

TSERGO RI (LANGTHANG HIMAL, NEPAL) – REKONSTRUKTION DER „PALÄO GEOGRAPHIE“ EINES GIGANTISCHEN BERGSTURZES

Johannes T. Weidinger & Josef-Michael Schramm

Mit 9 Abbildungen, 1 Tabelle und 1 Kartenbeilage

Zusammenfassung:

Im Bereich des Tsergo Ri (Langthang Himal, Nepal) wurde einer der voluminösesten Bergstürze der Erde detailliert (Maßstab 1:12.500) und nach ingenieurgeologischen Gesichtspunkten analysiert. Anhand von Lithologie, Gefüge, Geohydrologie und Morphologie ließen sich 6 unterschiedliche Gesteinsgüteklassen von Muttergestein und abgelagerten Sturzmassen unterscheiden. Neben den bekannten primären Gleitflächen wurden auch sekundäre Gleitflächenscharren sowie teils vererzte Brekzienhorizonte erkannt und der Abrißbereich lokalisiert. Der gegenwärtige Internbau der Ablagerungsmasse sowie die gegebenen Aufschlußverhältnisse erlauben Rückschlüsse auf jene verknüpften Faktoren, welche die jungpleistozäne Massenbewegung wahrscheinlich auslösten. Die Rekonstruktion des örtlichen Geschehensablaufs (vom Sturzereignis bis heute) ergibt ein Modell mit drei Hauptbewegungs- und zwei Erosionsphasen.

Abstract:

The large-scale mass movement at Tsergo Ri (Langthang valley, central-north Nepal) was analysed from engineering geologic view. The quaternary mass movement (fission track age: about 4×10^4 years) only affected hardrocks, i. e. a series of migmatites and leucogranites, biotite-feldspar gneisses (augengneisses), biotite-sillimanite gneisses and biotite-garnet-turmaline gneisses. Analyses of exposed primary and secondary sliding surfaces (hyalomylonitic) convey an exact idea of extension of the area affected by the landslide, and direction of movements (towards SW and WSW). Dipping of primary sliding surface corresponds with preexisting mylonitic zones in the surrounding gneisses and migmatites. A system of strike-slip-faults (generated by sliding movement) along the Dranglung valley separated the masses in a blocky part (NW) and a (gradually to top) brecciated part (SE). Gradual loosening of rock (landslide deposit) could be classified by means of joint density analysis, giving evidence to estimate ancient mechanical stress, affecting the mass while sliding down (6 classes of "rock quality": compact, jointed, fractured, shattered, cataclastic, pulverized). Detailed mapping of the geohydrologic feature proved as an additional tool for detecting the position of the sliding surfaces. Physical properties of the waters correlate with the grade of rock loosening: The higher the electrical conductivity (40–950 μS), the higher the disintegration of bedrock. Petrography, structural geology and morphological analysis are helpful tools for reconstructing the position of the parent lodge and the broken crest of the landslide. Thus, a preexisting neo-tectonic structure associated with ore bearing, gently southwest dipping, leucogranitic intrusions was detected. The processes during and after the sliding events were recognized by means of "silent witnesses", and seem to be connected with the regional tectonic pattern.

At least five different phases of mass movements (displacement), deposition and erosion led to the recent feature of geology and morphology.

1. Einleitung

Bei der erstmaligen Beschreibung eines hyalomylonitischen Gleithorizonts (nach Hinweisen von Einheimischen auf „yak-bones“) im Langthang Himal sahen SCOTT & DREVER (1953) ursprüngliche Zusammenhänge mit der „main central

thrust“ (MCT). Demgegenüber erkannten HEUBERGER et al. (1984) anhand detaillierter petrographischer und geomorphologischer Befunde, daß hier im Bereich um den Tsergo Ri (Langthangtal) eine der größten Massenbewegungen der Erde jene auffälligen Gesteinsaufschmelzungen (an der Gleitfläche) bewirkt hat. HEUBERGER

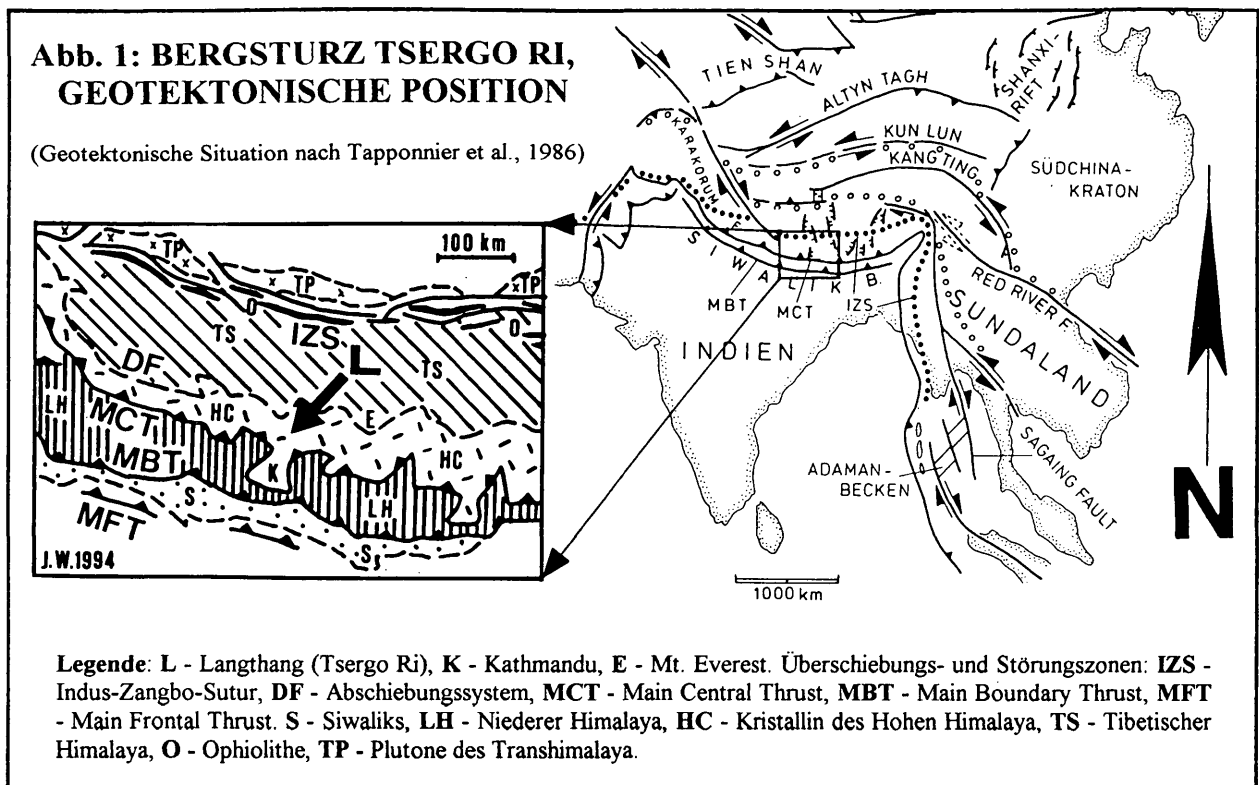


Abb. 1: Geotektonische Übersicht und Position des Bergsturzgebietes Tsergo Ri.

et al. (1984) schätzen das Alter des Sturzgeschehens auf mindestens 25.000 bis 30.000 Jahre und das dislozierte Gesamtvolumen auf 10–15 Kubikkilometer, wovon gegenwärtig noch etwa 3 Kubikkilometer sichtbar erhalten sind. Dementsprechend bietet sich dieses außergewöhnliche Bergsturzablagerungsgebiet als klassisches Studienobjekt für ingenieurgeologische Grundlagenforschung und angewandte Geologie an. Mit der vorliegenden Arbeit werden erste Ergebnisse eines diesbezüglichen Forschungsprojekts präsentiert.

