abschnitt im Bereich am Talausgang des Themlun Khola in 3200m kartiert werden konnten, werden hinsichtlich ihrer Genese als Produkt der Kombination mehrerer Prozesse und Einzugsgebiete verständlich und sind unter Berücksichtigung der talaufwärtigen Befunde im Sinne einer Eisrandlage des Haupttalgletschers zu interpretieren. Das Gletscherende lag wahrscheinlich in ca. 3000m, ca. 300m talauswärts der Konfluenz von Themlun und Rolwaling Khola.

Die photographisch dokumentierten morphologischen und sedimentologischen Indizien belegen für den Talabschnitt zwischen dem Chhesugolchha Khola und dem Talausgang des Rolwaling Khola einen talauswärts einfallenden Eispegel zwischen 4400m und 4000m. Diese Befunde korrelieren gut mit den Flankenschliffen und Grundmoränenresten im oberen Rolwaling Khola.

Teile der orographisch linken Flanke im Bereich des Daldun La (3976m) konnten näher untersucht werden. Die Befunde aus diesem Abschnitt zeigen, daß neben einer parallel zur Taltiefenlinie verlaufenden Obergrenze der Flankenüberprägung in ca. 4000m Höhe eine vorzeitliche lokale Vergletscherung von Gipfeln zwischen 4565m und 4624m wahrscheinlich ist. Mit Hilfe morphologischer Befunde eindeutig in Beziehung zu setzende Hinweise auf zugehörige Eisrandlagen unterhalb dieser Gipfel konnten nicht belegt werden, so daß die potentielle zugehörige Schneegrenze in dem Bereich zwischen 4300m und 4400m vermutet wird. Von Bedeutung ist in diesem räumlichen Zusammenhang der Umstand, daß in diesem Talabschnitt neben den hohen Gletscherpegelbefunden für das Haupttal in ca. 4000m Höhe mit einer lokalen Vergletscherung der sich rückseitig anschließenden Kette zu rechnen ist. Talaufwärts dieser Lokalität sind, sowohl orographisch rechts als auch links, die lokalen Einzugsgebiete der Haupttalflanken zu hoch, um bei vergleichbaren Schneegrenzabsenkungen lokale, d.h. vom Haupttalgletscher unabhängige Vergletscherungen zu bilden.

Es sind vor allem Schliffe und Erosionsformen, die neben vereinzelt Grundmoränenresten auf einen LGM Eispegel im Rolwaling Khola schließen lassen. Diese Eisoberfläche hat im Bereich des Talschlusses in mindestens 5900m Höhe gelegen und fiel bis zum Talausgang des Rolwaling Khola auf ca. 4000m ab. Das kontinuierliche Gefälle der Eisoberfläche wird dabei stark durch die Länge der Nordflanke, die bis ca. 4km östlich des Talausganges dem Einzugsgebiet dieses Gletschers zuzuordnen ist, beeinflußt. Bemerkenswert ist, daß der Gletscher am Talausgang nicht deutlich weniger mächtig war als im mittleren Talabschnitt (**Abbildung 11**, s.u. **Kapitel 2.1.3**).

Für die Berechnung der Schneegrenze von Eisrandlagen des Rolwaling Gletschers, die über den Talausgang des Rolwaling Khola hinausgehen, gilt es, die Befunde aus dem Bhote Kosi mit einzubeziehen. Sie erfolgt daher im Ergebnisteil des **Kapitels 2.1**.

2.1.2.8 Das Bhote Kosi zwischen Lamobagar und Singali Bazar

Das Bhote Kosi, ein Hauptdurchbruchstal des Hohen Himalaya, konnte im Abschnitt zwischen der Siedlung Lamobagar (1985m, **Photo 69**) im Norden und Singali Bazar (920m, **Photo 70**) im Süden untersucht werden, d.h. auf einer Länge von ca. 22km (**Abbildung 15, Karte 1**).

Lamobagar liegt ca. 4,5 km nördlich der Einmündung des Rolwaling Khola in das Bhote Kosi. Die Siedlung ist auf einer Fläche angelegt, die genetisch an eine Wallform geknüpft ist, die das Bhote Kosi abriegelt und sich talauswärts durch einen deutlichen Gefälleknick vom Haupttalgefälle absetzt. **Photo 71** zeigt den Außenhang dieser Form. Der abriegelnde Lockermaterialwall setzt sich im wesentlichen aus den Fraktionen Grobsand bis Groblock zusammen. Eine für Moränen typische Einbettung großer u.a. kantengerundeter Blöcke in eine Feinmaterialmatrix fehlt dem Material völlig. Der Tonanteil des "Feinbodens" liegt unter 1 Prozent. Den weitaus größten Volumenanteil bilden nicht kantengerundete, nicht facettierte Blöcke mit einer Kantenlänge zwischen 1m und 3m (**Photo 72**). Vereinzelt finden sich Blöcke mit Längskanten von über 15m. Eine regelhafte Struktur oder eine signifikante Einregelung der Blocklängsachsen läßt sich nicht feststellen. Die Materiallagerung ist chaotisch, die lithographischen Eigenschaften entsprechen denen der orographisch rechts anstehenden Flanke. Das Oberflächengefälle der Form macht eine genetische Beziehung zu einem orographisch rechten Seitental des Bhote Kosi wahrscheinlich (**Photo 71**, die Form fällt im Bild von links nach rechts leicht ein). Der rezente Abfluß des Bhote Kosi diffundiert durch den Blockwall. Die Abriegelung des Haupttales durch den Wall hat talaufwärts der Form zur Bildung einer Lockermaterialfalle geführt, so daß oberhalb der Form eine fluviatile Ausgleichsfläche anschließt. Hier finden sich oberflächlich weitgehend die Fraktionen Sand bis Grobkies, in Stillwasserbereichen sedimentierten Ton und Schluff. Das Feinmaterial ist fluvial kantengerundet und sedimentiert in einem Areal, das ca. 1 km lang und 500m breit ist (**Photo 69**). Diese Fläche liegt bis maximal 20 Höhenmeter unterhalb der mittleren Firsthöhe an und wird - wie Terrassenreste belegen - sukzessive mit der Einschneidung des Flusses in den das Tal abriegelnden Schuttwall zerschnitten. Die Terrassenaufschlüsse zeigen die deutliche Sortierung des Schottermaterials in Abhängigkeit von der Korngröße.

Talauswärts unterhalb des Walles finden sich keine nennenswerten fluviolen Lockermaterialakkumulationen. Der Außenhang ist nicht mit fluvialem bzw. glazifluvialem Material verzahnt. Der Abfluß des Bhote Kosi unmittelbar unterhalb der Form schneidet sich in das Anstehende ein.

Die beschriebene Großform ist morphogenetisch als Bergsturzhalde zu verstehen und nicht mit glazigenen Formen zu verwechseln. Das Abbruchgebiet des Bergsturzes liegt an der orographisch rechten Bhote Kosi Flanke direkt oberhalb der Form.

Mit Hilfe von **Photo 71** lassen sich Schliftgrenzen an der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke im Talabschnitt zwischen Lamobagar und der Einmündung des Rolwaling Khola in das Bhote Kosi belegen (vgl. **Abbildung 16**). Diese morphologischen Grenzen befinden sich zwischen 3200m und maximal 4200m und verlaufen annähernd parallel zur Haupttaltiefenlinie, d.h., sie sind nicht einer lokalen Vergletscherung der oberhalb von Lamobagar bis ca. 5000m hohen Kette zuzuordnen. In einem Niveau zwischen 4600m und 5000m machen karähnliche Vertiefungen eine vorzeitliche lokale Vergletscherung der Kette wahrscheinlich und stützen hier Annahmen der Absenkung der Schneegrenze auf ein Niveau im Bereich der Karschwellen in ca. 4900m. Die detaillierte auf Geländebegehungen gegründete Untersuchung der entsprechenden Gebiete steht noch aus. Neben den in **Photo 71** markierten Schliftgrenzen dokumentieren Dreiecksflächen im Anstehenden die glaziale Überprägung des Talquerprofils und die dem Haupttalgefälle folgende Orientierung des formungswirksamen Prozesses. Eindeutige glazigene oder glazifluviale Sedimente, die eine quasihorizontale Eisbewegung induzieren, konnten oberhalb von 4000m nicht gefunden werden. Für diesen Raum gilt es, die Einflußsphären von Haupttal- und lokaler Vergletscherung in Beziehung zu setzen.

Photo 2 belegt glaziale und glazifluviale Akkumulate in 3800m, d.h. ca. 2000m bis 2200m oberhalb der Taltiefenlinie in diesem Talabschnitt (s.o. die Eispegelbefunde am Talausgang des Rolwaling Khola, **Photo 1**, **Photo 73**). Das sich oberhalb dieser Akkumulationsreste anschließende Einzugsgebiet erreicht Gipfelhöhen bis maximal 4343m. Eine genetische Beziehung zwischen den Formen und dem sich rückseitig anschließenden (Wasser-) Einzugsgebiet ist nicht mit Hilfe weiterer Indizien zu stützen. Die Akkumulationsformen sind mit höherer Wahrscheinlichkeit genetisch mit den genannten horizontalen glazigenen Schliffen in Beziehung zu setzen und als Indikator für eine Eisverfüllung des Haupttales von Norden her zu werten.

Die orographisch linke Bhote Kosi Flanke nahe der Siedlung Lamobagar ist bis in ein Niveau von 4000m glazial überprägt - zugerundete, überschliffene und versteilte Flankenabschnitte belegen dies (**Photo 69**). Diese Schliffe und Schliftgrenzen vermitteln zu Befunden am orographisch rechten Talausgang des Rolwaling Khola (**Photo 74**, **Photo 1**). Hervorzuheben ist, daß eine die Formen mitbestimmende Petrovarianz besteht. Art und Umfang der glazialen Überprägung sind nicht zuletzt gesteinsabhängig, aber besonders in diesem Talabschnitt verdeutlicht die unterschiedliche Exposition der Flanken zur Gesteinslagerung, daß die Petrovarianz hinsichtlich der Gestalt der Flanken höchstens zweitrangig ist.

In exponierter Position nahe der Siedlung Simigaon am Talausgang des Rolwaling Khola in ca. 2000m (**Photo 74**), d.h. ca. 600m oberhalb der Taltiefenlinie des Bhote Kosi, finden sich morphologisch unspezifische, diamiktische Lockermaterialakkumulationen, die einem rezent in diesem Talabschnitt wirksamen Prozeß nicht zugeordnet werden können. Neben großen Blöcken finden sich in Kammlage, d.h. außerhalb des möglichen Einflußbereiches der eisunabhängigen fluvialen Morphodynamik, Schotterpaketreste. Diese Sedimente können in Kombination mit den bereits beschriebenen und noch zu beschreibenden Befunden als glazial bzw. glazifluvial interpretiert werden. Drei potentielle Einzugsbereiche gilt es hinsichtlich einer Eisbedeckung dieses Raumes zu berücksichtigen: 1. Das "hinter" Simigaon liegende Seitental, dessen mit 4308m höchster Gipfel den westlichen Eckpfeiler der Daldun Dada (s.o. zur lokalen Vergletscherung der Daldun Dada) bildet, 2. das Rolwaling Khola. Simigaon liegt im talauswärtigen Bereich eines aus dem Rolwaling Khola in das Bhote Kosi einbiegenden Gletschers. 3. Das dritte potentielle Einzugsgebiet für die Eisbedeckung ist das Bhote Kosi.

Die mittlere Einzugsgebietshöhe des sich rückseitig an Simigaon anschließenden Seitentales des Bhote Kosi erscheint in bezug zur Höhe und exponierten Lage der Sedimente (in ca. 2000m) als zu niedrig. Mit höherer Wahrscheinlichkeit ist eine Kombination der Vergletscherung des Rolwaling Khola und des Bhote Kosi als ursächlich für die Akkumulation des glazialen bzw. glazifluvialen Materials (im Sinne von Kames) anzunehmen.

Zwischen der Einmündung des Rolwaling Khola in das Bhote Kosi und der Siedlung Singali Bazar liegen ca. 18 km Talstrecke. Das Längsprofil fällt in diesem Talabschnitt relativ gleichmäßig von 1450m auf 950m ab (**Abbildung 15**). Die das Bhote Kosi in diesem Talabschnitt einfassenden Flanken erreichen beidseitig keine Höhen über 4500m. Die Talquerprofile (**Abbildung 17**) zeigen die deutliche Veränderung der Talform gegenüber den **Abbildungen 16** und **Abbildung 18**. Zu berücksichtigen ist eine Talasymmetrie in Abhängigkeit von der Lagerung der anstehenden metamorphen Sedimentgesteine.

Photo 75 zeigt die orographisch rechte Bhote Kosi Flanke zwischen Lamobagar und Gongar (1580m) aus ca. 1750m, unterhalb der Siedlung Simigaon (2000m) stehend. Die in den Wolken liegenden Gipfel dieses Flankenabschnittes erreichen Höhen zwischen 3800m und 4500m (im mittleren Photoabschnitt). Die Taltiefenlinie liegt zwischen 1400m und 1300m. Die morphologische Gliederung der Flanke in Niveaus verschiedener Steilheit und die aufgeschlossenen Lockermaterialakkumulationen ergänzen die oben beschriebenen Befunde. Deutlich sind großflächige

Feinmaterialakkumulationen vom rezent verwitternden Anstehenden und den morphologischen Indikatoren einer Bergsturzhalde ((◆) in **Photo 75**) in der Bildmitte zu unterscheiden. Die rezente Morphodynamik, wirkt im wesentlichen reliefausgleichend (vgl. KIENHOLZ 1986: Table 3: Den "geomorphic key process" dieser Höhenstufe erkennt KIENHOLZ in der "stream erosion" und schätzt das "Risk of Instability" [der Flanke] als gering ein). Dieser Flankenabschnitt zeigt deutlich, daß der aktuelle morphologisch wirksame fluviale Prozeß das Gefälle der Flanke nicht versteilt. Die weiträumigen Flankennachbrüche, rezent nicht von der Unterschneidung des Bhote Kosi tangierte Bereiche, können als Indiz für einen nichtfluvialen vorzeitlichen Prozeß gewertet werden. Die flankenseitig obere Begrenzung der entsprechenden morphologischen Indikatoren liegt im rechten Teil der Aufnahme (**Photo 75**) oberhalb der Wolkenunterkante, d.h. oberhalb von ca. 3800m. Diese Grenze fällt talauswärts leicht ein. Gleiches gilt für das am unteren Bildrand erkennbare Niveau (••••), das ca. 300m über der Taltiefenlinie liegt (**Abbildung 18**). Diese Befunde vermitteln zwischen den beschriebenen Schliffgrenzen oberhalb von Lamobagar und den unten ausgeführten Erläuterungen zu Schliffgrenzen und Flankengefällewechselln zwischen Salle und Singali Bazar.

Sowohl nördlich als auch südlich der Ortschaft Jagat (1314m) finden sich auf der orographisch linken Haupttalflanke ca. 50m oberhalb der Taltiefenlinie Aufschlüsse diamiktitischen Lockermaterials. Große kantengerundete und facettierte Blöcke liegen neben kantengebrochenen Blöcken in einer tonigen Feinmaterialmatrix eingebettet. Das Ausgangsgestein steht weder orographisch rechts noch links oberhalb, d.h. einer direkten Gefällelinie folgend, an den Flanken an. Das Material weist keine Sortierung nach Korngröße oder Ausgangsgestein auf. Beide Aufschlüsse (**Photo 76**) sind flankenseitig jeweils durch einen großen Block vor der Linearerosion geschützt und liegen außerhalb des rezenten Wirkungsraumes des Bhote Kosi Flusses. Die Blöcke erreichen Kantenlängen von über 3m. Eine Verzahnung der Aufschlüsse mit glazifluvial sedimentiertem Material ist nicht festzustellen. Die Aufschlußansprache im Gelände legt eine glaziale Genese des Sedimentgesteins nahe, wohingegen die Ergebnisse der Korngrößenanalysen des Feinbodens nicht eindeutig zu interpretieren sind (**Abbildung 20, vgl. Abbildung 19**). Nicht auszuschließen ist die Ablagerung des Materials in dieser Position als Folge eines katastrophalen Flutereignisses, das hinsichtlich der potentiellen Transportenergie in der Lage wäre, Blöcke mit einer mittleren Kantenlänge von über 1m zu transportieren (vgl. MEINERS 1999 und ZIMMERMANN et al 1986 gegenüber XU DAOMING 1988: Während ZIMMERMANN et al. zeigen können, daß der schnelle Abfluß [runoff] eines moränengedämmten Sees im Khumbu Himal deutlich hinter aus den monsunalen Niederschlägen resultierenden Spitzenabflüssen zurückbleibt, stellt XU DAOMING einen Gletscherseeausbruch in einem Seitental des Bhote Kosi nördlich von Barabishe vor und verweist auf ein enormes

Transportpotential derartiger Fluten. Vgl. VUICHARD u. ZIMMERMANN 1986, FERNLUND 1994, PAUL et al., 2000 CENDRELLI u. WOHL 2001). Beide Aufschlüsse liegen ca. 20m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie. Vergleichbares Material findet sich flankenaufwärts in geschützten Positionen. Die obere Begrenzung der Verbreitung des Materials konnte nicht exakt festgestellt werden. Kantengerundete Blöcke nahe der Taltiefenlinie können als freigelegte Komponenten des gleichen Ausgangsmaterials verstanden werden - die feineren Komponenten sind in Abhängigkeit von der Erosionsleistung des rezenten bzw. des nachhochglazial stärkeren Abflusses ausgewaschen (vgl. **Photo 77**). In einem Vorgriff muß davon ausgegangen werden, daß insbesondere das Material, das den Aufschluß bei Jagat bildet, nicht älter als das letzte Hochglazial (LGM) ist - dies gilt sowohl hinsichtlich der Interpretation des Sediments als glazigen als auch dann, wenn das Material als Folge eines "Flutereignisses" verstanden wird (vgl. KUHLE 2002).

Etwa 40m oberhalb der Tiefenlinie zwischen Jagat und Simigaon in 1230m Höhe belegen Spülformen an einer anstehenden Felsnase eine quasihorizontale, d.h. taltiefenlinienparallele Wasserbewegung (**Photo 78**). Die Felsnase ragt seitlich aus einem bis 200m hohen und 400m langen gestreckten Rücken, der sich deutlich von der anschließenden Flanke abgrenzen läßt. Dieser Rücken ist großflächig mit Lockermaterial bedeckt, das dem der Aufschlüsse von Jagat und nördlich von Simigaon ähnelt, und wird abschnittsweise zur Tiefenlinie hin durch steile Festgesteinflanken begrenzt. Neben den freigelegten bzw. vorspringenden anstehenden Flankenpartien finden sich auch Blöcke mit Kantenlängen größer 3m (**Photo 79**) in einer lockeren Feinmaterialmatrix eingebettet.

Etwa 1km nördlich des Talausgangs des Khare Khola, nahe der Siedlung Simigaon (1000m), liefert mit dem Aufschluß bei Jagat vergleichbares Material ein weiteres Indiz (**Photo 80, Photo 81, Photo 70**) für die Vergletscherungsgeschichte des Bhote Kosi. Dieser Aufschluß ist hinsichtlich der Korngrößen- und Materialzusammensetzung den Aufschlüssen bei Jagat sehr ähnlich (**Abbildung 21**). Zwischen den Aufschlüssen liegen ca. 6 km Talweg mit einem Gesamtgefälle von ca. 300m. Da der Aufschluß sich ca. 1 km talaufwärts der Einmündung des Khare Khola in das Bhote Kosi befindet, ist eine direkte genetische Beziehung zu diesem großen Seitental als unwahrscheinlich zu erachten. Nicht alle im Aufschluß zu findenden Gesteine stehen oberhalb an der Bhote Kosi Flanke, d.h. im direkten flankenseitigen Einzugsgebiet des Sedimentes, an. Werden die Aufschlüsse von Jagat und Suri Dhoban in einen genetischen Zusammenhang gestellt, entkräftet dies die Interpretation der Genese des aufgeschlossenen Lockergesteins als einem katastrophal-fluvialen Ereignis zugehörig.

Das mit Hilfe von **Photo 77** belegte Talquerprofil zeigt markante Gefälleveränderungen insbesondere der orographisch rechten Bhote Kosi Flanke ca. 200m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie (vgl. **Photo 70**). Orographisch links, oberhalb des Talausganges des Khare Khola, sind mehrere Dekameter mächtige Lockermaterialakkumulationen in exponierter Lage sedimentiert. Den Akkumulationsformen fehlt abschnittsweise ein potentiell flankenseitiges Lockermaterialeinzugsgebiet. Das Gefälle der bisweilen nur mäßig einfallenden Oberfläche der Akkumulationsformen ist nicht auf die rezente Taltiefenlinie eingestellt. Die rezente fluviale Morphodynamik zerschneidet die Terrassenresten nicht unähnlichen Formen, das heißt, aktuell entstehen tiefe Erosionsrinnen und, korrespondierend dazu, Schuttkörper nahe der Taltiefenlinie (vgl. UHLIR u. SCHRAMM 1999). Die zunehmende Entwaldung muß als Auslöser für diese Rinnenbildung verstanden werden. Dies ist insofern wichtig, als die Formungswirksamkeit der sehr hohen Niederschläge (2000 bis 4000mm/a) der Himalayasüdbachung durch die schnelle Vegetationsfixierung von frischen Lockermaterialakkumulationen eingeschränkt wird (vgl. MIEHE 1982). Die Schuttkörper in diesem Talabschnitt unterscheiden sich hinsichtlich der Materialzusammensetzung mitunter sehr stark. Neben Akkumulationsformen, deren Material nahezu ausschließlich aus dem Anstehenden rekrutiert wird, finden sich häufig Schuttkegel, die eine größere, in diesen Positionen zum Teil erratische Gesteinsmaterialvariation aufweisen. Die Menge der Komponenten der größeren Blockfraktionen, d.h. Blöcke mit Kantenlängen über 1m, in den monolithologischen Schuttakkumulationen ist gering (zur Unterscheidung der genannten Aufschlüsse siehe: **Photo 82** und **Photo 83**).

Die oben beschriebenen Schliftgrenzen und Terrassenreste lassen sich talauswärts bis mindestens zur Einmündung des Singali Khola (Singali Bazar 920m) verfolgen (**Photo 70**). Insbesondere südlich des Karduwa Khola (einem orographisch linken Seitental) finden sich gut erhaltene Terrassenreste (**Photo 70**). Diese liegen im auf der Abbildung gekennzeichneten Abschnitt ca. 150m bis 200m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie (in 1000m bis 1100m) und sind hinsichtlich des Gefälles zwanglos mit den Befunden am Talausgang des Khare Khola zu verknüpfen. **Photo 83** zeigt einen Aufschluß unterhalb dieser Terrassenkanten, der neben kantengerundeten Blöcken verschiedener Gesteine auch plattige, kantengebrochene Komponenten enthält. Letztere entstammen dem lokalen flankenseitigen Einzugsgebiet, während erstere erst einige Kilometer haupttalwärts anstehen.

Für alle in diesem Abschnitt belegten Aufschlüsse gilt: Die erratischen Blöcke müssen nicht durch einen Gletscher in ihre derzeitige Position gebracht worden sein. Sekundäre Umlagerungen aus glazigenem Material, das in den oberen Flankenabschnitten, d.h. einer direkten Falllinie folgend, sedimentiert wurde, sind wahrscheinlich (vgl.

ITURRIZAGA 1999b). Wie bereits weiter oben in Erwägung gezogen wurde, erscheint im Einzelfall auch ein plötzliches Flutereignis angesichts der Menge und Größe des Akkumulates unwahrscheinlich, ist jedoch nicht völlig auszuschließen. Eine eindeutige Verzahnung von glazigenen und glazi-fluvialen Sedimenten, die Rückschlüsse auf Bordensander und damit auf vorzeitliche Eisrandlagen zuläßt (vgl. die Lokalität Thuma im Kangchenjunga Himal und KUHLE 1990), konnte bei keinem der Aufschlüsse festgestellt werden.

Die Befunde für die orographisch linke Flanke dieses Haupttalabschnittes werden ergänzt durch entsprechende Indizien an der rechten Bhote Kosi Flanke. Aufschlüsse glazifluvial umgelagerten und sortierten Materials ca. 300m nördlich von Singali Bazar (920m) belegen einen Sedimentwechsel nahe der rezenten Taltiefenlinie im Talabschnitt zwischen Suri Dhoban und Singali Bazar (**Photo 84**). Ähnliche Sedimente finden sich in direkter Umgebung der Siedlung Singali Bazar bis zu 50m oberhalb der Taltiefenlinie, d.h. zwischen 950m und 1000m Höhe. Die stark fluvial geprägten Sedimente lassen sich gut von Verwitterungsprodukten des Anstehenden unterscheiden und sind nicht ausschließlich auf den gleichen Prozeß zurückzuführen. **Photo 85** und **Photo 86** zeigen Ausschnitte eines Aufschlusses nahe der Taltiefenlinie des Bhote Kosi bei Singali Bazar. Das mäßig verfestigte Material weist alle Eigenschaften fluvialer Überprägung auf (**Photo 85**), abschnittsweise ist eine Sortierung in Abhängigkeit von der Korngröße zu erkennen. Der Aufschluß liegt unterhalb der Einmündung eines kleinen Seitentales und ist als Anschnitt eines Schuttkörpers zu interpretieren, so daß anzunehmen ist, daß das Material aus höheren Flankenpartien stammt. Gestützt wird diese Interpretation durch die erkennbare Differenzierung der Aufschlüsse in verschiedene Schichten unterschiedlicher fraktioneller Zusammensetzung. Schichten, die eine intensivere Morphodynamik belegen, wechseln partiell mit Schichten ab, die vornehmlich aus feinerem Material bestehen. **Photo 86** belegt einen größeren Anteil an kantengebrochenem Gesteinsmaterial unterschiedlichster Fraktionen. Der Aufschluß weist eine Gliederung in Schichten verschiedener Fraktionen auf. Der Umstand, daß beide Ausschnitte direkt nebeneinander liegen, macht die Interpretation des Materials als rein fluviales Sediment (Schotterflur) oder als Ergebnis eines katastrophalen Flutereignisses unwahrscheinlich (vgl. SCHELLING 1988, ZIMMERMANN et al. 1986 und **Photo 87**). Anzunehmen ist hingegen, daß das den Aufschluß aufbauende Gesteinsmaterial aus der Flanke oberhalb des Aufschlusses stammt (vgl. beispielsweise ADHIKARI 2001: Fig. 17.5). Aufgrund der kurzen Transportentfernung über die rückseitige Flanke ist zu konstatieren, daß insbesondere die größeren sehr gut kantengerundeten Blöcke nicht durch diesen Prozeß zu ihrer derzeitigen Form gelangt sind. Es ist daher davon auszugehen, daß sie bereits zum Zeitpunkt der Sedimentation an der Flanke oberhalb des Aufschlusses entsprechend geformt waren und nachträglich

verlagert wurden. Dies erklärt das Nebeneinander von frisch aufbereitetem, kantengebrochenem Schutt verschiedener Fraktionen und den stark fluvial überprägten Anteilen in einem Aufschluß.

2.1.2.9 Zusammenfassung der Befunde für das Bhote Kosi im Talabschnitt zwischen Lamobagar und Singali

Die Beschreibung der hinsichtlich des Ausmaßes der vorzeitlichen Vergletscherung des Bhote Kosi zwischen Lamobagar und Singali Bazar als relevant erachteten morphologischen Geländeeinheiten bietet die Möglichkeit, einen vorzeitlichen Gletscher zu beschreiben.

Die Befunde belegen einen Eiskörper, der mit einer Mächtigkeit von mindestens 2km nahe der heutigen Siedlung Lamobagar angelegen hat. Talauswärts von Gongar, d.h. ca. 8km südlich von Lamobagar und ca. 4km südlich der Einmündung des Rolwaling Khola in das Bhote Kosi, verlor die Gletscherzunge relativ schnell an Volumen und endete mit hoher Wahrscheinlichkeit nahe der Siedlung Singali Bazar in ca. 950m Höhe. Anhand der Befunde läßt sich eine Gletscheroberfläche rekonstruieren, die durch ihre konvexe Gestalt und einen relativ schnellen Volumenverlust im Abschnitt südlich von Gongar charakterisiert ist (**Abbildung 15**) und hier nicht mehr dem Einfluß der Vergletscherung der flankenseitigen Einzugsgebiete unterliegen kann.

Eindeutige empirische Befunde, die die Ausweisung einer weiteren ERL eines Bhote Kosi Gletschers zwischen Lamobagar und Singali Bazar zuließen, kann der Autor nicht vorlegen. Der Bergsturz von Lamobagar ist in die Posthochglazialzeit zu stellen.

2.1.3 Zusammenfassung der Befunde über den Rolwaling Himal

Für die Rekonstruktion der Eisausdehnung während des letzten Hochglaziales (**Karte 2, vgl. Karte 1**) ist die Kombination der Befunde aus dem Rolwaling Khola und dem Bhote Kosi von evidenter Bedeutung. Eine Schlüsselokalität ist der Talaustritt des Rolwaling Khola. Die empirischen Befunde belegen hier eine Konfluenz des Rolwaling Gletschers mit einem Bhote Kosi Gletscher im Sinne eines Eisstromnetzes. Die Oberfläche dieses Eiskörpers lag ca. 2km über der rezenten Tiefenlinie in mindestens 4100m Höhe (**Photo 1, Photo 53, Photo 65, Photo 67, Photo 69, Photo 2**). Dieses Ergebnis wird durch die Befunde aus dem Rolwaling Khola gestützt.

Insbesondere die Gletscherpegel im Bereich des Einzugsgebietes und hoher Nebentaleinzugsgebiete bilden wahrscheinlich keine Gletscheroberkante ab (vgl. u.a. **Photo 29** und **Abbildung 13**), sondern kennzeichnen die obere Begrenzung der Formungsaktivität des unteren Gletscherteilstromes. Der im Querprofil obere Teil des Gletscherstromes im mittleren Rolwaling Khola setzt sich im wesentlichen aus auf die

Haupttalzunge aufsetzenden Teilgebieten der Akkumulationsbereiche der Nebentäler zusammen, die in tiefenlinienorientierter Richtung weniger formungsintensiv waren. Daraus folgt, daß der oberste Eispegel im mittleren und oberen Rolwaling Khola durch die kartierten tiefenlinieparallelen Schlifffgrenzen nicht gut repräsentiert wird und über diesen lag. Mit dem Einsinken der Gletschers unter die Schneegrenze bzw. dem Niedrigerwerden der flankierenden Nebentaleinzugsgebiete ändert sich dies, und die Pegelbefunde können, wie die im Bereich des Talausganges des Rolwaling Khola, als repräsentativ für eine obere Gletscherbegrenzung eingeschätzt werden.

Talauswärts der Konfluenz der Gletscherteilströme im Bereich des Talausganges des Rolwaling Khola setzt sich die zu rekonstruierende Gletscherzunge mit wahrscheinlich konvexer Oberflächenwölbung fort und verliert relativ schnell an Volumen (**Photo 79, Photo 77, Photo 75, Photo 70**), das heißt, sie sinkt in das hier nur mehr mäßig hoch flankierende Talgefäß ein. In diesem Bereich reichen die Talflanken nicht mehr über die Schneegrenze, so daß die Zunge hier vollständig im Ablationsgebiet liegt. Die Befunde im untersten Teil des Untersuchungsgebietes legen den Schluß einer ERL in ca. 900m bis 950m nahe, d.h. im Bereich der heutigen Siedlung Singali Bazar (**Photo 85, Photo 88**).

Nachhochglaziale Gletscherstände konnten nur im Rolwaling Khola und oberhalb der 3200m Isohypse wahrscheinlich gemacht werden. Die geomorphologischen Indikatoren und ihre Lagebeziehung deuten auf eine ERL in ca. 3250m im Rolwaling Khola hin - eine solche ERL wäre dem Spätglazial zuzuordnen. Wesentlich besser belegbar ist ein Gletscherstand des Rolwaling Gletschers nahe Doghre in ca. 3900m, der dem Neoglazial zuzuordnen ist, und die historischen ERL im direkten Vorfeld der rezenten Gletscher. Erosionsformen und Akkumulationsformen im mittleren und unteren Rolwaling Khola machen spätglaziale Rückzugsphasen wahrscheinlich; die Befunde lassen sich jedoch nicht zu eindeutigen ERL bündeln.

Die Vielzahl der historischen Gletscherstände belegt ein Schwanken der Schneegrenzabsenkung im Bereich zwischen 50m und 150m. Die in der **Karte 1** entsprechend kartierten Eisrandlagen liegen zeitlich sehr eng beieinander und sind hinsichtlich der erforderlichen Änderung der klimatischen Rahmenbedingungen u.U. stärker von kleinräumigen lokalen Änderungen als von großräumigen Faktorenänderungen abhängig, die maßgeblich für die LGM-zeitliche Vergletscherung des Raumes sein dürften.

Die aus den Befunden ableitbaren Schneegrenzabsenkungen sind im Ergebnis teil dargestellt (**Kapitel 3**). Die Gletscherflächen sind in der **Karte 2 I-IV** dargestellt.

2.2 Zur rezenten, postglazialen und LGM-zeitlichen Vergletscherung des Kangchenjunga Himal

Ausgehend von der Beschreibung des rezenten Gletscherinventars des Kangchenjunga Himal wird mit Hilfe glazialgeomorphologischer und ergänzender geeigneter Indikatoren das Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung des Kangchenjunga Himal erfaßt. Der Schwerpunkt liegt auf der Rekonstruktion des Ausmaßes der Vergletscherung während des letzten Hochglazials.

2.2.1 Die rezente Vergletscherung des Kangchenjunga Himal

Alle im folgenden beschriebenen Gletscher sind in der **Karte 3** dargestellt. Auf die detaillierte Beschreibung kleinerer Gletscher wurde verzichtet, wenn sie im Rahmen der morphologischen Analyse im zweiten Hauptteil dieses Kapitels nicht von Bedeutung waren bzw. nicht berücksichtigt werden konnten. Die Basisinformationen für alle berechneten Schneegrenzen sind der **Tabelle 2** zu entnehmen.

2.2.1.1 Das Gletscherinventar des Ghunsa Khola

Der Kangchenjunga Gletscher

Das Einzugsgebiet des Kangchenjunga Gletschers ist in fünf wesentliche Teile zu gliedern:

- das Einzugsgebiet der Kangchenjunga Nordwand (**Photo 11**)
- der südwestexponierte Pyramid Gletscher
- der westexponierte Lanpo Gletscher
- der südexponierte Jhinson Gletscher sowie
- der ebenfalls südexponierte Lanpo Gletscher

Kleinere Teilbereiche des Einzugsgebietes sind zum großen Teil süd- bis westexponiert.

Das Gesamteinzugsgebiet erreicht eine durchschnittliche Höhe von ca. 6890m. Das rezente Gletscherende des Kangchenjunga Gletschers liegt nahe "Alm" Ramdan in ca. 4530m Höhe im Ghunsa Khola (**Photo 89**), unterhalb des Talausganges des Ramdan Khola.

Die mittlere Schneegrenze liegt in ca. 5520m. In die Berechnung der angegebenen Einzugsgebietshöhe sind die Gipfel mit Höhen über der Gletscherobergrenze einbezogen. Korrigiert man die mittlere Einzugsgebietshöhe im Sinne der von KUHLE (1986e, 1987, 1988a) zur Obergrenze der Gletscherausdehnung bzw. Gletscherernährung vorgelegten Ergebnisse und Überlegungen, so ist eine mittlere Einzugsgebietshöhe von 6810m zu ermitteln. Die Differenz von 80m (6890m-6810m=80m) ist im Vergleich zu den

potentiellen Fehlerquellen des übrigen Teils der Berechnung für den rezenten Gletscher als nicht signifikant zu erachten.

Der Gletscher ist als Firnstrom zu typisieren.

Das Ablationsgebiet verläuft im wesentlichen breitenkreisparallel. Zu berücksichtigen ist, daß die Nordflanke des oberen Ghunsa Khola im Bereich der Ablationszunge des Kangchenjunga Gletschers (**Photo 9**) im Vergleich zur Südflanke relativ steil ist. Die schuttbedeckte Ablationszunge liegt geschützt unterhalb der Nordflanke; Lawinen aus der Flanke erreichen das Ablationsgebiet.

Der Chatyatundinga Gletscher

Der Chatyatundinga-Gletscher liegt an der orographisch linken Flanke des Lhonak Khola (orographisch linkes Seitental des Ghunsa Khola, das bei Lhonak in das Haupttal einmündet) zwischen dem Ende der Gletscherzunge des Lhonak Gletscher und der Siedlung Lhonak. Der rezente Gletscher endet in 5150m Höhe; die mittlere Einzugsgebietshöhe beträgt 6490m. Der höchste Gipfel des Akkumulationsgebietes ist der 7041m hohe Janak Chuli. Das Akkumulationsgebiet ist vorwiegend südlich exponiert, während das Ablationsgebiet west-süd-westlich ausgerichtet ist. Das Ende der Gletscherzunge erreicht den Talboden des Lhonak Khola (in diesem Talabschnitt 4820m hoch) nicht. Der Gletscher nimmt bei einer durchschnittlichen Vertikaldistanz von 1340m eine Gesamtlänge von ca. 9km ein. Auf der Karte des Nepal Kartenwerk Blatt 278705, ist in 5750m Höhe austauende Obermoräne kartiert. Auf der Basis der Überschlagsrechnung (höchstes Austauen von Obermoräne plus 50 Höhenmeter = Schneegrenze) kann davon ausgegangen werden, daß die Schneegrenze für diesen Gletscher in ca. 5800m liegt. Die Schneegrenzberechnung auf der Basis der mittleren Einzugsbereichshöhe und der ERL ergibt den Wert 5822m, für die Anwendung der Methode von KUHLE (1986c) fehlen die benötigten Werte.

Der Lhonak-Gletscher

Der Lhonak Gletscher setzt sich aus zwei Teilgletschern zusammen, die in 5200m zu einer Ablationszunge zusammenfließen. Unterhalb dieser Konfluenz wird die Gletscherzunge als Lhonak Gletscher bezeichnet. Dieser südexponierte Teil des Gletschers endet in 5100m Höhe, 3,5km nördlich der Siedlung Lhonak (**Photo 10**).

Den flächenmäßig größeren Teilstrom bildet der orographisch rechts liegende Chijima Gletscher. Das Einzugsgebiet diese Gletschers ist im wesentlichen südlich exponiert. Den höchsten Gipfel des Einzugsgebietes bildet der Janak Chuli (7041m). Der Teil des Ablationsgebietes bis zur Konfluenz mit dem zweiten Teilstrom des Lhonak Gletschers ist südwestlich ausgerichtet.

Der zweite Gletscher mündet aus der orographisch linken Flanke des Lhonak Khola in den Lhonak Gletscher ein. Das Einzugsgebiet ist vorwiegend südlich exponiert, der obere Teil des Ablationsgebietes ist süd-östlich ausgerichtet.

Die mittlere Einzugsgebietshöhe des Lhonak Gletschers beträgt 6375m. Die Vertikal-
distanz berechnet sich zu 1255m. In der Horizontalen nimmt das Gletschersystem eine
mittlere Länge von 10km ein.

Das Austauen der Obermoräne belegt eine unterschiedliche Höhenlage der Schneegrenze
für beide Gletscherteilströme. Die verschiedenen Expositionen der Einzugsgebiete legen
diese Schlußfolgerung nicht nahe, hingegen machen die unterschiedlichen Expositionen
der oberen Teile der Ablationsgebiete diesen Umstand verständlich. Die Lhonak
Gletscherzunge zeigt keine deutliche Differenzierung beider Gletscherteilströme, so daß
beide Teilströme und der resultierende Lhonak Gletscher zunächst als ein System
verstanden werden müssen. Die mittlere Schneegrenze dieses Gletschers liegt in ca.
5680m.

Namenloser Gletscher im Lhonak Khola

Der namenlose Gletscher endet in 5420m Höhe auf der orographisch linken Seite
oberhalb des Chabuk Gletschers. Der ca. 4km lange Gletscher baut sich in einem durch-
schnittlich 6300m hohen Einzugsgebiet auf und ist vorwiegend südexponiert. Die
Schneegrenze berechnet sich auf der Basis der mittleren Einzugsbereichshöhe und der
ERL zu 5860m.

Des weiteren befindet sich an der orographisch rechten Flanke des Lhonak Khola eine
Reihe kleinerer Hängegletscher, die weit über der rezenten Taltiefenlinie (zwischen
5100m und 4900m) enden.

Der Ramdan Gletscher

Dieser ca. 8km lange, im wesentlichen nordwestexponierte Gletscher endet in 4550m.
Der Ramdan Gletscher mündet zwar in Höhe der Siedlung Ramdan in das Ghunsa Khola,
vereint sich rezent jedoch nicht mehr mit der Zunge des Kangchenjunga Gletschers
(**Photo 90**). FRESHFIELD (1903:177) schreibt: "This ice-stream [Ramdan Gletscher] pushes
ridges of white granite boulders out into the valley, and a few years ago must have
actually joined the Kangchen Glacier [Kangchenjunga Gletscher], ...".

Das Einzugsgebiet des Gletschers erreicht eine mittlere Höhe der Kammumrahmung von
6590m. Auf der Basis dieser Werte berechnet sich die Schneegrenze zu ca. 5360m. Der
Gletscher resultiert aus einem steilen Akkumulationsgebiet unterhalb des Kambachen
(7902m), das durch Flankenvereisung und resultierende Eisabbrüche gekennzeichnet ist;
es handelt sich um einen Firnmuldengletscher im Übergangsbereich zum Firnkesseltyp -
entsprechend liegt die Schneegrenze relativ tief in 5400m.

Der Khumbarkarna Gletscher

Die ost-west verlaufende Gletscherzunge resultiert aus vorwiegend nord- bis nordwest-exponierten Einzugsteilgebieten (**Photo 91**). Der rezente, ca. 11km lange Gletscher endet in 4250m Höhe ((♦) **Photo 92**). Die mittlere Höhe der Kammumrahmung des Akkumulationsgebietes beträgt 6730m. Der höchste Gipfel des Einzugsgebietes ist der 7711m hohe Khumbuarkana. Die Schneegrenze berechnet sich zu 5260m. Die Gletscherernährung resultiert zu einem erheblichen Teil aus der Flankenvereisung der Khumbuarkana-Nordflanke, die bis zu 2800m über der Hauptgletscherzunge aufragt (**Photo 93**). Der Steilheit der Einzugsgebietsflanken entsprechend, rückt die Schneegrenze tiefer in das Relief als dies bei flacheren Gletschern der Fall wäre. Kompensiert wird dies durch das vergleichsweise lange Einzugsgebiet. Ein gutes Beispiel für die Abhängigkeit der Schneegrenze vom Relief!

Das Zungenende des im gleichen Einzugsgebiet liegenden süd- bis westexponierten Merra Gletschers (Merra Peak: 6334 m) erreicht die Gletscherzunge des Khumbuarkana-Gletschers nicht. Das heißt, der Anteil dieses Gletschers und damit des gesamten Einzugsbereiches am Ausmaß der Khumbuarkana-Gletscherzunge muß als indirekt interpretiert werden. Der Merra Peak Gletscher endet zwischen 4700m und 4800m Höhe, abzuleiten ist eine Höhenlage der rechnerischen Schneegrenze zwischen 5500m und 5600m Höhe.

Gletscher im Nupchu Khola

Das Nupchu Khola mündet in Höhe der Siedlung Kambachen in das Ghunsa Khola. Das Nordwest bis Südost verlaufende Tal weist eine Reihe kleinerer vergletscherter Areale im oberen Talabschnitt auf. Im Talschluß finden sich zwei Gletscher mit im wesentlichen südexponierten Einzugsgebieten. Der orographisch linke dieser zwei Gletscher reicht mit einer schmalen Ablationszunge rezent bis ca. 5000m herab. Das Gletscherende des orographisch rechten Gletschers kann in einer Höhe von ca. 5050m lokalisiert werden. Beide Gletscher bilden sich in Einzugsgebieten mit einer mittleren Höhe von 5900m (**Photo 94**). Die Schneegrenze berechnet sich zu 5400m bis 5450m.

Der ostexponierte Gletscher unterhalb der Tanga-Kette (Tanga 6433m) im mittleren Talabschnitt des Nupchu Khola reicht bis in 5000m vor. Das kleine Einzugsgebiet erreicht eine mittlere Höhe von 6000m - hieraus resultiert eine Schneegrenze in ca. 5400m.

Gletscher zwischen Kanbachen und Ghunsa

Teile der orographisch rechten Flanke, ca. 4km talauswärts von Kambachen, bilden das im Mittel 6000m hohe Einzugsgebiet für zwei kleinere Gletscher, deren rezente Eisrandlage in ca. 5000m Höhe zu bestimmen ist. Für diese süd- bis südostexponierten Gletscher kann die Schneegrenze mit 5500m angegeben werden.

Ein 2,5km langer Gletscher befindet sich an der orographisch linken Talflanke ca. 7km talaufwärts von Ghunsa. Ein nordostexponierter Gletscher reicht bis ca. 4800m herab und resultiert aus einem im Mittel 5900m hohen Einzugsgebiet. Die rezente Schneegrenze liegt in ca. 5350m.

Der Yamatri-Gletscher

Das Yamatri Khola mündet ca. 200m südlich der Siedlung Ghunsa in das Ghunsa Khola. Der Yamatri Gletscher endet rezent in 4250m Höhe. Große Teile der Gletscherzunge sind vorwiegend südexponiert, demgegenüber stehen nord- bis nordwestorientierte Einzugsgebiete. Den höchsten Gipfel des Einzugsgebietes bildet der Khumbuarkana (7711m), dessen Südflanke einen kleinen Teil des Nährgebietes bildet. Der weitaus größere Teil der Eismenge des Yamatri-Gletschers dürfte im Flankenabschnitt zwischen dem Khumbarkarna und dem Boktoh (6114 m) entstehen. Auf der Basis einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 6300m, der rezenten Eisrandlage (4250m, (◆) **Photo 95**) und der bestimmten Winkeldifferenz berechnet sich die Schneegrenze für diesen Firnmuldengletscher zu 5230m. Die reale Schneegrenze des Yamatri Gletschers in 5230m weicht dabei nur wenig von der rechnerischen in ca. 5275m ab.

Die Zungenenden des Khumbarkarna Gletschers und des Yamatri Gletschers trennen nur wenige Kilometer in der Horizontalen und kaum eine Abweichung in der Vertikalen. Die Differenz der rechnerischen Schneegrenze beträgt jedoch aufgrund der verschieden hohen Einzugsgebiete ca. 200 Höhenmeter (Khumbarkarna: 5490m und Yamatri: 5275m). Die Differenz zwischen den realen Schneegrenzen beträgt nur ca. 30m (5260m-5230m=30m). Die empirischen Befunde, d.h. die Abschätzung der Lage der Schneegrenze im Gelände, stützt die letztgenannte Beziehung.

2.2.1.2 Das rezente Gletscherinventar des Simbua Khola

Die Südwestabdachung des Kangchenjunga (8586m, **Photo 96**) bildet den Talschluß des Simbua Khola. In Höhe der Siedlung Hellok (1600m, **Photo 97**) mündet das Tal in das Tamur Khola.

Das obere Simbua Khola bildet das im Mittel ca. 7442m hohe, vorwiegend west-, süd- sowie ostexponierte Einzugsgebiet des Yalung-Gletschers. Das Zungenende des ca. 24km langen Gletschers liegt in 4250m Höhe (**Photo 98, Photo 99**). Die reale Schneegrenze liegt in ca. 5580m Höhe. Ausgrenzen lassen sich zwei kleinere, orographisch linke Einzugsgebiete: der West Rathon-Gletscher sowie die Vergletscherung der Westflanke des Kokthan (6148m). Die Zungen beider Gletscher erreichen zwar den Yalung-Gletscher, sind jedoch durch nicht rezente Ufer- bzw. Mittelmoränen vom Haupttal-gletscher getrennt, so daß sie als eigenständige Gletscher betrachtet werden können.

Kleinere Gletscher (bis 2km²) finden sich an der orographisch rechten Flanke des Simbua Khola im Talabschnitt unterhalb des Boktoh (6114 m). Die nordexponierten Gletscher reichen bei einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 6000m bis ca. 4700 bis 4800m herab und belegen den Verlauf der Schneegrenze zwischen 5350m und 5400m.

Der 2km lange Khanlananma-Gletscher im Talschluß des Yamgachha Khola resultiert aus einem 5500m hohen, westexponierten Einzugsgebiet. Das Gletscherende erreicht 5400m Höhe. Die Schneegrenze liegt in ca. 5450m Höhe.

2.2.1.3 Der Verlauf der rezenten klimatischen Schneegrenze im Kangchenjunga Himal

Die klimatische Schneegrenze im Kangchenjunga Himal liegt zwischen ca. 5400m und 5500m. Die Abweichungen der empirisch erfaßten sowie berechneten rezenten Schneegrenzen einzelner Gletscher sind neben einer tendenziellen Südabsenkung der Schneegrenze im wesentlichen auf die Abhängigkeit vom Gletschertyp zurückzuführen. Die Berechnungen der Schneegrenze der rezenten Gletscher zeigt einen Trend der tieferen Lage der Schneegrenze für die südlicheren Gletscher. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit als eine Folge der Niederschlagsverteilung zu interpretieren. Der Einfluß des Massenerhebungseffektes bleibt deutlich hinter dem Ausmaß der Differenz der Höhenlage der Schneegrenze zurück.

KUHLE (1990:417) gibt die "climatic equilibrium line altitude (ELA)" für das Ghunsa Khola mit 5560m an und verweist auf die tiefe Lage der Schneegrenze des Yamatri Gletschers in 5250m, während "on the average the orographic ELA lies in 5600m" (ebd. S. 417). Die von MEINERS (1999:370) berechneten Werte liegen mit Ausnahme des Yamatri Gletschers zwischen 5500m und 5700m. ASAHI u. WATANABE (2000: Fig 5) benennen ohne Angabe der verwendeten Methode Schneegrenzen zwischen 5100m und 6100m. Deutlich wird die große Bandbreite der Lage der rezenten realen Schneegrenze im Untersuchungsgebiet.

Der Autor berechnet die klimatische Schneegrenze für das gesamte Arbeitsgebiet zu 5450m. Die Werte für den Khumbarkarna- und den Yamatri Gletscher sind nicht als zu vernachlässigende "Ausreißer" zu interpretieren.

2.2.2 Zur postglazialen und LGM-zeitlichen Vergletscherung des Kangchenjunga Himal

2.2.2.1.1 Das Ghunsa Khola zwischen dem Talschluß und dem Talausgang des Lhonak Khola

In diesem Kapitel wird der nördlichste Talabschnitt des Ghunsa zwischen dem rezenten Einzugsgebiet des Kangchenjunga Gletschers und der Siedlung Lhonak am Talausgang des Lhonak Khola in ca. 4600m beschrieben.

Photo 11 erstreckt sich über ca. 270° (W-N-E-S) und zeigt im Süden den 8586m hohen Kangchenjunga Hauptgipfel. Die steile Kangchenjunga Nordwand, die die südwestliche Begrenzung des flächenmäßig größten Teiles des Einzugsgebietes des Kangchenjunga Gletschers bildet, überragt die Ablationszunge im Bildvordergrund um ca. 3,5km (vgl. **Abbildung 23**). Der Nepal Peak (7177m) überragt die Konfluenz des nördlichen und südlichen Gletscherteilstromes, die Gletscheroberfläche liegt in diesem Abschnitt in ca. 5200m. FRESHFIELD (1903:172) publiziert ein Panorama von Vitorio SELLA, das etwa den gleichen Landschaftsausschnitt zeigt und das Ausmaß der Vergletscherung für den September 1900 belegt - der Gletscher lag etwas höher im Zungenbecken, jedoch nicht am First der historischen Moräne.

Die nur wenige Meter über der Gletscherzunge verlaufenden subrezentem Ufermoränen lassen sich talaufwärts bis in ca. 5500m Höhe verfolgen und verweisen im Übergangsbereich der flachlagernden Gletscherzunge zu den steileren Flankenabschnitten der Kangchenjunga Nordwand auf die Lage der rezenten Schneegrenze (**Photo 11**). Unterhalb des Nepal Peak enden die historischen Moränen talaufwärts ebenfalls in ca. 5500m Höhe. Abschnittsweise sind diese Moräneneinfassungen der Ablationszunge im niedrigen Dekameter-Bereich gestaffelt und belegen damit Gletscherschwankungen bzw. Gletscherrückzugsstadien im Zeitabschnitt zwischen heute und der Bildung der historischen Zungenbeckeneinfassung. Demgegenüber überragen die Lockermaterialverkleidungen am orographisch linken Kangchenjunga Seitental-Talausgang (**Photo 11**) die rezente Gletscheroberfläche in diesem Talabschnitt um mindestens 200m und belegen hier bei quasi gletscherzungenparalleler Ausrichtung einen Eispegel in 5300m (••••). Diese Position liegt erwartungsgemäß talauswärts (mindestens 3km) der oben beschriebenen oberen Begrenzung der subrezentem oder historischen Ufermoränen zwischen 5450m und 5500m. Die abschnittsweise vorhandene Lockermaterialverkleidung ist verknüpft mit Gefällewechselln in anstehenden Flankenabschnitten (**Abbildung 24**).

Orographisch rechts des Talausganges des Kangchenjunga Seitentales, d.h. zwischen Nepal Peak und Einmündung des Kangchenjunga Seitentales, belegen, neben wenige Meter bis Dekameter höheren Lockermaterialakkumulationen, Unterschneidungsschliffe und Gefällewechsel an einem insgesamt walfischrückenförmigen Vorberg ein Niveau glazialer Überprägung ca. 200m bis 250m oberhalb der rezenten Gletscherzunge, d.h. in ca. 5300m und talauswärts einfallend (**Photo 11**). In Flankenabschnitten, die einer stärkeren Eigenvergletscherung unterliegen, sind diese Formen zerschnitten bzw. durch Elemente vertikaler Formengemeinschaften aufgelöst (s.u. zur orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke zwischen Pangpema und Lhonak). Dies gilt insbesondere für die orographisch rechte Kangchenjunga Seitentalflanke, d.h. der ostexponierten Flanke nördlich der Twins (The Twins, 7350m). Der walfischrückenförmige Vorgipfel ((◆) in **Photo 100**, vgl. **Photo 11**) weist bis in das Gipfelniveau (5925m) Spuren glazialer Überprägung auf. Lockermaterialakkumulationen ca. 300m bis 400m unterhalb des Gipfels des Berges sind nachhochglazialen Gletscherständen des Haupttalgletschers zwischen 5500m und 5600m zuzuordnen. Die rezente Vergletscherung der Nordflanke dieses 5925m hohen Berges bleibt deutlich hinter der Vergletscherung der sich westwärts anschließenden Flanke zurück. Der Berg ist als einem Rundhöcker ähnliche Form zu interpretieren und stützt die Annahme einer Eisfüllung dieses Talabschnittes bis in ein Niveau oberhalb von 5925m. Hinzu kommt das Maß der Mächtigkeit eines Gletschers, der in der Lage wäre, eine solche Erosionsform zu "erzeugen".

(→) markiert in **Photo 11** das Zungenende eines kleinen, mäßig steilen Gletschers unterhalb eines durchschnittlich 6500m hohen Einzugsgebietes. Die rezente Gletscherzunge liegt einige Dekameter zurückgezogen in einem aus moränischem Material aufgebauten Zungenbecken. Die Ufermoräneninnenhänge wirken "frisch" und weisen, entgegen den rechts und links der Laterofrontalmoräne liegenden Haupttalflankenpartien, keinen nennenswerten Vegetationsbesatz auf. Deutlich ist die zur Haupttal tiefenlinie orientierte Anordnung der genetisch an den Seitentalgletscher gebundenen Formen zu erkennen. Der podest- bzw. rampenförmig ins Haupttal hineinreichende Moränenkomplex zerschneidet Moränenrestterrassen, deren Firste bzw. deren äußere Begrenzungen mit der Haupttal tiefenlinie einfallen (**Photo 11** in 5250m). Ein vergleichbarer Fall ist talwärts zu erkennen. Hinweise auf einen hochglazialen Gletscherpegel sind nur in Talabschnitten erhalten, die zum einen hoch genug sind, um einen entsprechenden Eispegel zu repräsentieren, und deren Einzugsgebiete zum anderen nicht zu hoch sind, um nachhochglazial eine weitreichende Eigenvergletscherung zu zeitigen. Letzteres führt zur Verschiebung der Orientierung des glazialen Formenschatzes in einigen Abschnitten der Flanke (dieser Aspekt wurde bereits im Zusammenhang mit der Morphologie im Bereich des unteren Rolwaling Khola erläutert.).

Großflächige, in geschützten Abschnitten terrassenförmig überprägte Lockermaterialakkumulationen belegen eine größere Ausdehnung des Haupttalgletschers in diesem

Talabschnitt bis in mindestens 5400m Höhe. Während es sich bei den beschriebenen Formen talaufwärts des Standorts für **Photo 11** (Pangpema 5200m) aufgrund der Einzugsgebietshöhen von bis zu 6800m um nachträglich unterschrittene Podest- oder Rampenmoränen der lokalen Vergletscherung handeln könnte, wird dies haupttalwärts unwahrscheinlicher, da der Kamm der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke oberhalb der Siedlung Lhonak nur noch 5600m hoch ist, d.h. nur 100m bis 150m über die rezente Schneegrenze aufragt (vgl. **Photo 101**). Der oben beschriebene und mit Hilfe von **Photo 101** belegte glaziale Formenschatz in diesem Talabschnitt macht die Interpretation der Moränenverkleidung und der Zurundungen über eine ausschließlich lokale Vergletscherung zusätzlich unwahrscheinlich. Die Ausdehnung des Lhonak Gletschers zum Zeitpunkt der Genese der beschriebenen Formen gilt es besonders zu berücksichtigen (s.u. **Kapitel 2.2.2.2**).

Die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke zwischen dem Pyramid Peak und Lhonak (**Photo 101**) ist bis über ein Niveau von 5682m deutlich zugerundet. Runde Formen im oberen Abschnitt wechseln sich mit übersteilten Flankenpartien, insbesondere im unteren Abschnitt nahe der Taleinmündung des Lhonaktales ab. Eine Reihe von Aufschlüssen belegt eine mächtige Lockermaterialdecke, die durch steile Partien des anstehenden Gesteines unterbrochen wird. Diese steileren Abschnitte sind in ihren oberen, horizontalen Bereichen zugerundet, während sie zur Taltiefenlinie steiler einfallen. Im Bereich des markanten Wechsels von zugerundeten zu versteilten Flankenabschnitten ist kein ursächlicher Wechsel der Gesteinseigenschaften zu erkennen.

Mindestens drei Niveaus glazialer Überprägung sind im Talabschnitt zwischen dem Pyramid Peak (7148m) und dem Verlauf des Profils durch das Ghunsa Khola (**Abbildung 24**) nachzuweisen:

1. Die Überformung der orographisch rechten Flanke bis in eine Höhe von mindestens 5900m durch einen quer zum Flankengefälle verlaufenden Haupttalgletscher. Dieser Befund ist mit dem Gletscherpegel oberhalb des Rundhöckers am Talausgang des Kangchenjunga Seitentales in eine direkte genetische Beziehung zu setzen (**Photo 11**, (◆) in **Photo 100**).
2. Im Höhenniveau der oberen Dreieckshänge belegt der Formenwandel zwischen 5400m und 5600m (vgl. **Abbildung 24**), der über die glaziale Morphodynamik einer in das Talquerprofil eingesenkten Gletscherzunge verständlich wird, eine glaziale Überprägung des Talquerprofils.

3. Die Oberkante der steil herausgearbeiteten anstehenden Festgesteinspartien im unteren Flankenabschnitt mit einer Höhe von ca. 200m bis 300m über dem rezenten Talboden in 4700m. Diese Indizien können direkt mit der lokalen Vergletscherung des Lhonaktales verknüpft werden.

Die Hinweise auf eine deutlich größere Eisausdehnung, d.h. die Punkte 1. und 2. werden nur durch ein Eisnetz aus Ghunsa Khola und Lhonak Khola Gletscher verständlich (**Karte 3**).

In eine eindeutige morphogenetische Beziehung lassen sich diese Niveaus, insbesondere das Letztgenannte, zum in **Photo 102** dargestellten Ausschnitt der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke oberhalb der Siedlung Lhonak, d.h. am Talausgang des Lhonak Khola, stellen.

Der Standort für **Photo 102** liegt auf einer Ufermoräne, einige Dekameter oberhalb des rezenten Kangchenjunga Gletschers in ca. 4840m (vgl. dazu **Photo 9**, der Blick richtet sich taleinwärts, die in Rede stehende Flanke liegt demzufolge im Bild links, im Bildhintergrund ist der Nepal Peak zu erkennen). Am rechten Bildrand ist ein Ausschnitt der historischen Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers zu erkennen (vgl. **Photo 9**: Der taleinwärts gerichtete Blick über die rezente Gletscherzunge des Kangchenjunga Gletschers zeigt diese historische Moräne in ihrer Lagebeziehung zum Gletscher und zum Einzugsgebiet).

Das Ufermoränental des historischen Gletscherstandes in diesem Talabschnitt ist in weiten Teilen durch große Schwemmfächer und Schuttkörper aus der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke, die bis an die aktuelle Unterschneidungskante des Gletschers heranreichen, verfüllt und tritt morphologisch nicht mehr als Tal in Erscheinung. Einzelne Bereiche, in denen die Sedimentationsrate aus der Flanke nicht so groß ist, bleiben von einer vollständigen Verfüllung "verschont" und lassen ein Ufermoränenseital in Resten erkennen.

Eine Vielzahl von Aufschlüssen weist auf die fast vollständige Verkleidung des unteren Teiles des Vertikalprofils des Flankenabschnittes des Ghunsa Khola zwischen Nepal Peak und Lhonak mit moränischem Material (vgl. **Photo 101**) hin. Die Gipfel im Bildhintergrund von **Photo 102** erreichen Höhen zwischen 5682m in talauswärtiger Richtung und 6881m in taleinwärtiger Richtung des Ghunsa Khola. Insgesamt dominieren im unteren Teil des Querprofils runde und weiche Formen, die im oberen Abschnitt häufig durch schärfere, unterschnittene Formen abgelöst werden. Lithographische Befunde, die belegen, daß dieser Formenwandel primär durch einen Wechsel der Gesteinseigenschaften zu erklären ist, konnten nicht festgestellt werden.

Zwei wesentliche Aspekte sind für die Beschreibung der Genese der Moränenverkleidung dieser Flanke in Betracht zu ziehen: Zum einen reichen die Gipfel bis in ein Niveau, das eine ausgedehnte vorzeitliche Eigenvergletscherung wahrscheinlich macht.

Die rezente Vergletscherung beschränkt sich auf Firnfelder und kleinere Gletscher. Zum anderen ist die Bedeutung der Ausbreitung des Haupttalgletschers, d.h. des Kangchenjunga Gletschers mit einem im Mittel über 7000m hohen Einzugsgebiet entsprechend zu berücksichtigen, das heißt, eine im wesentlichen vertikale Eisbewegung der bezüglich der Flanke lokalen Eigenvergletscherung der Einzugsgebiete der Flanke steht einer annähernd horizontal orientierten Eisbewegung und damit einem diametral angeordneten Formenschatz gegenüber.

Eine zeitliche Einordnung der Reihenfolge der Vergletscherung ergibt sich aus der Zerschneidung der Formen. Der Eispegel des Haupttalgletschers determiniert hierbei die räumlichen Abschnitte der möglichen Formungswirksamkeit der Seitentalgletscher. Dieser Zusammenhang wird insbesondere durch **Photo 11** verdeutlicht. Junge lokale Moränen ((*) **Photo 11**) sind auch auf der Basis des fehlenden Vegetationsbesatzes deutlich von älteren Moränen (◆) zu differenzieren. Letztere sind der Vergletscherung des Haupttales zuzuordnen und damit genetisch mit den Befunden am orographisch linken Kangchenjungaseitental (zwischen 5400m und 5450m) in einen engen Zusammenhang zu stellen. "Aus der Böschung dieser mittelgebirgsartigen, eiszeitlichen Grundmoräne sind durch die Monsunregen mächtige, 30 bis 50m hohe Erdpyramiden herausmodelliert, in Reihen stehend und so schön und typisch wie die von Oberbozen (Abb. 110, S. 352)" (G. DYHRENFURTH in DYHRENFURTH, O. 1931:309). Die mit Hilfe eines PHOTOS VON DYHRENFURTH belegten Erdpyramiden sind heute nicht mehr vorhanden. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf das Maß der überprägenden fluvialen, periglazialen und rein gravitativen Morphodynamik der letzten ca. 70 Jahre in einer Höhenstufe, die nur eine geringe Vegetationsfixierung des Lockermaterials zuläßt.

Photo 103 zeigt ergänzend einen talauswärts gerichteten Blick über den Kangchenjunga Gletscher und die Taleinmündung des Lhonakseitental auf die orographisch rechte Flanke des Ghunsa Khola zwischen der Ortschaft Lhonak und der Ansiedlung Kanbachen. Markant treten die - aus diesem flachen Blickwinkel besonders gut zu erkennenden - Änderungen der Wölbung im Hangquerprofil in Erscheinung. Wiederum steht ein hangparallel angeordneter Formenschatz aus Schliefflächen, Dreieckshängen und Unterschneidungskanten sowie Aufschlüssen in moränenähnlichem Material dem vertikal angeordneten Formenschatz jüngerer Gletschervorstöße gegenüber, u.a. belegt durch den Vorstoß des Ramdan Seitentalgletschers (orographisch rechts; (◆) in ca. 5000m), der eine flache Laterofrontalmoräne in das Haupttal schiebt.

Im Vordergrund von **Photo 102** ist ein jüngerer Ufermoränenfirst zu erkennen (**Abbildung 25, Abbildung 26**), der links vom rezenten Gletscher unterschritten wird und gegen dessen Außenhang der flache, den Standort bildende, Schwemmfächer geschüttet wurde.

Die zeitliche Reihenfolge der Genese der Formen ist hierdurch belegt. Der Ufermoränenwall muß älter sein als die fluviale Akkumulationsform, da deren äußerstes Niveau auf den Ufermoränenaußenhang eingestellt ist. Selbst wenn der Schwemmfächer auf den Grat der unterschrittenen Ufermoräne eingestellt ist, d.h. gleichsinnig mit der Moräne erodiert wird, macht **Photo 101** deutlich, daß die Annahme der zeitlichen Einordnung trägt, da im orographisch rechts liegenden Aufschluß nur moränisches Material zu erkennen ist.

Die orographisch linke, d.h. die nordexponierte Flanke des Talabschnittes zwischen dem Kangchenjunga und Lhonak (**Photo 104**) ist insgesamt deutlich steiler und weist einen wesentlich schmaleren potentiellen Schuttakkumulationsraum zwischen Flanke und historischer Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers auf als die im Mittel nicht so hohe südexponierte Flanke (**Photo 105, Photo 106**). Ein zur Südexposition vergleichbarer Vegetationsbesatz und damit eine entsprechende Fixierung fehlt in vielen Bereichen der nordexponierten Talflanke.

Photo 105 zeigt einen Ausschnitt aus der bis 6802m hohen, flankenvereisten und nordexponierten Wand, die orographisch links und östlich der Einmündung des Ramdan Gletschers in das Haupttal über den rezenten Haupttalgletscher aufragt. Die Aufnahme erfolgte aus 4850m Höhe. Die das Bild bestimmende Akkumulationsform ist hinsichtlich ihrer Genese in verschiedene zeitliche und morphogenetische Phasen zu gliedern. Die Rahmenbedingungen für diese polygenetischen Vollformen sind wie folgt zu beschreiben: Die stark schuttbedeckte Gletscheroberfläche des rezenten Kangchenjunga Gletschers liegt in diesem Talabschnitt in ca. 4800m Höhe. Der Punkt, der als obere Begrenzung der Akkumulationsform zu verstehen ist, dürfte ca. 800m, d.h. in 5300m Höhe zu lokalisieren sein. Die Flanke ist abschnittsweise vereist - Gletscherzungen als entsprechende Ablationsgebiete fehlen. Die Akkumulationsgebiete verlieren durch Eislawinen, die auf Niveau des Kangchenjunga Gletschers eingestellt sind, an Substanz (vgl. **Photo 106**).

Versteht man den rezenten Gletscher als Erosionsbasis, so ist eindeutig, daß nur sehr kleine Bereiche der Akkumulationsform hinsichtlich ihrer Akkumulation direkt auf die rezente Gletscheroberfläche eingestellt sind. Hierbei handelt es sich zum einen um kleine Schutfächer, deren Akkumulationsfläche direkt mit steiler aufragendem Lockermaterial konektiert sind, sowie um eine die ganze Form vertikal durchschneidende zentrale Rinne (vgl. **Photo 9**).

Für das Verständnis der Genese der Form ist insbesondere der oben genannte Aufschluß in steiler stehendem Lockermaterial von Bedeutung. Lage und Materialzusammensetzung machen wahrscheinlich, daß es sich hierbei um kompaktes moränisches Material handelt, das genetisch als Ufermoräne zu verstehen ist. Der obere, konvexe, fächerförmige Bereich der Gesamtform ist auf den Außenhang der Ufermoräne

eingestellt und erreicht deren First an einigen Stelle nicht. Dies belegt, daß Teile des Fächers gegen den Außenhang dieser Ufermoräne geschüttet worden sind ((→) in **Photo 105**). Für die übrigen Kanten in **Photo 105** ist dies nicht mit der gleichen Deutlichkeit zu erkennen. Bemerkenswert ist, daß der Hauptschuttkegel nicht auf den rezenten Gletscher eingestellt ist und durch diesen auch in allen Bereichen seiner möglichen Stirn nicht unter Schnitten wird. Die Neigung der Kegeloberfläche in Verbindung mit den beschriebenen Ufermoränenresten belegt, daß der Kegel teilweise als Verfüllung eines Ufermoränenseitales eines höheren Gletscherstandes zu verstehen ist. Rechts und links des kegelverdeckten Flankeabschnittes bedecken Schuttschürzen die unteren Flankenpartien.

Zu bedenken ist - vor dem Hintergrund der nur mäßigen Schuttverkleidung der benachbarten Wandfüße - das im Vergleich mit der Größe der Akkumulationsform verhältnismäßig kleine Einzugsgebiet. Dieser Gedanke ist im Zusammenhang mit der Deutung der Genese der obengenannten Schuttschürzen von Bedeutung. In **Photo 11** sind vergleichbare Schuttschürzen am rechten Bildrand zu erkennen. Beide Lokalitäten trennen ca. 3km bis 4km. Der rezente Gletscher liegt nicht direkt am Anstehenden der Flanke an, sondern ist durch eine schmale Ufermoräne vom Fels getrennt. Die Nähe des Gletschers zur Flanke (wenige Dekameter) macht die Bildung einer größeren kegelförmigen Akkumulationsform unmöglich, da diese Formen an ein bestimmtes Verhältnis zwischen vertikaler und horizontaler Distanz gebunden sind (maximaler Haldenhang). In diesem Fall fehlt die horizontale Ausbreitungsmöglichkeit, da der Gletscher den aus der Flanke anfallenden Schutt abtransportiert. Ein Hinweis, der verdeutlicht, daß das Maß der Bedeckung eines Gletschers mit Lockermaterial nicht allein durch die "Produktion" von Obermoräne bestimmt wird.

Zwei Optionen sind hinsichtlich der Genese der Schuttschürzen zur Diskussion zu stellen: Es handelt sich um Reste von Schuttkegeln, die akkumuliert wurden, als kein Gletscher im Tal lag oder selbiger in genügend großer Entfernung vor der Wand lag, oder es handelt sich um eine Verkleidung der unteren Flankenpartien mit moränischem Material einer vorzeitlichen Vergletscherung. Die oben beschriebenen Befunde zu **Photo 105** stützen die letztere Aussage. Zu folgern ist, daß der große, in **Photo 105** dokumentierte Schuttkegel nicht zwangsläufig im Verhältnis zu seinem Einzugsgebiet besonders groß erscheinen muß, sondern daß vielmehr an dieser Stelle das Tal breit genug war, um die Genese eines auf den Außenhang der Ufermoränen eingestellten Schuttkegels zu ermöglichen, der durch die vorzeitliche Ufermoräne armiert wird. Das Fehlen solcher geschützter Schuttkegel macht die Deutung der Schuttschürze (**Photo 11**, **Photo 105**) als Moränenverkleidung zusätzlich wahrscheinlich.

Festzuhalten ist, daß die Lockermaterialbedeckung des Gletschers und damit die Haushaltsbilanz hier durch die Bedeckung des Ablationsgebietes mit moränischem Material älterer Gletscherstände positiv beeinflusst wird. Möglich wäre, daß der rezente

Gletscher im Vergleich zu seinem „Vorgänger“ bei gleichen klimatischen Rahmenbedingungen hinsichtlich seiner Ausdehnung stabiler wäre. Daraus folgt, daß kleinräumige Gletscherschwankungen sind u.U. der Erhaltung des Gletschers förderlich.

Photo 100 zeigt den Konfluenzbereich (in ca. 5100m Höhe) des Kangchenjunga Gletschers und des Nepal Peak Gletschers aus anderer Perspektive als **Photo 11**. Die Aufnahme erfolgte aus ca. 5250m Höhe und belegt Moränenschürzen ca. 100m oberhalb der rezenten Gletscheroberfläche ((••••) **Photo 100**). Eine Zweigliederung dieser Moränenleiste deutet sich morphologisch an, ist aber nicht zu belegen.

Oberhalb der markierten Linie ((••••)) findet sich wenig flächenhaft angelagertes, moränisches Material.

Der Gipfel des walfischrückenförmig geformten Berges im Bildvordergrund ist 5960m hoch. Talauwärts des Vorgipfels setzt 200m unterhalb des Gipfelgrates ein gestreckter, dem Kammverlauf folgender Lockermaterialwall an, der sich talauwärts in zwei Stränge aufteilt. Dieses Lockermaterial bildet das Einzugsgebiet für Muren, die durch entsprechende Murbahnen belegt sind. Die korrespondierenden Murkegel fehlen. Die Muren sind direkt auf die rezente Gletscheroberfläche eingestellt.

Entscheidend für die genetische Interpretation des Lockermaterialwalls ist die exponierte Lage der Form auf dem Rücken einer Vollform im anstehenden Festgestein. Der orographisch links neben der Vollform liegende Karboden war vorzeitig stärker vergletschert, und der in Rede stehende Wall könnte als orographisch rechte Ufermoräne einer solchen lokalen Vergletscherung verstanden werden. Problematisch ist, daß diese Ufermoräne weit oberhalb der für eine solche Vergletscherung anzunehmenden Schneegrenze ansetzen würde. Als charakteristisch für Seiten- und Ufermoränen wird das Merkmal des Einsetzens unterhalb der Schneegrenze angesehen.

Die zweite Möglichkeit ist, daß es sich um eine überprägte Grundmoränendecke handelt, die das Produkt einer vollständigen Eisverfüllung dieses Talabschnittes bis mindestens zur Gipfelhöhe des Vorgipfels (5960m) ist (vgl. dazu die Ausführungen bezüglich des Eispegels im Einzugsgebiet des rechten Rolwaling Gletschers und **Photo 6**).

Die Gesamtform ist als sehr großer Rundhöcker zu verstehen (vgl. KUHLE 1990: Fig. 1, KUHLE geht von einer Eismächtigkeit von 400m bis 600m über der rezenten Gletscheroberfläche aus. Dieser Wert muß zu mindestens 800m bis 900m korrigiert werden.), an dessen Leeseite der Gletscher glazial aufbereitetes Lockermaterial abstreift. Die Interpretation der Vollform als Rundhöcker wird durch die Befunde aus anderen Talabschnitten gestützt und kann als relativ sicher gelten. Hinsichtlich der Ablagerung moränischen Materials oberhalb der Schneegrenze in Lee größerer Vollformen fehlen in der Literatur entsprechende detaillierte Beschreibungen und Hinweise (vgl. **Photo 9**, die Aufnahme zeigt den Rücken aus einer entfernteren Position, so daß die Perspektive für die Bewertung der Höhe der umliegenden Gipfel und damit für Teile des Einzugsgebietes

günstiger ist). Es gilt, in diesem Gedanken den Umstand mit einzubeziehen, daß nicht nur die vorzeitliche Gletscheroberfläche in diesem Talabschnitt deutlich über der Schneegrenze lag, sondern auch der Bereich, in dem die Moräne abgestreift wurde - wahrscheinlich lag auch die Gletscherbasis zu dieser Zeit über der Schneegrenze.

Zusammenfassend ist für den Talabschnitt zwischen dem Talschluß des Ghunsa Khola und Lhonak festzuhalten, daß sich neben der rezenten Vergletscherung Indikatoren für vier weitere Vergletscherungsphasen verknüpfen lassen. Dies sind die relativ eindeutigen historischen Laterofrontalmoränen im direkten Umfeld der Gletscher, ein Gletscherniveau in ca. 4900m bis 5000m sowie ein Gletscherniveau in ca. 5400m bis 5600m. Die Indikatoren für das Ausmaß der letzthochglazialen Vergletscherung lassen sich zur Annahme eines Eispegels im Bereich von Pangpema oberhalb von ca. 6000m verdichten.

2.2.2.1.2 Das Lhonak Khola

Photo 107 zeigt den Konfluenzbereich des Chijima- und des Chabuk-Gletschers (**Kapitel 2.2.1.1**). Die rezenten Ablationszungen sind großflächig mit Obermoräne bedeckt und einige Dekameter unter das Firstniveau der historischen Laterofrontalmoräne eingesunken. Abschnittsweise deutet sich eine Zweigliederung des Ufermoräneninnenhangs an. Diese resultiert aus abrutschenden Ufermoränenpaketen und belegt nicht mehrere Gletschervorstöße. Der Ufermoräneninnenhang der historischen Zungenbeckeneinfassung wird vom rezenten Gletscher unterbrochen (**Abbildung 27**). Orographisch rechts der Ufermoräne ist ein knapp talauswärts des Konfluenzbereiches der beiden Gletscherteilströme einsetzendes Ufermoränenseitental zu erkennen, das talauswärts an Breite gewinnt. Die aus der Flanke akkumulierten Schuttkegel sind auf den Talboden des Ufermoränenseitentales eingestellt und erreichen die Firstkante dieser Ufermoräne nicht. Orographisch links sind die Schuttkörper in weiten Teilen direkt auf den Ufermoränenfirst eingestellt und werden gleichsinnig mit dem moränischen Material unterbrochen und abgetragen. Die erkennbare Winkeländerung des Querprofils im Übergang von Schuttkegel und Moräne stützt diesen Befund. Aufgeschlossen findet sich im unteren Abschnitt des Profils ausschließlich moränentypisches Material ohne erkennbare Sortierung (vgl. **Photo 107**).

Die Zwickelsituationen im Konfluenzbereich zweier Gletscher, soweit dieser unterhalb der Schneegrenze liegt, ist mitunter von besonderer Bedeutung hinsichtlich der Akkumulation von gletscheraufbereitetem Gesteinsmaterial (vgl. KUHLE 1991). **Photo 107** belegt ein Zusammenschieben von moränischem Material in einer solchen Zwickelsituation für den historischen Ufermoränenkomplex und mindestens ein älteres Stadium ((••••) in 5400m) der beiden Gletscher. Der Einfluß des kleinen Hängegletschers zum Zeitpunkt der Akkumulation des hangaufwärtigeren Materials ist als gering zu

bewerten. Das Einzugsgebiet dieses südsüdostexponierten Gletschers erreicht eine mittlere Höhe von 6100m, die ERL liegt in ca. 5600m. **Photo 107** belegt eine unterschrittene, podestartig ausgeformte Rampe, die hinter der dem Haupttalgletscher zuzuordnenden Ufermoräne endet. Der kleine Hängegletscher muß sich schon zu einem Punkt außerhalb der Haupttalufermoräne zurückgezogen haben, als hier der Gletscher noch am First anlag. Hieraus folgt, daß der Hängetalgletscher knapp über der historischen Ufermoräne des Haupttalgletschers geendet hat. Jeder höhere Gletscherpegel im Haupttal würde mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Auflaufen des Hängegletschers auf den Haupttalgletscher führen, das heißt, die Formungswirksamkeit des Hängegletschers hinsichtlich von Akkumulationsformen wäre in diesem Fall gering. Dies gilt bereits für den 5400m Pegel in diesem Talabschnitt, der durch die Moränen in der Zwickelposition der beiden Hauptgletscherzungen gestützt wird. Eine morphologisch in der Vertikalen wirkende Prozeßdynamik des Hängegletschers ginge in eine im wesentlichen durch die Ausprägung horizontaler morphologischer Merkmale gekennzeichneten Dynamik über. Dieser Aspekt ist entscheidend für das Verständnis der Morphologie großer Gletschersysteme oder Eisstromnetze in deren Akkumulationsgebieten. Hierin findet sich die Begründung, warum weniger die großen Endmoränen für den Nachweis weitreichender Eisstromnetze interessant sind, als vielmehr über weite Teile des Talverlaufes verfolgbare gleichsinnige Schlifffgrenzen und Unterschneidungskanten, bzw. Gefälleknicke und -veränderungen im Hangquerprofil.

Photo 10 zeigt ein 360° Panorama über die rezente Gletscherzunge des Lhonak Gletschers. Das Gefälle der Gletscherzunge ist flach, und Hinweise auf jüngste Vorschübe in Form von scharf umrissenen Wällen und Stauchungen älteren Materials innerhalb des historischen Zungenbeckens lassen sich nicht erkennen. Die rechts und links im Bild zu erkennenden Schuttschürzen der Talflanken, die beidseitig in vergleichbarer Hanghöhe ansetzen und orographisch rechts bis zum Talsausgang zu verfolgen sind, können als morphologisch überprägte bzw. umgebaute Moränenreste verstanden werden (vgl. **Photo 108**) (ITURRIZAGA 1999a). Diese ergänzen das durch eine Lockermaterialverkleidung der Flanke im Zwickelbereich der beiden Gletscherteilströme talaufwärts belegte Eisniveau in ca. 5400m (**Photo 107**).

Die sowohl morphologisch als auch durch ihren Vegetationsbesatz kleinräumig gegliederte Endmoräne des historischen Gletschervorstoßes endet in ca. 5000m Höhe und wird durch den rezenten Abfluß des Gletschers aufgeschlossen (**Photo 109**). Die Stirn der Form grenzt sich durch einen markanten Gefällewechsel zum flacher einfallenden Talboden ab.

Orographisch rechts wird die Flanke durch den rezenten Abfluß des Gletschers unterbrochen, und es entsteht ein Aufschluß ((■) **Photo 109**), der durch die Einlagerung

großer, im wesentlichen nicht kantengerundeter Blöcke in eine Feinmaterialmatrix charakterisiert ist. Das Sediment wird als glazigen interpretiert.

Oberhalb dieses Aufschlusses endet ein konkav gewölbter, auf ein Niveau hinter der Arbeitskante des rezenten Abflusses eingestellter Schuttkegel. Diese rückseitige Einstellung belegt die zeitliche Abfolge der Akkumulation der Formen. Das heißt, zunächst muß das glazigene Material sedimentiert worden sein, und im Folgenden wurde Lockermaterial aus der Flanke gegen den Außenhang der Moräne geschüttet. Talwärts dieser Lokalität unterschneidet der Lhonak Khola Abfluß den Hang und führt so zu stärkerem Abtrag; der beschriebene Gefälle- und Wölbungsknick läßt sich mit Hilfe von **Photo 10** talwärts weiterverfolgen. Die Oberkante dieser Formen liegt nur wenige Meter über der oben beschriebenen Ufermoräneneinfassung des rezenten Gletschers.

Orographisch links schließen sich an den Aufschluß talwärts zunächst auf den rezenten Talboden eingestellte Schuttkegel an, die keinerlei auffällige Wölbungsveränderungen zeigen. Ein lokal vergletschertes orographisch rechtes Seitental schließt sich talwärts an (**Photo 108**). Moränisches Material riegelt hier das Seitental zum Haupttal hin ab. Die Firsthöhe dieser "Moränenmauer" korrespondiert mit der Höhe des Niveaus der einsetzenden Schuttschürzen der Flanken und somit mit dem in 5400m im Zwickelbereich der Lhonak Gletscherteilströme akkumulierten moränischen Material. Die Form wirkt frisch, und der Vegetationsbesatz bleibt deutlich hinter dem der sich rechts und links anschließenden Hänge zurück. Ein großer Schwemmkegel belegt die rezente fluviale Zerschneidung der Form. Die günstigere Perspektive in **Photo 110** verdeutlicht die in mehrere Phasen zu gliedernde Genese der Form. Im äußersten orographisch linken Teil des Seitentales befindet sich ein konvex gewölbtes, rampenartiges Podest aus Grundmoräne, das morphologisch einer stärker konkav geprägten, breiten Abtragungsfront in der Talausgangsmittle gegenübersteht.

Die Frage ist, ob es sich bei der "Moränenmauer" um eine vorzeitig das Seitental abriegelnde Ufermoräne, d.h. einen rezent aufgeschlossenen älteren Ufermoräneninnenhang handelt, oder ob der Seitentalgletscher entsprechend weit vorgestoßen ist, um am Talausgang eine Podestmoräne zu sedimentieren. Der Umstand, daß die Gesamtform durch einen, die Massenbilanz betreffend, kleineren Akkumulationsprozeß rezent in Teilen überprägt wird, macht letztere Darstellung wahrscheinlicher, so daß angenommen werden kann, daß sich zum Zeitpunkt der Akkumulation des Materials im Niveau der Schuttschürzen das Seitentalgletschersystem mit dem Haupttalgletscher im Sinne eines Eisstromnetzes vereinigt hat. Der Gipfel im Winkel zwischen Haupt- und Nebental, der in diesem Fall eine Zwickelposition einnimmt, ist 5466m hoch und ragt ca. 600m über dem rezenten Talboden auf. Der entsprechende Eispegel dürfte demzufolge unterhalb von 5200m gelegen haben. In diesem Fall gilt es, den orographisch rechten Seitentalgletscher mit einzubeziehen.

Für den gesamten Talabschnitt zwischen der rezenten Satzendmoräne des Lhonak Gletschers (**Photo 109**) und dem Talausgang läßt sich mit Hilfe geomorphologischer Befunde keine weitere Eisrandlage des Haupttalgletschers im Lhonak Khola belegen. Die beschriebenen Indizien stützen dieses Ergebnis und machen wahrscheinlich, daß weitere Eisrandlagen des Lhonak Gletschers bereits im Ghunsa Khola zu suchen wären. Das heißt, sie lägen talauswärts der dann anzunehmenden Konfluenz von Kangchenjunga- und Lhonak Gletscher.

Photo 110 zeigt den Talausgang des Lhonak Khola. Der Standort liegt auf einer fast ebenen, zum Talausgang leicht einfallenden fluvialen Akkumulationsfläche, die leeseitig gegen die am äußersten linken und rechten Bildrand noch zu erkennende vorzeitliche Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers (im Hintergrund ist am rechten Bildrand nachgezeichnet der Nepal Peak zu erkennen, vgl. **Photo 11**) geschüttet wurde. Das Material ist sortiert und klassiert sedimentiert, die Korngrößenverteilung wird bestimmt durch die Fraktionen Grobsand bis Grobkies. Der Anteil der Fraktionen Ton und Schluff ist annähernd null. Taleinwärts nimmt der Anteil größerer Komponenten und feinere Fraktionen deutlich zu, das heißt, die Klassierung des Sediments geht deutlich zurück (**Photo 108**). Das Sediment entspricht dann hinsichtlich der Korngrößenverteilung stärker einer Moräne und weniger eine glazifluvialen Schotterflur.

Der rezente Abfluß erfolgt über eine schmale, wenige Meter breite Rinne zwischen der historischen Kangchenjunga Gletscher Ufermoräne, die hier durch den Abfluß aufgeschlossen wird, und der orographisch rechten Lhonak Khola Flanke.

Die genetische Beziehung zwischen dem Lhonak Gletscher und dem Kangchenjunga Gletscher, d.h. dem Haupttaleisstrom zum Zeitpunkt der Sedimentation der historischen Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers, ist, nicht zuletzt vermittelt durch die glazifluviale und teilweise glazilimnische Vorschüttfüllung im unteren Lhonak Khola, eindeutig bestimmt. Der Kangchenjunga Gletschervorstoß, der zur Akkumulation der das Lhonak Khola abriegelnden Ufermoräne geführt hat, ist nicht mit einem Vorstoß des Lhonak Gletschers zu korrelieren, der die Siedlung Lhonak erreicht hätte. Daraus folgt, daß der Lhonak Gletscher zum Zeitpunkt der Sedimentation der historischen Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers, unter Berücksichtigung der mittleren Einzugsgebietshöhe, nicht tiefer als 4800m hinabreichen konnte. Die obigen Befunde zeigen, daß die historische Lhonak Gletscherzunge bereits in ca. 5000m endete.

Die Morphologie des Talausganges des Lhonak Khola ist geprägt durch das direkte Zusammenspiel des Lhonak- und des Kangchenjunga Gletschers (**Photo 110**), also durch ältere als die historischen Gletscherstände. Die orographisch links am Talausgang steilstehenden Felsnasen belegen ein Unterschneidungsniveau des Lhonak Gletschers bis in mindestens 5000m. Der Vergleich mit **Photo 10** zeigt, daß die Formen durch das Herauspräparieren lithologisch induzierter Strukturen entstehen (vgl. **Photo 101**). Gefälle-

veränderungen, Schliffgrenzen und Dreieckshänge belegen für das Lhonak Khola Eispegel am Talausgang in ca. 5000m und 5400m (**Photo 10**), diese sind über weite Strecken des Talverlaufs zu verfolgen. Die Gletscherbasis der mit Hilfe der Pegel zu rekonstruierenden Gletscher ist auf der Basis der verwendeten Methoden nicht anzugeben, da die Tiefenlinie in diesem Talabschnitt nicht im Anstehenden verläuft. Daraus folgt, daß die vorzeitliche Gletschermächtigkeit nicht rekonstruiert werden kann.

Festzuhalten ist, daß die Eispegel am Talausgang des Lhonak Khola oberhalb von 5000m ein Eisstromnetz aus Kangchenjunga- und Lhonak Gletscher belegen. Für alle Schneegrenzabsenkungen des Lhonak Gletschers unter ca. 5400m, d.h. einer Schneegrenzabsenkung zur rezenten Schneegrenze von ca. 280m, ist ein solches Eisstromnetz wahrscheinlich zu machen.

Die für dieses Seitental des Ghunsa Khola dokumentierten Befunde stützen und ergänzen die Pegelbefunde, wie sie zusammenfassend am Ende von **Kapitel 2.2.2.1.3** ausgewiesen sind. Von wesentlicher Bedeutung ist, daß entgegen der rezenten Situation für Pegelbefunde am Talausgang des Lhonak Khola in ca. 5000m mit einer eisstromnetzartigen Konfluenz des Lhonak Gletschers und des Kangchenjunga Gletschers zu rechnen ist.

2.2.2.1.3 Der Talabschnitt zwischen Lhonak und Kanbachen

Der Talabschnitt zwischen Lhonak und der Siedlung Kanbachen (4080m) am Talausgang des Nupchu Khola und des Khumbarkarna Gletschertales ist im oberen Abschnitt des Haupttales durch eine große Akkumulationsform in Höhe der Alm Ramdan (4400m) geprägt. Das rezente Gletscherende des Kangchenjunga Gletschers liegt einige Dekameter talaufwärts der Alm. Der rezente Ramdan Gletscher, der aus einem orographisch linken Seitental in das Haupttal hineinreicht, trifft nicht auf den Kangchenjunga Gletscher. Die Gletscherzungen werden, wenige Dekameter voneinander entfernt, durch moränisches Material getrennt.

Photo 111 zeigt den talauswärts gerichteten Blick von einem Standort ca. 4,5km östlich von Lhonak auf die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke zwischen Lhonak und Kanbachen. Im Vordergrund der Aufnahme ist die unter das Niveau des Standortes eingesunkene Gletscherzunge des Kangchenjunga Gletschers zu erkennen. Das historische Ufermoränenseitental ist nahezu vollständig, d.h. bis zur mutmaßlichen, aber in dieser Aufnahme nicht zu erkennenden Ufermoränenfirshöhe, mit Lockermaterial verfüllt. Die rezente Unterschneidung des Gletschers führt hier zur Erosion der vorzeitlichen Ufermoräne. Diese bröckelt entweder langsam nach oder rutscht als ganze Scholle ab (**Photo 111**). Die großen Blöcke rechts im Bild stammen größtenteils aus der Flanke bzw. aus dort sedimentiertem und nachträglich umgelagertem moränischem Material hö-

herer Gletscherstände des Haupttalgletschers und der Nebentalgletscher. Die durchgezogene Linie im Bild markiert eine deutliche Veränderung im Profil der Flanke unterhalb der Einmündung des Lhonak Khola. Das Gefälle wechselt hier zwischen 5400m und 5500m von leicht konkav im unteren Flankenabschnitt zu gestreckt bis zum Gipfelaufbau. Talauswärts dieses Abschnittes und oberhalb der Alm Ramdan läßt sich diese Gefälleveränderung nicht belegen. Hier überwiegt der formungswirksame Einfluß der lokalen Vergletscherung eines kleineren orographisch rechten Seitentales (**Photo 89, Photo 112**). **Photo 113** zeigt im Bildhintergrund die orographisch rechte Flanke des Ghunsa Khola zwischen Lhonak und Kanbachen. Die obere Linie (—) markiert die oben genannte Gefälleveränderung im Querprofil der Flanke (vgl. (—) **Photo 111**); die zweite Linie (....) kennzeichnet einen zweiten, annähernd parallel verlaufenden Gefälleknick, der ca. 400m über der Tiefenlinie liegt. Das Talquerprofil ist trogtalförmig. Die obere Grenze dieses Troges liegt in ca. 5200m oberhalb der historischen Ufermoräne des Khumbarkarna Gletschers ((♦) Firsthöhe 4250m), d.h. ca. 1200m über dem rezenten Talboden (vgl. **Photo 114**).

Zunächst soll das Gletscherende des rezenten Kangchenjunga Gletschers näher beschrieben werden. Das Ablationsgebiet endet als flache, mit Obermoräne bedeckte Zunge zwischen Ramdan und Lhonak in ca. 4530m bis 4500m wenig talaufwärts der Einmündung des Ramdan Gletschers, der in vergleichbarer Höhe den Talaustritt seines Seitentales knapp erreicht. Die rezenten und die jüngsten vorzeitlichen Moränenreste bilden einen komplizierten, ca. 500m langen und sich über die gesamte Talbreite erstreckenden Komplex. **Photo 103** zeigt die rezente Haupttalgletscherzunge und das Gletscherende (♦) ca. 200m oberhalb der Einmündung eines kleinen orographisch rechten Seitentales in Höhe der Alm Ramdan.