2. Geologisch-tektonischer Überblick (Abb. 1)

Das Langthangtal verläuft etwa 60 km nördlich von Kathmandu längs der Ketten des Hohen Himalaya. DEWEY et al. (1988) berichten aus diesem morphologisch exponierten Bereich von

Hebungsraten, die sich innerhalb der jüngsten 5 Millionen Jahre von 0.2 auf 0.9 mm pro Jahr beschleunigten.

Rund 20 km nördlich der Wurzeln der Kathmandu-Decken (Gipfel des Langthang- und Jugal-Himal) liegt das Massiv der Shisha Pangma (8027 m). Aufgrund der achsialen Kulmination dieses Bereiches ist von der Tibetischen Synklinale nicht die Sedimentfüllung, sondern die verfaltete, kristalline Basis freigelegt (HAGEN, 1969; HASHIMOTO et al., 1973). Zwischen Langthang Himal und Gangphu Ri Nub zeigt das kristalline Basement eine gut erkennbare große Synklijalstruktur. Die Serien fallen flach nach NE ein und werden im Hangenden durch eine Schar von Abschiebungen von den tibetischen Sedimenten getrennt. Im Liegenden, längs der MCT, sind diese Serien auf die südlichen Teile des Himalaya überschoben.

Das Bergsturzgebiet um den Tsergo Ri liegt im Hangenden der Himalaya-Gneis-Zone. Die

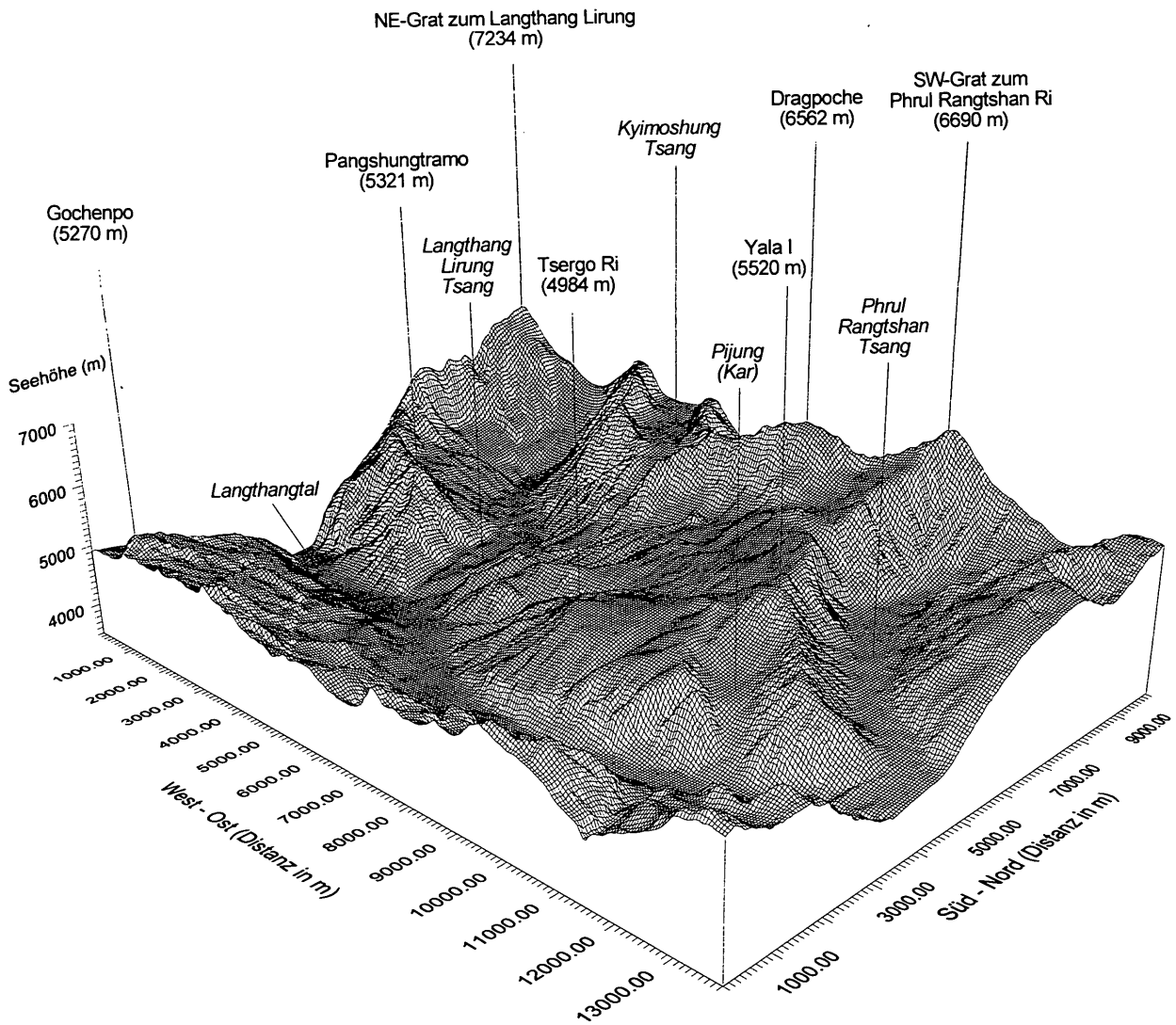


Abb. 2: Räumliche Darstellung des Bergsturzgebietes Tsergo Ri, Blickrichtung NW.

örtliche Kyangjin- und Langshisa-Einheit umfassen präkambrische Metasedimente mit polyphaser Metamorphosegeschichte. Es sind Gneise, Migmatite und tiefkrustal entstandene, gangförmig intrudierte Leukogranite aufgeschlossen (REDDY et al., 1992; MASSEY et al., 1994; INGER & HARRIS, 1992).

3. Ingenieurgeologie (Kartenbeilage 1)

Die ingenieurgeologische Mehrzweckkarte der Großmassenbewegung faßt die Ergebnisse

detaillierter Geländeaufnahmen und interaktiver Analysen zusammen. Die schwerpunktmäßig gezielt angewandten Feldmethoden (Lithologie, Struktur, Morphologie, Geohydrologie) ermöglichten eine Lokalisierung der Abrißnische, eine Rekonstruktion des Ablaufes der Sturzereignisse und gaben Hinweise auf mögliche Ursachen.

3.1. Lithologie

Im Bergsturzgebiet (samt Umfeld) treten folgende Festgesteine auf.

	HYALOMYLONIT	BREKZIE	PSEUDOTACHYLIT	MYLONIT
Einschlüsse, Porphyroklasten	eckig	eckig	eckig und/oder rund	rund-zugespitzt
Bildungs- mechanismen	1. spröder Bruch 2. Aufschmelzung	spröder Bruch	1. spröder Bruch 2. Aufschmelzung	1. plastische Deformation
Poren	+	-	-	-
Verschiebungsbetrag (Größenordnung)	km	km	cm bis m	cm bis m
Orientierung	flaches WSW-Fallen	flaches WSW-Fallen, auf subsidiären Gleitflächen auch steil	?	von SW über N nach NE streuend
Veränderungen	bleibt optisch isotrop	Verkittung durch Quarz, Chlorit, Calcit, Erz	Entglasung	-

Tab. 1: Deformationsgesteine der Großmassenbewegung von Langthang (nach MASCH, 1980).

- a) Basisscholle: Biotit-Feldspat-Gneis, Biotit-Sillimanit-Gneis und Augengneis;
- b) südliche Talseite und am Pangshungramo: Granat- und Turmalin-führender Biotitgneis;
- c) Hangendscholle: feinlagige Migmatite sowie gangförmige Leukogranite.