Photo 115 zeigt das Gebiet in einer talaufwärts gerichteten Perspektive. Rechts im Bild liegt die Einmündung des Merratales ((*), vgl. **Photo 89, Photo 90**), eines steilen schmalen Seitentales, das unterhalb des Merra Peaks (6334 m) einsetzt. Der Merra Peak fällt besonders durch das ausgeprägte Kar auf, das den Gipfelaufbau bildet. Der Merra Gletscher wird im wesentlichen aus den steilen Karflanken durch Eislawinen ernährt und bildet eine steile Zunge, die im unteren Abschnitt nur noch als regenerierter Gletscher zu verstehen ist. Deutlich ist der gestreckte von orographisch links in das Haupttal einbiegende Wall zu erkennen ((*) in **Photo 115**), der sich zunächst gerade auf die Talbodenlinie zuschiebt und dann leicht nach talauswärts abknickt. Unterbrochen wird der gestreckte First durch eine etwas flachere, nach außen weniger steil einfallende und weniger vegetationsbesetzte Form, die den Wall überlaufartig überprägt und deren Begrenzung zum Talboden in ca. 4200m liegt. Dieser Komplex wird als Ufer- bzw. Endmoräne des Merra Gletschers (vgl. **Photo 90**), der sich zeitweise seitlich über sein Zungenbecken hinausgeschoben hat, gedeutet. Das kleine, scharf zu umgrenzende

Einzugsgebiet macht die Bestimmung einer vorzeitlichen Schneegrenze wenig problematisch, diese lag ca. 80m unter der rezenten Schneegrenze. Die lehrbuchhaft wallartige Form des Moränenkomplexes macht es wahrscheinlich, daß es sich zum Zeitpunkt der Akkumulation bei dem Merra Gletscher nicht um einen regenerierten Gletschertypus gehandelt hat. Für diesen Gletschertyp wäre bei einem so kleinen Einzugsgebiet und der kurzen Ablationsgebietsdistanz die Bildung eines sehr dynamischen regenerierten Gletscherteils, der eine entsprechende Wallmoräne genetisch bedingen würde, unwahrscheinlich.

Talaufwärts des Moränenkomplexes des Merra Gletschers schließt sich ein weiterer Moränenkomplex an ((◆) in **Photo 115**), der durch den rezenten Abfluß des Kangchenjunga- und des Ramdan Gletschers zerschnitten wird. Der Aufschluß ist in der gesamten Höhe geprägt durch große, zum Teil kantengerundete Blöcke, die in eine Feinmaterialmatrix, welche die Fraktionen Ton bis Sand umgreift, eingebettet sind. Hinzu kommen kleinere Areale mit eindeutig fluvial sortiertem und sedimentiertem Material.

Dieses Akkumulationsgebiet ist, wie **Photo 89** zeigt, in mehrere Teile zu differenzieren. Links im Bild ist die Alm Ramdan zu erkennen, rechts die Einmündung des Ramdantales. Der Blick richtet sich über einen Winkel von ca. 200° auf die orographisch linke Flanke des Ghunsa Khola. Deutlich zu erkennen sind die Eisabbrüche oberhalb der Zunge des regenerierten Merra Gletschers. Der Standort liegt ca. 200m talaufwärts der in **Photo 115** gezeigten Stufe im Tal. Die Gletscherenden des Kangchenjunga- und Ramdan Gletschers liegen deutlich eingesunken unterhalb des Niveaus dieser Fläche.

Quasi parallel zur orographisch linken Flanke verläuft eine aus dem Ramdantal einbiegende Wallstaffel, die talauswärts einfällt und wenig oberhalb der Einmündung des Merra Gletschers endet (**Photo 89, Photo 90**). Der orographisch rechten Talseite fehlt eine solche Wallstaffel. Das Gebiet ist auf der gesamten Talbreite in flachere Wälle, Flußeinschnitte und flache Akkumulationsbereiche gegliedert, das Terrain wirkt insgesamt unruhig. Für die genetische Interpretation ist insbesondere der orographisch links im Talgefäß liegende Wall von Bedeutung. Diese aus Lockermaterial aufgebaute Vollform ragt einige Dekameter über die sie umgebende Fläche auf und ist durch eine Abflußrinne von der Flanke getrennt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann es sich um die orographisch linke Ufermoräne eines vorzeitlich größeren Ramdan- oder Kangchenjunga Gletschers handeln; das Einbiegen der Wallform aus dem Ramdan Nebental in das Haupttal belegt, daß es sich um eine Moräne des Ramdan Gletschers handeln muß. Die verschiedenen Niveaus deuten auf verschiedene Stadien hin, d.h. auf kleinräumige Gletscherschwankungen. **Photo 90**, der Blick richtet sich hier aus einem orographisch rechten Seitental des Ghunsa Khola (siehe **Photo 89**) in das Ramdan Tal (im Bildhintergrund ist der Kanbachen (7902m) zu erkennen), zeigt, daß diese Wallmoränen im

Ramdantal weiter zu verfolgen sind und sich eindeutig von den Moränen des Merra- und Kangchenjunga Gletschers differenzieren lassen.

Ein orographisch rechts im Talgefäß liegendes Gegenstück zu dieser Ufermoränenstaffel fehlt sowohl im Ramdantal an der orographisch rechten Flanke in Höhe des Talausganges (**Photo 89**) als auch im Ghunsa Khola. Der Moränenaufschluß (■) außen rechts in **Photo 116** kann nicht eindeutig als Ufermoränenrest interpretiert werden, da nicht auszuschließen ist, daß es sich um Grundmoräne oder aus der Flanke verlagertes moränisches Material handelt.

Da der rezente Ramdan Gletscher und der rezente Kangchenjunga Gletscher bei ungefähr gleicher durchschnittlicher Einzugsbereichshöhe die gleiche Höhe der Eisrandlage erreichen, läßt sich vermuten, daß dies für kleine vorzeitliche Gletscherschwankungen und somit kaum veränderter Morphologie der Gletscherzunge auch galt. Die orographisch rechte Ramdan Gletscher Ufermoräne, die zu der oben beschriebenen linken Ufermoräne passen würde, kann daher nur als Mittelmoräne von Kangchenjunga- und Ramdan Gletscher verstanden werden und ist, ihren Verlauf in der Talmitte betreffend, nicht eindeutig zu identifizieren. Eine vorzeitig in vergleichbarer Höhe liegende orographisch rechte Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers ist indessen nicht zu belegen. Ein Teil des rezenten Abflusses des oberen Ghunsa Khola verläuft in diesem Talabschnitt direkt unterhalb des Anstehenden der orographisch rechten Flanke, so daß die entsprechende Formenerhaltung in diesem Abschnitt schlecht ist. Der rezente Abfluß schließt jedoch abschnittsweise moränisches Material auf ((■) **Photo 116**: Die Aufnahme zeigt die ungegliederte Fläche unterhalb des Talausganges des Ramdantales, im Bildhintergrund ist der Tanga Gipfel (6433 m) zu erkennen).

Ein großer Teil dieses Abflusses stammt aus dem Einzugsgebiet des Lhonak Gletschers, so daß die Frage nach dem Verhältnis des Lhonak Gletschers zum Kangchenjunga Gletscher von besonderer Bedeutung ist: Erreicht das Lhonak Gletschersystem das Haupttal und konfluiert es mit dem Kangchenjunga Gletscher, so bildet sich ein kleines Eisstromnetz, das vornehmlich über das Gletscherende des Haupttalgletschers entwässert wird. Vereinigen die Eisströme sich nicht, so ist aufgrund der oben beschriebenen Geländesituation an der Einmündung des Lhonaktals in das Haupttal damit zu rechnen, daß das Lhonak Gletschersystem quasi flankenparallel durch das rechte Ufermoränen-seitental des vorzeitlichen Haupttalgletschers entwässert wird und hier im Zuge des niederschmelzenden Eises stark unterschneidend und erodierend auf den Moränenwall einwirkt. Dies entspricht in abgeschwächter Form der heutigen Situation.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß in diesem Talabschnitt der historische Moränenkomplex des Kangchenjunga-, des Ramdan- und des Merra Peak Gletschers im Bereich der Taltiefenlinie reliefbestimmend ist. Flankenseitig oberhalb dieses Moränenkomplexes lassen sich morphologische Indikatoren für eine weitere Gletscherausdehnung

in verschiedenen talfüllenden Niveaus verfolgen. Wenige Dekameter oberhalb der historischen Kangchenjunga und Ramdan Moräne belegen Ufer- und Grundmoränenreste eine Eisfüllung bis in dieses Niveau und damit die Konfluenz von Ramdan Gletscher und Kangchenjunga Gletscher. Darüber hinaus finden sich zwei Niveaus glazialer Überprägung in ca. 5400m und 4600m (im mittleren Teil des Talsegmentes).

2.2.2.1.4 Ein orographisch rechtes Seitental westlich des Lhonak Khola und nördlich von Ramdan

Neben dem Kangchenjunga Gletscher, dem Lhonak Gletschersystem, dem Ramdaneinzugsgebiet und der Eigenvergletscherung des Merra Peaks ist ein namenloses Einzugsgebiet der orographisch rechten Haupttalflanke im talauswärtigen Anschluß an das Lhonak Gletscher Einzugsgebiet für die Morphologie der Alm Ramdan von Bedeutung. Der Talausgang dieses Einzugsgebietes liegt rechts oberhalb von Ramdan (**Photo 89**). Ca. 3km taleinwärts enden die rezenten Gletscher in ca. 5300m Höhe (**Photo 112**, der Standort des Betrachters liegt in ca. 5050m auf einem steil talauswärts einfallenden Lockermaterialpodest bzw. einer Lockermaterialrampe). Die mittlere Einzugsgebietshöhe der rezenten Gletscher berechnet sich zu 5900m; der höchste Gipfel im Talschluß ist 6097m hoch. Rechts in **Photo 112** ist die Blankeiszunge eines orographisch linken Gletscherteilstromes zu erkennen, die ca. 100 Höhenmeter oberhalb des Wandfußes einer Steilstufe im Anstehenden endet. Der im Bild linke Talabschnitt ist deutlich flacher geneigt. Der Eiskörper endet bei gleicher mittlerer Einzugsgebietshöhe der Gletscher taleinwärtiger. Getrennt werden die beiden Gletscherteilströme durch einen Lockermaterialwall, der in ca. 5000m Höhe endet und fließend in ein Moränenpodest übergeht, d.h. flach ausläuft und zu den Talseiten hin leicht umbiegt. Durch die Kombination dieser Mittelmoräne mit gleichsinnig einfallenden Wällen an der rechten und linken Talflanke, dem ungegliedert reliefierten, einer Satzendumoräne entsprechenden Gelände zwischen den Wällen und dem Lockermaterialpodest, wird der Standort des Betrachters als vorzeitliche (historische) Eisrandlage verständlich. Wobei es wahrscheinlich ist, daß sich beide Gletscherteilströme - getrennt durch eine Mittelmoräne - gleichsinnig und annähernd gleich weit talauswärts vorgeschoben haben. Dies steht in keinem Widerspruch zu der aktuellen Lagebeziehung der Gletscherenden. Die Gletscherenden erreichten zu diesem Zeitpunkt ein Niveau in ca. 5050m Höhe (Höhe der Firstkante, die Gletscherbasis hat einige Dekameter tiefer gelegen).

Der obere Teil des orographisch linken Zungenbeckens wirkt deutlich weniger konsolidiert als der untere, d.h. dem Standort des Betrachters in **Photo 112** nähere Teil. Der Mittelmoränenwall ist hier etwas höher, und das Material der Innenhänge der Ufermoränen ist farblich von den talauswärtigen Abschnitten zu unterscheiden, das heißt, die Gesteinsoberfläche ist nicht so stark verwittert. Die wechselnden Neigungswinkel des

Innenhanges der orographisch rechten Ufermoränen belegen, daß das frischere Aussehen der Innenhänge nicht durch die Unterschneidung und die damit verbundene Denudation der Ufermoräneninnenhänge zu erklären ist (siehe **Photo 112** am rechten Bildrand: deutlich wird, daß es sich um eine Ufermoräne handeln muß, da die Form flankenseitig durch ein Tal zum Schuttkegel hin begrenzt wird. Der Schuttkegel schüttet leeseitig in das Ufermoränental. Die Ufermoräne setzt wenige Dekameter unterhalb des rezenten Endes der Gletscherzunge an. Hierin ist ein Hinweis auf die Lage der bezüglichen Schneegrenze zu sehen.). Des weiteren ist auf die sehr kleinen Schuttakkumulationen unterhalb der Steilstufe zu verweisen. Die Größe solcher Akkumulationsformen unterhalb von dergestalt herabhängenden Gletscherzungen ist nicht in ein quantitatives System umzusetzen, kann jedoch einen Hinweis auf die Aktivität der Gletscherzunge liefern. Die Schuttanlieferung eines aktiven, in seiner derzeitigen Position langfristig stabilen Gletschers dürfte in dieser Lage zur Bildung einer podestartigen Rampe unterhalb der Steilstufe führen, die an ihrer Basis durch die sedimentologischen Eigenschaften eines Schuttkegels bzw. einer Schuttschürze gekennzeichnet ist (vgl. **Photo 30**). In Kombination mit den oben genannten Eigenschaften des bezüglichen Zungenbeckens ist hier anzunehmen, daß das frischere, etwas tieferliegende Zungenbecken eine zweite Eisrandlage markiert, wobei der Gletscher die Steilstufe um wenige 100m überwand und aufgrund der Übersteilung im letzten Zungenabschnitt übertiefend erodierte. Die Höhenlagen der zwei diagnostizierten Eisrandlagen unterscheiden sich höchstens im Dekameterbereich und liegen beide im Bereich historischer Gletscherschwankungen.

Die besondere Situation am Gletscherende dieser beiden Eisrandlagen macht die Deutung der Eisrandlage problematisch. Im jüngeren Fall wirkt der Gletscher aufgrund seiner Gesamtlänge eher übertiefend als akkumulierend. Für den älteren Fall gilt dies nicht. Der Gletscher bildete hier sein eigenes Podest, dies führt zu einer längeren Gletscherzunge bei gleicher Einzugsgebietshöhe, da der Gletscher weniger schnell in wärmere, d.h. tiefere Lagen vordringt. Der Umstand der größeren Fläche ist in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen. Der schnell vordringende übertiefende Gletschertyp ist in diesem Fall kürzer und taleinwärtiger gelegen als der ältere Gletscher, der jedoch akkumulierend wirkt. Die Einsenkung der Schneegrenze kann dabei annähernd gleich sein, da die Eisrandlage in gleicher Höhe liegt. Dieser Problemzusammenhang verschärft sich mit der Dimension der zu berücksichtigenden Gletscher und ist nicht zwingend aufzulösen.

Talauswärts stützen glazial überschleiffene, konvex gewölbte Partien im Anstehenden (**Photo 117**) der orographisch linken Talflanke die Annahme vorzeitlich deutlich weiter talauswärts reichender Gletscher. Einzelnen Reliefausschnitte, die, wie in **Photo 118** ge-

zeigt, erst vor kurzer Zeit vom Lockermaterial befreit worden sind, sind durch glazigene Schrammen gekennzeichnet, die eine talauswärts gerichtete Eisbewegung belegen.

Große Teile beider Talflanken sind mit Lockermaterial verkleidet, dessen Korngrößenverteilung alle Fraktionen zwischen Ton und Block umgreift. Das Lockermaterial wird an weniger exponierten Stellen durch die Vegetation fixiert. Vereinzelt bilden sich Runsen und Steinschlagrinnen, an die sich kleine Schuttfächer anschließen, die zum Teil aus umgelagerter Moräne aufgebaut sind (**Photo 89**). Die durchgezogene Linie in **Photo 89** markiert einen Wechsel im Profil der Flanke. Oberhalb dieses Wechsels ist der Grad der Verkleidung der Flanke mit glazigenem Lockermaterial eher gering. Der Grat, der das Lhonak Gletscher Einzugsgebiet von diesem Nebental trennt, verläuft oberhalb von ca. 5000m steil und schroff und verflacht sich talauswärts unterhalb von 5000m deutlich (**Photo 89**). Der oberflächennahe Materialwechsel von Anstehendem zu Lockermaterial ist in diesem Fall verknüpft mit einer markanten Veränderung der Morphologie der Flanke, wobei die Veränderung der Morphologie nicht auf das Lockermaterial zurückzuführen ist, da es sich nur um eine geringmächtige Decke handelt, die stellenweise durch das Anstehende unterbrochen wird. Der untere Abschnitt des Seitentalausganges ist hingegen sehr steil und annähernd schuttfrei.

Diese Formen lassen sich mit der beschriebenen Morphologie der orographisch rechten Haupttalflanke oberhalb dieser Lokalität zwanglos in Beziehung bringen. Sowohl das Niveau der Zurundung der Flanke als auch die nach oben aussetzende Verkleidung der Flanke mit Lockermaterial fügen sich zu einem Bild zusammen, das eine Gletscherbedeckung dieses Talabschnittes durch den Haupttalgletscher bis in ein Höheniveau um 5000m wahrscheinlich macht. Die ausgewiesene Steilheit des unteren Flankenabschnittes kann dabei genetisch nicht in direkten Zusammenhang mit der Gletscherbewegung des vorzeitlichen Kangchenjunga Gletschers gebracht werden. Diese Form wird als Unterschneidungsform des Seitentalgletschers verstanden, wobei sich bis an die obere Kante des steilen Abschnittes des Talquerprofils polierte und gekritzte Flankenpartien ausmachen lassen. Anhand der Sedimente und Morphologie am Talausgang des Seitentales ist auf der Basis der geomorphologischen Analyse nicht eindeutig festzustellen, ob diese Unterschneidung durch einen Teilgletscher eines Eisstromnetzes erfolgte, oder ob beide Gletscher zum Zeitpunkt der Unterschneidung keine nennenswerte Verbindung hatten. Es ist jedoch möglich, deduktiv eine Wahrscheinlichkeit abzuleiten. Aufgrund der Einzugsbereichshöhe erscheint ein bis auf den Talboden des Ghunsa Khola reichender Nebentalgletscher unwahrscheinlich, wenn nicht gleichzeitig der Kangchenjunga Gletscher deutlich talauswärtiger endet. Das heißt, die Konfluenz beider Gletscherteilströme zu einem Eisstromnetz ist wahrscheinlich, wobei die Gletscheroberfläche in diesem Fall dem Akkumulationsgebiet des Gletschers zuzuordnen wäre.

Die Befunde aus diesem namenlosen Nebental ergänzen die hohen Pegelbefunde aus dem Haupttal und stützen die Annahme eines hochglazialen Eisstromnetzes mit einer Eisoberfläche oberhalb von 5400m in diesem Talabschnitt. Die differenzierte Betrachtung der historischen Gletscherstände in diesem kleinen Tal verdeutlicht die Komplexität der Eisausbreitung in Abhängigkeit vom dem Gletscher zugrunde liegenden Relief und verdeutlicht zusätzlich den vertikal überprägenden Einfluß der lokalen Vergletscherung auf die Haupttalflanke, der hier die Indikatoren für das Ausmaß der stärkeren Vergletscherung des Haupttales zerstört.

2.2.2.1.5 Der Abschnitt zwischen Ramdan Moränenkomplex und Kanbachen

Südwestlich des Ramdan Moränenkomplexes schließt sich ein ca. 3km langer Talabschnitt des Ghunsa Khola an, der im Bereich des Talbodens morphogenetisch eng an die Morphologie im Bereich der Einmündung des Khumbarkarna Khola Gletschers gekoppelt ist (**Photo 119, Photo 120**). Der Talboden ist in Folge der Aufstauung des Abflusses des Ghunsa Khola durch die Khumbarkarnamoräne (s.u. nächstes Kapitel) auf breiter Fläche mit glazifluvialen Sediment verfüllt. Auf beiden Talseiten finden sich Ufermoränenreste, die ca. 50m bis 100m über den rezenten Talboden aufragen. Die Schuttschürze der orographisch linken Talflanke des Talabschnittes ist auf ein Niveau oberhalb dieser Ufermoräne eingestellt. Die Moränenreste machen, im Verbund mit den für höhere Talabschnitte beschriebenen Moränenresten, einen Ghunsa Khola Gletscher wahrscheinlich, der bis mindestens wenige Dekameter talaufwärts von Kanbachen gereicht haben muß und dessen Zungenoberfläche unter der des rezenten Ramdan und Merra Gletschers gelegen haben muß. Hier ist ein Hinweis auf die Verlängerung von Ablationszungen in Abhängigkeit vom der Zunge zugrunde liegenden Relief zu erkennen (vgl. **Kapitel 1.6**). Der wahrscheinlich bis südlich Kanbachen herabreichende Ghunsa Khola Gletscher war nur ca. 3km bis 4km länger, lag aber tiefer im Talgefäß. Die Länge und Breite der historischen Zungenbeckeneinfassungen des Kangchenjunga- und des Ramdan Gletschers sind genetisch eng an die älteren Moränen gebunden (vgl. **Photo 9**) bzw. von ihnen determiniert. Letztere kanalisieren die Gletscherzungen in einem schmaleren Talgefäß und erhöhen den Talboden, das heißt, die relativ flachen Ablationszungen der rezenten großen und flachgeneigten Talgletscher resultieren nicht zuletzt aus der Aufhöhung der Taltiefenlinie durch die Grundmoräne der älteren Vergletscherung. Dies gilt es besonders zu berücksichtigen, wenn das Verhältnis der horizontalen Ausdehnung des älteren und des historischen Gletscherstandes des Kangchenjunga Gletschers beurteilt wird. Die horizontale Ausdehnung des historischen Gletscherstandes gewinnt gegenüber der vertikalen Dimension an Bedeutung.

In diesem Talabschnitt nachvollziehbare Grund- und Ufermoränenreste ergänzen die Befunde, die oberhalb des Ramdankomplexes beschrieben wurden und die auf einen Gletscherpegel im Dekameterbereich oberhalb der historischen Kangchenjunga Endmoräne hinweisen. Diese Moränen weisen auf eine ERL eines Ghunsa Khola Gletschers talauswärts nahe Kanbachen hin.

2.2.2.1.6 Geomorphologische Indikatoren im Talabschnitt des Ghunsa Khola zwischen Kanbachen und Ghunsa

Der Talabschnitt des Ghunsa Khola zwischen den Siedlungen Kanbachen (4080m) und Ghunsa (3407m) wird morphologisch stark durch die Einmündungen des Nupchu Khola, des Khumbarkarna Tales und des Naphinda Khola geprägt (**Photo 121**). Zunächst richtet sich daher das Augenmerk auf diese Seitentäler.

Das Nupchu Khola ist ein orographisch rechtes Seitental, an dessen Talausgang die Siedlung Kanbachen liegt. **Photo 122** zeigt das untere Nupchu Khola und den westlichsten Teil des Talschlusses; **Photo 94** bietet einen Überblick über das östliche obere Einzugsgebiet des Nupchu Khola.

Die rezente Vergletscherung reicht nicht unter 5000m herab und wird im direkten Vorfeld der Gletscherzungen von kleinräumig gegliederten, historischen Zungenbecken eingefasst, deren talauswärtigste Firstteile im Bereich von 4800m liegen und deren Basis etwa in 4600m fußt (**Photo 123**, **Photo 93**). Das Einsetzen der historischen Laterofrontalmoränen deutet auf eine Höhe der entsprechenden Schneegrenze zwischen 5300m und 5350m hin, so daß von einer mittleren Absenkung der Schneegrenze im Dekameterbereich auszugehen ist. Wesentliche Indizien für höhere Gletscherpegel (zwischen 5000m bis 5200m und 4200m bis 4400m) in dem im unteren Talabschnitt trogförmig angelegtem Nupchu Khola lassen sich unter anderem **Photo 122** ((—), (·—·)) entnehmen. Durch eindeutige Endmoränen belegte Eisrandlagen zwischen den historischen Zungenbeckeneinfassungen und dem Talausgang, insbesondere im Talabschnitt zwischen 4500m und 4100m, finden sich nicht. MEINERS (1999: Photo 28) interpretiert eine Akkumulationsform aus glazial aufbereitetem Sediment im Bereich von 4470m nahe der Tiefenlinie als neoglaziale ERL eines lokalen Nupchu Gletschers und verknüpft diese vermeintliche Moräne mit einer Schneegrenzabsenkung von kleiner 400m. Nicht weniger wahrscheinlich ist, daß es sich hierbei um einen Teil des Fußes einer älteren Moränenrampe der Tanga Ostflankenvergletscherung handelt, der verschachtelt ist mit verstürztem, glazial aufbereitetem Material aus einem Einzugsgebiet orographisch links oberhalb der von MEINERS (1999) beschriebenen Akkumulation. Die Steilheit der orographisch linken Nupchu Khola Flanke in diesem Talabschnitt im Bereich zwischen der Tiefenlinie und der 5000m Isohypse bzw. der in ca. 5000m liegende scharfe

Gefälleknick stützt diese Überlegung. Eine lokale Vergletscherung dieses hängenden Seitentales drückt für Eisrandlagen unterhalb der 5000m Isohypse glazigen aufbereitetes Material in das Haupttal (**Abbildung 28**). Dieses verzahnt sich hier mit der älteren Moräne des Tanga Gletschers (**Photo 122**).

Evidenzen für deutlich höhere Gletscherpegel finden sich im gesamten mittleren und unteren Nupchu Khola. Das Talquerprofil ist trogförmig, die Flanken sind übersteilt. Flankenschliffe und Dreieckshänge, deren Orientierung bzw. Anordnung der Taltiefenlinie folgt, sowie flächenhaft akkumulierte Grundmoräne bis in Höhen über 4900m im Bereich des Talausganges belegen Eispegel einer das Tal ausfüllenden Vergletscherung bis über 5000m (**Photo 122**). Die differenzierte Einordnung der Befunde kann nur in Abhängigkeit von der Beschreibung der morphologischen Indikatoren aus dem Ghunsa Khola und dem Khumbarkarna Tal erfolgen. Dies gilt auch für die Ufermoränen an beiden Seiten des Talausgangs des Nupchu Khola oberhalb der Siedlung Kanbachen (**Photo 122, Photo 124**). Diese belegen zwei Eisströme, deren ERL außerhalb des Nupchu Khola gelegen haben müssen und deren Eisoberfläche am Talausgang des Nupchu Khola in mindestens 4200m und in 4400m gelegen hat.

Das nur ca. 12km lange Khumbarkarna Khola, ein orographisch linkes Seitental des Ghunsa Khola, mündet in ca. 4000m Höhe und ca. 1km südlich des Talausganges des Nupchu Khola in das Haupttal. **Photo 91** und **Photo 93** zeigen den Talschluß und einen erheblichen Teil des rezenten Gletschereinzugsgebietes.

Der First der historischen Zungenbeckeneinfassung des Khumbarkarna Gletschers liegt im Ghunsa Khola in ca. 4125m Höhe, d.h. ca. 140m oberhalb der Taltiefenlinie des Ghunsa Khola. Die stark schuttbedeckte rezente Khumbarkarna Gletscherzunge ist 40m bis 50m unter das Niveau der Wallumrahmung eingesunken, wobei der Rückzug des Gletschers hinter das talauswärtige Ende des Walles, d.h. die Veränderung der Gletscherlänge, etwa den gleichen Betrag einnimmt. Das in DE PISON et al. (1989:75 oder FRESHFIELD 1903:180, **Photo 125**) publizierte Photo des Khumbarkarna Gletschers von v. SELLA aus dem Jahr 1899 belegt, daß der Gletscher zum Zeitpunkt der Aufnahme an der Firstkante angelegen hat. Talaufwärts läßt sich das historische Zungenbecken in mindestens zwei Phasen gliedern (**Photo 91**), wobei eine entsprechende Schneegrenzabsenkung in Abhängigkeit von der Winkeldifferenz der Gletscherteilgebiete nicht zu bestimmen ist.

Die Steilheit der orographisch linken Khumbarkarna Khola Flanke in Kombination mit der aus der absoluten Höhe resultierenden Vergletscherung führt zu einer Morphodynamik, die den Formenerhalt vorzeitlicher Formen in diesem Flankenabschnitt unwahrscheinlich macht. Demgegenüber finden sich im talauswärtigen Drittel der gegenüberliegenden Flanke Indizien für eine Vergletscherung des Tales bis in ein Niveau

von mindestens 4900m. Im wesentlichen sind dies Flankenschliffe und Flankenpolituren in Kombination mit Grundmoränendecken.

Das Naphinda Khola ist das dritte wesentliche Einzugsgebiet im Talabschnitt des Ghunsa Khola zwischen Kanbachen und Ghunsa (**Photo 121, Photo 119**). Die Taltiefenlinie des Naphinda Khola mündet talauswärts der historischen Khumbarkarna Zungenbeckeneinfassung in das Ghunsa Khola. Das Einzugsgebiet erreicht eine mittlere Höhe von ca. 6000m, die rezenten Gletscher reichen bis maximal 5200m herab. Die historischen Zungenbeckeneinfassungen sind im Bereich der direkten Gletschervorfelder in **Photo 121** (••••) gut zu erkennen. Unterhalb dieser Zungenbecken finden sich nahe der Taltiefenlinie zwischen 4500m und 4200m unterhalb einer Stufe im Talquerprofil zwei Moränenwälle, die eine ältere Eisrandlage in mindestens ca. 4200m belegen. Im Bereich der 4200m Isohypse hängt der Talausgang des Nupchu Khola über dem Ghunsa Khola, das heißt, der Talboden des Ghunsa Khola ist gegenüber dem des Naphinda Khola deutlich übertieft ((→) **Photo 126**). Die zuletzt genannte potentielle Eisrandlage eines vorzeitlichen Naphinda Gletschers liegt im Bereich dieser Steilstufe im Talquerprofil, d.h. über der Tiefenlinie des Ghunsa Khola. Dies wird im Zusammenhang mit der Rekonstruktion der Beziehung der Eisrandlagen des Nupchu-, des Khumbarkarna- und des Naphinda Khola Gletschers von Bedeutung sein.

Für die Morphologie des Talbodens im Bereich des Talausganges des Kanbachtalles ist der Aufbau der historischen Zungenbeckeneinfassung des Khumbarkarna Gletschers in Funktion einer Staumauer von großer Bedeutung (vgl. **Photo 114**).

Die Genese der Schotterflur, die den Talboden in diesem Talabschnitt bildet, ist direkt mit der Khumbarkarna Moräne verknüpft. Der in **Photo 120** zu erkennende Haupttalabfluß mäandriert in Abhängigkeit von der jahreszeitlich schwankenden Niederschlagsmenge, bleibt jedoch im Verhältnis zur Gesamttalbreite dieses Abschnittes auf ein relativ schmales, wenige Dekameter breites Bett begrenzt, das durch die helleren, weitestgehend vegetationsfreien Flächen gekennzeichnet ist. Der Abfluß des Kanbachtalles mäandriert hingegen kaum. Das Talgefälle zwischen dem Fuß des Ramdan Kharka Endmoränenkomplexes und der Ortschaft Kanbachen ist mäßig, die Taltiefenlinie verliert nur wenige Dekameter an Höhe (vgl. **Abbildung 29**: Das Tallängsprofil des Ghunsa Khola ist in dem hier behandelten Talabschnitt durch den Einfluß der Rückstausedimente talaufwärts der historischen Khumbarkarna Laterofrontalmoräne verflacht.).

Der rezente Abfluß des Haupttales unterschneidet den Moränenwall und transportiert einen Großteil des erodierten Materials ab, so daß der belegte Aufschluß in relativ frischem Zustand gehalten wird (**Photo 92, Abbildung 30**). Das Material reicht von Blöcken mit Kantenlängen von über 3m bis hin zur Tonfraktion. Eine Schichtung oder Sortierung ist nicht zu erkennen, das Material liegt in der vollen Aufschlußhöhe dia-

miktisch vor. In **Photo 124** ist diese Zungenbeckeneinfassung markiert. Vervollständigt man den Endmoränenaußenhang im Bereich des gezeigten Aufschlusses mit Hilfe der Annahme, daß das Gefälle des Moränenwalles im Bereich des Zungenendes die gleiche Neigung hat wie im Zungenseitenbereich, dann ergibt sich folgendes Bild: Der Endmoränenwall reichte bis an die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke und ragte mindestens 130m über dem rezenten Talboden auf. Der Abfluß des talaufwärts eisfreien Haupttales dürfte in diesem Fall erheblich gestört worden sein.

Zwei Überlegungen sind hinsichtlich der wahrscheinlichsten Genese der Form anzustellen. 1. Der Haupttalfluß schneidet sich parallel mit dem Vorschieben der Endmoräne ein, oder 2. der Fluß wird gestaut, in Lee der Moräne bildet sich eine fluviale Talfüllung.

Die bisher besprochenen Photos zu dieser Lokalität belegen eine ebene Fläche, die in vielen Bereichen fluvial deutlich überprägt wirkt. Neben Aufschlüssen sortiertem fluvialen Materials finden sich große Blöcke mit Kantenlängen von über 2m, insbesondere im Bereich des Talausgangs des Kanbachentales. Dieses Blockfeld (**Photo 120**) wird durch dem Haupttal folgende, rezent nicht „genutzte“ Abflußrinnen zerschnitten. Der entstehende Eindruck einer dem Haupttalgefälle folgenden Ausrichtung des Blockfeldes kann nicht zwingend mit der Genese in Verbindung gebracht werden, da es sich um eine fluviale Überprägung durch Auswaschung des Feinmaterials handeln kann.

In **Photo 120** (••••) sind insbesondere rechts im Bild große, der orographisch linken Ghunsa Khola Talflanke vorgelagerte Terrassenreste aus Lockermaterial zu erkennen, die in diesem Talabschnitt unterschritten werden und aus vorwiegend kantengebrochenem Material der Fraktionen Ton bis Blöcke aufgebaut sind (vgl. **Photo 127**: Der durch eine Rutschung entstandene dekameterhohe Aufschluß belegt die Einbettung von bis zu mindestens 2m großen Blöcken in eine Feinmaterialmatrix. Soweit die Aufschlußverhältnisse beschreibbar sind, zeigt sich keine eindeutige Schichtung oder Sortierung des Materials in Abhängigkeit von der Korngröße). Entscheidend für die Deutung der Genese ist neben der morphoskopischen Betrachtung der Fraktionen (**Abbildung 31**) die Oberflächengestaltung der orographisch links im Haupttal befindlichen Akkumulationsform ((—) in **Photo 120**). Der mit ca. 32° einfallenden Stirnseite folgt eine scharfe Kante, an die sich hangseitig zunächst eine kleine, flachlagernde Fläche anschließt. Einzelne Schuttkegel und Schutthalden der Flanke sind zu einem großen Teil auf die Fläche eingestellt und erreichen mit ihrer Basis nicht die obengenannte Kante. Der zeitliche Ablauf der Akkumulation des Materials ist somit eindeutig. Das flachlagernde, rechts und links im Tal zu findende Material wird als glazigen verstanden. Die Schuttkegel haben sich nachträglich auf das moränische Material geschüttet. Morphologisch ist nicht eindeutig zu bestimmen, ob es sich um einen Rest einer Ufermoräne oder um eine zerschnittene Füllung des Tales mit Grundmoräne handelt. Der

gestreckte der Taltiefenlinie folgende Verlauf der Terrassenform auf der orographisch linken Talseite und das gleichsinnige Verlaufen des Aufschlusses auf der rechten Seite, machen eine der Haupttaltiefenlinie folgende und für die Sedimentation des Materials verantwortliche Gletscherbewegung wahrscheinlich. Demgegenüber hätten Überlegungen zu stehen, die nicht nur die Verlagerung, sondern auch die Entstehung des in Rede stehenden Materials aus den rückseitigen Hängen wahrscheinlich machen müßten. Sowohl links als auch rechts im Tal fehlen in diesem Abschnitt größere Seitentäler, die entsprechende Gletscher hervorbringen könnten (vgl. demgegenüber die Beschreibung zum Talausgang des Naphinda Khola). Die obige Beschreibung des Khumbarkarna Khola und des Nupchu Khola stützt die Interpretation der Sedimente als glazigen (vgl. ergänzend das in **Photo 92** markierte Niveau glazialer Überprägung).

Eine am orographisch linken Talausgang des Nupchu Khola zu beschreibende wallförmige Akkumulationsform, die taleinwärts des Nupchu Khola in eine Lockermaterialverkleidung des unteren orographisch linken Flankenabschnittes übergeht, dient als weiteres Indiz für die Vergletscherungsgeschichte dieses Talgefäßes (**Photo 120**). Bedeutsam ist für die Interpretation der Wallform als Ufermoränenrest, daß am Übergang der Form vom Nebental in das Haupttal ein freistehender, d.h. haupttalaufwärts nicht durch ein Widerlager gestützter Wall entstanden ist. Dieser erreicht oberhalb der Siedlung Kanbachen (4080m) eine Höhe von 50m bis 120m über dem rezenten Talboden. Der Wall schiebt sich etwa 150m in das Haupttal vor und kappt einen dem Haupttalgefälle entsprechend orientierten Moränenrest. Der haupttalaufwärts gerichtete Hang der letztgenannten Moräne erreicht nicht die Höhe der in **Photo 120** zu sehenden Wallinnenflanke. Abzuleiten ist, daß zum Zeitpunkt der Genese der Ufermoränen am Talausgang des Nupchu Khola in ca. 4200m der Haupttalgletscher nicht das Ghunsa Khola in diesem Talabschnitt über das Niveau der Ufermoräne hinaus ausgefüllt hat (dies ist der umgekehrte Fall zur rezenten Situation am Talausgang des Lhonak Khola). Nicht auszuschließen ist eine Konfluenz der Gletscher des Ghunsa Khola und des Nupchu Khola (vgl. **Photo 119**), wenn die Haupttalgletscherzunge nach links im Haupttalquerprofil verschoben war.

Folgt man der orographisch rechten Nupchu Khola Talflanke von unterhalb des Tanga Gipfels in talauswärtiger Richtung, ist zunächst ein markanter Knick im Hangquerprofil festzustellen. Diese Gefälleverteilung zum unteren Teil der Flanke geht talauswärts in eine sich vom Hang lösende Wallform über (**Photo 124**). Dieser Wall biegt am Talausgang dem Haupttalverlauf folgend talauswärts um und endet, stark zergliedert, nach wenigen Dekametern im Haupttal als flach auslaufender Rücken. Die markierte gestreckte Oberkante ((—) in **Photo 124**) fällt talauswärts ein. Zwischen der markierten Wallform und der durch Lockermaterial großflächig verkleideten Talflanke besteht, nachdem sich der Wall von der Flanke gelöst hat, ein schmales Seitental (oberhalb von

(—) in **Photo 122**). Aufschlüsse insbesondere im letzten, d.h. talauswärtigen Teil der Form sind durch eine diamiktitische Verteilung aller Korngrößenfraktionen gekennzeichnet. Vereinzelt finden sich große kantengebrochene Blöcke, die in einer Feinmaterialmatrix schwimmen. Das Niveau der Oberkante der beschriebenen Form entspricht annähernd dem der für den orographisch linken Talausgang erfaßten Wallform, das heißt, die Kante liegt je nach Abschnitt zwischen 50m und 150m über dem rezenten Talboden.

Die Zergliederung der Form nach dem Einmünden in das Haupttal resultiert aus der Unterschneidung der Abflüsse des Ghunsa Khola und des Nupchu Tales. Die entsprechende Verlagerung der Flußläufe belegt das (**Photo 120**).

Die Wallformen rechts und links oberhalb von Kanbachen sind als Ufermoräneneinfassung einer vorzeitig stärker ausgedehnten Vergletscherung des Nupchu Khola zu interpretieren. Mindestens bis zur Oberkante der äußersten Begrenzung der orographisch linken Seitentalufermoräne (**Photo 120**) hat der Gletscher gereicht. Das exakte Ende der Gletscherzunge ist aufgrund der morphologischen Befunde nicht eindeutig zu fassen. Eine Konfluenz dieses Gletschers mit einem älteren Khumbarkarna Gletscher ist nicht zuletzt aufgrund der Lagebeziehung der rezenten Gletscherenden wahrscheinlich und wird durch die in **Photo 128** ((.....),(—)) hervorgehobene Ufermoräne gestützt. Diese liegt auf sehr kurzer horizontaler Entfernung ca. 100 Höhenmeter unterhalb des Firstes der historischen Ufermoräne des Khumbarkarna Gletschers und ist mit den Befunden für den Ghunsa Khola Gletscher im Talbereich 3km talaufwärts von Kanbachen, d.h. den hier dokumentierten glazifluvialen Schottern ((●) in **Photo 129**), in Beziehung zu setzen.

Photo 130 zeigt einen Ausschnitt der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke, der der Stirn der historischen Khumbarkarna Moräne gegenüber liegt. Die großen, aus verlagertem glazial aufbereitetem Material aufgebauten Schuttkörper sind auf das Niveau der rezenten Taltiefenlinie eingestellt. Das glazigene Ausgangsmaterial stammt dabei teilweise aus dem Naphinda Khola, dessen Talausgang ca. 200m oberhalb der rezenten Ghunsa Khola Tiefenlinie hängt (vgl. **Photo 126**), sowie aus der älteren Eisüberfahrung des Ghunsa Khola Flankenabschnittes zwischen Nupchu Khola und Naphinda Khola.

Das trogförmige Talquerprofil, wie es in **Photo 126** zu erkennen ist, stützt die Annahme einer Eisverfüllung des Ghunsa Khola in diesem Talabschnitt bis in mindestens ca. 5000m Höhe (vgl. **Abbildung 32**).

Talauswärts der Einmündung des Naphinda Khola verläuft die Taltiefenlinie des Ghunsa Khola zwischen 3900m und 3400m auf einer Länge von ca. 7km unterhalb der Baumgrenze. Die rezenten Gletscherenden und die historischen Zungenbeckeneinfassungen der Seitentäler erreichen in diesem Talabschnitt das Haupttal nicht mehr.

Photo 931 verdeutlicht die Lagebeziehung zwischen der historischen Khumbarkarna-moräne und der Einmündung eines nur mäßig vergletscherten orographisch linken Seitentales mit einer maximalen Gipfelhöhe von ca. 6300m, dem Nykla Lachun Khola (vgl. **Photo 132**). Die Flanke ist großflächig mit moränischem Material verkleidet, das durch die rezente Morphodynamik insbesondere im Vorfeld der Seitentalausgänge stark überprägt und verlagert wird. Sowohl die orographisch linke als auch die rechte Flanke (**Photo 129**) sind durch die glaziale Erosion übersteilt und zugerundet. Diese Erosionsformen belegen ein Eisniveau, das mindestens bis über 4900m herausgereicht hat (**Photo 131, Abbildung 32, Abbildung 33**, vgl. KUHLE 1990: Fig. 4). Der rezente Talboden liegt hier zwischen 3600m und 3800m, wobei in Betracht zu ziehen ist, daß die Taltiefenlinie nicht im Anstehenden verläuft und von einer relativ mächtigen Talsohlenfüllung des Haupttales mit Lockermaterial auszugehen ist. Diese ist nicht zuletzt von der Verlagerung der Erosionsbasis durch die sich talauswärts anschließende Einmündung der Yamatri Khola Lateralmoräne determiniert (siehe **Kapitel 2.2.2.1.7**). Deutlich zu unterscheiden sind überprägte oder umgelagerte Moränen (**Photo 133**) von glazifluvialen und fluvialen Talfüllungen sowie von Hangschuttkörpern unterhalb der Flanken ((*) in **Photo 129**).

Die rezente Morphodynamik im Bereich des Einmündungen des Nupchu Khola und des Khumbarkarna Khola wird wesentlich beeinflusst durch die historische Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers, der das Ghunsa Khola abriegelt. Diese junge Moräne überfährt dabei ältere Moränen der konfluierenden Gletscher der Nebentäler und des Haupttales, die gemeinsam eine ERL in ca. 3600m talauswärts von Kanbachen bilden. Die älteren Moränen bilden die Basis für die historische Zungenbeckeneinfassung des Khumbarkarna Gletschers, deren vergleichsweise große horizontale Ausdehnung morphogenetisch an dieses "überhöhte Fundament" geknüpft ist. Die historische Moräne des Khumbarkarna überfährt fast eine ältere ERL des Ghunsa Khola Gletschers.

Des weiteren finden sich Belege für einen Eispegel in ca. 4400m, d.h. ca. 350m oberhalb der älteren Moränen in diesem Talabschnitt und für ein wahrscheinlich dem Hochglazial zuzuordnendes Mindesteisniveau der Haupttalvergletscherung in ca. 5200m, das talauswärts von Kanbachen auf ca. 5100m oberhalb von Ghunsa einfällt.

2.2.2.1.7 Der Talabschnitt zwischen Ghunsa und Hellok

Dieses Kapitel behandelt den Talabschnitt zwischen Ghunsa (3400m), nördlich der Einmündung des Yamatri Tales in das Ghunsa Khola, und der Siedlung Hellok (1600m) im Tamur Khola. Hellok liegt südlich des Zusammenschlusses von Ghunsa Khola, Simbua Khola und Nup Khola (**Photo 134**) im Tamur Khola.

Die Morphologie im näheren Talgefäß um die Siedlung Ghunsa wird bestimmt durch eine aus dem Yamatri Khola einmündende Laterofrontalmoräne, die in dem entsprechenden Kapitel (**Kapitel 2.2.2.1.8**) beschrieben wird.


Die Siedlung Phale (3200m) im Ghunsa Khola liegt unmittelbar talauswärts der Einmündung des Yamatri Khola in das Ghunsa Khola, d.h. wenige Kilometer talauswärts der Siedlung Ghunsa (3407m, Meßpunkt) zwischen 3050 und 3200m Höhe.

Photo 135 zeigt die orographisch rechte Flanke des Ghunsa Khola zwischen der im rechten Bildhintergrund zu erkennenden Ufermoräne des Khumbarkarna Gletschers und der im linken Bildhintergrund zu erkennenden Talschaft von Kyapla (**Photo 136**). Das breite Tal in der Panoramamitte ist das Tal, in dem der Weg zum Nango La (4990m) angelegt ist, das Yanma Samba Khola. Die Gipfelregion der im Bild zu sehenden Flanke erreicht Höhen von bis zu 6140m. Der Talboden des Ghunsa Khola fällt im dokumentierten Abschnitt von ca. 4000m im Bereich der Endmoräne des Khumbarkarna Gletschers bis auf ca. 2600m bei Kyapla ein.

Der Talboden des Ghunsa Khola umgreift eine Vertikaldistanz von ca. 1400m zwischen Kanbachen und Kyapla und eine Vertikale von ca. 1000m zwischen Kanbachen und Lhonak.

Das Talgefälle ist - abgesehen von der Unterbrechung des beschriebenen Endmoränenkomplexes eines vorzeitlichen Yamatri Gletscherstandes - gleichsinnig, ist also nicht durch scharfe Knicke oder Änderungen der Wölbung im Tallängsprofil gekennzeichnet (**Abbildung 29**).

Das Talquerprofil ist in Bereichen, die nicht dem starken morphologisch prägenden Einfluß der Seitentäler unterliegen, als trogtalförmig zu beschreiben (**Abbildung 33**). Insbesondere hangaufwärts der Siedlung Phale zeigt sich im unteren Teil der Flanke, d.h. zwischen 3200m und 4400m, ein konkaves Talquerprofil, das mit einem Knick in konvex gewölbte, höher gelegene Abschnitte übergeht. Unterbrochen wird dieses Flankenprofil durch hervorstehende zugerundete, kleinere konvexe Hangpartien im Anstehenden. Die obere Begrenzung dieser, durch Dreiecksflächen zu ergänzenden glazigenen Formengesellschaft liegt in ca. 4800m ((—) **Photo 135**), d.h. ca. 1600 m über der Sedimentfüllung des Talbodens.

Eine kleinere morphologische der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke oberhalb von Phale tritt besonders in Erscheinung (() in **Photo 135**). Die Form liegt am Talausgang des Seitentales zum Nango La und ist wie folgt zu beschreiben: Einem steil und gestreckt einfallenden Flankenabschnitt folgt eine konvex gewölbte, vorspringende "Felsnase" erheblicher Breite. Talbodenseitig schließt sich eine wiederum steile Flankenpartie an, die eher eine leichte konkave Wölbung annimmt. Die Oberkante des

genannten konvexen Flankenabschnittes läßt sich als quasi horizontales Niveau an der Flanke verfolgen und entspricht etwa der Grenze einer kleineren morphologischen Einheit der Flanke an Punkt (). Dieser Bereich ist geprägt durch eine relativ flach einfallende Fläche leicht konkaver Wölbung, die talbodenseitig mit einem scharfen Knick in eine deutlich steilere Flankenpartie übergeht.

Die rezente Morphodynamik dieses Talabschnittes ist durch fluviale Abtragungsprozesse gekennzeichnet. Große Areale des Talbodens sind durch die dichte Gras- und lichte Waldvegetation fixiert.

Der rezente Abtrag ist konzentriert auf schmale Erosionsrinnen. Diese Erosionsrinnen treten durch die helle Farbe des bergfrisch aufgeschlossenen Festgesteins bzw. des „reaktivierten“ Schuttes und Lockergesteins deutlich als schmale Bänder an den Hängen in Erscheinung. Auffällig ist, daß zum Teil sehr große potentielle Ausräumungsgebiete konektiert sind mit vergleichsweise winzigen Akkumulationsformen.

Beispielhaft sollen hier die zwei Reliefeinheiten (() in **Photo 135**) beschrieben werden. Auffällig ist, daß sich an eine jeweils tief eingeschnittene Runse nur eine sehr kleine bzw. keine Akkumulationsform anschließt, die genetisch mit der Erosionsform Runse direkt in Beziehung zu setzen wäre. Das Runsenende () liegt einige Dekameter oberhalb einer flachen Terrasse (die hellen Punkte im Bild sind Häuser der Siedlung Phale) und geht direkt über in eine steile, jedoch nicht eingeschnittene Flankenpartie im Anstehenden. Daraus läßt sich folgern:

Da die Genese der Runse an den Abtrag von Material gebunden sein muß, aber nicht als reine Lösungsform zu verstehen ist, müßte sich, handelte es sich um einen rezenten Prozeß, dem unteren Ende der Runse eine Akkumulationsform anschließen, oder es müßte der Runsenbasis ein Erosionspotential vorgelagert sein, das die Akkumulation von Material in diesem Bereich unmöglich macht. Der Runse ist weder eine Form vorgelagert, die auf die rezente Taltiefenlinie eingestellt ist, noch eine Form, deren Niveau sich auf den Terrassenkörper bezieht. Zu folgern ist, daß die Genese der Runse vorzeitlich ist und der "Abraum" aus dem direkten Bezugsraum der Runse abtransportiert wurde. Die Genese der Runse ist mit Hilfe der Möglichkeiten der fluvialen Morphodynamik zwanglos zu erklären, bedarf jedoch deutlich höherer Niederschlagsmengen bzw. größerer Abflußmengen als heute, da die Form derzeit inaktiv ist. Es erscheint unwahrscheinlich, daß es wiederum Wasser ist, das den Ferntransport des Materials durch das Haupttal übernimmt, da die Reliefenergie deutlich geringer ist und nur durch unverhältnismäßig größere Niederschlagsmengen kompensiert werden könnte. Wahrscheinlicher ist hingegen eine glaziale Verlagerung des Materials, so daß der beschriebene Befund als Indiz für die vorzeitliche Vergletscherung gewertet werden kann. Der Indikatorwert des einzelnen Befundes ist dabei gering, er stützt jedoch die übrigen Ergebnisse und kann so zur Gesamtanalyse beitragen (vgl. KUHLE 1991:Fig. 22)

Die orographisch rechte Flanke des Yanma Samba Khola weist neben Spuren ihrer lokalen Vergletscherung auch Hinweise eines der Taltiefenlinie dieses Seitentales folgenden Gletschers zwischen 4800m und 4400m auf (**Photo 135**).

Unterhalb der im Mittel ca. 5000m hohen, ostexponierten Talflanke belegen Karseen ((●) **Photo 135**) in 4800m bis 4900m Höhe eine vorzeitliche Schneegrenze unter 4900m. Lokal reichten Gletscherzungen bis mindestens in 4400m hinunter. Die entsprechenden Formen "zerschneiden" Indikatoren für das Ausmaß älterer Vergletscherungen des Yanma Samba Khola, die eine der Taltiefenlinie parallele glaziale Überprägung zwischen 4800m und 4400m belegen. Zunächst kann jedoch ausgehend von einer mittleren lokalen Einzugsgebietshöhe des orographisch rechten Yanma Samba Khola von maximal 4950m und einer potentiellen ERL in mindestens 4400m, eine entsprechende Schneegrenze in ca. 4720m berechnet werden.

Der Talboden des Ghunsa Khola liegt am Talausgang des Yanma Samba Khola in 3240m. Das Tallängsprofil weist Gefällewechsel auf, die die oben beschriebenen Formen ergänzen (**Abbildung 34**) und eine vorzeitliche ERL eines Yanma Samba Khola Gletschers zwischen 4400m und 4300m, in Abhängigkeit der Exposition und der Morphologie der Gletscher, wahrscheinlich machen. KUHLE (1990: Fig. 9) kartiert hier eine ERL, die an eine Absenkung der Schneegrenze von ca. 700m gekoppelt war. Im untersten Taldrittel, d.h. unterhalb von 3800m, ist das Profil durch den Verlauf der Tiefenlinie über einen Schuttfächer geprägt. Der Schuttfächer wird rezent zerschnitten und muß als vorzeitliche Form interpretiert werden, die durch die rezente Morphodynamik umgestaltet wird. Der Schuttkegel ist im wesentlichen aus glazial aufbereitetem Material aufgebaut, das sowohl als Produkt der Vergletscherung des Yanma Samba Khola (jünger) als auch des Ghunsa Khola (älter) verständlich wird (vgl. die Lokalität Na im Rolwaling Khola).

Die für die Flanke direkt oberhalb von Phale beschriebenen Schlifffgrenzen zwischen 4800m und 4600m lassen sich bis zur Einmündung des Chhudatanka Khola verfolgen und fallen hier bis auf ca. 4100m ein ((—) **Photo 137**). Die im Anstehenden angelegte Taltiefenlinie unterhalb dieser Schliffe liegt in 2700m. Die Vertikale zwischen der Schlifffgrenze, die nur eine Mindesteismächtigkeit stützen kann, und dem Anstehenden der Tiefenlinien beträgt hier ca. 1400 Höhenmeter.

6km talauswärts von Phale liegt die Siedlung Kyapla zwischen 2600m bis 2800m. Ein großer Teil der Siedlungsfläche liegt auf einer flach geneigten Schwemmfächeroberfläche ((●) in **Photo 136**), ca. 200m oberhalb der rezenten Tiefenlinie (2600m). Der Schwemmfächer mündet aus dem Chhudatanka Khola, einem orographisch rechten Seitental des Ghunsa Khola, das von einer im Mittel 5000m hohen Kammumrahmung

eingefaßt wird (**Photo 136**). Dieser Schwemmfächer ist nicht auf das Niveau der Tal­tiefenlinie des Ghunsa Khola eingestellt, sondern wird durch einen annähernd tal­tiefenlinien-parallel verlaufenden Wall begrenzt. Der First dieses Wall­es fällt nach tal­auswärts ein und überragt die Tiefenlinie um ca. 200m bis 250m ((••••) **Photo 137**). Unterbrochen wird dieser Wall an zwei Stellen. Tal­aufwärts durch den rezenten Ab­fluß des Chhudatanka Khola und ca. 100m tal­auswärts durch eine ältere, derzeitig trockene Ab­flußrinne, die dem Niveau der Schwemmfächer­oberfläche entspricht. Der Wall beginnt an der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke tal­aufwärts der Siedlung Kyapla in ca. 2900m Höhe. Er endet unterhalb der Siedlungsfläche in ca. 2400m, nahe der rezenten Tiefenlinie des Ghunsa Khola, eine steile Stufe im Tallängsprofil des Ghunsa Khola bildend (zwischen 2200m und 2000m). **Photo 137** zeigt den Innenhang dieser als Ufermoräne (**Abbildung 35**) eines Ghunsa Khola Gletschers zu interpretierenden Wallform. Daraus folgt, daß es sich bei den im Vordergrund zu erkennenden, horizontal lagernden, terrassenartigen Sedimenten um glazifluviale Zungen­becken­füllungen handelt. Die Korn­größen­verteilung und Sortierung des Materials stützen diese Interpretation. Einzelne gröbere Komponenten (Blöcke mit Kanten­längen bis zu 3m) ragen aus dem Sediment. Der Ghunsa Fluß schneidet sich zwischen der orographisch linken Ghunsa Khola Flanke und der Zungen­becken­füllung ein. Die entstehenden Aufschlüsse belegen, daß in der Terrasse ein Material­wechsel von glazigenem zu glazifluvialem Sediment (von außen nach oben innen) einsetzt. Der weitaus größere Teil der Form wird durch moränisches Material aufgebaut. Die glazifluviale Füllung ist wenig mächtig und wirkt morphologisch ausgleichend. Die Kombination aus orographisch rechter Ufermoräne, der Interpretation der Terrasse und der verknüpften Aufschlüsse stützt die Annahme, daß es sich hier um eine Eisrandlage eines Haupttal­gletschers in ca. 2200m bzw. 2000m handelt. Der größere Teil der Tal­verfüllung mit Lockermaterial bis in das Terrassen­ober­flächenniveau in ca. 2600m resultiert aus der Akkumulation moränischen Materials im Sinne einer rampen­förmigen Endmoräne, die sukzessive das Gletscher­bett erhöht hat und somit ein tal­auswärtiges Gletscher­zungen­ende ermöglicht (vgl. die historische Khumbarkarna Moräne). Des weiteren ist von Bedeutung, daß die Ufermoräne leeseitig, d.h. zur Ein­mündung des Chhudatanka Khola, einen gestreckten, leicht bogen­förmigen Verlauf aufweist und keine Indizien eine Kon­fluenz des Ghunsa Khola Gletschers und eines Chhudatanka Khola Gletscher zur Zeit der Genese der Moräne belegen. Die Schnee­grenze für die beschriebene Eisrandlage berechnet sich zu 4300m bis 4500m. Dieses Ergebnis wird nach der Zusammenschau aller morphologischen Befunde und der daraus resultierenden Beschreibung des Gletscher­typs näher zu fassen sein (**Kapitel 3.1.2**).

Eine weitere Ufermoräne schließt sich orographisch rechts der oben beschriebenen Ufermoräne an ((••••) **Photo 136**). Diese und eine weitere morphologisch weniger prägnante Wallform ((■) in **Photo 136**) sind im oberen Abschnitt getrennt durch einen Schwemmfächer aus dem Chhudatanka Khola, während im unteren, talauswärtigen Teil eine schmale Abflußrinne zwischen den beiden Moränen liegt. Die letztgenannte Moräne wird als Grundmoräne (u.U. Ufermoräne) eines älteren, höheren Gletscherpegels verständlich. Diese Moräne endet ca. 20m flankenseitig oberhalb der unteren Ufermoräne und läßt sich morphologisch nicht über die bereits genannte ERL hinaus verfolgen. Aufgrund der Nähe der beiden Moränen und der potentiell hohen Fehlerquote bei der Berechnung von Schneegrenzen für ERL weit unterhalb der rezenten Gletscherenden können aus diesen Befunden rechnerisch keine zwei Stadiale unterschieden werden. Morphologisch ist jedoch eine Veränderung der Gletscherzunge eindeutig zu belegen.

Verfolgt man das orographisch rechte Ghunsa Khola talauswärts von Kyapla weiter, fällt eine Staffel von Moränenresten auf, die, talauswärts einfallend, quasi parallel an der Flanke angelegt sind (**Photo 136**). Ergänzt wird der Indikatorwert dieser Moränenreste durch Flankenschliffe und glazial überprägte, Rundhöckern ähnliche Festgesteinesvollformen im selben Flankenabschnitt. Die Befunde belegen Gletscherpegel in 3200m und in mindestens 3400m. Die 3800m Isohypse kennzeichnet in diesem Flankenabschnitt einen ausgeprägten Gefällewechsel von konvex zu konkav. Unterhalb dieser Grenze ist das Gefälle zwischen 3600m und 3800m deutlich steiler und konkav gewölbt. Eine Eisverfüllung dieses Flankenabschnittes bis in 3800m Höhe ist wahrscheinlich (vgl. **Photo 138**).

Der Talboden des Ghunsa Khola liegt unterhalb der Flanke und außerhalb der oben beschriebenen Podestmoräne in ca. 2000m. Für die Gletscherpegelbefunde (und daraus resultierend die vorzeitliche Gletschermächtigkeit) talauswärts und oberhalb der Podestmoräne von Kyapla kann ein gleichsinniges Gefälle des Ghunsa Khola zwischen einer Klamm oberhalb von Kyapla in 2700m und der Position außerhalb der Podestmoräne angenommen werden. Daraus ergibt sich eine Gletschermächtigkeit zwischen 1000m und maximal 1800m (für verschiedene Stadien).

Ca. 2km südlich von Kyapla mündet orographisch links das Sunlun Khola in das Ghunsa Khola. Der Talschluß dieses Seitentales liegt zwischen 5100m und 4730m (**Photo 139**). Der breite, flache Talboden oberhalb der 3800m Isohypse verengt sich unterhalb dieser Höhenlinie zu einem engen, am Talausgang in ca. 2400m Höhe schluchtartigen Talgefäß. Unterhalb eines 4787m hohen Gipfels der Kette belegt ein Karboden in ca. 4500m die vorzeitliche lokale Vergletscherung diese Flankenausschnittes (**Photo 140**), talauswärts schließt sich ein weiteres Kar mit einer Karbodenhöhe von 4480m an. Der Talboden des Sunlun Khola liegt, vom Karboden durch eine Schwelle getrennt, ca. 80m bis 100m tiefer. Das Talgefäß ist rechts und links eingefäßt durch Ufermoränenreste die

abschnittsweise morphologisch nicht von Moränenverkleidungen der Flanke zu differenzieren sind. Die Moränen setzen zwischen 4200m und 4400m an (**Photo 140**, vgl. ergänzend **Photo 141** und **Photo 138**). Der mittlere und untere Teil des Tales konnte nicht untersucht werden. Festzuhalten ist, daß das morphologisch belegte Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung dieses Seitentales bis mindestens ca. 3600m bis 3700m hinabgereicht haben muß.

Talauswärts von Kyapla belegt ein Aufschluß ca. 1km südöstlich von Amjilosa moränisches Material ca. 100m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie in ca. 2100m (**Photo 142**). Der Talverlauf des Ghunsa Khola zwischen Amjilosa und Hellok ist geprägt durch einen ca. 5km langen Talabschnitt mit extrem steilem Talquerprofil (**Photo 143**, **Abbildung 36**). Gefällewechsel, Schlifffgrenzen und Dreieckshänge an beiden Talseiten stützen die Annahme eines Eispegels zwischen 2700m und 2500m in diesem Talabschnitt. An der detaillierter untersuchten orographisch rechten Flanke belegen überschiffene Flankenpartien und großflächige Zurundungen der Gesteinsoberfläche, die keine von der Gesteinsqualität abhängige Orientierung zeigen, die glaziale Überprägung der Flanke bis über 2600m. Großflächige Lockerakkumulationen fehlen, wahrscheinlich in Abhängigkeit von der Steilheit des Reliefs. Vereinzelt finden sich glazigene Mikroformen, wie Gletscherschrammen und sichelförmige Ausbrüche im Festgestein. Vergleichbare Befunde aus den Alpen, Norddeutschland und den Skanden zeigen, daß der Erhaltungsgrad dieser Formen insbesondere von der Schutzwirkung eines die Formen überlagernden Sedimentes bestimmt wird. Dies ist für die Himalayasüdabdachung von herausragender Bedeutung.

Das Talquerprofil des Ghunsa Khola verengt sich an der Talkonfluenz mit dem Nup Khola (in 1520m) sehr stark und ist schluchtartig. Der Abfluß hat eine glazigene Tal-füllung zerschnitten, deren Reste die Taltiefenlinie rechts und links um ca. 100m überragen (**Photo 144**).

Festzuhalten ist, daß diesem Talabschnitt der Morphologie der Lokalität Kyapla besondere Bedeutung beizumessen ist. Ein in Resten erhaltenes Zungenbecken belegt hier eine ERL eines Ghunsa Khola Gletschers in ca. 2400m. Neben dieser eindeutigen Eisrandlage finden sich im gesamten Talabschnitt zwischen Ghunsa und dem Talausgang des Ghunsa Khola glazialgeomorphologische Indikatoren, die zu einem gemeinsamen Niveau glazialer Überprägung des Talquerprofils zu kombinieren sind. Dieses Niveau fällt von ca. 5100m oberhalb von Ghunsa auf ca. 2700m nahe dem Talausgang ein.

2.2.2.1.8 Das Yamatri Khola

Der Talausgang des Yamatri Khola, ein orographisch linkes Seitental des Ghunsa Khola, liegt ca. 400m südöstlich der Siedlung Ghunsa (3407m). Den höchsten Gipfel des Einzugsgebietes dieses ca. 15km langen Tales bildet der Khumbarkarna (7711m, s.o. zur rezenten Vergletscherung des Yamatri Tales). Das rezente Gletscherende liegt einige Dekameter tief eingesunken in einer historischen Laterofrontalmoräne in ca. 4250m ((◆) **Photo 95**) 5km taleinwärts des Talausganges (**Photo 135**). Das rezente Einzugsgebiet erreicht eine mittlere Höhe von 6300m. Diese Laterofrontalmoräne geht an ihrem talauswärtigen Ende nicht in einen deutlichen Endmoränenbogen über, sondern endet rechts und links eines flachen, morphologisch stark zergliederten Bereiches, der allen Merkmalen einer Satzendumoräne gerecht wird. Diese Satzendumoräne liegt im Mittel in ca. 3960m Höhe (**Photo 145**). Entsprechend berechnet sich die Höhe der vorzeitlichen Schneegrenze zu 5040m (**Tabelle 2**).

Morphologisch gut erhaltene Moränenreste ca. 100m talauswärts und einige Dekameter oberhalb dieser Ufermoräne werden als Indikatoren für eine Eisrandlage des Yamatri Gletschers in 3750m interpretiert ((••••) in **Photo 145**, Schneegrenze: 4930m). Hangaufwärts dieser Terrasse beginnt eine weitere Terrasse, die im weiteren Talverlauf in eine orographisch rechts liegende, gut erhaltene Ufermoräne übergeht (**Photo 145**, **Photo 135**, **Photo 146**). Diese Ufermoräne vermittelt am Talausgang des Yamatri Khola zu einer (Satz-)Endmoräne, die weit bis in das Ghunsa Khola hineinreicht und sich hier morphologisch deutlich abgrenzen läßt (**Photo 147**, MEINERS (1999:Photo 30 und Photo 31)). G. DYHRENFURTH schreibt zu dieser Moräne: "Ein sehr schöner Endmoränenwall 8km vom heutigen Jannu-Gletscher entfernt" (in DYHRENFURTH, O. 1931:307 [Jannu = Khumbarkarna]). Hinsichtlich der Morphologie und der Lage im Haupttal ist diese Moräne mit der historischen Moräne des Khumbarkarna Gletschers vergleichbar. Der Grad der Vegetationsentwicklung läßt jedoch den Schluß zu, daß die in das Ghunsa Khola hinabreichende Endmoräne älter ist als die des Khumbarkarna Gletschers. Der Höhenunterschied von 400m bis 600m zwischen beiden Moränen kann nicht als maßgeblich für diesen Unterschied erachtet werden. Die Yamatrimoräne wirkt konsolidierter, ihr fehlt die "Frische" (vgl. DAMM, B. 1996:21 und die dort zitierte Literatur. In den Alpen gilt "das morphologische Argument der Formfrische" (eba:21) als Möglichkeit, insbesondere die Egesen- von den Daun-zeitlichen Moränen zu unterscheiden.) Diese Laterofrontalmoräne beschreibt eine Eisrandlage in mindestens 3400m; das Haupttal war zu diesem Zeitpunkt eisfrei. Die Schneegrenze des Yamatri Gletschers war auf ca. 4770m abgesenkt.

Ähnlich der Lokalität Kanbachen finden sich haupttalaufwärts des Moränendamms fluviale Talfüllungen, die als Folge der Abriegelung des Tales durch die Laterofrontalmoräne zu interpretieren sind (**Photo 147**).

Photo 145 zeigt Abschnitte der Ufermoränen(-reste), die den drei für das Yamatri Khola identifizierten Eisrandlagen zuzuordnen sind. Deutlich zu erkennen ist, daß die jeweils ältere Moräne talauswärts der jüngeren beginnt. An der Flanke oberhalb der historischen Ufermoräne finden sich praktisch keine Ufermoränenreste älterer Stadien. Es gilt festzuhalten, daß je weiter ein vorzeitlicher Gletscher talauswärts endet, desto höher an der Flanke sein Pegel taleinwärts liegt, wenn es sich um typologisch gleiche oder ähnliche Gletscher handelt. Ufermoränenreste, die eine Gletscherausdehnung über die ERL von Ghunsa hinaus belegen könnten, wären also mit hoher Wahrscheinlichkeit flankenbezogen oberhalb und tiefenlinienbezogen außerhalb des Einsetzens der Ufermoräne, die als Indikator für die ERL in 3400m zu gelten hat, zu suchen. Taleinwärts dieser Position handelt es sich um das Einzugsgebiet dieses potentiellen Gletschers. In diesem Teilgebiet eines Gletschers finden sich in der Regel keine glazigenen Akkumulationsformen, sieht man von morphologisch unspezifischen Grundmoränendecken ab (vgl. **Photo 34**).

Die orographisch rechte Yamatri Khola Flanke oberhalb und taleinwärts des Einsetzens der oben genannten Ufermoränen(-reste) ist bis in ein Niveau von über 5400m deutlich zugerundet und großflächig glazial überprägt. Dieses Niveau glazialer Überprägung fällt nach talauswärts ein und erreicht am Talausgang an der orographisch rechten Talseite eine Höhe von ca. 4800m (**Photo 135**). MEINERS (1999: Photo 30) spricht hier von einem "minimum level of Last Glacial Maximum".

Die Anordnung glazialer Formen im oberen Yamatri Khola Talabschnitt ist unterhalb der 5200m Isohypse horizontal orientiert, diese quasi taltiefenlinienparallele Ausrichtung wird oberhalb dieses Niveaus unterbrochen durch den Formungseinfluß kleinräumiger lokaler Vergletscherungen der bis 5720m hohen lokalen Einzugsgebiete (**Photo 135** zeigt u.a. zwei lokale Zungenbecken, **Abbildung 37**). Die vorzeitig zwei lokale Zungenbecken ausfüllenden südwestexponierten Gletscher müssen bis in mindestens 4250m bzw. 4350m hinabgereicht haben. Moränenreste in exponierten Geländepositionen machen wahrscheinlich, daß es sich um eine lokale Vergletscherung dieses Teiles der Yamatri Khola Flanke handelte und nicht um Formen und Sedimente, die im Rahmen der weiträumigen hochglazialen Eisverfüllung dieses Talabschnittes entstanden sind. Problematisch ist die Bestimmung der Einzugsgebietshöhen für diese Gletscher, da sie mit einem steilen, kleinräumig begrenzten Gipfel (6140m) konektiert sind, dessen höhenbezogene Bedeutung deutlich hinter dem Einfluß der sich unterhalb von 5200 anschließenden Fläche zurückbleiben muß. Daraus folgt, daß die entsprechenden Einzugsgebietshöhen vorsichtig nach unten zu korrigieren sind. Die mittlere dieser Gletscherausdehnung entsprechende Schneegrenze liegt zwischen ca. 4920m und 4970m.

An der Südabdachung des gleichen Gipfels findet sich ein morphologisch gut repräsentiertes Kar mit einem Karboden in ca. 4940m. (**Photo 132**).

Die Befunde aus dem Yamatri Khola, hier insbesondere am Talausgang, ergänzen die Befunde für das Ghunsa Khola und belegen einen hochglazialen Eispegel in mindestens 5100m. Die Yamatri Gletscher Endmoräne im Ghunsa Khola deren Außenhang sich zwischen 3300m und 3500m erstreckt, markiert eine ERL des Yamatri Gletschers, die jünger als die Kyapla Eisrandlage des Ghunsa Khola Gletschers ist und zeitlich mit der ERL des letztgenannten Gletschers südlich von Kanbachen zu korrelieren ist. Mit hoher Wahrscheinlichkeit war der Yamatri Gletscher Teil eines Eisstromnetzes, das bis Kyapla reichte.

2.2.2.2 Das Simbua Khola

Das Simbua Khola beginnt an der Südabdachung des Kangchenjunga (8586m, **Abbildung 38**) und erstreckt bis zur Einmündung in das Tamur Khola nördlich der Siedlung Hellok in 1520m (**Photo 148**).

Der rezente Yalung Gletscher wird eingefaßt von einer historischen Laterofrontalmoräne, die in ca. 5400m einsetzt und bis über das rezente Gletscherende zu verfolgen ist (**Photo 99, Photo 98, Photo 149, Abbildung 39, Abbildung 40, Abbildung 41**). Die Innenhänge dieser Moräne werden unterschritten, die Außenhänge sind weitgehend stabilisiert und durch Vegetationsbesatz fixiert. Das Nährgebiet des Yalung Gletschers setzt sich aus der Kangchenjungasüdabdachung sowie Teilen der Khumbarkarna Südostabdachung zusammen (**Karte 3**). Die rezente Vergletscherung der Simhalila Range zwischen Rathon (6682m) und Talun (7349m) (**Photo 150**) erreicht die zwischen 5000m und 4600m unterhalb der Flanke verlaufende Gletscherzunge des Yalung Gletschers nicht, bzw. nur im Fall des nördlichsten Teils der Vergletscherung des Talun (7349m).

Die Abstand zwischen dem Hauptgletscher und den Gletscherenden der orographisch linken Simbua Khola Flanke ist horizontal sehr eng gefaßt. Die orographisch rechte Flanke des Simbua Khola talauswärts des Khumbarkarnaeinzugsgebietes (zwischen Khumbarkarna und Boktoh) fällt flacher zur Taltiefenlinie ein und erreicht Höhen bis 6300m. Die rezenten Enden der kleineren lokalen Gletscher liegen zwischen 5000m und 5100m deutlich weiter von der historischen Zungenbeckeneinfassung des Yalung Gletscher entfernt. Hier konnten im Vorfeld der lokalen Gletschers historische Laterofrontalmoränen entstehen.

In **Photo 150** sind zwei quasihorizontale Niveaus glazialer Überprägung der Simbua Khola Flanke nordöstlich des Rathon eingezeichnet (vgl. **Photo 151**). Der obere, morphologisch schlecht und sedimentologisch wahrscheinlich gar nicht repräsentierte Pegel

liegt unterhalb des Rathon (6682m) in ca. 5800m bis 5900m und verweist auf eine talwärts ansteigende Gletscheroberfläche.

Das zweite Niveau zeichnet sich durch einen markanten Gefällewechsel in ca. 5000m sehr viel deutlicher ab und ist eindeutig in der Horizontalen verfolgbar. Der Gefälleknick liegt ca. 400m bis 500m oberhalb der rezenten Gletscheroberfläche. Die rezente Konstellation des Yalung Gletschers und der lokalen Vergletscherung der Südwestabdachung belegt, daß für jeden höheren Gletscherpegel die Konfluenz der Gletscherteilströme anzunehmen ist. Im Fall der oberen Schliftgrenze ist der sehr große Gletscher über seine gesamte Breite reliefunabhängiger als der stärker kanalisierte Gletscher, der dem unteren Pegel zuzuordnen ist. Die morphologischen Kennzeichen beider Schliftgrenzen werden durch die rezente, im oberen Flankenabschnitt stärker vertikal orientierte Morphodynamik zerstört. Der historische Gletscher und entsprechend der in das historische Zungenbecken eingesunkene rezente Gletscher unterschneiden die Flanke nur an sehr wenigen Stellen, so daß das Anstehende in horizontaler Ausrichtung derzeit nur geringfügig denudativ tangiert wird.

Die für diesen Flankenabschnitt aufgezeigten Gletscherpegel lassen sich orographisch rechts und links talwärts weiterverfolgen (**Photo 99** , **Photo 151**). Wie für einige Talabschnitte des Rolwaling Himal gezeigt werden konnte, gilt es, hinsichtlich der genetischen Interpretation der Sedimente und Akkumulationsformen in den höheren Flankenabschnitten, den Einfluß der lokalen Vergletscherung des Flankenabschnittes in Abhängigkeit der jeweiligen Einzugsgebietshöhen zu berücksichtigen. Dies gilt ebenso für diesen Abschnitt des Simbua Khola.

Die orographisch linke Flanke zwischen der Einmündung des Rathon Gletschers und dem rezenten Gletscherende des Yalung Gletschers erreicht westlich des Kokthan (6148) maximale Gipfelhöhen zwischen 5300m und 5573m (**Photo 99** , **Photo 152**). Die mittlere Einzugsgebietshöhe dieser Flanke reicht kaum über 5300m hinaus. Die Einzugsbereiche beschränken sich auf steile Flanken, und eine nennenswerte rezente Vergletscherung der flachergeneigten Talabschnitte fehlt. Ufermoränen und Satzendoräne oberhalb von ca. 4900m bis 5000m belegen eine lokale Vergletscherung der Talgefäße. Abschnittsweise reichen die Moränen mit ihrer Basis bis ca. 4600m hinab. Talwärts des historischen Kokthan Gletschers erreichen diese historischen Moränen die historische Zungenbeckeneinfassung des Yalung Gletschers nicht. In Resten ist im orographisch linken Ufermoränenseitental des letztgenannten Gletschers glazifluvial bzw. fluvial sedimentiertes Lockermaterial der lokalen Vergletscherung der linken Flanke als Terrasse erhalten (**Photo 98**). Der Aktionsbereich der lokalen Vergletscherung dieses Flankenabschnittes des Simbua Khola liegt zwischen 5300m und 4600m bzw. 4300m (dem Firstverlauf der historischen Yalung Gletscher Ufermoräne). Jede tiefere ERL, und damit korreliert die Lage der Schneegrenze, würde den Zusammenschluß von Haupt-

und Nebentalgletschern bedingen, wobei die entsprechend gleichsinnige Veränderung des Haupttalgletschers den konfluenzlosen Aktionsraum der Gletscher zusätzlich verengt.

Dem Verlauf der Flanke zwischen den Seitentaleinmündungen angeschmiegt ist eine Schuttschürze, die in ca. 4650m unterhalb der Einmündung des Kokthan Gletschers beginnt und nach talauswärts bis auf 4350m einfällt (**Photo 99**). Diese nur morphologisch als Schuttschürze überprägte Moränenverkleidung der Flanke überragt die historische Laterofrontalmoräne des Yalung Gletschers um ca. 150m. Im Bereich des Endes der historischen Zungenbeckeneinfassung liegt die obere Begrenzung dieser Grundmoränenauskleidung in ca. 4300m.

Korrespondierend mit den oben beschriebenen Schliftgrenzen und Überprägungsformen für den Talabschnitt zwischen Kangchenjunga und Rathon, lassen sich für den in Rede stehenden Talabschnitt Dreiecksflächen und versteilte Flankenpartien beschreiben, die als Indikatoren für Gletscherpegel des Yalung Gletschers zwischen 5200m und 5000m interpretiert werden können, d.h. ca. 800m über der rezenten Gletscherzunge. Das trogförmige und übersteilte Talquerprofil verdeutlicht die erosive Wirkung des Haupttalgletschers (vgl. **Abbildung 42**).

Talauswärts schließt sich die mit Hilfe von **Photo 152** dokumentierte Flanke an diesen Talabschnitt an. Die Einzugsbereichshöhen talauswärts der Einmündung des Yamgachha Khola (**Photo 152**) erreichen keine mittleren Höhen oberhalb von 4800m. Dieser Flankenabschnitt weist aufgrund der zu niedrigen Einzugsbereichshöhen keine rezente Vergletscherung auf. Moränenreste in Form von Wällen und für Satzendmoränen typischen Strukturen belegen für die höher gelegenen Seitentäler der Flanke eine lokale Vergletscherung bis auf 4400m. Dreieckshänge in Verbindung mit einem markanten Gefällewechsel des Talquerprofils zwischen 4600m und 4800m und überschliffenen Flankenpartien außerhalb des Einflußbereiches lokaler Vergletscherung stützen die Annahme einer Eisverfüllung des Simbua Khola bis in dieses Niveau und korrespondieren mit Befunden der orographisch linken Flanke in diesem Talabschnitt (**Photo 149**, **Photo 153**). Abschnittsweise finden sich Grundmoränenreste der Haupttalvergletscherung ((■) in **Photo 152** in ca. 4400m), die gut von den Moränenresten der lokalen Vergletscherung der Flanke zu differenzieren sind.

Das Yamgachha Khola konnte detailliert im Bereich des Talausganges untersucht werden. Die Tiefenlinie dieses orographisch linken Seitentales mündet in ca. 3740m in das Simbua Khola. Die mittlere Einzugsbereichshöhe liegt in 5400m, den Talschluß bildet die Simhalila Range südlich des Kokthan (6148m (vgl. **Photo 152**)). Die rezente Vergletscherung beschränkt sich auf einen kleinen, ca. 2km langen Gletscher im nördlichsten Teil des Einzugsgebietes (lokale mittlere Einzugsgebietshöhe 5500m, die rezente ERL liegt wahrscheinlich knapp über 5450m).

Photo 154 zeigt den unteren Abschnitt des Yamgachha Khola. Die orographisch rechte Flanke erreicht im dokumentierten Bereich eine Höhe bis ca. 4900m. Der Grat des abgesetzten Rückens am Talausgang verläuft zwischen 4600m und 4700m. Etwas unterhalb des Grates, nach taleinwärts ansteigend, verändert sich das Gefälle der Flanke von flacher im oberen Bereich zu steiler im Abschnitt unterhalb von 4600m. Die Schuttkörper, die der Flanke vorgelagert sind, können im Anlehnung an ITURRIZAGA (1999a) als Materialhalden verstanden werden, die genetisch an die Sedimentation von glazigenem Lockermaterial gebunden sind. Die Mächtigkeit eines solchen Gletschers im talauwärtigen Abschnitt des Seitentales von mindestens 300m bis 400m belegt, daß der Gletscher bis in das Haupttal gereicht haben muß. Die kleinräumige Laterofrontalmoräne unterhalb eines 5240m hohen Gipfels am rechten Talausgang deutet auf eine Schneegrenzabsenkung bis unter 5000m (**Photo 154**). In Beziehung gesetzt werden müssen diese Befunde zur Morphologie eines kleineren, sich nördlich, d.h. talaufwärts im Simbua Khola anschließenden Seitentales (vgl. **Photo 98, Photo 152**).

Der höchste dieses Seitental überragende Gipfel erreicht eine Höhe von 5310m, die mittlere Einzugsgebietshöhe liegt kaum über 5200m. Das Tal ist rezent nicht vergletschert. Auffällig ist ein dem Talgefälle folgender Lockermaterialwall, der unterhalb der orographisch rechten Talflanke in ca. 4800m Höhe ansetzt und sich bis zum Talausgang, d.h. bis in ca. 4100m verfolgen läßt. Der Wall wird abschnittsweise durch die rezente Schuttkörpergenese überprägt und verdeutlicht morphologisch alle Übergangsformen von Ufermoräne zu vollständig durch Schuttkegel überprägter Ufermoräne. An einigen Stellen paust sich der Ufermoränenfirst gerade noch durch die gestreckte Form des Schuttkörpers durch. In einem weiteren Schritt verschwindet diese Kante völlig. Die orographisch linke Talflanke oberhalb der 4400m Isohypse ist morphologisch vollständig durch eine geschlossene Schuttschürze gekennzeichnet. Unterhalb dieser Isohypse setzt orographisch rechts eine hinsichtlich der Firsthöhe zu der oben genannten Ufermoränenleiste einsetzende Wallform ein. Beide Wälle enden knapp talauswärts der Einmündung in das Simbua Khola und werden hier durch den rezenten Abfluß des orographisch linken Yalung Gletscher Ufermoränen Seitentales unterschritten (**Photo 98, Photo 155**). Die Gliederung der Flanken des Seitentales oberhalb dieser Moränenfirste ist oben bereits beschrieben worden und korrespondiert mit den Befunden für das Simbua Khola talauf- und talabwärts. Von besonderer Bedeutung ist die Lagebeziehung dieser vor dem

Hintergrund des vergleichsweise niedrigen Einzugsgebietes tiefen Lage der als Ufermoränen interpretierten Wälle. Von einer Eisrandlage in ca. 4150m ausgehend, berechnet sich die Schneegrenze für dieses Seitental zu 4800m bis 4750m. Der frontale Teil der Lateralmoränen des Seitentales fehlt, da die Ufermoränen durch eine quer zum Talausgang verlaufende Ufermoräne des Haupttalgletschers gekappt werden. Das obere Niveau der orographisch rechten Ufermoräne des Seitentales läßt sich mit Flankenverkleidungen moränischen Materials der orographisch linken Haupttalflanke in eine genetische Beziehung setzen (**Photo 98, Abbildung 43, Abbildung 44, Abbildung 45**).

Deutlich wird, daß mindestens drei Stadien der vorzeitlichen Gletscherausdehnung des Haupttales und des Nebentales in eine direkte Beziehung zu setzen sind. Problematisch ist die Beziehung des Haupt- und Nebentalgletschers zum Zeitpunkt der Genese der Ufermoränen des Nebentales, da die mittlere Einzugsgebietshöhe des Haupttales ca. 1500m bis 1800m höher liegt als die des Nebentales. Dieser Hinweis ist hinsichtlich der Frage des Haupttalgletscherpegels zum Zeitpunkt einer Absenkung der Schneegrenze auf ca. 4800m relevant. Auf dieses Problem wird auf der Basis der anschließenden Befunde später zurückzukommen sein.

Talauswärts des Talausganges des Yamgachha Khola bis zur Einmündung des Simbua Khola in das Tamur Khola sinken die mittleren Einzugsgebietshöhen der Flanken des Simbua Khola und der Seitentäler auf mittlere Höhen zwischen 4600m und 4200m, das heißt, diese Teile des Gebirges liegen unterhalb der rezenten Schneegrenze und sind aktuell unvergletschert. Die Tal tiefenlinie verläuft in diesem ca. 21km langen Talabschnitt zwischen 4000m und 1650m, somit unterhalb der Waldgrenze. Dies und das abschnittsweise schluchtartige Talquerprofil des unteren Simbua Khola erschweren die morphologische Geländeaufnahme erheblich.

Photo 156 zeigt die orographisch rechte Simbua Khola Flanke, talauswärts von Cheram über den Talausgang des Yamgachha Khola hinweg photographiert. Die Lockermaterialfüllung des Seitentales und des Haupttales bilden zwei leicht nach talauswärts einfallende Ausgleichsflächenniveaus, die durch eine schmale und steile Erosionsrinne, die den Abfluß des Yamgachha Khola bündelt, miteinander verknüpft sind. Die Oberfläche der Talfüllung des Haupttales ist durch eine dekameterhohe Terrassenkante von der des Nebentales getrennt. Hieraus resultiert, daß entweder die Terrassenkante als Rest einer vollständigen Haupttalfüllung bis in das Niveau der Oberfläche der Seitentalfüllung verstanden werden muß oder die Seitentalverfüllung genetisch an ein Widerlager im Haupttal gebunden war - beispielsweise an eine morphologisch nicht mehr eindeutig nachvollziehbare Ufermoräne eines vorzeitlichen Yalung Gletscherstandes (vgl. dazu **Photo 110**: Die glazifluviale und rein fluviale Lockermaterialfüllung des unteren Lhonak

Khola ist an die als Abriegelung fungierende Ufermoräne des historischen Kangchenjunga Gletscherstandes gebunden.). Letzterer Fall ist vor dem Hintergrund der bisherigen Befunde wahrscheinlicher. Hieraus leitet sich eine eindeutige Beziehung zwischen der Vergletscherung des Haupt- und des Nebentales ab, die Berücksichtigung in entsprechenden Berechnungen der Schneegrenze finden muß.

Der Fluß des Haupttales schneidet sich ebenfalls in einem vergleichsweise schmalen Bett in die Lockermaterialfläche ein und zertalt diese rückschreitend. Aus einer Feinmaterialmatrix mit nennenswertem Tonanteil (Fingerprobe) werden Blöcke mit Kantenlängen ausgewaschen, die in einigen Fällen deutlich über 3m liegen. Anhand von Aufschlüssen entlang der oben beschriebenen Terrassenkante lassen sich fluvial akkumulierte Sedimente von nicht fluvial abgelagertem Material unterscheiden. Abschnittsweise treten die Fraktionen von Grobkies bis Block stark zurück, einzelne Schichten lassen sich anhand der Klassierung und Sortierung des Material ausgrenzen. Daneben finden sich Bereiche, die durch sehr inhomogene Verteilung und Sortierung des Material der Fraktionen Ton bis Block gekennzeichnet sind.

Obschon eine eindeutige Eisrandlage fehlt, bietet die Materialverzahnung von glazigenem und glazifluvialen Material in Kombination mit dem Einfallen der in den letztgenannten Bildern dokumentierten, der Taltiefenlinie am nächsten liegenden vorzeitlichen Ufermoränen die Möglichkeit, diese Lokalität als ERL eines Yalung Gletschers in ca. 3650m anzusprechen (**Photo 157**). Dieser Yalung Gletschers wurde durch den Yamgachha Gletscher aus dem orographisch linken Seitental nicht beeinflusst, wie aus der Beziehung der oben beschriebenen Talfüllungen deutlich geworden ist (**Photo 156**). Die Berechnung der Schneegrenze in ca. 5200m für diese ERL stützt diese empirische Analyse (**Tabelle 2**).

Ca. 3km talauswärts „laufen“ von rechts und links zwei Lockermaterialwälle auf die Taltiefenlinie zu (**Photo 158**). Diese, den Talboden (in ca. 3520m) um ca. 30m bis 40m überragenden Wälle schließen einen Talabschnitt ein, der durch flache fluviale Terrassen mit mäßigem Gefälle gekennzeichnet ist und talauswärts durch einen deutlichen Knick im Tallängsprofil begrenzt wird. Der rezente Abfluß des Simbua Khola zerschneidet diese Talfüllung. Die Vielzahl der Niveaus in diesem Talabschnitt verdeutlicht die mehrphasig ablaufende Genese dieses Geländeausschnittes (**Photo 158, Photo 159**). In den höheren Terrassen finden sich durch fluviale Sedimente gekapselte Reste moränischen Material. Dichter an der Taltiefenlinie liegende Terrassen sind gekennzeichnet durch den regressiv verlaufenden Gehalt an Material der Fraktionen Ton und Schluff. Der Abfluß des Simbua Khola "wäscht" das ursprünglich tonhaltige Substrat aus; talauswärts finden sich sogar Blockterrassen, denen jede Feinmaterialmatrix fehlt (**Photo 160**). Die Lage und Position dieser Auswaschungsterrassen läßt auf einen vorzeitig wesentlich höheren Abflußpegel und eine deutlich größere und kontinuierlich erfolgende Abflußmenge in einem

Talabschnitt mit vergleichsweise mäßigem Talgefälle schließen. Die Basis dieser Terrassen wird, dies belegen Aufschlüsse, die sich talauswärts an die mit Hilfe von **Photo 160** dokumentierte Lokalität anschließen, durch Sedimente gebildet, die als Moränen angesprochen werden können. Daß es sich dabei auch um disloziertes Material aus den in diesem Talabschnitt sehr steilen Flanken handelt, ist wahrscheinlich (bei Flankenhöhen von knapp über 800m ist das Talgefäß im Gipfelniveau abschnittsweise nur ca. 2,5km breit).

Der rezente Abfluß des Simbua Khola ist in diesem Talabschnitt in Lockermaterial angelegt. Das Anstehende erreicht das Gewässer in ca. 2800m nahe der Lokalität Thoronthan, ca. 5km talauswärts der letztgenannten ERL in 3550m.

Oberhalb von Thoronthan liegt die Almfläche Nyamgyalama in 3600m (**Photo 161, Abbildung 46**). Die Wirtschaftsfläche ist eingeschlossen zwischen der Gipfelkette der Pasan Dada, die hier eine Höhe von maximal 3880m erreicht, und einem dieser Flanke vorgelagerten Wall aus Lockermaterial. Der First dieses Walles grenzt sich deutlich vom Gefälle der Flanke ab und verläuft parallel zu den Isohypsen. Das Außengefälle der Form ist steiler als das sonst relativ gleichsinnige Flankengefälle. Das Talgefäß zwischen dem Wall und der Flanke ist mit fluvialem Sediment gefüllt. Vereinzelt liegen große Blöcke dieser Sedimentfüllung auf, die als Nachbrüche aus der rückseitigen Flanke verständlich werden. Die sich aufwärts anschließende Flankenpartie ist bis in das Gratniveau mit Lockermaterial verkleidet. Der Wall ist zwanglos als Ufermoräne zu interpretieren (vgl. **Photo 103, Abbildung 47**), die genetisch an eine Vergletscherung des Simbua Khola gebunden ist. Die Interpretation als lokale Moräne, etwa im Sinne einer aufgelösten Podestmoräne, ist nicht wahrscheinlich, da die Einzugsgebietshöhe für eine entsprechende Vergletscherung zu niedrig ist. Da es sich um eine Lockergesteinsform handelt, deren Korngrößenverteilung alle Fraktionen umgreift, ist eine rein lithologische Erklärung ebenfalls unwahrscheinlich. Überträgt man das Einfallen der Schichten der orographisch linken Simbua Khola Flanke dieses Bereiches (**Photo 161, Photo 162**) auf die rechte Flanke, so wäre die Möglichkeit, daß es sich um eine stark verwitterte Schichtrippe handelt, nicht auszuschließen. Da gegen sprechen jedoch die unterschiedlichen Gesteine des die Form aufbauenden Sediments. Morphographisch ist die Lokalität Nyamgyalama eindeutig mit Lokalitäten in Beziehung zu setzen, die eine glaziale Genese der entsprechenden Formen aufgrund der Nähe zur rezenten Vergletscherung fast zwingend machen (z. B. die Ufermoränen am Talausgang des Nupchutales oder des Yamatri Khola).

Die Ufermoräne von Nyamgyalama liegt in 3600m Höhe ca. 600m bis 900m über der im Anstehenden angelegten Taltiefenlinie (**Photo 163**). Die Moränenverkleidung der Flanke oberhalb des Ufermoränenseitentales stützt die Annahme eines höheren Eispegels in diesem Talabschnitt bis in ein Niveau über 3800m, d.h. bis über den Gipfelgrat der orographisch rechten Simbua Khola Flanke hinaus. **Photo 164** und **Photo 165**

verdeutlichen die Position der Ufermoräne in Bezug zu den talaufwärts dokumentierten Flankenschliffen oberhalb von Cheram und zur Höhe der gegenüberliegenden orographisch linken Simbua Khola Flanke, die im Bereich des Standortes des Betrachters in Paßhöhe bei 3400m, d.h. mindestens 200m unterhalb des durch die Ufermoräne induzierten Gletscherpegels (**Photo 162**) liegt und somit zum Zeitpunkt der Genese der orographisch rechts im Simbua Khola liegenden Ufermoräne vom Eis überflossen war. Entsprechende Grundmoränenbefunde auf der Simbua Khola Seite (zwischen 3200m und 3300m) und der gegenüberliegenden Paßseite stützen diese Interpretation. Eine ausschließlich lokale Vergletscherung des Amji Khola, die die Grundmoräne in diesem Talabschnitt sedimentiert, ist aufgrund der mittleren Höhe des Einzugsgebiets in Relation zur Höhe der Grundmoränenbefunde über der Tiefenlinie des Amji Khola (ca. 400m) unwahrscheinlich.

Ca. 9km westlich von Nyamgyalama mündet das Simbua Khola in ca. 1550m nördlich von Hellok in das Tamur Khola (**Photo 97**). Eingefaßt wird dieser untere Talabschnitt des hier schluchtartigen Simbua Khola von Flanken, deren Höhen von 3600m auf unter 1800m absinken (**Photo 164**). Von wesentlicher Bedeutung ist, daß der Befund der orographisch rechten Ufermoräne von Nyamgyalama den im Vergleich zum Talquerprofil deutlich höheren Indikatorwert für die Rekonstruktion des Ausmaßes der vorzeitlichen Vergletscherung hat.

Die morphologischen Befunde aus dem Simbua Khola lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die rezente Vergletscherung des Simbua Khola beschränkt sich auf die den Talschluß östlich der Siedlung Yalung. Der rezente Yalung Gletscher endet ca. 200m einwärts der historischen Zungenbeckeneinfassung in ca. 4250m. Die historische Laterofrontalmoräne ist als Satzend- bzw. Podestmoräne ausgeprägt.

Mit Hilfe von gut erhaltenen Flankenschliffen im Akkumulationsgebiet und Ufermoränenresten im Ablationsgebiet läßt sich eine Gletscherausdehnung des Yalung Gletschers bis zu einer ERL in ca. 3500m nahe der Siedlung Cheram belegen. Neben anderen Indikatoren zeigt insbesondere die Beziehung der geomorphologischen Befunde des Haupttales und der Nebentäler, daß die Gletscherzunge zu diesem Zeitpunkt im Bereich des rezenten Gletscherendes nicht deutlich höher im Talquerprofil lag. Eine Konfluenz aus Yamgachha Khola Gletscher und dem Simbua Khola Gletscher bestand wahrscheinlich nicht. Für die talaufwärtigen Einzugsgebiete ist mit einer Konfluenz der Nebentalgletscher und des Haupttalgletschers zu rechnen.

Für die Erfassung einer weiteren ERL eines Simbua Khola Gletschers im Simbua Khola fehlen eindeutige Indikatoren, wobei auf die schlechten Rahmenbedingungen für die Formenerhaltung im unteren Simbua Khola nahe der Tiefenlinie hinzuweisen ist.

Eine zweite Gruppe von Befunden stützt die Annahme eines Eisstromnetzes, dessen Eisoberfläche im oberen Simbua Khola deutlich über 5900m gelegen hat. Die Gletscheroberfläche fiel bis zur Lokalität Nyamgyalama bis auf 3600m, wahrscheinlich nur bis auf 3800m ab. Dies belegen Flankenschliffe, Dreieckshänge und Moränenreste, die sich zu einem gemeinsamen Niveau im gesamten Talverlauf des Simbua Khola verknüpfen lassen. Die geomorphologischen Indikatoren für diesen, vermutlich dem letzten Hochglazial zuzuordnenden Gletscherstand vermitteln zu den Befunden aus dem Ghunsa Khola und dem Tamur Khola.

2.2.2.3 Das Tamur Khola

Die folgenden Ausführungen behandeln das obere Tamur Khola, d.h. den Teil dieses Tales südlich der Konfluenz des Nup Khola mit dem Ghunsa Khola in 1520m Höhe und der Siedlung Dobhan (650m). Die Taltiefenlinie verläuft in diesem ca. 28km langen Talabschnitt zwischen 1550m und 658m (**Abbildung 48, Karte 3**). Ca. 500m südlich der genannten Talkonfluenz mündet das Simbua Khola in das Tamur Khola.

Die diesen Talabschnitt einfassende Kammumrahmung erreicht orographisch links ihre maximale Höhe im Gipfel des Neghun (3810m, [Megnug]). Auf der orographisch rechten Seite kulminiert die Kammumrahmung dieses Talabschnittes in einem 4364m hohen Gipfel. Eine rezente Vergletscherung existiert in diesem Teil des Untersuchungsgebietes erwartungsgemäß nicht.

Die Morphologie am Talausgang des Ghunsa Khola, wie sie u.a. in **Photo 97** dokumentiert ist, vermittelt zu den im folgenden zu beschreibenden Befunden für das Tamur Khola. Im Bildhintergrund von **Photo 97** ist der Konfluenzbereich des Ghunsa Khola und des Nup Khola zu erkennen. Der zugerundete und glazial überprägte Rücken in diesem Bereich stützt die Annahme der Konfluenz eines LGM zeitlichen Ghunsa Khola Gletschers mit einem Nup Khola Gletscher mit einer Mächtigkeit von mindestens 700m, wahrscheinlich deutlich mehr. **Photo 134** belegt das schluchtartige Talquerprofil des Tamur im oberen Abschnitt des Tallängsprofils. Südlich der Siedlung Tapethok (1400m) weitet sich das Talgefäß. Der Talboden des Tamur Khola südlich der Haupttalkonfluenz wird morphologisch durch zerschnittene, glazifluviale Schotterfüllungen gekennzeichnet, die insbesondere im Einflußbereich der Einmündung kleinerer Nebentäler intensiv zerschnitten werden. **Photo 166** zeigt einen Teil des schluchtartigen Talquerprofils des Tamur Khola ca. 1,5km talaufwärts von Tapethok. Fluviale Spülformen, die ca. 100 Höhenmeter über dem rezenten Talboden liegen und nicht durch flankenseitigen fluvialen Einfluß entstanden sein können, sind als glazifluviale Hohlformen zu interpretieren (**Photo 167**).

Die Taltiefenlinie des Tamur Khola liegt unterhalb der Siedlung Tapethok in ca. 1320m. Hier mündet von orographisch links ein Seitental ein, dessen Einzugsgebiet in dem 3810m hohen Neghun gipfelt. **Photo 168** zeigt die Konfluenz der beiden Täler. Der links im Haupttal liegende Wall, wie er im Bildvordergrund zu erkennen ist, ist im Bereich des Talausganges des Seitentales im Anstehenden angelegt, haupttalseitig jedoch im wesentlichen mit einer mächtigen moränischen Lockermaterialdecke verkleidet. **Photo 169** zeigt, daß der Wall der Gefällrichtung des Haupttales folgt und am Eingang des genannten Seitentales abgeschnitten wird. Flankenseitig oberhalb des Walles schließen sich zugerundete und moränenverkleidete walfischrückenförmige Vollformen an, die als Rundhöcker zu interpretieren sind. Mindestens bis in 2000m Höhe, d.h. ca. 600m über der rezenten Tiefenlinie, konnte glazigenes Sediment nachgewiesen werden. Diese Moräne ist in Beziehung zu Terrassenresten am Talausgang eines orographisch linken Seitentales zu setzen (**Photo 168**) und läßt diese als Reste einer Schüttung des Seitentales gegen den Haupttalgletscher oder als Moränenreste einer in das Seitental gedrückten Gletscherzunge des Haupttales verständlich werden. Für die Interpretation dieser Terrassenreste als Resultat der lokalen Vergletscherung des Nebentales fehlen weitere Indizien. Die niedrige maximale Einzugsgebietshöhe von knapp über 3800m läßt, deduktiv abgeleitet, eine lokale Vergletscherung, die bis in ca. 1400m herabreichen müßte, unwahrscheinlich erscheinen.

Hingegen machen die Befunde für den weiteren Talverlauf einen Eispegel der Haupttalvergletscherung zwischen mindestens 1800m und 2000m wahrscheinlich (**Photo 170**). Ergänzt werden diese Befunde durch mit hoher Wahrscheinlichkeit glazifluviale Spülformen, die ca. 40 Höhenmeter über der rezenten Tiefenlinie nahe der Siedlung Chirwa zu finden sind (**Photo 171, Photo 172**). Einen Terrassenrest am Talausgang eines kleinen orographisch rechten Seitentales des Tamur Khola interpretiert KUHLE (1990: Fig. 9) als Lateralmoränenrest bzw. als Ufer- oder Endmoränenrest (ebd.: Fig. 5) (**Photo 172**). Dieser Moränenrest liegt ca. 50m bis 60m oberhalb der rezenten Tiefenlinie und wird vom Autor als Rest einer Grundmoränenfüllung des Tales interpretiert. Für die Interpretation der Form als Lateralmoräne bzw. als Ufermoränenrest fehlen weitere Indizien. Die Oberfläche dieses Moränenrestes liegt etwa im gleichen Höhenniveau wie die Spülformen.

Die Gebäude der Siedlung Chirwa sind zwischen die bis über hausgroßen Blöcke eines Bergsturzes gebaut, der auf moränisches Material aufsetzt. Das Gestein der Blöcke des Bergsturzes steht oberhalb an der Flanke an, wohingegen sich unterlagernd erratische Blöcke finden.

Photo 173 zeigt einen Talausschnitt des Tamur Khola, der sich ca. 2,5km südlich an die Siedlung Chirwa anschließt. In diesem Bereich stützen Grundmoränenreste und Schliflächen die Annahme einer Eisfüllung des Tamur Khola zwischen 1400m und 1300m, d.h. mindestens 300m bis 400m über der rezenten Tiefenlinie. Die Ausdehnung des

vorzeitlichen Gletschers beschränkt sich auf einen kleinen Ausschnitt des Talgefäßes nahe der Tiefenlinie des Haupttales. Das Talquerprofil nahe Sinwa (**Abbildung 49**) bzw. die darin eingezeichnete Gletscherzunge verdeutlichen dies (vgl. **Photo 174**). Große Teile der Morphologie des Talgefäßes im Abschnitt südlich von Chirwa sind klimageomorphologisch von der beschriebenen Vergletscherung des Haupttales unabhängig entstanden. Den Seitentälern fehlt die Einzugsgebietshöhe, um eine großräumige Eigenvergletscherung aufzubauen, so daß die Gletscheroberfläche im Haupttal hier zwar die Erosionsbasis bzw. den Sedimentationsraum verschiebt, aber insgesamt der fluviale Formenschatz in den oberen Nebentalbereichen überwiegt.

Talauswärts finden sich nahe der Siedlung Thuma in 760m Höhe Reste einer Verkleidung des Tamur Khola Talbodens und der unteren Talflanken mit glazigenem Material, das abschnittsweise stark überprägt bzw. erodiert ist, aber als glazigenes Sediment ausweisbar erscheint (**Photo 175, Photo 176, Photo 177**, vgl. KUHLE 1990: Fig 8). Das durch die rezente Unterschneidung und lineare Erosion aus der Flanke aufgeschlossene glazigene Sediment ist mit fluvialen Schottern verzahnt. Diese Verzahnung interpretiert KUHLE (1990:420) als Hinweis auf eine Eisrandlage, die unter Hinweis auf entnommene Thermolumineszenz-Datierungs Proben in das "Würm"-Glazial stellt. Es finden sich kantengebrochene große Blöcke, die in eine schwach tonige Feinmaterialmatrix eingebettet sind, neben facettierten und geschrammten erratischen Blöcken. Der mit Hilfe von **Photo 176** dokumentierte Aufschluß zeigt nur einen kleinen Ausschnitt dieses Grundmoränenrestes (**Photo 175**). Letzterer konnte sich in einer hinsichtlich des Erosionspotentials günstigen Lage gut erhalten und belegt eine vorzeitliche Eismächtigkeit von mindestens ca. 140m über der rezenten Tiefenlinie, die nicht im Anstehenden, sondern in ausgewaschenen Resten dieser Grundmoränenfüllung angelegt ist.

Talauswärts von Thuma liefern erratische Blöcke mit Kantenlängen von über 4m im Verbund mit Dreiecksflächen und Flankenpolituren weitere Hinweise auf das Herabreichen des Tamur Gletschers (**Photo 178**). Die Blöcke sind mit hoher Wahrscheinlichkeit in ihrer jetzigen Position nicht durch einen Gletscher abgesetzt worden, sondern sind der Schwerkraft folgend aus der sich flankenseitig anschließenden Erosionsrinne "gefallen". **Photo 179** und **Photo 180** zeigen die Tiefenlinie des Tamur Khola in diesem Talabschnitt. Diese Photos belegen eine große Vielzahl von erratischen Blöcken in diesem Talabschnitt und zeigen gleichfalls die fluviale Überprägung des Talbodens in mehreren Perioden. Der rezente Fluß ist auf ein hier ca. 8m bis 10m breites Bett begrenzt (Das Talgefälle zwischen Thuma und Handrun liegt knapp unter 1°). Die Vegetationsentwicklung im Bereich der Hänge zeigt deutlich, daß der Abfluß des Tamur jahreszeitlich nur in geringem Maße schwankt. Große Teile der zu erkennenden Blockstreu sind aus einem moränischen Ausgangssubstrat herauspräpariert und fluvial überprägt worden. Das nicht sortierte und klassifizierte Material des glazialen Ausgangssubstrates wird durch ein

fluviatiles Sediment ersetzt, das die nicht mit Hilfe der fluvialen Dynamik zu transportierenden Blöcke umschließt. Die Möglichkeit der Verlagerung der Blöcke im Meterbereich der Horizontalen kann hinsichtlich der Fragestellung vernachlässigt werden.

Hinweise, welche die Verlagerung der erratischen Blöcke als Folge katastrophaler Seeausbrüche verständlich machen würden, konnte der Autor nicht kartieren (vgl. CARLING et al. 2002). Die denkbaren Einzugsgebiete solcher auf der Basis der vorliegenden Befunde nicht zu rekonstruierenden Seen lägen mit ihrer talauswärtigen Begrenzung mindestens 40km talaufwärts.

Der Gletscher reichte mindestens bis in den Bereich der heutigen Siedlung Dobhan (650m) herab. Der Eisrand lag somit ca. 6km talauswärts der von KUHLE (1990) angenommenen ERL (ca. 1km südlich von Thuma).

Zusammenfassend ist festzuhalten: Das Tamur Khola weist rezent keine vergletscherten direkten Einzugsgebiete auf. Die Befunde im oberen Tamur Khola belegen eine Gletscherzunge, die im Konfluenzbereich des Ghunsa Khola, des Nup Khola und des Simbua Khola mindestens 700m, wahrscheinlich jedoch deutlich mächtiger war. Anhand von morphologischen Indikatoren ist ein nach talauswärts einfallender Gletscherpegel zu rekonstruieren, der zu einer Eisrandlage in ca. 650m nahe der Siedlung Dobhan vermittelt. Die Bildung eines Eisstromnetzes im mittleren und unteren Teils des Tamur Khola ist unwahrscheinlich; der Eiszustrom ist auf die drei genannten Einzugsgebiete beschränkt.

2.2.3 Zusammenfassung der Befunde über den Kangchenjunga Himal

Die Befunde über die einzelnen Talschaften sind am Ende jedes Kapitels gruppiert worden und zusammenfassend dargestellt.

Die Zusammenschau der Indikatoren für das Ausmaß der Vergletscherung der behandelten Talschaften des Kangchenjunga Himal zeigt, daß sich vier Vergletscherungsphasen ausweisen lassen.

1. Die historischen Gletscherstände liegen in der Regel im direkten Vorfeld der Gletscher und zeichnen sich, insbesondere für die großen Gletscher, durch eine gute Formenerhaltung der Moränen aus (**Photo 92, Photo 121, Photo 111, Photo 10, Photo 149**). Die Laterofrontalmoränen sind häufig im niedrigen Dekameterbereich gegliedert und weisen auf kleinere Schwankungen der Ausdehnung der Gletscherzunge hin, die nicht mit älteren Gletscherständen zu verwechseln sind.

2. Ein zweite Gruppe von Indikatoren vermittelt zu Eisrandlagen des Ghunsa Khola Gletschers in ca. 3700m (**Photo 128**), des Yamatri Gletschers in ca. 3500m (**Photo 147**)

und des Simbua Khola Gletschers in ca. 3500m (**Photo 158**). Das Tamur Khola ist in dieser Phase unvergletschert.

Nahe der Lokalität Kyapla belegen die Befunde eine Eisrandlage des Ghunsa Khola Gletschers in ca. 2400m (**Photo 137**). Eine vergleichbare ERL im Simbua Khola konnten nicht ausgewiesen werden.

3. Deutlich heben sich die Indikatoren für eine hochglaziale Eisfüllung des Ghunsa Khola und des Simbua Khola von den bisher berücksichtigten Befunden ab. Der hochglaziale Gletscher füllte die Talschaften bis zur Konfluenz der Täler mit dem Tamur Khola bis in ein Niveau zwischen mindestens 6000m im Talschluß (wahrscheinlich lag die Eisoberfläche deutlich höher, **Photo 100, Photo 150**) und ca. 2600m an den Talausgängen (**Photo 97**) aus. Mit hoher Wahrscheinlichkeit vereinigten sich nahe der Siedlung Hellok die Gletscherteilströme des Ghunsa Khola, des Nup Khola und des Simbua Khola zu einer Ablationszunge, die bis auf ca. 650m, d.h. bis in den Bereich der heutigen Siedlung Dobhan herab reichte (**Photo 180**). Es finden sich keine Hinweise, daß diese Ablationszunge von der Vergletscherung der Talflanken des Tamur Khola profitierte, d.h. im Tamur Khola ein Eisstromnetz bestand.

Von besonderer Bedeutung für die Interpretation der Befunde insbesondere zur hochglazialen Gletscherausdehnung (**Kapitel 3**) werden die hohen Pegelbefunde der Lokalität Phale (**Photo 135**) im Ghunsa Khola und der Alm Nyamgyalama (**Photo 161**) im unteren Simbua Khola sein.

3. Ergebnisse

Mit Hilfe der im empirischen Teil durchgeführten morphologischen Analysen für die bearbeiteten Talschaften konnte gezeigt werden, daß die vorzeitlichen glazialen Überprägungsgrenzen im Talquerprofil und die Oberkante glazialgeomorphologischer Formengemeinschaften geeignet sind, Gletscherpegel an verschiedenen Positionen im Längsprofil eines Tales zu rekonstruieren. Die Befunde aus den Haupttälern wurden mit Gletscherpegelbefunden in den Nebentälern in Beziehung gesetzt.

Diese Ergebnisse müssen, wie auch in den obigen Beschreibungen schon vollzogen, in die Überlegungen zur Absenkung der Schneegrenze, insbesondere für ausgedehnte Gletscherstände, eingehen.

Die Verwendung des Begriffes Schneegrenze ist in der Literatur, nicht zuletzt aufgrund der verschiedenen Methoden ihrer Bestimmung, nicht eindeutig (vgl. **Kapitel 1.6.4**). Folgende Aspekte sind deshalb für die anschließenden Überlegungen von Bedeutung:

Der Wert, der die Schneegrenze beschreibt, wird als auf die Gletscheroberfläche projizierte „Isohypse“ verstanden. Ähnliches gilt für den spezielleren Begriff der Gleichgewichtslinie (GWL, engl. ELA equilibrium line altitude). Eine bessere begriffliche Beschreibung liefert der Terminus Gleichgewichtsfront bzw. Schneegrenzfront als eine in drei Dimensionen beschriebene, im Gletscher liegende Fläche, die den Nullwertraum zwischen Ablations- und Akkumulationsgebiet beschreibt. Die Schneegrenze kennzeichnet den Austrittsstreifen dieser Front an der Gletscheroberfläche. In dieser Weise wird Schneegrenze im Folgenden verstanden.

Die morphologische Reliefanalyse bietet die Möglichkeit, minimale Gletscherpegel im Tallängsprofil (vgl. **Photo 67** oder **Photo 161**) zu beschreiben und in eine eindeutige Beziehung zum Akkumulationsgebiet zu setzen - die gleiche Eindeutigkeit ist für die Beziehung zwischen Pegel und möglicher Eisrandlage nicht herzustellen. Die Verknüpfung von einer Eisrandlage und einem Gletscherpegel ist in einer im Einzelfall zu fassenden Spanne wahrscheinlich zu machen.

Die Eisoberfläche des Gletschers zwischen Pegelbefund und Akkumulationsgebiet ist zu rekonstruieren, die berechnete Schneegrenze wird auf die Eisoberfläche übertragen. Alle Bereiche zwischen dem Schnittpunkt der Schneegrenze und der empirisch belegten Eisoberfläche sind dem Akkumulationsgebiet zuzuordnen. Die notwendigen, das Einzugsgebietes geometrisch beschreibenden Parameter sind zu erfassen. Mit Hilfe einer Abschätzung des Ablationsgebietes läßt sich der vorzeitliche Gletscher typologisch fassen und hinsichtlich der Ausdeutungsmöglichkeit das Klima bzw. die Dynamik betreffend enger mit rezenten Gletschern vergleichen.

Eine Schwierigkeit ergibt sich aus Einbußen hinsichtlich der Vergleichbarkeit der entsprechenden Befunde zur Absenkung der Schneegrenze mit den Ergebnissen anderer Autoren. Bereits im empirischen Teil ist im Zusammenhang mit der Inventarisierung der rezenten Vergletscherung deutlich gemacht worden, daß in Abhängigkeit vom Gletschertyp bzw. von der reliefgesteuerten Beziehung zwischen Nähr- und Zehrgebiet die Höhenlage der Schneegrenze stark differieren kann (vgl. **Kapitel 1.6.4**).

Besonders hinzuweisen ist auf die Konsequenz, daß die Höhenlage der Schneegrenze auch innerhalb eines Zeitraumes veränderlich ist, der klimatisch als einheitlich verstanden wird. Als Reaktion auf eine beispielsweise abgeschlossene Veränderung des Klimafaktors Niederschlag reagiert der Gletscher, in Abhängigkeit der Faktoren Klima und Relief, mit einer kontinuierlichen Formveränderung. Diese Formveränderung verschiebt u. U. das Winkelverhältnis zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet des Gletschers - es resultiert eine Verlagerung der Schneegrenze in einem Maß, das der Erhaltung des morphologisch modifizierten Gletschers gerecht wird. Selbstverstärkungseffekte als Resultat der Veränderung des Lokalklimas sind hier noch nicht berücksichtigt. Von besonderer Bedeutung können Änderungen der Gletscherdynamik in Abhängigkeit von der Temperatur des Eises sein. Die obere Gletschergrenze gilt es in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen.

3.1 Die vorzeitliche Eisausdehnung im Rolwaling und Kangchenjunga Himal

3.1.1 Die Rekonstruktion vorzeitlicher Gletscherstände im Rolwaling Himal

Im empirischen Teil konnte das Ausmaß der Vergletscherung im wesentlichen anhand glazialgeomorphologischer Befunde rekonstruiert werden. Im folgenden gilt es diese Befunde zu einem kohärenten Bild zusammenzufassen. Das Ergebnis ist mit Hilfe der Kartengruppe **Karte 2 (rez-IV)** dargestellt. Die relative zeitliche Einordnung orientiert sich an der von KUHLE (1999: Table 1) publizierten Tabelle.

Die Eisausdehnung für die historische Zeit ist anhand der unstrittig zu erkennenden Laterofrontalmoränen im direkten Gletschervorfeld zu kartieren und nicht wesentlich stärker ausgedehnt als die rezente Rückzugsphase der Gletscher (**Karte 2 (I)**). Die Schneegrenzabsenkung für die Gletscher ergibt einen im Mittel um ca. 20m bis 100m gegenüber der rezenten Schneegrenze verschobenen Wert. Die typologische Einordnung der Gletscher entspricht im wesentlichen der der rezenten Gletscher.

Talauswärts der historischen Moränenkomplexe konnte in ca. 4000m nahe Dhogre eine Eisrandlage eines Rolwaling Khola Gletschers ausgewiesen werden. Die Befunde belegen, daß es sich um ein Eisstromnetz handelte, das sich zum überwiegenden Teil aus

den Einzugsgebieten des rechten und des linken Rolwaling Khola Talschlusses zusammen setzt. Ebenfalls morphologisch evident ist, daß das Yalung Talgefäß als Teil dieses Eisstromnetzes zu interpretieren ist. Die etwa gleich alten Gletscher des Einzugsgebietes westlich des Yalung Ri (oberhalb der Ufermoräne in **Photo 23**) waren nicht mit dem Haupttalgletscher verbunden.

Nicht eindeutig auf morphologischer Basis ableitbar ist die Beziehung der Vergletscherung der Flanke nördlich von Na zur Ausdehnung des Eisstromnetzes. Es finden sich keine morphologischen Indikatoren, die eine Konfluenz der Vergletscherung dieses Einzugsgebietes mit dem Haupttalgletscher widerlegen. Der Eispegel der Haupttalvergletscherung dürfte hier zum in Rede stehenden Zeitpunkt in ca. 4600m gelegen haben, das heißt, für das konfluenzlose Agieren des Nebentalgletschers bliebe der Raum zwischen den historischen Eisrandlagen in ca. 4900m und der Obergrenze des Eisstromes in ca. 4600m. Die überschlägige Berechnung der Schneegrenze für beide Einzugsgebiete zeigt, vor dem Hintergrund der vergleichbaren mittleren Einzugsgebietshöhe, daß der Nebentalgletscher aus der Flanke oberhalb von Na Kontakt zum Eisstrom im Haupttal gehabt haben müßte. Auf der Basis des so rekonstruierten Gletschers berechnet sich die Schneegrenze für die Eisrandlage in ca. 4000m zu ca. 5000m. Der morphologisch rekonstruierte Gletschertyp ist mit dem des rezenten Rechten Rolwaling Gletschers vergleichbar - es ändert sich nur die Größe. Die Schneegrenzabsenkung im Vergleich zur mittleren rezenten Schneegrenze dieses Tales beträgt ca. 350m. Die Befunde und die berechnete Schneegrenze bilden die formungswirksamste Phase der Eisausdehnung ab und nicht zwingend die tiefste Absenkung der Schneegrenze. Auf diesen Punkt wird später detailliert einzugehen sein.

Für das Ghodonadi Khola und für Teile der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke südlich von Ramdin lassen sich Eisrandlagen zwischen 4400m und 4200m ausweisen, die mit der letztgenannten ERL des Haupttalgletschers gut zu korrelieren sind. Diese ERL erreichen den Talboden des Haupttales nicht, das heißt, westlich von Dhogre sind die Einzugsgebiete lokal vergletschert. Die in der **Karte 2 (II)** kartierten Gletscherstände sind dem Neoglazial zuzuordnen.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit findet sich die nächste Eisrandlage im Rolwaling Khola in ca. 3000m westlich des Talausganges des Themlun Khola, südlich des Gaurisankar.

Die empirischen Befunde zeigen sehr deutlich, daß im Talabschnitt zwischen Dhogre und dem Talausgang des Themlun Khola zwei Niveaus glazialer Überprägung zu differenzieren sind: ein hohes Niveau, das auf Eisrandlagen außerhalb des Rolwaling Khola verweist, und ein tieferes, das die oben genannte ERL in ca. 3000m stützt, so daß diese nicht als Folge einer lokalen Vergletscherung des Themlun Khola fehlzuinterpretieren ist. Der bereits rekonstruierte Gletscher, welcher der ERL bei Dhogre zuzuordnen war, besteht hinsichtlich seiner Einzugsgebietseinfassung weiter, so daß festzustellen ist,

welche Nebentäler im Bereich zwischen der ERL und Dhogre für das zu beschreibende Eisstromnetz relevant sein könnten. Die Befunde für den Talausgang des Ghodonadi Khola sind diesbezüglich eindeutig und bereits weiter oben diskutiert - eine Konfluenz bestand. Das sehr kurze und steile Themlun Khola wird rezent vom höchsten Einzugsgebiet dieses Arbeitsgebietes eingefaßt, wobei die mittlere Einzugsgebietshöhe für vorzeitliche ERL sehr schnell nach talauswärts absinkt und etwa mit der des Ghodonadi Khola vergleichbar ist. Der lokale Themlun Gletscher, das heißt, das Ablationsgebiet dieses Gletschers, erreichte zum Zeitpunkt der Bildung der ERL in ca. 3000m das Haupttal.

An der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke belegen Reste eines Zungenbeckens und Podestmoränenreste das Auf- oder Anfahren der Nebentalgletscherzunge auf bzw. gegen das im Haupttal liegende Eis (**Photo 58, Karte 2 (III)**).

Die **Karte 2 (III)** zeigt das Ausmaß der Vergletscherung, wie es auf der Basis der empirischen Befunde zu rekonstruieren ist. Die Morphologie der Gletscherzunge und die Verhältnismäßigkeit zwischen Akkumulationsgebiet und Ablationsgebiet des Gletschers zu beschreiben ist wesentlich problematischer als für die in den Karten **Karte 2 (I)** und **Karte 2 (II)** dargestellten Vergletscherungsphasen.

Die rekonstruierte Gletscherzunge ist eingefaßt von Flanken, die deutlich über die anzunehmende Schneegrenze hinausragen. Die überschlägige Berechnung der Schneegrenze ergibt den Wert ca. 4700m $[(6400m+3000m)/2]$. An diesem Wert orientiert sich die Berechnung der realen Schneegrenze. Der Versuch, die 4700m Isohypse auf der Gletscheroberfläche zu verfolgen, zeigt, daß in der unteren Gletscherteilfläche diese Isohypse im Bereich der Nebentäler geschnitten wird. Die geomorphologischen Befunde belegen jedoch, daß etwa im Bereich von Na die 4700m Isohypse auf der Gletscheroberfläche oberhalb der Tiefenlinie des Rolwaling Khola zu verorten ist. Auf dieser Basis ist eine Verhältnismäßigkeit von Nähr- und Zehrgebiet des Gletschers abschätzbar. Die größte Längsausdehnung des Gletschers beträgt ca. 28km. Die geomorphologischen Befunde zeigen, daß die untere Hälfte des Gletscherstromes im Haupttal relativ flach geneigt ist und als Ablationszunge eines dendritischen Gletschersystems im Talgefäß liegt. Dieser Gletscher ist typologisch mit dem rezenten Rechten Rolwaling Gletscher und dem in **Karte 2 (II)** rekonstruierten Gletscher verwandt. Anhand der rezenten Gletscher konnte gezeigt werden, daß die reale Schneegrenze für diese Gletschertypen tendenziell unter der rechnerischen liegt. Problematisch für die Berechnung der realen Schneegrenze für den vorliegenden rekonstruierten Gletscher (**Karte 2 (III)**) ist das Verhältnis der Einzugsgebietsteile. Dem gesamten oberen Rolwaling Khola östlich von Na als einem Teilgebiet steht der Einfluß der Nebentaleinzugsgebiete in dem deutlich engeren Talgefäß im mittleren Rolwaling Khola beiseite. Das abzuleitende Winkelverhältnis zwischen Akkumulationsgebiet und Ablationsgebiet rechtfertigt die Annahme der realen Schneegrenze des Gletschers in ca. 4500m bis 4550m und damit eine Absenkung

im Verhältnis zur rezenten Schneegrenze von ca. 800m. Diese ist dem Spätglazial zuzuordnen.

Bemerkenswert ist die Verhältnismäßigkeit zwischen den Gletscherständen, wie sie in **Karte 2 (II)** und in **Karte 2 (III)** dargestellt sind. Die Eisrandlage trennen ca. 900 Höhenmeter, so daß sich mit Hilfe der einfachen Formel $([Er11-Er12]/2)$ eine Schneegrenzabsenkung von ca. 450m zwischen beiden Eisrandlagen berechnen ließe $([3900m-3000m]/2=450m)$. Die Differenz der oben berechneten realen Schneegrenzen beträgt ebenfalls ca. 450m $(5000m-4550m=450m)$.

Diese lineare Beziehung besteht nur, wenn der Gletschertyp der rekonstruierten Eiskörper annähernd gleich ist. Weiter unten wird gezeigt, wie grundlegend sich diese enge Beziehung mit der Änderung des Gletschertyps ändern kann.

Die geomorphologischen Befunde aus dem Rolwaling Khola und dem Bhote Kosi belegen einen Gletscher, dessen Ausmaß die **Karte 2 (IV)** verdeutlicht und der bis ca. 950m herabreicht. Im Bereich des Talausganges des Rolwaling Khola konnten Eispegel im Flankenabschnitt zwischen 3800m und 4000m gezeigt werden, die außerhalb des Einflußbereiches der lokalen Vergletscherung der Flanken liegen. Diese Eispegel geben wertvolle Hinweise für die Rekonstruktion des entsprechenden Eiskörpers (siehe **Kapitel 2.1.3**).

Als problematisch für die Berechnung der realen Schneegrenze ist die Konfluenz des Rolwaling Khola Gletschers und des Bhote Kosi Gletschers zu erachten. Letztgenannter wird als Teil einer Auslaßgletscherzunge des Südtibetischen Inlandeises bzw. Eisstromnetzes verständlich, wie sie KUHLE (1988b, 1991, 1999, 2002) für benachbarte Durchbruchstäler des Himalaya nachweisen kann, so daß ein klar umrissenes kleinräumiges Einzugsgebiet nicht zu erfassen ist. Mit hoher Wahrscheinlichkeit bestand auch über Teile der Rolwaling Nordabdachung eine Konfluenz zwischen der Vergletscherung der Nordabdachung, das heißt, zwischen dem Tibetischen Inlandeis (ebd.) und dem Rolwaling Gletscher. Für das Bhote Kosi besteht die Vergleichbarkeit insbesondere zur Auslaßzunge des Bo Chu oder Sun Kosi (KUHLE 1999), während die Eisstromnetzverflechtung der Rolwaling Khola Nordflanke eher mit der des oberen Bhote Kosi Nadi (KUHLE 1988b, 1999, 2002) und des Ronbuk Gletschers (KUHLE 1988b, 1991) vergleichbar ist.

Die Rekonstruktion der Gletscheroberfläche zeigt, daß der Gletschertyp seit der in **Karte 2 (III)** dokumentierten Vergletscherungsphase gewechselt hat. Eisvolumen und Eisoberfläche sind um ein Vielfaches vergrößert. Im Bereich des Talausganges des Rolwaling Khola findet sich eine Eismächtigkeit von ca. 1,5km bis 2km - nur ca. 18km südlich endet der Gletscher in ca. 1000m Höhe. Die generalisiert betrachtete Oberfläche des Gletschers ist nicht mehr konkav, sondern konvex gewölbt, d.h. das Winkelverhältnis von Nähr- zu Zehrgebiet verschiebt sich in den negativen Bereich. Wie in **Kapitel 1.6** ausgeführt, liegt für diese Fälle die reale Schneegrenze tendenziell über der rechnerischen

Schneegrenze. Die rechnerische Schneegrenze liegt für den vorliegenden Fall in ca. 3700m auf der Basis einer mittleren Einzugsgebietshöhe von ca. 6400m. Das bedeutet, sie läge ca. 2km bis 3km südlich des Talausganges des Rolwaling Khola auf der Gletscheroberfläche. Die reale Schneegrenze läßt sich aufgrund der Pegelbefunde gut ableiten und dürfte kaum unter 4200m liegen. Zu berücksichtigen ist jedoch, daß für den Gletscherteilstrom des nördlichen Bhote Kosi das Einzugsgebiet nicht exakt zu erfassen ist und hinsichtlich der anzunehmenden Einzugsgebietshöhe die Absenkung der Gletscherobergrenze, in deren Nähe sich große Teile der Einzugsgebietsfläche zu befinden haben, nicht unberücksichtigt bleiben kann. Im Fall der Gletscherobergrenze wirkt jedoch der Umstand mildernd, daß der rekonstruierte Gletscher im wesentlichen von der primären Ernährung profitiert (vgl. die Gletscherfläche zwischen **Karte 2 (I)** und **Karte 2 (IV)**). In Gletscherbereichen, die über die Gletscherobergrenze aufragen, wird der Schnee relativ leicht verblasen und fängt sich dann jedoch in tieferen Lagen, in denen die Zunge stärker vom Relief eingefaßt wird. Im Kangchenjunga Himal wird die Frage der oberen Gletscherbegrenzung bzw die dadurch bewirkte Kappung der mittleren Einzugsgebietshöhe von stärkerer Bedeutung sein.

Aus der **Karte 2 (IV)** geht deutlich hervor, daß die Haupttalvergletscherung im Ablationsgebiet schnell an Volumen verliert. Insbesondere auf der Himalaya Südabdachung ist festzustellen, daß die großen vorzeitlichen Gletscherzungen hier im Vergleich zu Gebirgen in den gemäßigten Breiten sehr schnell in Klimastufen herabreichen, die ihrer Erhaltung abträglich sind. Hier gilt es, das Verhältnis zwischen Schneegrenzabsenkung und resultierender ERL zu berücksichtigen, das den doppelten Wert des Absinkens der übrigen Klimagrenzen annimmt, beispielsweise der Waldgrenze. Dieser bekannte Zusammenhang ist im vorliegenden Fall kombiniert mit einer großen Eismächtigkeit im mittleren Bhote Kosi und im unteren Rolwaling Khola. Diese Eismächtigkeit und, daraus resultierend, der obere Gletscherpegel sind von wesentlicher Bedeutung für die Berechnung der Schneegrenze.

Festzuhalten ist: Damit sich der in **Karte 2 (IV)** kartierte Gletscher hinsichtlich seiner Ernährungsbilanz im Gleichgewicht befindet, muß die Schneegrenze in ca. 4200m, d.h. nur ca. 1150m unter der rezenten Schneegrenze liegen. Das heißt nicht, daß eine Schneegrenzabsenkung um 1150m gegenüber der rezenten Schneegrenze in ca. 5350m reichen würde, um ein Gletscherende im Bereich der geomorphologisch ausgewiesenen ERL in ca. 1000m zu zeitigen.

Überschlägig berechnet, würde die Absenkung der Schneegrenze um ca. 1150m u.U. nur eine ERL eines Rolwaling Khola Gletschers in ca. 2000m ($4200m \cdot 2 - 6400m = 2000m$), d.h. im Bereich des Talausganges zeitigen - diese Rechnung läßt Form und Volumen des

Gletschers unberücksichtigt und stünde in keinem vernünftigen Verhältnis zur belegten ERL des Rolwaling Gletschers in ca. 3000m.

Der erhebliche Unterschied zwischen der Eisausdehnung in **Karte 2 (III)** und **Karte 2 (IV)** erscheint zwar überraschend, ist jedoch in weitaus größerem Umfang aus den Alpen bekannt (vgl. PENCK u. BRÜCKNER 1909 und stellvertretend DAMM 1996). Seit PENCK u. BRÜCKNER (ebd.) ist das Ausmaß der Vergletscherung der Alpen in groben Zügen verdeutlicht - die Gletscher reichten auf der Nordseite der Alpen im Hochglazial beispielsweise bis an die Schwäbische Alp (ca. 400m üNN). DAMM (1996) kartiert in Übereinstimmung mit diversen anderen Autoren spätglaziale Eisrandlagen im Bachertal in ca. 1550m, ca. 8km vom rezenten Einzugsgebiet entfernt. Eine mäßige Abweichung der absoluten Höhe der Eisrandlage steht einer enormen Veränderung des Eisvolumens gegenüber. Klimatologische Ableitungen für das Hochglazial aus der, ohne die Berücksichtigung der Morphologie des Eiskörpers berechneten Schneegrenzabsenkung wären sehr vage.

Fraglich ist, ob die in der vorliegenden Schrift ausgewiesene Eisrandlage in ca. 1000m im Bhothe Kosi als Ausdruck der größten Absenkung der vorzeitlichen Schneegrenze zu interpretieren ist - die lokale hochglaziale Vergletscherung der kaum über 4300m hohen Teile der Daldun Dada deuten, wie auch die Kare oberhalb von Lamobagar, auf eine stärkere Absenkung der Schneegrenze hin. Zu bedenken ist in diesem Zusammenhang, daß der Gletscher als Reaktion auf eine Schneegrenzabsenkung von ca. 1150m kaum bis in 1000m herabreichen könnte. Es gilt, einen Schnittpunkt zu erfassen, an dem der Wechsel zwischen (vereinfacht gesagt) positiven und negativen Winkeldifferenzen der beteiligten Gletscherteilgebiete liegt. Die in **Karte 2 (II)** und **Karte 2 (III)** gezeigten Gletscher reagierten auf eine Klimaänderung unter Beibehaltung ihrer morphologischen Grundeigenschaften und damit ihrer gletschertypologischen Einordnung. Eine weitere, sich auf die Ernährungsbilanz positiv auswirkende Klimaänderung rückt den wachsenden Gletscher typologisch näher in die Klasse der Gletscher mit negativen Winkelverhältnissen. Unter günstigen Rahmenbedingungen schiebt sich der Gletscher in den Bereich negativer Winkeldifferenzen - die reale Schneegrenze rückt über die rechnerische Schneegrenze. In diesem Bereich läßt sich gedanklich ein Abschnitt fassen, an dem der Gletscher drastisch vorstoßen kann, obschon sich die klimatischen Rahmenbedingungen nicht weiter verändern. Dieser Abschnitt ist im wesentlichen durch die Morphologie des Gletschers determiniert. Als Resultat ist das weite Vorstoßen einer Gletscherzunge denkbar, die an klimatisch weniger günstige Rahmenbedingungen gekoppelt ist, weil sie im Gunstbereich des Wechsels zwischen positiver und negativer Winkeldifferenz der Gletscherteilgebiete liegt. Für den vorliegenden Fall könnte dies bedeuten, daß die in

Karte 2 (IV) verdeutlichte Gletscherausdehnung die Spuren einer Vergletscherung, die an eine tiefere Absenkung der Schneegrenze gebunden waren, überfährt und zerstört.

Der rekonstruierte Gletscher (**Karte 2 (IV)**) ist in das letzte Hochglazial (LGM) zu stellen, dabei gilt es zu berücksichtigen, daß Form und Fläche der Gletscheroberfläche hinsichtlich der Bedeutung für die Eisausdehnung den Einfluß des Klimas in eng gesteckten Grenzen an Bedeutung überholen können.

Die **Karten 2 (rez)** bis **Karte 2 (IV)** fassen die Ergebnisse zusammen.

3.1.2 Die Rekonstruktion vorzeitlicher Gletscherstände im Kangchenjunga Himal

Die Kartengruppe **Karte 4** faßt die empirischen Befunde zum Ausmaß der Vergletscherung im Kangchenjunga Himal zusammen. Die relative zeitliche Einordnung orientiert sich an der von KUHLE (1999: Table 1) publizierte Tabelle.

Die historischen Gletscherstände liegen im Untersuchungsgebiet in der Regel im direkten Gletschervorfeld der rezenten Vergletscherung, sind morphologisch gut erhalten und beschreiben Schneegrenzabsenkungen zwischen ca. 20m bis 100m gegenüber der rezenten klimatischen Schneegrenze. Der Typ der größeren Gletscher ändert sich dabei nicht, für die kleineren Gletscher ist dies wahrscheinlicher, so daß ein Teil der Bandbreite der Schneegrenzabsenkung im Einzelfall auf die veränderten morphologischen Eigenschaften des jeweiligen Gletschers zurückzuführen ist.

Talauswärts der historischen Moränen konnte im Ghunsa Khola eine Eisrandlage in ca. 3700m, im Simbua Khola eine Eisrandlage in ca. 3500m und für das Yamatri Khola eine Eisrandlage in ca. 3500m nachgewiesen werden.

Die ERL im Ghunsa Khola, ca. 2km südlich von Kanbachen, ist gebunden an ein Eisstromnetz aus Kangchenjunga Gletscher, Lhonak Gletscher und Ramdan Gletscher. Diese Gletscherteile bilden den größten Teil des Einzugsgebietes. Die Gletscher der Talschaften des Nupchu Khola und des Khumbarkarna Khola erreichten die Ablationszunge dieses Eisstromnetzes in unmittelbarer Nähe zum Gletscherende. Die **Karte 4 (II)** zeigt die rekonstruierte Gletscheroberfläche für dieses Stadium der Vergletscherung. Auf der Basis dieser Rekonstruktion berechnet sich die Schneegrenze zu ca. 5200m. Dies entspricht einer Schneegrenzabsenkung von ca. 300m in Relation zur mittleren rezenten Schneegrenze der beteiligten Gletschereinzugsgebiete.

Die im Simbua Khola ausgewiesene ERL in ca. 3500m ist im wesentlichen an die ausgedehntere Vergletscherung der rezenten Einzugsgebiete des Yalung Gletschers gekoppelt. Die empirischen Befunde zeigen, daß die Vergletscherung der Flanken im mittleren Gletscherabschnitt zwischen Rathon und dem Yamgachha Khola die vorzeitliche Gletscherzunge erreicht haben dürften (**Karte 4 (II)**); diese Konfluenz lag

jedoch auswärts des Rathon bereits deutlich unterhalb der abzuschätzenden Schneegrenze und im Bereich der Gletscherenden der Nebentalgletscher. Die Vergletscherung des Yamgachha Khola erreichte vermutlich den Talausgang in dieser Phase nicht. Die ERL des Simbua Khola Gletscher in ca. 3500m ist in Abhängigkeit von der Morphologie der Gletscherzunge an eine Absenkung der Schneegrenze um ca. 300m auf ca. 5250m gebunden.

Der Yamatri Gletscher reichte bis in ca. 3500m herab und riegelte das Ghunsa Khola ab. Aufgrund des relativ kleinen Einzugsgebietes ist der Yamatri Gletscher gut zu rekonstruieren (**Karte 4 (II)**). Die Schneegrenze für diesen Gletscher berechnet sich zu ca. 4800m. In Relation zur Lage der rezenten Schneegrenze entspricht dies einer Absenkung um ca. 430m. Das Maß der Absenkung weicht damit um ca. 130m von dem der größeren Gletscher des oberen Ghunsa Khola und des Simbua Khola ab. Absolut betrachtet, liegt diese Abweichung im Bereich der Fehlerquellen der Methode.

Die Gletscherstände, wie sie in **Karte 4 (II)** kartiert wurden, sind dem Neoglazial zuzuordnen. Diese zeitliche Interpretation deckt sich mit den Befunden von KUHLE (1990) und MEINERS (1999).

Im Ghunsa Khola findet sich eine weitere ERL in ca. 2400m nahe der Siedlung Kyapla. Diese Eisrandlage wird als das Ergebnis der Vergletscherung des Haupttales und nicht allein auf der Basis der Vergletscherung der lokalen Nebentäler oder des Yamatri Khola verständlich. Das rekonstruierte Eisstromnetz, wie es in **Karte 4 (III)** eingezeichnet ist, vereinigt dabei sämtliche Einzugsgebiete des oberen Ghunsa Khola zu einem Gletscher. Die Berechnung der Schneegrenze für diesen Gletscher ist problematisch, da eindeutig diesem Gletscher zuzuordnende Pegelbefunde im mittleren Gletscherteil fehlen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelte es sich jedoch um einen Gletscher mit eher mäßiger Winkeldifferenz zwischen Nähr- und Zehrgebiet, der als Firnstromtyp zu klassifizieren ist. Die reale Schneegrenze liegt für diesen Gletscher typabhängig etwas über der rechnerischen Schneegrenze (hier: 4350m) in ca. 4400m. Dies entspricht einer Absenkung der Schneegrenze gegenüber der rezenten klimatischen Schneegrenze von ca. 1000m bis 1100m und gegenüber den neoglazialen Gletscherständen von ca. 800m; speziell zur neoglazialen Yamatri Moräne jedoch nur ca. 400m. Dieser Unterschied ist zu einem erheblichen Anteil auf die unterschiedlichen morphologischen Eigenschaften der Gletscher zurückzuführen. Nicht auszuschließen ist, daß die Zungenbeckeneinfassung von Kyapla stark durch den Zustrom des Yamatri Gletschers determiniert wird. Der Ghunsa Khola Gletscher hätte, läßt man die Konfluenz mit dem Yamatri Gletscher außer acht, u.U. bereits etwas höher im Talquerprofil geendet. Eine vergleichbare Situation fände sich im Bereich der Alm Ramdan, wenn der Merra Peak Gletscher einige Dekameter tiefer herabreichen würde und eine Konfluenz zu einer ausgedehnteren Kangchenjunga Gletscherzunge bestünde.

Die ERL in ca. 2400m nahe Kyapla ist dem Spätglazial zuzuordnen.

Eine vierte Gruppe von geomorphologischen Indikatoren belegt einen maximal 86km langen Gletscher, der weit über die Talschaften des Ghunsa Khola und des Simbua Khola herausreichte und in ca. 650m Höhe nahe der Siedlung Dobhan im Tamur Khola endete. Dieser Gletscher ist dem letzten Hochglazial zuzuordnen. Die Rekonstruktion des Eiskörpers (**Karte 4 (IV)**) beruht neben der Eisrandlage im wesentlichen auf der Auswertung von Gletscherpegeln, die Hinweise auf den Verlauf der Gletscheroberfläche geben können. Zwei Lokalitäten sind besonders herauszuheben: zum einen die orographisch rechte Flanke des Ghunsa Khola zwischen Phale und Kyapla und zum anderen die Lokalität Nyamgyalama im unteren Simbua Khola. Die rechnerische Schneegrenze des rekonstruierten Gletschers liegt in ca. 3500m ($((6300\text{m}+650\text{m})/2=3475\text{m})$). Die empirischen Befunde für den Talabschnitt nahe Kyapla und Phale belegen, daß die Gletscheroberfläche hier zwischen mindestens 4100m und 4800m gelegen hat, d.h. weit über der rechnerischen Schneegrenze. Im Simbua Khola beweist die Ufermoräne von Nyamgyalama, daß ein Gletscher, dessen Schneegrenze oberhalb von 3600m lag, im Talabschnitt der Alm noch mindestens 800m mächtig war. Die reale Schneegrenze muß auf der Gletscheroberfläche talaufwärts im Simbua Khola gelegen haben. Beide Lokalitäten zeigen in Kombination mit den Befunden im oberen Tamur Khola, daß der Schnittpunkt der rechnerischen Schneegrenze (3500m) mit der Gletscheroberfläche im untersten Ghunsa Khola und untersten Simbua Khola zu suchen ist, da die Gletscheroberfläche erst in diesen Talabschnitten die 3500m Isohypse schneidet. Auf Basis dieser Überlegung berechnet sich die reale Schneegrenze zu ca. 4100m, das heißt, die reale Schneegrenze liegt ca. 600m über der rechnerischen Schneegrenze. Für diese Berechnung wird eine mittlere Einzugsgebietsgröße von ca. 6400m veranschlagt. Das Maß der primären Gletscherernährung drängt die Bedeutung der sekundären Gletscherernährung drastisch zurück, so daß die Gipfelhöhen über der Gletscheroberfläche stark an Bedeutung verlieren. Bedeutsamer ist die Abschätzung der Höhe der mittleren Gletscheroberfläche im potentiellen Einzugsgebiet unter Berücksichtigung der oberen Grenze der Gletscherhöhenstufe.

Ebenso wie für den hochglazialen Gletscherstand im Rolwaling Himal ist festzuhalten, daß der in **Karte 4 (IV)** kartierte Gletscher sich hinsichtlich seiner Ernährungsbilanz im Gleichgewicht befindet, wenn die Schneegrenze in ca. 4100m liegt. Dies entspricht einer Absenkung von ca. 1300m bis 1400m gegenüber der rezenten klimatischen Schneegrenze. Dies bedeutet nicht, daß im Umkehrschluß eine Schneegrenzabsenkung von 1300m bis 1400m reichen würde, um eine ERL im Bereich der hier anhand von geomorphologischen Befunden nachgewiesenen ERL zu zeitigen (vgl. ergänzend die Überlegungen zum hochglazialen Gletscherstand des Bhote Kosi Gletschers in **Kapitel 3.1.1**).

KUHLE (1990:420) rekonstruiert ein hochglaziales Eisstromnetz im Ghunsa Khola und Tamur Khola, das bis Thuma (890m) herabreicht und das „also functioned as the outlet system for south-Tibetan ice north of the main range of the Himalayas;...“ (KUHLE 1990:420). Die niedrigsten Pässe der Ghunsa Khola Nordabdachung liegen zwischen 5950m und 6000m im oberen Nupchu Khola. Diese Pässe waren unzweifelhaft eisüberflossen, so daß eine Konfluenz zum Südtibetischen Eisstromnetz bestanden hat. Für die hier rekonstruierte letzhochglaziale Vergletscherung des Kangchenjunga Himal bzw. der daraus resultierenden ERL in 650m Höhe ist eine Eisinjektion aus der Nordabdachung, ähnlich der für das Bhote Kosi beschriebenen, jedoch nicht zwingend notwendig.

Auffällig ist die enorme Veränderung des Eisvolumens zwischen der Vergletscherung, wie sie in **Karte 4 (III)** im Vergleich zur **Karte 4 (IV)** dargestellt ist. Im Talabschnitt der spätglazialen ERL von Kyapla betrug die hochglaziale Eismächtigkeit noch mindestens 1400m. Der hochglaziale Gletscher reichte noch ca. 40km über Kyapla talauswärts hinaus.

3.2 Die Korrelation der Befunde für den Rolwaling Himal und den Kangchenjunga Himal

Im folgenden Kapitel wird versucht, die Ergebnisse aus den zwei Arbeitsgebieten der vorliegenden Arbeit zueinander in Beziehung zu setzen und mit den Ergebnissen anderer Autoren zur maximalen Ausdehnung der letzhochglazialen (LGM) Vergletscherung der Himalaya Südabdachung zu vergleichen.

Der Vergleich der in den Kartengruppen **Karte 2 (I-IV)** und **Karte 4 (I-IV)** dokumentierten relativen zeitlichen Klassifizierung der Befunde aus den zwei Arbeitsgebieten läßt auf eine enge Beziehung der Vergletscherungsphasen im Rolwaling Himal und im Kangchenjunga Himal schließen.

Die rezente Schneegrenze im Rolwaling Himal liegt in ca. 5340m, d.h. ca. 100m unter der rezenten klimatischen Schneegrenze im Kangchenjunga Himal (5450m).

Die Korrelation der historischen Eisrandlagen ist aufgrund der guten Erhaltung der Moränen unproblematisch. In beiden Arbeitsgebieten bilden diese Moränen ein etwa vergleichbares Maß einer Schneegrenzabsenkung zwischen 50m und 100m ab.

Für die dem Neoglazial zugeordneten ERL fällt im Vergleich der Arbeitsgebiete auf, daß die ERL bei Dhogre im Rolwaling Himal ca. in 4000m Höhe liegt, während die neoglazialen Eisrandlagen im Kangchenjunga Himal deutlich tiefer in ca. 3500m zu lokalisieren sind. Diese relativ hohe Diskrepanz der Lage der Eisränder relativiert sich über das berechnete Maß der Schneegrenzabsenkung. Diese beträgt für beide Gebiete und Eisrandlagen ca. 300m.

Während einer spätglazialen Vergletscherungsphase reichte der Rolwaling Gletscher bis in ca. 3000m herab, der Ghunsa Khola Gletscher erreichte, wahrscheinlich stark durch einen Yamatri Gletscher beeinflusst, eine Position in ca. 2400m. Die für beide Gletscher berechnete Schneegrenze weicht dabei nur um ca. 100m ab (Rolwaling: 4500m; Kangchenjunga 4400m); die spätglaziale Schneegrenzabsenkung im Rolwaling Himal um ca. 800m gegenüber der rezenten Schneegrenze war ca. 200 Höhenmeter geringer als im Kangchenjunga Himal. Die Analyse der rezenten Vergletscherung zeigt, daß die Lage des Gletscherendes vom Gletschertyp determiniert wird. Es gilt also, weniger die absolute Höhenlage der Gletscherenden, sondern vielmehr die Maße der Schneegrenzabsenkung, die auf der Basis der Berücksichtigung der Morphologie der Gletscherzunge ermittelt wurden, miteinander in Beziehung zu setzen. Ein Unterschied der Schneegrenzabsenkung für den Rolwaling Gletscher und den Kangchenjunga Gletscher von ca. 200m ist, vor dem Hintergrund des Ausmaßes der entsprechenden Vergletscherungen und der Fehlerquote bei der Berechnung von Schneegrenzen, gut geeignet, eine Eisrandlage in 3000m im Rolwaling Khola und eine Eisrandlage in 2400m im Ghunsa Khola als zu einer Vergletscherungsphase zusammengehörig zu interpretieren.

In beiden Arbeitsgebieten ist ein deutlicher Sprung des Ausmaßes und der Art der Vergletscherung während der Phase der nachgewiesenen größten Gletscherausdehnung zu erkennen. Der Gletscher im Kangchenjunga Himal reichte dabei ca. 300m (bis ca. 650m) tiefer herab als die für den Rolwaling Himal angenommene Mindestausdehnung des Gletschers im Bhote Kosi bis auf ca. 950m. Ein wesentlicher Unterschied der Vergletscherungen ist, daß der Bhote Kosi Gletscher nur in Abhängigkeit einer Eisinjektion des Südtibetischen Eisstromnetzes verständlich wird.

In beiden Talschaften finden sich hochglaziale Eismächtigkeiten von über 1700m nahe oder deutlich talauswärts der spätglazialen Eisrandlagen. Die rekonstruierten Gletscher reichen mit einer in Relation zu rezenten bis neoglazialen Vergletscherungen sehr großen Fläche über die Schneegrenze hinaus (vgl. **Karte 2** und **Karte 4**). Im Rolwaling Himal lag die gesamte Gletscheroberfläche des Rolwaling Khola Teilgletschers oberhalb der Schneegrenze, dies entspricht einer Fläche von ca. 330km² - im Kangchenjunga Himal (Ghunsa Khola und Simbua Khola) ist von einer hochglazialen Einzugsgebietsfläche von mindestens 700 km² auszugehen. Diese flächenhaften Akkumulationsgebiete verlieren über schmale, in subtropisches Klima herabreichende Ablationszungen an Masse. Die Schneegrenze berechnet sich zu 4200m im Rolwaling Himal und zu 4100m in Kangchenjunga Himal; die Absenkung beträgt im ersten Gebiet ca. 1150m im zweiten Untersuchungsgebiet ca. 1350m. Diese Daten berücksichtigen die Gletschermorphologie (vgl. **Kapitel 1.6**). Bleibt die Morphologie des Gletschers unberücksichtigt, so daß nur die Parameter der mittleren Höhe der Kammumrahmung und der tiefsten ERL zu berücksichtigen sind, ergeben sich folgende Wertepaare [Schneegrenze; Schneegrenzab-

senkung]: für den Rolwaling Himal [3675m; 1675m] und [3500m; 1950m] für den Kangchenjunga Himal.

Die aufgezeigten Beziehungen zwischen den in den Untersuchungsgebieten belegten Vergletscherungsphasen zeigen deutlich, daß der vergletscherungswirksame Umfang der Klimaänderungen in diesen Räume annähernd gleich war. Sowohl im Rolwaling Himal als auch im Kangchenjunga Himal findet sich ein drastischer Wechsel des Eisvolumens zwischen der für das Hochglazial anzunehmenden Vergletscherung und den spätglazialen Phasen. Zwischen diesen Vergletscherungen findet ein Wechsel zwischen einer die Bedeutung des Reliefs stark zurückdrängenden Vergletscherung zu einer reliefuntergeordneten Vergletscherung statt. Das hier vorgestellte Maß der Schneegrenzabsenkung für das letzte Hochglazial ist nicht für direkte Ableitungen der notwendigen Änderung der Klimarahmenbedingungen geeignet, da die Werte für die Erhaltung der rekonstruierten Eiskörper repräsentativ sind.

Die Rekonstruktion der für die Gletscherbildung notwendigen Veränderung des Klimas ist stärker an die Rekonstruktion des Eisaufbaues gebunden als an die Rekonstruktion der maximalen Vergletscherung. Letztere bzw. die tiefste Eisrandlage ist nicht zwingend an die Phase der stärksten Klimaveränderung zu Gunsten des Gletscherwachstums gekoppelt, wie die Befunde in der vorliegenden Schrift belegen.

Die Bandbreite der möglichen Verschiebung einzelner Klimafaktoren gegeneinander und in Beziehung zu der rückkoppelnden Wirkung die aus der Veränderung der Gletscheroberfläche resultiert, ist so groß, daß hier auf eine konkrete Aussage zur Veränderung einzelner Klimafaktoren verzichtet werden muß.

3.3 Die Befunde aus dem Rolwaling Himal und dem Kangchenjunga Himal im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren

Ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren ist u.a. aufgrund unterschiedlicher methodischer Ansätze häufig nicht eindeutig möglich. Unterschiedliche Auffassungen zur relativen zeitlichen Stellung der Befunde sind dabei ein Kernproblem. Zusätzlich wird die vergleichende Interpretation der Ergebnisse durch die häufig nur sehr knappe Darstellung der empirischen Befunde in den verschiedenen Talschaften kompliziert.

So beschreibt USSELMANN (1980) für den Langtang Himal eine ERL in ca. 2400m im Langtang Khola, die er ins LGM stellt und kartiert unterhalb des Gosainkund Moränen, die bis ca. 2450m herabreichen. Diese Grundmoränenreste kombiniert USSELMANN (ebd.) mit einem Einzugsgebiet, das im Mittel ca. 5000m hoch ist. Dies entspräche einer ungefähren Lage der Schneegrenze in ca. 3725m $((5000+2450)/2=3725)$.

HEUBERGER et al. (1984) rekonstruieren eine LGM-zeitliche Schneegrenze im Langtang Himal in ca. 4300m (d.h. ca. 1100m bis 1200m unter der rezenten Schneegrenze), deren

zugehörige ERL deutlich unter 2400m herabgereicht haben muß. ONO (1986) schließt sich dieser Überlegung an.

SHIRAIWA u. WATANABE (1991) postulieren eine Eisrandlage auf der Basis des Endes eines Trogtales in 2600m. Diese muß nach Ansicht der Autoren älter sein als die "late Quaternary Langtang Stage" (3650-3000yr.BP ebd. S.416, 3650-3310yr.BP WATANABE 1998). Hinweise auf eine potentielle LGM Eisrandlage beschreiben die Autoren nicht. BÄUMLER et al. (1996) bestätigen im wesentlichen die von WATANABE (1998) publizierte Geochronologie. Auf der Basis eigener Feldarbeiten gelangt der Autor zu der Ansicht, daß ein LGM Eisstromnetz deutlich südlich von Dhunche geendet haben muß, so daß die genannten ERL u.U. mit den in der vorliegenden Arbeit ausgewiesenen spätglazialen Eisrandlagen zu korrelieren sind.

Östlich des Langtang Khola schließt sich das Bote Chu, ein Durchbruchstal zu Tibet an, das im unteren Abschnitt ebenfalls vom Autor besucht werden konnte. KUHLE (1988b, 1999:4) kann u.a. durch erratische Blöcke aus dem Shisha Pangma Massiv belegen, daß eine Auslaßzunge des Tibetischen Inlandeises im Bo Chu bis ca. 4km nördlich von Barabishe, d.h. bis in ca. 700m gereicht hat. Diese Eisrandlage ist dem LGM (18000 bis 60000 aBP) zuzuordnen (ebd.) und stimmt hinsichtlich des zu rekonstruierenden Eiskörpers mit den hier vorgelegten Befunden aus dem Bhote Kosi überein.

Für den Khumbu Himal weist HEUBERGER (1956:356) eine ERL im Dudh Kosi südlich von Ghat in ca. 2500m aus und beschreibt Erratika in 2900m Höhe, d.h. mindestens 400m über der Tiefenlinie. FUSHIMI (1978: Fig. 10) beschreibt ein vorzeitliches Eisstromnetz, das bis südlich von Lukla (2800m) reichte (hier ist der Gletscher noch ca. 400m mächtig) und kartiert flächenhaft Grundmoräne im Talabschnitt nahe der Siedlung Lukla (FUSHIMI 1978: Fig.6).

HEUBERGER u. WEINGARTNER (1985) ermitteln auf der Basis pedologischer Befunde eine „maximale Ausdehnung der letzten Hauptvereisung“ im Dudh Kosi, die südlich von Ghat unterhalb von ca. 2400m liegt. Unklar bleibt u.a., warum die beschriebene Eisrandlage der maximalen Eisausdehnung zuzuordnen ist.

KUHLE (1986a, 1987, 1999, 2002:297) belegt eine LGM Eisrandlage eines Dudh Kosi Gletschers durch glazigenes Sediment in ca. 1580m und ergänzende Befunde, die dem Prinzip der glazialgeomorphologischen Lagebeziehung gerecht werden. KUHLE (1982, 1987:406) berechnet eine Schneegrenzabsenkung von 1530m für die letzte hochglaziale Periode. Die Befunde von KUHLE (1982: Fig. 2) für das sich südlich des Cho Oyu anschließende Einzugsgebiet (Ngozumpa Khola) zeigen, daß eine LGM zeitliche Ausdehnung der Gletscher außerhalb der Konfluenz von Dudh Kosi und Bhotekosi Nadi gelegen haben muß. KUHLE (1998b, 1999) versteht die Vergletscherung des Bhote Kosi Nadi, d.h. des Tales südlich des Nangpa La (5710m, nördlich: Kyetrak Gletscher), als Teil einer Auslaßgletscherzunge des Südtibetischen Eisstromnetzes. Südlich von Namche

Bazar konfluieren die Eisstromnetze des Bhote Kosi Nadi und Kyetrak Gletschers mit der Vergletscherung aus dem Everest Einzugsgebiet, das mit dem Rongbuk Gletscher kombiniert war (KUHLE 1988b:505). Eine Situation, die mit der im oberen Ghunsa Khola (Kangchenjunga Himal) vergleichbar ist. Die relativ hohe Eisrandlage im Dudh Kosi überrascht. Es handelt sich jedoch um einen Mindestwert, mit einer tieferen Lage der ERL ist zu rechnen.

BÄUMLER et al. (1991) schließen sich der Ansicht von HEUBERGER u. WEINGARTNER (1985) an und positionieren eine LGM Eisrandlage südlich von Ghat in ca. 2400m. Ergänzende geomorphologische Befunde dokumentieren sie nicht, so geht es weniger um den Nachweis der maximalen Eisausdehnung als um die relative zeitliche Einordnung der Befunde von HEUBERGER u. WEINGARTNER (1985).

Für das sich westlich des Dudh Kosi anschließende Beni Khola weist BÄUMLER (2001) eine Eisrandlage in ca. 2670m aus. Die Gletscher reichten nach Ansicht von BÄUMLER (ebd.) aus einem im Mittel kaum über 5800m hohen Einzugsgebiet ca. 1000m tiefer herab als die des um ca. 1500m bis 1800m höheren Einzugsgebietes des oberen Khumbu Himal.

Für den Bereich zwischen Khumbu Himal und Kangchenjunga Himal beschreibt KUHLE (1991, 1998a) auf der Basis glazialgeomorphologischer Feldarbeiten für das Arun Khola eine ERL in ca. 500m Höhe („...or even somewhat lower ...“ KUHLE 1998a:87) und ca. 20km südlich der Konfluenz von Arun Khola und Barun Khola, und er belegt die Konfluenz dieses Eisstromes mit dem Südtibetischen Eisstromnetz.

Östlich des Khumbarkarna Himal schließt sich der Kangchenjunga Himal und zunächst das Nup Khola an. Für diese Talschaft liegt bisher keine Vergletscherungsgeschichte vor. Der Kangchenjunga Himal wird in der vorliegenden Schrift behandelt (vgl. **Kapitel 1.4**).

Die ersten geomorphologischen Explorationen aus dem Sikkim Himal sind im Rahmen der bereits oben genannten frühen Kangchenjunga Expeditionen durchgeführt worden. Für die tieferen Lagen, d.h. unterhalb von ca. 3200m, fehlen in diesen Arbeiten Hinweise auf die vorzeitliche Gletscherausbreitung. Das Kerninteresse der Expeditionen von FRESHFIELD und auch DYHRENFURTH lag dabei sicher auf anderen Schwerpunkten. Aktuelle Feldforschungen zur hocheiszeitlichen Vergletscherungsgeschichte des Sikkim Himal sind bisher nicht publiziert.

Ergänzend muß auf die Befunde aus dem Dhaulagiri, Annapurna und Manaslu Himal verwiesen werden. Die ausführlichste glazial-geomorphologische Bearbeitung des Dhaulagiri Himal und Annapurna Himal stammt von KUHLE (1982). KUHLE (ebd.) extrapoliert für den Talabschnitt des Kali Gandaki nahe der Siedlung Ghasa eine hochglaziale Eismächtigkeit von ca. 1200m bis 1600m, der Gletscher reichte Dekakilometer

weiter herab und endete in ca. 1000m (ebd.:S. 50), nahe des Talausganges des Aul Khola. KUHLE (1997, 1998a) belegt ein Vorstoßen der Gletscher im Marsyandi Khola bis ca. 460m nahe Dumre und im Madi Khola bis 630m.

OWEN et al. (1998) kartieren die tiefste ERL im Kali Gandaki in ca. 2000m südlich der Siedlung Ghasa (2000m); der zugehörige Gletscher floß aus der Nilgiri Gruppe. Der LGM Gletscher im Miristi Khola reichte nach Ansicht der Autoren nicht unter 1900m, trotz eines ca. 500m bis 800m höheren Einzugsgebietes. Diese Diskrepanz wird in der Arbeit weder begründet noch kritisch reflektiert. Des weiteren beschreibt FORT (1995 in OWEN et al. 1998) eine Last Glacial ERL in 1130m im Seti Khola, südlich von Annapurna III (7555m) und Annapurna IV (7524m). 10km östlich reichte nach Ansicht von FORT (ebd.) die maximale Gletscherausdehnung bis 1200m (Taprang) herab.

JACOBSEN (1990:70) gelangt auf der Basis glazialgeomorphologischer Geländearbeiten im Manaslu Himal zu der Auffassung, daß „eine maximale Vergletscherung in den Haupttälern bis fast 1000m herabreichte, ...“ und „dem letzten Hochgalzial (Würm)“ zuzuordnen ist. Für das Buri Gandaki weist KUHLE (1998a) eine LGM Eisrandlage in ca. 680m nach.

Der Vergleich der Befunde aus den Untersuchungsgebieten Rolwaling Himal und Kangchenjunga Himal zeigt, daß Eisrandlagen, deren Höhen erheblich voneinander abweichen, auf der Basis der berechneten Schneegrenzabsenkung relativ gut miteinander in Beziehung gesetzt werden können. Dies gilt auf der Basis der Berücksichtigung der Gletschermorphologie bei der Berechnung der Schneegrenze. Die Kombination der Ergebnisse anderer Autoren, die einen anderen methodischen Ansatz verfolgen, mit den eigenen Befunden ist somit problematisch. Die geomorphologischen Indikatoren für tiefste Eisrandlagen zwischen 500m und 1000m in den verschiedenen Talschaften belegen eindeutig ein Herabreichen der Gletscher bis in dieses Höhenniveau der großen Talschaften der Himalaya Südabdachung. Die Abweichung der Eisrandlagen in den einzelnen Talschaften in dieser Höhenstufe wird vor dem Hintergrund der verschiedenen orographischen und gletschermorphologischen Rahmenbedingungen verständlich. Deutlich höhere Eisrandlagen in den genannten Talschaften repräsentieren somit mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht die maximale Vergletscherung der Täler und sind spät-glazialen und jüngeren Vergletscherungsphasen zuzuordnen.

4. Zusammenfassung

Auf der Basis empirischer glazialgeomorphologischer Befunde und Analysen wurden in den Untersuchungsgebieten Indikatoren für das Ausmaß vorzeitlicher Vergletscherungsphasen (**Karte 1** und **Karte 3**), insbesondere der letzthochglazialen Vergletscherung, ausgewiesen und aus diesen die entsprechenden Gletscherausdehnungen rekonstruiert. Auf der Basis der Rekonstruktion der Morphologie der jeweiligen Gletscherzunge wurde das Maß der anzunehmenden Absenkung der Schneegrenz ermittelt. Die Gletscherstände wurden in ein bestehendes System zeitlicher Einordnung integriert (KUHLE 1999: Table 1).

Die ausgewiesenen Indikatoren für historische, neoglaziale und spätglaziale Gletscherstände in den Untersuchungsgebieten lassen sich gut miteinander in Beziehung setzen und sind deutlich von den Indikatoren für die hochglaziale Vergletscherung der Talschaften abzugrenzen (**Karte 1** bis **Karte 4**).

Das hochglaziale Eisstromnetz im Rolwaling Himal reichte bis mindestens 950m Höhe herab und endete nahe Singali Bazar. Der im Bereich des Talausganges des Rolwaling Khola ca. 1,8km mächtige Gletscher im Bhote Kosi wird nur als Auslaßzunge eines Südtibetischen Eisstromnetzes verständlich, hingegen wäre die rekonstruierte Vergletscherung des Rolwaling Khola auch aufgrund der lokalen Geländesituation vorstellbar. Wahrscheinlicher ist, daß über weite Bereiche der Rolwaling Nordabdachung eine Konfluenz zum Südtibetischen Eisstromnetz bestanden hat (**Abbildung 11**, **Abbildung 15**).

Eine Absenkung der Schneegrenze von rezent 5350m auf 4200m, d.h. um ca. 1150m, wäre dabei ausreichend, um den hochglazialen Gletscher zu erhalten; dies berücksichtigt die Morphologie des rekonstruierten Gletschers. Leitet man die Schneegrenzabsenkung nur aus den Parametern der mittleren Kammumrahmung und der tiefsten Eisrandlage ab, ergäbe dies den Wert ca. 1650m.

Das maximal 86km lange hochglaziale Eisstromnetz im Kangchenjunga Himal reichte bis ca. 650m Höhe nahe der Siedlung Dobhan hinab. Der Gletscher erreichte dabei eine Mächtigkeit von bis zu ca. 1700m im mittleren Ghunsa Khola (**Abbildung 29**, **Abbildung 38** und **Abbildung 48**).

Die reale Schneegrenze dieses Gletschers lag in ca. 4100m, d.h. ca. 1300m bis 1400m unterhalb der rezenten klimatischen Schneegrenze. Auf der Basis der mittleren Höhe der Kammumrahmung und der tiefsten Eisrandlage berechnet sich die Schneegrenze zu ca. 3525m; dies entspräche einer Absenkung von ca. 1950m bis 2000m.

5. Literaturangaben

- Adhikari, L. (2001): Landslide Control and Stabilisation Measures for Mountain Roads: A Case Study of the Arniko Highway, Central Nepal. In: Landslide Hazard Mitigation in the Hindu Kush-Himalayas. (Eds: Tianchi, L.; Suresh Raj Chalise; Bishal Nath Upreti) ICIMOD, Kathmandu, pp. 263-279.
- Ageta, Y. (1976): Characteristics of Precipitation during Monsoon Season in Khumbu Himal. *Seppyo, Journal of Japanese Society of snow and ice* 38(Special Issue), pp. 84-88.
- Asahi, K.; Tsukamoto, S.; Aoki, T.; Watanabe, T. (2000): Late Quaternary glaciations in Kangchenjunga Himal, eastern Nepal: based on absolute and relative dating. In: Symposium & Field Workshop on Quaternary Glaciation in Monsoonal Asia, June 5-16, 2000, Chengdu, China. (Ed: INQUA Commission on Glaciation) INQUA, Chengdu, pp. 1.
- Asahi, K.; Watanabe, T. (2000): Past and recent glacier fluctuations in Kanchenjunga Himal, Nepal. *Journal of the Nepal Geological Society* 22, pp. 481-490.
- Bäumler, R. (2001): Vergleichende bodenkundliche Untersuchungen in Hochasien und Kamtschatka. Böden als Zeugen der quartären Landschafts- und Klimageschichte. In: Relief Boden Paläoklima. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart. 217 pages.
- Bäumler, R.; Zech, W.; Heuberger, H.; Weber-Diefenbach, K. (1991): Investigations on the intensity of weathering of soils developed from glacial and fluvio-glacial deposits and their relationship with the history of the landscape in the Mt. Everest region. *Geoderma* 48, pp. 223-243.
- Bäumler, M.; Kemp-Oberhettinger, M.; Zech, W.; Heuberger, H.; Siebert, A.; Madhikarmi, D.P.; Poudel, K.P. (1996): Soil weathering on glacial and glaciofluvial deposits in the Langtang Valley (Central Nepal) and its relation to the glacial history. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. (Suppl. 103)*, pp. 373-387.
- Benn, D.I.; Evans, D.J.A. (1998): *Glaciers & Glaciation*. Arnold, London, New York, Sydney, Auckland.

- Benn, D.I.; Lehmkuhl, F. (2000): Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in high-mountain environments. *Quaternary International* 65/66, pp. 15-29.
- Brunnacker, K. (1990): Gliederung und Dauer des Eiszeitalters im weltweiten Vergleich. In: *Eiszeitforschung*. (Ed: Liedtke, H.) Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, pp. 55-68.
- Carling, P.A.; Kirkbride, A.D.; Parnachov, S.; Borodavko, P.S.; Berger, G.W. (2002): Late Quaternary catastrophic flooding in the Altai Mountains of south Central Siberia: a synoptic overview and an introduction to flood deposit sedimentology. *Special Publications of the International Association of Sedimentology* 32, pp. 17-35.
- Cenderelli, D.A.; Wohl, E.E. (2001): Peak discharge estimates of glacial-lake outburst floods and "normal" climatic floods in the Mount Everest region, Nepal. *Geomorphology* 40(1), pp. 57-90.
- Chikita-Kazuhisa; Jha-Jageshwar; Yamada-Tomomi (1999): Hydrodynamics of a supraglacial lake and its effect on the basin expansion; Tsho Rolpa, Rolwaling Valley, Nepal Himalaya. *Arctic, Antarctic and Alpine Research: An Interdisciplinary Journal* 31(1), pp. 58-70.
- Clark, P.U.; Mix, A.C. (2002): Ice sheets and sea level of the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews* 21, pp. 1-7.
- Damm, B. (1996): Gletscher-, Landschafts und Klimaentwicklung in der Rieserfernergruppe (Tirol) seit dem Spätglazial. *Göttinger Geographische Abhandlungen* 104, pp. 1-186.
- De Pison, E.M.; Lopez, J.; Nicolas, O. (1988): Observaciones Geomorfologicas en la Vertiente Tibetana Del Everest. Expedición española al Qomolangma, 1986-UAM. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. 1-159 pages.
- Dyhrenfurth, G.O. (1931): *Himalaya - Unsere Expedition 1930*. Verlag Scherl, Berlin. 380 pages.
- Fernlund, J.M.R. (1994): Tills and non-till diamictites in glacial sequences. In: *Formation and Deformation of Glacial Deposits*. (Eds: Warren; Groot) A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 29-37.

- Freshfield, D.W. (1903): Round Kangchenjunga : A narrative of mountain travel and exploration. Edward Arnold, London. 373 pages
- Fushimi, H. (1978): Glaciation in the Khumbu Himal (2). Seppyo, Journal of Japanese Society of snow and ice 40(Special Issue), pp. 71-77.
- Gades, A.; Conway, H.; Nereson, N.; Naito, N.; Kadota, T. (2000): Radio echo-sounding through supraglacial debris on Lirung and Khumbu Glacier, Nepal Himalaya. IAHS Publication 264, pp. 13-24.
- Gross, G.; Kerschner, H.; Patzelt, G. (1977): Methodische Untersuchungen über die Schneegrenze in alpinen Gletschergebieten. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 12 (2), pp. 223-251.
- Hagen, T. (1968): Report on the Geological Survey of Nepal. Vol. 86, 1. Denkschrift der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft .
- Hellmich, W. (Ed.) (1964): Khumbu Himal: Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya. Universitätsverlag Wagner, Berlin. 448 pages.
- Heuberger, H. (1956): Beobachtungen über die heutige und eiszeitliche Vergletscherung in Ostnepal. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 3, pp. 349-364.
- Heuberger, H.; Masch, L.; Preuss, E.; Schröcker, A. (1984): Quaternary Landslides and Rock Fusion in Central Nepal and in the Tyrolean Alps. Mountain Research and Development 4(4), pp. 345-362.
- Heuberger, H.; Weingartner, H. (1985): Die Ausdehnung der letzteiszeitlichen Vergletscherung an der Mount-Everest-Südflanke, Nepal. Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft Wien 127, pp. 71-80.
- Hjulström, F. (1935): Studies on the morphological activity of rivers. Bulletin of the Geological Institut Upsala 25, pp. 221-527.
- Höfer, H.v. (1879): Gletscher und Eiszeitstudien. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse 1(79), pp. 331-367.

- Hövermann, J. (1998): Zur Paläoklimatologie Zentralasiens - qualitative Bestimmung von Paläoniederschlag und -temperatur. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 142(3/4), pp. 251-257.
- Iturrizaga, L. (1999a): Die Schuttkörper in Hochasien - Eine geomorphologische Bestandsaufnahme und Typologie postglazialer Hochgebirgsschuttkörper im Hindukusch, Karakorum und Himalaya. *Göttinger Geographische Abhandlungen* 106, pp. 1-326.
- Iturrizaga, L. (1999b): Typical debris accumulation forms and formations in High Asia. A glacial history-based concept of the origin of the Postglacial debris accumulation landscapes in subtropical high mountains with selected case examples from the Hindu Kush, the Karakoram and the Himalayas. *GeoJournal* 47(1/2, Tibet and High Asia (V), Ed: Kuhle, M.), pp. 277-339.
- Jacobsen, J.P. (1990): Die Vergletscherungsgeschichte des Manaslu Himalaya's und ihre klimatische Ausdeutung. *Geo Aktuell Forschungsarbeiten* 1, pp. 1-82.
- Johnson, S.; Dahl-Jensen; Gundestrup, N.; Steffensen, J.; Clausen, H.B.; Miller, H.; Masson-Delmotte, V.; Sveinbjörnsdóttir, A.; White, J. (2001): Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GISP2, Renland and NorthGrip. *Journal of Quaternary Science* 16(4), pp. 299-307.
- Kadota, T.; Fujita, K.; Seko, K.; Kayastha, R.B.; Ageta, Y. (1997): Monitoring and prediction of shrinkage of a small glacier in Nepal Himalaya. *Annals of Glaciology* 24(Papers from the International Symposium on Changing glaciers. Fjaerland, Norway. June 24-27, 1996), pp. 90-94.
- Kienholz, H. (1986): Slope stability and erosion in the Nepalese Middle Mountains and in the Khumbu area. *Göttinger Geographische Abhandlungen* 81, pp. 127-141.
- König, O. (1999): Preliminary results on the last high-glacial glaciation of the Rolwaling Himal and the Kangchenjunga Himal (Nepal, East-Himalaya). *GeoJournal* 47(1/2, Tibet and High Asia (V), Ed: Kuhle, M.), pp. 373-384.
- König, O. (2002, in press): Investigations on the Quaternary Glaciation in the Khumbu Himal (Nepal, East-Himalaya). *GeoJournal*.

- Kuhle, M. (1982): Der Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya. Ein Beitrag zur Geomorphologie extremer Hochgebirge. Zeitschrift für Geomorphologie Supplement 41(Suppl. Bd.), pp. Bd. I (Text): 1-229; Bd. II (Abb.): 1-183 und Geomorph. Karte 1:85 000.
- Kuhle, M. (1985): Gebirgslandschaften. Formationen in Fels, Schutt und Eis. Verlag Erich Goltze, Göttingen. 334 pages.
- Kuhle, M. (1986a): Former glacial stades in the mountain areas surrounding Tibet - In the Himalayas (27-29EN: Dhaulagiri-, Annapurna-, Cho Qyu-, Gyachung Kang areas) in the south and in the Kuen Lun and Quilian Shan (34E-38EN: Animachin, Kakitu) in the north. In: Nepal-Himalaya - Geo-Ecological Perspectives. (Eds: Joshi, S.C.; Haigh, M.J.; Pangtey, Y.P.S.; Joshi, D.R.; Dani, D.D.) Himalayan Research Group., pp. 437-473.
- Kuhle, M. (1986b): The Upper Limit of Glaciation in the Himalayas. GeoJournal 13(4), pp. 331-346.
- Kuhle, M. (1986c): Schneegrenzberechnung und typologische Klassifikation von Gletschern anhand spezifischer Reliefparameter. Petermanns Geographische Mitteilungen 130, pp. 41-51.
- Kuhle, M. (1986d): Die bilaterale Gletscherregion und der Befund einer darüberliegenden Felshöhenstufe im Himalaya. Göttinger Geographische Abhandlungen 81(Internationales Symposium über Tibet und Hochasien vom 8.-11. Okt. 1985 in Göttingen, Ed: Kuhle, M.), pp. 185-206.
- Kuhle, M. (1986e): Die Obergrenze der Gletscherhöhenstufe - Oberflächentemperaturen und Vergletscherung der Himalayaflanken von 5000-8800m. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 22(2), pp. 149-162.
- Kuhle, M. (1987): Subtropical Mountain- and Highland-Glaciation as Ice Age Triggers and the Waning of the Glacial Periods in the Pleistocene. GeoJournal 14(4), pp. 393-421.
- Kuhle, M. (1988a): Topography as a Fundamental Element of Glacial Systems. A New Approach to ELA-Calculation and Typological Classification of Paleo- and Recent Glaciation. GeoJournal 17(4, Tibet and High-Asia, Results of the Sino-German Joint Expeditions (I), Eds: Kuhle, M.; Wang Wenjing), pp. 545-568.

- Kuhle, M. (1988b): Geomorphological Findings on the Build-up of Pleistocene Glaciation in Southern Tibet, and on the Problem of Inland Ice. Results of the Shisha Pangma and Mt. Everest Expedition 1984. *GeoJournal* 17(4, Tibet and High-Asia, Results of the Sino-German Joint Expeditions (I), Eds: Kuhle, M.; Wang Wenjing), 457-513.
- Kuhle, M. (1990): New Data on the Pleistocene Glacial Cover of the Southern Border of Tibet: The Glaciation of the Kangchendzönga Massif (8585m, E-Himalaya). *GeoJournal* 20, pp. 415-421.
- Kuhle, M. (1991): *Glazialgeomorphologie*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. 213 pages.
- Kuhle, M. (1997): New Findings concerning the Ice Age (Last Glacial Maximum) Glacier Cover of the East-Pamir, of the Nanga Parbat up to the Central Himalaya and of Tibet, as well as the Age of the Tibetan Inland Ice. *GeoJournal* 42(2-3, Tibet and High Asia. Results of Investigations into High Mountain Geomorphology, Paleo- Glaciology and Climatology of the Pleistocene (Ice Age Research) IV, Ed: Kuhle, M.), pp. 87-257.
- Kuhle, M. (1998a): Reconstruction of the 2.4 Million qkm Late Pleistocene Ice Sheet on the Tibetan Plateau and its Impact on the Global Climate. *Quaternary International* 45/46, pp. 71-108 (Erratum: Vol. 47/48:173-182 (1998) included).
- Kuhle, M. (1998b): New Findings on the Inland Glaciation of Tibet from South and Central West Tibet with Evidences for its Importance as an Ice Age Trigger. *Himalayan Geology* 19(2, The role of the Tibetan Plateau in forcing global climatic changes, Ed: Tandon, O.P.), pp. 3-22.
- Kuhle, M. (1999): Reconstruction of an approximately complete Quaternary Tibetan Inland Glaciation between the Mt. Everest- and Cho Oyu Massifs and the Aksai Chin. - A new glaciogeomorphological southeast-northwest diagonal profile through Tibet and its consequences for the glacial isostasy and Ice Age cycle. *GeoJournal* 47(1-2, (Results of Investigations into High Mountain Geomorphology, Paleo-Glaciology and Climatology of the Pleistocene), Tibet and High Asia (V), Ed: Kuhle, M.), pp. 3-276.

- Kuhle, M. (2002): Outlet glaciers of the Pleistocene (LGM) south Tibetan ice sheet between Cho Oyu and Shisha Pangma as potential sources of former megafloods. In: Flood and Megaflood Processes and Deposits: Recent and Ancient Examples. Special Publication of the International Association of Sedimentologists (IAS). Vol. 32. (Eds: Martini, P.; Baker, V.R.; Garzón, G.) Blackwell Science, Oxford, pp. 291-302.
- Kurz, M. (1931): Das Massiv des Kangchendzönga (Himalaya). Verlag Scherl, München. Maßstab 1:100000.
- Lendenfeld, R.v. (1899): Die Hochgebirge der Erde. Herder, Freiberg.
- Lichtenecker, N. (1938): Die gegenwärtige und die eiszeitliche Schneegrenze in den Ostalpen., Verhandlungen der III. Internationalen Quartärkonferenz, Wien 1936, pp. 141-147.
- Louis, H. (1955): Schneegrenze und Schneegrenzbestimmung. Geographisches Taschenbuch 1954/55, pp. 414-418.
- Mayewski, P.A.; Jeschke, P.A. (1979): Himalayan and Trans-Himalayan Glacier Fluctuations since AD 1812. Arctic and Alpine Research 11,3, pp. 267-287.
- Meiners, S. (1996): Zur Rezenten, Historischen und Postglazialen Vergletscherung an ausgewählten Beispielen des Tien Shan und des Nord-West-Karakorum. GeoAktuell 2, pp. 1-200.
- Meiners, S. (1999): The history of glaciation of the Rolwaling and Kangchenjunga Himalayas. GeoJournal 47(1-2, Tibet and High Asia (V), Ed: Kuhle, M.), pp. 341-372.
- Miehe, G. (1982): Vegetationsgeographische Untersuchungen im Dhaulagiri- und Annapurna-Himalaya. Dissertationes Botanicae 66, 1, pp. 1-224.
- Miehe, G.; Winiger, M.; Böhner, J.; Zhang Yili (2001): The Climatic Diagram Map of High Asia. Purpose and Concept. Erdkunde 55, pp. 94-97.
- Ohmori, K.; Bonington, C. (1999): Himalaya aus der Luft. Bruckmann, Singapore. 108 pages.

- Ono, Y. (1986): Glacial Fluctuations in the Langtang Valley, Nepal Himalaya. Göttinger Geographische Abhandlungen 81(Internationales Symposium über Tibet und Hochasien vom 8.-11.Oktober 1985 in Göttingen, Ed: Kuhle, M.), pp. 31-38.
- Owen, L.A.; Derbyshire, E.; Fort, M. (1998): The Quaternary Glacial History of the Himalaya. Quaternary Proceedings 65, pp. 91-120.
- Owen, L.A.; Finkel, R.C.; Caffee, M.W. (2002): A note on the extent of glaciation throughout the Himalaya during the global Last Glacial Maximum. Quaternary Science Reviews 21, pp. 147-157.
- Paul, S.K.; Bartarya, S.K.; Rautela, P.; Mahajan, A.K. (2000): Catastrophic mass movement of 1998 monsoons at Malpa in Kali Valley, Kumaun Himalaya (India). Geomorphology 35, pp. 169-180.
- Penck, A.; Brückner, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. Bd. 1-3. 1119 pages.
- Richards, B.W.M.; Benn, D.I.; Owen, L.A.; Rhodes, E.J.; Spencer, J.Q. (2001): Timing of late Quaternary glaciations south of Mount Everest in the Khumbu Himal, Nepal. Geological Society of American Bulletin 112(10), pp. 1621-1632.
- Richardson, S.D.; Reynolds, J.M. (2000): An overview of glacial hazards in the Himalayas. Quaternary International 65/66, pp. 31-47.
- Schelling, D. (1988): Flooding and Road Destruction in Eastern Nepal. Mountain Research and Development 8(1), pp. 78-79.
- Schelling, D. (1989): The Geology of the Rolwaling and the Eastern Nepal. University of Colorado at Boulder, Dissertation.
- Shrestha, M.L. (2000): Interannual variation of summer monsoon rainfall over Nepal and its relation to Southern Oscillation Index. Meteorology and Atmospheric Physics 75, pp. 21-28.
- Shiraiwa, T.; Watanabe, T. (1991): Late Quaternary Glacial Fluctuations in the Langtang Valley, Nepal Himalaya, Reconstructed by relative Dating Methods. Arctic and Alpine Research 23(4), pp. 404-416.

- Stöcklin, J. (1980): Geology of Nepal and its regional frame. *Journal of the Geological Society London* 137, pp. 1-34.
- Takada-Masashi (1992): Landforms of the Bhutan Himalaya; several issues related to fluvial terraces in intermontane basins. *Journal of Geography* 101, pp. 283-297.
- Takahashi, k; Arakawa, A. (1981): Climates of Southern and Wetstern Asia. *World Survey of Climatology* 9.
- Torsnes, I.; Rye, N.; Nesje, A. (1993): Modern and Little Ice Age Equilibrium-line Altitudes on Outlet Valley Glaciers from Jostedalsbreen, Western Norway: an Evaluation of Different Approaches to their Calculation. *Arctic and Alpine Research* 25(2), pp. 106-116.
- Uhlir, C.F.; Schramm, J.M. (1999): Large-scale erosional processes at the southern flank of the Ganesh Himal Range, central Nepal. In: Himalaya and Tibet; mountain roots to mountain tops. Special Paper - Geological Society of America (Eds: Macfarlane, A.; Sorkhabi, R.B.; Quade, J.) Geological Society of America (GSA), Boulder, pp. 303-312.
- Usselman, P. (1980): Cartographie geomorphologique et evolution Quaternaire d'un Haute Vallee Himalayenne; le Langtang. *Revue de Geomorphologie Dynamique* 29, pp. 1-7.
- Vuichard, D.; Zimmermann, M. (1987): The 1985 catastrophic Drainage of a moraine-dammed lake, Khumbu Himal, Nepal: Cause and Consequences. *Mountain Research and Development* 7(2), pp. 91-110.
- Watanabe, T. (1998): Timing of the late Holocene debris supply and glacial fluctuations in Langtang Himal, central Nepal, Himalaya. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zuerich* 158 (Beiträge aus der Gebirgs-Geomorphologie. 1997 annual symposia of the Swiss Geomorphological Association within the Swiss Natuaral Sciences Academy, Ed: Vischer, D.), pp. 207-216.
- Winkler, S. (1996): Frührezente und rezente Gletscherstandsschwankungen in Ostalpen und West-/Zentralnorwegen - ein regionaler Vergleich von Chronologie, Ursachen und glazialmorphologischen Auswirkungen. *Trierer Geographische Studien* 15, pp. 580.

Winkler, S.; Hagedorn, H. (1999): Lateralmoränen - Morphologie, Genese und Beziehung zu Gletscherschwankungen (Beispiele aus Ostalpen und West-/Zentralnorwegen). Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplement 113, pp. 69-84.