Als deformierte Abarten dieser Edukte treten einerseits Mikrobrekzien und Hyalomylonite auf, welche mit dem Bergsturz ursächlich zusammenhängen sowie andererseits präexistierende (also vor dem Sturzgeschehen angelegte) Pseudotachylite und Ultramytonite (MASCH & PREUSS, 1974, 1977; MASCH et al., 1981, 1985; PREUSS et al., 1987); siehe auch Tab. 1.

3.2. Gefügestatistik

Die gefügestatistische Auswertung von rund 2000 Schicht-, Schieferungs- und Klufflächen sowie Störungsrichtungen in ausgewählten Homogenitätsbereichen innerhalb der Hangendscholle des Bergsturzes ließ erkennen, daß die Bergsturmassen über weite Bereiche (NW-Be-

reich, Gipfelblock des Tsergo Ri) aus kompakten Teilschollen bestehen. Diese „schwimmen“ auf einer Basisbrekzie und wurden in ihrer Raumlage infolge der bergsturzmechanischen Bewegung teilweise gering und unregelmäßig verdreht. Auch die mechanische Beanspruchung des Untergrundes während des Gleitvorgangs konnte dadurch rekonstruiert werden. Es zeigte sich, daß kleinräumige Trennflächen in einer Spätphase des Gleitvorganges dort als Bewegungsbahnen fungierten und Verstellungen verursachten, wo aufgrund der Morphologie genügend Raum zur Verfügung stand (talnahe SW-Seite des Paläobergkammes; Bereiche um den Hauptgleitflächenaufschluß, nordöstlich des Flugfeldes).

3.3. Gleitflächen

Die an der Basis aufgeschlossene, primäre Gleitfläche ist häufig an präexistierende, tektonisch entstandene Deformationsgesteine (Ultramytonite, Pseudotachylite) gebunden und als

Hyalomylonit, seltener auch als Mikrobrekzie entwickelt. Dies erlaubt eine exakte Abgrenzung des von der Großmassenbewegung betroffenen Gebietes. Die sekundären Gleitflächen treten teils weiträumig (Tsergo-Ri-Südflanke), teils eng begrenzt (westseitiger Hangfuß im Dranglung-Tal) auf und sind meist als Mikrobrekziehorizonte mit eingelagerten Hyalomylonitknollen (Bimsstein) oder schlierigen Übergängen zwischen beiden ausgebildet (siehe auch Abb. 9). Das wird als Hinweis auf kurzzeitige Bewegungsvorgänge (Hindernisse entlang der Basis) innerhalb der Gleitmasse gewertet.

Die Analyse aller verfügbaren Gefügedaten von der Gleitfläche ergibt einen im wesentlichen nach SW bzw. WSW gerichteten Abgleitvorgang, womit auch die E-Flanke des Pangshungtramo als Anprallhang gesichert scheint.

3.4. Geohydrologie

Die Detailkartierung von Vernässungszonen und Quellaustritten, entlang der aufgeschlossenen Basis des Ablagerungsraumes, war eine weitere hilfreiche Methode, die exakte Lage der primären Gleitfläche zu bestimmen bzw. Ausbisse von Hyalomylonithorizonten ausfindig zu machen. Linear angeordnete, „ponorähnliche“ Schlucklöcher, im Plateaubereich des Tsergo Ri, bestätigten den vermuteten Ausbiß sekundärer Gleitflächen unter der quartären Sedimentbedeckung.

Die systematische Erfassung ausgewählter physikalischer Parameter (T, pH, elektrische Leitfähigkeit) aller kartierten Bergwässer, sowie die Aufnahme deren jahreszeitlicher Schwankungen zeigte (unter Berücksichtigung der stofflich nahezu einheitlichen kristallinen Lithologie), daß diese mit dem Grad der Gesteinszerrüttung korrelieren: Je höher der Grad der Gesteinszerrüttung, umso höher wird die elektrische Leitfähigkeit (40–950 μS), d. h. zunehmende Löslichkeit des brekzierten und verwitterten Materials. Einen entsprechenden Trend lassen auch die von PURTSCHELLER et al. (1994) festgestellten Radon-Emanationen erkennen.

3.5. Gesteinsgüteklassen

Durch Auszählen und Anschätzen von Kluftzahl, Trennflächenabstand, Durchtrennungsgrad (ausgewählte Meßbereiche mit Einheitsflächen von 1 Quadratmeter) und Kluftkörpergröße sowie Beurteilung des Auflockerungsgrades innerhalb der rudimentär vorhandenen, brekzierten Hangendscholle, konnten sechs spezifische Gesteinsgüteklassen definiert werden. Diese Klassen unterscheiden sich von kompakt (1), geklüftet (2), zerbrochen (3), zerrüttet (4), kataklastisch (5) bis pulverisiert (6). Deren räumliche Verteilung ließ eine Interpretation jener bergsturzmechanischen Beanspruchung und Bewegungsabläufe zu, die die Gleitmasse während ihrer Talfahrt erlitt bzw. durchlief. Dabei zeigte sich, daß das abgelagerte Bergsturzmateriale durch ein System saiger stehender Störungen entlang des Dranglungtals in einen, das Hangende der Gleitmasse repräsentierenden, in Teilschollen (Phushung I und II, Kyimoshung, Dakpatsengrat) zerlegten NW-Bereich und einen, das Liegende repräsentierenden, graduell zum Top (Gipfel des Tsergo Ri) brekzierten SE-Bereich geteilt ist.

4. Beeinflussende bzw. auslösende Faktoren

Beobachtungen entlang der haupttalnahen Ausbißlinie der Bewegungsbahn und am Abrißkamm haben die an eine exponierte geotektonische Position gebundenen Einfluß- und Auslösefaktoren deutlich aufgezeigt.

4.1. Deformationsgesteine

Der Bergsturz liegt innerhalb einer Zone von größten Hebungsraten des Himalaya. Deformationsgesteine (Ultramyonite, Pseudotachylite, Harnischflächen), die innerhalb des Bergsturzgebietes relativ häufig sind, zeugen von tektonischen Überschiebungsvorgängen und damit assoziierten fossilen Flachbeben an der MCT und innerhalb der Himalaya-Gneis-Zone. Das