Xu Daoming (1988): Characteristics of Debris Flow Caused by Outburst of Glacial Lakes on the Boqu River in Xizang, China. GeoJournal 17(4, Tibet and High-Asia, Results of the Sino-German Joint Expeditions (I), Eds: Kuhle, M.; Wang Wenjing), pp. 569-580.

Zimmermann, M.; Bichsel, M.; Kienholz, H. (1986): Mountain Hazards Mapping in the Khumbu Himal, Nepal, with Prototype Map, Scale 1:50000. Mountain Research and Development 6(1), pp. 29-40.

6. Anhang

Die im Text erwähnten Abbildungen, Tabellen, Karten und Photos sind im gesonderten Abbildungsteil zusammengefaßt.

Teil 2: Tabellen, Abbildungen, Photos und Karten

I Tabellen

Tabelle 1: Die verwendeten Kartenblätter der Nepal Topographical Map Series

Tabelle 2: Übersichte über die rezenten und vorzeitlichen Schneegrenzen ausgewählter Gletscher des Rolwaling Himal und Kangchenjunga Himal

Tabelle 3: Die Veränderung der Höhenlage der realen Schneegrenze des Rechten Rolwaling Gletscher in Abhängigkeit der Reliefparameter

II Abbildungen

vgl. Karte 5 und Karte 6

III Photos

vgl. Karte 5 und Karte 6

IV Karten

Kartentexte

Karte 1: Glazialgeomorphologische Kartierung des Rolwaling Himal

Karte 2: Kartengruppe der für den Rolwaling Himal rekonstruierten Vergletscherung

Karte 3: Glazialgeomorphologische Kartierung des Kangchenjunga Himal

Karte 4: Kartengruppe der für den Kangchenjung Himal rekonstruierten Vergletscherung

Karte 5: Die Photostandorte, Abbildungslökalitäten und Probenentnahmestellen im Rolwaling Himal

Karte 6: Die Photostandorte, Abbildungslökalitäten und Probenentnahmestellen im Kangchenjunga Himal

Sämtliche Abbildungen und Karten sind vom Autor entworfen und erstellt worden. Die Darstellung der Talquerprofile erfolgt nicht überhöht; die Überhöhung der Tallängsprofile ist jeweils angegeben. Die Korngrößenanalyse führte der Autor im Geographischen Institut der Universität Göttingen durch.

Die Photopanoramen sind digital montiert. Auf eine Korrektur der Perspektive in Abhängigkeit vom verwendeten Aufnahmeobjektiv und auf eine digitale Nachbearbeitung der Photographien wurde bewußt verzichtet um eine möglichst exakte Kopie des Ausgangsmaterial zu erhalten. Mit Ausnahme des **Photos 125** stamen alle Aufnahmen vom Autor und sind zwischen September 1997 und Dezember 1997 entstanden.

Karte 1: Glazialgeomorphologische Kartierung des Arbeitsgebietes Rolwaling Himal (Nepal, Himalaya Südabdachung).

Karte 2: Die Kartengruppe aus den Karten rez bis IV verdeutlicht das rekonstruierte Ausmaß der Vergletscherung der Talschaften des Rolwaling Khola und des Bhote Kosi in verschiedenen Zeitabschnitten zwischen rezent und LGM. Ein Teil der Oberflächen - insbesondere in den Nebentälern - ist deduktiv aus dem Maß der berechneten Schneegrenzabsenkung abgeleitet. Talaufwärts der gezackten Begrenzung der Flächensignatur ist die Lage des zu verdeutlichenden Eiskörpers nicht eindeutig zu rekonstruieren, der weitaus größte Teil der so ausgegrenzten Flächen liegt oberhalb der Schneegrenze, ist also dem Einzugsgebiet des jeweiligen Gletschers zuzuordnen.

Zum besseren Vergleich der Karten ist die glazialgeomorphologische Kartierung, wie sie in **Karte 1** dargestellt ist in verkleinerter Darstellung beige gestellt. Es ist ausdrücklich darauf zu verweisen, daß es sich bei der Einteilung um ein relatives zeitliches System handelt, das den Befunden anderer Autoren - insbesondere der von KUHLE (1982, 2002) wiederholt publizierten Gliederung - angelehnt ist. Absolute Datierungen waren nicht mit der notwendigen Aussagekraft durchzuführen. Die Korrelation der absoluten Datierungen anderer Autoren (vgl. RICHARDS et al. 2001, JOHNSON et al. 2001) mit den eigenen Befunden ist aus verschiedenen Gründen problematisch - der Autor berücksichtigt dabei insbesondere den kritischen Einwand von BRUNNACKER (1990:57): "So ist bei der modernistischen Zuwendung zu Tiefseeablagerungen kaum eine Verbindung zum terrestrischen Quartär gegeben,..." HÖVERMANN (1998:257) schreibt: "Es scheint, als ob Kontinente und Ozeane sich zwischen 25000 und 20000 B.P. geradezu gegensätzlich verhalten". Es gilt hierbei, die Eindeutigkeit der geomorphologischen Befunde nicht durch die Diskussion um deren zeitliche Einordnung in 1000er Jahre auf der Basis verschiedener Datierungsmethoden zu verwischen, wie dies in der Diskussion um das Kara Sea Ice Sheet im Nordwesten Rußlands zu geschehen scheint (CLARK u. MIX 2002:3), oder den höheren empirischen Indikatorwert geomorphologischer Befunde durch noch nicht ausgereifte Datierungsmethoden glazialer Sedimente (vgl. RICHARDS et al. 2001) zu schmälern.

Das LGM zeitliche Ausmaß der Vergletscherung, wie es in **Karte 2:IV** dargestellt ist, ist insbesondere im Ablationsgebiet sehr dicht an den geomorphologischen Befunden orientiert. Die Kartierung im Akkumulationsgebiet wird stärker durch deduktive Überlegungen zum Verlauf der Schneegrenze beeinflusst, die der Autor in ca. 4300m

annimmt. Zu berücksichtigen ist, daß die rechnerische Schneegrenze aus mittlerer Einzugsgebietshöhe und tiefster Eisrandlage in ca. 3700m läge und somit größere Flächen flankenseitig oberhalb des Ablationsgebietes dem Akkumulationsgebiet zuzuordnen wären. Der Gletscher wäre dann als zu klein wiedergegeben. Für die **Karten 2 I-III** gilt der umgekehrte Fall, da hier die reale unter der rechnerischen Schneegrenze liegt.

Karte 3: Glazialgeomorphologische Kartierung des Untersuchungsgebietes Kangchenjunga Himal (Nepal, Himalaya Südabdachung).

Karte 4: Die Kartengruppe verdeutlicht das Ausmaß der Vergletscherung im Kangchenjunga Himal für 5 Phasen zwischen der rezenten Vergletscherung und der letzthochglazialen Vergletscherung (vgl. **Karte 2**). Die Rekonstruktion der Eisfläche ist dabei eng an die empirischen Befunde geknüpft; es galt jedoch, in einzelnen Fällen die Vergletscherung der Nebentäler deduktiv über das Maß der Schneegrenzabsenkung abzuschätzen, um ein schlüssiges Gesamtbild entwerfen zu können.

Zum besseren Vergleich der Karten ist die glazialgeomorphologische Kartierung, wie sie in **Karte 3** dargestellt ist, in verkleinerter Darstellung beigelegt.

Karte 5: Die Karte dokumentiert die Standorte im Rolwaling Himal, von denen aus die im Text behandelten Photographien aufgenommen wurden, und die Lokalitäten der **Abbildungen 2 bis 22** (ausgenommen die Tallängsprofile, d.h. **Abbildung 11** und **Abbildung 15**).

Karte 6: Die Photostandorte im Kangchenjunga Himal sind in der Karte verzeichnet. Die Pfeilrichtung zeigt dabei auf den Mittelpunkt des Bildes. Zusätzlich ist die Position der **Abbildungen 23 bis 49** kartiert. Die Tallängsprofile sind nicht eingezeichnet, da diese bei angemessener Generalisierung der Tiefenlinie des jeweiligen Tales folgen.

2786	1
	2
	3
	4
	5
2787	4
	7
	8
	11
2788	1
	5
	9
2886	13
	14
	16

Tabelle 1: Die verwendeten Kartenblätter der Nepal Topographical Map Series 1:50000 und 1:25000. Die Karten Karte 1 und Karte 3 und die daraus abgeleiteten Karten und Grafiken sind auf der Grundlage dieser topographischen Karten erstellt. Die Höhenangaben beziehen sich in diesem Kartenwerk auf den Main Sea Level (India). Das Kartenwerk befindet sich derzeit im weiteren Aufbau und stützt sich im wesentlichen auf Luftbildbefliegungen aus den 50er Jahren des vorhergehenden Jahrhunderts.

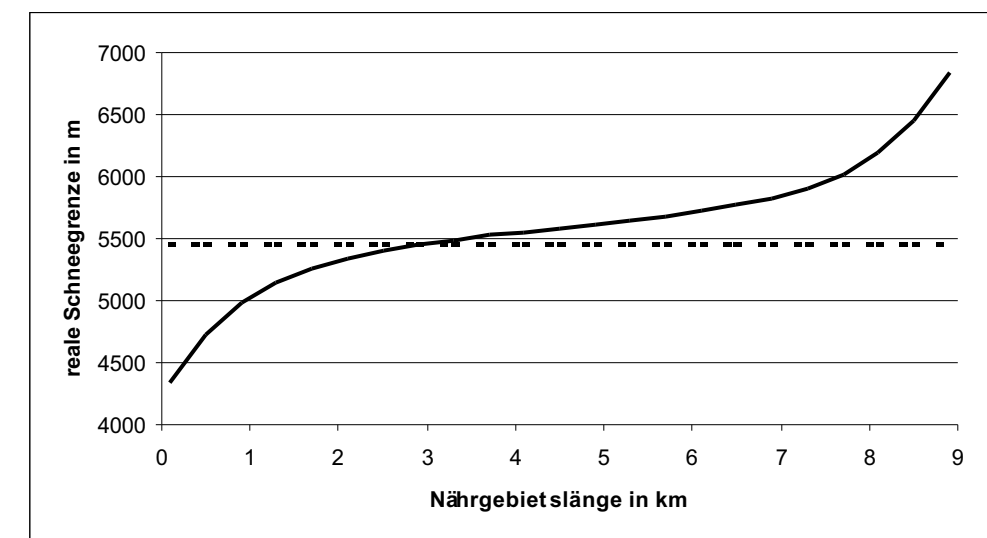
Tabelle 2: Folgeseite

Tabelle 3: Die Tabelle bietet eine Übersicht über die Veränderung der Höhenlage der realen Schneegrenze des rechten Rolwaling Gletschers in Abhängigkeit von der Veränderung der horizontalen Ausdehnung der Gletscherteilgebiete. Die Grafik verdeutlicht die in der Tabelle berechnete Veränderung von Sr (—) gegenüber Sm (••••). Die Gesamtlänge des Gletschers von 9km ändert sich nicht. Auf der x-Achse ist die Länge des Nährgebietes abgetragen; die y-Werte bilden sich aus der Höhe der Schneegrenze. Die Kurve Sm ändert sich erwartungsgemäß nicht mit der Änderung der Längenverhältnisse der Gletscherteilgebiete. Hingegen verschiebt sich die Lage der realen Schneegrenze in Abhängigkeit vom Winkelverhältnis der Gletscherteilgebiete bzw. dem von KUHLE (1986c) empirisch ermitteltem FSD. Die Kurve Sr (—) zeichnet somit jede potentielle Lage der Schneegrenze auf der Gletscheroberfläche für den Rechten Rolwaling Gletscher nach.

Die Abkürzungen sind in **Tabelle 2** aufgeschlüsselt.

(Kamm: mittlere Höhe der Kammumrahmung; Sr: reale Schneegrenze; Sm: rechnerische Schneegrenze; FSD: Faktor der Schneegrenzdifferenz; b Nähr: Länge des Nährgebietes; b Zehr: Länge des Zehrgebietes; a vert: Vertikale der Gletscherteilgebiete; w Nähr: mittlerer Einfallswinkel des Nährgebietes; w Zehr: mittlerer Einfallswinkel des Zehrgebietes; w Diff: Winkeldifferenz der Gletscherteilgebiete)

Kamm	ERL	Sr	Sm	Sr-Sm	FSD	b Nähr	b Zehr	a vert	w Nähr	w Zehr	w Diff
6300	4600	5327	5450	-123	7	2,00	7	0,85	23,03	6,92	16,10
6300	4600	4332	5450	-1118	66	0,10	8,9	0,85	83,29	5,46	77,83
6300	4600	4719	5450	-731	43	0,50	8,5	0,85	59,53	5,71	53,82
6300	4600	4984	5450	-466	27	0,90	8,1	0,85	43,36	5,99	37,37
6300	4600	5153	5450	-297	17	1,30	7,7	0,85	33,18	6,30	26,88
6300	4600	5265	5450	-185	11	1,70	7,3	0,85	26,57	6,64	19,92
6300	4600	5344	5450	-106	6	2,10	6,9	0,85	22,04	7,02	15,01
6300	4600	5404	5450	-46	3	2,50	6,5	0,85	18,78	7,45	11,33
6300	4600	5451	5450	1	0	2,90	6,1	0,85	16,34	7,93	8,40
6300	4600	5490	5450	40	-2	3,30	5,7	0,85	14,44	8,48	5,96
6300	4600	5524	5450	74	-4	3,70	5,3	0,85	12,94	9,11	3,83
6300	4600	5556	5450	106	-6	4,10	4,9	0,85	11,71	9,84	1,87
6300	4600	5586	5450	136	-8	4,50	4,5	0,85	10,70	10,70	0,00
6300	4600	5616	5450	166	-10	4,90	4,1	0,85	9,84	11,71	-1,87
6300	4600	5648	5450	198	-12	5,30	3,7	0,85	9,11	12,94	-3,83
6300	4600	5682	5450	232	-14	5,70	3,3	0,85	8,48	14,44	-5,96
6300	4600	5721	5450	271	-16	6,10	2,9	0,85	7,93	16,34	-8,40
6300	4600	5768	5450	318	-19	6,50	2,5	0,85	7,45	18,78	-11,33
6300	4600	5828	5450	378	-22	6,90	2,1	0,85	7,02	22,04	-15,01
6300	4600	5907	5450	457	-27	7,30	1,7	0,85	6,64	26,57	-19,92
6300	4600	6019	5450	569	-33	7,70	1,3	0,85	6,30	33,18	-26,88
6300	4600	6188	5450	738	-43	8,10	0,9	0,85	5,99	43,36	-37,37
6300	4600	6453	5450	1003	-59	8,50	0,5	0,85	5,71	59,53	-53,82
6300	4600	6840	5450	1390	-82	8,90	0,1	0,85	5,46	83,29	-77,83



Chhesugolchha	6000	5150	5367	5575	-208	24	0,25	0,9	0,425	59,53	25,28	34,26	
Gauris ankar	6500	5200	5659	5850	-191	15	0,80	2,4	0,65	39,09	15,15	23,94	
Linker Rolwaling	6450	4530	5361	5490	-129	7	2,50	10	0,96	21,01	5,48	15,52	
Phemi	6500	4800	5311	5650	-339	20	0,40	1,2	0,85	64,80	35,31	29,49	
Ramdang Nord	6000	4800	5334	5400	-66	6	1,00	2	0,6	30,96	16,70	14,26	
Ramdang Nordost	6000	4900	5317	5450	-133	12	0,70	1,8	0,55	38,16	16,99	21,17	
Ramdang Vorgipfel	5900	4750		5325									
Rechter Rolwaling	6300	4600	5327	5450	-123	7	2,00	7	0,85	23,03	6,92	16,10	
Rolwaling K. Nordflanke	6000	5050	5346	5525	-179	19	0,40	1,2	0,475	49,90	21,60	28,30	
Tshoboje	6600	5200		5900									
Yalung Ri	5500	5200		5350									
Karte 2 I	vgl. Abbildungstext												
Karte 2 II	6400	3900	5013	5150	-137	5	3,40	12	1,25	20,19	5,95	14,24	
	6400	4000	4955	5200	-245	10	1,00	2	1,2	50,19	30,96	19,23	Ghodonadi
Karte 2 III	6400	3000	4532	4700	-168	5	5,00	19	1,7	18,78	5,11	13,67	
Karte 2 IV	6400	950	4217	3675	542	-10	22,00	17	2,725	7,06	9,11	-2,05	
Kangchenjunga Himal													
Kangchenjunga	6.890	4.530	5513	5710	-197	8	3,0	16,0	1,2	21,5	4,2	17,3	
Chatyat undinga	6490	5150		5820									
Lhonak	6.375	5.100	5679	5738	-59	5	2,0	8,3	0,6	17,7	4,4	13,3	
Ramdang	6.590	4.550	5361	5570	-209	10	2,0	7,5	1,0	27,0	7,7	19,3	
Khumbarkarna	6.730	4.250	5263	5490	-227	9	2,5	8,5	1,2	26,4	8,3	18,1	
Yamatri	6300	4250	5231	5275	-44	2	2,50	5	1,025	22,29	11,59	10,71	
Nupchu Khola	5900	5000	5438	5450	-12	1	0,90	1,5	0,45	26,57	16,70	9,87	
Yalung	7442	4250	5581	5846	-265	8	4,00	20	1,596	21,75	4,56	17,19	
Boktoh	6050	4700	5423	5375	48	-4	1,00	1,2	0,675	34,02	29,36	4,66	
Karte 4 I	vgl. Abbildungstext												
Karte 4 II	6600	3600	5193	5100	93	-3	8,75	18,75	1,5	9,73	4,57	5,15	Ghunsa
	6700	3500	5278	5100	178	-6	11,00	16	1,6	8,28	5,71	2,57	Simbua
	6250	3500	4805	4875	-70	3	4,00	10	1,375	18,97	7,83	11,14	Yamatri
Karte 4 III	6300	2400	4413	4350	63	-2	10,00	26	1,95	11,03	4,29	6,75	
	6200	2400	4274	4300	-26	1	7,00	18	1,9	15,19	6,03	9,16	Yamatri Teilstrom
Karte 4 IV	6400	650	4118	3525	593	-10	48,00	28	2,875	3,43	5,86	-2,43	
Abkürzungen													
Kamm	mittlere Höhe der Kammumrahung												
ERL	Eisrandlage												
Sr	reale Schneegrenze												
Sm	rechnerische Schneegrenze												
Sr-Sm	Differenz von Sr und Sm												
FSD	mittlerer Faktor der Schneegrenzdifferenz												
Nähr	Länge des Nährgebietes												
Zehr	Länge des Zehrgebietes												
vert	Gesamtvertikale des Gletschers												
w Nähr	Winkel des Nährgebietes												
w Zehr	Winkel des Zehrgebietes												
w Diff	Winkeldifferenz des Nährgebietswinkel und des Zehrgebietswinkels												
vgl. KUHLE (1986c)													

Tabelle 2: Rezente und vorzeitliche Schneegrenzen ausgewählter Gletscher im Rolwaling Himal und Kangchenjunga Himal. Die Berechnungsmethode ist in dem entsprechenden Kapitel 1.6.4 erläutert. Die Genauigkeit der zugrunde gelegten Werte nimmt insbesondere für die älteren Gletschersysteme ab.

Die mit **Karte 2** bzw. **Karte 4** benannten Gletscher sind mit Hilfe der entsprechenden Karten dokumentiert. Die Schneegrenzen der Gletscher der **Karten 2 (I)** und **4 (I)**, d.h. die historischen Schneegrenzen, leiten sich aus der eindeutigen Beziehung der rezenten Gletscher zu den historischen Gletschern ab. Die Werte liegen ca. 20m bis 100m unter den rezenten Schneegrenzen. Eine exaktere Angabe der historischen Schneegrenzabsenkung würde eine wesentlich detailliertere Analyse der historischen Gletscherstände erfordern, wie sie in der vorliegenden Schrift nicht geleistet werden soll.

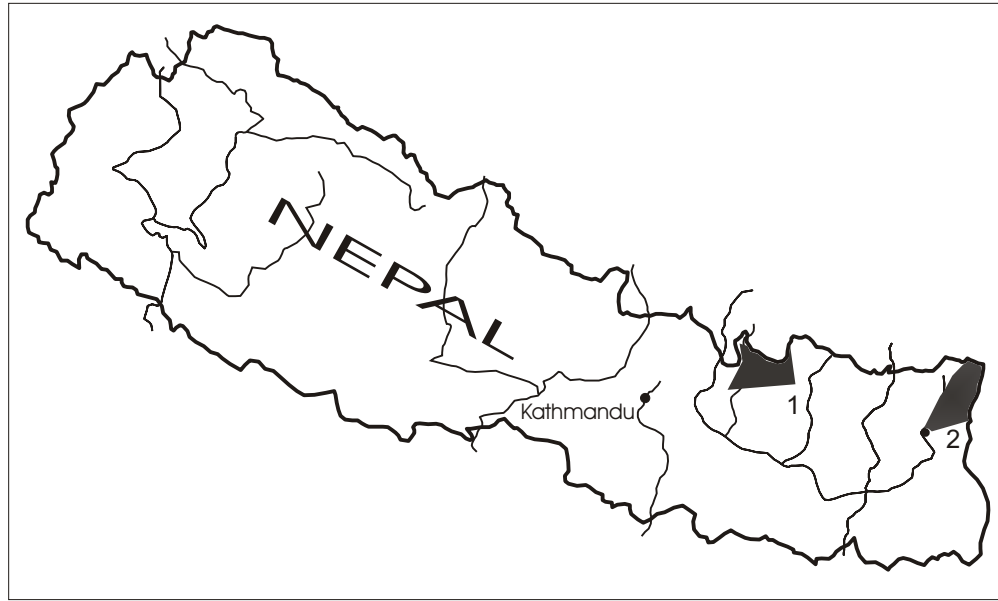


Abbildung 1: Die Lage der Arbeitsgebiete Rolwaling Himal (1) und Kangchenjunga Himal (2) in Nepal (Himalaya Südabdachung).

Beide Arbeitsgebiete liegen südlich von 28° S Breite und sind der Himalayasüdabdachung zwischen 86° E und 88° 10' E zuzuordnen. Der Rolwaling Himal liegt an der Nordgrenze Nepals zu Tibet zwischen den Hauptdurchbruchstätern Bhote Kosi im Westen und Dudh Kosi im Osten. Das Arbeitsgebiet erstreckt sich über eine Gesamtvertikaldistanz von ca. 6200m; den höchsten Gipfel bildet der Gaurisankar (7134m) (**Karte 1**).

Der Hauptkamm des Kangchenjungamassivs bildet die Ostgrenze Nepals zu Sikkim im Nordosten des Landes und kulminiert im 8586m hohen Kangchenjunga Hauptgipfel (**Karte 3**).

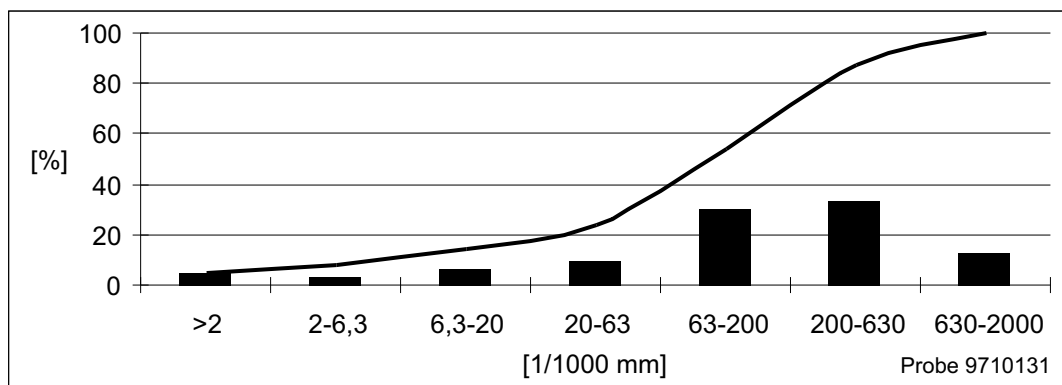


Abbildung 2: Die Probenentnahmestelle ist in **Photo 37** dokumentiert. Das Sediment stammt aus der Lockermaterialverkleidung eines anstehenden Rückens im Yalung Tal aus ca. 4880m Höhe. Der bimodale Verlauf der Korngrößenverteilung stützt die Interpretation des Materials als glazigen. (Probe 9710131)

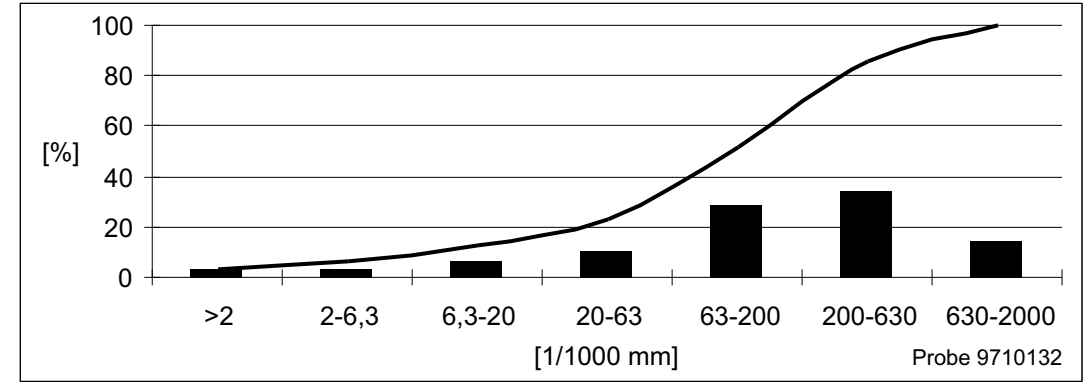


Abbildung 3: Das analysierte Material stammt aus einem Aufschluß, der ca. 100 Höhenmeter unterhalb der Entnahmestelle des Materials für das in **Abbildung 2** dargestellte Ergebnis der Korngrößenanalyse liegt. (Probe 9710132)

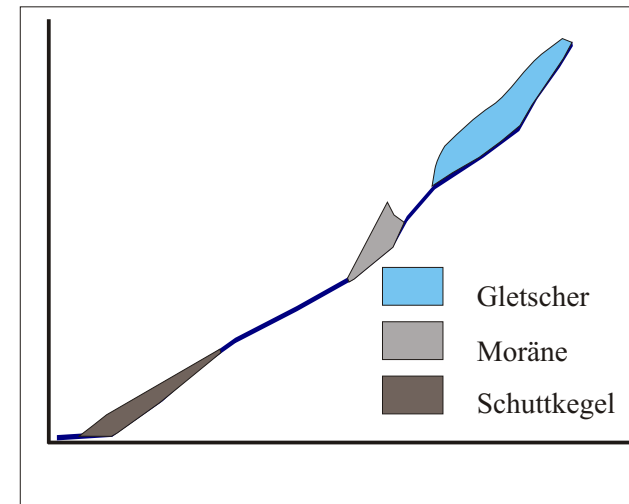


Abbildung 4: Die Lagebeziehung des rezenten Pherni Ostgletschers zur Taltiefenlinie des Rolwaling Khola (**Photo 25**). Die historische Laterofrontalmoräne des Gletschers liegt wenige Dekameter oberhalb des konvexen Gefällewechsels der Haupttalflanke. Der Schuttkegel unterhalb des unteren steilen Flankenabschnittes baut sich polygenetisch aus verstürztem moränischen Material und fluvial sortiertem Akkumulat auf.

Die Darstellung erfolgt schematisch, die absoluten Dimensionen sind verzerrt wiedergegeben.

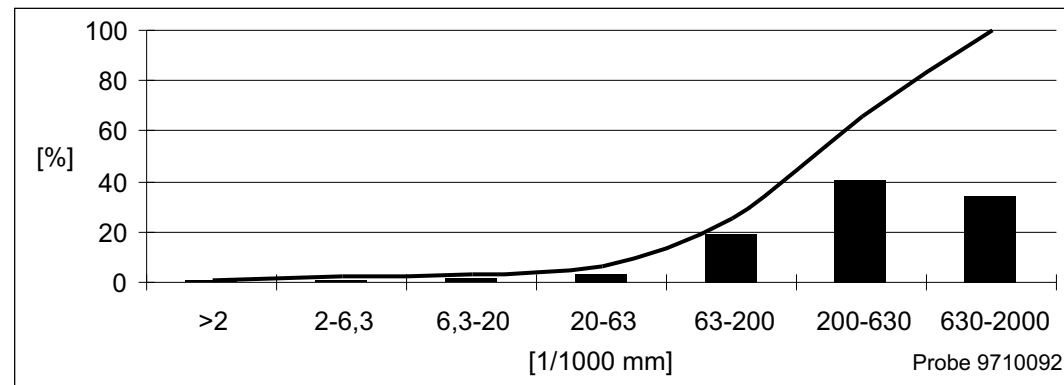


Abbildung 5: Die Feinbodenprobe stammt aus ca. 4400m Höhe im Bereich der Sanmarkarka. Die morphologischen Befunde belegen, daß es sich bei der beprobten Vollform um eine ältere Ufermoräne handelt. Der Anteil der Fraktionen Ton bis Grobschluff in dem beprobten Material liegt insgesamt unter 8%. Das Material wird durch einen sehr hohen Sandanteil dominiert. Die Anteile von Ton bis Mittelschluff liegen unterhalb der Maßgenauigkeit der Korngrößenanalyse. Beprobte wurde hier mit hoher Wahrscheinlichkeit ein glazifluvial beeinflusster oder überprägter Ausschnitt der Moräne, so daß diese Analyse die Interpretation der Gesamtform als Moräne nicht stützt, jedoch auch nicht widerlegt. Deutlich wird, daß der Indikatorwert der Korngrößenanalyse deutlich hinter dem der geomorphologischen Analyse zurückbleibt. Erstere Methode kann daher nur als ergänzend verstanden werden (vgl. **Abbildung 27**). (Probe 9710092)

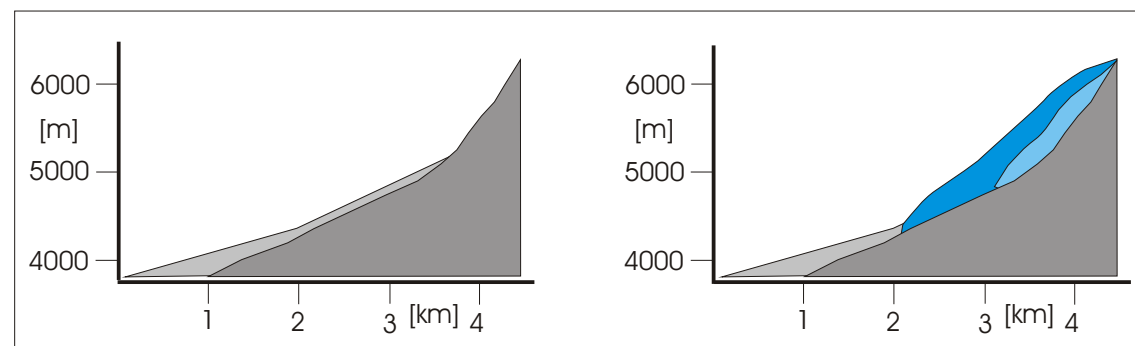


Abbildung 6: Das stark vereinfachte Querprofil der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke unterhalb der Steilstufe oberhalb von Na. Das linke Bildchen beschreibt die aktuelle morphologische Situation. Der polygenetische Schwemmfächer (■) baut sich aus einem Mischsediment aus glazial aufbereitetem und fluvial wie rein gravitativ verlagertem Material auf. Die rechte Skizze verdeutlicht die potentiellen Positionen vorzeitlicher ERL zwischen 4400m und 4800m (**Photo 41**) im Bereich vor der Flanke. Die rekonstruierten Gletscheroberflächen (■, ■) sind im zentralen Talbereich spekulativ (insbesondere die Frage der konvexen oder konkaven Oberflächenwölbung ist unklar) - orientiert sich jedoch am zugrunde liegenden Relief.

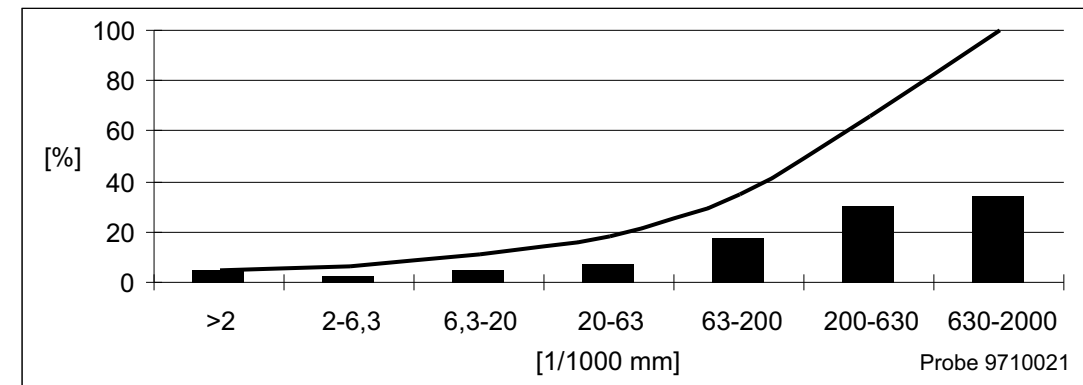


Abbildung 7: Die Feinbodenprobe für die Korngrößenanalyse wurde ca. 30m oberhalb des Flusses in 3940m westlich von Na entnommen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich vor dem Hintergrund der morphologischen Befunde um ein fluvial überarbeitetes, glazigenes Ausgangssubstrat. (Probe 9710021)

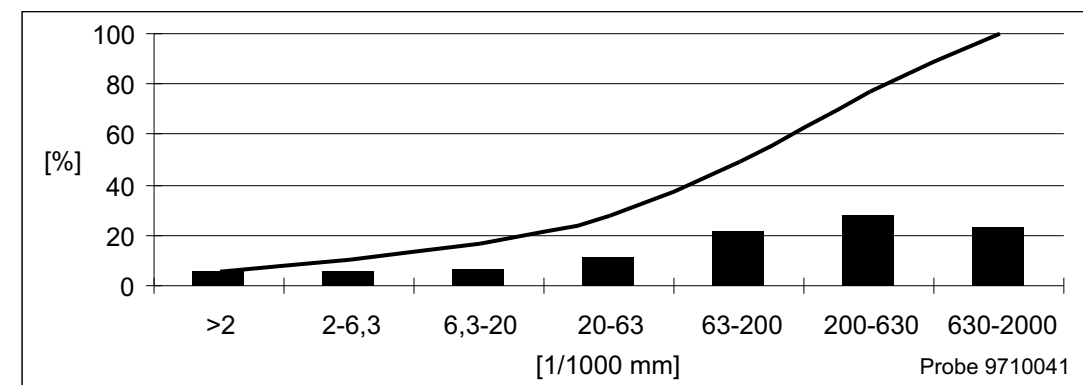


Abbildung 8: Die Probenentnahmestelle liegt in ca. 4200m und ca. 200m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie nahe dem Kloster von Na. Das Material ist aus einem vorzeitlichen Ufermoräneninnenhang entnommen. Die Fraktionsverteilung ähnelt stark dem Verteilungsmuster der mit Hilfe von **Abbildung 7** dargestellten Probe. (Probe 9710041)

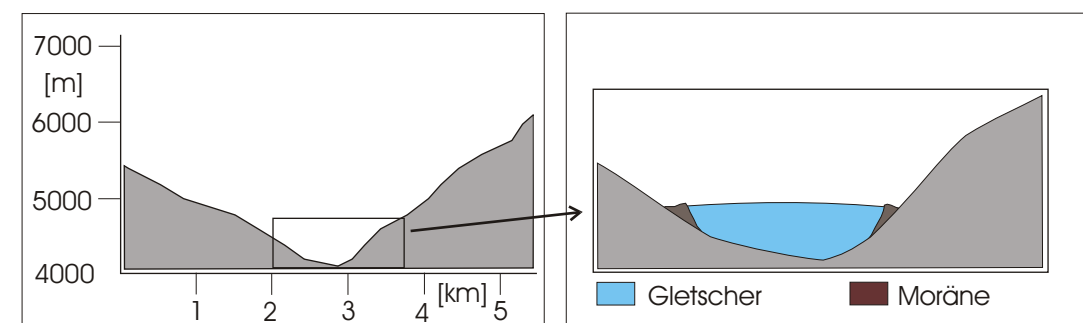


Abbildung 9: Vereinfachtes Talquerprofil des Rolwaling Khola unterhalb des Kloster von Na. Die Abbildung kombiniert einen Teil der geomorphologischen Befunde für die orographisch rechte und linke Rolwaling Khola Flanke (**Photo 23**, **Photo 42**) in diesem Talabschnitt und visualisiert einen Gletscherpegel in ca. 4200m, d.h. 100 bis 150 Höhenmeter oberhalb der rezenten Taltiefenlinie. Die **Abbildung 10** zeigt in ähnlicher Darstellungsweise die rekonstruierte hochglaziale Eisfüllung dieses Talquerprofils.

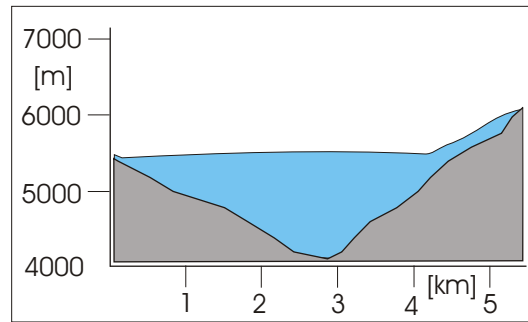


Abbildung 10: In Ergänzung zu **Abbildung 9** ist ein vermutlich letzthochglaziales Gletscherprofil (■) eingezeichnet. Der Gletscherpegel wird u.a. durch die markante Gefälleänderung des Flankenprofils induziert und läßt sich gut mit talaufwärtigen und talauswärtigen Befunden korrelieren (**Karte 1**).

Die Darstellung erfolgt nicht überhöht.

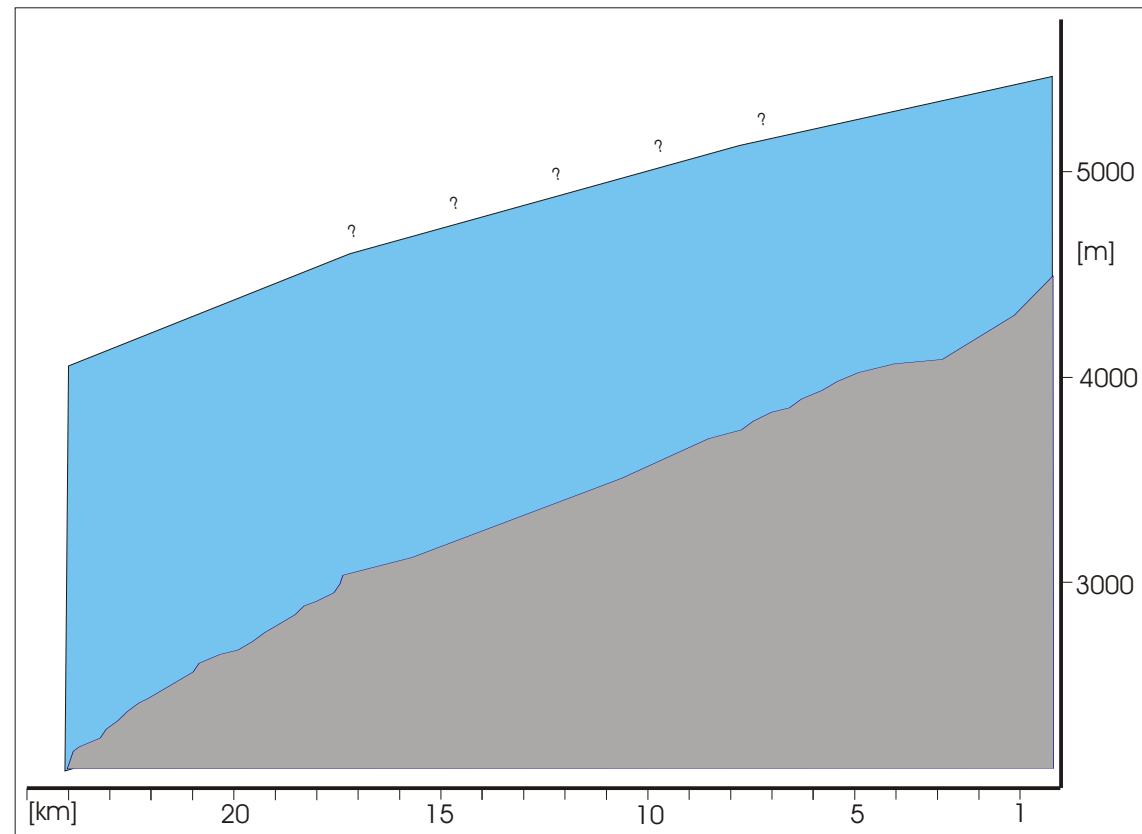


Abbildung 11: Das Tallängsprofil des Rolwaling Khola zwischen der Konfluenz des Rechten und des Linken Rolwaling Gletschers im Osten (Sanmakharka, **Photo 30**) und dem Talausgang im Westen. Der Pegel des rekonstruierten LGM Gletschers (■) ist abschnittsweise mit Fragezeichen eingezeichnet. Die Oberfläche ist hier zwischen zwei Pegelbefunden interpoliert. Talauswärts schließt sich das mit Hilfe von **Abbildung 15** dokumentierte Längsprofil des Bhote Kosi an.

Die Darstellung erfolgt mit 5-facher Überhöhung.

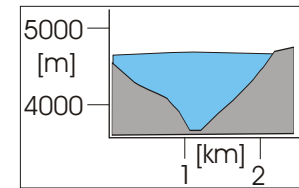


Abbildung 12: Das Talquerprofil des Chhesugolchha Khola am Talausgang zeigt eine Trogform. Der Talausgang hängt über dem Rolwaling Khola (vgl. **Abbildung 13**). Die hochglaziale Eisfüllung (■) reichte deutlich über 4700m hinaus.

Der Maßstab der Darstellung entspricht dem der übrigen Talquerprofile um die Vergleichbarkeit zu verbessern.

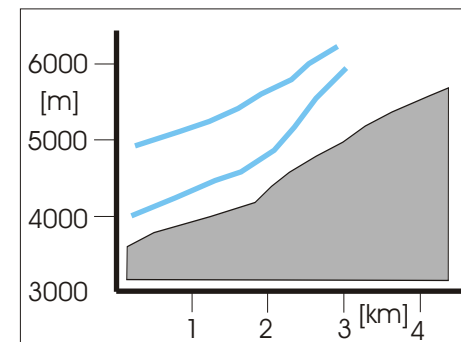


Abbildung 13: Der Verlauf des Tallängsprofils des Chhesugolchha Khola ist gekennzeichnet durch zwei markante Gefällewechsel in ca. 3850m und in 4200m. Die eingezeichneten potentiellen Gletscherpegel (—) verweisen auf Eisrandlagen des Chhesugochha Khola talauswärts des Talausganges und somit auf das potentielle Zusammenfließen des Rolwaling Khola Gletschers und des Chhesugolchha Gletschers für verschiedene vorzeitliche Gletscherstände.

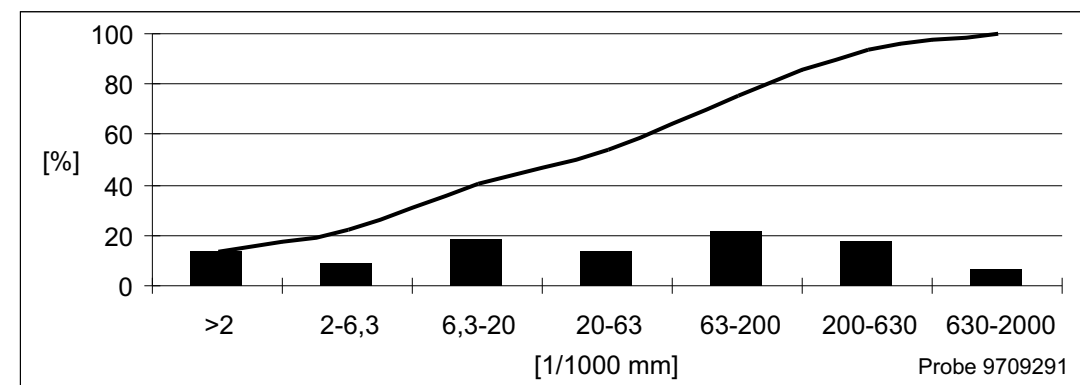


Abbildung 14: Das Feinbodenmaterial für die Korngrößenanalyse stammt aus einem Aufschluß, der ca. 5m über dem Rolwaling Khola Fluß in 3350m liegt. Der bimodale Kurvenverlauf stützt die Interpretation des Sediments als glazigen. (Probe 9709291)

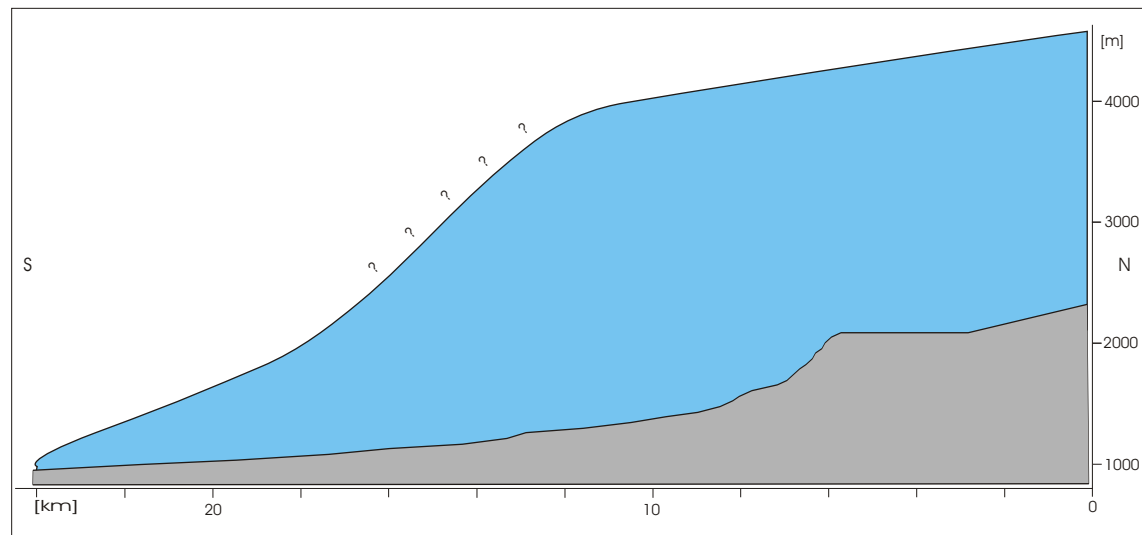


Abbildung 15: Das Talquerschnitt des Bhote Kosi zwischen Lamobagar (1985m) im Norden und Singali Bazar (920m) im Süden. Der Verlauf der Talsohlenlinie im Talabschnitt in der Nähe von Lamobagar (ca. km 3) ist durch die Abriegelung des Tales durch einen Bergsturz und die sich leeseitig an die Bergsturzhalde anschließende fluviatile Ausgleichsfläche geprägt. Deutlich zu erkennen ist, daß die Bergsturzhalde ein ansonsten in diesem Talabschnitt wahrscheinlich gleichsinniges Gefälle stört. Bei Kilometer 2,5 und Kilometer 7 verläuft die Talsohlenlinie im Anstehenden.

Die eingezeichnete Oberfläche des rekonstruierten hochglazialen Gletschers (■) ist an den Schlibbfunden im Talverlauf Bhote Kosi orientiert und markiert, insbesondere für die oberen Teile der Talschaft, nicht zwingend die maximale Gletscheroberfläche (???)

Die überhöhte Darstellung läßt den Gletscher mächtiger erscheinen. Trotz der Einschränkung bezüglich der Aussagekraft der eingezeichneten Gletscheroberfläche wird deutlich, daß es sich um einen Eiskörper mit konvexer Oberfläche handelt, der talauswärts sehr schnell an Volumen verliert.

Das im unteren Viertel nur mäßig steile Talgefälle ist hinsichtlich der Berechnung der Schneegrenze zu berücksichtigen. Es gilt, daß eine Verlagerung der ERL im Dekameterbereich zu Längenveränderungen der Gletscherzunge im Kilometerbereich führen kann. Gleichzeitig verdeutlicht die Abbildung, daß das Interpretationspotential von Pegel- oder Schlibbfunden, die Möglichkeiten der Interpretation von ERL-Befunden überholt.

Die Darstellung erfolgt in 3-facher vertikaler Überhöhung.

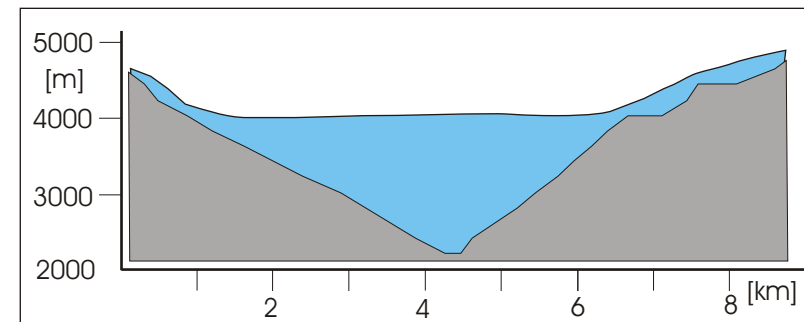


Abbildung 16: Das nördlich der Siedlung Lamobagar angelegte, west-ost verlaufende Talquerschnitt des Bhote Kosi zeigt in Bereich des Talbodens deutlich die hier bis mindestens 300m mächtige fluviatile Talfüllung des Bhote Kosi als Folge des Rückstaus der Sedimentfracht des Haupttalflusses hinter der talauswärts gelegenen Bergsturzakkumulation. Im Flankenabschnitt zwischen 3000m und 3200m finden sich auf beiden Seiten des Tales Gefälleknick im Flankenprofil. Insbesondere für den in der Grafik rechten Profiltail fällt die "Treppe" des oberen Abschnittes auf. Diese ist als Folge der Lage des Profils über einen zwei Nebentäler trennenden Rücken zu verstehen. Die Flankenbereiche oberhalb von ca. 4000m haben im Hochglazial dem Einfluß der lokalen Vergletscherung unterlegen. Die obere Begrenzung der Eisfüllung (■) des Tales ist als Mindestwert zu verstehen.

Folgeseite:

Abbildung 17: Die Abbildung zeigt fünf zusammengestellte Talquerschnitte des Bhote Kosi im Talabschnitt zwischen Gongar und Singali (**Karte 5: 17a-e**). Die wahrscheinlich LGM zeitlichen Gletscherprofile (■) sind in die Talquerschnitte skizziert (vgl. **Abbildung 15**). Die Abbildung zeigt sehr deutlich, daß der Nachweis der Vergletscherung eines Talabschnittes nicht an die Trogforn des Talquerschnittes gebunden werden kann (vgl. KUHLE 1991:Fig. 1 u. 2, S. 3-4). Fehlt die Trogforn des Talquerschnittes, ist dies nicht als Indiz für das Fehlen eines Gletschers zu interpretieren - hingegen ist der umgekehrte Schluß wahrscheinlicher. Die von HARBOR (1992, in BENN u. EVANS 1998) gewählte Darstellung der Trogfornentwicklung erscheint dem Autor zu stark generalisiert, da sie impliziert, daß glaziale Tröge durch 90° steile Flanken zu charakterisieren seien. In den hier behandelten Arbeitsgebieten finden sich solche Tröge nicht.

Die Talquerschnitte sind nicht überhöht dargestellt.

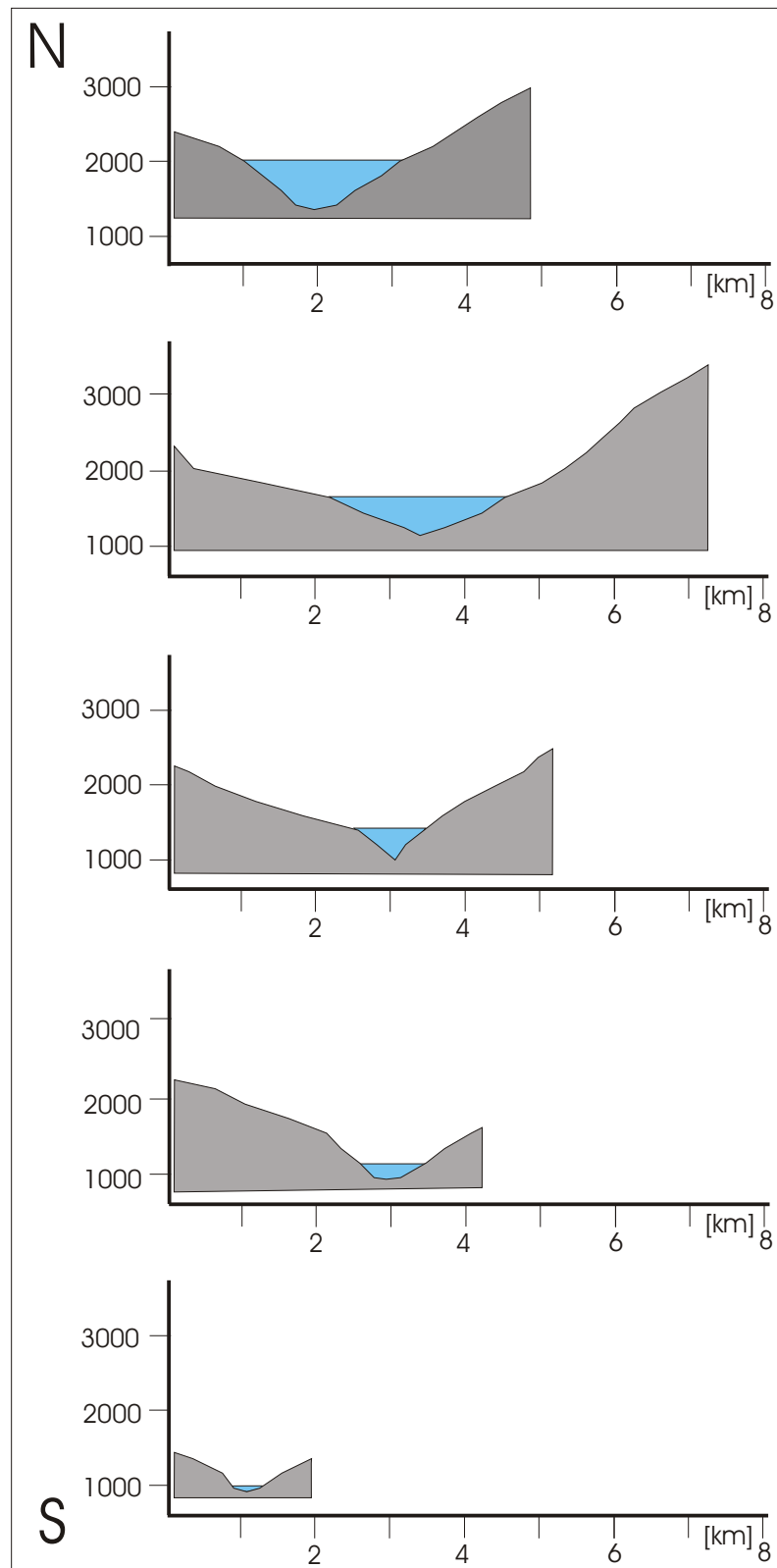


Abbildung 17: Der Text befindet sich auf der vorhergehenden Seite.

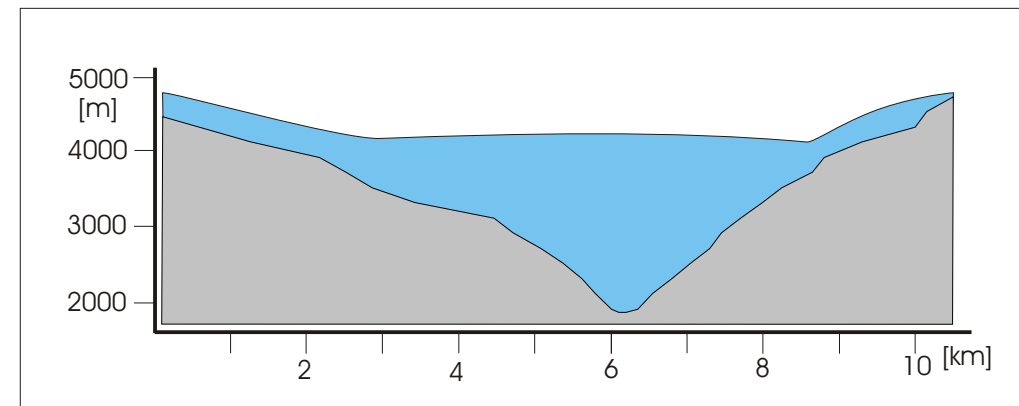


Abbildung 18: Die Abbildung zeigt das Talquerprofil des Bhothe Kosi unterhalb der Siedlung Lamobagar. Der tiefste Punkte des Profiles liegt außerhalb der Bergsturzmasse, die das Bhothe Kosi in Höhe der Siedlung Lamobagar verriegelt. Das in **Abbildung 16** gezeigte Profil beginnt auf der Ostseite am gleichen Punkt, verläuft jedoch nördlich von Lamobagar. Das Profil ist gekennzeichnet durch beidseitige Veränderung des Flankengefälles in den Höhenstufen um ca. 3100m und ca. 4000m bis 4200m. Insbesondere der Gefällewechsel im Flankenabschnitt zwischen 4000m und 4200m ist gut mit den Befunden hoher Schlifffgrenzen und glazialer Überprägung der Flanken, wie sie auf den entsprechenden Photos zu erkennen sind, in Beziehung zu setzen. Die Gletscherfüllung (■) des Tales im Bereich des lokalen flankenseitigen Einzugsgebietes ist nicht eindeutig zu belegen.

Die Darstellung erfolgt nicht überhöht.

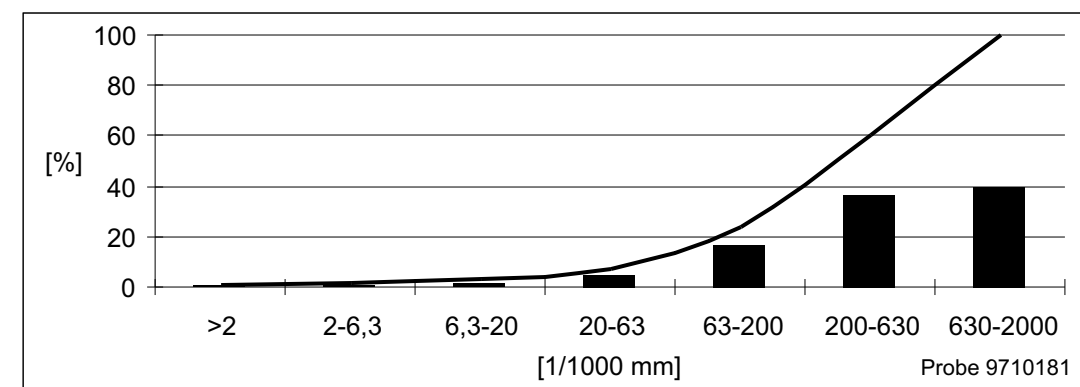


Abbildung 19: Die Korngrößenanalyse des Feinbodens eines Aufschlusses nahe Gongar (**Photo 75**) in 1360m Höhe, ca. 60m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie. Das Ergebnis der Korngrößenanalyse kann nicht als Hinweis auf die glaziale Entstehung des Sediments interpretiert werden, widerspricht dieser jedoch auch nicht. (Probe 9710181)

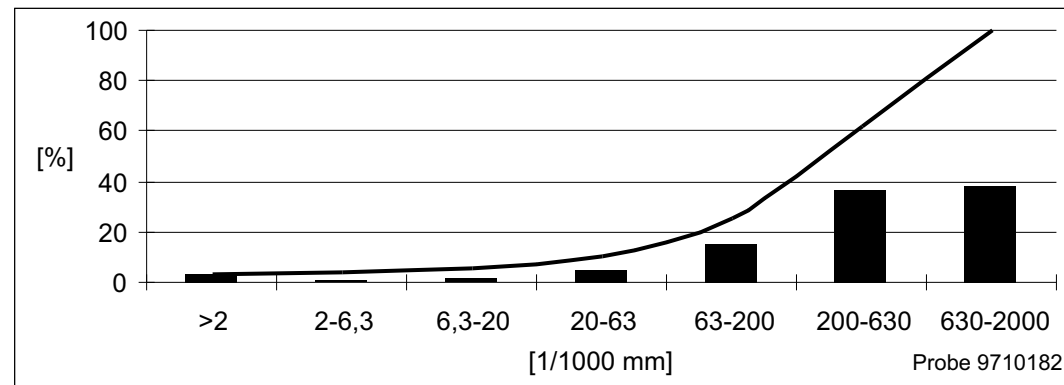


Abbildung 20: Die Korngrößenanalyse des Feinbodens des in **Photo 76** dokumentierten Aufschlusses ca. 50m südlich von Jagat (1314 m, vgl. **Abbildung 19**). Der durch das Ergebnis der Laboranalyse belegte geringe Tonanteil kann mit Hilfe der im Gelände gewonnenen Informationen korrigiert werden. Die an verschiedenen Stellen durchgeführte Fingerprobe zeigt einen höheren, jedoch nicht hinlänglich exakt zu quantifizierenden Tonanteil des Sediments. (Probe 9710182)

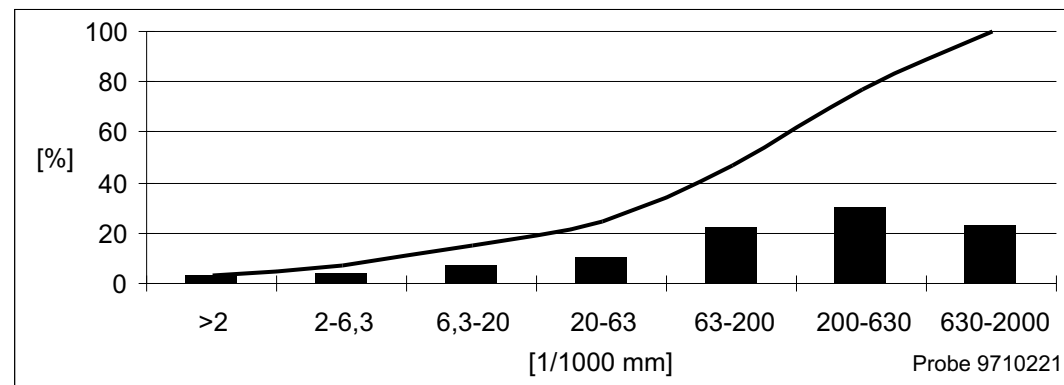


Abbildung 21: Die Korngrößenanalyse des Feinbodens des mit Hilfe von **Photo 80** und **Photo 81** dokumentierten Aufschlusses ca. 1 km nördlich von Suri Dobhan belegt eine weite Streuung der Feinmaterialfraktionen mit einem Schwerpunkt in der Fein- und Mittelsandfraktion. (Probe 9710221)

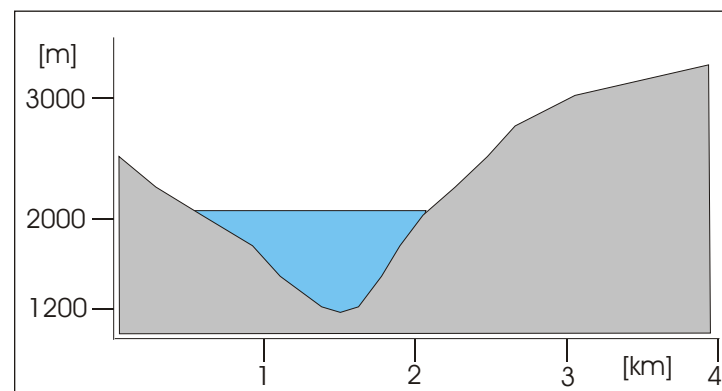


Abbildung 22: Das Talquerprofil nördlich der Siedlung Gongar (1580m) weist eine deutliche Verengung in den unteren 800 Höhenmetern auf. Diese Verengung des Querprofils ist mit Gletscherpegelbefunden talauf- und talabwärts des Bhote Kosi gut zu korrelieren und kann als ein Hinweis auf die Eisfüllung dieses Tales bis in das gekennzeichnete Niveau interpretiert werden (vgl. **Abbildung 16** und **Abbildung 17a-e**).

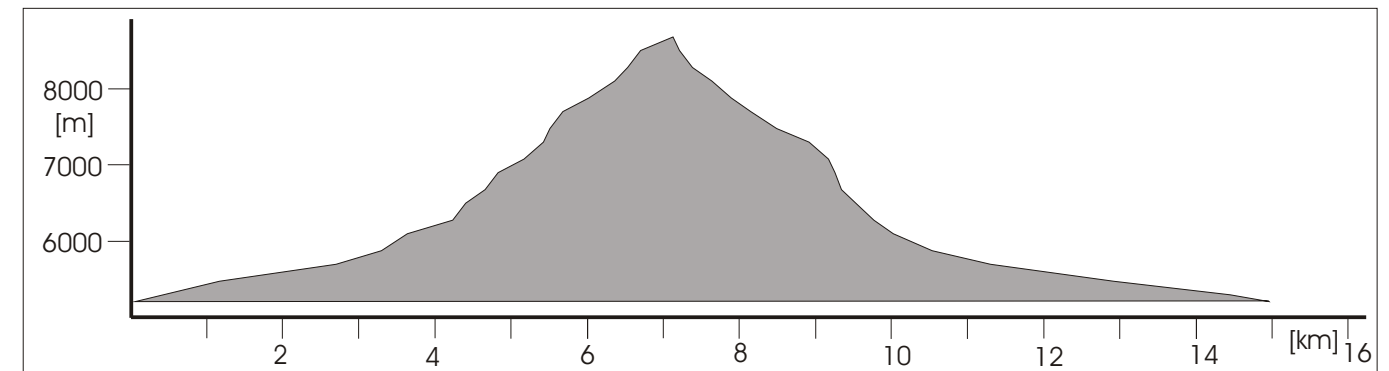


Abbildung 23: Die Graphik zeigt ein Längsprofil über den Kangchenjunga Hauptgipfel: Das Profil beginnt in 5110m, nahe der Lokalität Pangpema im Ghunsa Khola und reicht, von links nach rechts, durch die Nordwand bis zum Hauptgipfel des Kangchenjunga (8586 m) hinauf. Die gegenseitige Abdachung verläuft über den Yalung Gletscher ins Simbua Khola (**Photo 96**). Der Profilverlauf ist in der **Karte 6** eingezeichnet.

Ein markanter Gefällewechsel setzt auf beiden Abdachungen des Gipfelgrates zwischen 5800m und 6000m ein. Oberhalb der 6000m Isohypse ist die Flanke im Mittel über 35° steil. Die Abschnitte der Flanken, an denen das Anstehende an die Oberfläche "dringt", sind im Mittel deutlich steiler. Die weniger steil einfallenden Bereiche der Kurve kennzeichnen (Schutt-) Schürzen ähnliche Eisakkumulationsflächen oberhalb von Eisbalkonen (**Photo 11**).

Die mittlere rezente Schneegrenze für beide Abdachungen liegt zwischen ca. 5520m und 5580m. Die mittlere Steigung des nordexponierten Einzugsgebietes ist 40°, die der Südabdachung sogar 43°. Der hinsichtlich der Gletscherernährung besonders relevante Raum zwischen 6000m und 7800m (vgl. KUHLE 1986c: Nr.780) ist steiler, hier fallen die Flanken mit 47° bzw. 56° ein. Hingegen fallen die Gletschergebiete unterhalb von 5100m mit 2° bis 5° ein. Dieses Verhältnis gilt es, hinsichtlich der Bewertung der Beziehung zwischen Akkumulationsgebietsfläche und dem Beitrag zur Massenbilanz des Gletschers zu berücksichtigen. Mit der Veränderung des Gletscherpegels in höheren Lagen wächst der Anteil der primären Akkumulationsfläche stark an.

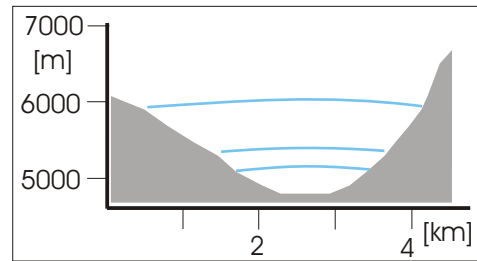


Abbildung 24: Die Abbildung zeigt ein Talquerprofil über die Gletscherzunge des Kangchenjunga Gletschers zwischen Pangpema und Lhonak. Die Oberfläche des Kangchenjunga Gletschers liegt hier in ca. 4900m. Die korrespondierenden Gefällewechsel beider Talflanken in 5200m, in 5400m und in 5900m bis 6000m werden als Indizien für die quasi horizontale glaziale Überprägung des Talquerprofils des Ghunsa Khola bis in dieses Niveau interpretiert (vgl. **Photo 11** und **Photo 106**) und sind nicht mit Erosionsformen, die in Abhängigkeit von der lokalen Vergletscherung entstehen, zu verwechseln.

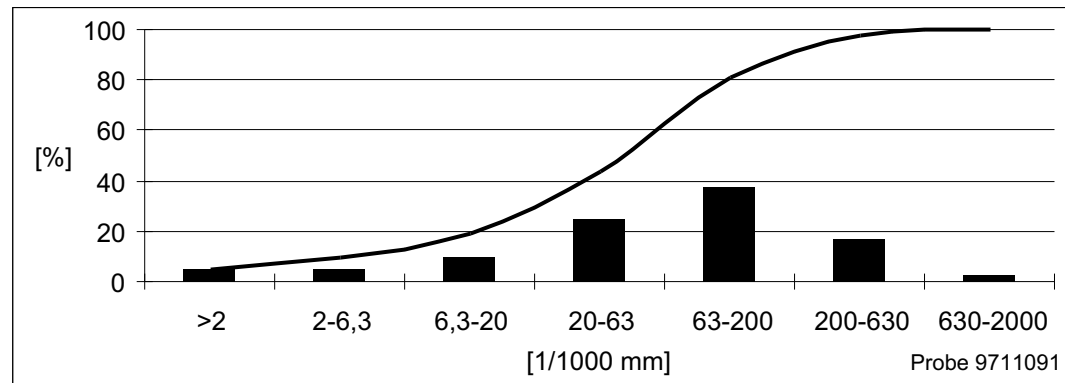


Abbildung 25: Diese Probe stammt aus einem frisch aufgeschlossenen Teil des Innenhanges der historischen Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers nahe der Siedlung Lhonak in ca. 4800m. Das analysierte Sediment ist eindeutig glazigen. (Probe 9711091)

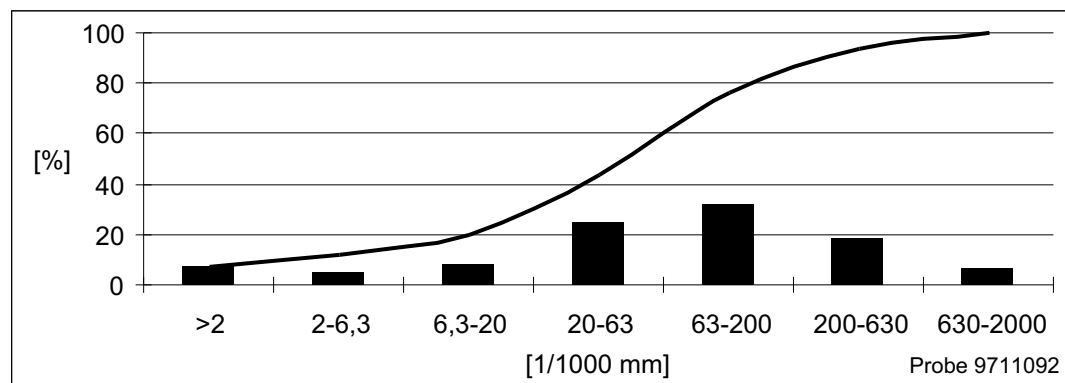


Abbildung 26: Das Sediment stammt aus der unmittelbaren Nähe der Probenentnahmestelle für die Probe 9711091, deren Korngrößenverteilung in **Abbildung 25** dargestellt ist und ergänzt diese. (Probe 9711092)

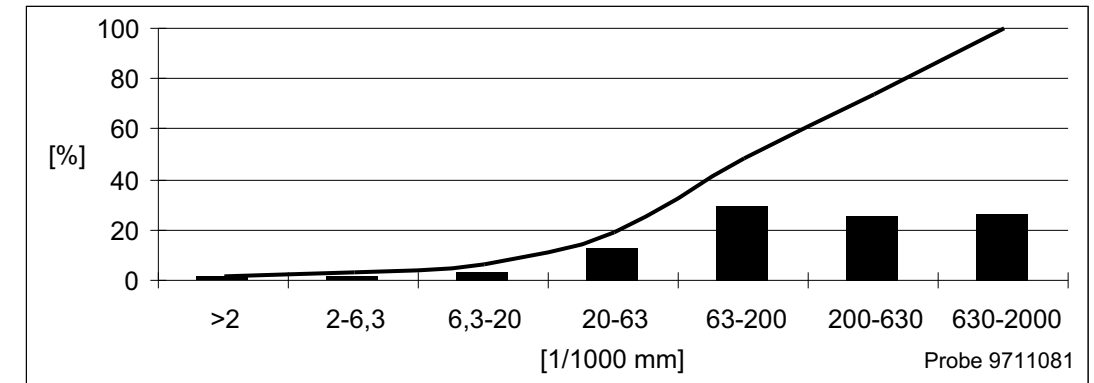


Abbildung 27: Das beprobte Sediment entstammt dem Firstbereich der historischen Ufermoräne des Lhonak Gletschers aus ca. 5050m Höhe. Die Sandfraktion bildet über 70% des Korngrößenspektrums - der Tonanteil liegt unter 2%. Eine Vergleichsprobe (9711082) von einer wenige Dekameter entfernten Lokalität zeigt einen deutlich höheren Tonanteil von über 10%. Die Dominanz der Sandfraktion findet sich in dieser Probe nicht. Die Probe soll die große Bandbreite möglicher Ergebnisse der Korngrößenanalysen von eindeutigen Moränen (hier eine morphologisch gut erhaltene Laterofrontalmoräne, der Gletscher liegt unterhalb der Entnahmestelle der Proben noch an) verdeutlichen. Die Korngrößenverteilung, wie sie hier dargestellt ist, deutet auf eine glazifluviale Sedimentlinse in der Ufermoräne hin. Dieser Befund deckt sich mit der Aufschlußsprache im Gelände. (Probe 9711081)

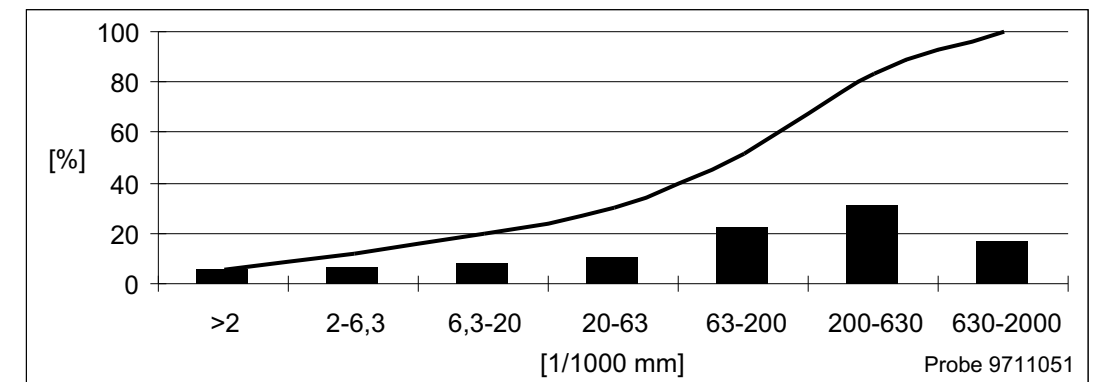


Abbildung 28: Die Grafik zeigt das Ergebnis der Korngrößenanalyse des Feinbodens einer Probe aus dem unteren Nupchu Khola (4350m). Die Probe wurde seitlich unterhalb eines Blockes entnommen, der teilweise in dieses Sediment eingebettet ist. Der Kurvenverlauf zeigt einen deutlichen Peak in der Fein- und Mittelsand Fraktion, der von einer relativ gleichverteilten Fraktionierung der unteren Klassen flankiert wird. Diese Korngrößenverteilung steht der morphologischen Analyse, die das Material als glazigen ausweist, nicht entgegen. (Probe 9711051)

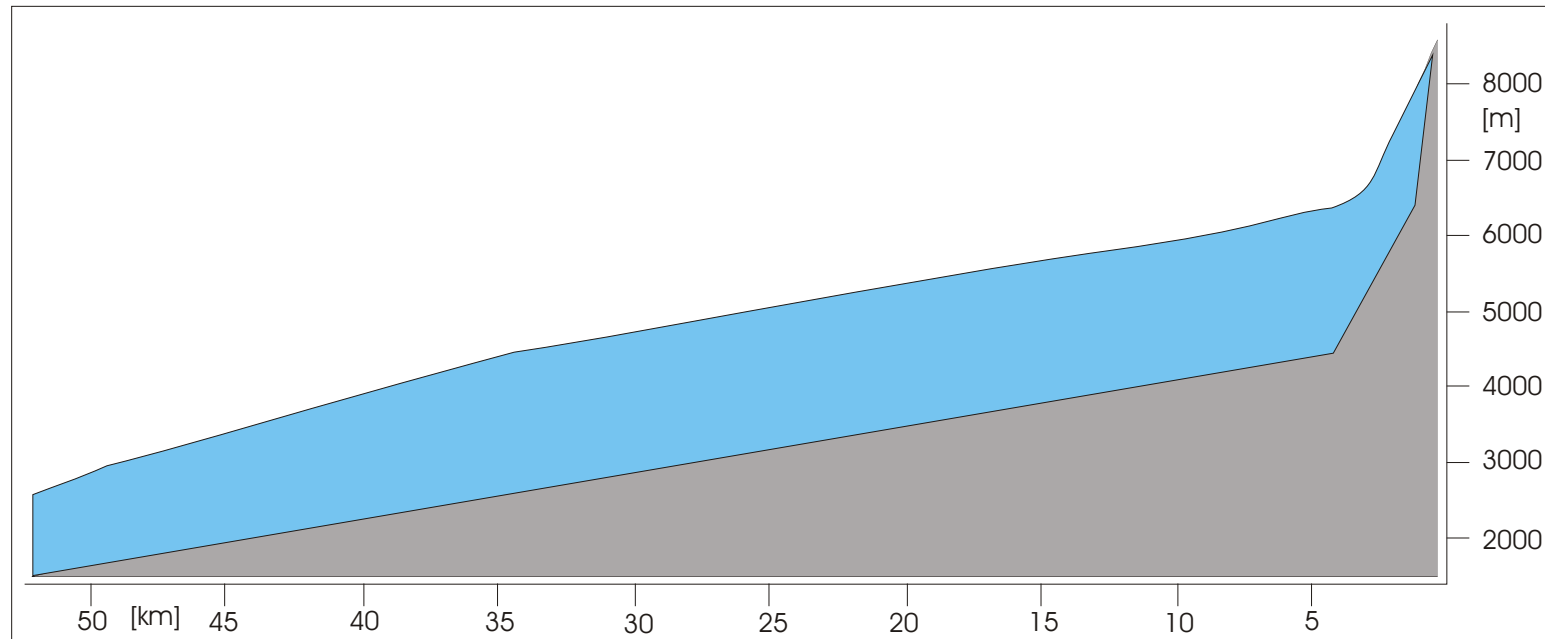


Abbildung 29: Tallängsprofil des Ghunsa Khola zwischen Kangchenjunga (8586 m) und Hellok (1600m). Talaustrwärts schließt sich das Tallängsprofil des Tamur Khola zwischen der Konfluenz von Nup Khola und Ghunsa Khola und der Siedlung Dobhan (650m) an (**Abbildung 48**). Die rekonstruierte hochglaziale Gletscheroberfläche (■) ist eingezeichnet. Der Eispegel orientiert sich dabei dicht an den geomorphologischen Befunden, die in aller Regel nur ein Mindestniveau belegen können.

Die Darstellung des Profils erfolgt 3 fach überhöht.

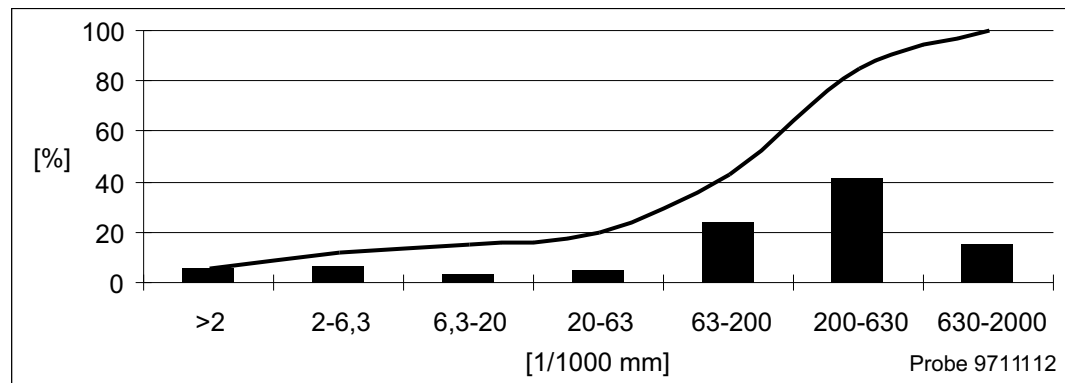


Abbildung 30: Das Ergebnis der Korngrößenanalyse des Feinbodens zeigt einen bimodalen Verlauf, der als charakteristisch für glazigenes Sediment gilt. Die Probenentnahmestelle liegt ca. 30 Höhenmeter unterhalb des Firstes der historischen Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers in ca. 4160m. (Probe 9711112)

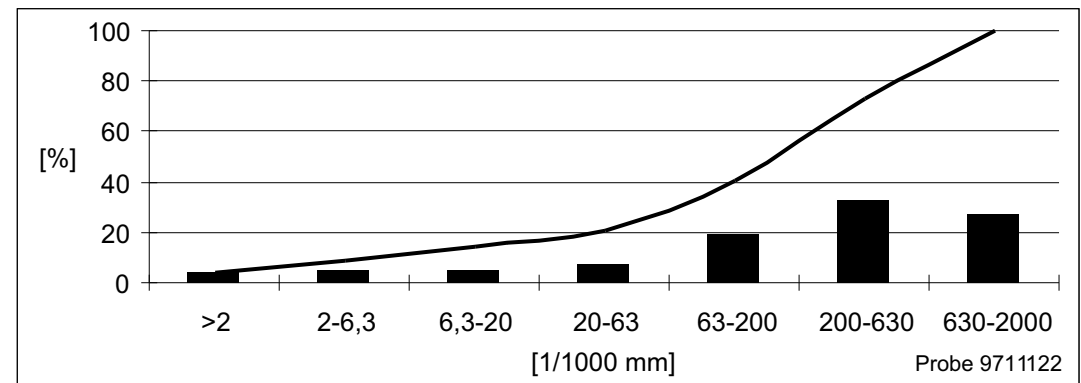


Abbildung 31: Die Probe dient als Ergänzung zum Ergebnis der Korngrößenanalyse, wie sie es in **Abbildung 30** verdeutlicht ist. (Probe 9711122)

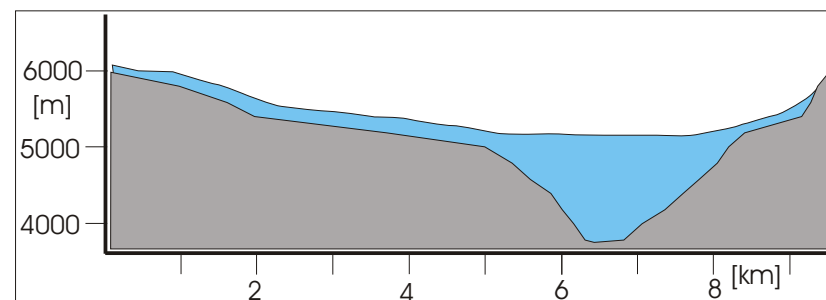


Abbildung 32: Dieses Talquerprofil des Ghunsa Khola schneidet die Taltiefenlinie ca. 2,5km südlich des Talaustranges des Khumbarkarna Khola. Der flacher geneigte Teil der linksseitigen Profilinie oberhalb von ca. 4800m ist auf die lokale Vergletscherung des Naphinda Khola zurückzuführen. Unterhalb dieser Höhenlinie ist das Profil trogförmig und gegenüber den Seitentälern deutlich unterschritten. Die hochglaziale Eisfüllung (■) reichte oberhalb der rezenten Tiefenlinie bis in mindestens 5100m. Die Vergletscherung des Talflanken ist nachweisbar - problematisch ist die korrekte Angabe der Gletscheroberfläche (vgl. **Photo 121**)

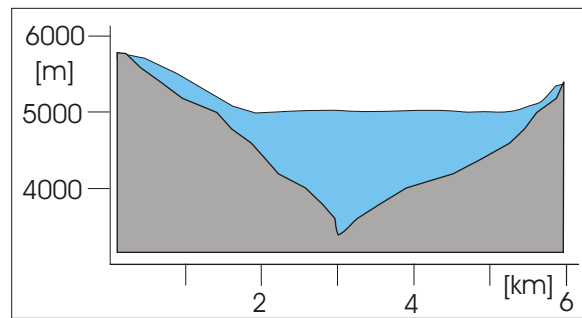


Abbildung 33: Das Talquerprofil durch das Ghunsa Khola, ca. 1,5km nordöstlich von Ghunsa. Die orographisch rechte Flanke ist im Mittel etwas steiler und abschnittsweise konvex gewölbt. Oberhalb der 4200m Isohypse zeichnet das Profil eine Trogform nach. Die Oberfläche des rekonstruierten hochglazialen Gletschers (■) hat in diesem Talabschnitt in mindestens 4900m bis 5000m angelegen. Insbesondere der obere und der unterste Flankenabschnitt der orographisch rechten Seite unterliegen dabei stärkerer posthochglazialer Überprägung, zum einen durch die lokale Vergletscherung der Flanke und zum anderen durch weitere Vergletscherungsphasen des Ghunsa Khola.

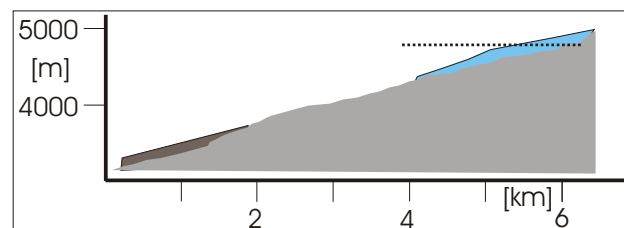


Abbildung 34: Das Tallängsprofil des Yanma Samba Khola, eines kleinen Nebentales des Ghunsa Khola nahe Ghunsa. Belege für die lokale Vergletscherung (■) des Tales zeigen, daß ein solcher Gletscher bis in ca. 4300m herabgereicht hat. Der eingetragene LGM Eispegel (••••) orientiert sich an den Befunden oberhalb von Phale, d.h. talauswärts des Yanma Samba Khola. Ab Talausgang des Nebentales verzahnt sich glazigenes Material verschiedener Vergletscherungsphasen in einem Schuttkörper (■).

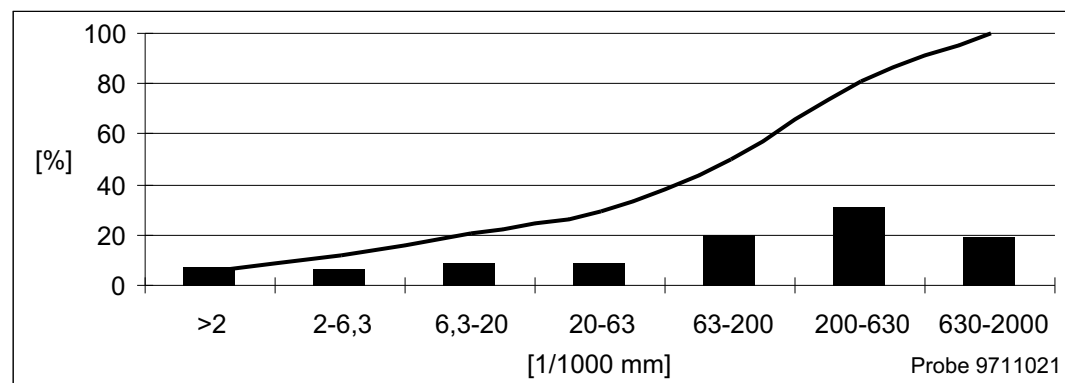


Abbildung 35: Das analysierte Sediment wurde im Bereich der Siedlung Kyapla in ca. 2800m ergraben. Der bimodale Verlauf der Korngrößenanalyse stützt die Interpretation des beprobten Materials als glazigen - morphologische Indikatoren weisen den beprobten Bereich als Teil einer Ufermoräne aus, die einer ERL in ca. 2400m zuzuordnen ist. (Probe 9711021)

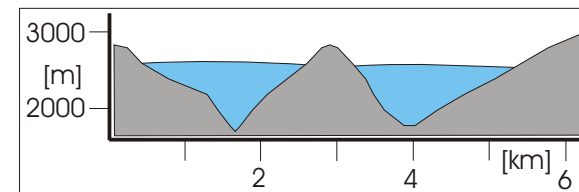


Abbildung 36: Ein Talquerprofil über das Ghunsa Khola, ca. 1km nordöstlich der Talkonfluenz mit dem Nup Khola und der Einmündung des Simbua Khola in das Ghunsa Khola. Dieses Talquerprofil über die Talausgänge des Ghunsa Khola und des Simbua Khola verdeutlicht die Gletscherströme (■) des Ghunsa Khola und des Simbua Khola auf der Basis von Pegelbefunden in den Talschaften. Die Konfluenz der Gletscherströme zu einem Eisstromnetz im Tamur Khola erfolgt wenige 100m auswärts, der mittlere Rücken sinkt dann unter die 2500m Isohypse. Mit hoher Wahrscheinlichkeit lag das gesamte Profil im letzten Hochglazial unter der Eisoberfläche.

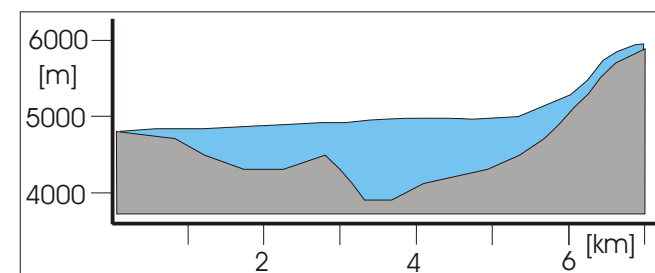


Abbildung 37: Das Talquerprofil im Bereich des Talausganges des Yamatri Khola und eines sich südlich anschließenden Nebentales. An der orographisch linken Yamatri Khola Flanke stützt die Trogform des Talquerprofils die geomorphologischen Befunde, die einen Eispegel (■) in mindestens 5100m wahrscheinlich machen. Die gegenüberliegende Flanke ist in diesem Talabschnitt nur ca. 4500m hoch; ein Kamm vermittelt ins nächste Nebental des Ghunsa Khola. Dieser Kamm war im Hochglazial eisüberflossen. Die Gletscher beider Täler vereinigten sich zu einer Gletscheroberfläche als Teil des Akkumulationsgebietes der Haupttalvergletscherung.

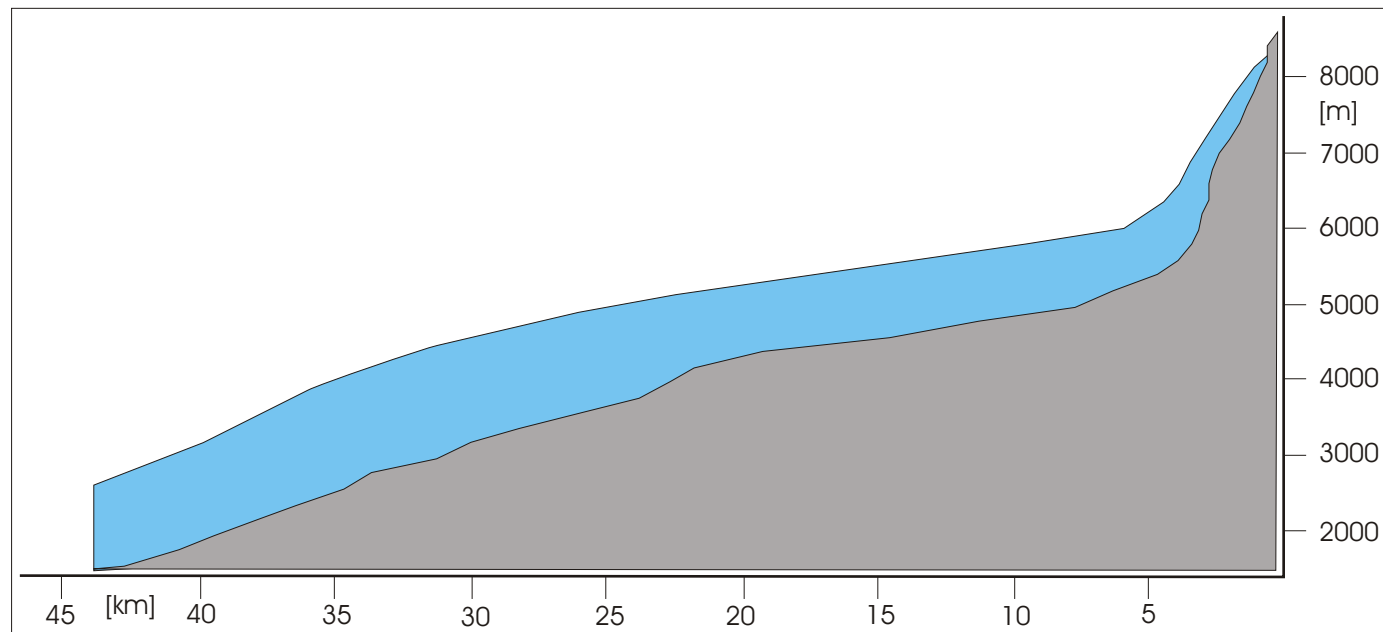


Abbildung 38: Das Tallängsprofil des Simbua Khola zwischen dem Kangchenjunga Hauptgipfel (8586 m) und der Einmündung in das Tamur Khola (1520m). Die Grafik verdeutlicht eine hochglaziale Eisfüllung (■) des Simbua Khola, die hinsichtlich des Ausmaßes gut mit den Befunden aus dem Ghunsa Khola und dem Tamur Khola zu verknüpfen ist (vgl. **Abbildung 29** und **Abbildung 48**).

Die Darstellung des Profils erfolgt 3 fach überhöht.

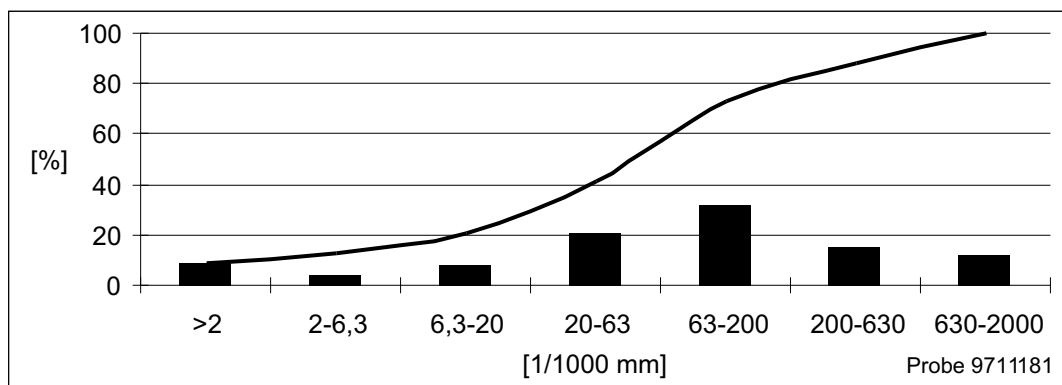


Abbildung 39: Das Material für diese Korngrößenanalyse stammt aus einem Aufschluß ca. 200 Höhenmeter (4800m) oberhalb der historischen Laterofrontalmoräne des Yalung Gletschers, d.h. aus dem oberen Simbua Khola. Der hohe Tonanteil hebt sich deutlich von einem zweiten Peak im Bereich der Fraktionen Grobschluff und Feinsand ab. Ebenso wie das in **Abbildung 40** gezeigte Ergebnis einer Sedimentanalyse stammt das glazigene Material aus einem Hangbereich, der weder dem Einfluß der historischen lokalen Vergletscherung der Flanke oberhalb der Probenentnahmestelle unterlag, noch dem Einfluß der historischen Haupttalvergletscherung. (Probe 9711181)

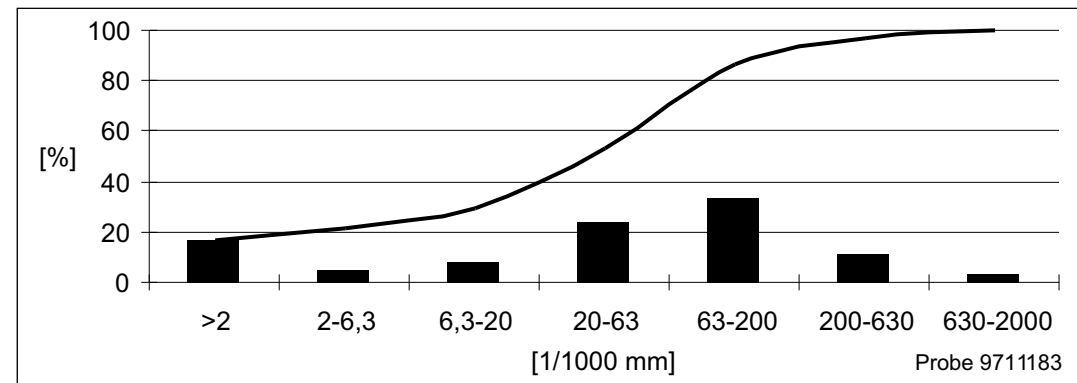


Abbildung 40: Das beprobte Material stammt aus einer Grundmoränenverkleidung der orographisch rechten Simbua Khola Flanke südöstlich des Boktoh (6114m) Gipfels (vgl. **Abbildung 39**). (Probe 9711183)

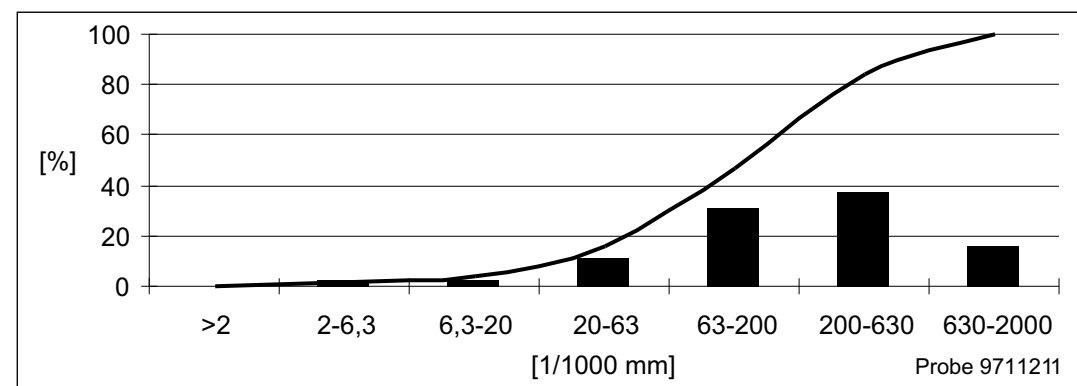


Abbildung 41: Das Ergebnis der Korngrößenanalyse des Feinbodens einer Probe aus dem Simbua Khola. Das Material ist dem Bereich der Endmoräne des historischen Zungenbeckens des Yalung Gletschers entnommen (aus ca. 4200m). Die Probe ist geprägt durch den stärker fluviolen Einfluß im Schnittbereich zwischen Endmoräne und Vorschüttlander. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist der höhere Tonanteil des glazigenen Ausgangssubstrates aus dem beprobten Abschnitt ausgewaschen. (Probe 9711211)

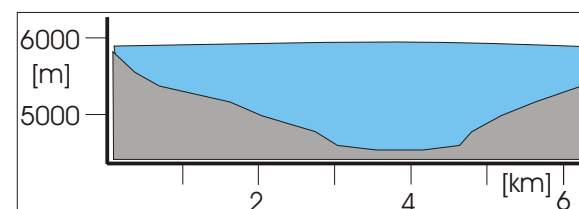


Abbildung 42: Das Talquerprofil des Simbua Khola ca. 1km westlich der Einmündung des Kokthan Gletschers in das Simbua Khola lag im letzten Hochglazial vollständig unter der Eisoberfläche des Akkumulationsgebietes eines Simbua Khola Gletschers (■). Die Gletscherdynamik zeichnete dabei den Talverlauf nach und präparierte eine Trogtalform heraus. Der überprägende Einfluß der rezenten Vergletscherung auf das vorzeitliche Talquerprofil ist in diesem Talabschnitt besonders groß.

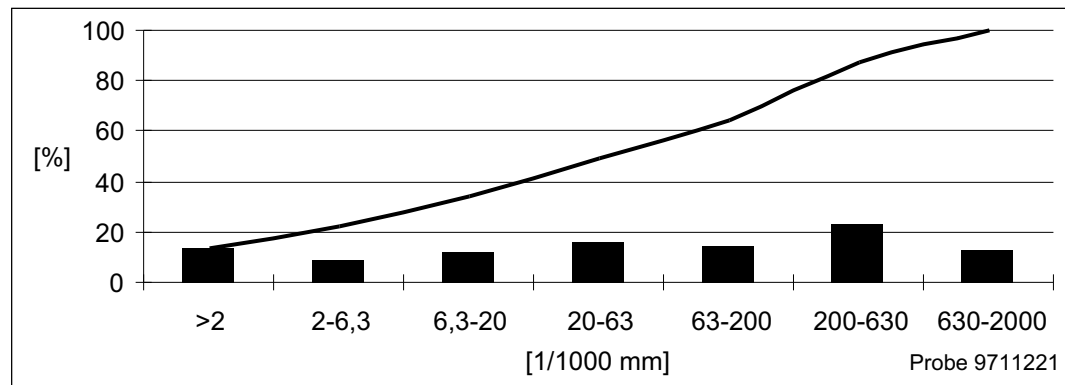


Abbildung 43: Das analysierte Substrat stammt aus ca. 4600m Höhe von einem exponierten Rücken, der das Simbua Khola um ca. 700m überragt (**Photo 159**). Die morphologische Indizien zeigen, daß es sich bei dem Sediment um überprägte Grundmoräne handelt, die den exponierten Rücken großflächig überdeckt (vgl. **Abbildung 44**). (Probe 9711221)

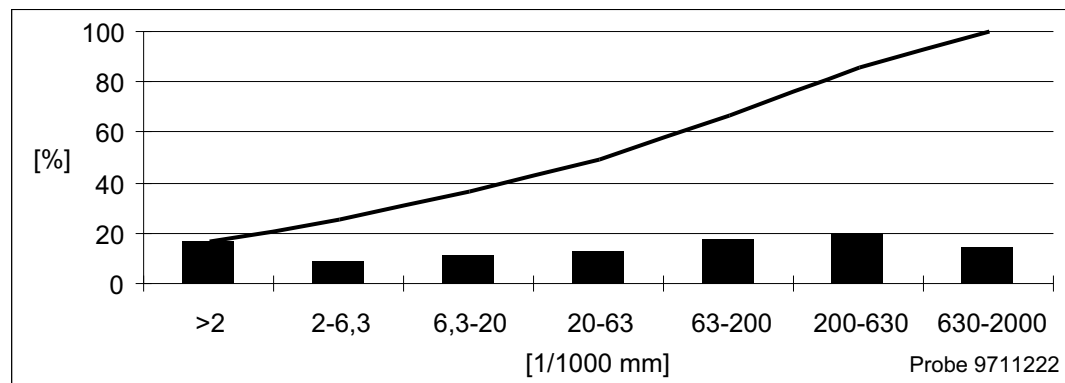


Abbildung 44: Das beprobte Sediment stammt aus ca. 4320m aus einem Aufschluß, der ca. 300m unterhalb des Aufschlusses liegt, dessen Korngrößenverteilung **Abbildung 43** dokumentiert. Die Korngrößenverteilung der beiden Proben entspricht sich annähernd. (Probe 9711222)

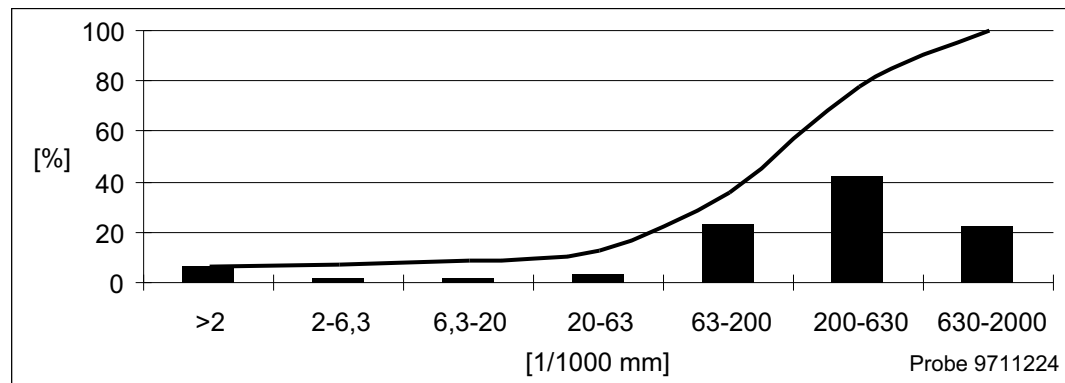


Abbildung 45: Das Material stammt aus dem Zwickelbereich des Simbua Khola und des Yamgachha Khola. Der beprobte Aufschluß war stratifiziert und geschichtet und lag in Lee eines Moränenrestes. Die morphologischen Indikatoren lassen hier die Beprobung einer glazifluvialen oder fluvialen Ufermoränentalfüllung als wahrscheinlich erscheinen. (Probe 9711224)

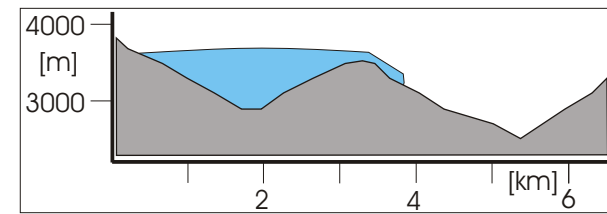


Abbildung 46: Talquerprofil des Simbua Khola bei Nyamgyalama (3600m, **Photo 161**). Das Talquerprofil des Simbua Khola in diesem Talabschnitt macht deutlich, daß ein Gletscher (■), dessen Pegel im Simbua Khola in 3600m Höhe lag, einen Teil seiner Eiszunge in das benachbarte Tal gedrückt haben wird. Der Paß liegt heute ca. 150m unter dem rekonstruierten Mindestgletscherpegel des Simbua Khola Gletschers. Eine lokale Vergletscherung des Amji Khola ist aufgrund der mittleren Einzugsgebietshöhe (ca. 4500m) wahrscheinlich. Die entsprechende Gletscherzunge dürfte unterhalb des Passes jedoch tiefer im Talquerprofil des Amji Khola gelegen haben.

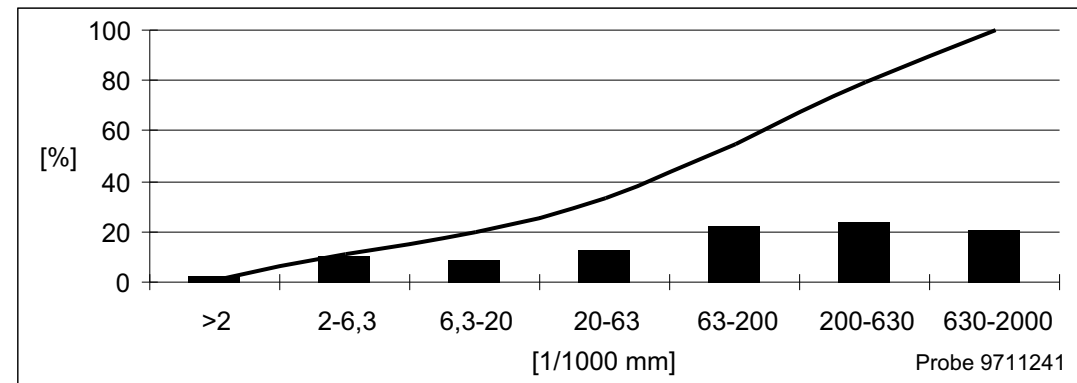


Abbildung 47: Die Korngrößenverteilung dieser Probe ergänzt die Befunde, die das beprobte Sediment als Teil einer Ufermoräne ausweisen. Die Probenentnahmestelle liegt nahe der Lokalität Nyamgyalama (**Photo 161**) im unteren Simbua Khola in ca. 3550m Höhe, d.h. ca. 750m über der rezenten Tiefenlinie. (Probe 9711241)

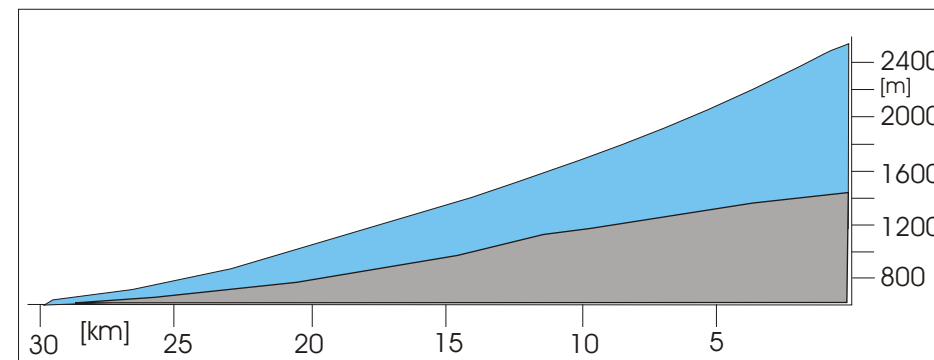


Abbildung 48: Tallängsprofil des Tamur Khola zwischen der Konfluenz des Nup Khola und des Ghunsa Khola in 1520m und der Siedlung Dobhan in 658 m. Der rekonstruierte hochglaziale Gletscher (■) reichte bis in ca. 650m herab. Die Gletscherzunge war im wesentlichen an die Akkumulationsgebiete des Ghunsa Khola (**Abbildung 29**), des Simbua Khola (**Abbildung 38**) und des Nup Khola gebunden. Das Darstellung des Profils ist 5-fach überhöht.

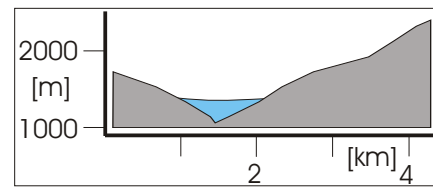


Abbildung 49: In das Talquerprofil des Tamur Khola südlich von Sinwa ist die letzthochglaziale Gletscheroberfläche (■) eingezeichnet. Die geomorphologischen Befunde zeigen, daß ein Gletscherpegel in diesem Talabschnitt in mindestens 1300m bis 1400m, d.h. ca. 400m über der rezenten Tiefenlinie, lag.

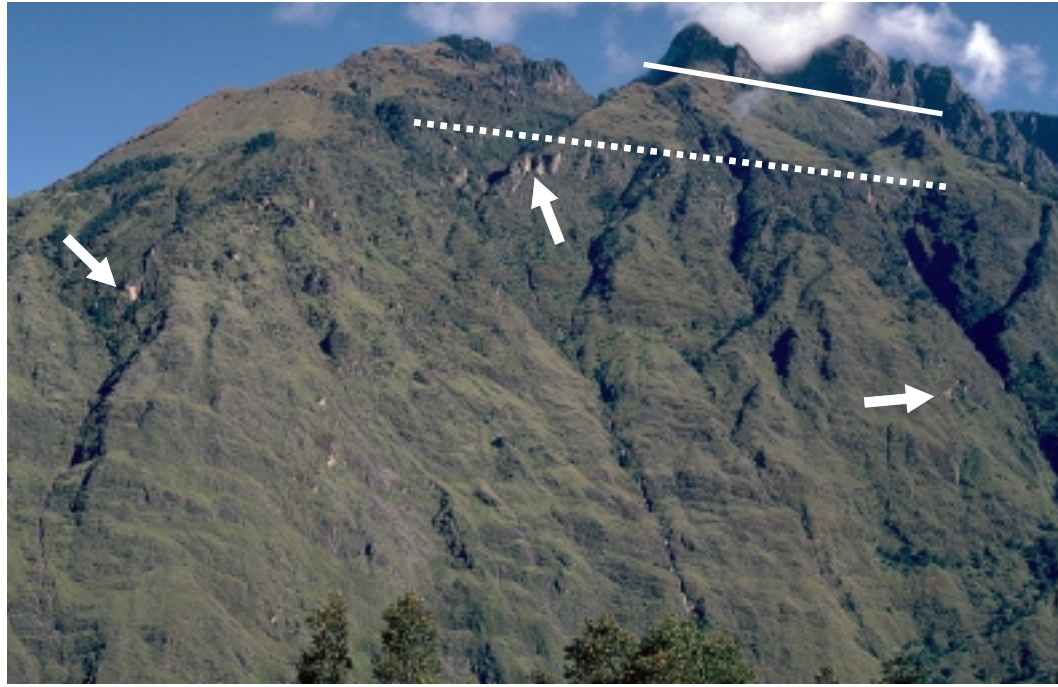


Photo 1: Die Aufnahme zeigt die orographisch rechte Rolwaling Khola Flanke oberhalb des Talausganges des Rolwaling Khola. Die Aufnahme erfolgte aus 2670m unterhalb des Daldun La Passes (3976m) auf der orographisch linken Seite des Rolwaling Khola stehend. Terrassenkanten und Schlifffgrenzen, die nicht zwingend gesteinsabhängig angelegt sind, belegen einen Eispegel (—), der bis in mindestens 4000m Höhe hinaufgereicht hat. Die Taltiefenlinie verläuft unterhalb der Flanke zwischen 1600m und 2000m. Die Einmündung des Rolwaling Khola Flusses in den Bhote Kosi liegt in 1450m. Die hellen Gesteinsoberflächen (→) belegen rezente Erosionsformen der Flanke, die durch das Nachbrechen steiler Flankenabschnitte gekennzeichnet sind.

Deutlich zu erkennen ist eine morphologische Zweigliederung der Flanke. Die Grenze zwischen diesen morphologischen Einheiten ist durch (•••• in ca. 3800m) markiert und entspricht einer oberen Schlifffgrenze. Unterhalb dieser Linie ist die Flanke deutlich versteilt, es finden sich keine größeren Akkumulationsformen. Oberhalb dieser Versteilungsschlifffgrenze ist das Gefälle der Flanke mäßiger, die Gesteinsoberfläche ist großflächig zugerundet. Einzelne Gipfel sind - begrenzt durch annähernd umlaufende scharfe Unterschneidungsgrenzen - herauspräpariert (vgl. dazu **Photo 7**, der herauspräparierte Vorgipfel ist genetisch mit den hier gezeigten Formen "verwandt"). Zwischen diesen beiden Gletscherobergrenzen ((—) & (••••)) liegen ca. 150 Höhenmeter. Der Winkel des talauswärtigen Einfallens beider Schlifffgrenzen entspricht nicht dem Einfallens der Taltiefenlinie - die Neigung der Tiefenlinie ist stärker.

Deutlich festzuhalten gilt es, daß die großflächige glaziale Überprägung dieses orographisch rechten Flankenabschnittes des Rolwaling Khola nicht in alleinige genetische Beziehung zu einer Vergletscherung der höchsten Gipfel (Das Gipfelniveau liegt zwischen 4200m und 4700m.) dieses Bereiches zu setzen ist. Insbesondere der untere Abschnitt der Flanke (unterhalb von (••••) in ca. 3800m) belegt eine horizontale, d.h. dem Haupttalgefälle folgende Überformung der Flanke und damit eine entsprechende Eisbewegung. Die rekonstruierten Eispegel sind mit Befunden im Bereich des Daldun La, d.h. mit Befunden von der gegenüberliegenden Rolwaling Khola Flanke, zu korrelieren (vgl. **Photo 65**).

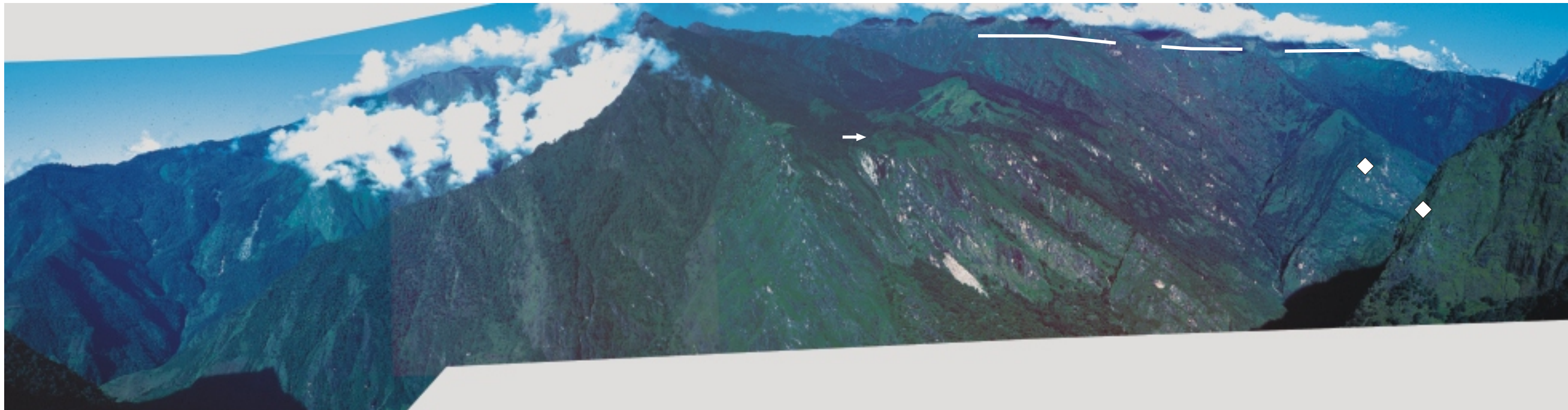


Photo 2: Die orographisch rechte Rolwaling Khola Flanke zwischen Lamobagar im Norden und Gongar im Süden. Die Aufnahme erfolgte aus ca. 2000m Höhe. Neben glazigenen Erosionsformen (◆) stützen kamesartige Akkumulationsformenreste (→ in ca. 3000m) die Annahme eines Eispegels des Bhote Kosi Gletschers bis in ca. 3800m, d.h. ca. 2000m bis 2200m über der Taltiefenlinie (—). Diesen quasi horizontal über die

Einzugsgebiete von Nebentälern hinweg angeordneten Formen stehen dem Flankengefälle entsprechend orientierte Formen gegenüber, die als Indizien für die lokale Vergletscherung der Flanke zu interpretieren sind.



Photo 3: Die Klamm am Talausgang des Rolwaling Khola. Die Aufnahme erfolgte aus 1430m, auf der orographisch rechten Talseite des Bhote Kosi stehend, in östliche Richtung in das Rolwaling Khola blickend. Die Klamm ist ca. 60m bis 80m tief eingeschnitten. Die ergänzende Betrachtung von **Photo 50** zeigt, daß die kastenförmig eingeschnittene Klamm als Verlängerung eines steil flankierten Kerbtales mit abschnittsweise senkrecht stehenden Wänden zu beschreiben ist. Im Bildvordergrund ist der Bhote Kosi Fluß zu erkennen. Der Rolwaling Khola Fluß entwässert ein ca. 330km² großes Einzugsgebiet.



Photo 4: Der 7135m hohe Gaurisankar, hier aus südsüdwestlicher Richtung photographiert, überragt die Rolwaling Khola Tiefenlinie auf ca. halber Strecke zwischen dem Talschluß und Talausgang des Rolwaling Khola um fast 4000m auf einer Horizontalen von nur ca. 7km. Der obere Abschnitt der Südflanke, wie er im Bild zu erkennen ist, erreicht eine mittlere Neigung von 55° im Abschnitt zwischen 5000m und 6700m. Der Gletschertyp entspricht dem der Flankenvereisung. Die regenerierten Gletscher unterhalb des südlichen Vorgipfels (7010m) werden im wesentlichen durch Eislawinen aus den steilen Flanken genährt. Der größte Teil der Hauptgipfelvergletscherung fließt zur Nordseite ab und ist somit für die rezente Vergletscherung des Rolwaling Khola nicht von Bedeutung.

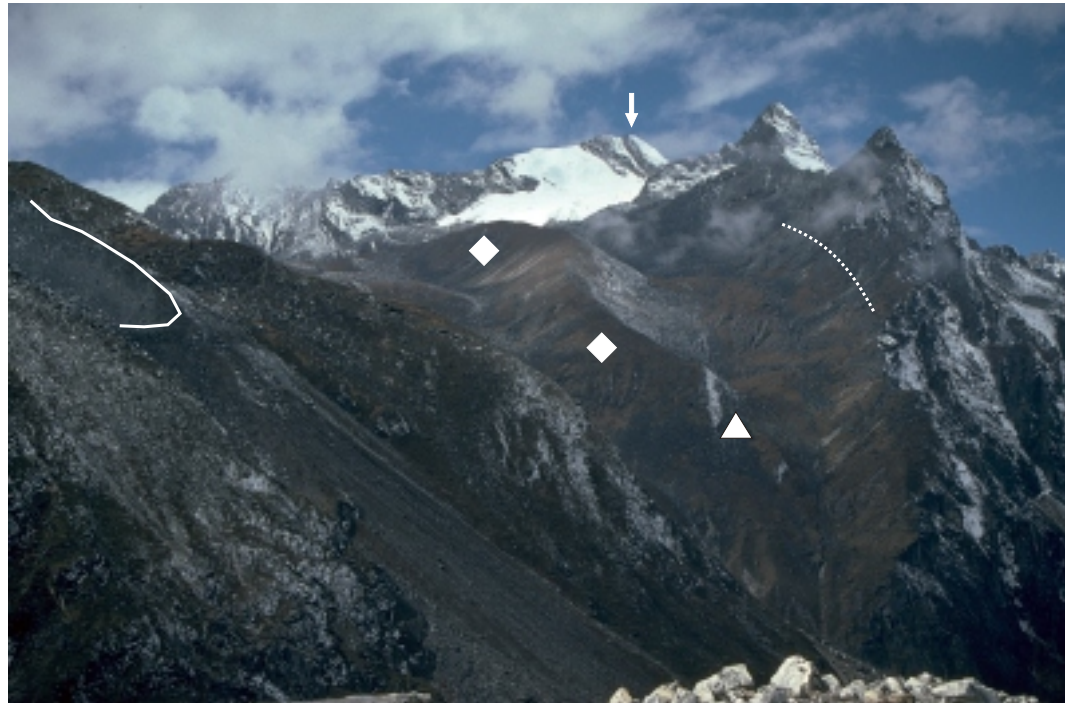


Photo 5: Die 80mm Kleinbildteleaufnahme erfolgte aus 4700m Höhe, auf der orographisch linken Ufermoräne des Rechten Rolwaling Khola Gletschers stehend und in nordnordöstliche Richtung blickend (**Photo 20** zeigt die entsprechende Weitwinkelaufnahme). Links im Bild ist die Zungenbeckeneinfassung (—) des Gletschers unterhalb des Vorgipfels des Ramdang Peaks zu erkennen - rechts im Bild der Yalung Ri (5647 m (→)) und ein geschwungener, zugerundeter, lockermaterialverkleideter Rücken im Anstehenden ((◆), **Abbildung 2**). Der Rücken erstreckt sich von 5100m bis 4800m. Der relativ "deutlich gezeichnete" Grat besteht vornehmlich aus Lockermaterial (siehe **Photo 37**). Das Anstehende durchbricht in steiler stehenden Partien, die häufig dem Einfallen der Schichten entsprechen, die Lockermaterialbedeckung, die als ein Indiz für das Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung zu interpretieren ist. Die obere Grenze der Lockermaterialbedeckung an der orographisch linken Flanke (••••) verläuft wenige Dekameter oberhalb, aber höhenparallel zur Oberkante des genannten Rückens (◆) und ergänzt so die Befunde. Der Rücken ist in ca. 4750m Höhe gekappt (▲), die Dreiecksfläche kann als Indiz für die Vergletscherung des Haupttales gewertet werden. Die Größe des durch die Lateralmoränenreste nachgezeichneten Zungenbeckens erscheint MEINERS (1999: Photo 9) "surprisingly large. Consequently, they must have had a larger catchment area" (S. 347), als das direkte Einzugsgebiet zwischen Ramdang Peak und dem Rücken und Yalung Ri und dem Rücken. Ein solches größeres und höheres Einzugsgebiet kann nur durch die Eisoberfläche eines das gesamte Talgefäß zwischen Ramdan und Yalung Ri ausfüllenden Gletschers gebildet werden.



Photo 6: Das Einzugsgebiet des rechten Rolwaling Gletschers, aus 4900m Höhe von der orographisch linken Flanke des Rolwaling Khola unterhalb des Yalung Ri aufgenommen (**Photo 5**). Der Cho Oyu ((1) 8188m) ist nicht dem Einzugsgebiet der Rolwaling Gletscher zuzuordnen. Das Gletscherende des rezenten Rechten Rolwaling Gletschers liegt in ca. 4600m (→). Die flach geneigte Ablationszunge liegt, resultierend aus der großen Schuttproduktion in den steilen Wänden des Akkumulationsgebietes, unter einer mächtigen Schuttbedeckung (**Photo 7, Photo 17**). Die rezente Schneegrenze des Rechten Rolwaling Gletschers verläuft direkt unterhalb der steilen Einzugsgebietseinfassung in ca. 5330m Höhe und trennt ein im Mittel 1,5km langes Akkumulationsgebiet von dem ca. 7km langen Ablationsgebiet des Gletschers. Links oberhalb des Zungenendes dieses Gletschers ist die historische Moräneneinfassung des Phernikharka Gletscher zu erkennen (—). Das historische Zungenbecken des Phernikharka Gletschers erfährt eine räumliche Begrenzung durch den Einfluß der Laterofrontalmoräne des Rechten Rolwaling Gletschers. In Folge dieser engen räumlichen Begrenzung ist das Zungenbecken im morphologischen Sinne einer Podestmoräne überhöht. Das Umbiegen der Laterofrontalmoräne des Rechten Rolwaling Gletschers, wie es im Bild deutlich zu erkennen ist (*), steht in enger Beziehung zur Ausbreitung des Linken Rolwaling Gletschers. Der Tshoboje (6886 m) fällt durch die durch markante von Lawinenbahnen zerfurchte Flankenvereisung auf. Die Gletscherzungen unterhalb dieser "Eiswand" reichen bis ca. 5200m herab (◆). Der bis ca. 5900m hohe Grat orographisch rechts neben der Ablationszunge des Rechten Rolwaling Gletschers war hochezeitlich vollständig vom Eis des Akkumulationsgebietes bedeckt (••••), der Eispegel dürfte hier in mindestens 6000m Höhe gelegen haben, der steile Gipfelaufbau des Tshoboje ragte nur wenige 100 Höhenmeter über die Eisdecke auf. Der Standort des Betrachters liegt im unteren Drittel des mit Hilfe von **Photo 37** dokumentierten Rückens; im Bildvordergrund ist eine ältere Grundmoränendecke zu erkennen.



Photo 7: Der Blick richtet sich über die Ablationszunge des Rechten Rolwaling Gletschers aus 4900m Höhe. Die Teleaufnahme zeigt für Teile des Gletschersystems u.a. den Übergang zwischen dem mit Obermoräne bedeckten Ablationsgebiet und dem Akkumulationsgebiet des Eiskörpers (••••). Rechts und links vom Bildvordergrund ausgehend, lassen sich die historischen Ufermoränenleisten bis dicht an das rezente Akkumulationsgebiet verfolgen. Den namenlosen 5630m hohen Vorgipfel (→) in der Bildmitte gilt es besonders zu berücksichtigen. Ostseitig wird der Gipfel von oberflächlich schuttfreiem, aperem Eis umflossen, alle anderen Flanken sind von schuttbedecktem Eis der Ablationszunge eingefasst. Der Gipfel ist rezent als Nunatakker zu interpretieren, der trotz einer Gipfelhöhe die über die lokale Schneegrenze hinausragt nicht vergletschert ist. Die Aufnahme macht die Unterscheidung von Lockergestein und dem anstehenden Festgestein unproblematisch. Die gestreckte anstehende Vollform ist von Akkumulationsformen moränischen Materials eindeutig zu differenzieren. Das Einsetzen eines Moränenzwickels (◆) in ca. 5000m leeseitig der Gletscherbewegung spiegelt einen vorzeitlichen Pegel wider. Das Ansetzen der Akkumulationsform am Festgestein korrespondiert mit einem Gefällewechsel der Vollform talaufwärts (—). LGM zeitlich war dieser Gipfel eisbedeckt; die Eisoberfläche dürfte zu diesem Zeitpunkt hier über 6000m Höhe gelegen haben. Anhand des Photos ist somit der Übergang von der rezent im wesentlichen sekundären Gletscherernährung aus der steilen Flanke hin zur primären Eisnahrung über die größere Eisfläche im Hochglazial gut nachvollziehbar. Der Aufnahmestandort lag zu diesem Zeitpunkt mindestens 1000m unter der damaligen Eisoberfläche.



Photo 8: Die Laterofrontalmoräne des Linken Rolwaling Gletschers bildet den Staudamm des Tsho Rolpa - die Firsthöhe dieses Damms (■) liegt am Standort in 4530m. Rechts im Bild die Zungenbecken des Rechten Rolwaling Gletschers (●) und des Phernikharka Khola Gletschers (◆) unterhalb des 6737 m hohen Pherni, der auch den östlichen Eckpfeiler des Gletschers orographisch rechts oberhalb von Na (→) bildet. Links im Bildvordergrund ist der Bereich, der mit Sanmakharka bezeichnet wird, zu erkennen. Der Abfluß des Linken Rolwaling Gletschers verläuft, eingengt durch eine ältere Moräne des

Rechten Rolwaling Gletschers ((*), vgl. **Photo 30auss**), direkt unterhalb der orographisch linken Flanke. Eine moränenverkleidete, sichelförmig herauspräparierte Felsnase setzt in ca. 4850m Höhe an die anstehende Flanke unterhalb des Pherni (6737 m) an und reicht bis zum Punkt der stärkeren Unterschneidung bis ca. 4550m hinab (—). Dieses Niveau ist in eine direkte glazial-genetische Beziehung zu Flankenschliffen im unteren Abschnitt der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke zu setzen ((▲), **Photo 44**)



Photo 9: Die Aufnahme zeigt die schuttbedeckte Ablationszunge des Kangchenjunga Gletschers (◆). Der Standort liegt in 4800m Höhe, ca. 1,5km östlich der Siedlung Lhonak im Ghunsa Khola. Im Bildmittelgrund ist der Nepal Peak (7177 m) zu erkennen. Das rezente Ablationsgebiet dieses Gletschers liegt auf einer Länge von ca. 8km insolationsgeschützt dicht unterhalb der relativ steilen Nordabdachung dieses Talabschnittes (**Photo 104**). Vor dem Nepal Peak ist orographisch links ein walfischrückenförmiger Berg zu erkennen, der letzthochglazial vollständig eisüberflossen war und einen Eispegel oberhalb von 5900m belegt. Ergänzende Eispegelindizien finden sich sowohl talaufwärts unterhalb des Nepal Peak, wie auch talauswärts im Ghunsa Khola. Im Bildvordergrund sind Reste von Ufermoränenfirsten (■) zu erkennen, die außenhangseitig mit Akkumulationsformen, die genetisch an die orographisch rechte Flanke geknüpft sind, verzahnt sind. Es gilt, zeitlich zu untergliedernde historische Ufermoränenfirste von nachträglichen Firstabrutschungen bzw. Nachbrüchen der Ufermoräneninnenhänge zu unterscheiden.

Photo 10: Das 360° Panorama zeigt die Ablationszunge des Lhonak Gletschers und das untere Lhonak Khola aus 5150m Höhe, auf der orographisch rechten historischen Ufermoräne des Lhonak Gletschers stehend. Die Gletscherzunge ist wenige Dekameter unter das Niveau des Standortes eingesunken. Der Gletscher endet in 5100m (◆). Der Eiskörper ertrinkt im Schutt der Obermoräne und bildet rezent eine Satzendmoräne. Das Ufermoränenfirstniveau am Standort geht talauswärts in eine flache Podestmoräne über (vgl. **Photo 109**). Die rezente Satzendmoräne reicht bis an das Ende dieses Podestes, so daß das historische Zungenbecken nicht mit glazifluvialen Material aufgefüllt wird, sondern vollständig mit glazigenem bzw. glazial transportiertem Schutt und Feinmaterial ausgefüllt ist. Orographisch links ist der Talausgang des Chhyaundinga Khola, eines kleinen Seitentales, zu erkennen (→). Der rezente Chhyaundinga Gletscher endet ca. 2km taleinwärts in ca. 5150m. Ein in einem talaufwärts am Talausgang liegenden Zwickelbereich akkumulierter Moränenrest (■) am rechten Talausgang des Seitentales stützt die Annahme eines vorzeitlichen Gletscherpegels des Haupt- und des Nebentalgletschers in 5200m Höhe (vgl. **Photo 108**). Die orographisch linke Lhonak Khola Flanke ist glazial überprägt, wobei sich die Überprägung häufig an der lithologischen Struktur orientiert und abschnittsweise die Schichtköpfe herauspräpariert. Niveaus glazialer Überprägung in gleicher Höhe über lithologische Strukturen und Grenzen hinweg belegen die nicht ausschließlich lithologische Bestimmtheit der Formen. Ein Gefälleknick (—) der Schuttschürze der orographisch rechten Flanke nahe der historischen Ufermoräne kann als Indiz für eine ältere Ufermoräne gewertet werden. Der Lhonak Gletscher war zu diesem Zeitpunkt einige Dekameter breiter. Talauswärts, d.h. in südlicher Richtung, ist der 7711 m hohe, 16km entfernte Khumbarkarna Gipfel zu erkennen, der durch seinen markanten Gipfelaufbau auffällt. Direkt dem Talausgang des Lhonaktals vorgelagert, besticht der Merra Peak (6334 m) durch die klassische Karform unterhalb des Gipfels. Der rezent vergletscherte Karboden liegt in ca. 5300m bis 5400m, d.h. ca. 100m bis 200m unter der rezenten Schneegrenze.





Photo 11: Die Aufnahme erfolgt aus 5200m Höhe von der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke nahe der Alm Pangpema.

Kangchenjunga ((1), 8586m) Nordwand und Kanbachen ((2), 7902m) fassen ein kesselförmiges Teileinzugsgebiet des Kangchenjunga Gletschers ein. In dem Flankenabschnitt zwischen dem Gipfelgrat und der 6000m Isohypse befinden sich in diesem Teileinzugsgebiet keine großflächigen Abschnitte mit einer mittleren Neigung von unter 35° (**Abbildung 23**). Dieses Gletscherteilgebiet ist typologisch als Firnkesselgletscher anzusprechen.

Der 7177m hohe Nepal Peak überragt die Konfluenz der östlichsten Gletscherteilströme des Kangchenjunga Gletschers.

Der Kangchenjunga Gipfelgrat überragt die 7600m Isohypse auf einer Länge von ca. 4,5km. Bezieht man den Grat zum Kanbachen mit ein, kommen weitere 4km hinzu. Dies ist hinsichtlich der Bestimmung der mittleren Einzugsgebietshöhe von Bedeutung, wenn man reflektiert, daß aufgrund der extrem niedrigen Temperaturen in Kombination mit sehr hohen Windgeschwindigkeiten die Bedeutung der Flankenhöhe für die Gletscherernährung mit der absoluten Flankenhöhe oberhalb von 7200m sinkt. Gleichzeitig zeigen alle 8000er Gipfel, daß der Anteil

der potentiellen primären Akkumulationsfläche zugunsten des Anteils der indirekten Akkumulationsfläche sinkt. Der weitaus größte Teil der primären Ernährung des Kangchenjunga Gletschers erfolgt in einer Höhenstufe zwischen ca. 5500m und 6200m. Oberhalb von 6200m nimmt der Anteil der sekundären Ernährung in Abhängigkeit von der Steilheit des Reliefs stark zu (vgl. **Photo 91**) und das absolute Maß stark ab.

Insbesondere die Reste einer Verkleidung der Flanke mit Grundmoräne (■) belegen in Kombination mit Flankenschliffen und Dreieckshängen einen Eispegel (----), der im Bereich der Gletscherkonfluenz des unteren Kangchenjunga Gletscher in ca. 5200m, d.h. ca. im Niveau des Standortes des Betrachters, gelegen hat. Die Eisoberfläche im letzten Hochglazial hat in diesem Talabschnitt deutlich über 6000m gelegen (—). Am linken Bildrand ist die Zerschneidung und Überprägung älterer Moränen (◆) durch jüngere Laterofrontalmoränen (*) der lokalen Vergletscherung (→) der Talflanke zu erkennen. Der Standort des Betrachters liegt auf einer historischen Laterofrontalmoräne, die zur Zeit der Entstehung der Eispegel (----, —) des Kangchenjunga Gletschers nicht hätte entstehen können.

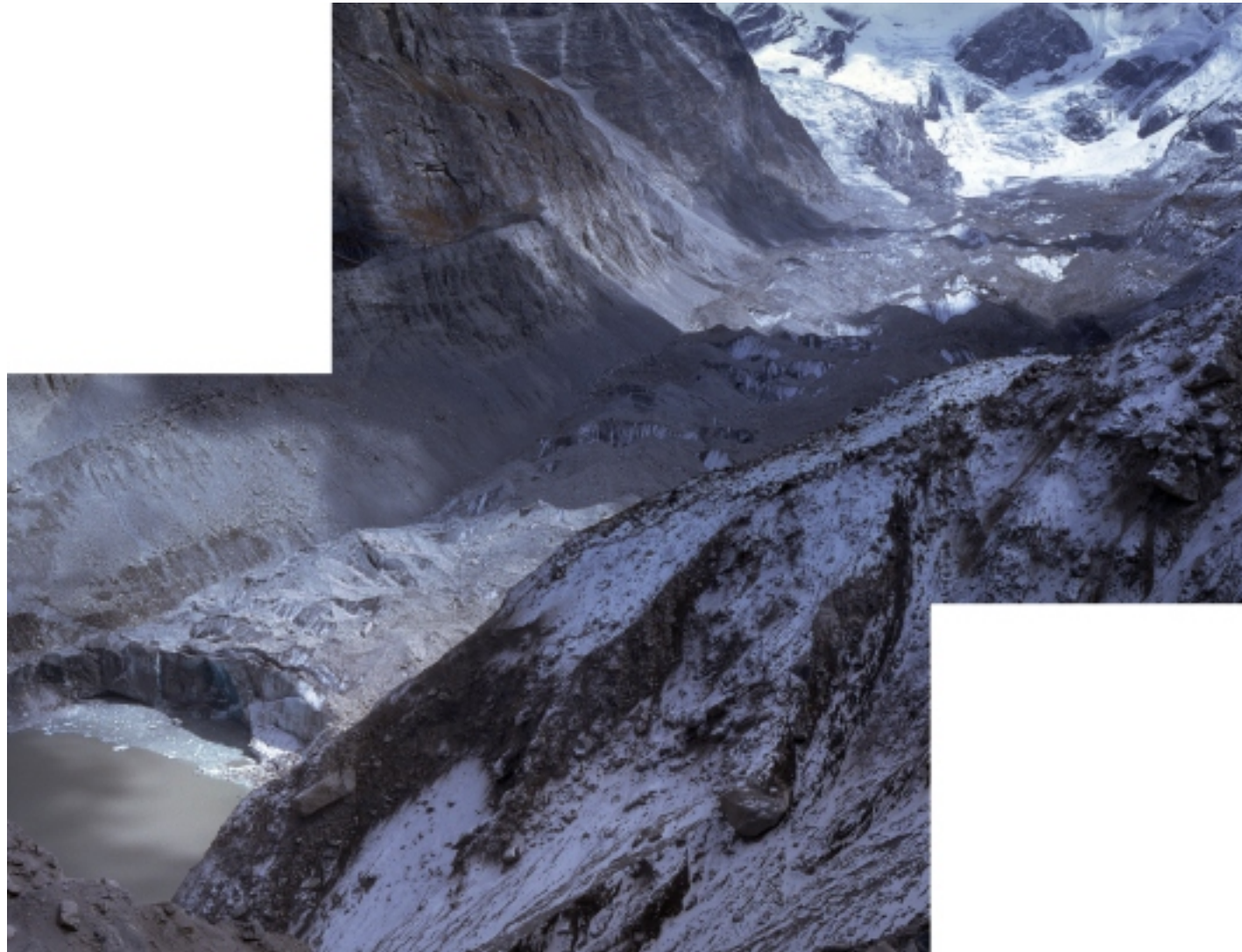


Photo 12: Die Kalbungsfront des Linken Rolwaling Gletschers. Die Aufnahme erfolgte aus 4850m Höhe von der orographisch linken Haupttalflanke aus. Der Seespiegel liegt in 4530m. Die schuttbedeckte Gletscheroberfläche schwimmt wahrscheinlich auf dem Zungenbeckensee auf. Die Gefälleveränderung der Gletscheroberfläche ca. 100m gletscheraufwärts kann als Indiz für ein solches Aufschwimmen des Gletscherendes gewertet werden. Das Gefälle talauswärts dies "Knicks" ist annähernd horizontal (vgl. **Photo 14**). Zu folgern ist, daß das rezente Gletscherende mindestens bis in 4530m hinabreicht - wahrscheinlich noch mäßig tiefer.



Photo 13: Der Tsho Rolpa im Rolwaling Himal. Der ca. 3km lange Zungenbeckensee schließt sich dem Linken Rolwaling Gletscher an. Das talauswärtige Seeende wird in 4530m durch die historische Endmoräne des letztgenannten Gletschers begrenzt. Im Bildvordergrund ist der ca. 4m breite Abfluß des Sees über die Firstkante der Moräne zu erkennen (→). Ergänzt wird dieser natürliche Abfluß seit 1997 durch eine Installation von Röhren, die zur kontinuierlichen Senkung des Seespiegels beitragen sollen. Die Aufnahme entstand Anfang Oktober 1997, d.h. am Ende der monsunalen Niederschlagsperiode. Der Wechsel der Färbung der Geschiebe im Bildvordergrund zeichnet einen höheren Seespiegel nach (—). Die Pegellinie liegt ca. 15cm über dem aktuellen Seespiegel. 1999 wurde ein "open channel" angelegt, der den Seespiegel um ca. 3m senken sollte, um das Risiko einer Glacier Lake Outburst Flood (GLOF) zu senken. Die Verwendung des Begriffes GLOF ist in diesem Zusammenhang nicht eindeutig, da es sich um einen moränengedämmten Zungenbeckensee handelt. In der aktuellen Literatur findet jedoch häufig der Begriff GLOF Verwendung.

Photo 14: Der Standort liegt ca. 60m oberhalb des Seespiegels des Tsho Rolpa in 4590m Höhe, ca. 1km talaufwärts des Seeendes (vgl. **Photo 16**). Im Bildvordergrund ist ein Ausschnitt des orographisch linken Innenhanges der historischen Ufermoräne des Gletschers zu erkennen. Die Aufnahme zeigt den südlichsten Teil des Einzugsgebietes des Linken Rolwaling Gletschers mit Höhen bis 6719m und das Ablationsgebiet bis an das Gletscherende (vgl. **Photo 12**). Der Zungenbeckensee im Vorfeld des Linken Rolwaling Gletschers ist im hier dokumentierten Abschnitt ca. 500m breit, die Entfernung zur kalbenden Gletscherfront beträgt ca. 2km. Der 6719m hohe Gipfel ist ca. 9km entfernt. Östlich dieses Gipfels schließt sich, vermittelt durch den Teshi Lapcha La



(5760m), das Thame Khola an (vgl. KÖNIG 2002).

Flankenschliffe und Gefälleveränderung beschreiben ein unterhalb der Markierung (—) trogtalartiges Talquerprofil, dessen obere Begrenzung am "Knickpunkt" des Linken Rolwaling Gletschers (vgl. **Karte 1**) in ca. 5300m Höhe, d.h. ca. 400m oberhalb der rezenten Gletscherzunge, liegt. (*) markiert einen Ufermoränenrest der historischen Zungenbeckeneinfassung des Linken Rolwaling Gletschers zwischen den Einmündungen zweier Nebentäler (vgl. **Photo 35**).

Photo 15: Die Panoramaaufnahme aus 4900m Höhe zeigt am linken Bildrand die Gletscherzunge des Linken Rolwaling Gletschers. In der Bildmitte ist das Ende eines nordostexponierten Gletschers des Ramdang Peaks (6258 m, nicht das Ende des Ramdang-Nord-Gletschers) zu erkennen. Das Gletscherende liegt ca. 120 Höhenmeter oberhalb der talaufwärtigen Begrenzung des Tsho Rolpa auf einem steil einfallenden Moränenpodest. Die Gipfel rechts im Bild erreichen Höhen bis 5810m. Die rezentere Vergletscherung beschränkt sich, nicht zuletzt auch aufgrund der Steilheit der Flanken der rezenten Nährgebiete, auf einige wenige Eisbalkone. Orographisch links oberhalb der rezenten Ablationszunge des Linken Rolwaling Gletschers belegen Ufermoränenreste zwischen zwei Talausgängen einen vorzeitlich höheren Gletscherpegel. Farbveränderungen des Anstehenden der orographisch rechten Flanke im gleichen Talabschnitt lassen auf einen Verwitterungsschutz der Flanke bis zum hell/dunkel Wechsel schließen, dessen Oberkante mit der Höhenlage des linken Ufermoränenrestes korrespondiert und durch Moränenverkleidungen orographisch rechts gestützt wird (**Photo 36**). Beide Indizien sind als Indikatoren für die Verlängerung der Zungenbeckeneinfassung des Tsho Rolpa zu sehen (vgl. **Photo 12, Photo 14**).

Links im Bild ist die Einmündung eines orographisch rechten Seitentales zu erkennen (→ siehe **Photo 14**). Das Seitental ist der Nordost-Abdachung des Tshoboje (6886 m) zuzuordnen. Entgegen den Informationen, die dem amtlichen Kartenwerk zu entnehmen sind, ist der Talausgang nicht vergletschert. Die Gletscheroberfläche des Haupttalgletschers liegt in diesem Talabschnitt in 4800m Höhe. Die ERL des südwestexponierten Hängegletschers oberhalb der Seitentaleinmündung erreicht knapp die 5600m Isohypse - vor dem Hintergrund einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 5800m.





Photo 16: Die Talkonfluenz des rechten und des linken Rolwaling Khola Talschlusses, aus 4900m von der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke oberhalb des Tsho Rolpa Zungenbeckensees fotografiert (Standort in 4850m). Der Konfluenzbereich der historischen Laterofrontalmoränen wird als Sanmakharka bezeichnet.

(---) kennzeichnet Gefällewechsel und Versteilungen der rechten und linken Flanke, die als Hinweis auf einen vorzeitlichen Gletscherpegel in einem Bereich zwischen 4600m und 4700m verstanden werden (vgl. **Photo 31**). Die Linie (—) markiert einen wahrscheinlich spätglazialen Eispegel in ca. 5000m Höhe.



Photo 17: Das Zungenende des Rechten Rolwaling Gletschers "ertrinkt" im Schutt der Obermoräne. Eine markante Eiskante oder ein deutliches Gletschertor sind nicht zu erkennen. Der Gletscher endete 1997 in 4600m.



Photo 18: Die mittlere Einzugsgebietshöhe des markierten, ca. 1,5 km² umgreifenden Gletschers (*) erreicht eine durchschnittliche Höhe von 5900m. Der pyramidenförmige 6757m hohe Gipfel (vgl. **Photo 6**) ist dem Einzugsgebiet nicht zuzuordnen. Das Ende des Ablationsgebietes liegt in 5200m, Höhe wenig unterhalb der zweiten erkennbaren Steilstufe in dem Zungenbecken. Die erste Steilstufe im Anstehenden wird rezent orographisch rechts von der Gletscherzunge umflossen. Die Gletscherernährung erfolgt im wesentlichen aus Lawinen der den Eiskörper einfassenden Flankenumrahmung. Der höchste Gipfel des Einzugsgebietes ist 6018m hoch. Die Linie (---) kennzeichnet die Firne einer historischen Zungenbeckeneinfassung (vgl. u.a. die diesbezügliche Detailaufnahme **Photo 34**).

Im Bildvordergrund ist das Zungenende des Phernikharka Khola Gletschers (◆) zu erkennen, der bis in 4800m hinabreicht. Die schuttbedeckte Ablationszunge des Eiskörpers ist an das in **Photo 8** gezeigte Einzugsgebiet gebunden.

In der rechten unteren Bildecke ist ein Abschnitt des Rechten Rolwaling Gletschers zu erkennen. Der kleine See wird mit Dudh Pokari bezeichnet und liegt in 4700m.

Die Aufnahme ergänzt **Photo 6**.

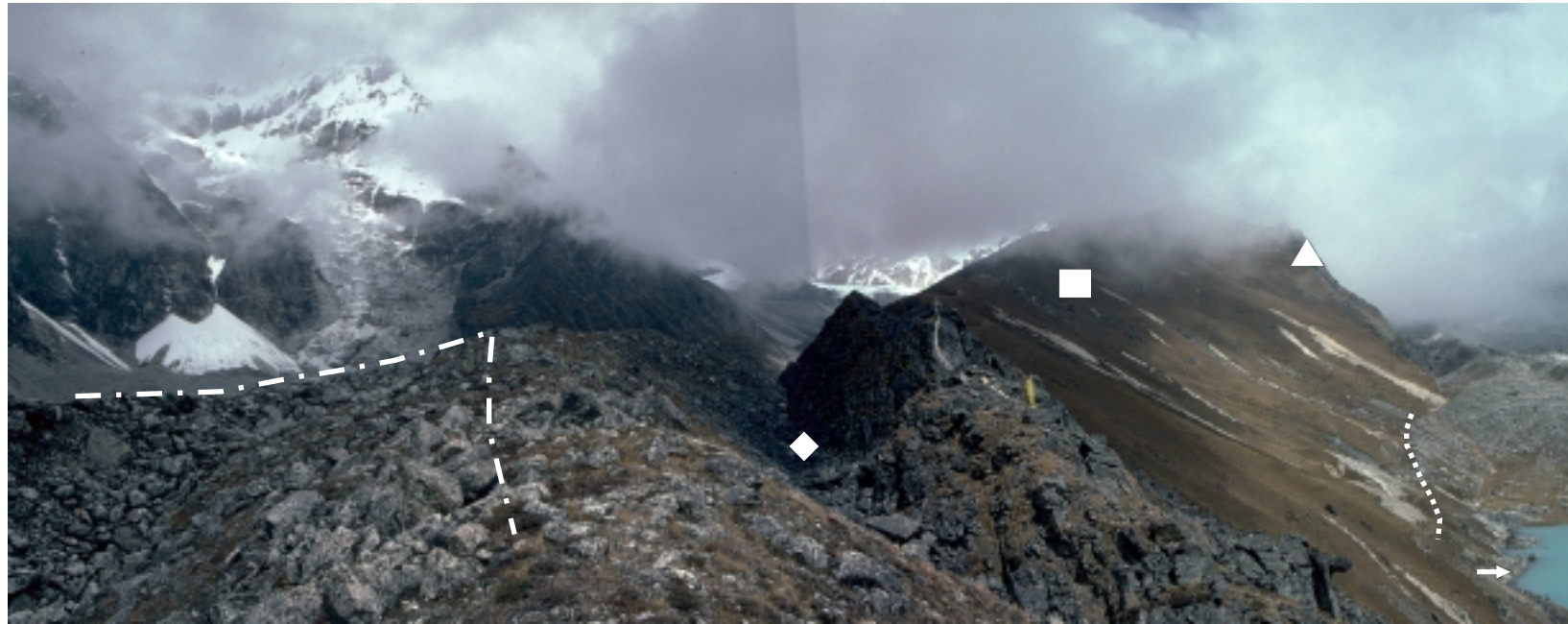


Photo 19: Der Blick richtet sich aus 4800m Höhe in nördliche Richtung. Links im Bild ist der Phernikharka Gletscher zu erkennen, rechts im Bild der Dudh Pokari (→) und die Gletscherzunge des Rechten Rolwaling Gletschers (vgl. **Photo 18**). Der Standort liegt auf einem vorzeitlichen Ufermoränenwall des Phernikharka Gletschers. (---) markiert die Teilung der Form in zwei unabhängige Wälle (durch zwei Linien nachgezeichnet). Nördlich setzt sich die Moräne, wie in **Photo 33** zu erkennen ist, fort. Der Außenhang der Moräne, die den Standort bildet, wird unterschritten durch den Abfluß des orographisch links liegenden nördlichen Teiltalgefäßes. Die Tiefenlinie verläuft teilweise im Anstehenden des zu großen Teilen lockermaterialverkleideten Rückens (■). Nördlich dieser Engstelle (◆) schließt sich das mit Hilfe von **Photo 33** dokumentierte Talgefäß an. Auf die Lage der Abflußlinie im Festgestein ist ausdrücklich zu verweisen, da die potentielle Tiefenlinie deutlich tiefer, nämlich im Zungenbecken des Phernikharka Gletschers liegt. Zwei Aspekte sind von besonderer Bedeutung: Das Lockergestein Moräne muß hinsichtlich der lokalen Abflußsituation und -menge als erosionsstabiler zu gelten haben. Wenn man die vollständige Denudation der Moräne voraussetzt, dann verbleibt am Hang oberhalb der Tiefenlinie eine Erosionsform, die auf eine lineare fluviatile Morphodynamik schließen läßt. Findet man eine vergleichbare Form in tieferen Lagen kann dies als ein wertvoller Indikator für das Ausmaß der vorzeitlichen Vergletscherung interpretiert werden (vgl. KÖNIG 2002).

Der Dudh Pokari (→) entstand im Zwickel zwischen einer älteren orographisch linken Moräne des Phernikharka Gletschers, der rechten Ufermoräne des Rechten Rolwaling Gletschers und der Lockermaterialverkleidung des anstehenden Rückens. Die rechte Ufermoräne des Rechten Rolwaling Gletschers gliedert sich an dieser Lokalität in mehrere Phasen. Die Aufsplittung der Moräne ist zu erkennen, ein zweiter, flacherer Wall nähert sich der Flanke des Rückens und läßt sich hier als Sedimentverkleidung und mit Hilfe eine Gefälleknickes im Querprofil gut verfolgen (••••). Talaufwärts setzt sich die Form als von der Flanke gelöster Wall fort. Der Eislobus hat sich dieser morphologischen Anordnung zufolge in diesem mittleren Talsegment ausgedehnt und dichter an der Flanke angelegen. Die sich im Bild rechts anschließende Ufermoräne ist als gestreckter Wall intakt erhalten, das heißt, sie muß jünger sein als die obige Ausweitung (vgl. demgegenüber **Photo 33**). Neben den steilstehenden Flankenpartien im anstehenden Festgestein des Rückens (▲) fällt die umfangreiche Bedeckung der Vollform mit Lockermaterial auf. Diese "Deckschicht" setzt sich im wesentlichen aus einem inhomogenem Mix aller Fraktionen unterhalb der Klasse der kleinen Blöcke zusammen, ist bis in ca. 5300m Höhe ausgebildet und großflächig durch die Vegetation fixiert. Einzelne Ausschlüsse lassen Mächtigkeiten der glazigenen Lockergesteindecke bis min. 2m abschätzen (vgl. **Photo 6**).

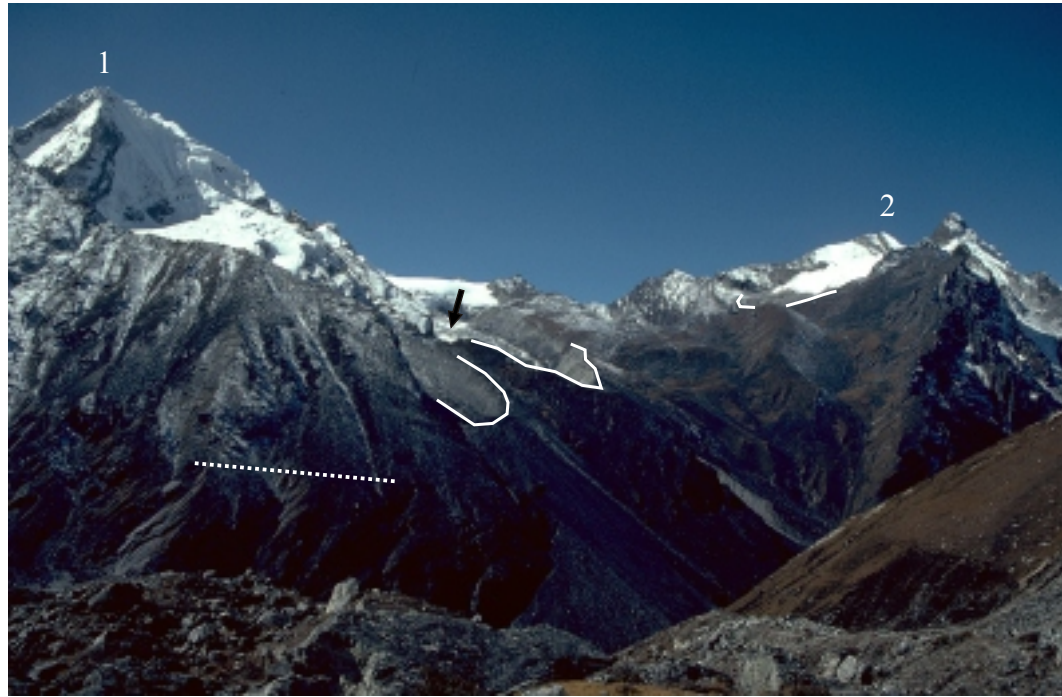


Photo 20: Das Yalung Khola aus nordnordöstlicher Position photographiert. Die Aufnahme zeigt einen Ausschnitt zwischen einem 5945 m hohen Vorgipfel (1) des Ramdang Peak (6258 m, nicht im Bild). Schuttfreie Teile Akkumulationsgebietes des Ramdang-Nord-Gletschers (→) sind im Bild rechts neben dem Vorgipfel zu erkennen, die flachlagernde, schuttbedeckte Zunge des Ablationsgebietes hebt sich hingegen nur mäßig vom umgebenden moränischen Material ab.) und dem Yalung Ri ((2) 5647 m). Über den tiefsten Punkt der das Bild nach Süden begrenzenden Kette ist der Weg über den Yalung La (5300m) ins Khare Khola, das unterhalb der Siedlung Suri Dobhan ins Bhote Kosi mündet (**Photo 70**), geführt.

Der Standort des Betrachters befindet sich auf der orographisch linken Ufermoräne des Phernikharka Gletschers in ca. 4700m Höhe. Die Aufnahme wird ergänzt durch **Photo 5**, **Photo 21**, **Photo 22**. Die Firste der historischen Zungenbecken der drei Gletscher der Yalung Talschaft sind mit einer Linie (—) umfahren.

Bemerkenswert ist der Ausschnitt der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke unterhalb des Ramdang Vorgipfels ((1), 5945m). Die auf einen Gefällewechsel der Flanke eingestellten Schuttkörper zeichnen mit ihrer unteren Begrenzung einen Wechsel von steil zu flach nach (••••). Das Niveau dieser Versteilung des Flankengefälles ergänzt die Befunde zur orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke unterhalb des Pherni (**Photo 8**) und vermittelt so zu einem Niveau glazialer Überprägung des Haupttales in ca. 4600m.

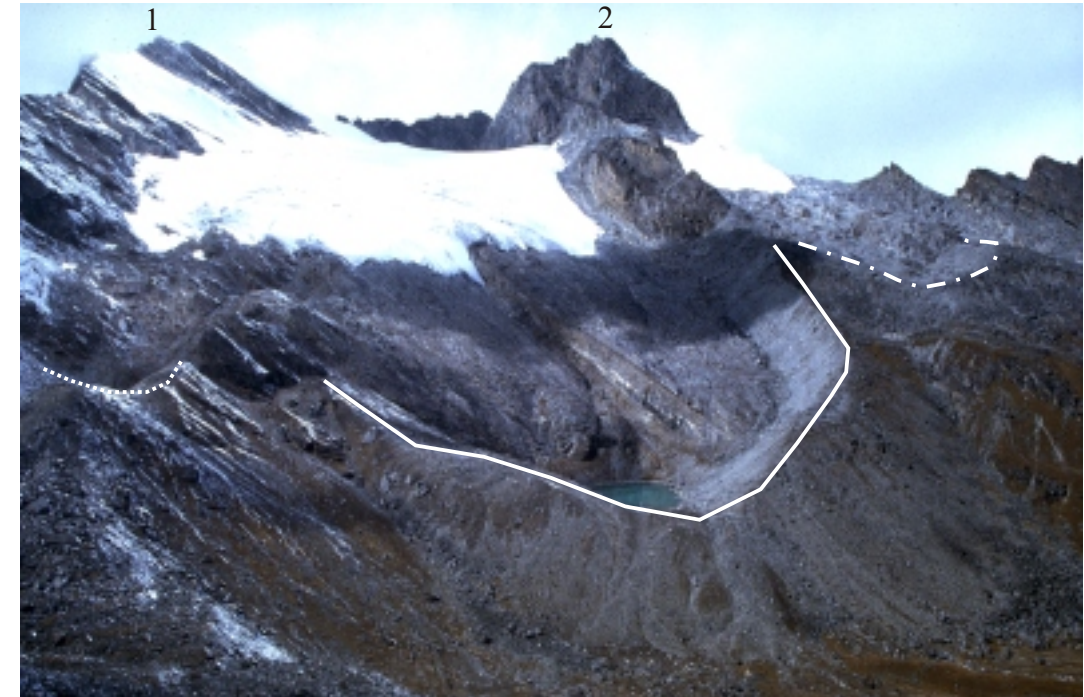


Photo 21: Die Aufnahme erfolgte aus 5200m Höhe, auf der orographisch linken Ufermoräne des Ramdang-Nord-Gletschers stehend, in westliche Richtung schauend, und zeigt unterhalb des Yalung Ri ((1) 5647 m) einen kleinen nordostexponierten, flachlagernden Gletscher. Dieser reicht bis in ca. 5200m hinab und endet etwa 100 Höhenmeter oberhalb des kleinen Sees. Eingefaßt wird der See von einer deutlich umrissenen Laterofrontalmoräne eines historischen Gletscherstandes (—). Links im Bild deutet ein Ufermoränenrest (••••) ein zweites, wesentlich kleineres Zungenbecken an, das einem Zungenteil des gleichen Gletscherstandes zuzuordnen ist. Oberhalb der 5150m Isohypse sind die Flanken nur innerhalb des Zungenbeckens des Yalung Ri Gletschers praktisch schuttfrei - unterhalb dieser in die Geländeform zu projizierenden Linie belegen Aufschlüsse und Erosionsformen die weiträumige Verkleidung des Anstehenden mit Lockermaterial. Unterhalb des 5634 m hohen Vorgipfels (2) belegt ein zweites, scharf umrissenes Zungenbecken (•—•), dessen tiefster Firstpunkt in ca. 5150m liegt, einen historischen Gletscherstand.

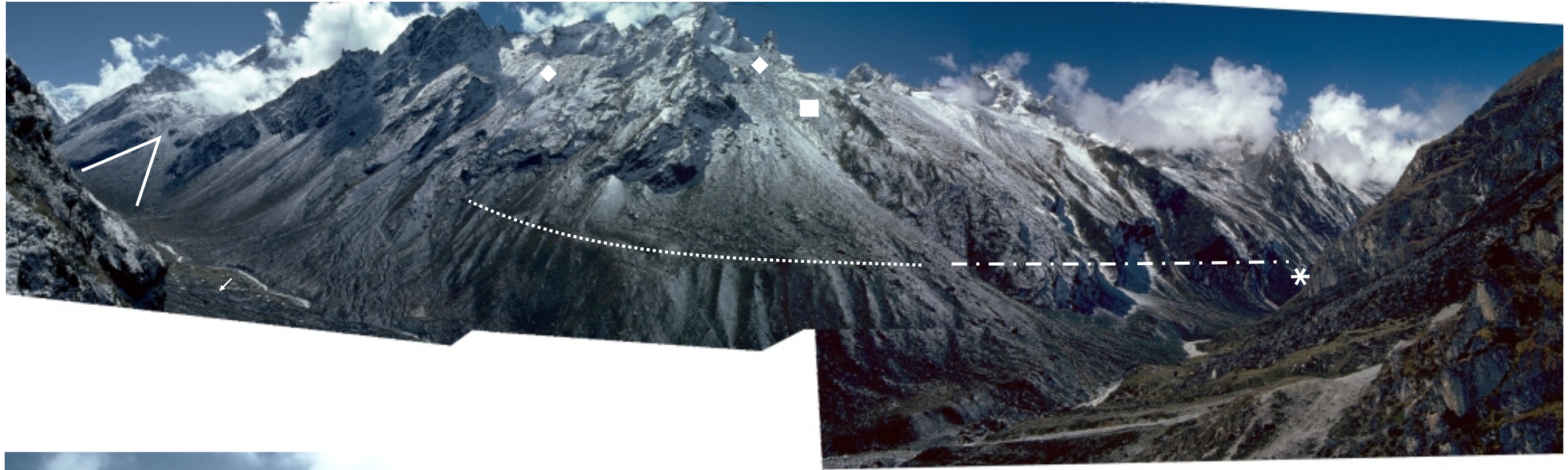


Photo 23: Die orographisch linke Rolwaling Khola Flanke zwischen dem Yalung Khola im Osten und einer Engstelle im Talquerprofil ((*) vgl. **Photo 48**) zwischen Na (→) und Beding im Westen. Der Standort des Betrachters liegt an dem in **Photo 42** markierten Kloster in ca. 4200m.

(1) markiert den 5647m hohen Yalung Ri. Talauwärts dieses Gipfels schließt sich eine Kette an, deren höchster Gipfel 5618m erreicht. Die höchsten Erhebungen dieses Flankenabschnittes sind zum Teil flankenvereist. Unterhalb des erwähnten namenlosen Gipfels findet sich ein kleines Eisfeld. Die Rückseite der Flanke, d.h. die Nordabdachung des Khare Khola, ist weitgehend unvergletschert. Der nachgezeichnete Schuttkörper (—) im Vorfeld des Ramdang Nord Gletschers hebt sich deutlich von der Schuttverkleidung der sich talauwärts anschließenden Nordflanke des Rolwaling Khola ab. (••••) markiert eine sich durch die Schutthänge der Flanke "pausende" Kante, die sich über eine Länge von mindestens 2,5km verfolgen läßt. Die Kante zeichnet keine dem anstehenden Gesteinsverband ähnliche lithologische Struktur nach und fällt deutlich talauwärts ein. Unterhalb des sich direkt an den Yalung Ri anschließenden Schuttkörpers verliert sich die Form im Sediment des Schuttkörpers und läßt sich talauwärts nicht eindeutig weiter verfolgen. Die Kante liegt am Punkt des talaufwärtigen Einsetzens ca. 180m bis 200m oberhalb der Taltiefenlinie in 4000m Höhe. Die extrapolierte Verlängerung (•—•) des Gefälles der Kante nach talauwärts schneidet mäßig unterhalb der Engstelle (*) zwischen Beding und Na, nahe Dhogre, die Taltiefenlinie. Die Schuttkegel oberhalb des talauwärtigen Teils der Moränenterrasse sind genetisch eng an die Vergletscherung der Yalung Ri Nordflanke gekoppelt. Neben dem Wurzelpunkt des großen Schuttkegels sind eine Moränenrampe (■) sowie eine vorzeitlich Laterofrontalmoräne (◆) zu erkennen, die Material für den weiteren Kegelaufbau liefern. Diese hinsichtlich der Schuttkegelbildung als Lockermaterialdepots zu verstehenden Grund- und Ufermoränen verschiedener Vergletscherungsphasen lassen sich talauwärts in ähnlicher Weise finden.

Photo 22: Das rezente Gletscherende des Ramdang-Nord-Gletschers in 4800m Höhe. Die historische Ufermoräne setzt in ca. 4900m Höhe, d.h. etwas taleinwärts aber in Höhe des Standortes des Betrachters, an und umfaßt ein Zungenbecken, das in 4650m endet. Das Teileinzugsgebiet dieser relativ kleinen Gletscherzunge wird nicht durch proportional deutlich höhere und steilere Flanken eingefafßt (vgl. **Photo 39**). Dies kann als Grund für die geringe Obermoränenbedeckung des Eiskörpers gewertet werden. Die Aufnahme zeigt praktisch aperes Gletschereis des Ablationsgebietes.



Photo 25: Die flankenvereiste Südwestwand des 6737m hohen Pherni (im Bild rechts) fällt abschnittsweise mit über 50° bis 60° ein. Die sich unterhalb der Flanke anschließenden Gletscherzungen setzen sich aus Eislawinenkegeln und Eisfeldern zusammen. Die Lawinenbahnstriemung der Flankenvereisung belegt dies. In flacher geneigten Flankenabschnitten bilden sich kleine spaltendurchzogene Gletscherzungen. Das Gletscherende reicht bis maximal 5000m hinab. Die markanten Lawinenkegel beginnen zwischen 5400m und 5600m Höhe. Am rechten Bildrand ist eine vorzeitliche Laterofrontalmoräne markiert (—), deren äußere Firstbegrenzung wenig oberhalb eines Gefälleknickes der Haupttalflanke endet (vgl. **Abbildung 4, Photo 29**). Bemerkenswert ist das verhältnismäßig kleine, steile und südexponierte Einzugsgebiet dieses, anhand der Laterofrontalmoräne sowie der korrespondierenden Färbung und Überschleifung der orographisch rechten Zungenbeckenflanke im Anstehenden, zu rekonstruierenden Gletschers.



Photo 24: Die von Lawinenbahnen zerfurchte Flanke des 6686m hohen Tshoboje überragt die Talkonfluenz des rechten und linken Rolwaling Khola Talschlusses um ca. 2100m. Die Aufnahme erfolgte aus ca. 5300m, unterhalb des Yalung Ri stehend, in ost-südöstliche Richtung blickend. Im Bildvordergrund ist das Gletscherende (→) eines kleinen Gletschers unterhalb des Ramdang Peaks zu erkennen, der rezent bis in ca. 4750m Höhe herabreicht. Die orographisch rechte Flanke des linken Rolwaling Khola Talschlusses ist großflächig und mit horizontaler Orientierung bis in ein Niveau oberhalb von ca. 6000m (—) glazial überprägt. Einzelne lokale Materialakkumulationen (z.B. (■)) im unteren Flankendrittel sind der lokalen, historischen wie rezenten Vergletscherung der Flanke zuzuordnen. Die exponierte Form des Tshoboje Gipfelaufbaus resultiert mit hoher Wahrscheinlichkeit aus dem Aufragen des Gipfels über die späthochglaziale Eisfüllung des Tales ((••••) in 5500m).

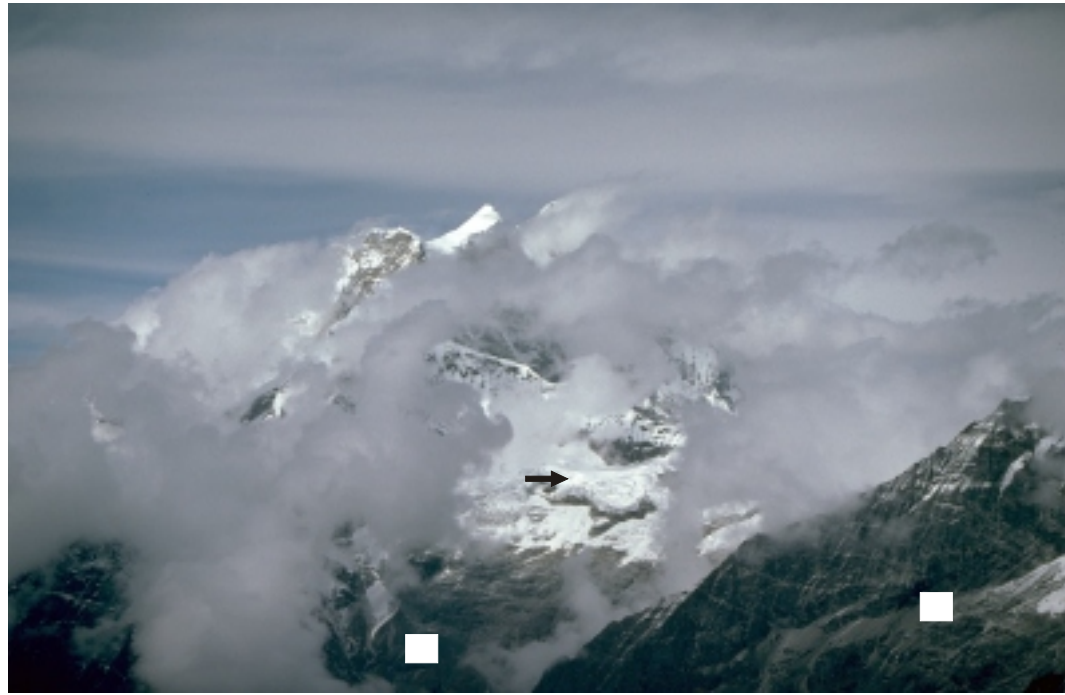


Photo 26: Die Aufnahme erfolgte aus 5300m, in nordwestliche Richtung blickend. Der in Wolken gehüllte Gaurisankar Hauptgipfel (7135m) ist der höchste Gipfel des Einzugsgebietes des Gaurisankar Gletschers (→). Die Eisbalkone im Bildvordergrund sind der Flankenvergletscherung des Chhesugolchha Khola zuzuordnen. Neben den im Gipfelniveau, hier in 6321m Höhe, liegenden Eisbalkonen und den regenerierten Gletscherteilen spielen Eislawinen, die direkt ins Ablationsgebiet hinabreichen, eine Rolle für die Haushaltsbilanz des Gletschers. Am unteren Bildrand sind in ca. 4800m Höhe morphologisch unspezifische Moränenreste (■) einer größeren Gletscherausdehnung in historischer Zeit zu erkennen.



Photo 27: Der Standort des Betrachters liegt an der Einmündung des Themlun Khola in das Rolwaling Khola in 3250m Höhe, ca. 40m oberhalb der Taltiefenlinie. Die tief eingeschnittene Abflußrinne an der orographisch linken Haupttalflanke entwässert ein im Mittel 4750m hohes, rezent unvergletschertes Einzugsgebiet. Das vom Abfluß aufgeschlossene diamiktische Material (■) konnte bis in eine Höhe von mindestens 3600m, d.h. mindestens ca. 450m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie (vgl. **Photo 66**), u.a. in ungestörter Lage nachgewiesen werden. Oberhalb schließt sich ein kleines halbschüsselförmiges Einzugsgebiet an, dessen höchster Gipfel 5098 m hoch ist.



Photo 29: Die südexponierte orographisch rechte Rolwaling Khola Flanke zwischen Beding ((→) in 3710m) im Westen und der Siedlung Na ((✱) in 4100m) im Osten, aus 5300m unterhalb des Yalung Ri stehend, photographiert. Die schuttbedeckten weitgehend südexponierten Gletscher der Rolwaling Khola Nordabdachung enden zwischen 5100m und 5000m. Die Einzugsgebiete erreichen eine mittlere Höhe zwischen 6000m und 6300m. Der Gipfel oberhalb des Eiskörpers am rechten Bildrand ist 6737m hoch. Im Abschnitt zwischen 5800m und 6700m ist die Flanke bis 50° bis 60° steil, so daß der Gletscher typologisch als Flankenvereisung eingeordnet werden kann. Das kleine Ablationsgebiet rechtfertigt dies - genau genommen handelt es sich bei dem Gletscher um eine Übergangsform zwischen Flankenvereisung und Lawinenkesseltyp. Die historischen Laterofrontalmoränen (—) der lokalen Gletscher liegen noch im Bereich der Flanke und nur wenige Dekahöhenmeter unterhalb der rezenten Gletscher. In Abhängigkeit von der Steilheit der Flanke sind

diese Formen unterschiedlich ausgebaut und mehr oder weniger gut erhalten (vgl. **Abbildung 4**). Im Bildvordergrund ist moränisches Material zu erkennen, das einer nordexponierten lokalen Vergletscherung eines Vorgipfels (5634 m) des Yalung Ri (5647 m, vgl. **Photo 21**) zuzuordnen ist. Die rezente Vergletscherung dieses sehr kleinen Einzugsgebietes ist reduziert auf eine Übergangsform zwischen Eisfeld und perennierendem Schneefeld. Ein markanter Gefällewechsel des Flankenprofils in ca. 4000m Höhe oberhalb von Beding (3710m) stützt die Annahme einer wahrscheinlich spätglazialen Eisfüllung des Rolwaling Khola bis in mindestens dieses Niveau (—•—). Der LGM Eispegel hat oberhalb von Na deutlich höher im Tal oberhalb von ca. 5200m gelegen, d.h. ca. im Niveau der rezenten Gletscherenden. Links im Bild ist der hängende Trog des Chhesugolchha Khola (◆) zu erkennen, der aus dieser Perspektive und für eine spätglaziale Vergletscherungsphase morphologisch und auch morphogenetisch mit dem in **Photo 32** ((→)) dokumentierten Reliefausschnitt vergleichbar ist.



Photo 28: Aus 3800m in nördliche Richtung blickend, zeigt die Aufnahme das Einzugsgebiet des Chhesugolchha Khola Gletschers oberhalb der Siedlung Ramdin (3600m, vgl. **Photo 40**). Der zentrale Gipfel erreicht eine Höhe von knapp unter 5800m - den Grat nach links im Bild verfolgend, werden Höhen bis 6300m erreicht. Das rezente Gletscherende des Gletschers liegt zwischen 5100m und 5200m. Der trogförmige Talausgang wird durch eine Klamm zerschnitten. Der Talboden ist konvex gewölbt und am Talausgang nur von einer dünnen Lockermaterialdecke verkleidet. Oberhalb dieser Schwelle schließt sich ein relativ flach geneigter, ca. 1km langer Talabschnitt an (**Photo 61**). Das Talquerprofil ist steilwandig trogförmig.



Photo 30: Das Photo zeigt das Rolwaling Khola talaufwärts der Siedlung Na. Der Standort entspricht annähernd dem für **Photo 48**, jedoch mit Blick in östliche Richtung. Links im Bild ist die Sommersiedlung Na zu erkennen. In der Bildmitte die Sanmakharka mit den Moräneneinfassungen des Rechten und des Linken Rolwaling Gletschers (**Photo 30a**). Die Schuttschürzen der orographisch linken Flanke kaschieren die Trogform des Tales.

(◆) kennzeichnet die Podestmoräne des ganz rechts in **Photo 29** zu sehenden Gletschers. Der First dieser Moräne liegt in ca. 5000m Höhe, d.h. 900m über der Taltiefenlinie des Rolwaling Khola. Der im Bild zu erkennende Abfluß ist die Hauptentwässerung des darüberliegenden Zungenbeckens - auffällig ist der verhältnismäßig sehr kleine Schuttkegel, der sich diesem Abfluß auf der Basis des Haupttalbodens anschließt und hier auch nicht unterschritten wird, somit rezent nicht als durch Abtragung verkleinert zu verstehen ist. Der Fluß zerschneidet die der Flanke vorgelagerte Schuttschürze. Resultierend ist das Zungenbecken als Materialfalle für rezent entstehendes, glazifluvial transportiertes Lockermaterial zu verstehen. Der Außenhang der Laterofrontalmoräne kann als relativ konsolidiert gelten.

(*) markiert eine Schuttschürze, die in eine enge genetische Beziehung zur Vergletscherung der sich flankenseitig aufwärts anschließenden Einzugsgebiete zu stellen ist.

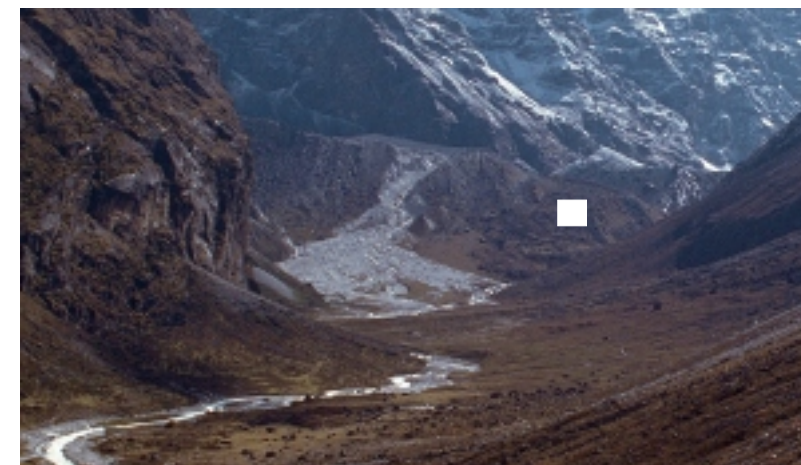


Photo 30a: Die Ausschnittsvergrößerung aus **Photo 30** zeigt die Außenhänge der Zungenbeckenenden des Rechten und Linken Rolwaling Gletschers aus günstiger Perspektive (Lokalität Sanmakharka). Der Standort liegt in ca. 4200m Höhe, die Firsthöhe der Tsho Rolpa See Einfassung (Zungenbecken des Linken Rolwaling Gletschers) in ca. 4500m. Der Seespiegel lag im Oktober 1997 an der Firstoberkante an. Der Rest einer älteren Laterofrontalmoräne (■) ist im Vorfeld der subrezentenen Moräne des Rechten Rolwaling Gletschers deutlich zu erkennen.



Photo 31: Die Aufnahmeposition entspricht der für **Photo 16**. Rechts unten im Bild ist eine Übergangsform zwischen einem regenerierten Gletscher unterhalb eines Hängegletschers und einem Lawinenkegel erhalten (*). Der Ufermoränenfirst des Linken Rolwaling Gletschers (....) liegt hier in ca. 4600m Höhe. Die Übergangsform ist nicht eindeutig typologisch zuzuordnen. Das Einzugsgebiet des entsprechenden Gletschers, die Tshoboje (6686 m) Südflanke, ist in **Photo 24** dokumentiert. Die aus einer Flankenvereisung resultierende kurze Gletscherzunge endet in ca. 5100m. Unterhalb schließt sich eine schmale Erosionsrinne als Kanal für Eisabbrüche und Eislawinen an, deren unterer Abschnitt im Bild zu erkennen ist. Der kleine Eiskegel (*) ist genetisch an diese Eisabbrüche und Lawinen geknüpft. Im Vorfeld des rezenten Eiskörpers schließt sich eine sichelförmige Schuttakkumulation an, die einen größeren vorzeitlichen Eiskegel belegt. Der Außenhangfuß dieses Kegels reicht knapp über die in diesem Abschnitt zerstörte Ufermoräne des vorzeitlichen Linken Rolwaling Khola Gletschers hinaus. Das Außenhanggefälle entspricht weitgehend der maximalen Haldenhangneigung. Die dazugehörige Kegeloberfläche liegt wenige Meter höher. Rechts und links des Eiskegels belegen zwei weitere, seitlich angeordnete Wälle ein Kegelniveau, das, rekonstruiert man eine denkbare Kegelform zwischen den Wällen, einen wesentlich größeren Kegel belegt, der weit über die "Begrenzung" der Laterofrontalmoräne in Richtung Talmitte hinausgereicht haben könnte. Gestützt wird die Rekonstruktion der Kegeloberfläche durch Schliffkanten und Vegetationsänderung an der rückseitigen anstehenden Flanke.

Eine eindeutige Lagebeziehung zwischen der vorzeitlichen Gletscherzunge des Linken Rolwaling Khola, die das Zungenbecken bis zur Firstkante der den Tsho Rolpa einfassenden Laterofrontalmoräne ausgefüllt hat, und der größten rekonstruierten Kegelausdehnung läßt sich nicht beschreiben.



Photo 32: Die orographisch linke Flanke oberhalb des Tsho Rolpa ((●), 4530m Seespiegelhöhe) im orographisch linken Talschluß des Rolwaling Khola und die Talkonfluenz des rechten und linken Rolwaling Khola Talschlusses. Die Aufnahme erfolgte aus 4600m Höhe, auf der linken Ufermoräne des Phernikharka Gletschers stehend. Die Linie (—) markiert den Außenhang der rechten Ufermoräneneinfassung des Rechten Rolwaling Gletschers, dahinter der Innenhang der zugehörigen linken Ufermoräne (◆). Ebenfalls im Bildvordergrund ist der Talschluß eines Tälchens, das durch zwei Ufermoränenaußenhänge eingefasst wird, zu erkennen.

Im Bildhintergrund ist die orographisch linke Flanke des linken Rolwaling Khola Talschlusses zu erkennen. Aus den Nebentälern schieben sich Podestmoränen (→) der Nebentalvergletscherung (vgl. **Photo 12**) bis an den Rand des trogförmigen Haupttales vor. Der LGM Eispegel dürfte weit oberhalb der Hängetäler in mindestens 6000m gelegen haben (vgl. zur gegenüberliegenden Flanke **Photo 24**).



Photo 33: Das aus 4850m aufgenommene Panorama zeigt links im Bild den Phernikharka Khola Gletscher (*) - rechts im Bild ist der Fuß der in **Photo 34** belegten Laterofrontalmoräne (■) zu erkennen. Neben der schuttbedeckten Ablationszunge des Phernikharka Khola Gletschers, dessen orographisch linke Ufermoräne durch eine Eisüberfließungsform (◆) unterbrochen wird, ist das Mäandrieren des den orographisch rechten Talschluß entwässernden Flusses deutlich zu erkennen. Der rezente Phernikharka Khola Gletscher liegt nicht direkt am Innenhang des Ufermoränenwalles an. Gletscher und Ufermoräne sind getrennt durch einen breiten Saum morphologisch unspezifischer Schuttakkumulation. **Photo 19** belegt eine weiter talauswärts einsetzende morphologisch eindeutige Differenzierung des Moränenkörpers in mindestens zwei Wälle. Leeseitig der in **Photo 19** gezeigten Engstelle hat sich eine Talverfüllung mit glazifluvial aufbereitetem bzw. fluvial sedimentiertem Material gebildet. Die orographisch linke Ufermoräne des Phernikharka Khola Gletschers setzt in ca. 5000m Höhe an die anstehende Flanke an. Diesen Punkt nach rechts vor der Flanke verlängernd, fällt ein Materialwechsel der Flanke auf. Unterhalb eines in ca. 5000m liegenden Niveaus (—) ist die Flanke großflächig mit Lockermaterial verkleidet. Diese Verkleidung zieht rechts im Bild an der Flanke hoch. Der zusammenhängende Verlauf der oberen Begrenzung der Lockermaterialflankenverkleidung in Verbund mit einer kaum vorhandenen Zergliederung der Schuttschürze in einzelne Kegelformen belegt, daß es sich nicht um verknüpfte Schuttkegel handelt. Solchen Schuttkegeln fehlten zusätzlich die entsprechenden Einzugsgebiete. Dem morphologischen Kriterium der fehlenden Kegelform könnte mit dem Argument der nachträglichen Überprägung der Kegel durch einen Erosions- bzw. Denudationsprozeß entgegnet werden. Selbiger sollte primär dem Gefälle der Taltiefenlinie und nicht dem Flankengefälle zu folgen haben. Die fluviale Unterschneidung der Kegel und deren Rückverlagerung bis auf ein Sockelniveau wäre in diesem Zusammenhang denkbar und würde den Eindruck der flächenhaften Verkleidung klären. Der zusammenhängende und taleinwärts ansteigende Verlauf der oberen Begrenzung der Form bliebe vor dem Hintergrund der Annahme einer rein fluvial überprägenden Morphodynamik als zufällig zu erachten. Des weiteren ist als denudierendes Agens Eis vorstellbar. Ein entsprechender Gletscher überfährt die Schuttkegel und hinterläßt die beschriebene Schürze. Das Niveau der Gletscheroberkante muß über der Schuttschürzenoberkante liegen, selbige zeichnet in hinsichtlich des Abstandes unklarem

nach. Das heißt, die Gletscheroberkante muß nicht mit der oberen Schuttschürzenbegrenzung übereinstimmen. Der Gletscher fungiert nur als abtragendes Agens. Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit kann die dargestellte Form jedoch als Grundmoränen- oder Lateralmoränenflankenverkleidung interpretiert werden, nicht zuletzt aufgrund der Nähe zu rezenten Ufermoränen. Höhe und Verlauf der Moränenverkleidung machen die Konfluenz des Phernikharka Khola Gletschers mit einem deutlich größeren vorzeitlichen, orographisch links liegenden Gletscher wahrscheinlich. Dieser Befund ist in Beziehung zu der in **Photo 44** markierten Schliffgrenze zu stellen. Die tiefer in das Talgefäß eingesenkte Konfluenz der beiden Gletscher wird über die Vorstellung des Fehlens des historischen Moränensockels in diesem Talabschnitt verständlich, so daß zu diesem Zeitpunkt die Gletscherbasis deutlich tiefer lag (vgl. **Photo 128** zur Basis der Khumbarkarna Moräne).