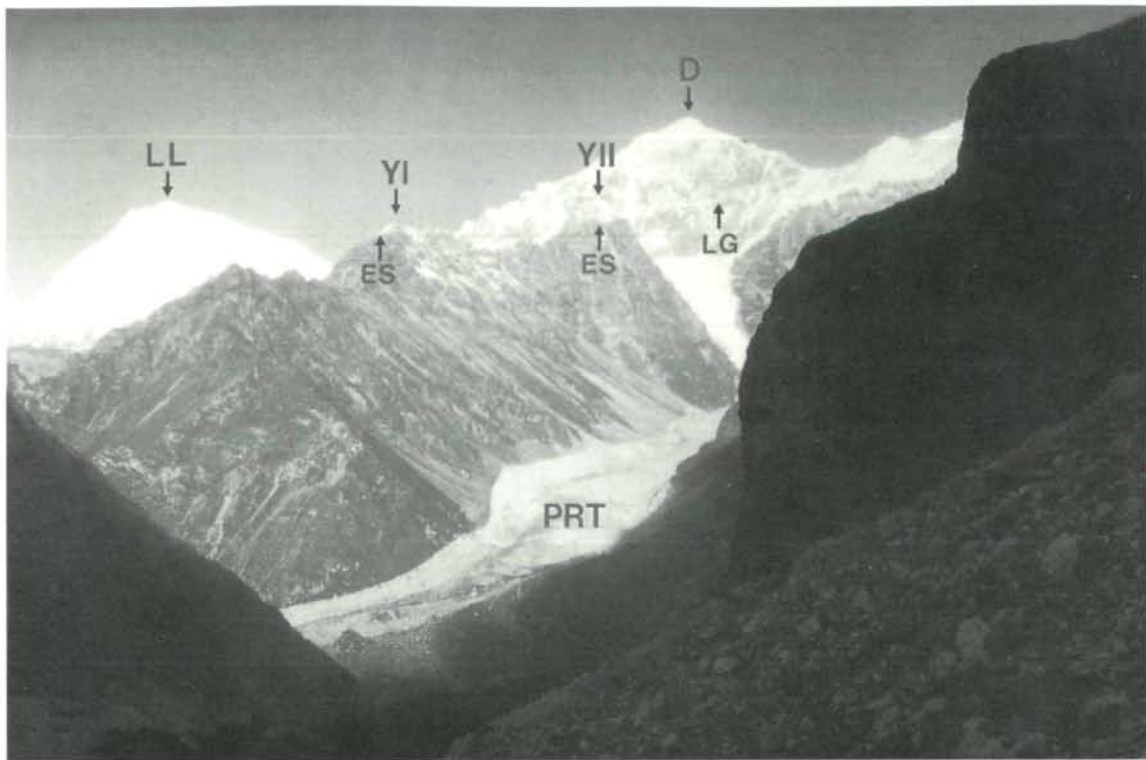


Abb. 3: Abrißbereich des Tsergo Ri Bergsturzes an der orographisch rechten Flanke (= Westseite) des Phrul Rangtshan Tsang (PRT). Die Extrapolation der Gleitfläche des Bergsturzes führt exakt zu den Leukogranitgängen (LG) in der SSE-Flanke des Dragpoche (D). Zwischen Yala Peak I (YI) und Yala Peak II (YII) beißt die mit den erwähnten Gängen assoziierte Erzstruktur (ES) aus (Detail in Abb. 5). Im Hintergrund Langthang Lirung (LL). Photostandort: S-Flanke des Langsisha Ri in 5050 m Seehöhe, Blickrichtung WNW.

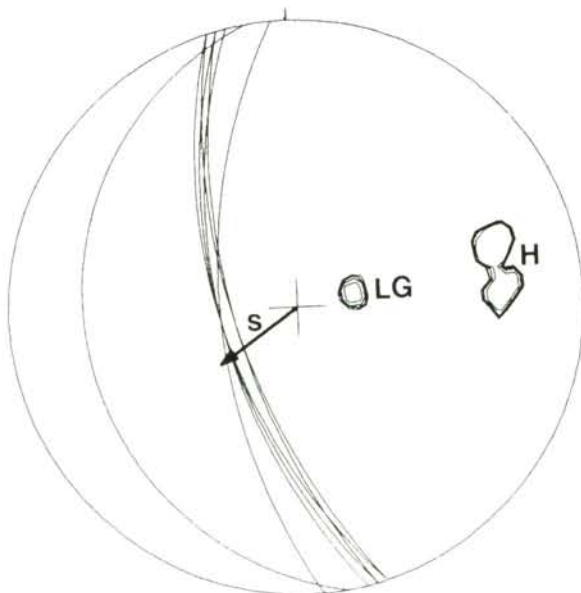


Abb. 4: Stereographische Projektion von Flächenpolen bzw. Durchstoßpunkten der Linearen (untere Lagenkugel) jener Leukogranitgänge (LG), die im Abrißbereich des Bergsturzes idente Raumlage mit der Gleitfläche aufweisen. Harnischflächen (H) im Leukogranit mit Strömung (S).

flache Einfallen dieser für nachfolgende Bewegungsvorgänge prädestinierten Inhomogenitätszonen nach NW bis NE, aber auch nach SW bis W, korreliert über weite Bereiche mit der primären Gleitfläche (Hyalomylonit) des Bergsturzes.

4.2. Granitintrusionen

Entlang der Abrißkante des Bergsturzes (Yala Peak I und II) sowie in der Fortsetzung des Fallens der Bewegungsbahn nach NE (SSE-Wand des Dragpoche bis Phrul Rangtshan Ri) bilden ein schicht- und schieferungsdiskordantes Netzwerk von intrudierten Leukogranitgängen bzw. ein mächtiger Gang eine mehrere Kilometer beobachtbare Zone, die exakt mit der Abgleitrichtung des Bergsturzes (SW-fallend) übereinstimmt (Abb. 3, 5). Vermehrt auftretende, mittel-

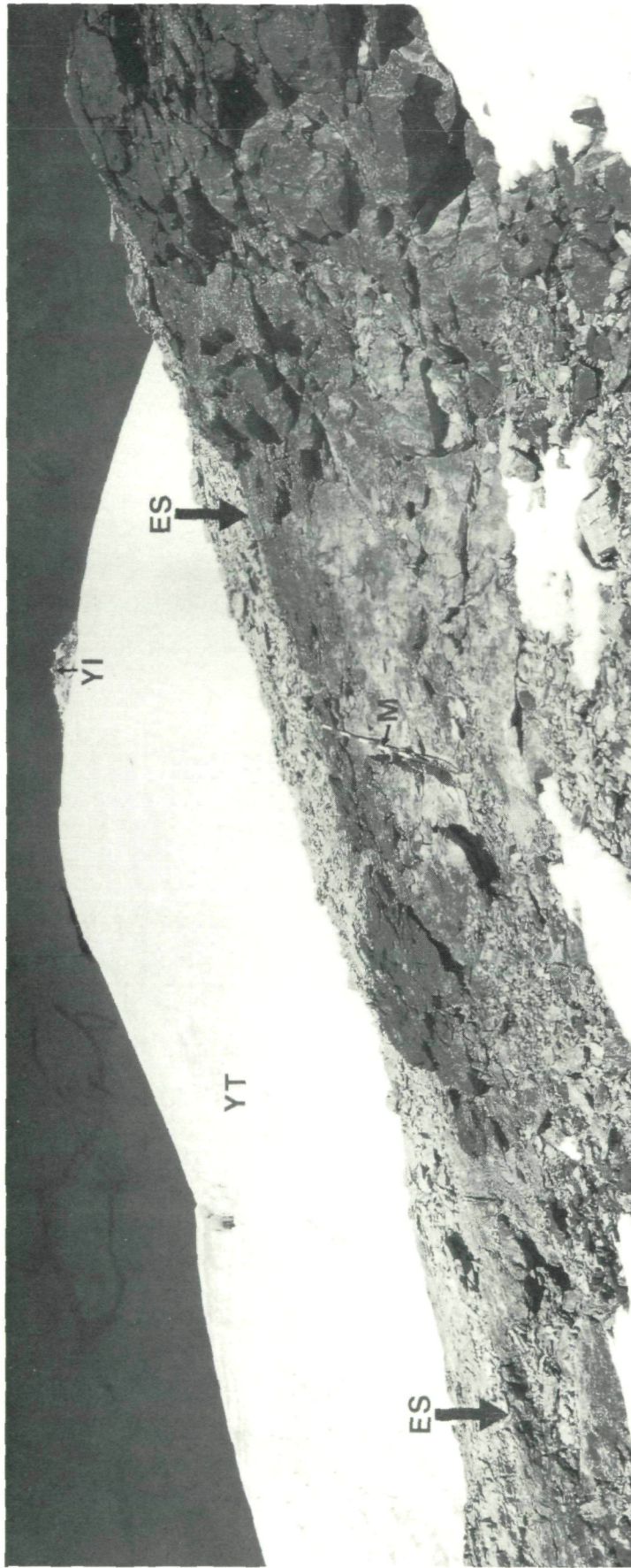


Abb. 5: Ausbiß der Erzstruktur (ES) in der SSE-Flanke des Yala Peak I (YI) mit identier Raumlage wie die Gletfläche des Bergsturzes (CLAR-Wert 272/18, d. h. flaches Einfallen nach Westen). Ausgeapert am Südrand der rezenten Vergletscherung des Yala Tsang (YT) in 5464 m Seehöhe. 1.5-m-Maßstab (M) in Bildmitte. Blickrichtung NNW.