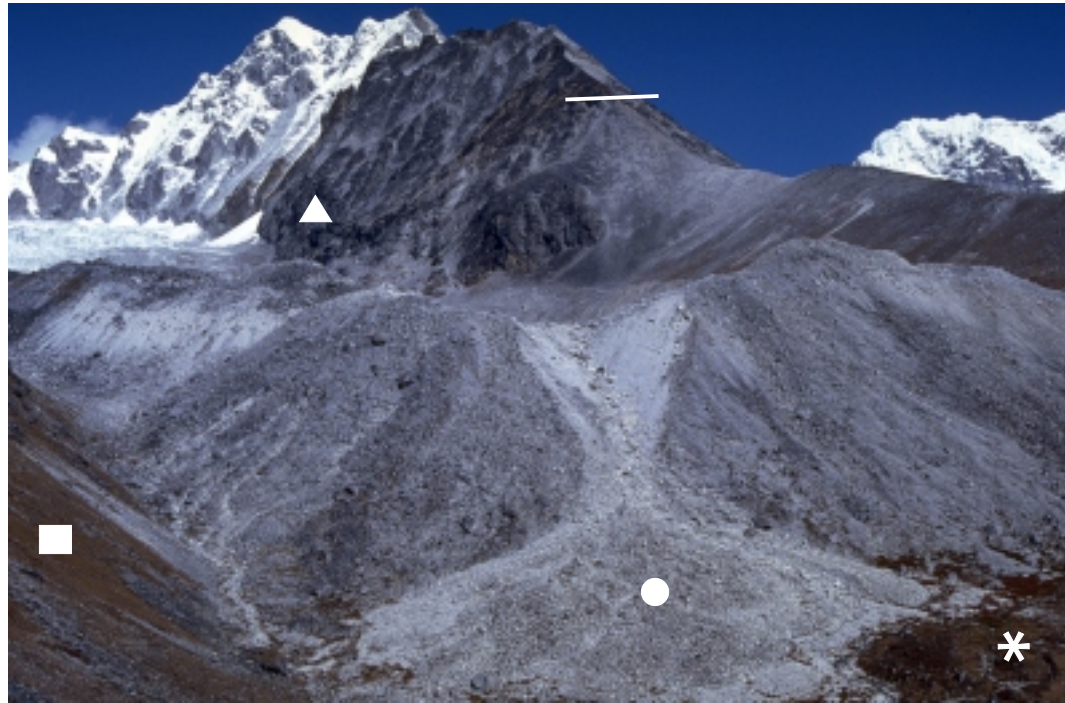


Photo 34: Die Aufnahme zeigt die Laterofrontalmoräne eines kleinen Nebentalgletschers im rechten Talschluß des Rolwaling Khola. Die Firsthöhe liegt in ca. 5100m. Das rezente Gletscher endet oberhalb des Niveau des Firstes taleinwärts. Unterhalb der Laterofrontalmoräne hat sich ein Schwemmkegel (●) gebildet, der durch den rezenten Abfluß des Gletschers weiter ausgebaut wird. Die "frische" historische Moräne überfährt eine ältere Talfüllung glazifluvialen Materials (*). Am rechten Bildrand ist ein mit glazigenem Lockermaterial überzogener Rücken zu erkennen. Dieser trennt das im Bild gezeigte Tal vom Zungenbecken des Rechten Rolwaling Gletschers. Der Wall ist in dem Abschnitt auswärts der steileren Festgesteinsflanke (unterhalb von —) zwischen 5300m und 5100m hoch (**Photo 6**). In ca. 5200m sind an dieser orographisch linken Flanke glazigene Dreiecksflächen (▲) zu erkennen. Orographisch rechts der historischen Endmoräne ist die Flanke bis in ein Niveau von ca. 5000m mit Moräne beschürzt (■)(**Photo 33**).



Photo 35: Das orographisch linke Ufermoränenseitental des Linken Rolwaling Khola Gletschers talauswärts aus ca. 4750m photographiert. Der Ufermoränenaußenhang des Gletschers (rechts im Bild) weist eine Zweigliederung auf. (—) markiert den First der Ufermoräne, die den Tsho Rolpa einfaßt und dessen Innenhang rezent von dem Gewässer unterschritten wird. Das rezente Gletscherende liegt ca. 1,5 km taleinwärts dieser Lokalität. Der zweite Wall (••••) läßt sich über einige Dekameter verfolgen, ist deutlich flacher und wirkt konsolidiert. Der Höhenunterschied zwischen beiden Wällen beträgt ca. 20m bis 30m. Talauswärts lassen sich innerer und äußerer Wall nicht differenziert verfolgen. Talaufwärts gewinnt der morphologisch prägende Einfluß der Vergletscherung der orographisch linken Haupttalflanke so stark an Bedeutung, daß die Form auch hier nicht lückenlos weiter zu verfolgen ist (vgl. jedoch insbesondere **Photo 14** und den dort markierten orographisch linken Moränenrest). Der äußere, flachere Wall (••••) wird als Ufermoränenrest eines vorzeitlich mindestens breiteren und gegebenenfalls längeren Linken Rolwaling Gletschers verstanden. Das Ufermoränental ist mit einem Mischsediment aus fluvialen, glazifluvialen und verstürztem Material gefüllt, das oberflächlich durch die fluviale Denudation hinsichtlich seines Reliefs ausgeglichen wird. Im Bildhintergrund ist die überschleifene Pherni Flanke zu erkennen (**Photo 8, Photo 16**).

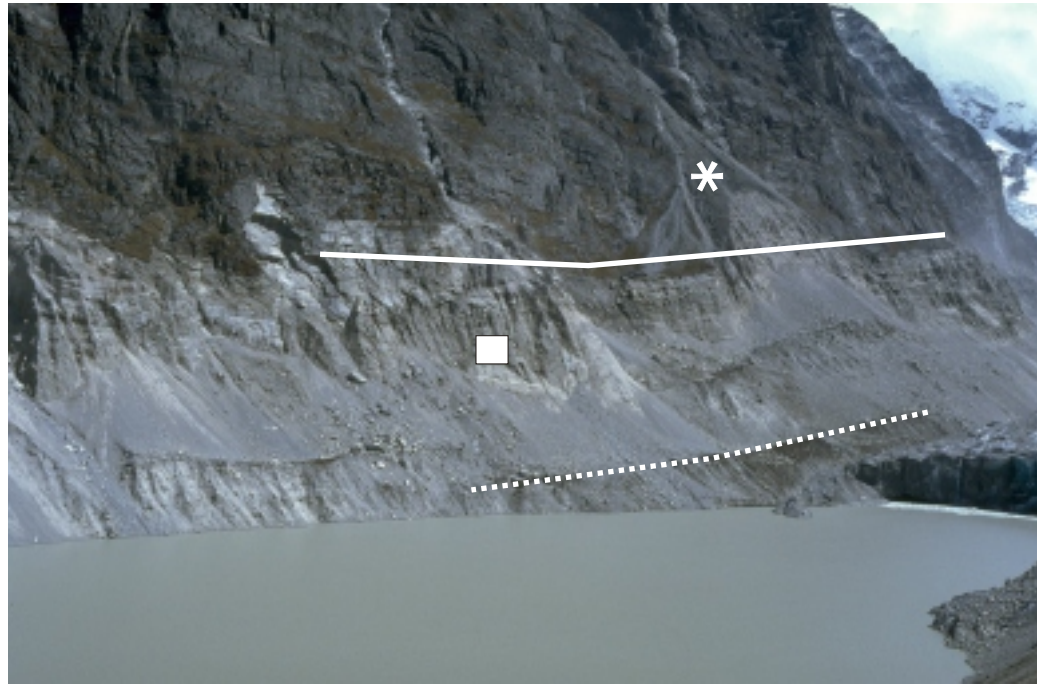


Photo 36: Die Aufnahme erfolgte aus 4600m Höhe, auf der orographisch linken historischen Ufermoräne des Linken Rolwaling Gletschers stehend, und zeigt einen Ausschnitt der rechten Rolwaling Khola Flanke im direkten Vorfeld des rezenten Gletscherendes. Ausgehend von der Gletscherstirn sind mindestens zwei Gletscherpegel zu differenzieren: ((••••)), (—). Der Pegel (••••) repräsentiert eine Veränderung der ERL des Linken Rolwaling Gletschers im Dekameterbereich seiner Längsausdehnung, während das obere Niveau der Flankenverkleidung mit moränischem Material eine talauswärtigere ERL im Bereich außerhalb des Seeendes wahrscheinlich macht. Auffällig ist der Farbwechsel des Anstehenden von hell zu dunkel. Die helleren, unteren Flankenpartien liegen alle unterhalb der oberen Grenze der Verbreitung der glazigenen Lockermaterialverkleidung der Flanke. Die helle Festgesteinsoberfläche ist als frisch aufbereitet bzw. als vor dem Einfluß der verwitternder Faktoren geschützt aufzufassen und erst seit jüngster Zeit dem Einfluß der Atmosphärenien ausgesetzt. Anstehende Flankenabschnitte wechseln sich mit erdpyramidal erhaltenen Resten moränischen Materials ab.

Teile des Schuttkörpers (*) sind auf die Oberkante des Lockermaterialverkleidung eingestellt. Abschnittsweise ist der First dieser Moränenverkleidung durch einen Talrest von der Flanke getrennt. Die Form ist als Ufermoränenrest zu interpretieren. In Bereichen, in denen die Flanke "vorspringt", finden sich keine morphologisch eindeutigen Ufermoränen. Soweit das Anstehende hier nicht bereits zu erkennen ist, muß hier von Moränenverkleidungen (■) die Rede sein. Die Verknüpfung der Ufermoränenreste mit der sich talauswärts anschließenden Ufermoränen-einfassung des Tsho Rolpa belegt einen kontinuierlichen Gletscherpegel in diesem Niveau. Belegt sind somit alle Übergangsformen zwischen der Akkumulationsform Ufermoräne, der Flankenverkleidung mit Grundmoräne oder Ufermoräne und der Überschleiffung bzw. glazialerosiven Überprägung der Flanken in diesem kurzen Talabschnitt (hier ca. 400m).

Scharf zu trennen sind als Paket abgerutschte Möranteile aus dem Firstniveau einer Ufermoräne von einer gletscherinduzierten Gliederung des Moräneninnenhangs durch die Akkumulation einer vorgelagerten Ufermoräne.

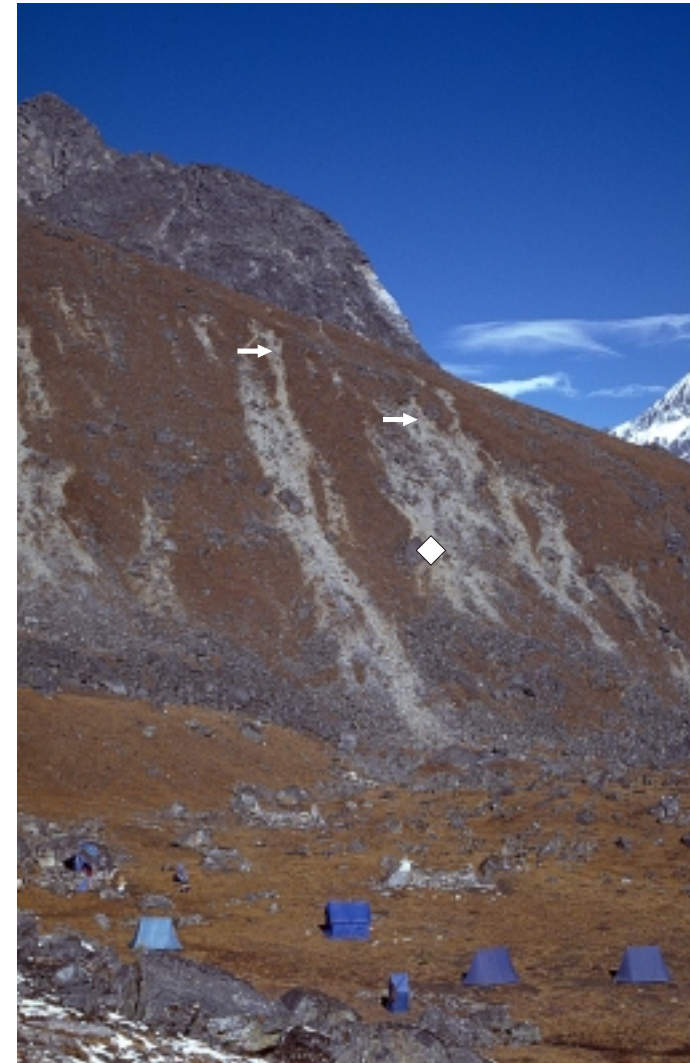


Photo 37: Die Aufschlüsse (→) belegen die Lockermaterialverkleidung des in **Photo 5** beschriebenen Walles. Die Aufnahme zeigt einen Ausschnitt der Vollform zwischen 4900m und 5050m. Im Tallängsprofil reicht der Wall zwischen 4800m und 5100m. Das Sediment umgreift alle Fraktionen zwischen Ton und den zu erkennenden großen Blöcken ((◆) mit Kantenlängen bis 5 m) desselben Ausgangsgesteins (Bestimmung für die Fraktionen Kies bis Block). Die Abschätzung der häufigsten Einregelung der im Sediment eingebetteten Blöcke läßt auf keine vorherrschende Orientierung schließen. Hingegen lassen sich anstehende Partien der Vollform gut aufgrund ihres Fallens und Streichens erkennen. Die Lockermaterialdecke ist als lokale Grundmoräne zu interpretieren; die Form als von drei Seiten glazial überprägt. Das heißt, es handelt sich um eine einem Rundhöcker ähnliche Form, die hinsichtlich ihrer Genese mit dem u.a. in **Photo 34** dokumentierten Rücken verwandt ist.



Photo 38: Der Talausgang des Yalung Khola aufgenommen aus 4250m, nahe der Taltiefenlinie des Rolwaling Khola stehend. Das Photo zeigt den orographisch linken Teil des gesamten Talgefäßes, das heißt, der sich an den Ramdang Vorgipfel Gletscher anschließende Schuttkegel ist nicht im Bild zu sehen (vgl. **Photo 20**). Die Akkumulationsform (*), die links in der Aufnahme zu erkennen ist, schließt sich dem Zungenbecken des Ramdang-Nord-Gletschers an. Der vergleichsweise frisch aufgeschlossene Innenhang oberhalb der rezenten Entwässerung des Ramdang-Nord-Gletschers ist in **Photo 20** im unteren Bilddrittel zu erkennen. Entgegen der in **Photo 5** und **Photo 20** oberhalb dieser Lokalität dokumentierten Ufermoräneninnenhänge handelt es sich hierbei um einen zerschnittenen "Schutfächer", der genetisch eng an den Gletscher geknüpft ist und insofern als Mischform zwischen Podestmoräne und Schutfächer verstanden werden kann. Eine Materialsortierung bzw. -schichtung ist den Aufschlüssen nicht zu entnehmen. Überlagert wird die mit großen Blöcken belegte Form durch dem Gefälle folgende, lineare Wallformen (••••) bis zu einer Höhe im Meterbereich. Diese können als die Murbahnen charakterisierende Wälle angesprochen werden. Im unteren Drittel schließt sich an die Schuttgroßform ein kleinerer Schuttkegel flacheren Gefälles und deutlich feineren und besser sortierten Materials an. Am orographisch linken Talausgang ist eine überschlifene Felsnase als Indiz für eine ausgedehntere Vergletscherung des Yalung Talgefäßes zu interpretieren (▲).



Photo 39: Der aus 5100m südwärts gerichtete Blick zeigt den aus Eis aufgebauten Gipfel des Ramdang Peak ((1) 6258m) und westlich anschließend an der tiefsten Stelle des sichtbaren Grates den Yalung La (5300m). Der neuschneebedeckte Ramdang-Nord-Gletscher (*), dessen Eiskörper durch einen scharfen Grat vom im Vordergrund zu sehenden, tiefer liegenden Tal getrennt wird, endet in 4800m. Abschnittsweise wird moränisches Material über den Grat bzw. durch Scharten hinweg in das benachbarte Tal geschüttet ((→) in 5280m Höhe). Die Morphologie des Talbodens ((◆) in 5100m) wird vor dem Hintergrund eines höheren Gletscherpegels und des resultierenden Überlappens des Ramdang-Nord-Gletschers über den Grat verständlich. Die zeitliche Einordnung dieses Überlappens ergibt sich eindeutig aus der Lagebeziehung der Moränenwälle des Ramdang-Nord-Gletschers im Talabschnitt unterhalb des Yalung La Passes und des Yalung Ri Gletschers (**Photo 21**). Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich bei den aus der Überfließung resultierenden Formen um Indikatoren für das Ausmaß der Vergletscherung im Neoglazial. Die Überlappungszungen reichen sehr schnell in tiefere Bereiche und füllen hier eine ältere glaziale Trogform. Am rechten Bildrand sind Reste einer älteren Laterofrontalmoräne des Yalung Ri Gletschers zu erkennen (■).

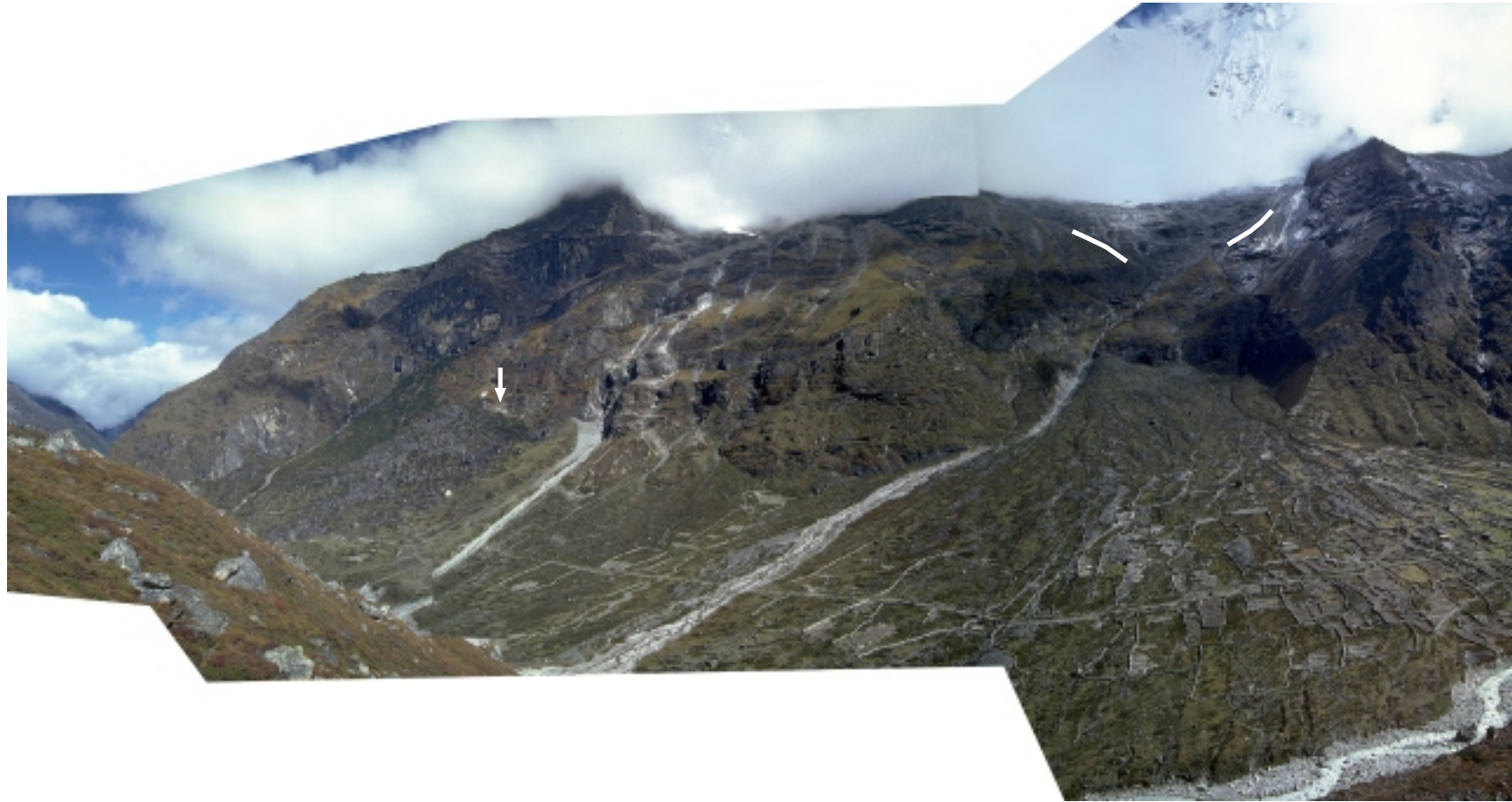


Photo 41: Der stark zergliederte Schwemmfächer von Na aus 4200m, von der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke aus photographiert. Der Gletscher des im Mittel 6300m hohen Einzugsgebiets des Gletschers oberhalb von Na wird im wesentlichen durch Eislawinen und Abbrüche aus der bis 6737 m hohen Flanke genährt (**Photo 25**). Das schuttbedeckte Gletscherende liegt wenig unterhalb der unteren Wolkenbegrenzung ca. 950m oberhalb der Tiefenlinie des Rolwaling Khola. Rechts und links unterhalb der Front des Eiskörpers finden sich Reste vorzeitlicher Ufermoränen (—). Rechts im Bild unterhalb einer steilen, konvex gewölbten Felsstufe liegt das Kloster von Na in 4400m Höhe ((→)**Photo 42**).

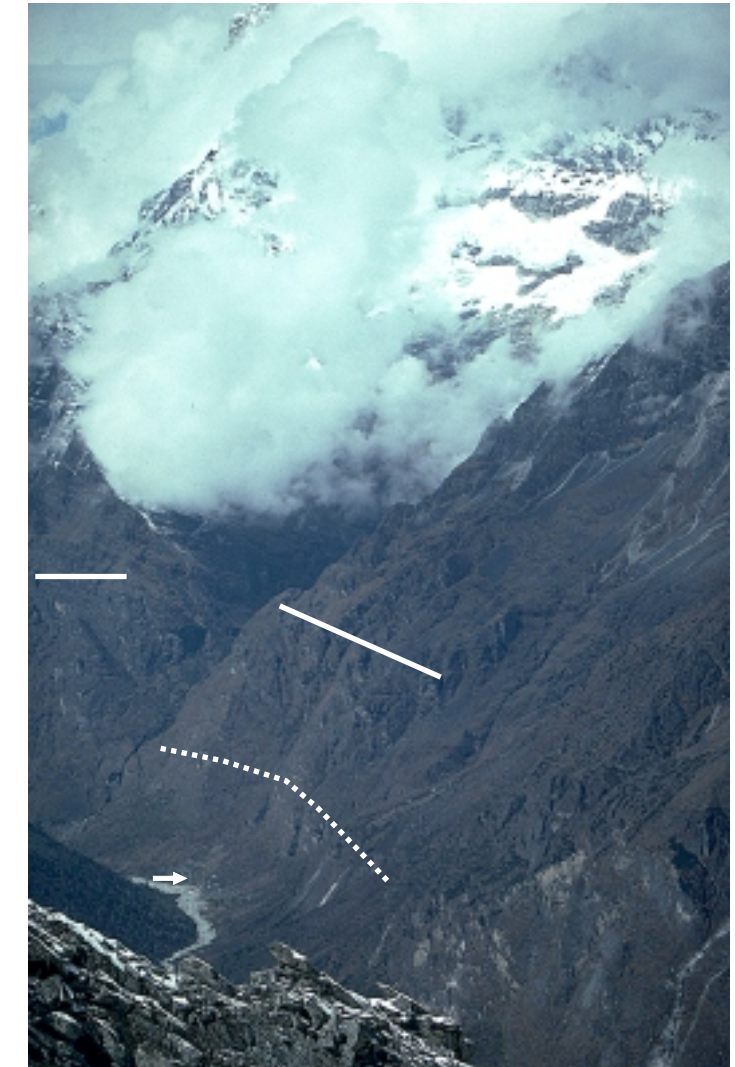


Photo 40: Die Aufnahme (aus 5300m, Blickrichtung Nordwest) zeigt den Talabschnitt des Rolwaling Khola zwischen dem Kloster von Na und der Einmündung des Chhesugolchha Khola oberhalb der Siedlung Ramdin (3600m). Die Ansiedlung Beding ((→) 3710m) ist im Bild nahe der Taltiefenlinie zu erkennen. Die dargestellte Vertikale umgreift oberhalb von Beding ca. 2800 Höhenmeter (ergänzend **Photo 26, Abbildung 13**). Die Linien zeichnen Niveaus glazialer Überprägung des Talquerprofils bzw. der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke nach ((•••) in ca. 4000m und (—) in ca. 4400m, vgl. **Photo 52, Photo 54, Photo 58**).

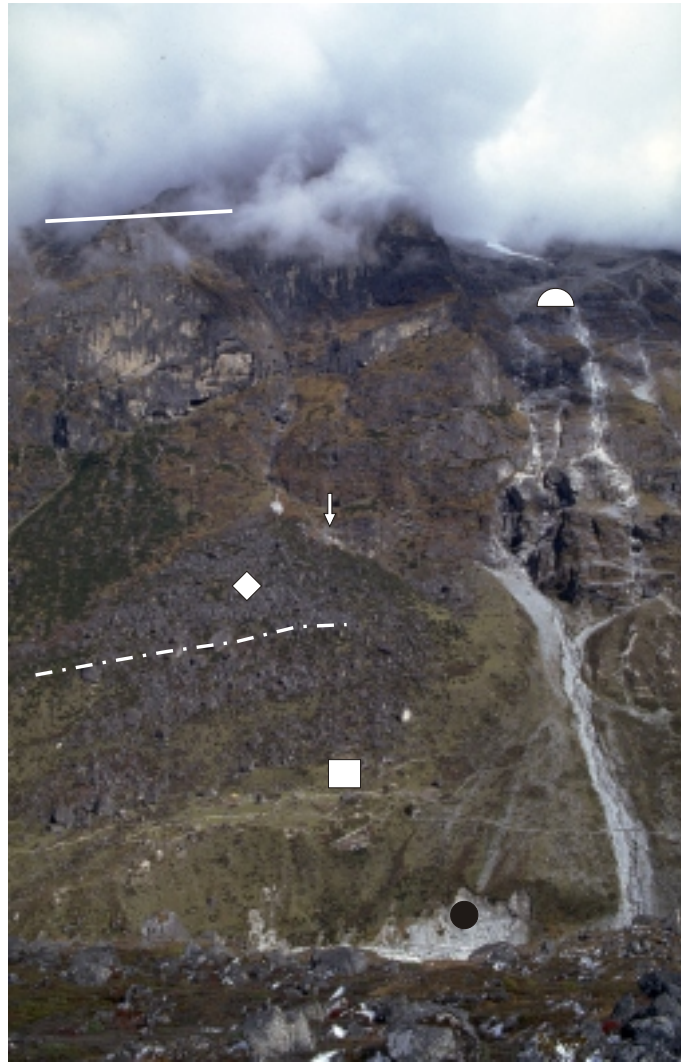


Photo 42: Der Flankenabschnitt der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke im Bereich des Klosters von Na (→), in 4400m) wird morphologisch im unteren Drittel durch eine Bergsturzhalde (◆) geprägt, die auf vorzeitliche Ufermoränenreste (---) aufsetzt. Das durch den Bergsturz bzw. Flankennachbruch entstandene Material ist deutlich von den glazigenen (■) und fluvialen (●) Sedimenten im Bild zu unterscheiden. Es findet sich nur nicht kantengerundetes Material - überwiegend der Fraktion Block. Eine genetisch an das Nachbrechen gebundene Feinmaterialmatrix fehlt.

Die anstehende Flanke ist abschnittsweise in Abhängigkeit von der lokalen Vergletscherung überprägt (▲). Demgegenüber belegen benachbarte Flankenpartien eine quasi horizontale Eisbewegung (—), die die Annahme einer Eisverfüllung des Rolwaling Khola stützt.



Photo 43: Aus 4250m Höhe richtet sich der Blick von Sanmakharka talauswärts. Der weitgehend vegetationsfixierte Fuß eines aus dem Yalung Talgefäß stammenden Schuttkörpers (*) reicht bis über die Talmitte hinaus und drängt den die Haupttalgletscher entwässernden Abfluß (●) nach orographisch rechts (vgl. **Photo 30**). Im Bildhintergrund ist der u.a. im Bildtext zu **Photo 23** näher beschriebene Lateralmoränenrest zu erkennen (→), und somit ist die Lagebeziehung zu den rezenten Gletscherenden der Rolwaling Gletscher herzustellen. Der Firstbereich des Moränenrestes wirkt als zwischengeschaltete Erosionsbasis für das aus dem Seitental verlagerte Material. Der Fuß des in diesem Seitental entstehenden Schuttkörpers liegt auf dem Moränenrest - belegt durch das gleichmäßig auf die vorzeitliche Form eingestellte Schuttfächergefälle. Die großen, auf dem Moränenrest liegenden Blöcke sind morphogenetisch diesem Schuttkörper zuzuordnen und entstammen dem Seitental (Nordostabdachung des Yalung Ri).

Die Gefällewechsel an Felsrücken der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke (—) liefern weitere Indizien für die glaziale Überprägung dieses Talabschnittes bis in verschiedene Niveaus. Im Einflußbereich direkter gravitativer Prozesse finden sich unterhalb dieser Felsversteilungen kleine Blöcke vorwiegend plattiger Ausprägung, die als Ergebnis von Nachbrüchen aus den Versteilung zu verstehen sind.

(■) kennzeichnet eine Moränenrampe unterhalb eines 5618m hohen Gipfels. Die rezent zu dieser Rampe in Beziehung zu setzende Vergletscherung beschränkt sich auf ein kleines nordexponiertes Eisfeld. Die Rampe fußt in ca. 4800m.



Photo 44: Die orographisch rechte Flanke des Rolwaling Khola unterhalb des Pherni (6737m). Im Bildhintergrund die Tshoboje (6686m) Westwand und ein Teil der Zungenbeckeneinfassung des Rechten Rolwaling Gletschers. Der Talboden liegt in 4200m. Die bis ca. 200m hohe Wand erreicht in weiten Bereichen eine Neigung bis 90°. Die Steilheit der Flanke ist als ein Resultat der Unterschneidung durch einen Rolwaling Khola Talgletscher zu interpretieren. Die lokale Vergletscherung der sich oberhalb anschließenden Flanke, hat oberhalb der punktierten Linie (••••) auf diese Eisfläche im Haupttal aufgesetzt (vgl. KUHLE 1985:163, KUHLE 1987: Fig. 20 und Photo 8).



Photo 45: Ein Ausschnitt der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke zwischen Na und Sanmakharka. Die 90° steile Wand überragt den Talboden in 4200m um ca. 200m (••••). Der obere Abschnitt der Flanke ist im relevanten Einzugsbereich rezent unvergletschert. Der Wandfuß ist am unteren Bildrand noch abgebildet und in **Photo 44** zu erkennen.

Photo 46: Im Zwickel zwischen drei wesentlichen Lockermaterialliefergebieten, hier der Moränenkomplex von Sanmakharka, die Schuttkegeleinzugsgebiete des Yalungtalgefäßes und die Gletscher der Rolwaling Nordflanke zwischen Pherni (6337 m) und Na (→) 4100m), sind Talbodenrestflächen in ca. 4250m Höhe erhalten, die hinsichtlich des Zeitpunktes ihrer Genese nicht in einen eindeutigen Zusammenhang zu den rezenten und subrezentem Akkumulationsformen zu stellen sind. Die im Bild umfahrenen Wälle (••••) ragen, abgegrenzt durch einen markanten Gefällewechsel, bis zu 8m über das Flächenniveau des Talbodens auf. Die Längsachsen der Wallformen sind, entgegen den ebenso im Bild zu erkennenden seitlichen Einfassungen der die Schuttkegel überziehenden Murbahnen, parallel zum Längsprofil des Tales orientiert. Die Materialverteilung des die Wälle aufbauenden Materials macht die Interpretation als glazigenes Sediment wahrscheinlich und läßt die Formen als Medialmoränenrest erscheinen. Abschnittsweise nachgezeichnet bzw. herauspräpariert werden die Wälle durch den rezenten Oberflächenabfluß des sie umgebenden leicht geneigten Talbodens. Die Haupttieflinie liegt unabhängig von den Formen einige Dekameter weiter orographisch rechts im Tal.

Zu unterscheiden sind Blöcke (▲), die in Folge von Nachbrüchen aus den Flanken, insbesondere der orographisch linken Flanke, auf den Talboden aufsetzten von Blöcken die in eine Feinmaterialmatrix eingebunden sind (■) und genetisch eng mit dieser verknüpft sind. Für die letztgenannte Gruppe gilt es, vorsichtig zwischen durch Muren verlagerten und galzigen Blöcken zu unterscheiden.



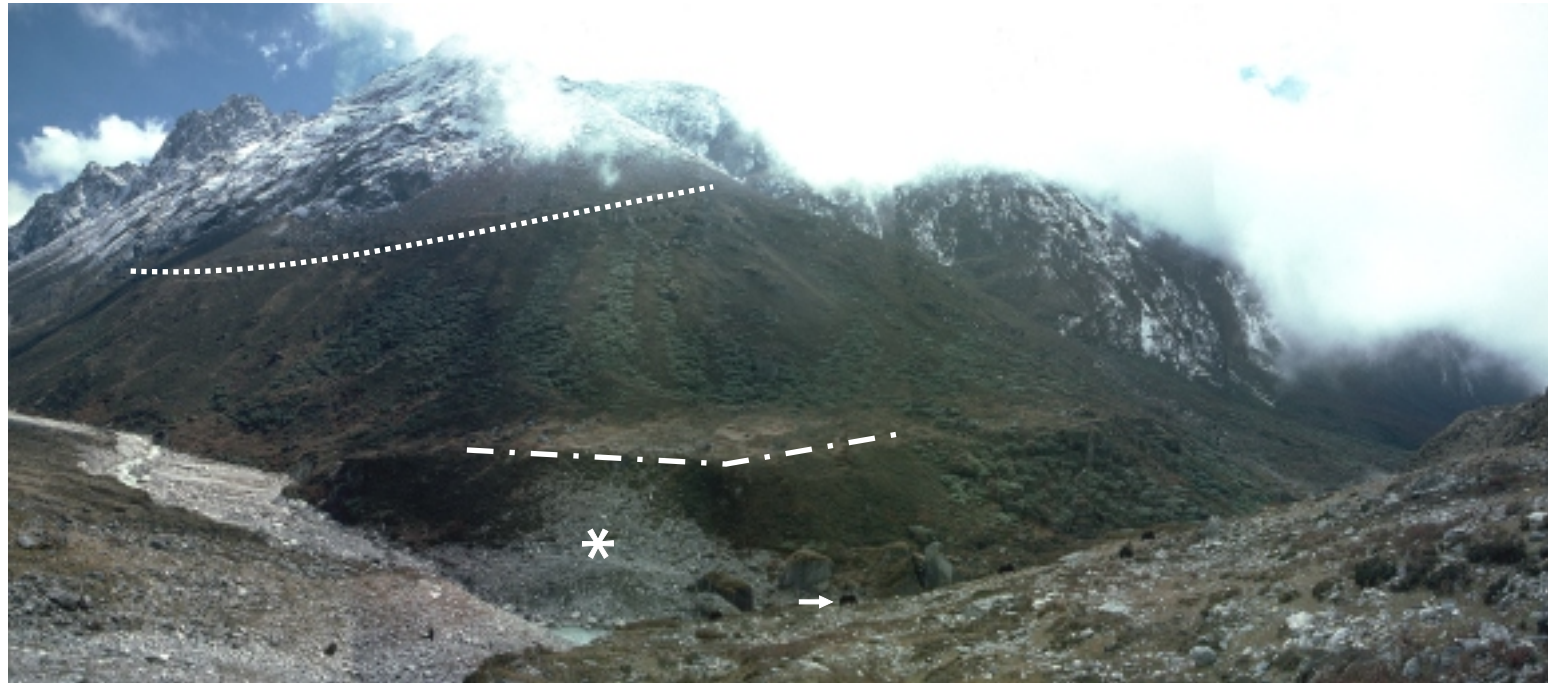


Photo 47: Die Aufnahme zeigt, photographiert aus 4000m Höhe, einen Abschnitt der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke zwischen Na und Beding (vgl. **Photo 23**). Die im Bild markierte obere Terrassenkante ((••••) in 4200m) ist mit Hilfe des Panoramas **Photo 23** dokumentiert und an entsprechender Stelle beschrieben. Die Aufnahme zeigt des weiteren eine Terrasse unterhalb der genannten Form. Die Terrassenfläche liegt ca. 30m über der rezenten Taltiefenlinie. Es handelt sich um eine, hinsichtlich der Längsausdehnung entsprechend dem Talgefälle orientierte, Lockermaterialterrasse (•—•). Blöcke mit Kantenlängen bis zu mehreren Metern (die näher am Betrachter stehenden Yak-Rind Hybriden (→) bieten die Möglichkeit des Größenvergleiches) sind in eine Lockermaterialmatrix eingebettet. Im linken Bildteil ist nahe der Taltiefenlinie ein frischer Akkumulationsbereich (*) zu erkennen. Das Material entstammt einer gravitativen Massenselbstbewegung aus der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke unterhalb des Gletschers oberhalb von Na und wird durch den rezenten Abfluß des Haupttales zerschnitten. Das während dieses Ereignisses bis in diese Position transportierte Material erreicht eine Fraktionsobergrenze mit einer maximalen Kantenlänge von ca. 0,4m. Talauwärts schließt sich die mit Hilfe von **Photo 48** dokumentierte Engstelle im Talquerprofil des Rolwaling Khola an.



Photo 48: Der Talverlauf des Rolwaling Khola wird zwischen Ramdin (3600m) und Na (4100m) durch einen konvex vorspringenden Festgesteinsrücken verengt. Der Talboden liegt unterhalb der zugerundeten Felsnase in ca. 3950m. Die Aufnahme erfolgte mit Blick nach talauwärts von der mit Hilfe von **Photo 23** dokumentierten Ufermoräne aus ca. 4200m Höhe (**Photo 49**). Der konvex gewölbte Flankenabschnitt grenzt sich deutlich vom ansonsten im unteren Flankendrittel trogtal-förmig, d.h. weitgehend konkav gewölbten Talquerprofil ((—) unterhalb der Linie, ergänzend **Abbildung 10**) ab. Die mit Hilfe von **Photo 49** belegten glazialen Kratzungen befinden sich im exponiertesten Bereich der "Felsnase" (◐).

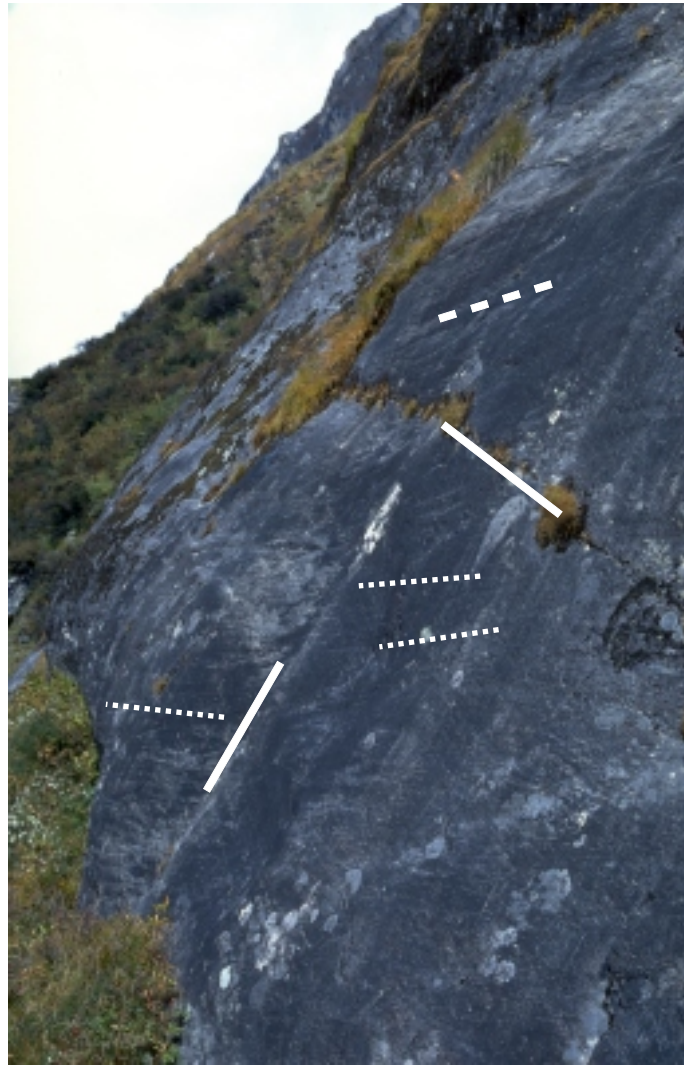


Photo 49: Ein überschlifffener und gekritzter Gesteinsoberflächenausschnitt eines vorspringenden Rückens zwischen Beding und Na ((▲) in **Photo 48**), ca. 80m oberhalb der Tiefenlinie (3950m). Lithologische, linienhafte Strukturen (—) lassen sich von gegenläufigen, näherungsweise taltiefenlinienparallelen Kritzungen und Riefen (••••) unterscheiden. Letztere sind als Merkmale glazialer Erosion zu interpretieren, wie sie sich in rezent oder vorzeitlich vergletscherten Räumen der Erde finden. Hier belegen die Kritzungen eine Eismächtigkeit von mindestens 100 Höhenmetern in diesem Talabschnitt.



Photo 50: Die Aufnahme zeigt die in **Photo 3** dokumentierte Klamm am Talausgang des Rolwaling Khola, aus 2000m fotografiert. Der Standort des Betrachters liegt auf der orographisch linken Talseite des Rolwaling Khola, ca. 500m nordöstlich der Siedlung Simigaon (2028m). Der orographisch rechts verlaufende Grat liegt in ca. 1750m Höhe (→), der Talboden unterhalb der bewaldeten dreieckigen, relativ steil einfallenden Schichtfläche (links neben (◆)) liegt ca. 100m bis 120m tiefer. Das Niveau des Firstes vermittelt zur Gefälleveränderung an der orographisch linken Talseite. Unterhalb einer solchen gedachten Niveaulinie (••••) schließt sich die mit Hilfe von **Photo 3** gezeigte kastenförmige Klamm an.

Auf dem Kamm ((→), in 1750m) findet sich in exponierter Lage eine Lockermaterialauflage, die als Moränenrest zu interpretieren ist. (■) markiert Moränenreste an der orographisch rechten Bhote Kosi Flanke.



Photo 51: Die Häuser der Wintersiedlung Beding auf der südexponierten, orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke. Die Taltiefenlinie verläuft in 3710m. Das mäandrierende Gewässer wird durch in den letzten Jahren aufgestellte Steinwälle (→) eingeschränkt, die im wesentlichen der Kanalisierung des normalen Abflusses dienen sollen und weniger als Hochwasserschutz verstanden werden können. Die Häuser der Ortschaft liegen alle im Dekameterbereich oberhalb der Taltiefenlinie, so daß selbst ein stark erhöhter Spitzenabfluß der monsunzeitlichen Niederschläge (keine Glacier Lake Outburst Flood) keinen direkten Schaden an den Gebäuden verursachen könnte. Die Erosionskante des Flusses lag vor der Einschränkung der potentiellen Mäanderschlingengröße jedoch direkt unterhalb einiger Gebäude, so daß mit einer Unterschneidung der entsprechende Gebäudefundamente zu rechnen gewesen wäre. Das Material der entsprechenden Aufschlüsse wechselt zwischen anstehendem Festgestein, einem Augengneis und dem genetisch an die vorzeitliche Vergletscherung gekoppelten Lockermaterial (■) der Schuttkörper beider Flanken.

Im Bildhintergrund ist der Yalung Ri (5647 m, (*)) in den Wolken zu erkennen. (—) markiert einen Gefällewechsel der anstehenden Felsflanke in ca. 4000m Höhe (vgl. **Photo 40**). Rechts im Bild ist die orographisch rechte Talflanke (▲) eines Seitentales zu erkennen. Lateralmoränen, die bis in ca. 4500m Höhe herabreichen, belegen eine lokale Vergletscherung dieses Tales bis in mindestens ca. 4450m - die Form des Zungenbeckens und ein Gefällewechsel stützen eine ERL in ca. 4400m. Das Einzugsgebiet eines bis in diese Höhe reichenden vorzeitlichen Gletschers berechnet sich zu ca. 5500m. Entsprechend läge die Schneegrenze in ca. 4950m. Abzuleiten ist die Eisfreiheit des Haupttales zu diesem Zeitpunkt oberhalb von 4400m.



Photo 52: Der Standort nahe der Siedlung Ramdin am Talausgang des Chhesugolchha Khola, einem orographisch rechten Seitental des Rolwaling Khola, liegt ca. 1 km haupttalwärts von Beding in 3600m. Der Blick richtet sich in talaufwärtige Richtung. Rechts im Bild vereinigen sich der Abfluß des gesamten talaufwärtigen Rolwaling Khola und des Chhesugolchha Khola. Beide Flüsse schneiden sich in mächtige Lockermaterialakkumulationen ein, die genetisch nicht eindeutig als Schuttkörper gravitativer Massenselbstbewegungen aus den Flanken verstanden werden können. Orographisch rechts im Tal liegt die Ortschaft Chhimu Golche innerhalb einer Vertiefung zwischen der orographisch rechten Talflanke und einer "Lockermaterialinsel" (■), die neben einem signifikanten Tonanteil durch große eingebettete Blöcke (Kantenlänge bis >5m) auffällt. Das die ca. 30m hohe Stufe (◆) rechts im Bild aufbauende Material entspricht dieser Zusammensetzung. Gegliedert wird dieser Talauschnitt in taltiefenliniennähe im wesentlichen durch kleinere, genetisch an mäßig höhere Abflußpegel gebundene Uferwälle und Schotterterrassenreste. Die Dimensionen dieser Akkumulationsformen bleiben gravierend hinter den Ausmaßen der die gesamte Talbreite einbeziehenden Lockermaterialformen zurück. Die oben genannte "Lockermaterialinsel" in der Talmitte wird als durch den Abfluß des Haupttales herauspräparierte Grundmoräne interpretiert. Der rezente Abfluß verläuft in diesem Talabschnitt ausschließlich in Lockergestein (●).

Im Bildhintergrund ist ein markanter Gefällewechsel ((—) in ca. 4000m, vgl. **Photo 54**) der orographisch rechten Rolwaling Flanke zu erkennen, der einen Flankenabschnitt vertikaler glazialer Überprägung (→) von einem Abschnitt quasi horizontaler glazialer Überprägung (unterhalb der (••••) Linie) trennt. Es handelt sich bei dem unteren Teil nicht um einen unterschrittenen Podestmoränensockel der Nebentalvergletscherung (vgl. **Photo 29**).

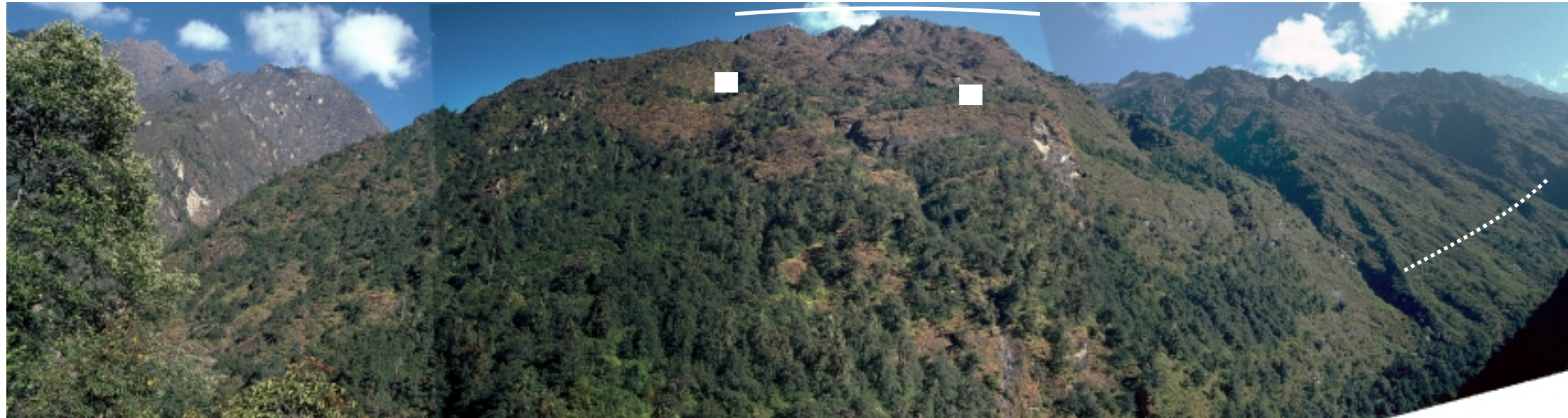


Photo 53: Das Panorama wurde aus 2900m von der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke aus photographiert und zeigt den unteren Abschnitt der rechten Rolwaling Khola Flanke zwischen der talauswärts gelegenen Einmündung des Ghodani Khola und dem Themlun Khola (südlich des Gaurisankar). Die Taltiefenlinie verläuft in diesem Talabschnitt zwischen 2800m und 3200m. Die Flanke ist bis in ein Niveau bis oberhalb von 4000m und 4200m glazial überprägt (—). Die versteilende und zurundene Eisbewegung folgte dem Haupttalgefälle und ist dementsprechend nicht einer lokalen Vergletscherung der direkten

Einzugsgebiete der Flanke zuzuordnen. Vereinzelt finden sich Reste moränischen Materials bis in eine Höhe von mindestens 3800m (■). Talaufwärts ist ein zweites Niveau glazialer Überarbeitung zu erkennen ((••••) in 3800m), das u.a. durch die Oberkante einer Trogtalform belegt ist. Oberhalb dieses Niveaus finden sich Spuren der lokalen Vergletscherung der Flanke.



Photo 54: In 4000m Höhe, d.h. ca. 250m oberhalb der Taltiefenlinie, beschreibt das Talquerprofil der orographisch rechten Rolwaling Flanke ca. 500m südöstlich von Beding (3710m) einen markanten Gefällewechsel. Am Standort des Betrachters geht ein flachgeneigter Flankenabschnitt ($<15^\circ$) vermittelt durch ein kurzes Bogenmaß, in einen deutlich steileren Flankenabschnitt ($>45^\circ$) über. Rechts im Bild, d.h. flankenaufwärts, schließt sich nach ca. 500m ein wiederum steilerer Flankenabschnitt an, der bis zu den rezenten Gletschern relativ gleichmäßig einfällt (Die mittlere Neigung liegt bei ca. 30°) (vgl. **Photo 52**). Die Gefällewechsel sind im Anstehenden der Flanke angelegt.



Photo 55: Die Lokalität Jobalu, ca. 500m talauswärts von Ramdin, liegt in ca. 3500m Höhe. Im Bildvordergrund ist die Einmündung des Chhesugolchha Khola in das Rolwaling Khola zu erkennen. Der markierte 6121m hohe Gipfel (1) stellt die östlichste Begrenzung des orographisch rechten Gletschereinzugsgebietes oberhalb von Beding dar. Das Gletscherende dieses westexponierten Gletscherteiles reicht bis ca. 5000m hinab. Für den Flankenausschnitt zwischen dem rezenten Gletscherende und der in **Photo 54** (der Standort ist der Aufnahme zu entnehmen) dokumentierten Felsstufe ist die vertikal überprägende, morphologische Dynamik der lokalen Vergletscherung formenbestimmend.

Der Photostandort liegt auf einer der orographisch rechten Flanke vorgelagerten Schuttschürze (vgl. **Photo 54**), die nicht in einzelne Schuttkegel differenziert ist. Neben großen Blöcken (◆), die als Steinschlag aus der steilen Flanke hervorgehen, finden sich kantengerundete in eine morärentypische Feinmaterialmatrix eingebettete Blöcke (→). Der Vegetationsbesatz ist, mittels des anthropogenen Einflusses auf den Baumbestand, stark verändert. Die gegenüberliegende nordexponierte, orographisch linke Rolwaling Khola Flanke ist in diesem Talsegment abschnittsweise bis in 4000m bewaldet (vgl. **Photo 58**).



Photo 57: Der durch die Anlage eines Weges entstandene Aufschluß liegt ca. 50m oberhalb der Taltiefenlinie, 200m südwestlich von Beding, unterhalb der in **Photo 54** dokumentierten Felsstufe. Der Einschnitt schließt eine Kegelform mit gestreckter bis konkaver Oberfläche auf, die ca. 80 Höhenmeter oberhalb an der Flanke ansetzt. Der kantengerundete, facettierte Block erreicht eine maximale Kantenlänge von ca. 60cm (ein Farbsegment des Maßstabes entspricht 10cm) und ist eingebettet in eine Feinmaterialmatrix. Das Material der Fraktionen Mittelkies bis Feinblock ist deutlich frischer kantengebrochen als die groben Blöcke. Eindeutig erratische Komponenten, d.h. Gesteine, die nicht oberhalb des Aufschlusses anstehen, waren mit geeigneten Feldmethoden nicht zu ermitteln. Eine Schichtung des aufgeschlossenen Materials oder überwiegende Orientierung der Blöcke hinsichtlich der Ausrichtung der Längsachsen ist nicht zu erkennen. Die Genese des den Aufschluß bildenden Materials ist mehrphasig zu verstehen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich um durch eine gravitative Massenselbstbewegung umgelagertes, zu einem Großteil glazial aufbereitetes Lockermaterial aus den höheren Flankenabschnitten. Die Vegetation und Bodenbildung (in den oberen 20 - 30 cm) verdeutlichen, daß die aufgeschlossene Form rezent an dieser Position nicht ausgebaut wird und vielmehr der linearen fluvialen Erosion unterliegt.

Photo 56: Der Standort liegt ca. 50 Höhenmeter oberhalb der für **Photo 54** beschriebenen Aufnahmeposition in 4050m Höhe, ca. 300m oberhalb der Taltiefenlinie an der orographisch rechten Rolwaling Khola Talflanke. Der markierte Moränenwall (◆◆◆◆) erreicht eine Höhe von ca. 5m und befindet sich in der Mitte eines Zungenbeckens einer vorzeitig ausgedehnten lokalen Vergletscherung des in **Photo 40** dokumentierten Einzugsgebietes oberhalb von Beding. Der Standort des Betrachters liegt auf der ebenfalls wallförmigen, orographisch linken Begrenzung des Zungenbeckens. Sowohl die Mittelmoräne (◆◆◆◆) als auch die linke Ufermoräne (◆) leiten nicht zu einem frontalen Moränenwall über. Dieser hätte, extrapoliert man den weiteren Verlauf der Moränenzüge, talauswärts der Steilstufe zu liegen und ist aus diesem Grund morphologisch nicht erhalten. Das orographisch rechte Pendant zur beschriebenen Ufermoräne fehlt.



Photo 58: Die Aufnahme erfolgte aus 4000m Höhe. Der Standort liegt auf der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke zwischen Dhogre (3850m) und Beding (3710m), ca. 200m oberhalb der Taltiefenlinie. (—) markiert ein Schliftniveau in ca. 4000m Höhe. Die Wasserfälle belegen die Übersteilung der orographisch linken Flanke. Entgegen Flankenabschnitten, die durch das Abrutschen von Schichtpaketen über die entsprechend einfallenden Schichtflächen geprägt sind, belegen gegenläufige Partien die glaziale Unterschneidung der Flanke. Das Abrutschen der Schichtpakete über die unterschrittenen Schichtflächen kann, hinsichtlich des Umfangs und in Beziehung zur Morphologie der orographisch rechten Flanke (vgl. **Photo 40**) gesetzt, als glazial vorbereitet verstanden werden. Das über mindestens 1,5 km verfolgbare quasi tiefenlinienparallele Niveau läßt sich nicht über die lokale Vergletscherung der Einzugsgebiete oberhalb erklären. Talauswärts schließt sich ein Abschnitt an, der stärker durch die lokale Vergletscherung der Flanke überprägt wurde (••••) und eine vertikale Anordnung der glazigenen Formengemeinschaft zeigt. Die Unterschneidungs- und Akkumulationsformen sind unterhalb des Vorgipfel vertikal angeordnet und ermöglichen die Rekonstruktion einer vorzeitlichen Vergletscherung eines ca. 5500m hohen Einzugsgebietes der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke südlich von Beding. Ein podestförmiger Moränenrest in der Taltiefenlinie dieses Seitentales (◆) belegt ein Aufschieben dieser lokalen Vergletscherung auf die Gletscherzunge im Haupttal in ca. 4100m Höhe.

(*) markiert einen markanten Gefällewechsel in ca. 3800m Höhe, der sich mit ähnlichen Befunden der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke (hier im Bereich des Talausganges des Chhesugolcha Khola) zu einem Niveau glazialer Überprägung des Talquerprofils korrelieren läßt (vgl. **Photo 54**).



Photo 59: Die Aufnahme erfolgte aus ca. 3800m Höhe, der Blick richtet sich in Rolwaling Khola auswärtige Richtung. Die orographisch rechte Rolwaling Khola Flanke ist in diesem westlich von Beding liegenden Talabschnitt großflächig glazial überprägt (◐). Im Bildhintergrund ist der flachere orographisch linke Flankenabschnitt unterhalb des Daldun La (→), **Photo 65**) zu erkennen. Dort ist das Talgefäß des Rolwaling Khola deutlich geweitet. Die orographisch linke Flanke im Bildvordergrund zeigt Schliftgrenzen und glaziale Überarbeitungsspuren bis in ein Niveau, das durch die lokale jüngere Vergletscherung der flankenseitigen Einzugsgebiete beeinflusst ist, d.h. bis in mindestens 4300m Höhe (—).



Photo 60: Der Aufnahmestandort liegt in 3200m Höhe wenige Dekameter talaufwärts der Einmündung des Themlung Khola in das Rolwaling Khola; der Blick richtet sich talaufwärts. Die orographisch rechte Haupttalflanke fällt in diesem Talabschnitt zwischen dem Talboden und ca. 4000m Höhe mit einer mittleren Neigung von 50° ein. Das verspitzt trogförmige Talquerprofil stützt die Annahme einer talfüllenden Gletscherausdehnung in diesem Talabschnitt bis in mindestens 4000m Höhe.



Photo 61: Der mittlere Abschnitt des Chhesugolchha Khola, aus 4150m photographiert (vgl. ergänzend **Photo 62**). Der durch fluviale Morphodynamik zergliederte, mit Lockermaterial ausgekleidete enge Talboden dieses Seitentales geht am Talausgang (→) in ca. 3800m abrupt von einer konkaven zu einer konvexen - hier quasi lockermaterialfreien - Wölbung über. Die das enge Talgefäß einfassenden Flanken sind im Mittel ca. 40° steil und sind halbtrichterförmig angeordnet. Der Gratverlauf liegt zwischen 5300m und 6300m. Der Wölbungswechsel am Talausgang "hängt" ca. 200m über der Tiefenlinie des Haupttales (vgl. hängende Täler in PENCK & BRÜCKNER 1909).



Photo 62: Die Aufnahme ergänzt **Photo 61** und zeigt aus gleicher Höhe (4150m) den "Talschluß" des flacheren Teils des Chhesugolchha Khola, eines orographisch rechten Seitentales des Rolwaling Khola. Die 4400m Isohypse umschließt als obere begrenzende Höhenlinie eine bis ca. 4200m hinabreichende an drei Seiten geschlossene und durch sehr steile Flanken eingefasste, kesselartige Form. Der Boden dieses Kessels ist vollständig mit Lockermaterial (●) bedeckt. Die vegetationsfixierten Schuttkörper, als wesentliche die Oberfläche in diesem Talabschnitt bestimmende Akkumulationsform, werden durch den rezenten Abfluß zerschnitten (vgl. **Abbildung 12**, **Abbildung 13**).

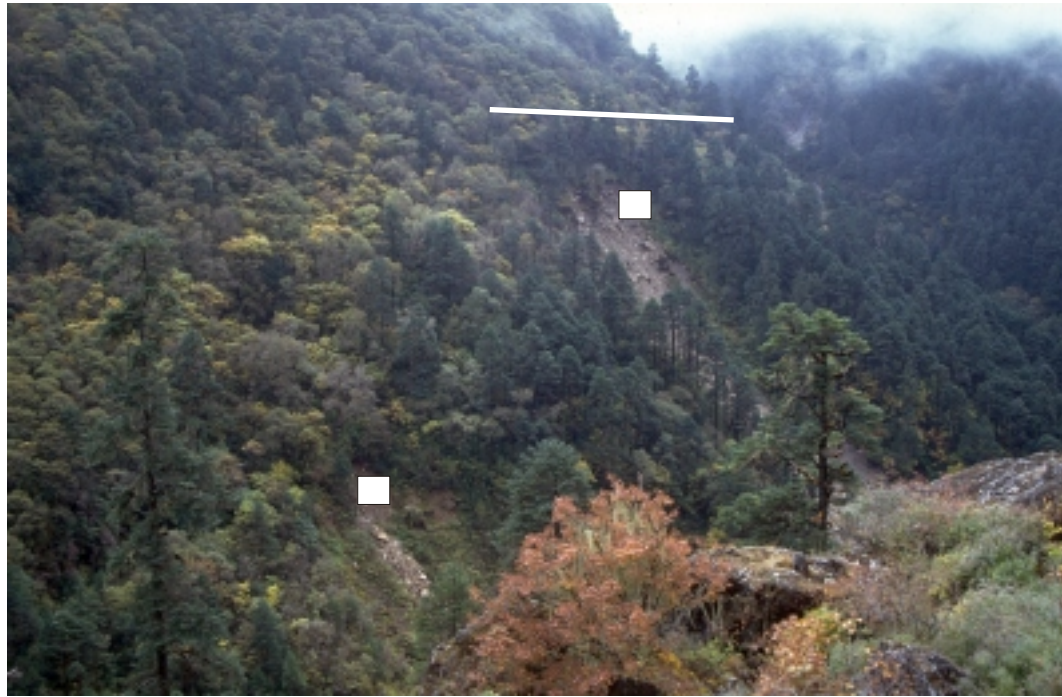


Photo 63: Die Aufnahme zeigt einen Ausschnitt der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke ca. 100m talaufwärts der Einmündung des Themlun Khola. Der Standort liegt in ca. 3250m Höhe, 100m über der rezenten Taltiefenlinie. (■) kennzeichnet aufgeschlossenes moränisches Material. (—) verdeutlicht den Verlauf einer oberen Terrassenkante zwischen 3250m und 3300m, die zum Niveau des Standortes des Betrachters auf einer Terrasse im Anstehenden, die nicht ausschließlich lithologisch zu erklären ist, vermittelt. Am rechten Bildrand ist das in **Photo 27** gezeigte Seitental zu erkennen. Der Aufschluß in **Photo 66** liegt unterhalb an der Einmündung dieses Seitentales.



Photo 64: Die Aufnahme zeigt einen Blick durch das Khare Khola auf den Gaurisankar (7135m). Im Bildmittelgrund ist die orographisch rechte Flanke des Khare Khola zu erkennen. Nördlich des flachen Gipfels (◆) schließt sich das mit Hilfe von **Photo 63** dokumentierte Tal an, das in das Rolwaling Khola mündet und in dem sich bis in mindestens 3600m glazigenes Lockermaterial aufgeschlossen findet. Eine vergleichbare Lockermaterialdecke (■) findet sich an der hier zu sehenden Südabdachung der Flanke. Eine detaillierte morphologische Bearbeitung des Khare Khola steht noch aus. Eine hochglaziale Eisfüllung des Khare Khola, die bis mindestens nach Suri Dobhan (1000m) im Bhote Kosi gereicht hat, kann jedoch aufgrund der Befunde als wahrscheinlich gelten.



Photo 65: Die Aufnahme zeigt Teile der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke ca. 200m taleinwärts des Daldun La (3976m, vgl. (→) in **Photo 59**) und erfolgte aus 3900m, in nordöstliche Richtung blickend. Oberhalb des Daldun La finden sich in ca. 4000m Höhe Grundmoränenreste (■) unterhalb eines 4300m hohen Gipfels (vgl. MEINERS 1999). Eine eindeutige genetische Beziehung des moränischen Materials zu dem Gipfel, der ein potentielles Einzugsgebiet repräsentiert, ist nicht herzustellen, so daß nicht bestimmt von einer lokalen Vergletscherung auszugehen ist. Die Aufnahme zeigt überschleifene, zugerundete Flankenpartien (◐). Die Überprägungsspuren lassen sich über eine mindestens 3km lange Flankenstrecke in der Horizontalen verfolgen. Der höchste Gipfel oberhalb des photographisch dokumentierten Ausschnittes erreicht eine Höhe von 4415 m. Die Befunde sind mit den im Text zu **Photo 1** beschriebenen Belegen zu korrelieren.



Photo 66: Die Genese des aufgeschlossenen Sedimentes in 3100m Höhe ist in zwei wesentliche Phasen zu gliedern. Das Sediment des unteren Abschnittes (unterhalb der (—) Linie) ist als glazigen zu interpretieren, der obere Abschnitt zeigt charakteristische Merkmale fluvialer Überprägung bzw. Sedimentation. Die Blöcke weisen Kantenlängen bis über 3m auf. Abschnittsweise finden sich große Blöcke (◆), die von Schottern oder moränischem Material eingefast sind. Der rezente Abfluß schneidet sich in die verschiedenen Sedimente und in das Anstehende ein. Die Aufnahme entstand zu Beginn des Oktobers 1997, die helleren, nicht vegetationsbesetzten Partien der Schottersohle sind jahreszeitlichen Abflußschwankungen ausgesetzt. Die vertikale Schwankungsbreite des Abflusses liegt in diesem schluchtartigen Talquerprofil nicht über 1m. Der Flechtenbesatz und die Verbreitung höherer Vegetationsformen belegten dies mindestens für die letzten 100 Jahre.



Photo 67: Der Talausgang des Rolwaling Khola, aus 3000m Höhe photographiert. Rechts im Bild die überschiffene orographisch rechte Rolwaling Khola Flanke westlich des Ghodonadi Khola. Im Bildhintergrund ist die rechte Bhoté Kosi Flanke zu erkennen. Das Gipfelniveau der Haupttalflanke sinkt im zu sehenden Abschnitt von 4800m im Norden oberhalb von Lamobagar auf ca. 4000m im Süden (im Bild links) ab. (—) markiert wahrscheinlich glazial und glazifluvial akkumulierte Sedimentreste in ca. 3000m Höhe (vgl. KÖNIG 1999), ebenfalls lassen sich hier für Kamesbildungen (◆) typische Sedimente nachweisen. Die orographisch rechte Rolwaling Khola Flanke ist großflächig glazial überschiffen (▲) (vgl. Photo 68).

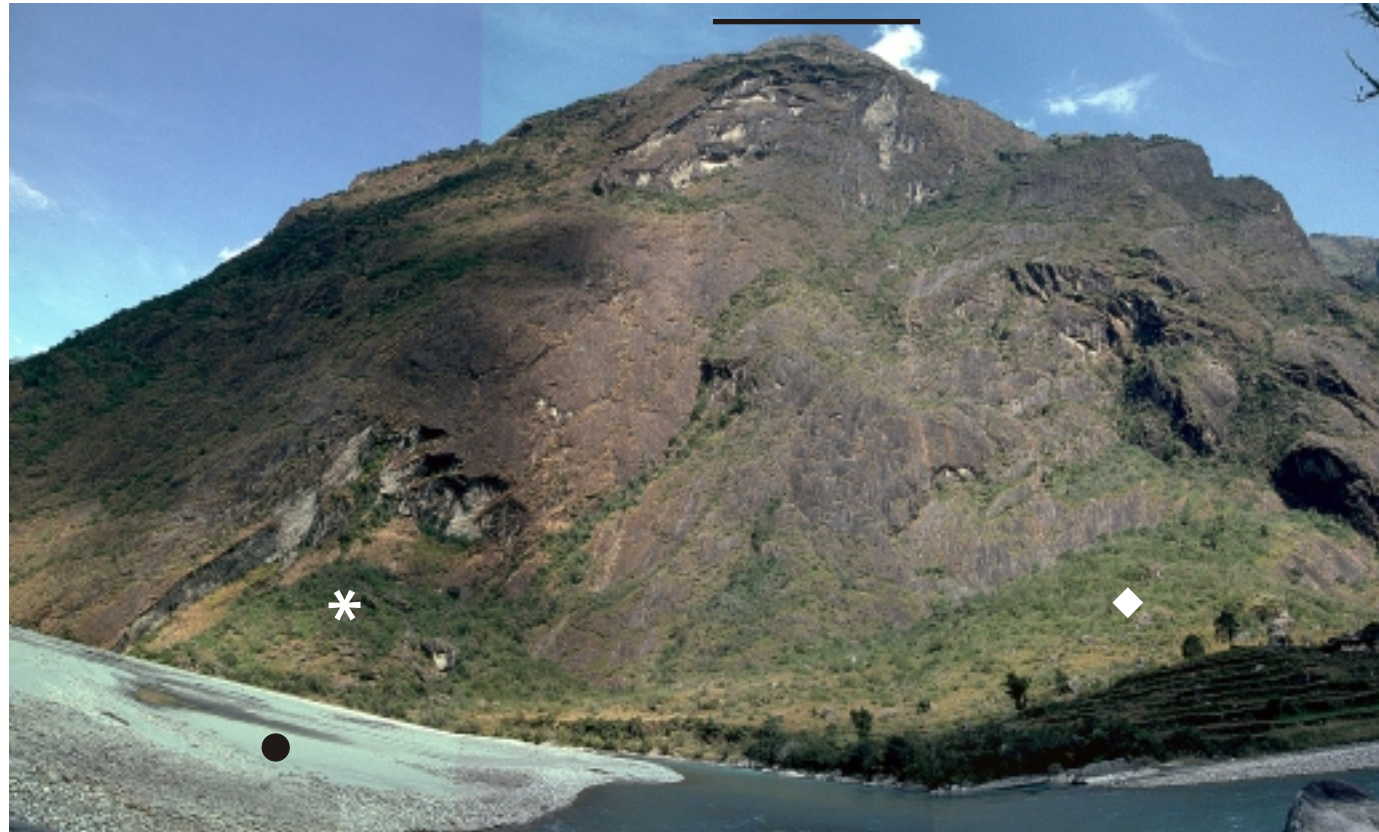


Photo 69: Die orographisch linke Bhote Kosi Flanke oberhalb der Siedlung Lamobagar, photographiert aus 1965m Höhe. Rechts im Bild ist der talaufwärtige Teil einer Bergsturzhalde zu erkennen, die das Bhote Kosi einer Staumauer ähnlich abriegelt. Die einem Schuttkegel ähnliche überprägte Form (◆) auf der orographisch linken Talseite wird als Akkumulation in Folge des Auflaufens des Bergsturzmaterials auf die Flanke verstanden. Talaufwärts der Bergsturzhalde ist das Tal über eine Strecke vom mindestens 1km schotterverfüllt (●). Diese Füllung steht in direkter genetischer Beziehung zu der Bergsturzhalde. Die gut sortierten Schotter erreichen nur selten Größen oberhalb der Fraktion Grobkies.

Die versteilte und weiträumig zugerundete orographisch linke Bhote Kosi Flanke erreicht in diesem Talabschnitt Höhen bis 4100m und leitet zur orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke über (vgl. die entsprechenden Photos, besonders **Photo 1** und HELLMICH 1967: Bild 1). Einzelne Nachbrüche belegen die rezente Morphodynamik bzw. den aktuellen formengebenden Verwitterungsprozeß des anstehenden Festgesteins der Flanke. Aufschlüsse unterhalb frischerer Nachbrüche sind durch ihren großen Anteil an grobem, kantengebrochenem Material, das nicht nennenswert in eine Feinmaterialmatrix eingebettet ist, zu charakterisieren (*) und sind von Aufschlüssen glazialer Genese zu trennen.

Die oberer Grenze der großflächigen, isohypsenparallel angelegten glazialen Überprägung der Flanke liegt oberhalb des mit Hilfe des Bildes dokumentierten Flankenausschnittes, d.h. oberhalb von ca. 3800m (—).



Photo 68: Die Aufnahme zeigt einen Ausschnitt der orographisch rechten Rolwaling Khola Flanke östlich der Ansiedlung Rikhu (→) 2140m). Die Flanke weist im gesamten dokumentierten Bereich zugerundete Formen auf und ist im unteren Talabschnitt, unterhalb von 2600m, gegenüber dem oberen Flankenbereich nochmals versteilt. Die Flanke kann - in Beziehung zu den übrigen Befunden gesetzt - als glazial überprägt interpretiert werden. (◆) markiert Kamesreste an der orographisch rechten Bhote Kosi Flanke in ca. 3000m Höhe, d.h. ca. 1500m über der rezenten Tiefenlinie und über 400m unter der höchsten nachgewiesenen Schlifffgrenze in diesem Talabschnitt.

Ergänzt wird dieses Photo durch **Photo 1**, das den oberen Flankenabschnitt zeigt. **Photo 50** zeigt die sich talauswärts von Rikhu anschließende Klamm.



Photo 70: Das Panorama zeigt die orographisch linke Bhote Kosi Flanke zwischen Salle ((*) 2000m) im Norden und Singali Bazar (920m) im Süden. Rechts im Bild ist die Siedlung Suri Dobhan ((→) in 1000m) nahe der Taltiefenlinie an der Einmündung des Khare Khola in das Bhote Kosi (vgl. **Photo 77**) zu erkennen. Der Aufnahmestandort liegt ca. 1,5 km südlich von Bulung in 2020m Höhe. Die Linie (---) kennzeichnet einen Gletscherpegel, der über die Kombination von Schlifffgrenzen, Dreiecksflächen und Resten von Lockermaterialterrassen wahrscheinlich zu machen ist. Dieses Niveau liegt ca. 150m bis 300m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie und fällt annähernd parallel zu dieser nach talauswärts ein. Abschnittsweise finden sich oberhalb dieses

Pegels Indizien für höhere Eisniveaus (—). Diese ergänzen sich jedoch nicht in gleichem Maße und werden, da es sich um Einzelindikatoren handelt, als zu vage für die Bestimmung eines Eispegels erachtet.

Die Linie (·-·-·) verweist auf Eispegelbefunde aus dem Khare Khola, die ca. 200m über der Tiefenlinie in 1700m Höhe liegen.



Photo 71: Die Aufnahme zeigt das Bhote Kosi nördlich der Einmündung des Rolwaling Khola in das Durchbruchstal vom tibetischen Hochplateau; der Aufnahmestandort liegt in ca. 1950m Höhe an der orographisch linken Rolwaling Khola Flanke nahe der Siedlung Simigaon (2028m, vgl. **Photo 74**).

(→) kennzeichnet die Position der Siedlung Lamobagar (1985m) und den Standort für **Photo 74**. Lamobagar liegt auf einer Bergsturzhalde (◆) (**Photo 72**), die sich talauswärts mit einem deutlichen Gefälleknick vom Talgefälle des Bhote Kosi in diesem Talabschnitt abgrenzt. Talaufwärts dieser Halde schließt sich ein flacher, ca. 1km langer und maximal 500m breiter Talabschnitt an, der genetisch zwingend mit der Schutthalde verknüpft ist (**Photo 69**). Es handelt sich um eine vorwiegend fluviale Füllung des durch die Abriegelung des Tales durch das Bergsturzmaterial entstandenen Beckens. Die markierten Schliffe (◐) und Dreiecksflächen (▲) sind Belege der glazialen Überprägung der orographisch rechten Bhote Kosi Flanke zwischen 3600m und 4200m.



Photo 72: Die Aufnahme zeigt einen Teil des Außenhanges der als Bergsturzhalde interpretierten Wallform nahe der Siedlung Lamo-bagar (1985m) im Bhote Kosi. Es finden sich keine Erratika, der Anteil der sehr großen Blöcke am Gesamtmaterialumfang überwiegt. Die Blöcke sind nicht in eine Feinmaterial-matrix eingebettet. Einzelne Blöcke weisen Kantenlängen von größer 15m auf.



Photo 73: Der Blick aus 3000m Höhe in nördliche Richtung in das Ghodonadi Khola, einem rechten Seitental des Rolwaling Khola. Das südsüdwestlichexponierte Talgefäß erreicht eine mittlere Einzugsgebietshöhe von 5500m. Der höchste Gipfel, der Godchadi, ist 6001m hoch.

Der annähernd kegelförmige Gipfel oberhalb des Talausganges erreicht eine Höhe von 4725m - der talaufwärts die gegenüberliegende Flanke des Ghodonadi Khola am Talausgang überragende Gipfel ist 4454m hoch (über der (—) Linie). Der Gipfelaufbau ist durch einen markanten Gefälleknick vom unteren Abschnitt der Flanke getrennt (vgl. **Photo 1**, das Teile des Einzugsgebietes und des glockenförmigen Gipfels aus anderer Perspektive zeigt.). Die Linie (—) in ca. 4000m Höhe markiert diese Gefälleveränderung über den Talausgang des Ghodonadi Khola hinaus, sowohl talauf- als talauswärts im Rolwaling Khola. Deutlich zu erkennen ist der morphologisch prägende Einfluß der lokalen Vergletscherung (entlang der Pfeilrichtung (→)) mit eher vertikaler Orientierung im oberen Talabschnitt bis etwa 3500m herab.



Photo 74: Von der Siedlung Lamobagar (1985m) richtet sich der Blick talauswärts, d.h. in südliche Richtung. Im Bildmittelgrund ist das Kloster der Siedlung Simigaon zu erkennen ((→) in 2028m), unterhalb des Klosters die Klamm am Talausgang des Rolwaling Khola. Die Taltiefenlinie des Bhote Kosi liegt unterhalb der Klamm in 1450m Höhe. Rechts im Bild die bis weit über das sichtbare Niveau glazial überprägte Flanke des Bhote Kosi (vgl. **Photo 69**). Die Siedlung Simigaon (zwischen 2028m und 1800m) liegt auf einem vorspringenden Rücken zwischen dem sich östlich anschließenden Rolwaling Khola und einem kleinen Seitental der Bhote Kosi Ostabdachung. U.a. finden sich in exponierter Lage auf dem Rücken bisweilen mächtige Lockermaterialpakete, deren Sedimentation mit Hilfe eines rezent in diesem Bereich wirksamen Prozesses nicht erklärt werden kann. Das Material kann als glazifluvial bzw. kamesartig angesprochen werden und ist mit hoher Wahrscheinlichkeit in Beziehung zu einer posthochglazialen Rückzugsphase der Vergletscherung des Bhote Kosi und des Rolwaling Khola zu setzen.

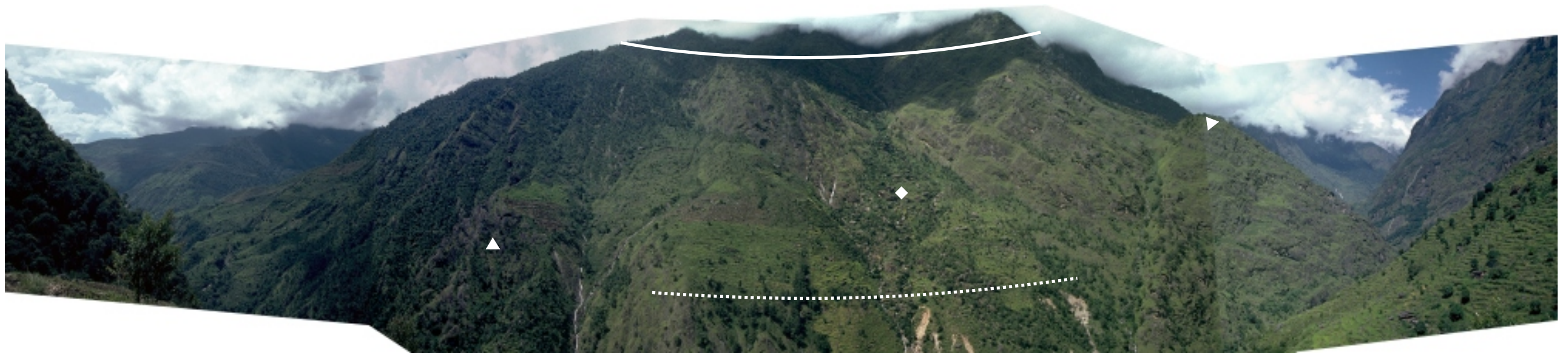


Photo 75: Der Aufnahmestandort liegt in ca. 1750m Höhe unterhalb der Siedlung Simigaon im Bhote Kosi. Die orographisch rechte Bhote Kosi Flanke zwischen Lamobagar und Gongar (1580m) ist gekennzeichnet durch mindestens zwei Niveaus glazialer Überprägung ((—) in ca. 4000m und (••••) in ca. 1700m Höhe) (vgl. **Abbildung 17, Abbildung 19, Abbildung 22**). Dreieckige Erosionflächen (▲) der anstehenden Flanke stützen diese Interpretation. In einzelnen erosionsgeschützten Nischen finden sich Reste einer Grundmoränenverkleidung

diese Flankenabschnittes. (◆) markiert eine Bergsturzhalde, deren Sediment von glazigenem bzw. glazifluvialem Material gut zu unterscheiden ist.



Photo 76: Die Aufnahme zeigt einen Aufschluß bei Jagat (1314 m). Der Feinboden wurde hinsichtlich der Korngrößenverteilung analysiert. Das Ergebnis ist in **Abbildung 20** dargestellt. Der Wanderstock kann als Größenvergleich dienen: zwischen den beiden Markierungen liegen ca. 15cm (→).

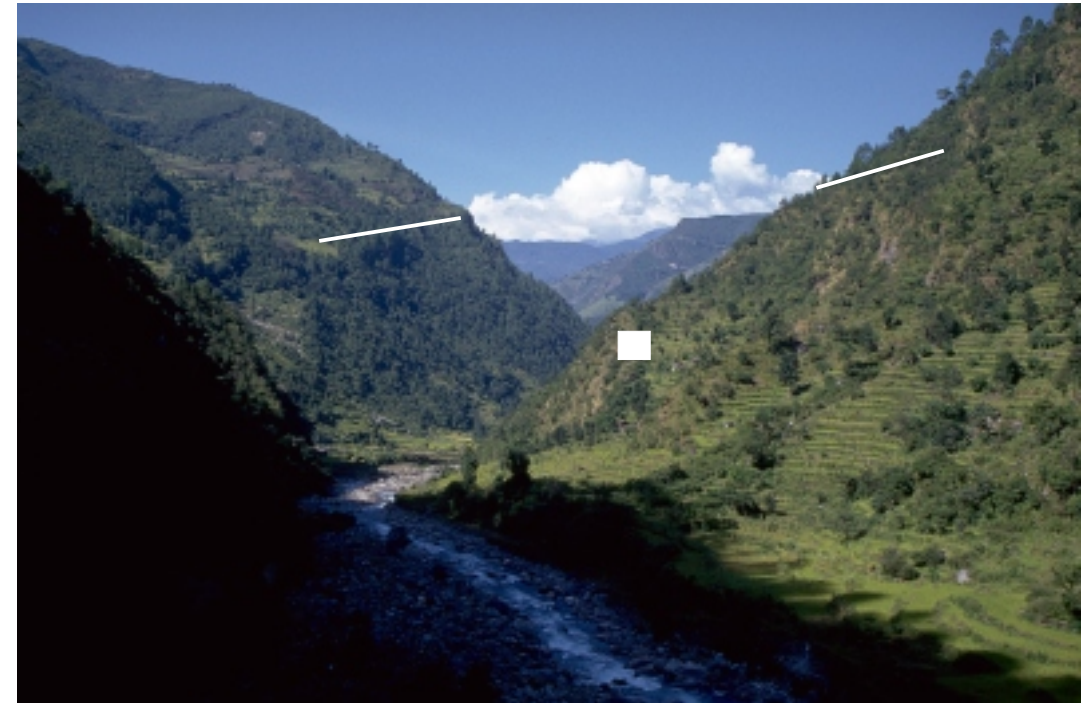


Photo 77: Die Aufnahme zeigt den unteren Teil des Khare Khola nahe der Siedlung Suri Dobhan am Talausgang des Khare Khola in ca. 1000m. Der Blick richtet sich nach talauswärts. Neben mächtigen Lockermaterialpaketen (■) fallen insbesondere Gefälleveränderungen an beiden Flankenseiten auf, die im Anstehenden angelegt sind und zu einem gemeinsamen Niveau vermitteln (—), bis ca. 200m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie, vgl. **Photo 70**).



Photo 78: Der Standort des Betrachters liegt etwa auf halber Strecke zwischen Jagat und Suri Dobhan ca. 20m oberhalb der Taltiefenlinie des Bhote Kosi in 1230m (zwischen Patobu und Tatopani). Der Blick richtet sich auf die orographisch linke Talflanke. In der Bildmitte ist ein aus einer Lockermaterialdecke herausragender Felsvorsprung zu erkennen, der durch Spülformen (●) auffällt, die eine dem Haupttalgefälle folgende Wasserbewegung wahrscheinlich machen. Diese Spülformen liegen ca. 40m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie. Neben anstehenden Festgesteinspartien finden sich im gezeigten Ausschnitt auch Blöcke mit Kantenlängen über 3m. Die Position der Spülformen liegt im unteren Drittel einer Großform, die sich vom Flankengefälle der zurückliegenden Flanke durch eine schmale Tiefenlinie abgrenzt. Diese ca. 400m lange, als gestreckter Rücken zu beschreibende Form ist ca. 200m hoch und insbesondere in den flacheren "Gipfelbereichen" großflächig mit Lockersediment bedeckt und ist aufgrund der genannten Eigenschaften als Indiz für die Vergletscherung dieses Talabschnittes zu bewerten (**Photo 79**).



Photo 79: Die Aufnahme erfolgte aus ca. 1200m Höhe nahe der Tiefenlinie des Bhote Kosi, zwischen Suri Dobhan und Jagat stehend. Bei dem ca. 200m hohen und 400m langen Rücken handelt es sich um eine überschiffene, abschnittsweise mit Moräne (■) verkleidete Festgesteinsform, an deren der Tiefenlinie zugewandten Seite sich glazifluviale Spülformen finden (**Photo 78**).



Photo 80: Die Aufnahme entstand ca. 1km nördlich der Siedlung Suri Dobhan, von der orographisch linken Bhote Kosi Flanke auf die gegenüberliegende Talseite blickend. Der Block (◆) liegt ca. 20 Höhenmeter oberhalb der rezenten Taltiefenlinie. Das Feinmaterial unterhalb des Blockes wurde beprobt, das Ergebnis der Korngrößenanalyse zeigt **Abbildung 21**. Der Block ist erratisch, das heißt, in diesem Talabschnitt steht das entsprechende Gestein nicht an. Unterhalb des Blockes finden sich kleinere, teilweise kantengebrochene, teilweise kantengerundete Blöcke, die regellos in eine Feinmaterialmatrix eingebettet sind (**Photo 81**).



Photo 81: Der Aufschluß ca. 20m oberhalb der Taltiefenlinie des Bhote Kosi in 1000m Höhe nördlich der Siedlung Suri Dobhan belegt erratische, in eine Feinmaterialmatrix eingebettete Blöcke (vgl. **Abbildung 21**, **Photo 80**).



Photo 82: Der Schuttkegel liegt ca. 100m oberhalb der Taltiefenlinie des Bhote Kosi, 800m südlich von Suri Dobhan (1000m). Aufgeschlossen ist das in diesem Talabschnitt anstehende metamorphe Sedimentgestein (◆). Unterhalb der Abruchkante hat sich ein kleiner Schuttkegel (*) gebildet, der sich hinsichtlich der Korngrößenverteilung und Materialzusammensetzung deutlich von den Aufschlüssen differenzieren läßt, die mit Hilfe von **Photo 57**, **Photo 63** und **Photo 83** dokumentiert worden sind. Das Material des im Bild zu erkennenden Schuttkegels entstammt ausschließlich dem Abbruchbereich des lokal Anstehenden. Der Schuttkegel legt sich über erratische Blöcke, die am unteren Bildrand zu erkennen sind.



Photo 83: Der Aufschluß unterhalb der orographisch linken Bhote Kosi Flanke zwischen Suri Dobhan und Singali Bazar zeigt neben den plattigen, eckigen Komponenten des oberhalb am Hang anstehenden Gesteines einen sehr großen Anteil an kantengerundeten, teils facettierten Blöcken verschiedener Ausgangsgesteine, denen ein flankenseitiges Einzugsgebiet fehlt. Die Blöcke sind in feineres Material eingebettet, das die Fraktionen Ton bis Kies umgreift. Morphologisch ist die Lokalität, in die die aufschlußbildende Rinne eingeschnitten ist, als flacher Terrassenrest zu beschreiben, dessen First ca. 50m über die Tiefenlinie hinausragt. Die erratischen Komponenten können als glazial aufbereitet verstanden werden. Die glaziale Sedimentation in dieser Position ist jedoch nicht zwingend aus der Geländesituation abzuleiten. In Kombination mit den übrigen Befunden jedoch wahrscheinlich.



Photo 84: Die Aufnahme erfolgte aus 950m Höhe, auf die rechte Bhote Kosi Flanke ca. 300m nördlich von Singali Bazar (920m) blickend. Der Aufschluß gliedert sich in mehrere Hauptabschnitte. Links unten im Bild ist das Anstehende (▲) zu erkennen, in das sich der Fluß abschnittsweise einschneidet. Neben der rezenten Schottersohle ist ein Bereich periodischer Überflutung (●) zu erkennen, der mit einer rechtwinkligen Erosionskante zu einer älteren Schotterflur überleitet. Das wenig sortierte Material dieser Schotterflur zeigt trotzdem die Tendenz, nach talauswärts leicht einzufallen. Die Oberfläche der folgenden hangenden Schicht zeigt zwar ein deutliches talaufwärtiges Einfallen; dies manifestiert sich jedoch nicht in der Lagerung der größeren Komponenten dieser Schicht, so daß in diesem Fall die Morphologie der Oberfläche nicht in bezug zur Sedimentationsform gesetzt werden kann. Diese ca. 15m mächtige Schicht setzt sich zum überwiegenden Teil aus den Fraktionen Sand bis Feinkies zusammen - größere Blöcke entsprechen petrographisch dem in diesem Talabschnitt anstehenden Festgestein. Der Aufschluß befindet sich nicht im direkten Einzugsgebiet eines Seitentales.

Aufschlußbereiche, deren Flächen im rechten Winkel zur Tiefenlinie liegen, zeigen keine zur Taltiefenlinie hin einfallende Schichtung oder Materialsortierung.



Photo 85: 50m talaufwärts von Singali Bazar (920m) schließt der Bhote Kosi einen Schuttkegel aus einem orographisch linken Seitental auf. Die Taltiefenlinie verläuft hier in 920m Höhe. Die petrographische Zusammensetzung, die Sortierung und partielle Schichtung des aufgeschlossenen Materials legen den Schluß nahe, daß das Material glazial aufbereitet wurde bzw. aus einem glazigenen oder glazifluvialen Sediment hervorging und im folgenden durch ein Gemisch aus fluvialer Morphodynamik und gravitativer Massenselbstbewegung sedimentiert wurde.

Photo 86: Die Aufnahme ergänzt **Photo 85** und zeigt einen benachbarten Ausschnitt (ca. 2m weiter talauswärts) des selben Aufschlusses.



Photo 87: Der Talausgang des von orographisch links in das Bhote Kosi einmündende Jhyanku Khola. SCHELLING (1988) weist auf einen in Abhängigkeit von hohen monsunalen Niederschlägen 1985 abgehenden mudflow hin. Die Sedimente dieses Ereignisses ((◆), in 880m) riegelten den Abfluß des Haupttales ab und stauten den Fluß bis wenige Dekameter südlich der Ortschaft Singali Bazar (920m) auf, d.h. bis in ca. 920m. Die breite, tiefenliniennahe Schotterflur (●) des Bhote Kosi zwischen Singali Bazar und dem Jhyanku Khola ist partiell genetisch an diese Aufstauung des Bhote Kosi gebunden. Abgesehen von dem mudflow-Fächer, der dem Talausgang vorgelagert ist, finden sich 10m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie keine morphologischen und sedimentologischen Hinweise, die auf eine Formungswirksamkeit des mudflow deuten. Die im Bild zu erkennenden Baumbestände sind deutlich älter als 12 Jahre und sind somit von dem Einzelereignis aus dem Jahr 1985 nicht erheblich tangiert worden, so daß die Formungswirksamkeit derartiger singulärer Ereignisse insbesondere hinsichtlich der Abtragungsformen nicht überschätzt werden sollte (vgl. VUICHARD u. ZIMMERMANN 1987, CENDRELLI u. WOHL 2001).

Der Aufschluß bei Singali Bazar (**Photo 85**) ist in keinen genetischen Zusammenhang mit dem mudflow zu stellen.



Photo 88: Das untere Bhote Kosi, aus ca. 1320m photographiert. Die Einmündung des Jhyanku Khola (**Photo 87**) in ca. 880m Höhe ist im Bild zu erkennen. Das in dieser Arbeit rekonstruierte Gletscherende der hochglazialen Vergletscherung des Rolwaling Khola und Bhote Kosi reichte bis ca. zur Einmündung des Jhyanku Khola herab. Talauswärts dieser Talkonfluenz und oberhalb am Hang finden sich Indizien, die eine weitere Gletscherausdehnung induzieren und noch genauer zu untersuchen sind. Hierbei erscheinen dem Autor insbesondere Sedimentpakete (■) im Bereich der Talausgänge der Nebentäler des Bhote Kosi von Bedeutung, die u.U. als Kamesreste zu interpretieren sind.