Abb. 6: Bereich zwischen Yathang und Nubamathang. Schar von SW- bis W-fallenden Störungen (S) in der Basisscholle des Bergsturzes mit identen Raumlagen wie die Gleitfläche des Bergsturzes. Im Hintergrund Tsergo Ri (T). Photostandort: ostseitige Tal-mündung des Nyangtsa Chu in 4200 m Seehöhe, Blickrichtung NW.

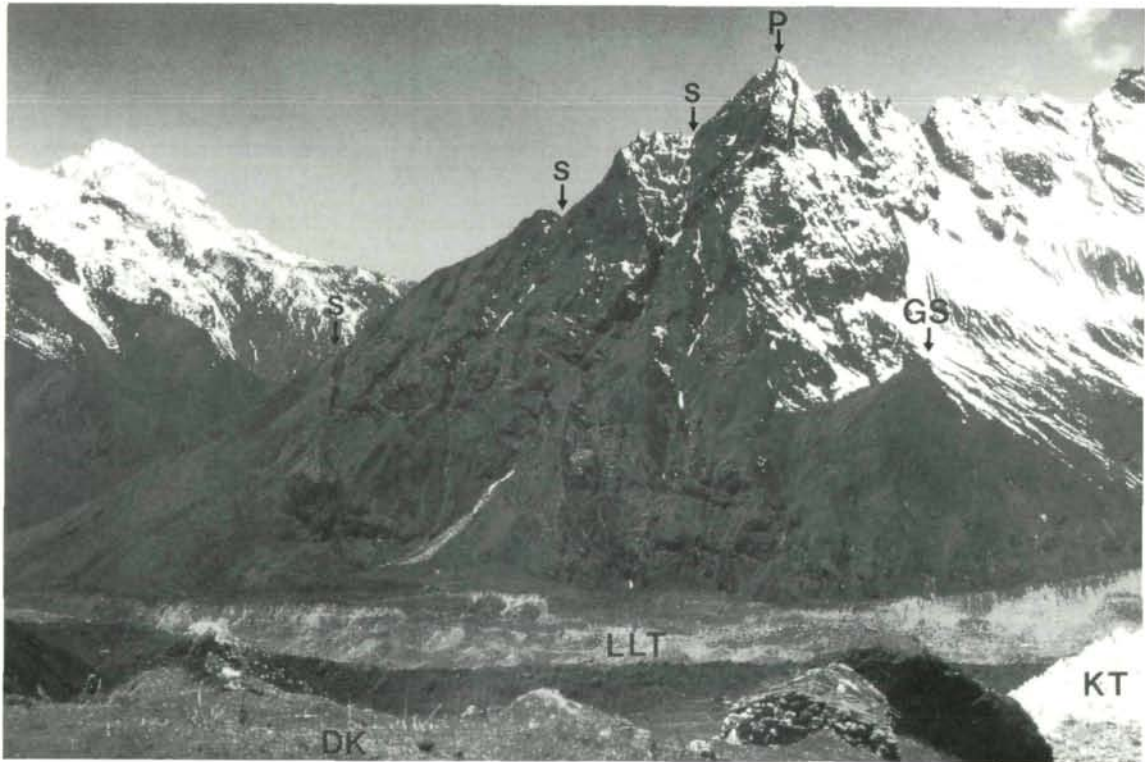


Abb. 7: Die Staffel steil SE-fallender Störungen (S) in der W-Flanke des Pangshungramo (P) bewirkt eine groß angelegte Bergzerreißung. Die Trennflächenschar resultierte - den ursprünglichen morphologischen Gegebenheiten entsprechend - aus Entspannungsprozessen. Der Anprall der Bergsturzmassen verstärkte das Abtragungspotential, wie auch die Gleitscholle von Tsangbu (GS) beweist. Im Vordergrund Langthang Lirung Tsang (LLT). Photostandort: Dragpoche Kharka (DK), im Bildvordergrund ostseitige Seitenmoräne des Kyimoshung Tsang (KT) in 4600 m Seehöhe.

steil SW-fallende Deformationsgesteine in den Graniten sowie ihr rheologisch sprödes Verhalten aufgrund von Spannungsunterschieden zu den umgebenden Migmatiten begünstigten die Destabilisierung des Bergkammes.

4.3. Erzstruktur

Eingebettet in einen Leukogranithorizont markiert eine 2.5–3 m mächtige, disseminiert vererzte Struktur (Pyrrhotin) mit gleicher Raumlage wie die primäre Gleitfläche (SSE-Flanke des Yala Peak I) die Abrißkante des Bergsturzes (Abb. 4). In der SSE-Flanke des Dragpoche, also einem peripheren Bereich der Massenbewegung, läßt sich die Vererzung nur als weitverstreute Mineralisation erkennen. Demgegenüber bildet sie im Streichen (NE-Flanke des Yala Peak I und II) einen 3 km langen, spröde brechenden und porös verwitterten Horizont mit guter Wasserwegigkeit.

Brekzierte, durch sekundäre Erzminerale kompaktierte Blöcke an der Basis der abgelagerten Bergsturzmassen belegen die ursächliche Beteiligung dieses Materials an den Abgleitvorgängen.

4.4. „Neotektonik“

Mit parallelen Raumlagen wie die Granitintrusion(en) und Erzstruktur treten auch junge Kluft- bzw. Störungsscharen auf. Diese weisen unterschiedlich steiles SW- bis W-Fallen in der Gneisbasis und am Abrißkamm des Bergsturzes (Abb. 6), aber auch SE- bis SSE-Fallen am SE-Grat des Pangshungramo (Abb. 7) und in der SSE-Flanke des Dragpoche auf. Die Kluft- bzw. Störungsmaxima wurden gefügestatistisch ermittelt. Vermutlich fanden außer Überschiebungen innerhalb und randlich der Himalaya-Gneis-Zone auch Abschiebungen mit entgegengesetztem Fallen statt. Jedenfalls begünstigte die Verschneidung beider Richtungen ein rundlich erscheinendes Ausbrechen der Bergsturzmassen an Initialklüften. Auf die Bedeutung neotektonischer Vorgänge an der Main Boundary Thrust

(MBT) wiesen erst kürzlich MUGNIER et al. (1994) hin.

4.5. Seismische Aktivität

Neben den bisher genannten Faktoren der Gebirgsdestabilisierung kommt den sich fortschreitend nach Süden verlagernden seismischen und tektonischen Aktivitäten (z. B. MBT, MFT) im Himalaya und den damit in Verbindung stehenden Erdbeben in jüngster geologischer Vergangenheit Bedeutung zu (DEWEY, J. F. et al., 1988). Seismische Unruhe kann dementsprechend als das wahrscheinlichste unmittelbare Auslösemoment für das Bergsturzeignis angenommen werden.