Photo 89: Die Aufnahme erfolgt aus 4560m Höhe und zeigt ein Panorama über die Alm Ramdan. Dieser Moränenkomplex liegt im Bereich der historischen Zungenenden des Kangchenjunga, des Ramdan und des Merra Gletschers. Der Talboden im Bereich der Alm ist stark zergliedert. Neben glazialen Akkumulationsformen (■) finden sich glazifluviale Sedimente (●) und fluvialerosive Erosionsrinnen in vorwiegend glazigenem Substrat. An beiden Talflanken des Ghunsa Khola finden sich zudem Moränenverkleidungen (◆), die morphologisch rezent als Schuttkegel bzw. Schuttzuschürzen in Erscheinung treten. Das Einsetzen der Schuttkegel läßt sich zu einem Niveau vermitteln (—), daß ca. 200m bis 300m über der Tiefenlinie liegt. Im Bildhintergrund ist die bis

über 5900m hochglazial eisüberflossene orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke zwischen Pangpema und Lhonak zu erkennen. Der dementsprechende Eispegel oberhalb des Standortes des Betrachters dürfte in mindestens 5400m gelegen haben, d.h. ca. 1000m über der rezenten Tiefenlinie; der entsprechende Gletscher war vermutlich deutlich mächtiger, da die historische Talfüllung fehlte, wie die Befunde aus tieferen Talabschnitten belegen. (→) markiert die Position der mit Hilfe von **Photo 117** dokumentierten Flankenschliffe in einem Seitental des Ghunsa Khola.



Photo 90: Aus ca. 4800m richtet sich der Blick in südöstliche Richtung auf die Konfluenz von Ghunsa Khola und Ramdan Tal. Am linken Bildrand ist der Kanbachen ((1) 7902m, die Wand unterhalb des Gipfels ist oberhalb der 6000m Isohypse im Mittel 50° steil) zu sehen, der höchste Gipfel des Einzugsgebietes des Ramdan Gletschers. Das rezente Ende dieses Gletschers erreicht das Haupttal nicht mehr (→). Im Bildvordergrund ist ein historischer Moränenkomplex als Mischform der Laterofrontalmoränen des Kangchenjunga-, des Ramdan-(◆) und Merra Peak Gletschers (▲) zu erkennen. Die regenerierte Gletscherzunge unterhalb des Merra Kares reicht rezent am tiefsten herab. Talaufwärts des Außenhangs der historischen Merra Moräne haben sich im historischen

Zungenbecken des Ramdan Gletschers fluviale Ausgleichsflächen (●) gebildet, die durch den rezenten Abfluß zerschnitten werden. Die Merramoräne scheint in diesem Abschnitt etwas jünger zu sein und überprägt dabei die Moränen der größeren Gletscher. Dies wird als Folge des unterschiedlichen Gletschertyps verständlich. Im Bild links neben dem Merra Peak (2) ist der 7460m hohe östliche Eckpfeiler des Khumbarkarna (3) Gipfelgrates zu erkennen.



Photo 91: Der Talschluß des Khumbarkarna Tales aus 4670m Höhe in östliche Richtung blickend photographiert. Der Gipfel links im Bild ist 6808m hoch - im Bildhintergrund ist der 8km entfernte Kanbachengipfel zu erkennen (7902 m), der nicht dem Einzugsgebiet des rezenten Khumbarkarna Gletschers zuzuordnen ist. Die Kanbachen Nordwest-Flanke bildet einen Teil des Einzugsgebietes des Ramdan Gletschers (**Photo 90**).

Die schuttbedeckte Ablationszunge des Khumbarkarna Gletschers steigt zwischen dem Standort des Betrachters und dem Wandfuß im Bildmittelgrund von 4630m auf ca. 5300m an. Die Gletscherernährung erfolgt fast ausschließlich über Eislawinen aus der steilen Flankeneinfassung des Gletschers, die in weiten Bereichen oberhalb der 5200m Isohypse mit einer Neigung von ca. 50° bis 60° einfällt (vgl. **Photo 93**). Orographisch rechts sind Ufermoränenstufen (—) zu erkennen, die einem historischen Gletscherstand der Südabdachung des Merra Gletschers zuzuordnen sind. Dieser erreicht aktuell die Khumbarkarna Gletscherzunge nicht und endet in ca. 4750m. Die mittlere Einzugsgebietshöhe beträgt ca. 6300m.

Die Moränenstufen ((••••),(•—•)) im Bildvordergrund gliedern das vorzeitliche Vorstoßen des Khumbarkarna Gletschers in zwei Phasen. Der Höhenunterschied zwischen den Ufermoränenfirsten beträgt ca. 20m bis 30m. Die näher zum Gletscher liegende Lateralmoräne ist dabei etwas höher, der entsprechende Gletscher war etwas schmaler. Der Vergleich der aus den Ufermoränen zu rekonstruierenden Morphologie der vorzeitlichen Gletscherzungen erlaubt über die überschlagsmäßige Berechnung der Schneegrenzen die Aussage, daß die Schneegrenzabsenkung, die erforderlich war, um die verschiedenen Lateralmoränen entstehen zu lassen, annähernd gleich war.

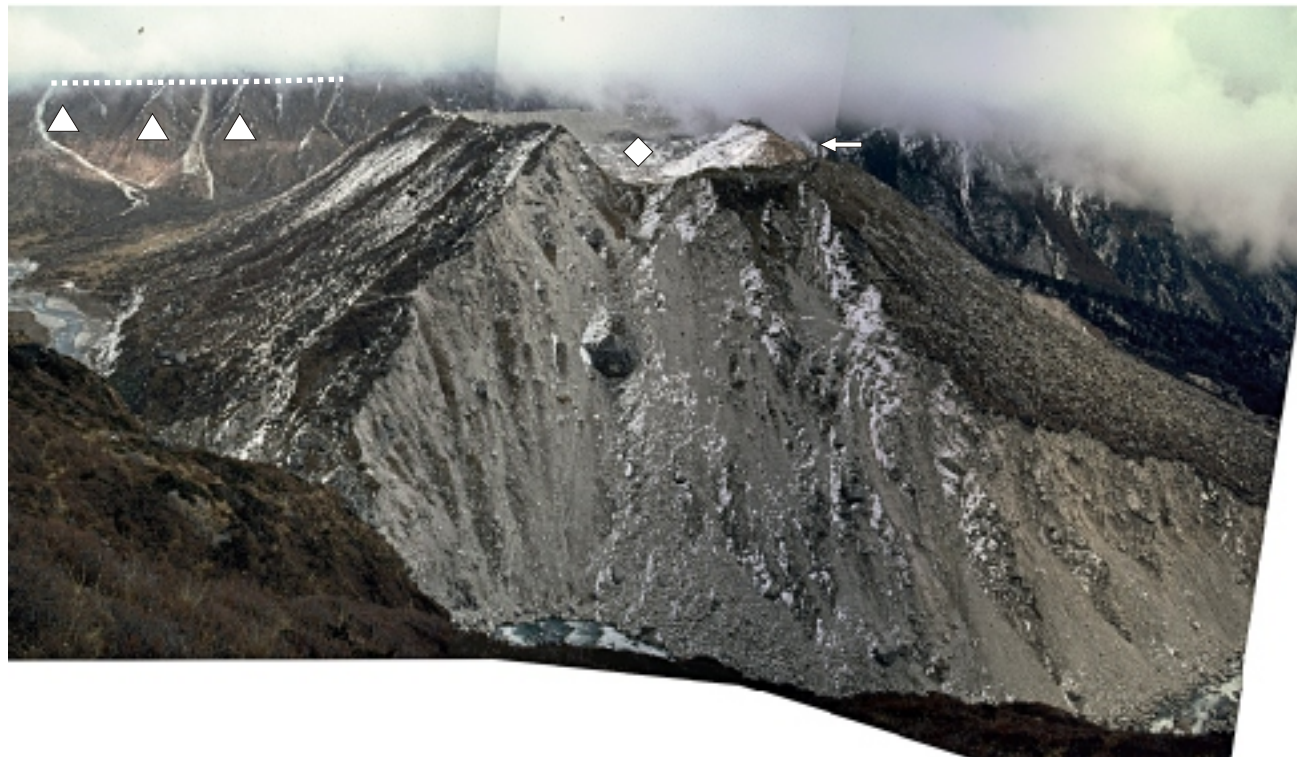


Photo 92: Das rezente Gletscherende des Khumbarkarna Gletschers liegt eingesunken unter dem Niveau einer historischen Zungenbeckeneinfassung in ca. 4150m (◆).

Die Aufnahme erfolgt aus 4250m von der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke ca. 1,1km südlich der Siedlung Kanbachen (4080m). Der Ufermoränenaußenhang der Khumbarkarna Gletscher Laterofrontalmoräne wird, da die Form quer zur Haupttalrichtung liegt, vom rezenten Abfluß des Ghunsa Khola unterschritten. Die Zungenbeckeneinfassung wird in diesem (Endmoränen-)Bereich nicht durch das Schmelzwasser des Khumbarkarna Gletschers durchbrochen. Dieses fließt seitlich ab ((→), **Photo 114**). Der First dieser historischen Endmoräne ragt ca. 200m über der rezenten Taltiefenlinie (4050m) auf. Der typische Aufschluß moränischen Sedimentes ist gekennzeichnet durch große Blöcke, die in eine tonhaltige Feinmaterialmatrix eingebettet sind.

Der Firstverlauf der Laterofrontalmoräne ist für den Abschnitt der orographisch rechten Seite, über den Endmoränenbereich bis hin zum Abflußdurchbruch auf der orographisch linken Seite, hinsichtlich des Gefälles gleichsinnig und relativ geschlossen. Dieser gleichsinnige Firstverlauf zeigt, daß die Form in situ entstanden ist und nicht als Unterschneidungsform einer talauswärtigeren Eisrandlage zu interpretieren ist (vgl. **Photo 130**). Links im Bild dokumentieren Dreieckshänge (▲) ein Niveau glazialer Überprägung (••••) der Haupttalflanke in ca. 4100m bis 4200m Höhe (vgl. **Photo 120**).



Photo 93: Aus 4750m richtet sich der Blick, dem Talverlauf des Nupchu Khola folgend, in südöstliche Richtung auf einen Teil des Einzugsgebietes des Khumbarkarna Gletschers. Die Flanken des 7711m hohe Khumbarkarna (1) bilden Teile der Einzugsgebietes des Khumbarkarna Gletschers, des Yamatri Gletschers und des Yalung Gletschers im Simbua Khola. Im Bildmittelgrund ist die rezente Gletscherzunge des Khumbarkarna Gletschers (◆) zu erkennen. Die schuttbedeckte Eisoberfläche ist deutlich unter das Niveau der historischen Laterofrontalmoräne eingesunken und liegt hier in ca. 4200m Höhe. Die großflächig eisfreie Khumbarkarna Nordwand (*) erreicht zwischen der rezente Gletscheroberfläche und dem Gipfelgrat bei einer Vertikalen von maximal 2800m mittlere Neigungen von bis zu 64°. Flankenpartien mit 90° Neigung sind nicht selten (vgl. **Photo 91** und **Photo 125**).

Die Schotterflächen (●) im Bildvordergrund sind als glazifluviale Schotter der historischen Vergletscherung des Talschlusses des Nupchu Khola zu interpretieren (**Photo 94**), die eine Satzendoränenlandschaft überprägen, deren talauswärtige Begrenzung in ca. 4600m liegt.

Die Oberkante eines hochglazialen Eisstromnetzes müßte über der Haupttaltiefenlinie mindestens im Niveau des Standortes des Betrachters gelegen haben. Dies entspräche einer Eismächtigkeit von mindestens ca. 1100m.

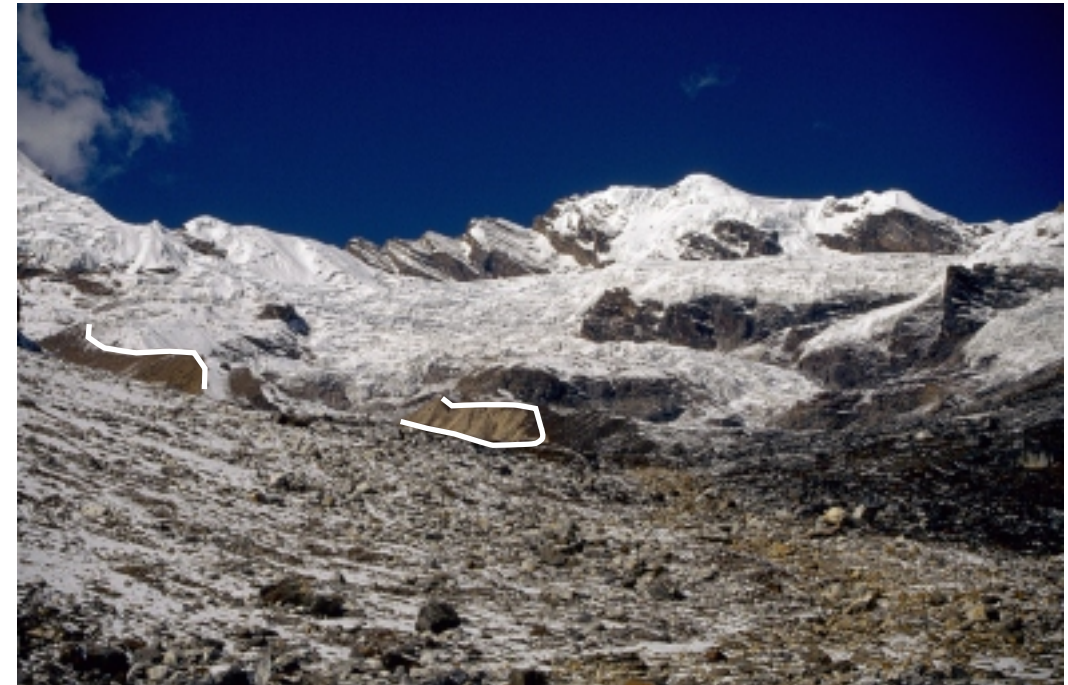


Photo 94: Den Talschluß des Nupchu Khola bildet eine im Mittel nur knapp über 6000m hohe vergletscherte Kette. Die Aufnahme erfolgte aus ca. 4800m, ca. 200m bis 400m unterhalb der rezente Gletscherenden stehend. Der ca. 8km² große flachlagernde Gletscher erstreckt sich auf einer horizontalen Strecke von im Mittel 2km über eine Vertikaldistanz von ca. 800m bis 900m (auf der Basis der mittleren Einzugsgebietshöhe). Die mittlere Schneegrenze für dieses südexponierte Gebiet liegt in 5500m Höhe. Deutlich zu erkennen sind Reste historischer Zungenbeckeneinfassungen (—), die entsprechende Eisrandlagen zwischen ca. 4700m und 4800m und eine Schneegrenzabsenkung gegenüber heute von ca. 100 Höhenmetern belegen (vgl. **Photo 93** und **Photo 123**).



Photo 95: Das rezente Gletscherende des Yamatri Gletschers in ca. 4250m (◆). Die schuttbedeckte Ablationszunge des Gletschers wird eingefaßt von Dekameter über die Gletscheroberfläche aufragenden Ufermoränen eines historischen Gletschervorstoßes. Die talauswärtige Begrenzung dieses Zungenbeckens liegt ca. 1,2km auswärts des Standortes in 3960m Höhe (**Photo 146**). Das rezente Einzugsgebiet ist im Mittel 6300m hoch.



Photo 96: Das Photo zeigt die vier Gipfel des Kangchenjunga, aus südsüdwestlicher Position photographiert. Der Aufnahmestandort liegt in 4640m Höhe auf der orographisch rechten historischen Ufermoräne des Yalung Gletschers. Von rechts nach links im Bild sind die Kangchenjungagipfel 8476 m, 8473 m, 8586m (1) und 8506m hoch. Etwas abgesetzt schließt sich der vergletscherte Gipfelaufbau des 7902m hohen Kanbachen (2) an. Große Teile der Kangchenjungawand oberhalb von 7700m sind annähernd eisfrei. Dies ist nicht nur abhängig von der extremen Steilheit dieses Flankenabschnitts, sondern trägt insbesondere den niedrigen Temperaturen und hohen Windgeschwindigkeiten in dieser Höhenstufe Rechnung. Der Einfluß dieses Teiles des Gletschereinzugsgebietes auf die Lage des Eisrandes des Gletschers ist als gering zu erachten.

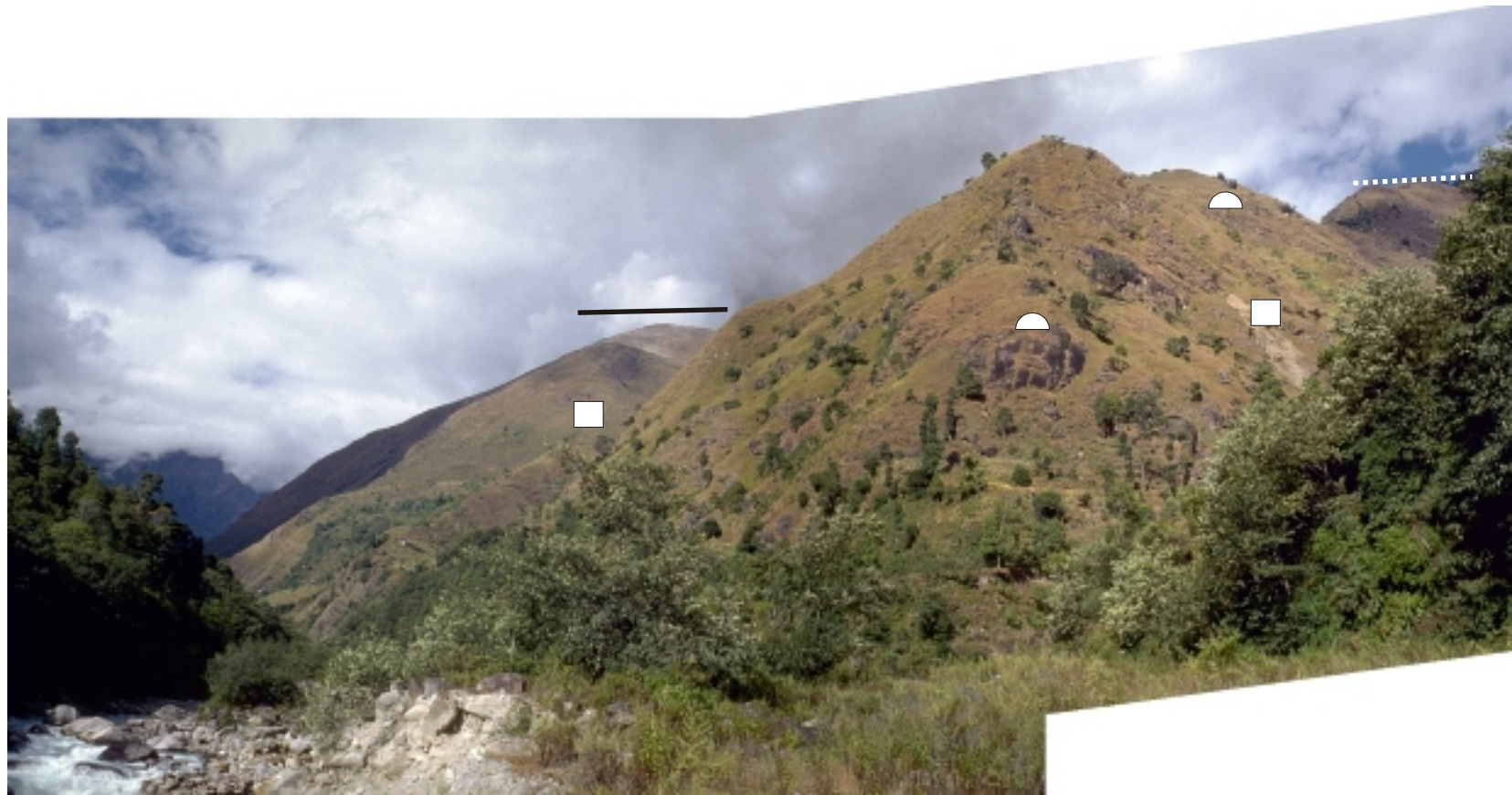


Photo 97: Das Photo zeigt den talauswärtigsten Teil des Kammes, der das Ghunsa Khola vom Simbua Khola trennt. Der Standort liegt in 1550m im Tamur Khola nahe der Siedlung Hellok, der Blick ist talaufwärts gerichtet (vgl. **Photo 148**). Im linken Bildhintergrund ist ein Teil der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke zu erkennen. Der zugerundete konvexe Rücken weist in allen Höhenabschnitten Spuren glazialer Überprägung (◐) auf. Die weichen, konvexen Formen heben sich scharf von den scharfkantigen Formen der höheren Einzugsbereiche des gleichen Gesteinsmaterials ab. Der Wechsel zwischen dem steileren Flankengefälle und dem Kamm dieses "Rückens" setzt in ca. 1800m ein (⋯⋯). Der sich talauswärts anschließende kuppige Gipfel ist ca. 2000m hoch und kann als eisüberflossen interpretiert werden - ein Hinweis auf eine obere Grenze des Eispegels (—) fehlt hier demzufolge. Die Eispegelbefunde für das obere Simbua Khola und das Ghunsa Khola stützen diese Interpretation. An den Flanken sind in einigen Abschnitten Reste einer Grundmoränenverkleidung des Tales zu finden (■).



Photo 98: Die Aufnahme zeigt das Gletscherende des Yalung Gletschers im Simbua Khola. Der rezente Gletscher endet in 4250m Höhe (◆), eingefasst von einer stark gegliederten Endmoräne, die sich podestförmig auf den Talboden gelegt hat (**Photo 149** zeigt den Talabschnitt von der gegenüberliegenden Talseite). Die derzeit aktivsten, tief in den Moränenfirst eingeschnittenen Abflußrinnen des Gletscherschmelzwassers sind deutlich an dem frisch aufgeschlossenen Material zu erkennen (■). Zwischen den beiden rezenten Abflußwegen belegt ein tiefer Einschnitt eine ältere Abflußbahn (→). Der Fuß der Endmoräne (*) liegt in ca. 4120m. Der ältere, tiefere Einschnitt ist nicht zwingend einer talauswärtigeren Lage der Gletscherzunge zuzuordnen. Die Blockmeerfläche unterhalb der höchsten talauswärtigen Firstkante der Endmoräne spricht für die flächige Auswaschung des Lockermaterials der Endmoräne zu einem Zeitpunkt, als der Gletscher an der Firstkante angelegen hat. Der rezente Abfluß des Gletschers und des orographisch linken Ufermoränentales unterschneiden den Fuß der Endmoräne in bescheidenem Umfang - die aktuelle Erosionskante ist kaum 2m hoch.

Am rechten Bildrand ist oberhalb des Talausganges eines kleinen Seitentales ein Terrassenrest (—) zu erkennen, der sich talaufwärts im orographisch linken Ufermoränental weiterverfolgen läßt, hier jedoch von der aktuellen Schuttkegelgenese überprägt wird. Diese wahrscheinlich glazifluvial akkumulierten Terrassen sind als Reste einer vorzeitlichen Füllung des orographisch linken Ufermoränentales zu interpretieren und in einen direkten sedimentologischen Zusammenhang mit der Vergletscherung der orographisch linken Simbua Khola Flanke oberhalb des rezenten Gletscherendes des Yalung Gletschers zu stellen (**Photo 99**, **Photo 152**).



Photo 99: Das Panorama zeigt einen Ausschnitt der orographisch linken Simbua Khola Flanke talauswärts des Rathon (6682m).

Das Gletscherende des West Rathon Gletschers (1) erreicht den Yalung Gletscher (im Bildvordergrund) nicht. Die Konfluenz der Täler liegt in ca. 4600m. Neben der historischen Zungenbeckeneinfassung des Rathon Gletschers (••••) sind die ebenfalls historische Laterofrontalmoräne des Kokthan Gletschers (—) und dessen rezentes Ende (2) zu sehen (Kokthan 6148m). Dieser endet einige Dekameter vor der Talkonfluenz. Die historische Moräne wird durch das Zungenbecken des Yalung Gletschers unterschritten. In historischer Zeit bestand keine Verbindung der Gletscherteilströme.

Die sich talauswärts anschließende Flanke erreicht eine Höhe von 5500m bis 5300m im gezeigten Ausschnitt. Rezent sind nur die Gipfel über 5400m vergletschert. Grundmoränen- (■), Podestmoränen-(▲) und Ufermoränenreste (◆) liefern Hinweise auf eine lokale Vergletscherung der Flanke bis in das Niveau der Yalung Gletscheroberfläche, d.h. bis auf ca. 4500m. Die Orientierung dieser Formen ist vornehmlich vertikal, demgegenüber stehen Formen, die eine quasi horizontale Formungstätigkeit belegen. Besonders markant sind die dreieckig herausgearbeiteten Hänge zwischen den Talausgängen der Nebentäler. Die erhaltene obere Begrenzung dieser Formen liegt in ca. 5200m bis 5000m - talauswärts einfallend.



Photo 100: Der Konfluenzbereich zweier Gletscherteilströme des Kangchenjunga Gletschers, aus 5200m von der rechten Talseite des Ghunsa Khola nahe Pangpema photographiert. Der walfischrückenförmige Vorberg (◆) ist 5960m hoch und kann als LGM zeitlich überschiffen interpretiert werden (**Photo 11**, KUHLE 1990:Fig. 1). Dies korrespondiert mit Schlifffgrenzen und Dreiecksflanken unterhalb des exponierten Nepal Peaks in ca. 6000m bis 6100m (—) sowie mit den Indikatoren, die sich talauswärts anschließen.

Ufermoränenreste am Fuß des Vorberges (*), die als Moränenverkleidung der Flanke erhalten sind, belegen einen weiteren Gletscherpegel in ca. 5200m (••••, vgl. **Photo 11**) und vermitteln zu Befunden am Lhonak Khola Talausgang (**Photo 110**).



Photo 101: Die Aufnahme erfolgte aus 4520m, vom Zungenende des Kangchenjunga Gletschers talaufwärts blickend. Im Bildmittelgrund ist die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke zwischen Pangpema und der Einmündung des Lhonaktales zu erkennen; im Bildvordergrund der orographisch rechte Ufermoränenaußenhang eines historischen Gletscherstandes des Kangchenjunga Gletschers (◆). Deutlich zu erkennen sind die in zwei Niveaus glazial herauspräparierten Schichtköpfe oberhalb des orographisch linken Talausganges des Lhonak Khola in 5100m und 5300m ((••••), vgl. **Photo 110**). Diese Niveaus sind durch ergänzende Befunde von Dreieckshängen und Moränenresten an der sich anschließenden Haupttalflanke zu stützen. Unterhalb von 5700m (—) (der erste Gipfel der Flanke erreicht eine Höhe von 5682) ist der ca. 4km lange Flankenabschnitt östlich von Lhonak deutlich zugerundet und glazial überprägt. Dies, obschon die Gipfel das Einzugsgebietsniveau einer potentiellen historischen wie neoglazialen lokalen Eigenvergletscherung der Flanke nicht erreichen, so daß von einer horizontalen, d.h. einer dem Haupttalgefälle entsprechend orientierten Eisbewegung auszugehen ist. Der markante "Torwächter" am rechten Bildrand (→) findet sich auch auf den Aufnahmen der von DHYRENFURTH geleiteten Expedition (vgl. KURZ 1931). Der Schneegipfel im Bildhintergrund ist der Jorkiu Himal Hauptgipfel (6855m).

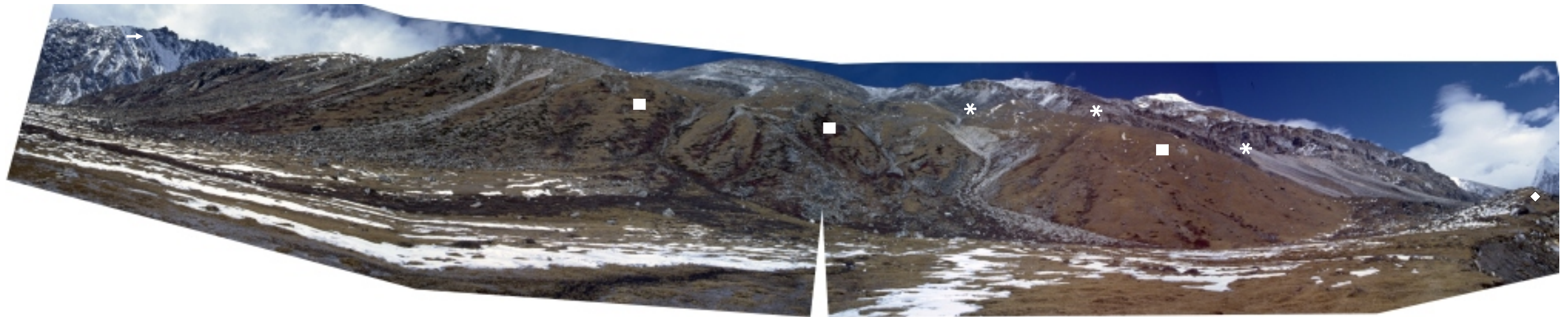


Photo 102: Das Panorama zeigt die orographisch rechte Flanke des Ghunsa Khola östlich von Lhonak, aus 4840m photographiert. Am rechten Bildrand ist ein Ausschnitt der Ufermoräne (◆) des Kangchenjunga Gletschers zu erkennen. Die Moränenverkleidung insbesondere der unteren 400 Höhenmeter der Flanke wird genetisch als Mischprodukt zwischen der lokalen und der Haupttalvergletscherung verständlich. Die Moränen und Schuttkörper der lokalen Flankenvergletscherung (*) zerschneiden die älteren Moränenpakete der Haupttalvergletscherung (■) (vgl. **Photo 101**). Am linken Bildrand belegen Moränenreste (→) in ca. 5300m eine Gletscherfüllung des unteren Lhonak Khola bis in mindestens dieses Niveau.



Photo 103: Die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke zwischen Lhonak und Kanbachen, aus 4840m Höhe in südwestliche Richtung blickend photographiert. Im linken Bildvordergrund ist die Ablationszunge des Kangchenjunga Gletschers zu erkennen. Der Gletscher endet nahe der Alm Ramdan (◆).

Der markante Gipfel im Bildhintergrund ist 6164m hoch und gehört zum Einzugsgebiet des Naphinda Khola (südlich des Nupchu Khola). Ein Gefällewechsel im Talquerprofil ((••••)) zwischen 5400m und 5100m) der Flanke zwischen Lhonak und Kanbachen begrenzt Abschnitte glazialer Überprägung, die sich über Seitentaleinmündungen hinaus verfolgen, lassen. (*) markiert eine flache Podestmoräne der Vergletscherung eines orographisch rechten Seitentales oberhalb von Ramdan. Der First dieser Moräne liegt in ca. 5000m Höhe.

Im Bildvordergrund ist das abschnittsweise vollständig verfüllte orographisch rechte historische Ufermoränental des Kangchenjunga Gletschers zu sehen, nach talauswärts setzt sich der tiefenlinienseitig unterschrittene Ufermoränenwall wieder von der flankenseitigen Füllung ab. **Photo 177** zeigt den Innenhang dieser Moräne.



Photo 104: Die nordexponierte Talflanke des Ghunsa Khola zwischen der Einmündung des Kangchenjunga Teileinzugsgebiets des Kangchenjunga Gletschers und der Siedlung Lhonak. Der Standort in 5200m (Lokalität Pangpema) auf der orographisch rechten Talseite liegt auf einer Mischform zwischen glazifluvialen Sander und stark durch glazigenes und glazifluviales Material geprägtem Schwemmfächer. Die bis 6415m hohe Nordflanke ist oberhalb von 5500m weitgehend flankenvereist. Eislawinen erreichen die Gletscherzungenoberfläche des Kangchenjunga Gletschers, die in diesem Talabschnitt zwischen 5000m und 4800m liegt. Größere, durch Eislawinen genährte Gletscherzungen bilden sich unterhalb der entsprechenden Flankenabschnitte nicht, da die Lawinen in vielen Fällen bis auf die Ablationszungen des Kangchenjunga Gletschers herabreichen (**Photo 106**).

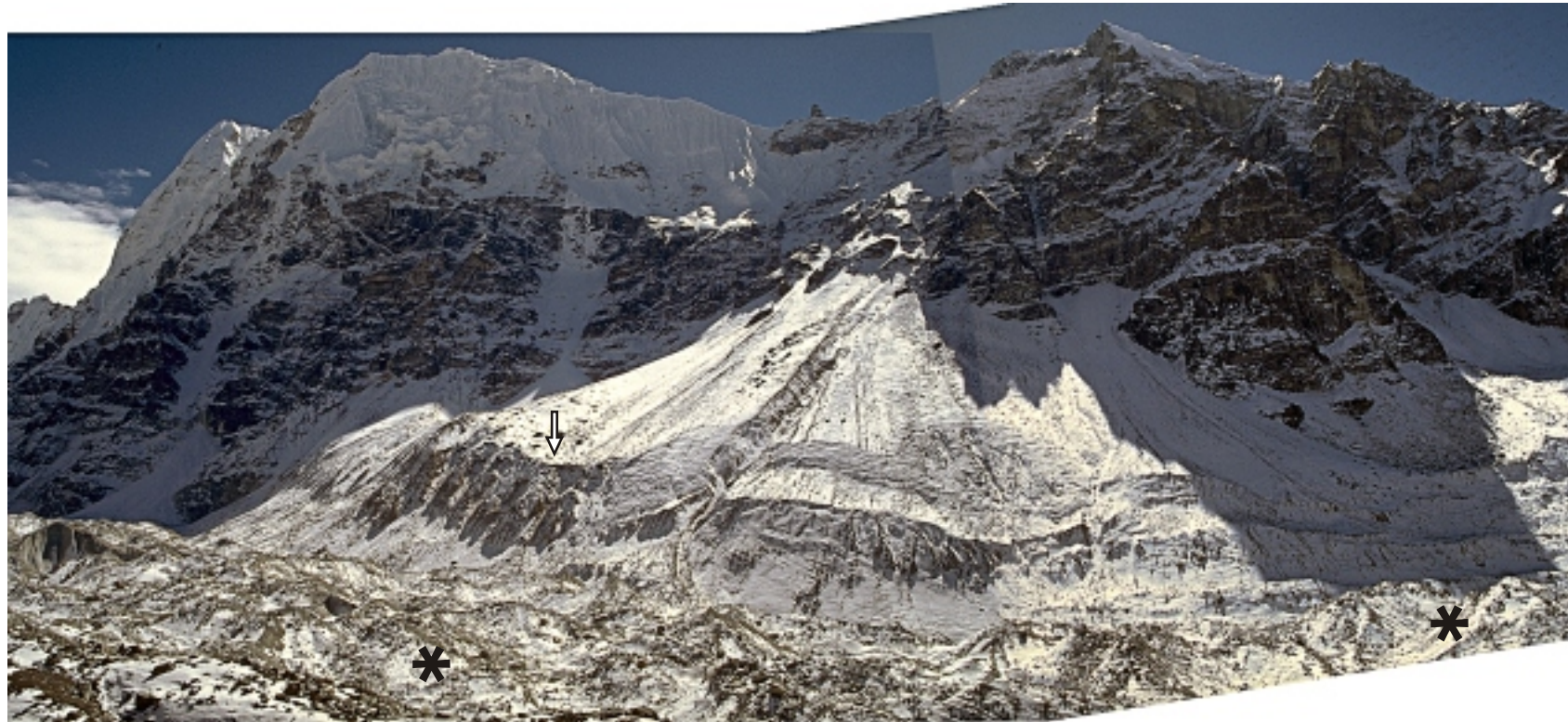


Photo 105: Die Aufnahme zeigt einen Ausschnitt der orographisch linken, nordexponierten Flanke zwischen der Einmündung des Kangchenjunga Seitentalgletschers und dem Talausgang des Ramdantales. Der Standort liegt ca. 2,5km östlich von Lhonak in 4850m Höhe, ca. 50m oberhalb der rezenten Ablationszunge des Kangchenjunga Gletschers (*). Der Pfeil (→) verweist auf eine Teil einer älteren Ufermoräne des Kangchenjunga Gletscher, der nicht durch die Schuttkegelgenese überprägt wurde.

Im Bildhintergrund ist der mit 6802m höchste Gipfel dieses Flankenabschnittes (vgl. **Photo 106** und **Abbildung 24**) zu erkennen.



Photo 106: Die Eislawine aus einer das Ablationsgebiet des Kangchenjunga Gletschers um 1500m überragenden und ca. 68° steilen Nordwand erreicht die Gletscherzunge des Haupttalgletschers als feine Eiswolke ca. 500m bis 600m unterhalb der Schneegrenze. Die Vergletscherung der im Mittel 6200m hohen, nordexponierten Flanke in diesem Talabschnitt trägt nicht direkt zur Ernährung des Kangchenjunga Gletschers bei. Die Eislawinen legen sich als Ablationsschutz mit hoher Albedo über die schuttbedeckte Ablationszunge des Kangchenjunga Gletschers. Inwieweit ein solcher Ablationsschutz quantifizierbar ist, ist unklar.

Die Gletscherzunge und die Felsflanke sind durch eine historische Ufermoräne getrennt. Die im Bild dokumentierte Eisstaubwolke reicht ca. 300m über die hier ca. 400m breite Gletscherzunge.



Photo 107: Der Konfluenzbereich des Chijima Gletscher und des Chabuk Gletschers. Die Gletscher vereinigen sich in ca. 5200m, das Gletschersystem wird als Lhonak Gletscher bezeichnet (**Photo 10**). Die Aufnahme erfolgte von der orographisch rechten historischen Ufermoräne, aus ca. 5080m Höhe in nördliche Richtung blickend.

Neben den wenige Dekameter über die rezente Gletscherzunge aufragenden historischen Moränen belegen höhere und ältere Moränen weitere Gletscherpegel des Lhonak Gletschers in diesem Talabschnitt ((••••), in 5400m). Diese sind mit Schuttschürzen zu korrelieren, die insbesondere orographisch rechts bis zum Talausgang des Lhonak Khola verfolgbar sind (**Photo 10**) und als umgelagerte Moräne verstanden werden können.

Die Eisoberfläche des Gletschers, der dem letzten Hochglazial zuzuordnen ist, hat mindestens in ca. 6000m gelegen (—).

Photo 108: Das Panorama zeigt die orographisch rechte Lhonak Khola Flanke zwischen der Satzendmoräne ((♦) vgl. **Photo 109**) des rezenten Lhonak Gletschers und dem Talausgang. Der Talboden erstreckt sich zwischen ca. 4750m und 5100m.

Der Gletscher aus einem orographisch rechten Seitental schob seine historische Podestmoräne (—) bis an den Talausgang des Seitentales. Der First dieser Moräne liegt in ca. 5150m. Dieser Wert korrespondiert zwar mit der Höhe der oberen Begrenzung älterer Moränenreste in diesem Talabschnitt, die Moränen sind genetisch jedoch eindeutig von einander zu trennen. Orographisch rechts am Nebentalausgang belegen talauswärtigere Moränenreste (■) keinen höheren Pegel des Seitentalgletschers, jedoch eine talauswärtigere Ausdehnung.

Die sich im Bild rechts an den Seitentalausgang anschließende Flanke, die bei höheren Gletscherpegeln zwangsläufig in eine Zwickelsituation gerät, belegt mindestens zwei weitere Gletscherpegel in ca. 5200m und 5400m, d.h. knapp unterhalb des Gipfels (5466m).





Photo 109: Ca. 3km nördlich der Siedlung Lhonak bildet die Satzendumräne (◆) des Lhonak Gletschers eine Schwelle im Tallängsprofil. Der Standort liegt in 4850m, der erkennbare Teil des Moränenfirstes in ca. 5100m. Der Moränenfuß liegt in ca. 5000m. Im Bildhintergrund ist der 6803m hohe Janak Himal Hauptgipfel zu erkennen, der das Einzugsgebiet des Chijima Gletschers überragt.

Die Blöcke der fluvial ausgewaschenen "Blockstreu" im Bildvordergrund erreichen Kantenlängen von bis zu 1m, eine vorherrschende Einregelung der Blöcke ist nicht festzustellen. Orographisch rechts ist moränisches Material (■) aufgeschlossen, das in keiner direkten morphogenetischen Beziehung zur historischen Satzendumräne des Lhonak Gletschers steht und, da ein flankenseitiges Einzugsgebiet fehlt, einem älteren Vorstoß des Haupttalgletschers zuzuordnen ist (vgl. **Photo 107 und Photo 110**).

Deutlich zu erkennen ist, daß eine ältere historische Satzendumräne (✱) des Lhonakgletschers von einem jüngeren Vorstoß (◆) "überfahren" wurde.



Photo 110: Das 180° Panorama über den Talausgang des Lhonak Khola wurde aus 4760m aufgenommen. Am rechten und linken Bildrand sind Teile der orographisch rechten historischen Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers zu erkennen. Der Talboden des Lhonak Khola ist zwischen der historischen Satzendumräne des Lhonak Gletschers und dem Standort des Betrachters durch fluviales Sediment (●) geprägt. Die Komponenten der Fraktionen kleiner als Feinsand werden durch den rezenten Abfluß des Tales ausgewaschen und parallel zur Kangchenjunga Ufermoräne abgeführt. Die fluvialen Sedimente sind gegen den Außenhang der Ufermoräne geschüttet. Der rezente Materialeintrag aus dem haupttalauflaufwärtigen Ufermoränenseitental ist gering. Hier erfolgt der Abfluß durch das Zungenbecken des Kangchenjunga Gletschers. Deutlich treten die glazial herauspräparierten Schichtköpfe am orographisch linken Talausgang des Lhonak Khola in Erscheinung (▲), die die Annahme von Gletscherpegeln in mindestens 5000m und 5400m in diesem Talabschnitt stützen (**Photo 101**). Die orographisch rechte Talflanke des Lhonak Khola ist u.a. durch das Einsetzen einer Schuttschürze gegliedert (◆), deren oberes Niveau taleinwärts ansteigt und die als überprägte Moränenverkleidung der Flanke bis in ein Niveau von

mindestens 5200m interpretiert werden kann (vgl. **Photo 108**). Dieses Niveau korrespondiert mit Flankenschliffen im gesamten Talverlauf des Lhonak Khola zwischen der Konfluenz der beiden Gletscherteilströme im mittleren Lhonak Khola und dem Talausgang.

Der Talausgang eines Nebentales wird durch eine Moränenmauer (✱) abgeriegelt, die als Eisrandlage eines Nebentalgletscher zu interpretieren ist.



Photo 111: Die Aufnahme zeigt das obere Ghunsa Khola aus 4900m Höhe nach talauswärts blickend photographiert. Die rezente stark mit Schutt bedeckte Ablationszunge des Kangchenjunga Gletscher ist unter das Niveau der historischen Moräne eingesunken. Die unterschrittenen Ufermoräneninnenhänge rutschen abschnittsweise als große Schollen nach.

Im Bildhintergrund ist der Hauptgipfel der Tangakette (6433m) zu erkennen, die die orographisch linke Begrenzung des Kanbachentales bildet.

Die glaziale Überprägung der Ghunsa Khola Flanke zwischen Lhonak und Kanbachen stützt die Annahme eines Eispegels bis in mindestens 5400m bis 5500m (—), talauswärts auf ca. 5200m einfallend (**Photo 114**).



Photo 112: Die Enden der Vergletscherung eines orographisch rechten Seitentales des Ghunsa Khola reichen bis ca. 5300m herab. Der Talausgang liegt oberhalb von Ramdan.

Die historischen Gletscherenden in ca. 5050m sind aus der Lage der frischen Zungenbecken leicht abzuleiten und lagen etwa im Bereich des Standortes des Betrachters. Belege für deutlich tiefere Eisrandlagen finden sich talauswärts der historischen Moränen, wie u.a. **Photo 117** belegt.

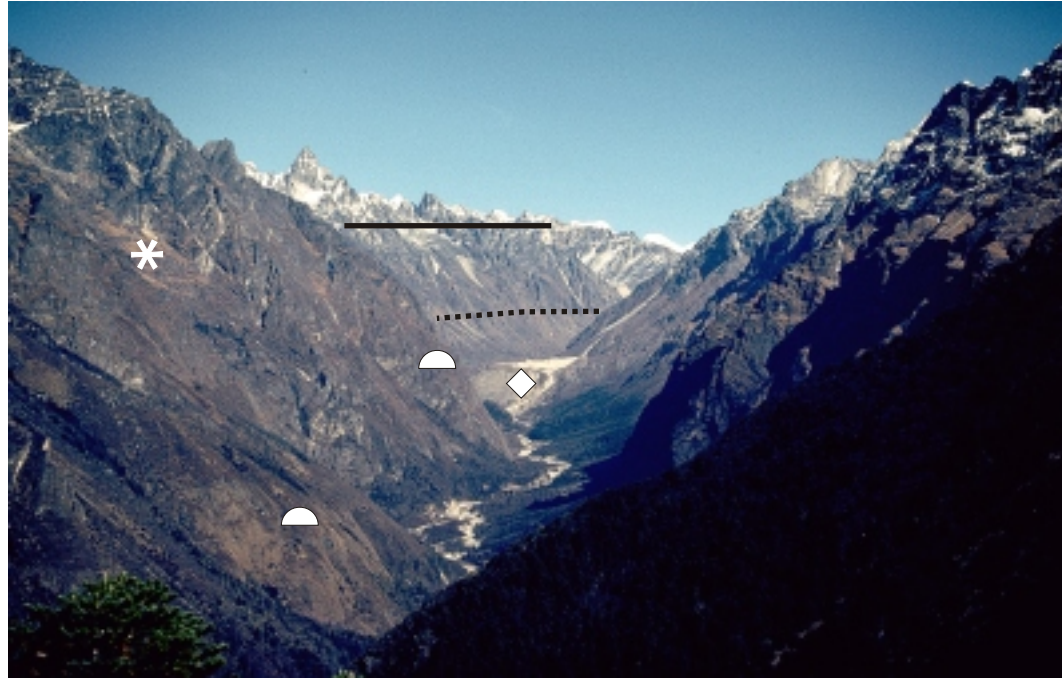


Photo 113: Die Teleaufnahme zeigt das Ghunsa Khola zwischen Ghunsa und dem Talausgang des Lhonak Khola. Im Bildmittelgrund ist die historische Endmoräne des Khumbarkarna Gletschers zu erkennen (◆). Das trogförmige Talquerprofil im Talabschnitt zwischen Lhonak und Kanbachen ist in mindestens zwei Niveaus glazialer Überprägung zu gliedern. Der obere Pegel ((—)) zwischen 5100m im Bildvordergrund und 5400m im Bildhintergrund) liegt ca. 1200m über der rezenten Tiefenlinie, während der untere Gletscherpegel (---) nur ca. 400m über der rezenten Tiefenlinie in ca. 4400m bis 4600m liegt. Im Bildvordergrund ist eine großflächig zugerundete Form (◐) zu erkennen, die genetisch mit den Felsnasen vergleichbar ist, die mit Hilfe von **Photo 117** dokumentiert werden.

Orographisch rechts finden sich historische Zungenbecken (*) der lokalen Vergletscherung der Flanke. Diese Formen heben sich deutlich von dem großräumigeren, horizontal angeordneten glazialen Formenschatz ab.



Photo 114: Der Standort des Betrachters liegt in 3900m im Ghunsa Khola, der Blick richtet sich taleinwärts. Im Bildmittelgrund ist die historische Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers zu erkennen (◆); die Firsthöhe beträgt im talauswärtigsten Abschnitt ca. 4250m.

Die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke oberhalb der Siedlung Kanbachen ist bis in ein Niveau von mindestens 5100m glazial überschleift (—). Der glazial überprägende Prozeß war in quasi horizontaler bzw. taltiefenlinienparalleler Ausrichtung orientiert (vgl. **Photo 113**). Moränenreste oberhalb dieser Schriffgrenze sind der jüngeren lokalen Vergletscherung der bis 6300m hohen Einzugsgebiete oberhalb der Flanke zuzuschreiben (■).

Die Wallform (*) direkt unterhalb der historischen Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers kann als Rest einer älteren Khumbarkarnamoräne oder als Rest einer Moränenrampe im Vorfeld des Naphinda Khola Talausganges verstanden werden. Da sich auf der gegenüberliegenden Talseite jedoch vergleichbare Formen finden lassen, ist die Interpretation als vorzeitliche Khumbarkarna Moräne wahrscheinlicher (**Photo 128**).



Photo 115: Die Aufnahme zeigt den Moränenkomplex nahe der Alm Ramdan, aus ca. 4320m photographiert. Im Bildmittelgrund sind die Enden der historischen Zungenbeckeneinfassungen des Kangchenjunga Gletschers ((◆), in ca. 4400m) und des Merra Gletschers (*) markiert. Der Talboden im Bildvordergrund ist großflächig mit Grundmoräne (■) ausgekleidet, die abschnittsweise fluvial überprägt wurde oder durch Schuttkörper überlagert bzw. umgeformt wird. Ein Mensch im Bildervordergrund kann als Größenvergleich dienen(○).



Photo 116: Der historische Moränenkomplex im Konfluenzbereich des Kangchenjunga Gletschers und des Ramdan Gletschers nimmt fast die gesamte Talbreite des Ghunsa Khola ein. An beiden Talflanken finden sich Moränenreste (■), die auf eine Gletscherausbreitung über das historische Zungenbecken hinaus deuten. Nicht schlüssig ist zu klären, ob es sich hierbei um Ufermoränenreste handelt, oder ob der Abfluß des Ghunsa Khola eine Grundmoränenfüllung zerschneidet. Weiter talauswärts, nahe der Siedlung Kanbachen, finden sich ergänzend Moränenreste, die eher die Interpretation als Ufermoränenrest stützen (**Photo 119, Photo 120**).



Photo 117: Die Position des Flankenabschnittes ist in **Photo 89** mit einem Pfeil (→) markiert. Die orographisch linke Flanke des sich westlich an das Lhonak Khola anschließenden namenlosen Seitentales ist im gesamten Flankenbereich zwischen dem rezenten Einzugsgebiet und dem Talausgang glazial überschliffen und versteilt. Die mit konvexer Wölbung herauspräparierten Flankenpartien im Anstehenden (in ca. 4900m) weisen Schrammen und Polituren auf, die nicht in ausschließlicher Abhängigkeit von der Gesteinsstruktur oder Gesteinstextur zu erklären sind. Die glazigenen Schrammen fallen flacher als das Talgefälle ein. Die unteren, steilen Abschnitte dieser gekappten "Felsnasen" erreichen Höhen von über 30m (vgl. **Photo 118**).



Photo 118: Überschliffene, polierte und geschrammte "Felsnasen" stützen die Annahme der größeren Ausdehnung eines namenlosen Gletschers nördlich der Alm Ramdan. Die Schrammen (→), hier in 4700m, verlaufen nicht parallel zur Tiefenlinie des Seitentales und deuten im Verbund mit ähnlichen Formen, die talauswärts und höher am Hang liegen, auf eine deutlich umfangreichere Eisfüllung des Tales im Vergleich zur rezenten Vergletscherung (vgl. **Photo 112**) hin. Am oberen Bildrand sind jüngere, wahrscheinlich historische Moränen (◆) zuerkennen, die sich über ein älteres Podest mit mutmaßlich tieferem Firsniveau schieben (■).



Photo 119: Der Blick richtet sich aus ca. 4400m vom Ramdanmoränenkomplex talauswärts in Richtung Kanbachen (4070m). Der über der Tiefenlinie des Ghunsa Khola hängende Talausgang des Naphinda Khola (→) ist im Bild zu erkennen. Deutlich nachvollziehbar ist der Gefällewechsel der Taltiefenlinie, der durch den Außenhang des Ramdanmoränenkomplexes gebildet wird. Unterhalb des Moränenfußes schließt sich eine glazifluviale Talfüllung (●) an, die als Folge der Abriegelung des Ghunsa Khola Abflusses durch die historische Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers verständlich wird (**Photo 120**). Die orographisch linke Ghunsa Khola Flanke ist durch eine große Schuttschürze (◆) bedeckt, die auf ein Niveau ca. 50m bis 100m oberhalb der Tiefenlinie (*) unterhalb des Ramdanmoränenkomplexes eingestellt ist. In vergleichbarer Höhe über dem Talboden läßt sich auf der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke ein Ufermoränenrest über mindestens 4km verfolgen (vgl. **Photo 115**, **Photo 120**).



Photo 120: Das ca. 150° umfassende Panorama zeigt mit talaufwärtiger Perspektive den Talboden des Ghunsa Khola an der Einmündung des Nupchu Khola (links im Bild) in das Ghunsa Khola aus 4160m. Rechts im Bild ist ein Ausschnitt der historischen Zungenbeckeneinfassung des Khumbarkarna Gletschers zu erkennen (vgl. **Photo 92**), links im Bild die Siedlung Kanbachen (4080m). Die vom Talboden morphologisch deutlich abzugrenzende Form in der Bildmitte ist der ca. 3km entfernte Moränenkomplex von Ramdan (◆) (vgl. **Photo 89**). Der flach geneigte Talboden im Bereich des Talausganges des Nupchu Khola wird genetisch als Folge der Abriegelung des Haupttales und der damit verknüpften Verlagerung der Erosionsbasis durch die historische Endmoräne des Khumbarkarna Gletschers verständlich (**Photo 114**). Hierdurch ergeben sich Hinweise für die zeitliche Einordnung der markierten Ufermoränenreste und Morärenterrassen des Haupt- und Nebentaales (◆, ●, *).

Der orographisch links am Talausgang des Nupchu Gletschers liegende Wall (—) löst sich von der rückseitigen Flanke und ist als vorzeitliche Ufermoräne eines Nupchu Khola Gletschers zu interpretieren. Der talaufwärts verfolgbare First verläuft zwischen 4150m und 4250m und ist nicht mit dem in **Photo 122** dokumentierten orographisch linken Ufermoränenrest in ca. 4400m zu verwechseln. Ersterer wird in Kombination mit dem sich am orographisch rechten Talausgang befindenden Wall als Teil einer vorzeitlichen Zungenbeckeneinfassung verständlich (vgl. **Photo 124**, **Photo 114**), deren äußere Begrenzung unklar bleibt, wahrscheinlich jedoch im direkten Vorfeld der historischen Khumbarkarna Moräne, d.h. in ca. 3900m, zu suchen ist.

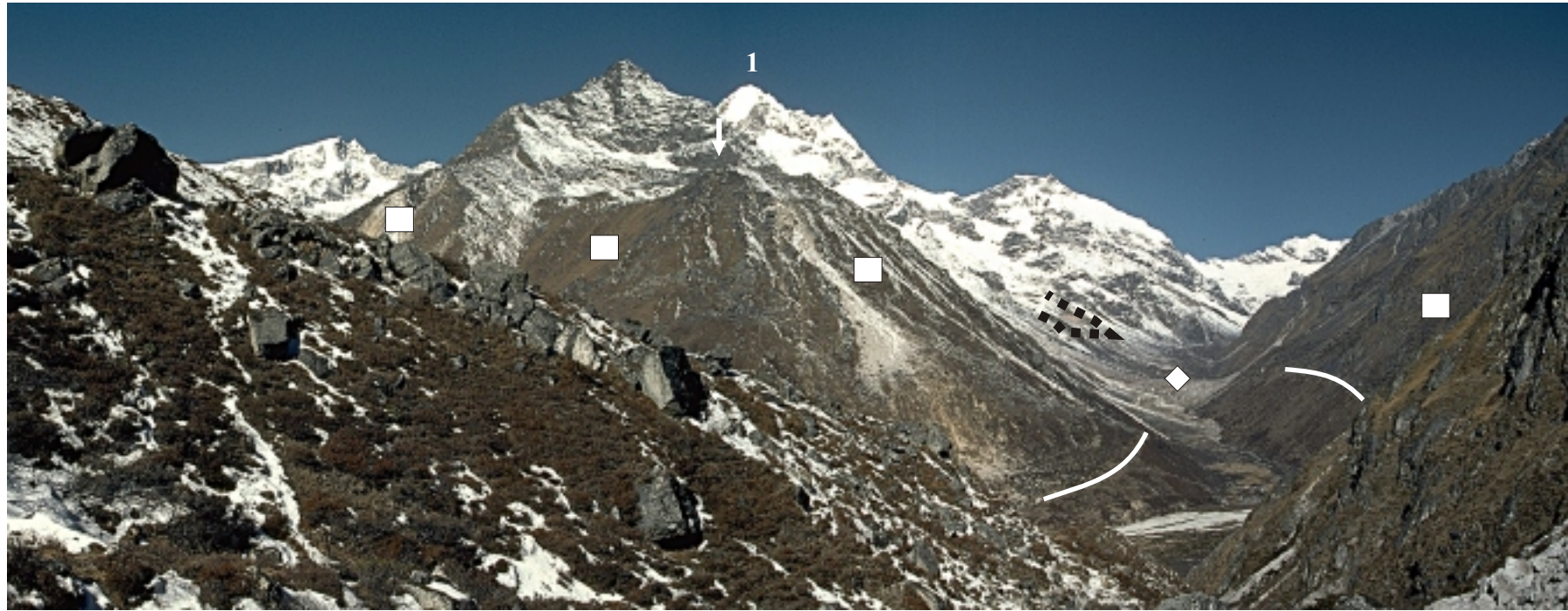


Photo 122: Das Photo zeigt einen Teil des Nupchu Khola aus 4250m Höhe, aus dem Khumbarkarna Tal heraus fotografiert. Der 6433m hohe Tanga (Sarphu) Gipfel (1) ist Teil der Wasserscheide zum Naphinda Khola, das sich westlich anschließt. Der vergletscherte Gipfel links im Bild bildet einen Teil des Einzugsgebietes des letztgenannten Tales und ist 6220m hoch. Die rezenten Gletscher enden zwischen 5000m und 5200m. Das Talquerprofil des Nupchu Khola ist im unteren Drittel trogförmig. Flankenschliffe zwischen 5000m und 5200m, die insbesondere auf der orographisch linken Talseite gut erhalten sind, stützen die Annahme eines quasi horizontal erodierenden Eiskörpers, der bis in dieses Niveau erreicht hat. Gestützt wird die Aussagekraft dieser Erosionsformen durch die abschnittsweise großflächige Verkleidung der Flanken mit glazigenem Lockermaterial (■). Ufermoränen belegen mindestens zwei weitere, deutlich tiefer im Tal liegende Eisniveaus in ca. 4200m und in ca. 4400m (—). Die das höhere Niveau belegende orographisch links im Nupchu Khola liegende Ufermoräne ist nicht mit der in **Photo 120** zu erkennenden Ufermoräne zu verwechseln. Die genetisch an diese Befunde gekoppelten zu rekonstruierenden Gletscher haben über den Talausgang des Nupchu Khola herausgereicht. Der 4900m hohe Vorgipfel (→) der Tanga (Sharphu) Kette war mit hoher Wahrscheinlichkeit im LGM eisüberflossen.

Im Bildvordergrund ist der Außenhang der historischen Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers zu erkennen. Diese Zungenbeckeneinfassung endet in ca. 4000m Höhe unterhalb der Siedlung Kanbachen. Die historische Laterofrontalmoräne des Tanga Westgletschers ist im Bild zu erkennen ((••••) in ca. 4750m).

Nicht eindeutig zu fassen ist eine ERL eines Nupchu Gletschers im mittleren Nupchu Khola in ca. 4470m (◆). Hier verzahnt sich umgelagertes glazigenes Sediment aus der orographisch linken Flanke mit einer vorhistorischen Eisrandlage der Tanga-Vergletscherung.

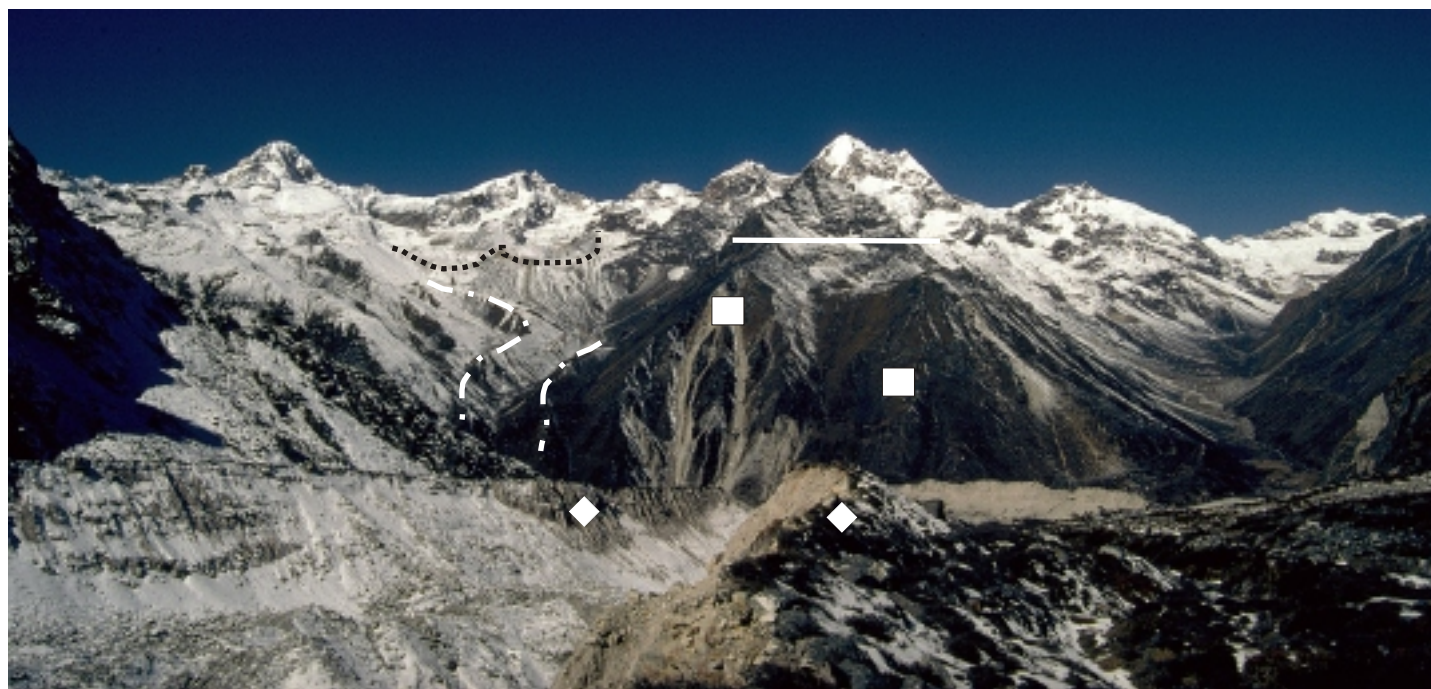


Photo 121: Die Aufnahme erfolgte aus ca. 4550m Höhe mit Blick in westsüdwestliche Richtung in das Naphinda Khola (links) und das Nupchu Khola (rechts). Der Standort liegt im Khumbarkarnatal auf der historischen Ufermoräne des Khumbarkarna Gletschers (◆), die im Bildvordergrund zu erkennen ist. Der markante Gipfel im Talschluß des Naphinda Khola ist 6220m hoch. Der das Naphinda Khola nach Westen begrenzende Grat erreicht eine mittlere Höhe von ca. 6000m. Die rezenten Gletscher enden in ca. 5200m. Unterhalb der historischen Zungenbeckeneinfassungen ((••••) sind nahe der Taltiefenlinie zwei Moränenwälle (•—•) zu erkennen, die eine ERL in ca. 4200m, d.h. ca. 200m oberhalb der Ghunsa Khola Tiefenlinie, belegen. Die Talausgänge des Nupchu Khola und des Naphinda Khola werden durch einen glazial überprägten Flankenabschnitt des Ghunsa Khola getrennt. Dieser Flankenabschnitt ist unabhängig von der lokalen Vergletscherung des sich talaufwärts anschließenden Grates mit glazigenem Lockermaterial (■) verkleidet, das durch die rezente Erosion zerschnitten bzw. abgetragen wird. Die höchste erhaltene und morphologisch nachweisbare Begrenzung quasi horizontaler glazialer Prägung dieses Flankenabschnittes liegt in ca. 5100m (—), ca. 1100m über der rezenten Taltiefenlinie (vgl. **Photo 122** und **Photo 124**).



Photo 123: Die 240° Panoramaaufnahme aus 4900m Höhe zeigt den Talschluß des Nupchu Khola. Der Standort des Betrachters liegt auf einer orographisch rechten historischen Ufermoräne. Das Ende des zugehörigen Gletschers (◆) ist oberhalb der Felsstufe in ca. 5000m zu erkennen. Die Gletscherzunge ist Teil eines größeren Gletschers mit einer mittleren Einzugsgebietshöhe von ca. 5900m. Die den Standort bildende Ufermoräne setzt in ca. 5000m an der anstehenden Flanke als freistehender Wall an und überragt den Zungenbeckensee (●) im Bildvordergrund um ca. 40m. Das orographisch links vom See zu erwartende Pendant zu dieser Ufermoräne fehlt morphologisch. Die Flanke ist mit einer mächtigen Schuttschürze verkleidet, erst am Talausgang findet sich ein freistehender Rest moränischen Materials (■). Die Schuttschürze ist aus glazial aufbereitetem Material aufgebaut und wird nur als das Ergebnis eines glazial akkumulierenden Prozeß verständlich.

Links im Bild schließen sich weitere historische Zungenbeckeneinfassungen an. Die entsprechenden Laterofrontalmoränen (••••) reichen ca. 100m unter das Niveau des Betrachters herab und setzen größtenteils oberhalb der rezenten Gletscherenden, d.h. oberhalb von ca. 5000m bis 5100m, in ca. 5300m an. Deutlich wird die sich dem Relief unterordnende Zergliederung in einzelne Ablationszungen des Akkumulationsgebietes im Bereich der historischen Zungenbeckeneinfassungen. Die Laterofrontalmoräne am linken Bildrand ist gekennzeichnet durch den Einschnitt eines auslaufenden moränengedämmten Sees.



Photo 124: Das aus 4100m aufgenommene Panorama zeigt den Talausgang des Khumbarkarna Tales und das untere Nupchu Khola, d.h. der Blick richtet sich Ghunsa Khola auswärts.

Am rechten Bildrand ist der 6433m hohe Tanga (Sarphu) zu erkennen. Unterhalb des Gipfels in ca. 4750m läßt sich der Verlauf des historischen Zungenbeckens des Tanga Westgletschers erkennen. Am äußersten linken Bildrand ist die historische Ufermoräne des Khumbarkarna Gletschers markiert (••••), die bis in ca. 4000m Höhe herabreicht und das Haupttal (Ghunsa Khola) abriegelt. Der mittlere Bildteil ist geprägt durch einen terrassenförmigen Moränenrest (◆), der am orographisch rechten Talausgang des Nupchu Khola liegt und talauswärts einfallend in das Ghunsa Khola einbiegt. Die Oberkante dieser Terrasse liegt zwischen 4200m und 4100m (—). Oberhalb dieser Moränenterrasse schließt sich eine mit moräni-

schem Material verkleidete Flanke an (■). Diese flächenhafte Verkleidung ist bis in mindestens 5100m zu verfolgen.

Der Talboden des Ghunsa Khola talaufwärts des historischen Moränendamms des Khumbarkarna Gletschers ist flach geneigt und wird als fluviale Ausgleichsfläche verständlich, selbiges gilt für den Talboden im Bereich des unteren Nupchu Khola. Ein markanter Gefällewechsel am Talausgang des Nupchu Khola fehlt, so daß die beiden fluvialen Ausgleichsflächen genetisch wahrscheinlich zusammengehören.

Das übersteilte Profil des Ghunsa Khola zwischen Kanbachen und Ghunsa belegen u.a. markante Gefällewechsel der orographisch linken Flanke, die hinsichtlich ihrer Höhe (hier in ca. 5000m) mit den bisherigen Befunden gut zu korrelieren sind.

Photo 125: Das Photo ist eine Reproaufnahme aus FRESHFIELD (1903:180). Die Aufnahme erfolgte durch Vitorio SELLA im Auftrag von D.W. FRESHFIELD im September 1899. Die schuttbedeckte Ablationszunge des Khumbarkarna Gletschers liegt zum Zeitpunkt der Aufnahme nicht mehr am obersten Firstpunkt der Laterofrontalmoräne an, sondern ist ca. 5m unter dieses Niveau eingesunken (vgl. **Photo 121**, **Photo 126**). Deutlich zu erkennen ist ein auf die vegetationsfixierte Moräne aufgesetzter, wenige Meter hoher Wall, der aus frischem Lockermaterial aufgebaut ist. Dieses "schmale Band" kennzeichnet den jüngsten Vorstoß des Khumbarkarna Gletschers, der durch die ältere Moräne kanalisiert wurde. Die Gletscherbasis für den Vorstoß lag somit wahrscheinlich etwas höher, die Zunge mußte schmaler werden, und das Gletscherende reichte proportional

weiter nach talauswärts. Dies obschon die Schneegrenzabsenkung nicht dem Maß der für die Bildung des Moränensockels erforderlichen Absenkung entsprach. Dieser mit Hilfe der terrestrischen Photographie dokumentierte Hinweis auf die Abhängigkeit der Gletscherausdehnung von der durch den Gletscher veränderten "Basismorphologie" ist von herausragender Bedeutung. Der letzte Gletscherstoß konnte nur deshalb den vorletzten Vorstoß überfahren, weil letztgenannter das Zungenbecken erhöht und somit die Morphologie und damit die Ausbreitung der erneut vorstoßenden Gletscherzunge determiniert hat.

An der talauswärtigen Seite der Zungenbeckeneinfassung fehlt die kleine aufgesetzte Ufermoräne. Im Bereich der Unterschneidungskante der Moräne durch den Ghunsa Khola Abfluß sieht FRESHFIELD (1903:181) "dripping fragments of ice".





Photo 126: Der talauswärtige Blick über das historische Zungenbeckenende des Khumbarkarna Gletschers, aus ca. 4200m Höhe photographiert. Am rechten Bildrand ist knapp unterhalb der Wolkendecke der Talausgang des Naphinda Khola (→) zu erkennen. Am Talausgang dieses Seitentales liegen Ufermoränenwälle (—), die an der Steilstufe zum Haupttal abrupt enden und auf eine Eisrandlage eines vorzeitlichen Naphinda Gletschers unterhalb von 4200m, d.h. im Ghunsa Khola verweisen. Die Aufnahme zeigt deutlich das trogförmig Talquerprofil des Ghunsa Khola im Talabschnitt zwischen Ghunsa und Kanbachen. Links im Bild sind große Schuttkörper (◆) zu erkennen, deren Größe in einem ungünstigen Verhältnis zur potentiellen Einzugsbereichsgröße des Schuttes steht. Dies gilt insbesondere für den äußersten linken Schuttkegel, der praktisch über kein nennenswertes Liefergebiet verfügt. Hier wurde durch einen glazialen Prozeß zur Verfügung gestelltes Material umgelagert. Die (---) Linie kennzeichnet eine obere Berggrenzung eines Trogtales in ca. 4400m (talwärts entfallend).



Photo 127: Das Photo zeigt einen Ausschnitt der orographisch linken Ghunsa Khola Flanke, ca. 200m talwärts der Einmündung des Khumbarkarna Khola in das Ghunsa Khola. Die einer Katzenpfote ähnliche Form entstand in Folge der Unterschneidung eines Moränenhanges und der resultierenden großflächigen Abrutschung eines Teiles dieser Moräne. Die Basis der Form ist genetisch an die Aufstauung des Ghunsa Khola durch die talwärts liegende Khumbarkarna Moräne gebunden. Der oberhalb der Rutschung entstandene Aufschluß schließt glazigenes Sediment auf.

Im Einflußbereich des rezenten Abflusses wird deutlich, wie die flächenhafte Abtragung im Bereich flachgeneigter Tallängsprofile große Blöcke (→) Kantenlänge ca. 4m) aus dem Ausgangssubstrat herauspräpariert und in ein fluviales Schotterbett integriert (vgl. **Photo 179**).



Photo 128: Diese verknüpften Aufnahmen zeigen den Außenhang der historischen Khumbarkarna Laterofrontalmoräne und einen Teil der orographisch linken Ghunsa Khola Flanke. Ein schmaler, bewaldeter Wall an der linken Ghunsa Khola Flanke schließt sich dem Talausgang des Khumbarkarna Khola an. Diese ältere Ufermoräne (••••) belegt, im Verbund mit einem orographisch rechten Ufermoränenrest (—), einen Eispegel, der nur wenige Dekameter talauswärts der historischen Khumbarkarna Gletschermoräne ca. 100m unterhalb der Firsthöhe der letztgenannten Zungenbeckeneinfassung lag. Die historische Moräne überfährt dabei den Ansatzpunkt der älteren Moräne, der wahrscheinlich noch im Khumbarkarna Khola gelegen hat. Extrapoliert man den Verlauf der Ufermoräne nach talauswärts, so deutet dies auf eine ERL ca. 1,5km talauswärts des rezenten Gletscherendes hin.

Bemerkenswert ist, daß die historische Khumbarkarna Moräne fast über eine vorzeitliche Eisrandlage hinwegreicht, die an eine tiefere Lage der Schneegrenze gebunden sein muß. Dies ist eine Folge der Veränderung der Lage der Schneegrenze in Abhängigkeit von der Morphologie des Gletscherbettes (vgl. **Photo 125**).



Photo 129: Die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke, von einem Standort ca. 3km talaufwärts von Ghunsa aus 3600m fotografiert. Die Flanke ist in Längsrichtung bis in mindestens 4900m Höhe glazial übersteilt und überschleift. Das Talquerprofil des Ghunsa Khola ist trogförmig. Die Talausgänge der Seitentäler hängen einige hundert Höhenmeter über der rezenten Taltiefenlinie (◆). Der Wasserfall verdeutlicht markant die Übersteilung des Haupttales gegenüber dem Nebentalausgang. Die Übersteilung wird nicht allein aus der Lithographie verständlich.

Im Bildvordergrund sind die Reste einer glazifluvialen Schotterfüllung (●) zu erkennen, die mit einem Gletscherstand des Khumbarkarna Gletschers zu verknüpfen sind, der unterhalb der historischen

Zungenbeckeneinfassung des Gletschers liegt (**Photo 131**). Talauswärts wird der Talquerschnitt durch ein mächtiges Moränenpaket verengt (**Photo 133**). Hier lassen sich auf beiden Talseiten Grundmoränendecken (■) verfolgen, die bis mindestens 300m über die rezenten Tiefenlinie aufragen. Die aus glazifluvialen Schottern aufgebaute Terrasse endet talaufwärts dieses Moränenpaketes bzw. ist auf den Moräneninnenhang eingestellt. Der Schuttkegel (*) unterhalb eines Talausganges weist einen hohen Anteil an scharfkantigem Schutt auf. Oberflächennah finden sich hier keine großen Blöcke; es handelt sich wahrscheinlich um einen Schuttkörper, der unabhängig von der Verlagerung glazigen Sediments entstehen konnte.

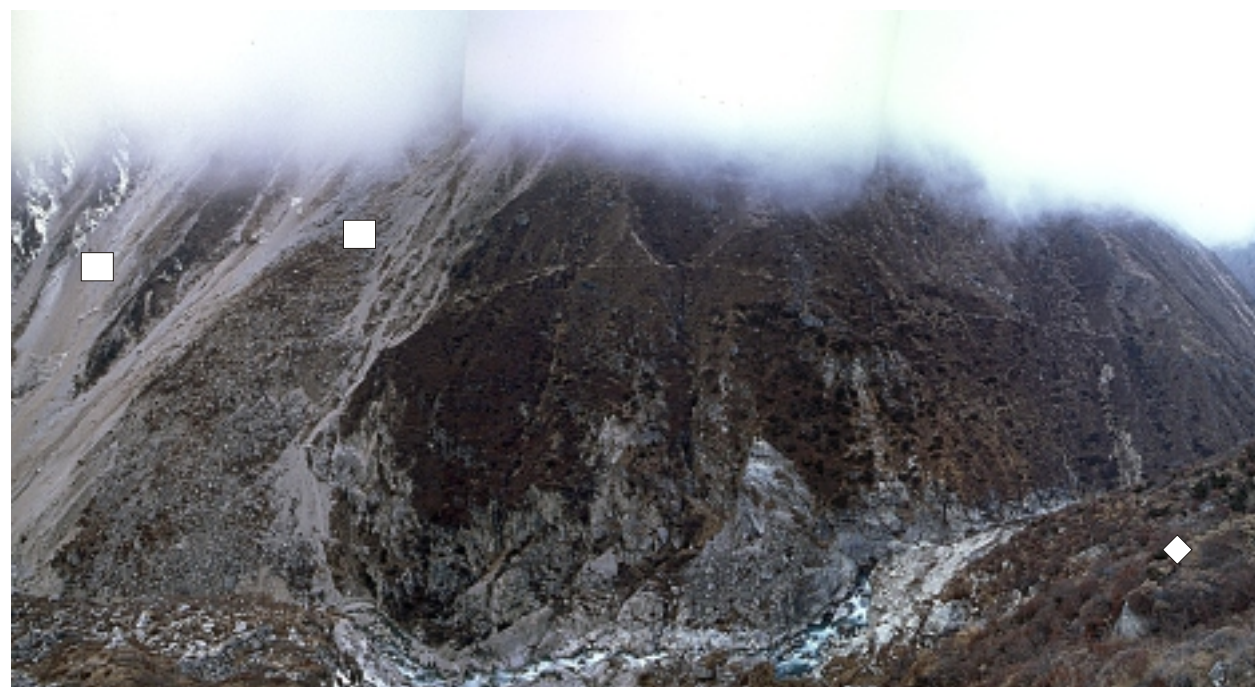


Photo 130: Die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke zwischen den Talausgängen des Nupchu Khola und des Naphinda Khola. Die Aufnahme zeigt einen zwischen 4000m und 4300m liegenden Ausschnitt der Flanke, die der historischen Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers (◆) gegenüber liegt. Die rezenten Rutschungen und Murbahnen schließen moränisches Material (■) bis in mindestens 4450m, d.h. 450m über der in einem kurzen Teilstück im Anstehenden angelegten Taltiefenlinie des Ghunsa Khola, auf. In **Photo 121** sind die frischen Schuttkegel am unteren Bildrand zu erkennen. Die Schuttkegel bauen sich dabei im wesentlichen aus umgelagerter Moräne auf.



Photo 131: Die orographisch linke Ghunsa Khola Flanke zwischen der historischen Moräne des Khumbarkarna Gletschers (◆) und dem Talausgang des Nykla Lachun Khola. Dieser Flankenabschnitt ist bis in ein Niveau von deutlich oberhalb 4900m (—), die Taltiefenlinie liegt am Standort in ca. 3800m, glazial überprägt. Insbesondere zugerundete Festgesteinspartien am orographisch rechten Talausgang des Nykla Lachun Khola belegen die Kombination der glazialen Überprägung eines eisstromartig kombinierten Neben- und Haupttalglatschers. Die im Bildvordergrund erkennbaren teils zugerundeten, teils kantengebrochenen Blöcke sind genetisch als fluvial überprägte Reste moränischen Materials zu interpretieren. Ghunsa Khola aufwärts des von Murbahnen gestriemten, ausgewaschenen Abschnittes, der sich unterhalb des Seitentalausganges anschließt, sind Reste einer großflächigen Auskleidung des Tales mit Grundmoräne zu beschreiben ((■) in 4600m). In Bereich frischer Aufschlüsse finden sich recht häufig gekritzte Geschiebe, die nicht selten Längsachsen von über 2m aufweisen.



Photo 132: Die Aufnahme zeigt Teile des im Mittel 6200m hohen Einzugsgebietes des Nykla Lachun Gletschers südlich des Khumbarkarna Gletschers. Die Aufnahme erfolgte aus ca. 3800m, ca. 4km talaufwärts der Siedlung Ghunsa. Die Gletscherzunge dieses westexponierten Gletschers reicht rezent bis in ca. 4600m hinab. Die rezente Schneegrenze liegt in ca. 5370m. Der Talausgang ist in **Photo 131** zu sehen.



Photo 134: Der Blick richtet sich von Hellok (1520m) in südliche Richtung. Die Talflanken des engen Talgefäßes sind glazial überprägt und großflächig zugerundet. Im Bildhintergrund ist die orographisch linke Tamur Khola Flanke südlich der Siedlung Tapethok (1400m) zu erkennen (◆). Das Talquerprofil war in diesem Talabschnitt bis in mindestens 800m über dem rezenten Talboden mit Gletschereis verfüllt. Das Sediment am Standort des Betrachters und an der orographisch rechten Talflanke in etwa gleichem Niveau sind als zerschnittene Reste einer glazifluvialen Schotterfüllung (●) des Tales zu interpretieren.



Photo 133: Ca. 2km talaufwärts von Ghunsa wird das Talquerprofil des Ghunsa Khola durch einen Moränenrest verengt (siehe **Photo 129**: am linken Bildrand), der morphogenetisch nicht einer lokalen Vergletscherung der sich oberhalb anschließenden Flanke zuzuordnen ist. Der orographisch linke Teil der Moräne setzt sich flankenseitig bis in größere Höhe fort (bis ca. 300m oberhalb der Tiefenlinie konnte der Autor das Material verfolgen). Orographisch rechts im Tal bildet die im Bild erkennbare Kante (—) eine Grenze. Der orographisch linke Teil des Moränenkomplexes ist als eine einem Schuttkegel ähnliche Form zu beschreiben, die an der orographisch rechten Talseite bis mindestens in das Niveau der Terrassenkante gereicht hat. Die rezente Morphodynamik zerschneidet die Form und schließt im gesamten Profil glazigenes Sediment auf.

Oberhalb der Terrassenkante finden sich Grundmoränenreste auch an der orographisch rechten Talflanke (vgl. **Photo 129**)

Der Block (◆) nahe der Taltiefenlinie ist vermutlich durch einen Nachbruch aus der Flanke oder der Moräne in seine derzeitige Position gelangt und nicht in situ aus dem Sediment ausgewaschen worden. Er zeigt oberhalb des Einflusses der rezenten Pegeländerungen des Ghunsa Khola Flusses keine eindeutige fluviale Überprägung seiner Oberfläche. Weit oberhalb der Taltiefenlinie finden sich in glazigenem Feinmaterial eingebettete Blöcke vergleichbarer Größe.



Photo 135a : Die Aufnahme erfolgte aus 4000m Höhe, orographisch links oberhalb des Talausganges des Yamatri Khola stehend. Das Panorama erstreckt sich über die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke oberhalb von Phale ((*) in 3200m), den talaufwärtigen Blick ins Ghunsa Khola, bis zum Talausgang des Yamatri Khola (**Photo 145**), einem orographisch linken Nebental des Ghunsa Khola. Im Bildhintergrund ist die historische Laterofrontalmoräne des Khumbarkarna Gletschers zu erkennen ((◆), **Photo 114**).

Die Kombination aus einem im unteren Teil, trogtalförmigen Talquerprofil, Dreiecksflächen (▲) und Schlifffgrenzen belegt Gletscherpegel in unterschiedlichen Niveaus zwischen 4400m (••••) und 4800m (—). Die Symbole () und () verweisen auf aus der Genese der Runsen abzuleitende Evidenzen für die vorzeitliche Vergletscherung dieses Talabschnittes, wie sie im Text beschrieben ist.

Die Karseen (●) zwischen 4800m und 4900m belegen die Absenkung der lokalen Schneegrenze bis mindestens in das Niveau der Karböden. Lokale Gletscherzungen reichten aus den Einzugsgebieten dieses Teils des Yanma Samba Khola bis in mindestens 4400m herab.

Photo 135b ist die Fortsetzung des Panoramas **Photo 135a** und zeigt den Talausgang des Yamatri Khola bzw. die orographisch linke Yamatri Khola Flanke. Vorzeitliche Zungenbecken einer lokalen Vergletscherung ((••••) in ca. 4250m und 4350m) heben sich deutlich von hohen Schlifffgrenzen ((—) in ca. 5100m) und Dreiecksflächen (▲) ab. Am unteren Bildrand ist eine morphologisch und sedimentologisch gut zu erfassende Ufermoräne (•—•) markiert, die auf eine Eisrandlage deutlich außerhalb des Talausganges des Yamatri Khola hinweist.

Im Ghunsa Khola korrespondiert das obere Niveau glazial überprägter Flankensporne ((◐), vgl. **Photo 145**) mit den Befunden nahe Kanbachen und der Lokalität Kyapla.





Photo 136: Die Lokalität Kyapla, ca. 9km talauswärts von Ghunsa im Ghunsa Khola. Der rechte Bildteil zeigt die Talausgänge des Chhudatanka- und des Bakim Khola oberhalb der Siedlung Kyapla (2600m). Der rezente Abfluß der Täler zerschneidet den Schwemmfächer (●). Der ca. 3000m hohe Vorgipfel (→) am Talausgang des Chhudatanka Khola ist von allen Seiten glazial überschliffen, die Form entspricht der klassischer Rundhöcker. Schliffgrenzen und Dreiecksflächen an der orographisch rechten Flanke talaufwärts von Kyapla belegen einen Gletscherpegel in mindestens 4100m (**Photo 137**) und korrespondieren mit Befunden moränischen Materials talauswärts der Siedlung Kyapla in 3400m (■) und Schliffgrenzen in 3800m (—). Neben zugerundeten, glazial überprägten Vollformen im Anstehenden (▲) belegen Moränenrestterrassen in 3200m (••••) einen weiteren Gletscherpegel. Der Standort des Betrachters liegt auf der mit Hilfe von **Photo 137** dokumentierten Ufermoräne.



Photo 137: Die Siedlung Kyapla (2600m bis 2800m) im Ghunsa Khola. Das Panorama zeigt u.a. eine die Taltiefenlinie um ca. 200m bis 250m überragende, orographisch rechts liegende Ufermoräne (••••). Im rechten Bildvordergrund ist die Oberfläche einer glazifluvialen Zungenbeckenfüllung zu erkennen (●). Im Hintergrund ist eine bis ca. 4100m reichende glazigene Flankenüberprägung der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke (—) zu sehen. Diese Formen leiten zu den Befunden oberhalb der Siedlung Phale über (vgl. **Photo 135**).

Die Ufermoräne endet in ca. 2400m und leitet hier zu einer Podestmoräne über, deren talauswärtige Begrenzung eine ca. 200m hohe "Stufe" zwischen 2200m und 2400m im Tallängsprofil des Ghunsa Khola bildet. Die talauswärtige Begrenzung der Podestmoräne ist als Eisrandlage eines Haupttalgletschers zu interpretieren (→) und wird nicht auf der Basis der Vergletscherung der lokalen Einzugsgebiete verständlich.



Photo 138: Der Standort des Betrachters liegt in 4600m im Sunlun Khola. Im unteren Bildteil ist die orographisch rechte Ghunsa Khola Flanke oberhalb der Siedlung Kyapla zu erkennen. Das Haupttal war in diesem Talabschnitt bis mindestens 3400m (••••) wahrscheinlich aber bis 3800m (—) eisverfüllt (**Photo 136**). Hinter dieser Flanke ist die orographisch rechte Nup Khola Flanke zu erkennen. Das Nup Khola zweigt nördlich von Hellok vom Tamur Khola ab. Die hohen, morphologisch gut repräsentierten Grenzen glazialer Überprägung (••••) stützen die Befunde für das Ghunsa Khola. Im Bildhintergrund sind die Gipfel von Makalu (1) und Lhotse/Nupse/Everest

((2), zu erkennen.

Das obere Talgefäß dieses Nebentales wies LGM zeitlich eine Eigenvergletscherung auf, die mindestens das Konfluenzniveau mit dem Haupttalgletscher unterhalb von 3800m erreicht hat (**Photo 139** zeigt einen größeren Ausschnitt des Tales).

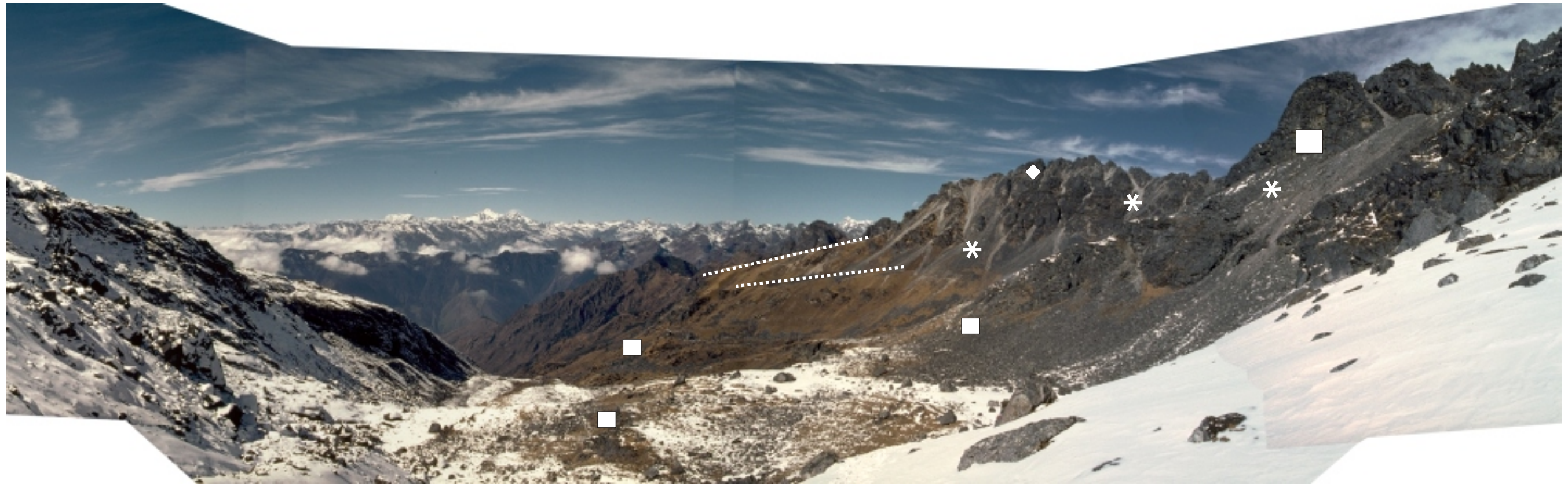
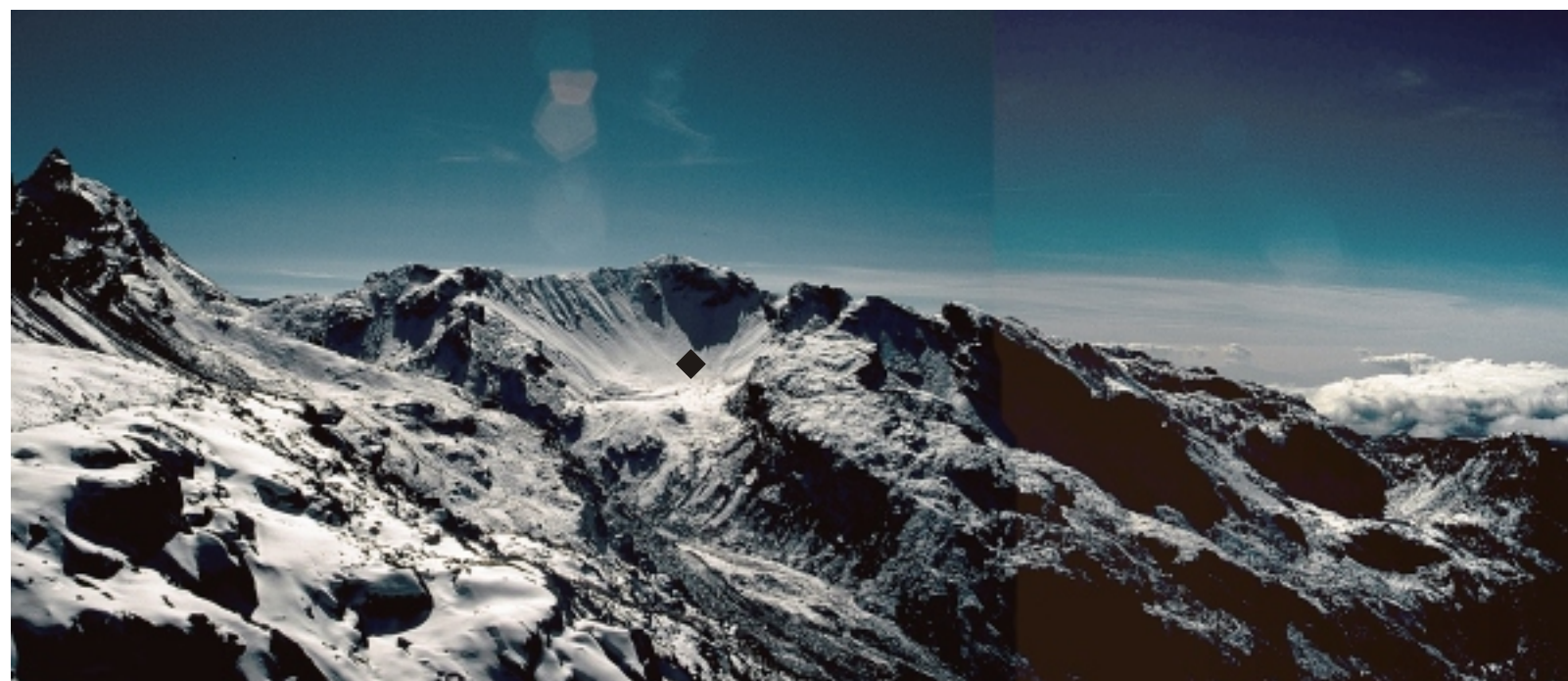


Photo 139: Der Talschluß des Sunlun Khola, aus 4600m Höhe photographiert. Der breite und flach geneigte Talschluß dieses Seitentales bildete das im Mittel ca. 4700m hohe Einzugsgebiet einer vorzeitlichen Vergletscherung, die über die Grundmoränenverkleidung (■) des Talbodens und durch orographisch rechts ansetzende Ufermoränenwälle (****) nachzuweisen ist. Die Ufermoränen belegen zwei Niveaus unterschiedlicher Verfüllung des Talgefäßes in ca. 4200m und 4400m. Die anstehenden Flankenabschnitte sind übersteilt und abschnittsweise deutlich überschliffen. Die Schuttkegel (*) unterhalb der anstehenden Flanke am rechten Bildrand sind deutlich von den talauswärts einfallenden Moränenzügen zu unterscheiden und auf die untere

Ufermoräne bzw. den Talboden eingestellt. Die Moränen werden überprägt. Auffällig sind die in Relation zu den Kegeln sehr kleinen Einzugsgebiete der Kegel. Überschlifene Flankenabschnitte und rudimentär erhaltene Schlifffgrenzen stützen im Verbund mit der "Unverhältnismäßigkeit" der Kegel ein potentielles drittes Vergletscherung Niveau in ca. 4600. Einzelne höhere Gipfel könnten als Nunatakker (◆) aus der Gletscheroberfläche geragt haben. Im Bildhintergrund sind die Gipfel von Makalu, Everest und Lhotse zu erkennen.

Photo 140: Der Boden eines Kar (◆) unterhalb eines 4730m hohen Gipfel der Ghunsa Khola Südabdachung südlich von Kyapla liegt in ca. 4500m Höhe im Talschluß des Sunlun Khola (**Photo 139**). Dieses und ein sich talauswärts anschließendes Kar mit einem Karboden in 4480m beschreiben die Höhe der Lage der Schneegrenze mindestens unterhalb der Karumrahmung, d.h. im Mittel mindestens unterhalb von 4600m.

Die mit Hilfe von **Photo 139** belegten Ufermoränenreste und Moränenverkleidungen belegen die Vergletscherung des Talbodens unterhalb der im Bild zu erkennenden Kar-schwelle. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist daher das Kar dem Einzugsgebiet einer weiterreichenden Vergletscherung des Sunlun Khola zuzuordnen.



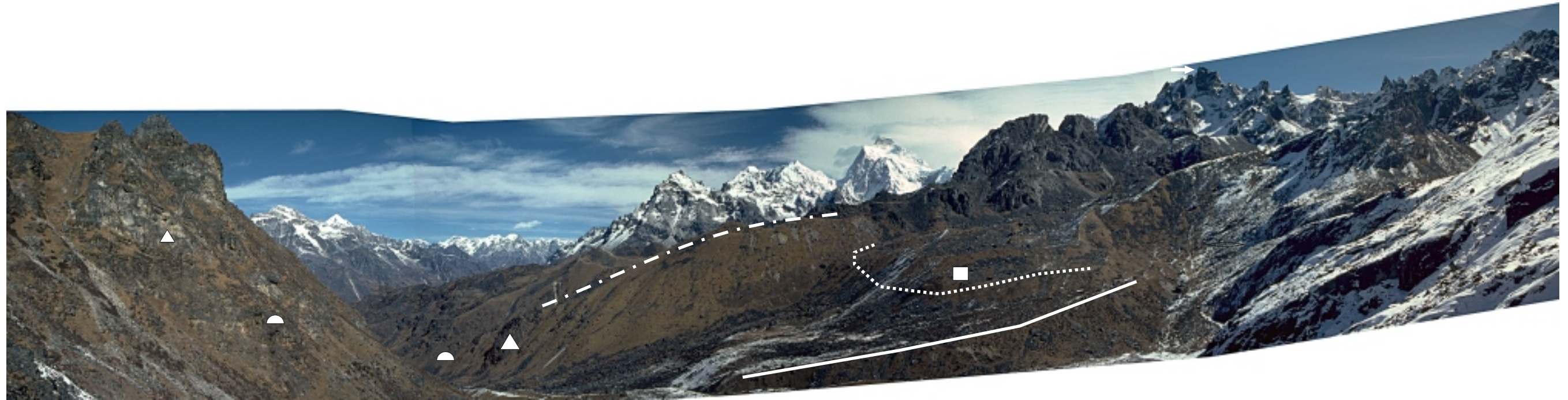


Photo 141: Das 135° Panorama zeigt den orographisch rechten Teil des Talschlusses eines orographisch linken Seitentales des Ghunsa Khola, aus 4600m photographiert. Der das Einzugsgebiet überragende, rezent nur sehr gering vergletscherte Gipfel ist 5316m hoch (→).

Das stark zergliederte "Moränenfeld" (■) in 4550m unterhalb des Gipfels ist als Mischform zwischen einer Podest- und einer Satzendoräne zu interpretieren. Die mittlere Einzugsgebietshöhe für diese ERL (••••) war nicht höher als 5200m, dementsprechend lag die Schneegrenze in ca. 4930m. Im Bildvordergrund ist ein orographisch linker Ufermoränenrest (—) zu erkennen, der als Wallform bis 4300m herabreicht (Schneegrenze: ca. 4820m). Orographisch rechts schließt sich ab ca. 4600m eine rechts zur Taltiefenlinie liegende Mittelmoräne an (•—•), die sich unterhalb von 4300m nicht weiterverfolgen läßt. Das Talquerprofil versteilt sich unterhalb von 4200m stark. Der Größenunterschied und die unterschiedliche Firsthöhe über der Taltiefenlinie zwischen dieser Mittelmoräne und der genannten Ufermoräne machen wahrscheinlich, daß es sich nicht um zwei zum gleichen Stadium gehörende Moränen handelt; eine ERL, die mit der Mittelmoräne verknüpft ist, zeichnet sich an der orographisch rechten Flanke ab. Dreiecksflächen (▲) und deutlich zugerundete Flankenabschnitte (●), insbesondere auch auf der orographisch linken Talseite, machen eine deutlich tiefere Eisrandlage (unter 3900m) wahrscheinlich. Der Talausgang liegt in 3040m südlich von Phale.

Photo 142: Der ca. 15m hohe Aufschluß liegt 100m oberhalb der rezenten Taltiefenlinie, nahe der Siedlung Amjilosa in 2100m Höhe. Große, facettierte und kantengerundete Blöcke verschiedener Ausgangsgesteine liegen eingebettet in eine Feinmaterialmatrix der Fraktionen Ton bis Kies. Eine Sortierung oder Schichtung des Materials ist nicht festzustellen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich um ein glazigenes Sediment und stützt die Annahme des Vordringens eines Gletschers über die Eisrandlage von Kyapla (ca. 4km bis 5km talaufwärts, **Photo 137**) hinaus.





Photo 143: Dieser orographisch linke Höhenzug erreicht im unteren Talabschnitt des Ghunsa Khola eine maximale Höhe von 3260m. Die Taltiefenlinie verläuft in ca. 1800m. Schliffgrenzen (—) und im Flankenlängsprofil verfolgbare Gefällewechsel (••••), die nicht lithographisch induziert sind, belegen einen Eispegel zwischen 2500m und 2700m. Das Niveau fällt nach talauswärts leicht ein. Die Südabdachung der Flanke ist in **Photo 164** zu sehen. Die Aufnahme erfolgt aus ca. 2200m von der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke, die in diesem Talabschnitt bis in eine vergleichbare Höhe (2500m bis 2700m) glaziale Überprägungsspuren zeigt.



Photo 144: Das untere Ghunsa Khola nahe der Konfluenz mit dem Nup Khola. Die Taltiefenlinie liegt in ca. 1540m Höhe. Rechts und links im Talquerprofil belegen ca. 100m hohe Moränenterrassen (◆) als Reste der fluvialen Zerschneidung einer glazigenen Lockermaterialfüllung, wahrscheinlich einer Grundmoräne, ein vorzeitliches Talbodenniveau in ca. 1650m Höhe. KUHLE (1990:Fig 5) findet vergleichbare Sedimente am Talausgang des Simbua Khola, weist auf deren Ufer- oder Endmoränen-"Charakter" hin und leitet eine Spätglaziale ERL in ca. 1500m ab. Demgegenüber werden die Sedimente in der vorliegenden Arbeit als Reste einer zerschnittenen Grundmoränenfüllung des untersten Simbua Khola verstanden. Der stark verengte "Talausgang" des Ghunsa Khola dient zur Entwässerung des gesamten Ghunsa Khola (ca. 750km² Wassereinzugsgebiet). Die Aufnahme stammt aus dem November 1997, d.h. im direkten Anschluß an die Zeit der höchsten Niederschläge (vgl. MIEHE et al. 2001: Diagramm Kamachin [Kanbachen]). An der orographisch rechten Tamur Khola Flanke finden sich Reste einer großflächigen Auskleidung des Tales mit moränischem Material (■).



Photo 146: Die Aufnahme des zweigeteilten 360° Panoramas erfolgte aus ca. 4200m und zeigt im unteren Bildteil den orographisch rechten Ufermoränenaussenhang eines historischen Gletscherstandes des Yamatri Gletschers (**Photo 95**). Die Ufermoräne wird an ihrem Außenhang durch den Abfluß im Ufermoränenseitental unterschritten und wirkt deshalb abschnittsweise sehr frisch. Die historische Ufermoräne endet ca. 1000m hinter der Talbiegung und geht in eine flache, morphologisch schlecht repräsentierte Satzendmoräne (in 3960m) über. Die vorspringende, orographisch rechte Flanke ist mit moränischem Material (■) eines älteren Gletschervorstoßes bedeckt und in der Vertikalen weit über den hier gezeigten Ausschnitt glazial überprägt (**Photo 145**). In der Horizontalen läßt sich die Moränenverkleidung der orographisch rechten Ghunsa Khola Flanke gut weiter verfolgen und talauswärts in verschiedene Ufermoränenniveaus gliedern (**Photo 135**).

Photo 145: Die Aufnahme ergänzt **Photo 135** und zeigt aus 4000m Höhe photographiert u.a. das historische Zungenbecken des Yamatri Gletschers. Die markanten Ufermoränen (•-•) dieses Gletscherstandes enden in einer flachen Satzendmoräne (◆). Die Linien (•-•,••••) kennzeichnen zwei taltiefenliniennahe Gletscherpegel, die durch Ufermoränenreste gut repräsentiert sind. Der Gefällewechsel des Talbodens unterhalb des Endes der orographisch rechten historischen Ufermoräne stützt, in Kombination mit vergleichbaren Befunden an der gegenüberliegenden Ufermoräne, die Annahme einer ERL in dieser Geländedeposition, d.h. in 3960m. Der Ufermoränenrest unterhalb des im Bild zu erkennenden bewaldeten Terrassenrestes (✱) ist gegenüber dem guterhaltenen Zungenbecken als älter einzustufen und läßt sich talauswärts weiter verfolgen. Der erstgenannte Moränenrest (••••) korreliert mit Wallformen an der orographisch linken Talseite. Die Formen fallen talauswärts ein und enden in ca. 3760m. Die locker bewaldete Terrassenkante läßt sich talauswärts weiterverfolgen (**Photo 135**). Oberhalb dieser relativ nahe der Taltiefenlinie gelegenen Formen belegt die glaziale Überprägung der Flanke bis in ein Niveau von ca. 5100m bis 5200m die Gletscherverfüllung des Yamatri Khola (—). Neben der großflächigen Zurundung der Flanke stützen Dreiecksflächen und Unter-schneidungsformen diese Interpretation. Taleinwärts, oberhalb der ältesten gekennzeichneten Ufermoränen, finden sich keine glazialen Akkumulationsformen. Dieser Bereich kann weitestgehend dem Einzugsgebiet einer älteren Vergletscherung zugeordnet werden.





Photo 147: Die Siedlung Ghunsa im Ghunsa Khola (3407m). Der Blick richtet sich talauswärts. Links im Bild ist die Einmündung des Yamatri Khola zu erkennen. Der sich vom Talgefälle des Haupttales deutlich absetzende Wall (—) ist, soweit dies erkennbar ist, aus Lockermaterial aufgebaut, das alle Merkmale von Moränen repräsentiert. Die Form liegt in der Aufsicht bogenförmig vor dem Yamatri Khola und ist taleinwärts mit Ufermoränen verknüpft. Der First der Form liegt ca. 100m bis 120m oberhalb der Siedlungsfläche von Ghunsa in 3420m. Taleinwärts des Firstes sinkt die Oberfläche der Form leicht unter das Niveau des Firstes ein. Große Teile der oberflächlichen Akkumulation dieses Beckenbereiches sind aufgrund der Zurundung und Sortierung des Materials als fluviatil zu interpretieren. Die Gesamtform wird als vorzeitliche Laterofrontalmoräne des Yamatri Gletschers interpretiert, die genetisch und lagespezifisch mit der historischen Zungenbeckeneinfassung des Khumbarkarna Gletschers zu vergleichen ist (vgl. **Photo 135**), nur deutlich tiefer herab reicht, konsolidierter wirkt und älter ist. Die historische Yamatri Gletscher Laterofrontalmoräne zeigen **Photo 95** und **Photo 145**. Der Rücken am orographisch linken Talausgang des Yamatri Khola endet in einer Dreiecksfläche (▲), die ein Indiz für die glaziale Überprägung der Flanke in einem Niveau oberhalb der beschriebenen Laterofrontalmoräne liefert. Oberhalb dieser Dreiecksfläche befindet sich in Kammlage in 4000m Höhe moränisches Material (■). (→) markiert den Standort für **Photo 135** in 4000m Höhe.



Photo 148: Der Talausgang des Simbua Khola, aus 1600m Höhe photographiert. Die orographisch rechte Flanke bildet mit Hilfe des im Bild dokumentierten Gratverlaufes zwischen 1800m und 3270m die Wasserscheide zum sich nördlich anschließenden Ghunsa Khola. Die Flanke ist bis in ein Niveau von mindestens 2600m über den Gipfelrücken hinaus glazial überprägt (vgl. **Photo 97** und **Photo 143**). Dies belegen Reste einer Auskleidung des Tales mit Grundmoräne (■) in Kombination mit glazial zugerundeten, überschliffenen Flankenpartien (◐). Die Lokalität Nyamgyalama (**Photo 161**) und die hier belegte Ufermoräne liegen ca. 9km taleinwärts des Standortes.



Photo 149: Die orographisch rechte Simbua Khola Flanke oberhalb des rezenten Gletscherendes des Yalung Gletschers (◆). Der Blick richtet sich aus 4630m in nordnordöstliche Richtung - in der Bildmitte ist der 6114m hohe Boktoh-Hauptgipfel zu erkennen. Die rezent Vergletscherung dieses Gipfels liegt deutlich zurückgezogen in einem historischen Zungenbecken, das durch eine Laterofrontalmoräne (....) nachgezeichnet wird. Der rezent Gletscher endet in ca. 5000m, am Einsetzpunkt der orographisch rechten Ufermoräne der historischen Zungenbeckeneinfassung. Der First dieser Moräne reicht bis ca. 4700m herab; die Basis liegt ca. 150 Höhenmeter tiefer.

Zwei Einzugsgebiete (→) und deren rezent Vergletscherung werden getrennt durch einen quer zum Hang verlaufenden Sporn, der über einen Vorgipfel (5573 m) zu einem Paß in das Yamatri Khola vermittelt (Paßhöhe 5620m, vgl. **Photo 95**). Der Rücken ist unterhalb des Vorgipfels in ca. 5050m und 4840m gestuft. Der Vorgipfel ist bis ins Gipfelniveau großflächig mit Lockermaterial bedeckt. Ein potentielles Einzugsgebiet für eine lokale, Material liefernde Vergletscherung des Sporns fehlt. Den genannten Niveaus steht die insbesondere im oberen Abschnitt des Rückens starke Versteilung der Flanke morphographisch gegenüber. Belegt sind zwei Eisbewegungsrichtungen: westöstlich, d.h. dem Gefälle der Haupttaltiefenlinie folgend, und nordsüdlich, d.h. der Gefällerrichtung der Flanke folgend. Letztere wirkt versteilend auf die nordsüdlich verlaufende Rückenflanke, erstere "erarbeitete" die genannten Niveaus und führte zur Sedimentation des Lockermaterials.

Die Niveaus in 5050m (—) und 4840m (•—•) lassen sich talauswärts weiterverfolgen (**Photo 153**) und ergänzen Befunde auf der orographisch linken Simbua Khola Talseite (**Photo 99**).

Im Bildvordergrund ist das rezent Gletscherende des Yalung Gletschers (◆) zu erkennen. Rechts außerhalb der historischen Laterofrontalmoräne das Yalung Gletschers ist einen Ufermoränenrest (*) zu erkennen, der in einigen Abschnitten bis zur Ufermoränenalfüllung aufgelöst ist. Der Verlauf und die anzunehmende Firsthöhe dieses Moränenrestes sind jedoch zur in **Photo 98** dokumentierten Ufermoräne (bzw. deren Rest, (—) in **Photo 98**) in eine eindeutige Beziehung zu stellen (vgl. ergänzend **Photo 153**, **Photo 156**); sie gehören mit hoher Wahrscheinlichkeit der gleichen Vergletscherungsphase an.



Photo 150: Die Aufnahme zeigt die als Simhalila Range bezeichnete orographisch linke Simbua Khola Flanke zwischen Kangchenjunga ((1), 8586 m) und Rathon ((2), 6682 m). Die Aufnahme erfolgte aus 4800m, in ost-südöstliche Richtung blickend. Die rezenten Gletscherenden der lokalen westexponierten Vergletscherung der Flanke zwischen Talun und Rathon reichen im talauswärtigen Teil der Flanke nur bis ca. 4900m bis 5000m herab (◆) und bilden keinen Teil des Einzugsgebietes des Yalung Gletschers. Die mittlere Einzugsgebietshöhe dieser Flankenvereisungen liegt zwischen 6900m und 7000m - die entsprechend dieser Parameter zu ermittelnde Schneegrenze liegt zwischen 5900m und 6000m, d.h. weit oberhalb der für den Yalung Gletschers berechneten Schneegrenze. Die Oberfläche der Gletscherzunge des Yalung Gletschers liegt unterhalb des Rathon (6682m) in ca. 4500m. Oberhalb schließen sich drei Niveaus glazialer Überprägung der Flanke an. Die deutlich zu erkennende historische Ufermoräne wird überragt von einer Verkleidung der Flanke mit glazigenem Sediment bis in ca. 5000m Höhe (◆◆◆). Oberhalb dieser Moränenreste findet sich ein weiteres, stärker glazialerosiv geprägtes Niveau in ca. 5900m (—).



Photo 151: Das Panorama zeigt am unteren Bildrand den Yalung Gletscher. Der Standort des Betrachters liegt westlich der Einmündung des Rathon Gletschers oberhalb der orographisch rechten Ufermoräne des Yalung Gletschers in ca. 5120m.

Die in **Photo 150** gekennzeichneten Niveaus glazialer Überprägung der Simhalila Range sind in dieser Aufnahme ebenfalls eindeutig zu verfolgen (◆◆◆). Die extreme Versteilung des unteren Flankendrittels oberhalb der schuttbedeckten Oberfläche des Haupttalgletschers ist markiert durch Dreiecksflächen (▲), deren obere Begrenzung sich zu einem gemeinsamen Niveau vermitteln läßt. Unterhalb des Rathon ist in tieferer Position eine morphologisch vergleichbare Dreiecksfläche in die orographisch linke historische Ufermoräne eingeschaltet und muß als subaktualistisch erkannt werden. Im näheren Umfeld dieser jüngeren Dreiecksfläche befinden sich zugerundete, bauchig-überschliffene Partien im Anstehenden, die flankenaufwärts mit einem markanten Gefälleknick in einen Abschnitt mit relativ gestreckter Fallinie übergehen. Dieser markante Gefällewechsel liegt in ca. 5200m und ist mit den oben genannten Dreiecksflächen zu korrelieren. Auffällig ist die große Lockermaterialmenge, die sich aus den relativ sehr kleinen Einzugsgebieten kegelförmig hinter die historische

Ufermoräne schüttet. Die Schuttkörper können aufgrund der Geländesituation nicht als dissoziierte Moränen einer lokalen Vergletscherung fehlinterpretiert werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist das Ausgangsmaterial für diese Schuttkörper durch einen quer zu Flanke verlaufenden Eiskörper akkumuliert worden.

Deutlich sind für den im Bild dokumentierten Ausschnitt der orographisch linken Simbua Khola Flanke die morphologisch durch die lokale Vergletscherung der Flankeneinzugsgebiete überprägten Flankenpartien (◆) von den Abschnitten zu unterscheiden, die durch eine quer zur Fallinie der Flanke verlaufenden Gletscherbewegung überprägt wurden. Ein deutlicher Gefälleknick der Flanke liegt etwa im Niveau der rezenten Gletscherenden in ca. 5100m. Die Flanke ist großflächig mit moränischem Material (■) verkleidet.

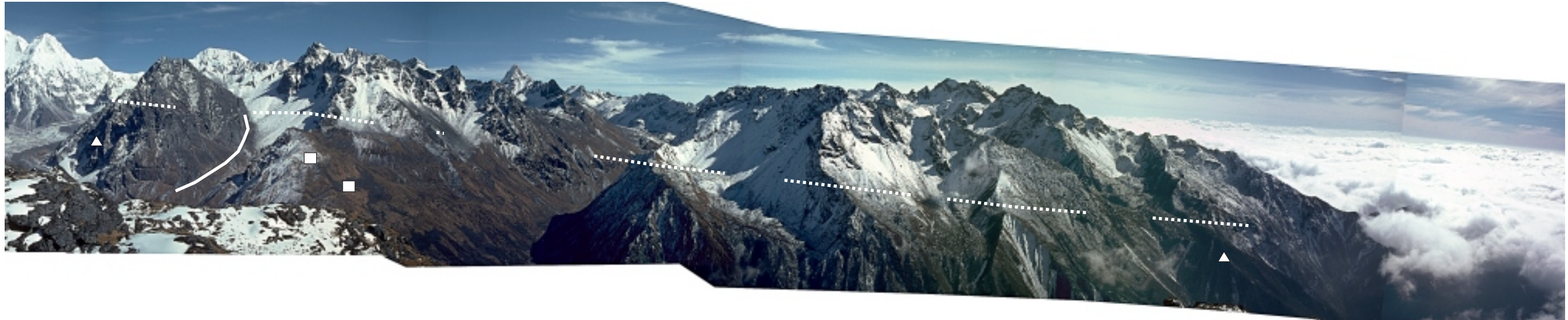


Photo 152: Das Panorama zeigt einen Ausschnitt der orographisch linken Simbua Khola Flanke zwischen dem Rathon (6682m) im Osten und der Siedlung Yalung im Westen. Im mittleren Bildteil ist das Yamgachha Khola zu erkennen. Die Aufnahme erfolgte aus 4640m Höhe, von der orographisch rechten Simbua Khola Flanke. Zwischen 4800m (talaufwärts) und 4600m (talauswärts) zeichnet sich eine deutliche Gefälleveränderung der anstehenden orographisch linken Simbua Khola Flanke ab. Die Gefällewechsel der Flankenabschnitte zwischen den Seitentaleinmündungen lassen sich oberhalb von glazigenen Dreieckshängen (▲) zu einem gemeinsamen Niveau (••••) vermitteln, das talauswärts deutlich einfällt. Besonders deutlich zeichnet sich dieses Niveau rechts und links der Einmündung des Yamgachha Khola ab. Der orographisch rechts am Talausgang dieses Seitentales zu sehende Vorgipfel ist 4636m hoch und muß als vollständig eisüberflossen interpretiert werden. Auf dem flachen Vorgipfel finden sich erratische Gesteine bis zur Fraktionsgröße Grobkies. Der Gipfel überragt die Taltiefenlinie des Haupttales um ca. 800m. Die Gipfel im Hintergrund erreichen Höhen zwischen 5310m und

5365 m und bilden u.a. das Einzugsgebiet des Seitentales, das sich direkt talaufwärts der Einmündung des Yamgachha Khola anschließt (**Photo 98**). Unterhalb der orographisch rechten Flanke dieses kurzen Seitentales belegt ein in Resten erhaltener, talauswärts einfallender Wall, der einige Dekameter über der rezenten Tiefenlinie liegt, einen Gletscherpegel in diesem Niveau (—) zwischen 4200m und 5000m im Nebental. Die orographisch linke Flanke ist vollständig mit einer Schuttschürze verkleidet. Ein entsprechender orographisch rechter Moränenwall setzt erst kurz vor dem Talausgang in ca. 4300m an (**Photo 155**). Die großflächige Verkleidung der orographisch rechten Yamgachha Khola Flanke mit glazigenem Lockermaterial (■) ist neben der vorzeitlichen lokalen Vergletscherung an spät- bzw. hochglaziale Akkumulationsphasen gebunden.



Photo 153: Die orographisch rechte Flanke des Ghunsa Khola oberhalb von Cheram, aus 4636m aufgenommen. Der Standort liegt oberhalb des orographisch linken Talausganges des Yamgachha Khola. Der höchste Gipfel dieses südöstlich exponierten Flankenabschnittes ist 5316m hoch und rezent nicht vergletschert. Deutlich sind im Bild annähernd horizontal verlaufende glaziale Überprägungsformen von jüngeren, dem Flankengefälle folgenden glazigenen Erosions- und Akkumulationsformen zu trennen. Die erstgenannte Formengemeinschaft aus Schliffgrenzen und Dreieckshängen belegt ein Niveau zwischen 4600m und 4800m ((4) talauswärts einfallend). Vertikal orientierte Akkumulationsformen der lokalen Vergletscherung reichen aus einem im Mittel 5200m hohen Einzugsgebiet bis in ca. 4200m herab (7).

Der große Lockermaterialaufschluß unterhalb des 5316m hohen Gipfels am rechten Bildrand wird als schuttkegelähnlich verstürzte Endmoräne (;) einer lokalen Vergletscherung des Gipfels interpretiert, wobei die Frische des Aufschlusses und die Menge des aufgeschlossenen Materials in dieser Position nahe einer im Anstehenden angelegten Tiefenlinie wahrscheinlich macht, daß es sich um ein relativ junges Akkumulat handelt. Die Befunde der oberen Ausdehnung der quer zur Flanke verlaufenden Gletscherbewegung sind durch die entsprechenden Schliffgrenzen der orographisch linken Talflanke in diesem Talabschnitt zu ergänzen (u.a. **Photo 152**).

Im unteren Teil des Panoramas sind Terrassen- und Ufermoränenreste (8) zu erkennen, die als Indiz für eine größere Ausdehnung des Yalung Gletschers zu verstehen sind. Hierbei sind die Ufermoränenreste talaufwärts des Ausganges des Seitentals hinsichtlich der Eindeutigkeit der Interpretation von entscheidenderer Bedeutung. Rückseitig schließt sich an den erhaltenen Ufermoränenwall (6) eine Ufermoränenseitentalfüllung an, die genetisch im wesentlichen an aus dem Seitental bereitgestelltes Material gebunden ist. Die quasi längs zum Haupttalquerprofil verlaufende Ufermoräne kann jedoch nicht einer lokalen Vergletscherung zugeordnet werden; eine entsprechende Moräne wäre, wie das Bild belegt, vertikal zur Haupttal tiefenlinie orientiert und würde am Talausgang mit hoher Wahrscheinlichkeit dem Haupttalgefälle folgen (Dies ist nicht zwingend, wie ein Beispiel eines kleineren Gletschers im Khumbu Himal zeigt. Dieser orientiert sich in Abhängigkeit von seiner eigenen Podestmoräne haupttal aufwärts.). Für den orographisch rechten Talausgang des Seitentales ist eine ebenso eindeutige Ableitung nicht herzustellen. Hier wird im Ufermoränenseitental akkumuliertes Material (:) im Bereich der orographisch rechten Seitentalufermoräne aufgeschlossen (<). Dieser nicht eindeutig zu interpretierende Geländebefund ist u.U. ein Indiz für die Konfluenz von Neben- und Haupttalgletscher (vgl. dazu auch die Befunde für den Talausgang eines kleinen Seitentales nördlich der Einmündung des Yamgachha Khola).



Photo 154: Der untere Talabschnitt des Yamgachha Khola, aus 4636m photographiert. Flankenschliffe (◐), Dreiecksflächen (▲) und eine deutliche Veränderung des Talquerprofils stützen die Annahme eines Eispegels in 4600m am Talausgang. Eine Moränenrampe (◆), deren Oberfläche in ca. 4600m liegt, belegt die Vergletscherung eines orographisch rechten 5240m hohen Gipfels (die näherungsweise zu bestimmende Schneegrenze läge in ca. 4800m Höhe). Die sich deutlich von Gefälle der Flanke abhebende Form ist gekennzeichnet durch eine flacher geneigte Oberfläche und durch in Resten erkennbare Moränenwälle. Talaufwärts deuten geschlossene Zungenbecken auf eine Vergletscherung hin, die aus einem maximal 5300m hohen Einzugsgebiet in zwei Phasen bis ca. 4670m und 4800m herabgereicht haben muß.

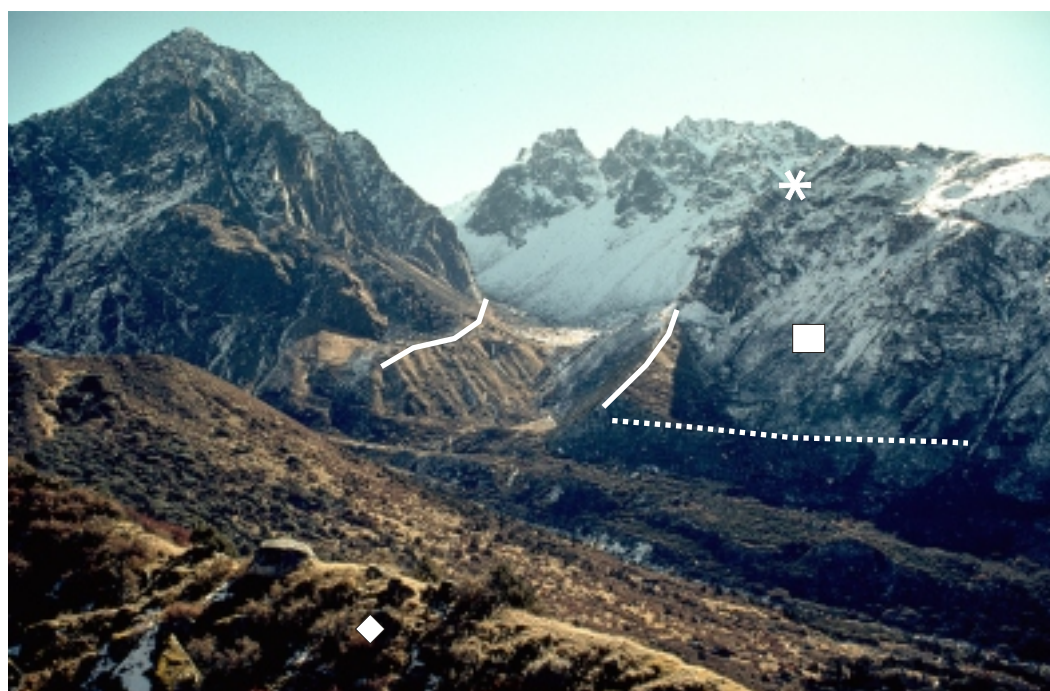


Photo 155: Der Talausgang eines kleinen Seitentales des Simbua Khola nördlich der Einmündung des Yamgachha Khola. Rechts und links am Talausgang sind Ufermoränenwälle (—) zu erkennen, die in ca. 4150m enden. Bis in mindestens dieses Niveau muß ein Gletscher aus dem Seitental herabgereicht haben (vgl. **Photo 152** für den Verlauf der orographisch rechts im Tal liegenden Ufermoräne). Der frontale Abschnitt der Ufermoränen wird durch eine quer zur Nebentaleinmündung verlaufende, deutlich tiefer liegende Ufermoräne eines vorzeitlichen Gletscherstandes des Yalung Gletschers gekappt (⋯). Das Material der Nebentalmoräne ist teilweise über diese flachere Moräne verstürzt. Im Bildvordergrund ist das orographisch rechte Pendant zur Haupttalufermoräne zu erkennen (◆).

Die Morphologie des Innenhanges der orographisch linken Nebentalmoräne trägt der Unterschneidung durch den Abfluß des Nebentales Rechnung, die Sichelform ist als sekundär zu interpretieren.

(*) markiert einen 4630m hohen Vorgipfel (vgl. **Photo 154**), der vom Eis einer Haupttalvergletscherung überflossen war. Unterhalb dieses Gipfels ist die orographisch rechte Simbua Khola Flanke mit einer Grundmoränendecke (■) verkleidet, die sukzessive zu einer Schuttkegelform verstürzt.



Photo 156: Aus ca. 4000m richtet sich der Blick über den Talausgang des Yamgachha Khola in das Simbua Khola. Die dokumentierte orographisch rechte Simbua Khola Flanke schließt sich talauswärts an den in **Photo 153** gezeigten Flankenabschnitt an. Die für den entsprechenden Bereich beschriebenen Flankenschliffe und aus glazigenen Überprägungsformen abgeleiteten Pegel lassen sich auf diesem Bild weiter verfolgen (—).

Deutlich zu erkennen ist die aus glazifluvialen und fluvialen Material aufgebaute, flachgeneigte Talsohle (●) am Talausgang des Yamgachha Khola (zwischen 3840m und 3920m), die durch eine Terrassenkante von der Talsohle des Haupttales getrennt wird und diese um ca. 40m bis 80m überragt.



Photo 157: Der Standort liegt unterhalb der Siedlung Cheram in ca. 3750m im Simbua Khola. Der Blick richtet sich talauswärts. Der rezente Abfluß des Simbua Khola schließt in einem weiten Bogen moränisches Material auf (*), das in ca. 3650m mit glazifluvialen Material verzahnt ist. Das Feinmaterial nahe der Tiefenlinie ist bis auf die Fraktionen Kies und Block (Kantenlängen bis 3m sind nicht selten) nahezu vollständig ausgewaschen. Orographisch rechts ist eine flache Schotterterrasse zu erkennen, die durch die aktuelle Morphodynamik zunehmend aufgelöst wird. Unterhalb der linken Talflanke ist eine deutlich von der Flanke zu differenzierende Lockermaterialvollform (◆) zu erkennen, die annähernd flankenparallel verläuft. Das Oberflächenniveau dieser Vollform ist morphographisch mit dem Niveau der Talverfüllung am Talausgang des Yamgachha Khola in Beziehung zu setzen und liegt in ca. 3840m. Talauswärts fällt der First der Form deutlich ein und läßt sich noch ca. 3km weiterverfolgen (**Photo 158, Photo 159**).



Photo 158: Aus einer Position ca. 4km westlich von Cheram in 3550m stehend, richtet sich der Blick talauswärts das Simbua Khola hinab (vgl. **Photo 159**). Von rechts und links drängen Lockermaterialwälle mit moränentypischer Korngrößenverteilung auf die Taltiefenlinie zu. Diese Ufermoränen fassen ein Areal ein, das geprägt ist durch eine Mischung glazigener und fluvialer Akkumulate. Morphologisch und sedimentologisch ist eine enge Vergleichbarkeit zu den rezenten Gletschervorfeldern, beispielsweise des Khumbarkarna Gletschers oder des Rechten Rolwaling Gletschers herzustellen. Die Moränenwälle überragen die Tiefenlinie in diesem Talabschnitt um ca. 40m, der Standort des Betrachters liegt ca. 10m oberhalb der Tiefenlinie. Die Gesamtform wird talauswärts durch einen Gefälleknick im Tallängsprofil des Simbua Khola begrenzt. Diese ERL des Yalung Gletschers in 3500m ist an eine Schneegrenzabsenkung auf mindestens 5160m gebunden.



Photo 159: Die Aufnahme erfolgte aus 3550m Höhe, ca. 10m oberhalb der Tiefenlinie des Simbua Khola stehend. Der Blick richtet sich talaufwärts. Der flache, unbewaldete 4630m hohe Vorgipfel (*) im Bildmittelgrund ist ebenfalls in **Photo 152** zu erkennen. Er kann als LGM zeitlich eisüberflossen interpretiert werden (vgl. **Photo 158**).



Photo 161: Die Alm Nyamgyalama liegt in 3600m Höhe, ca. 800m über der Tiefenlinie des Simbua Khola nahe der verlassenen Siedlung Thoronthan. Der aus Lockermaterial aufgebaute Wall (••••) verläuft annähernd parallel zur Flanke. Diese befindet sich im Rücken des Betrachters. Die Form ist als Rest einer Ufermoräne zu interpretieren. Der Standort liegt auf der Fläche der Ufermoränentalfüllung. Flankenseitig des Ufermoränenrestes belegen erratische Blöcke und eine Überkleidung der Flanke mit glazigenem Sediment eine höheren Gletscherpegel, der über die Kammlinie in 3800m hinüber gereicht haben dürfte und so zum LGM zeitlichen Ghunsa Khola Gletschers vermittelt.



Photo 160: Diese Blockterrasse (◆) liegt in ca. 3340m im Simbua Khola. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich bei dieser Terrasse um die Reste einer überarbeiteten Grundmoräne. Das gesamte Feinmaterial ist ausgewaschen, und das sukzessive Nachrutschen bzw. Absetzen der Blöcke hat zur Bildung einer gleichmäßig einfallenden, dem Gefälle der rezenten Taltiefenlinie folgenden Oberfläche geführt. Diese liegt ca. 5m oberhalb der rezenten Tiefenlinie. Der aktuelle jahreszeitlich schwankende Abfluß tangiert diesen Bereich nicht mehr, wie die Vegetation und der Flechtenbesatz der Blockoberflächen belegen. Die Überarbeitung des glazigen Ausgangsmaterials zu dieser Blockterrasse ist eng mit der sich ca. 2km oberhalb anschließenden Eisrandlage des Yalung Gletscher in 3550m verknüpft. Die Bildung der Blockterrasse über das sukzessive und kontinuierliche Auswaschen des Lockermaterials ist nur in einem Talabschnitt möglich, in dem das Talgefälle in Relation zur Abflußmenge relativ flach ist, so daß die in der Fläche wirksame Spülung relevanter ist als die lineare fluviale Einschneidung.



Photo 162: Die Aufnahme zeigt die orographisch linke Simbua Khola Flanke oberhalb von Thoronthan, aus ca. 3600m photographiert. Gegenüber der Ufermoräne von Nyamgyalama (**Photo 161**) befindet sich ein Paß, der in das Amji Khola vermittelt. Die Paßhöhe liegt ca. 200m tiefer als der gegenüberliegende Ufermoränenfirst in ca. 3400m. 1,5km talaufwärts des Passes erreicht die Kette eine Höhe von über 3600m. Zum Zeitpunkt der Genese der orographisch rechts im Simbua Khola liegenden Ufermoräne ist davon auszugehen, daß dieser Teil der linken Simbua Khola Flanke unterhalb des Niveaus (—) eisüberflossen war. Die riesigen Rutschungen und Erosionsbahnen unterhalb des Passes sind im wesentlichen in teilweise tiefgründig verwittertem Anstehenden angelegt.



Photo 163: Die ca. 5m bis 8m tiefe Klamm bei Thoronthan in 2700m liegt unterhalb der Ufermoräne von Nyamgyalama (in 3600m) und direkt unterhalb des Passes, der mit Hilfe von **Photo 162** dokumentiert ist. Diese Engstelle bündelt den gesamten Abfluß des ca. 310km² großen Simbua Khola Wassereinzugsgebiet.



Photo 164: Die Aufnahme erfolgte vom gleichen Standort, von dem auch **Photo 165** photographiert wurde. Die Ufermoräne von Nyamgyalama (→) liegt ca. 800m über der rezenten Tiefenlinie des Simbua Khola (**Photo 163**) . Der Gipfel links im Bild ist ca. 3940m hoch. Der Kamm östlich des Gipfel erreicht eine mittlere Höhe von 3800m. Talwärts des 3940m hohen Gipfels verliert die orographisch rechte Simbua Khola Flanke sehr schnell an Höhe. Die Konfluenz von Simbua Khola und Tamur Khola liegt ca. 6km westlich des Gipfels.



Photo 165: Die Aufnahme zeigt den oberen Abschnitt der orographisch rechten Simbua Khola Flanke zwischen Cheram und Thoronthan, aus ca. 3400m von der orographisch linken Simbua Khola Flanke oberhalb von Thoronthan photographiert. Am rechten Bildrand ist im Hintergrund der markante Gipfelaufbau des Khumbarkarnana (7711 m) zu erkennen, dessen Ostabdachung einen Teil des Einzugsgebietes des Yalung Gletschers bildet. Die Ufermoräne von Nyamgyalama ist markiert (→ in 3600m). Der flachkuppige, gerundete "Gipfelgrat" der Pasan Dada erreicht auf dem im Bild dokumentierten Abschnitt Höhen zwischen 3800m und ca. 4800m. Oberhalb der 4800m Isohypse ändert sich der Grataufbau deutlich (am rechten Bildrand). Die Formen oberhalb dieser Isohypse sind scharfkantiger und schroffer. Diese

Flankenabschnitte sind häufig durch lokale Vergletscherungen überprägt.

Die gestrichelte Linie (••••) verdeutlicht eine potentielle Gletscheroberfläche, die insbesondere im auswärtigen Flankenabschnitt deutlich höher gelegen haben kann, aber abgesehen von dem bedeutenden Indikator der Ufermoräne von Nyamgyalama (→), nicht eindeutig verfolgt werden kann.

Der Standort des Betrachters liegt auf einem Paß der zum Amji Khola vermittelt (**Photo 162**).



Photo 166: Das Profil des Tamur Khola im Talabschnitt zwischen Hellok und Tapethok ist insbesondere in den unteren Dekahöhenmetern schluchtartig ausgeprägt. Die Flanken sind bis einige 100 Höhenmeter über den Talboden hinaus zugerundet und glazial überschliffen (◐). Spülformen (→), **Photo 167**), die ca. 100m orographisch links über der rezenten Taltiefenlinie zu finden sind, stützen die Annahme einer Eisfüllung dieses Talabschnittes.



Photo 167: Glazifluviale Spülformen in 1500m, die ca. 100 Höhenmeter über der rezenten Tiefenlinie des Tamur Khola ca. 1,5km talaufwärts von Tapethok liegen, stützen die Annahme einer Eisfüllung des Tamur Khola. Die Spülformen liegen oberhalb des orographisch linken Sattels, der in **Photo 166** zu erkennen ist, und können nicht als Folge flankenseitiger fluvial-erosiver Prozesse interpretiert werden.



Photo 168: Die Aufnahme zeigt den Talausgang eines kleinen orographisch linken Seitentales des Tamur Khola, des Neghun Khola, aus ca. 1320m fotografiert. Die Blickrichtung ist Tamur Khola auswärts. Im unterem Bilddrittel ist die mit Hilfe von **Photo 169** näher beschriebene Wallform (◆) nahe Tapethok (1400m) zu erkennen. An der orographisch linken Flanke des Seitentales finden sich ca. 400m bis 500m über der rezenten Tiefenlinie Terrassenreste (*). Diese bauen sich aus auf der Basis der vorliegenden Befunde nicht eindeutig genetisch zu typisierenden Sedimenten auf. KUHLE (1990) kartiert für dieses Seitental eine Eisrandlage in ca. 2600m Höhe (vgl. KÖNIG 1999), die jedoch weiter taleinwärts liegt und auf der Basis deduktiver Überlegungen unwahrscheinlich erscheint.

Die Breite des Tamur Talgefäßes im Bereich der Siedlung Tapethok bietet die Möglichkeit, die beschriebenen Terrassenreste als genetisch der Haupttalvergletscherung zugehörig zu interpretieren, d.h. im Sinne von Kamesterrassenresten.

Photo 169: Die Siedlung Tapethok (1400m) ist auf einem mit Moräne verkleideten Wall, der über ca. 1km der Gefällrichtung des Tamur Khola folgt, angelegt. Die Flanke oberhalb dieses Walles ist durch zugerundete, mit Moräne bedeckte Rundhöckerformen (▲) geprägt. Die Grundmoräne (■) läßt sich bis in mindestens 2000m Höhe verfolgen. Der Standort liegt auf einer fluvial überarbeiteten (●) Fläche ca. 20m oberhalb der Tiefenlinie in 1340m. Die riesigen Blöcke im Bildvordergrund sind mit hoher Wahrscheinlichkeit Reste einer ausgespülten Grundmoräne. Die rezente Morphodynamik in diesem Talabschnitt läßt die Sedimentation bzw. Umlagerung derart großer Blöcke nicht zu.





Photo 170: Der Standort des Betrachters liegt ca. 1,5km Tamur Khola aufwärts von Chirwa. Der Blick richtet sich aus 1280m Höhe in talauswärtige Richtung. Deutlich zu erkennen ist ein Gefällewechsel der Flanke (—) oberhalb von Chirwa. Dieser liegt in ca. 1800m, d.h. ca. 600m über der rezenten Taltiefenlinie. Im Bildhintergrund ist ein hinsichtlich der Höhe vergleichbarer Pegel nachvollziehbar.

Der freistehende Gipfel (→) im linken Bildteil ist 1548m hoch. Der Berg ist dem Talgefälle folgend stromlinienförmig zugeschliffen und überragt den Talboden um ca. 300m. Die sich talauswärts an diesen Gipfel anschließende orographisch rechte Flanke des Tamur Khola ist bis in mindestens 1800m überschliffen und zugerundet.



Photo 171: Glazifluviale Spülformen in ca. 1400m und 40m oberhalb der rezenten Tiefenlinie stützen die Annahme einer Eisfüllung des Tamur Khola in diesem Talabschnitt. Die Morphogenese der Spülformen ist aufgrund ihrer Orientierung quer zum Talquerprofil nicht durch einen flankenseitigen Abfluß zu erklären, obschon sie direkt unterhalb der orographisch linken Tamur Khola Flanke liegen. Der Aufnahmestandort liegt ca. 250m talaufwärts von Chirwa. **Photo 172** verdeutlicht die Lage der Spülformen in Tal.



Photo 172: Die kombinierten Aufnahmen zeigen im unteren Bildvordergrund Teile der Spülformfläche (*), die mit Hilfe von **Photo 171** dokumentiert wurde. Die Spülformen liegen in ca. 1400m Höhe, 40m oberhalb der Tiefenlinie. Im Bildhintergrund ist an einem orographisch rechten Talausgang ein Moränenrest (■) zu erkennen, der als ein Ergebnis der Zerschneidung einer Grundmoränenfüllung dieses Talabschnittes zu verstehen ist. Die oberflächlich fluvial ausgeglichenen Talbodenabschnitte (●) im Bildvordergrund bauen sich aus einer Mischung von Schotterpartien und überarbeiteten Moränenresten auf. Die Lokalität liegt unterhalb des in **Photo 170** zu erkennenden kleinen Vorgipfels, der als hochglazial eisüberflossen gedeutet werden konnte, so daß die hier gezeigte Lokalität Chirwa mindestens 300m unter der Eisoberfläche lag.



Photo 173: Das Panorama zeigt das Tamur Khola im Bereich der Siedlung Sinwa. Der Standort liegt ca. 300m über der Tiefenlinie in 1260m auf der orographisch rechten Talseite. Im Hintergrund ist der markante Gipfelaufbau des Khumbarkarna zu erkennen, im rechten Bildteil der 3785m hohe Patibhara.

Die markierten Flankenschliffe (◐) und Gefällewechsel im Talquerprofil des Tamur Khola, die im Verbund mit den Resten einer Grundmoränenverkleidung (■) als Indizien für einen Gletscherpegel (—) in mindestens 1400m bis 1500m zu werten sind, und belegen eine Eismächtigkeit von mindestens 300m. Ein auf ein höheres Talbodenniveau eingestellter Rest einer fluvialen Akkumulationsform (●) des Seitentales belegt die Verschiebung der Erosionsbasis bis in ein Niveau mindestens 200m über der Tiefenlinie.



Photo 174: Die Aufnahme zeigt den Talboden des Tamur Khola in Höhe der Siedlung Miltun (850m). Die Flankenversteilung (◐) im Bildhintergrund ist als Indiz für einen vorzeitlichen Gletscherpegel ca. 200m über der Tiefenlinie zu interpretieren. Rechts und links im Talgefäß finden sich stark überprägte Grundmoränenreste (■).



Photo 175: Das Telebild zeigt einen Ausschnitt der orographisch rechten Tamur Khola Flanke nahe der Siedlung Thuma. Der Moränenaufschluß (→) von Thuma in ca. 760m Höhe ist am unteren Bildrand zu erkennen. Deutlich wird, daß die Oberfläche des glazigenen Sedimentes abschnittsweise durch einen rezent konsolidierten Schuttkörper (*) überprägt wurde, der entlang einer Erosionsrinne zerschnitten wird. Das Einfallen der Oberkante des moränischen Sediments des Aufschlusses ist als Folge der Unterschneidung des überprägenden Schuttkörpers durch die Linearerosion des Tamur Flusses zu interpretieren. Im Bild links, oberhalb der aufgeschlossenen Moräne, findet sich ebenfalls glazigenes Substrat (■), dessen Oberfläche Spuren fluvialer Zerschneidung aufweist. Die aktuelle Vegetationsfixierung der Oberfläche schützt das Sediment vor weiterer flächenhafter Abtragung (vgl. **Photo 176**).

Der Standort des Betrachters liegt ca. 400m oberhalb der Taltiefenlinie in ca. 1200m. Mit hoher Wahrscheinlichkeit lag ein Eispegel (—) hier noch ca. 150m bis 200m über der rezenten Taltiefenlinie, die nicht im Anstehenden angelegt ist. Zu bedenken ist, daß die anstehenden schiefri-gen Schichtgesteine entgegen der Hangneigung einfallen und so u.U. Stufen im Talquerprofil vorzeichnen. Die Moräne von Thuma ist in Übereinstimmung mit der Interpretation von KUHLE (1990) nicht als LGM zeitliche tiefste Eisrandlage zu interpretieren - diese liegt talauswärts.



Photo 176: Das aufgeschlossene Sediment ist durch die Einbettung von großen Blöcken in eine schwach tonige Feinmaterialmatrix charakterisiert. Neben kantengebrochenen Blöcken finden sich facettierte und fluvial überprägte Blöcke, die teilweise gekritz sind. Eine Sortierung oder Klassifizierung des Substrates ist nicht erkennbar. Der Pfeil in **Photo 175** (→) verweist auf die Position des Aufschlusses im Tamur Khola. Der in dieser Aufnahme gezeigte Aufschluß in 760m erreicht eine Höhe von ca. 20m bis 30m über der rezenten Taltiefenlinie. Es handelt sich um einen Ausschnitt einer Grundmoränenverkleidung des unteren Teiles des Talquerprofils des Tamur Khola, die in diesem Abschnitt bis in mindestens 900m Höhe flankenaufwärts zu verfolgen ist. Talauswärts läßt sich vergleichbares Material in denudations- und erosionsgeschützten Geländeformationen finden. Die durch das glaziale Sediment aufgebauten Formen sind in der Regel nicht mehr als glazigen zu erkennen und zeigen deutliche Spuren fluvialer Überprägung flächenhafter oder linienhafter Prägung.



Photo 177: Dieser Aufschluß der historischen Ufermoräne des Kangchenjunga Gletschers ist durch die Abrutschung des tiefenlinienseitigen Teils der Moräne entstanden. Der Aufschluß zeigt neben der für Moränen typischen Einbettung großer Blöcke (◆) in eine Feinmaterialmatrix eine abschnittsweise Sortierung und Klassifizierung des Feinmaterials (●), wie es für fluviale Akkumulate typisch ist. Die Ansprache des Sediments als glazigen ist hierbei aufgrund der Lagebeziehung zu anderen Formenelementen und zum rezenten Gletscher eindeutig. Das fluvial sortierte Material (●) ist Bestandteil der Moräne und nicht nachträglich gegen die Moräne sedimentiert worden.

Der Standort liegt in 4800m Höhe auf der orographisch rechten Talseite des Ghunsa Khola ca. 60m über der rezenten Gletscherzunge des Kangchenjunga Gletschers. Der Außenhang der beschriebenen Ufermoräne ist in **Photo 103** zu erkennen.



Photo 178: Der Standort liegt unterhalb von Handrun in ca. 670m Höhe im Bereich der rezenten Tiefenlinie des Tamur Khola. Die erratischen Blöcke erreichen eine Kantenlänge von über 4m und sind mit hoher Wahrscheinlichkeit entlang einer Erosionsrinne, die sich flankenseitig oberhalb des Standortes anschließt, verlagert worden. Blöcke vergleichbarer Größe und gleichen Ausgangsgesteines finden sich auch wenige Dekameter über der Tiefenlinie. Insbesondere der Augengneis ist sehr gut von den anstehenden Schichtgesteinen zu unterscheiden und steht erst nördlich von Tapethok, d.h. ca. 22km talaufwärts im Tamur Khola an.



Photo 179: Der Talboden des Tamur Khola in 760m Höhe ist gekennzeichnet durch eine fluviatile Terrassierung (1-3) der Sedimente in mindestens drei Niveaus.

Neben großen Blöcken (**Photo 178**) findet sich eine große Menge erratischer Blöcke mit Kantenlängen bis ca. 50 cm. Die fluviale Morphodynamik präparierte diese Blöcke, sofern sie nicht aus den Flanken verlagert wurden, aus einer Grundmoränenmatrix heraus und bettete sie in eine fluviatile Matrix ein, verlagerte die Blöcke jedoch nicht in der Größenordnung von einigen Kilometern (vgl. HJULSTRÖM 1921). Die "leuchtenden" Augengneisblöcke stammen nicht aus den Talflanken oberhalb des Standorts, sondern müssen über mindestens 22km transportiert worden sein.

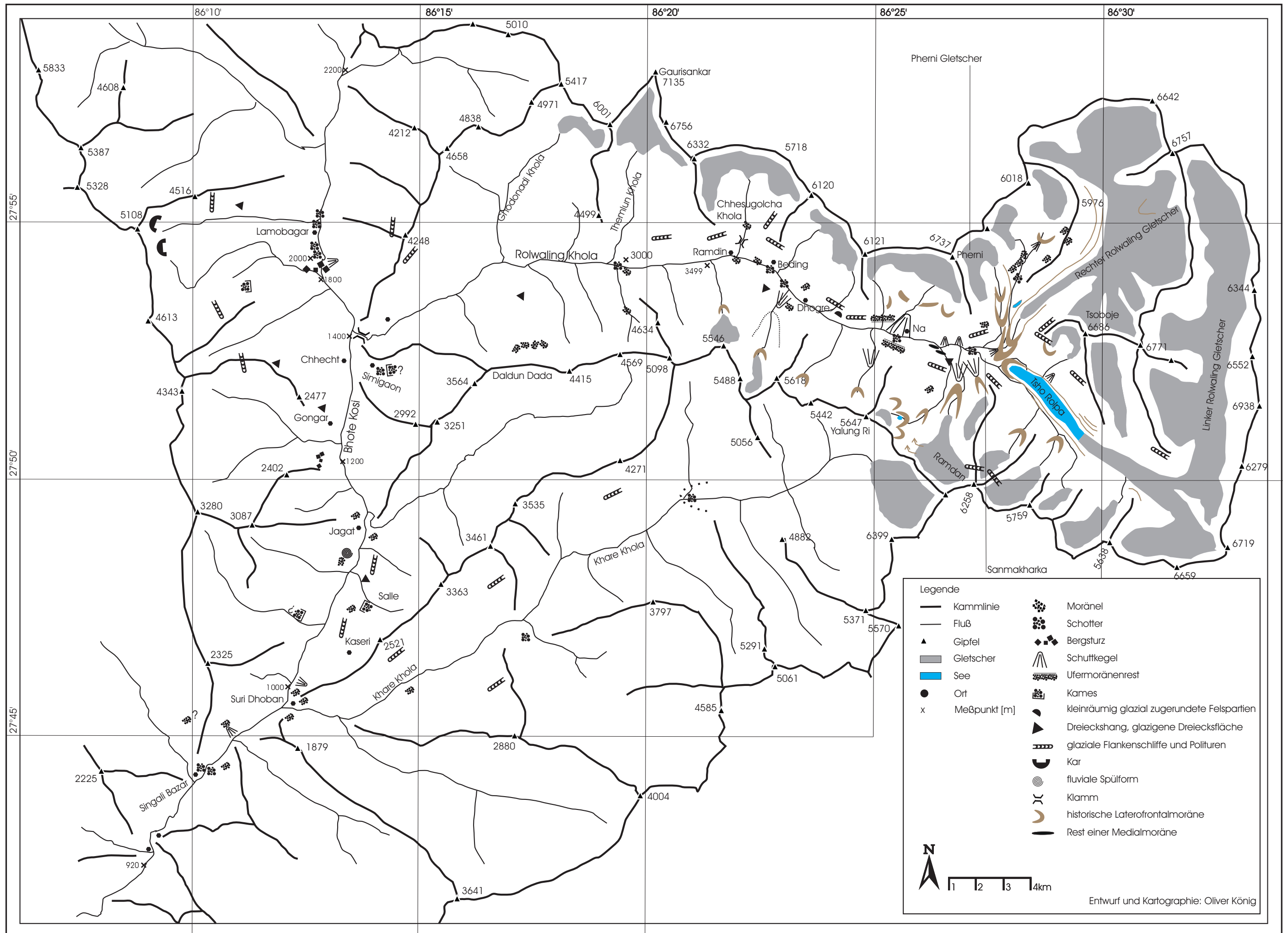
Der Blick richtet sich Tamur Khola aufwärts, im Bildhintergrund ist der Patibhara (3795m, vgl. **Photo 173**) zu erkennen.



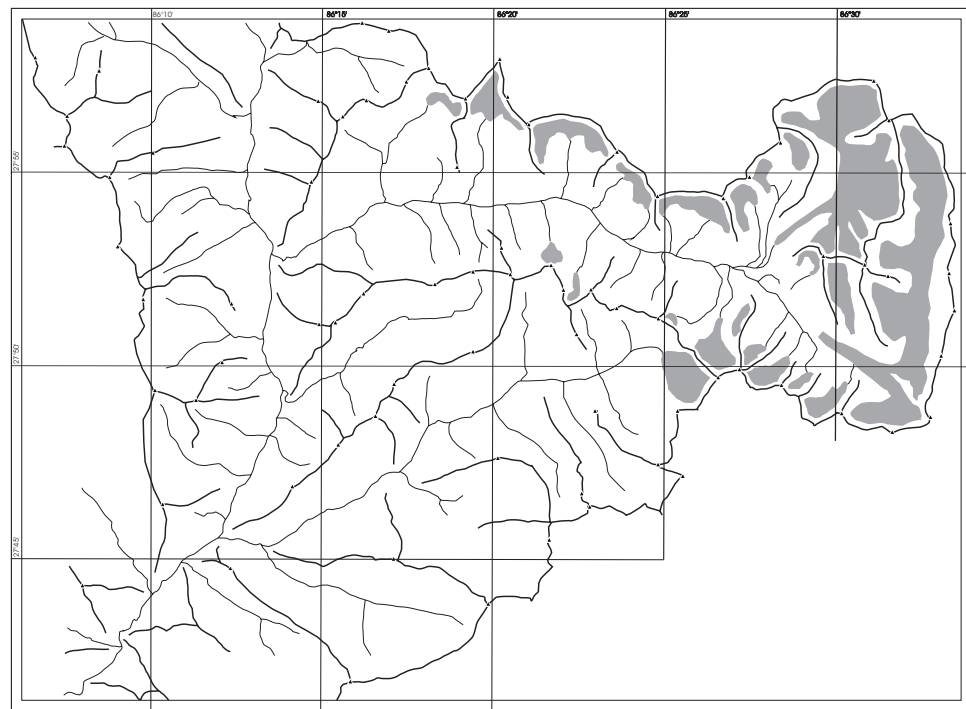
Photo 180: Die Aufnahme ergänzt **Photo 179** und erfolgte vom gleichen Standort. Der Blick richtet sich talauswärts. Zwei der drei großen Blöcke im Bildvordergrund sind erratisch. Ähnliche Blöcke finden sich auf der orographisch linken Talseite (◆) in eine Feinmaterialmatrix eingebettet.

Im Bildmittelgrund ist die Einmündung des Mowa Khola in das Tamur Khola in ca. 670m Höhe zu erkennen. Der LGM zeitliche Gletscher hat über diese Lokalität in 670m Höhe hinausgereicht. Die Taltiefenlinie ist hier nicht im Anstehenden angelegt, so daß eine exakte Angabe der Basis des rekonstruierten Gletschers nicht möglich ist.

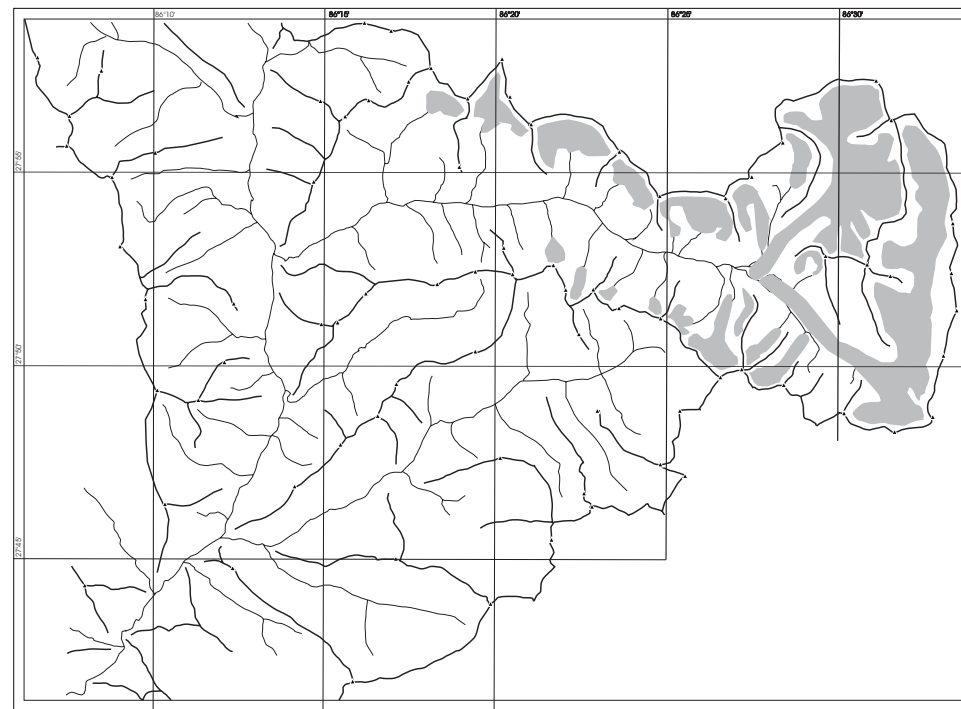
Wahrscheinlich war der Gletscher hier noch mindestens 70m mächtig.



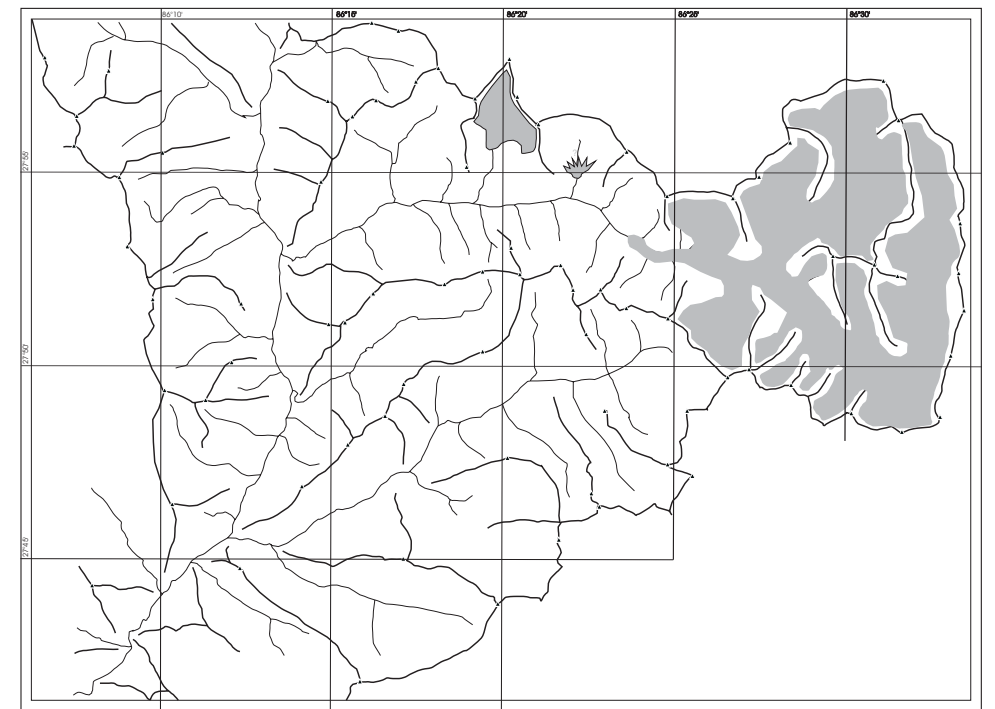
Karte 1: Glazialgeomorphologische Kartierung des Arbeitsgebietes Rolwaling Himal (Nepal, Himalaya Südabdachung).



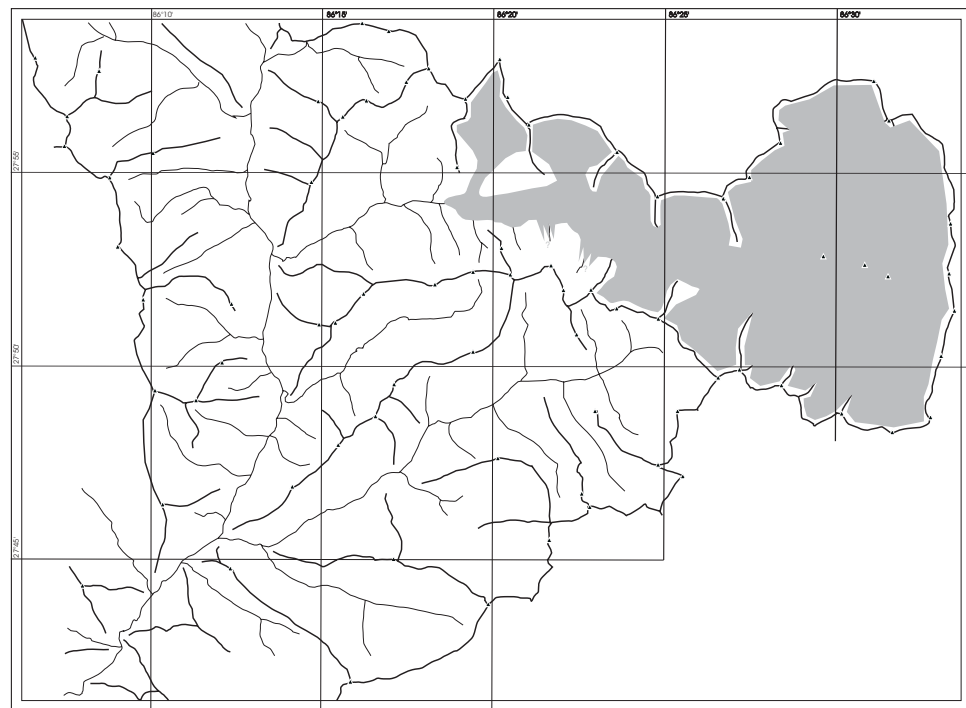
Karte 2: rezentere Vergletscherung



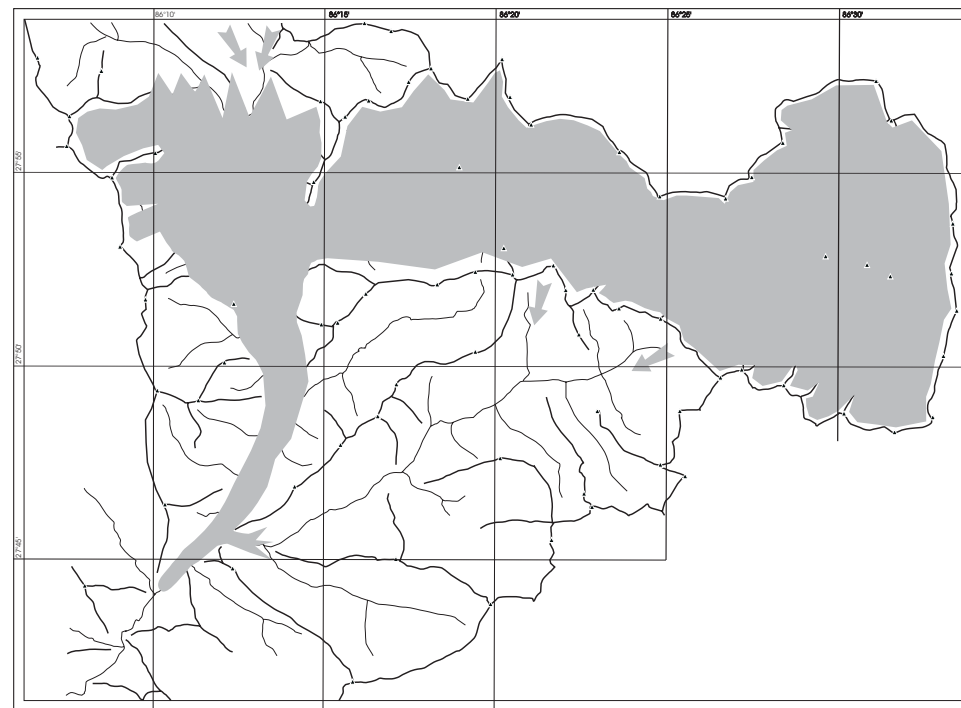
Karte 2 I: historische Vergletscherung



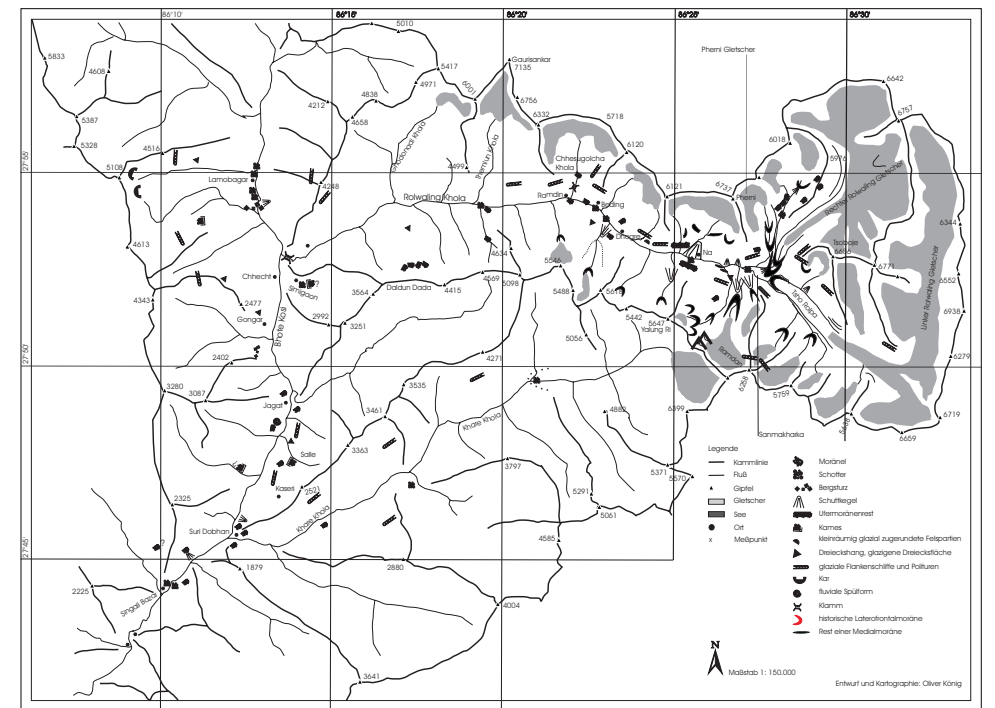
Karte 2 II: neoglaziale Vergletscherung



Karte 2 III: spätglaziale Vergletscherung



Karte 2 IV: hochglaziale Vergletscherung

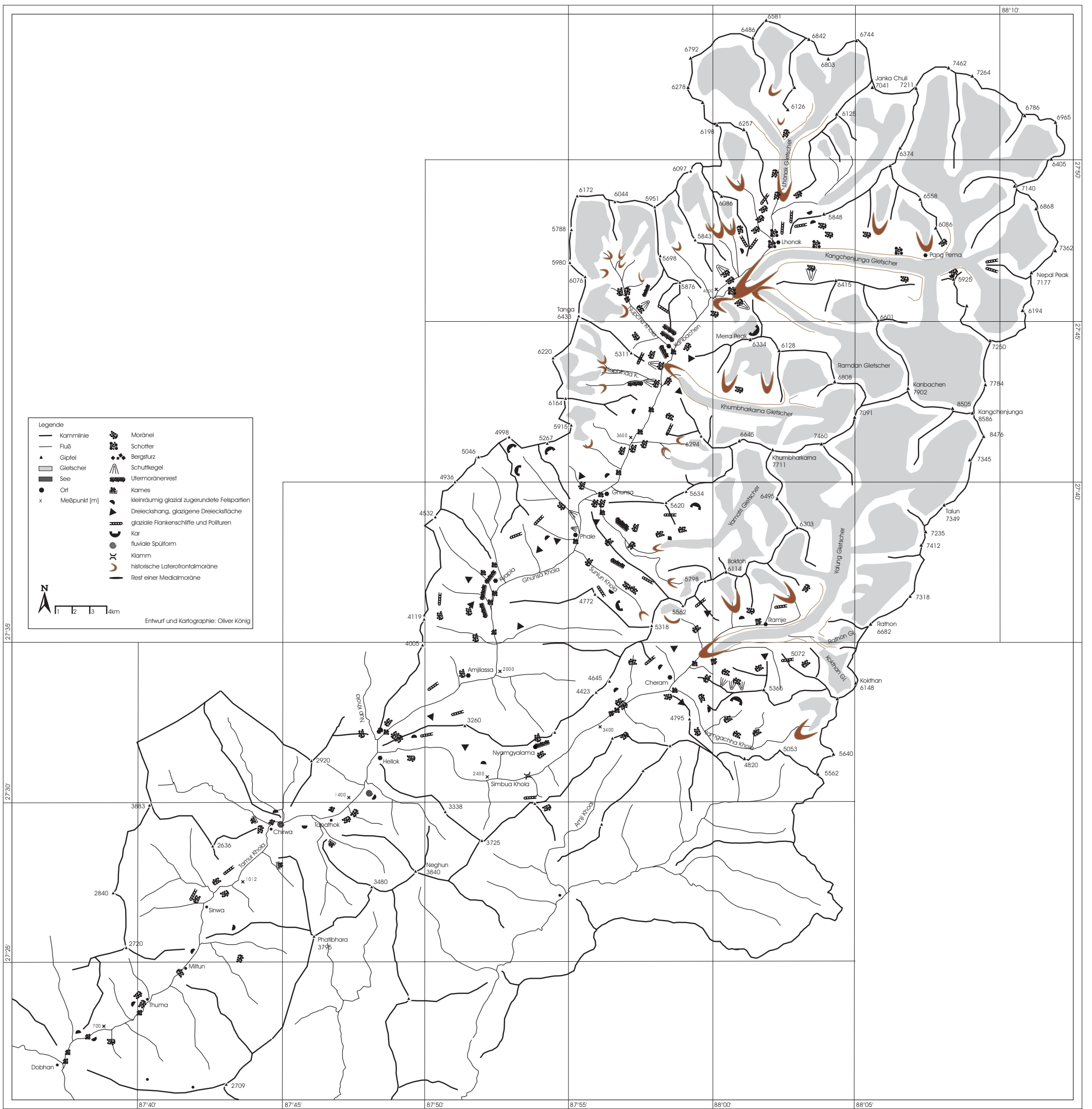


Miniatur der geomorphologischen Karte, vgl. Karte 1

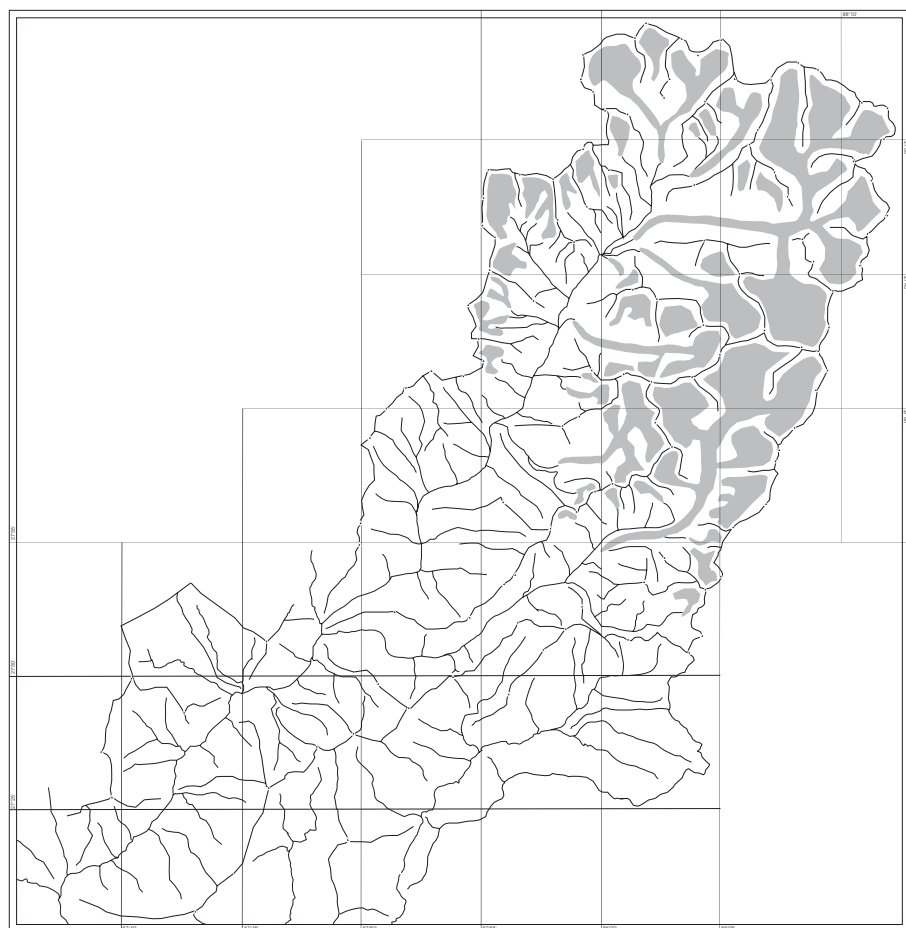
Entwurf und Kartographie: Oliver König



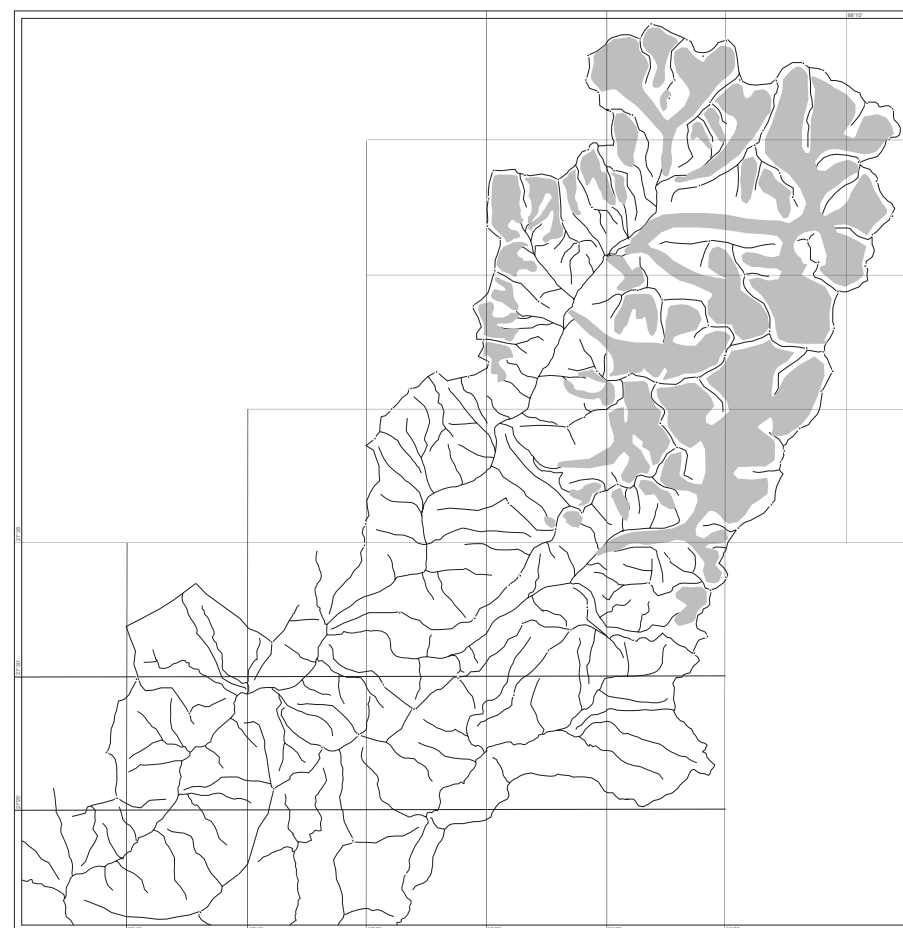
Karte 2: Kartengruppe zum Ausmaß der rezenten, historischen, neoglazialen, spätglazialen und hochglazialen Vergletscherung im Rolwaling Himal



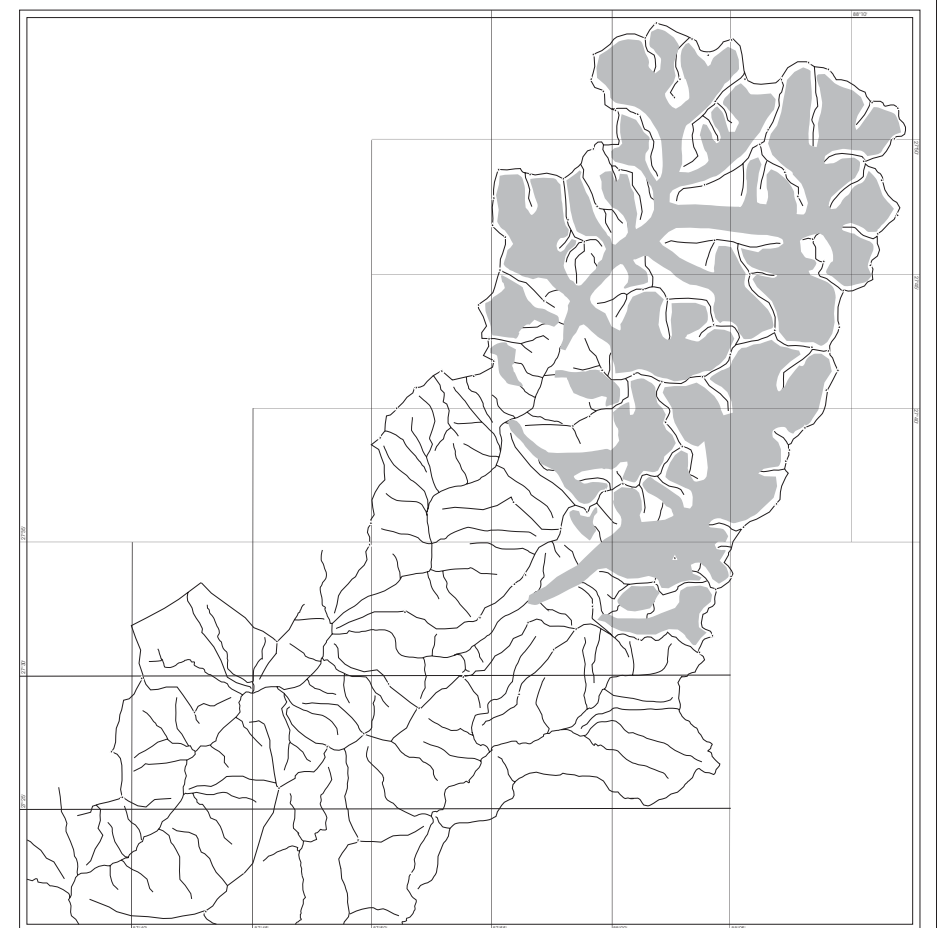
Karte 3: Glazialgeomorphologische Kartierung des Arbeitsgebietes Kangchenjunga Himal (Nepal, Himalya Südabdachung)



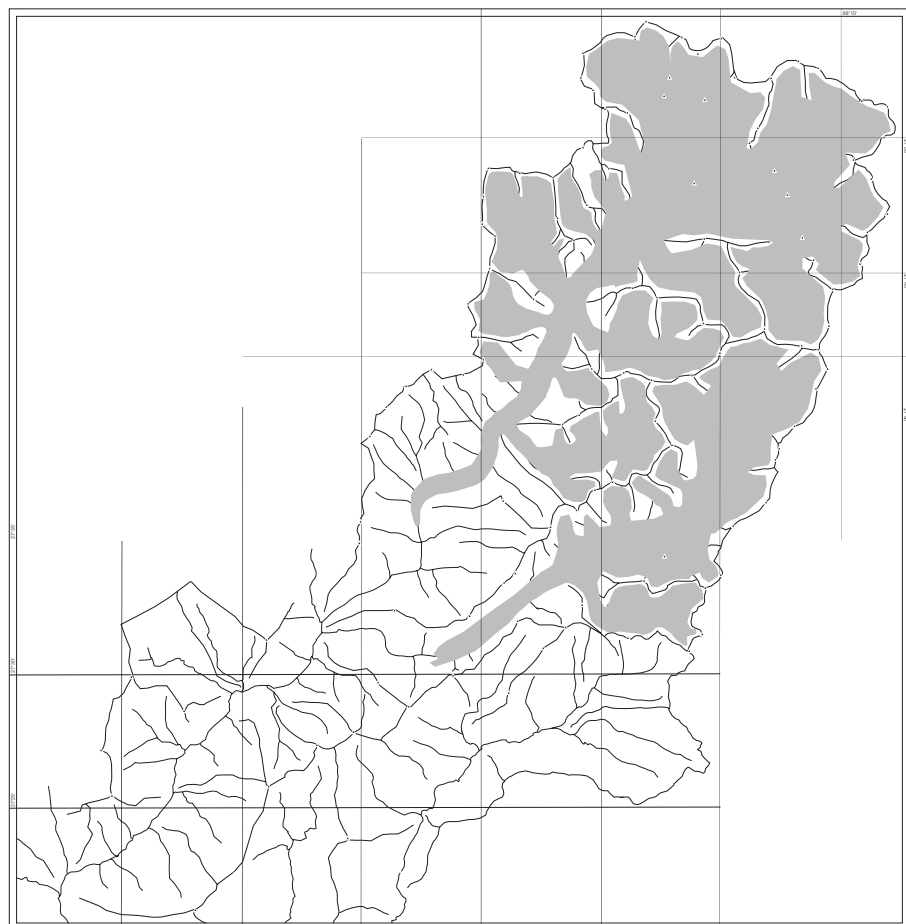
Karte 4: rezente Vergletscherung



Karte 4 I: historische Vergletscherung

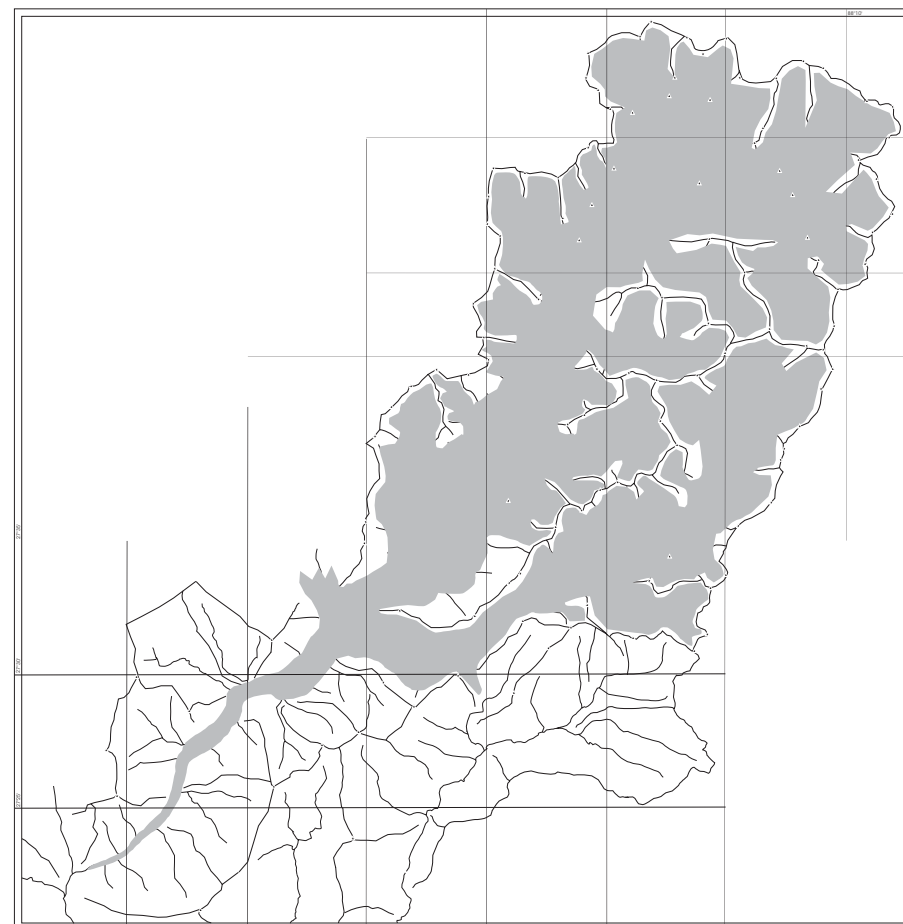


Karte 4 II: neoglaziale Vergletscherung

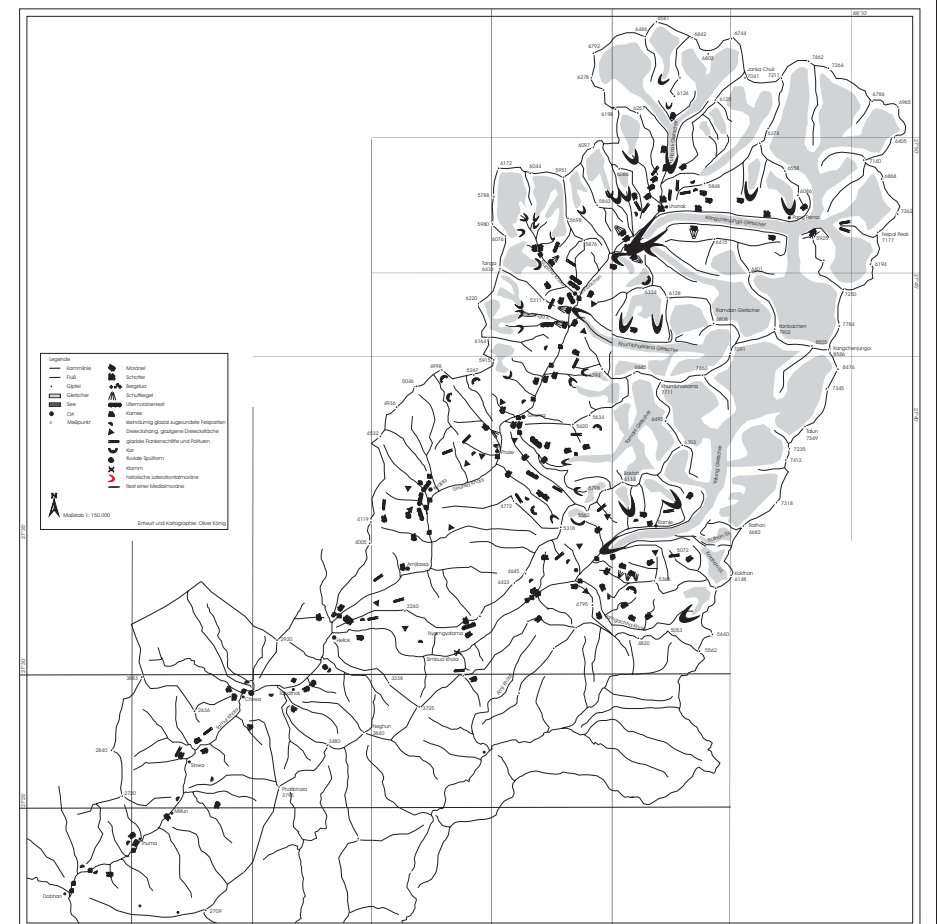


Karte 4 III: spätglaziale Vergletscherung

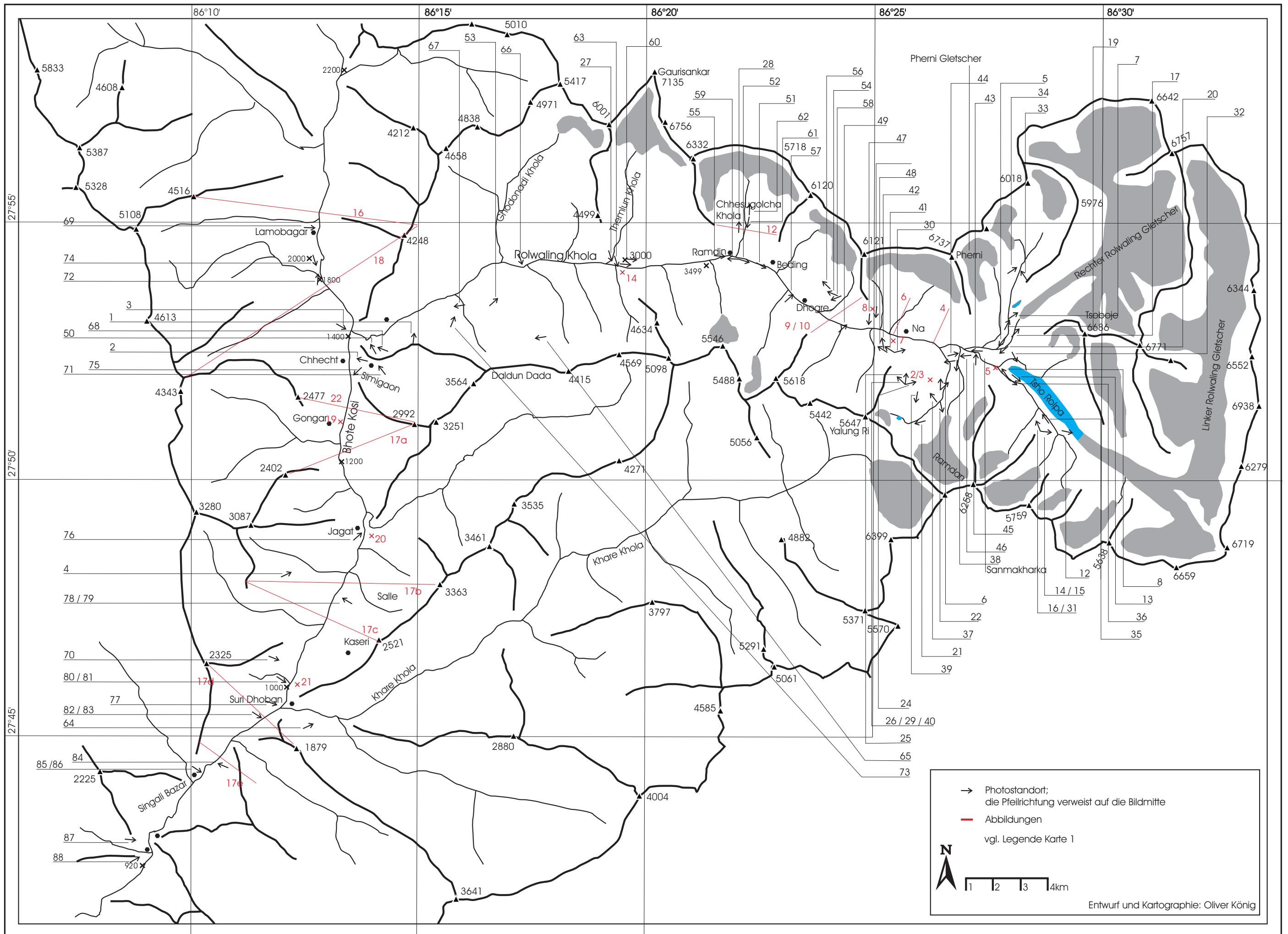
Entwurf und Kartographie: Oliver König



Karte 4 IV: hochglaziale Vergletscherung



Miniatur der geomorphologischen Karte, vgl. Karte 3



Karte 5: Darstellung der Photostandorte, Abbildungen und Probenentnahmelokalitäten im Rolwaling Himal



Karte 6: Darstellung der Photostandorte, Abbildungen und Probenentnahmelokalitäten im Kangchenjunga Himal