5. Bewegungsablauf (Abb. 8)

5.1. Initialsituation (Abb. 8, Skizze 1)

Die bereits vor dem Sturzeignis dominierende petrographische und tektonische Streichrichtung (von NW nach SE) manifestiert sich morphologisch in der Fließrichtung des im NE an das Bergsturzgebiet angrenzenden Phrul Rangtshan Gletschers, sowie aus dem Verlauf des oberen Langthang Lirung- und oberen Kyimoshung Gletschers (im W bzw. NW des Bergsturzes). Diese Vorzugsrichtung wird von einem steil nach SE einfallenden Strukturelement gequert, welches am deutlichsten an der E-Flanke des Pangshungramo zum Vorschein kommt. Die Verschneidung beider Elemente bildet eine nach NE spitz zulaufende Nische, welche den NW-SE Verlauf eines ehemals wohl mehrgratigen Bergkammes (mit knapp über 6000 m Höhe) vorgibt.

5.2. Brekzierung und Aufschmelzung

Entsprechend den Voraussetzungen für flächenhafte Gesteinsaufschmelzung an der (den) Bewegungsbahn(en) – wie von ERISMANN et al. (1977)

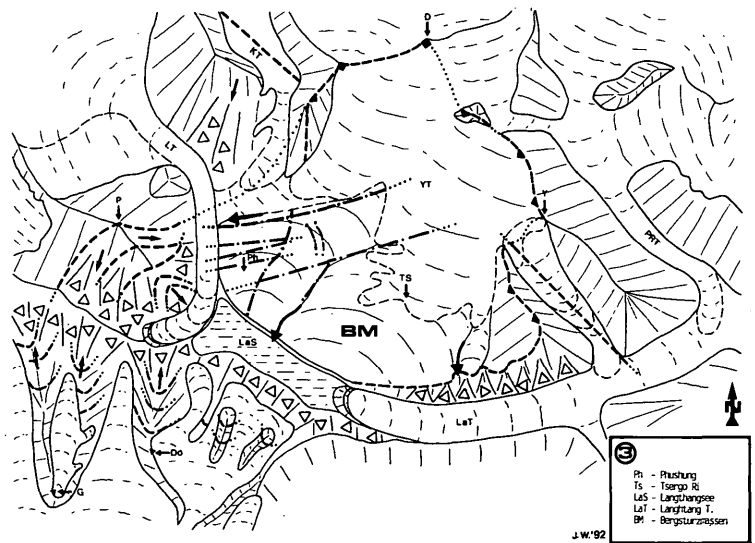
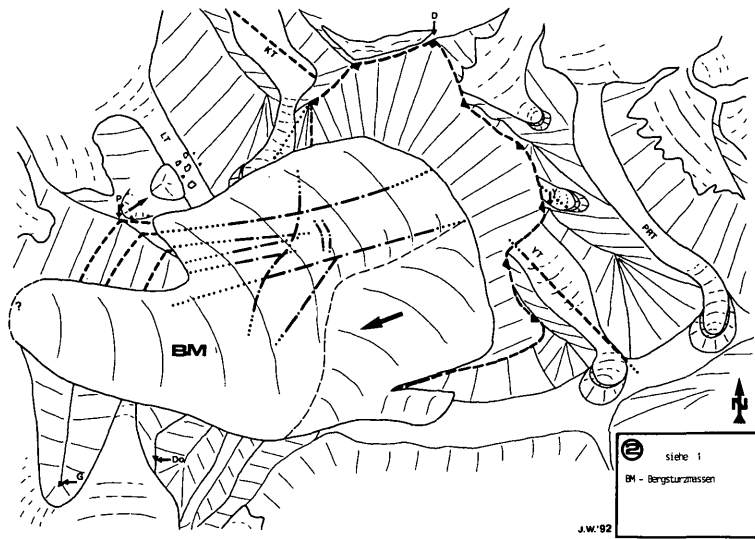
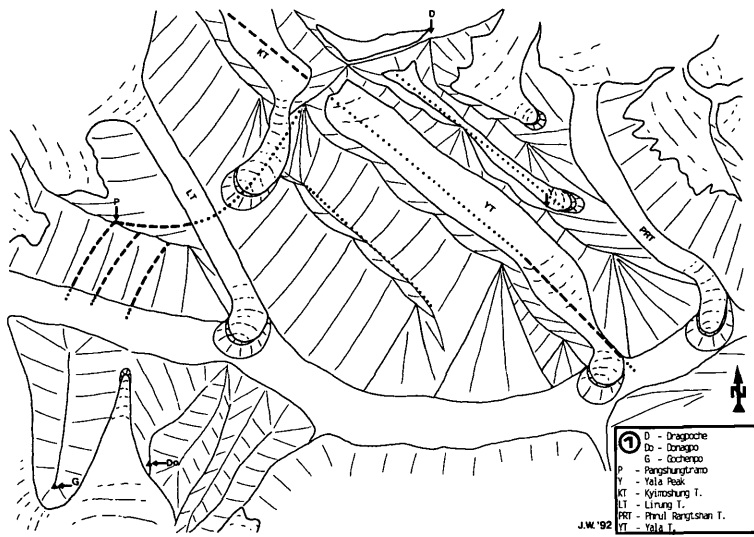


Abb. 8: Paläogeographisches Modell der Tsergo Ri-Großmassenbewegung. Skizze 1 = Situation vor dem Bergsturzgeschehen. Skizze 2 = Situation nach der zweiten und dritten Bewegungsphase. Skizze 3 = Situation nach der zweiten Abtragungsphase.

beschrieben – erfolgte das Abgleiten der Massen nach WSW schlittenartig und anfangs als einheitliches Gesteinspaket. Nahe der primären Gleitfläche wurden sekundäre Gleitflächen (Mikrobrekzien-Bimssteinhorizonte) als Ausweichbahnen dann gebildet, wenn die Bewegung an Hindernissen entlang der Basis kurzzeitig zum Stocken kam (Abb. 9). Zudem erlitt die Hangendscholle eine, mit zunehmender Transportweite und Nähe zur Gleitfläche intensiver werdende Brekzierung. Demgegenüber wurde die Gneisbasis in Schollen zerlegt, wobei die Trennflächen zeitweilig ebenfalls als Bewegungsbahnen wirksam wurden.

Der nordöstlichste Bereich des Bergkammes, zwischen Dragpoche und Kote 6690 m, dürfte in situ nach Osten, in das Tal des Phrul Rangtshan Gletschers, abgesackt sein.

5.3. Pangshungtramo-Barriere

Die nordwestlichen Gleitschollen der Bergsturzmassen (Kyimoshung, Dakpatsen) kamen durch den Anprall an die Ostflanke des Pangshungtramo vorzeitig zum Stehen, und zerstörten dessen SE-Ausläufer teilweise. Der südöstliche Teil (ehemalige Schollenaufgabe des Tsergo Ri Massivs) und partiell auch Blöcke zwischen beiden (Phushung I und II) bewegten sich weiter talauswärts.

Die ehemalige Unterlage des SE-Teils wurde von der Gleitfläche zum Hangenden graduell abnehmend brekziert (heutiger Tsergo Ri Südhang). Aus den saigerstehenden, trennenden Bewegungsbahnen zwischen den beiden Bergsturzmassen entstand das vertikale, ENE-WSW verlaufende Bruchsystem des Dranglungtals, parallel dazu jenes des Kyimoshungtals. Beide Täler konnten später, aufgrund des starken Zerrüttungsgrades entlang dieser Störungsscharen, leicht ausgeräumt werden.

5.4. Restbewegungen (Abb. 8, Skizze 2)

Die Bergsturzmassen kamen an der Barriere des Pangshungtramo endgültig zum Stillstand.



Abb. 9: Heller, bimssteinähnlicher Hyalomylonit (Entgasungsblasen) mit Schlieren von dunkler, ungeschmolzener Mikrobrekzie. Maßstab = 5 cm. Orientiertes Handstück aus der sekundären Gleitfläche, Aufschluß am westseitigen Hangfuß im Dranglung-Tal, 4000 m Seehöhe.

Ausgleichsbewegungen führten zur Bildung jener brekzierten „Aufschiebung“, die heute als kleines wasserloses (!) Tälchen eine N-S streichende Zäsur zwischen Phushung I - Kyimoshung und Phushung II - Dakpatsengrat bildet. Im Kontaktbereich zum Pangshungtramo erfuhr das Bergsturzmaterial höchste Zerrüttung und wurde später durch den Langthang Lirung Gletscher erodiert. Dessen Fließrichtung war aufgrund der abgelagerten Massen von NW-SE auf N-S umgelenkt worden.

Durch den Anpralleffekt wurden jene Trennflächen reaktiviert, die den Pangshungtramo (steil NE-SW streichend) durchhörtern, sodaß nach der glazialen Erosion die Bergzerreißung und Auflösung des Massivs in Richtung SE ein-

setzen konnte. Auch das Absacken einer kleinen Gleitscholle vom Gipfel des Pangshungtramo in Richtung NE dürfte mit dem Anprall in ursächlichem Zusammenhang stehen.

5.5. Hochglazial

Den Großteil erosiver Tätigkeit bewirkte der Vorstoß des Langthang Gletschers (zusammen mit dessen Seitengletschern) während des letzten Hochglazials. Möglicherweise begünstigte dabei eine Durchmischung der im Haupttal abgelagerten Massen mit Gletschereis aus dem Abbruchgebiet ein rasches Abschmelzen. Nördlich des heutigen Langthang Khola schufen die periodisch zusammenhängenden Nebengletscher bereits eine annähernd rezente Situation.

Die Plateauvereisung des Yala-Kyimoshung erodierte hauptsächlich die infolge der Bergsturzmechanismen angelegten vertikalen Störungsrichtungen des Dranglung- und des Kyimoshungtals und erweiterte auch das Kar von Pijung. Der Langthang Lirung Gletscher öffnete – nun mit geänderter Fließrichtung (man vergleiche mit Abschnitt 5.4) – das zwischen Phushung (Bergsturzmassen) und Pangshungtramo verlaufende Tal wieder. Südlich des Haupttalflusses wirkte der Naya Kanga Gletscher erosiv.

5.6. Post- und Spätglazial (Abb. 8, Skizze 3)

Nach dem Rückgang des Haupttalgletschers bewirkten Entspannungserscheinungen die Talzuschübe des Gochenpo und Donagpo sowie die Bergzerreißung am Pangshungtramo. Der Yala Gletscher war weiter aktiv, formte den heutigen Gipfelbereich des Tsergo Ri und, durch seine Abflüsse, die Täler von Dranglung, Kyimoshung und Yala samt den vorgelagerten Schwemmfächern. Die besonders erosionsanfälligen Bereiche (Flanken des Dranglungtals, Tsergo Ri Südseite) wurden von zahlreichen kleinen Gräben durchzogen und lieferten das Material für die mächtige Beckenfüllung des Langthangtals. Die-

ses war durch den Langthang Lirung Gletscher zeitweilig abgesperrt und von einem See erfüllt.

Aus den Wänden der Gneisbasis von Pana bis Nubamathang ereignete sich eine Reihe von mächtigen Felsstürzen (bis rezent anhaltendes Geschehen).

Anmerkungen

Für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Rahmen der Projekte (P7916-GEO, P9433-GEO) wird dem „Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung“ (Wien) bestens gedankt. Den Herren D. P. MADHIKARMI (Department of Mines and Geology, Kathmandu, Nepal), Prof. Dr. H. HEUBERGER (Institut für Geographie, Universität Salzburg) und Mag. Dr. H. J. IBETSBERGER (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Salzburg) verdanken wir Diskussionen und Hinweise, Herrn W. WALDHÖR (Institut für Mineralogie, Universität Salzburg) die Anfertigung von Polituren.

Literatur

- DEWEY, J. F., SHACKLETON, R. M., CHENGFA, C. & YIYIN, S. (1988): The tectonic evolution of the Tibetan Plateau. – *Phil. Trans. R. Soc. Lond., A* **327**, 379–413, London.
- ERISMANN, TH., HEUBERGER, H. & PREUSS, E. (1977): Der Bimsstein von Köfels (Tirol), ein Bergsturz-„Friktionit“. – *Tschermaks Min. Petrogr. Mitt.*, **24**, 67–119, Wien.
- GANSSER, A. (1964): *Geology of the Himalayas*. – 289 p., London, New York, Sidney (Wiley Interscience Publ.).
- HAGEN, T. (1969): Report on the Geological Survey of Nepal. Volume I: Preliminary reconnaissance. – *Denkschr. Schweiz. Naturforsch. Ges.*, **86**,1, 1–185, Zürich.
- HASHIMOTO, S. (supervis.), OHTA, Y. & AKIBA, C. (eds.) (1973): *Geology of the Nepal Himalayas*. – 286 p., Sapporo (Saikon Publ. Co.).

- 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, 345–362, Boulder/Colorado.
- IBETSBERGER, H. (1993): Geomorphologische Untersuchungen im Langtang, Nepal-Himalaya. – Unveröff. Diss. Naturwiss. Fak., Universität Salzburg, 158 S., Salzburg.
- INGER, S. & HARRIS, N. B. W. (1992): Tectonothermal evolution of the High Himalayan Crystalline Sequence, Langtang Valley, northern Nepal. – J. metamorphic Geol., **10**, 439–452, Oxford.
- MASCH, L. (1980): Petrographische und geomorphologische Untersuchung des Aufschmelzgesteins nichtvulkanischen Ursprungs im Langtang-Tal, Himalaya (Nepal). – Unveröff. Abschlußbericht DFG, 21 S., München.
- MASCH, L., ERISMANN, TH., HEUBERGER, H., PREUSS, E. & SCHRÖCKER, A. (1981): Frictional fusion on the gliding planes of two large landslides. – Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussees, Spec., **10**, 11–14, Paris. [26th Int. Geol. Congr., Sect. 17, Geological Hazards, Earth Movements].
- MASCH, L. & PREUSS, E. (1974): Neue Untersuchungen an einem Beispiel von Aufschmelzung auf einer Verschiebungsfläche im Langtang Himal, Nepal. – Fortschr. Min., **52**, Beih. 2, 66–67, Stuttgart.
- MASCH, L. & PREUSS, E. (1977): Das Vorkommen des Hyalomylonits von Langtang, Himalaya (Nepal). – N. Jahrb. Min., Abh., **129**, 3, 292–311, Stuttgart.
- MASSEY, J. A., REDDY, S. M., HARRIS, N. B. W. & HARMON, R. S. (1994): Correlation between melting, deformation and fluid interaction in the continental crust of the High Himalayas, Langtang Valley, Nepal. – Terra Nova, **6**, 229–237, Oxford.
- MUGNIER, J.-L., HUYGHE, P., CHALARON, E. & MASCLE, G. (1994): Recent movements along the Main Boundary Thrust of the Himalayas: normal faulting in an over-critical thrust wedge? – Tectonophysics, **238**, 199–215, Amsterdam.
- PREUSS, E., MASCH, L. & ERISMANN, TH., 1987: Friktionite: Glasses quenched from friction-generated melts in two big landslide events. – Sect. Int. Conf. nat. Glasses, Prague, 399–400, Prague.
- PURTSCHELLER, F., STINGL, V., BRUNNER, P. & ENNEMOSER, O., 1994: The Tsergo Ri landslide (Langtang Himal) – a case study for radon emanation from giant landslides. – J. Nepal Geol. Soc., **10**, 102–104, Kathmandu.
- REDDY, S. M., SEARLE, M. P. & MASSEY, J. A. (1993): Structural evolution of the high Himalayan Gneiss sequence, Langtang Valley, Nepal. – In: TRELOAR, P. J. & SEARLE, M. P. (eds.): Himalayan Tectonics, Geol. Soc. Special Publ., **74**, 375–389, London.
- SCOTT, J. S. & DREVER, H. I. (1953): Frictional fusion along a Himalayan thrust. – Proc. R. Soc. Edinburgh, sect. B., **65**, pt. 2, 10, 121–142, Edinburgh.
- WEIDINGER, J. T. (1992): Geologische Untersuchungen im Bereich der Großmassenbewegung von Langthang – Nepal. – Unveröff. Diss. Naturwiss. Fak., Universität Salzburg, 100 S., Salzburg.
- WEIDINGER, J. T. & SCHRAMM, J.-M. (1994): Tsergo Ri landslide (Langthang Himal, Nepal) – short notes. – J. Nepal Geol. Soc., **11**, Kathmandu (in Druck).

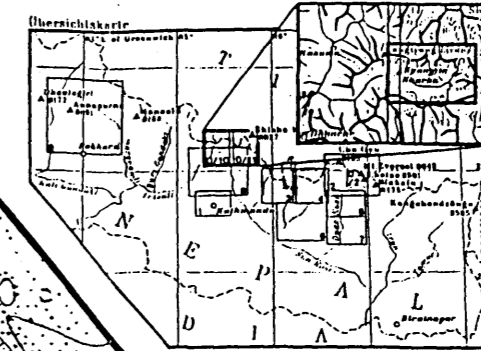
Anschrift der Verfasser:

Mag.Dr. Johannes T. Weidinger, Univ.-Prof. Dr. Josef-Michael Schramm, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Salzburg, Hellbrunner Straße 34, A-5020 Salzburg, Austria.

Manuskript eingegangen: 12. Jänner 1995

INGENIEURGEOLOGISCHE MEHRZWECK-KARTE DER GROSSMASSENBEWEGUNG VON LANGTHANG/NEPAL HIMALAYA
 Kartierung, Entwurf und Ausführung:
 J.T. Weidinger 1990 - 1992

Kartgrundlage: Alpenvereinskarte Nr. 0/11,
 Langhang Himal - Ost (Nepal - Tibet),
 1 : 50.000.



LEGENDE - ANWENDUNGSSCHLÜSSEL

- I. Lithologie:**
- Alluvionen
 - Quaternäre Lockermassen und Moränen (z.T. mit unterlagerndem Bergsturzmaterial)
 - Migmatite und gangförmige Granite
 - Biotti-Feldspat Gneise (z.T. Augengneise)
 - Biotti-Sillimanit Gneise
 - Biotti-Granat-Turmalin Gneise
- II. Tektonik:**
- A. Regional:**
- Ultramyonite (Fahlerz)
 - Ultramyonite (Masch, 1994)
 - Störung (aufgeschlossen)
 - Störung (vermutet)
 - Streichen und Fallen einer Störung (Darstellung nach Mütter)
- B. Lokal:**
- Polpunktmaxima und Großflüsse (Lagenkugelproj.) der Hauptkulturrichtungen in Homogenitätsbereichen
 - Meißbereich
 - Streichen und Fallen (Schicht und Schieferung)
- III. Bergsturzmechanik:**
- A. Gesteinskütklassen:**
- | Bergsturzmechanik | Gneise | Migmatite |
|---------------------|--------|-----------|
| GK1 - kompakt | 1 | 1 |
| GK2 - geklüftet | 2 | 2 |
| GK3 - zerbrochen | 3 | 3 |
| GK4 - zerrüttet | 4 | 4 |
| GK5a - kataklatisch | 5 | 5 |
| GK5b - pulverisiert | 6 | 6 |
- B. Bewegungsbahnen:**
- Bergsturzabrisse
 - Hyalomyonit (Reibungsbrakzie)
 - Hyalomyonit (Heuberger, Masch, Preuss und Schröcker, 1984)
 - Primäre und sekundäre (G) (tertiäre) Gleitflächen (aufgeschlossen)
 - Erzbrakzie, EB
 - Erzausbl., OS

Trisul
Langtang

Langtang

Langtang

Langtang

Langtang

Langtang

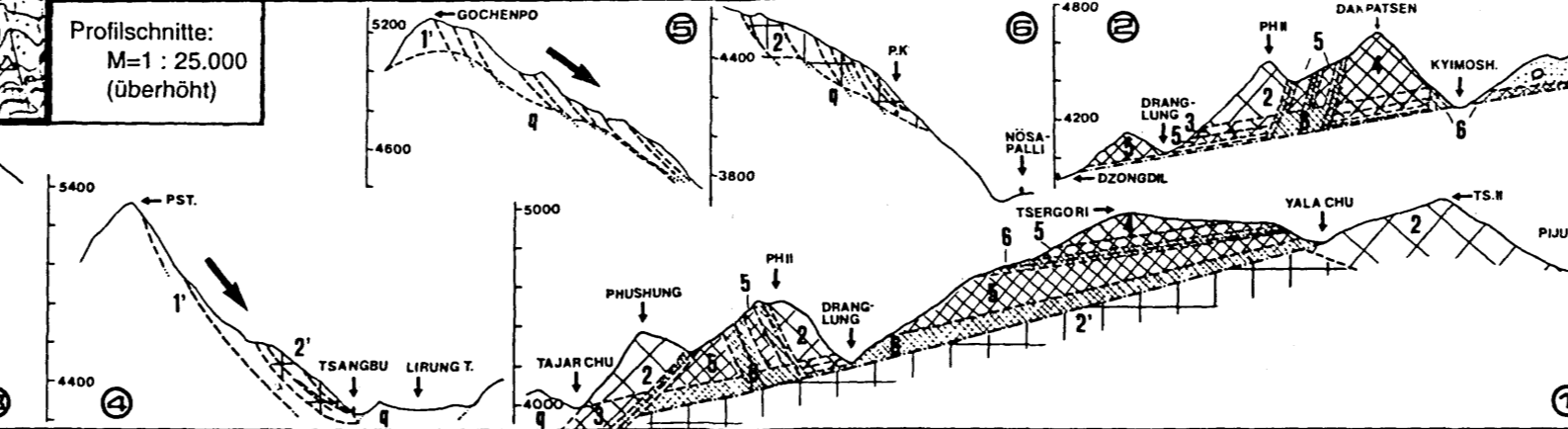
Langtang

Langtang

Langtang

Langtang

Langtang



- IV. Geohydrologie:**
- A. Bergwässer:**
- Bach- oder Flußlauf
 - Bach- oder Flußlauf (temporär)
 - Tümpel oder See
 - Vermässungszone
 - Schluckloch
 - Quellausritt (Meißpunkt)
 - Meißpunkt physik. Parameter
- B. Elektrische Leitfähigkeit von Bergwässern:**
- Darstellung als Kreissegment in gerundeten Intervallen zu je 50 µS von 0 - 800 µS:
-

- VI. Quartäre Lockermassen:**
- Anmerkung: Diese Signaturen beziehen sich nicht oder nur partiell auf den Bergsturzrisikogebiet, da in seinem Bereich abgedeckt (ohne quartäre Überlagerung) dargestellt wurde.
- Rezente Vergletscherung (Firnfelder)
 - Moränenwall (nicht stratigraphisch)
 - Begrenzung quartärer Überdeckung (z.T. zu den Bergsturzmassen)
 - Moränendurchbruch mit Schwemmfächer
 - Rezentes Umfließungsgenue
 - Staukörper
 - Flußterrasse(n)
 - Schwemmfächer z.T. schuttbedeckt
 - Blockschutt oder Feisturzhalde
 - Blake oder Anriß
 - Rinne im Fels (schuttproduzierend)
 - Rinne im Lockermaterial