

Die Erforschung der Tsergo Ri-Großmassenbewegung im Nepal Himalaya als Grundlage für rezente Gefahrenzonenkartierungen

von Johannes T. Weidinger (a, b)

(a) Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Salzburg, Hellbrunnerstr. 34/III, A-5020 Salzburg, Österreich

(b) Institut ERKUDOK© im Stadtmuseum Gmunden, Kammerhofgasse 8, A-4810 Gmunden, Österreich

Zusammenfassung

Die gewonnen geologischen, geomorphologischen und geotechnischen Grundlagenerkenntnisse an der im Kristallin weltweit gewaltigsten und einzigartigen Großmassenbewegung des Tsergo Ri im Langthangtal des zentralen Nepal Himalaya entschlüsselten nicht nur den chronologischen Ablauf der Paläo-Ereignisse vor Ort, sondern können auch direkt auf eine Einstufung des rezenten Gefahrenpotentials dieser Gegend und ähnlich geotektonisch-lithologisch positionierter Bereiche des Himalaya und der Erde angewendet werden. Dies konnte vorerst am Beispiel weiterer, kleinerer Bergstürze im Langthangtal selbst, im Kristallin des Annapurna Massivs und mit einem Vergleich zu einer Felslawine in Zentralchina bestätigt werden.

1. Einleitung

Untersuchungen, die im Rahmen zweier Forschungsprojekte des „Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung – FWF Wien“ durchgeführt wurden, hatten die ingenieur-geologische, geomorphologische, geotechnische, quartärgeologische und paläogeographische Erforschung der Großmassenbewegung des Tsergo Ri im Langthangtal von Nepal und ihres Umfeldes im Kristallin (Hagen, 1969; Inger & Harris, 1992; Macfarlane, 1993) des Hohen Himalaya zum Ziel. Das Untersuchungsgebiet liegt ca. 60 km nördlich der Hauptstadt Nepals, Kathmandu, auf einer Seehöhe zwischen ca. 3.800 und ca. 7.000m (höchster Punkt des rezenten Abrisskamms, Abb.1). Die vorliegende Arbeit stellt eine Zusammenschau der gewonnen Erkenntnisse bis einschließlich 2001 dar, die teilweise bereits publiziert wurden und hier in leicht verständlichem, populärwissenschaftlich plakativem Stil mit ergänzenden Literaturverweisen extrem gerafft präsentiert werden sollen.

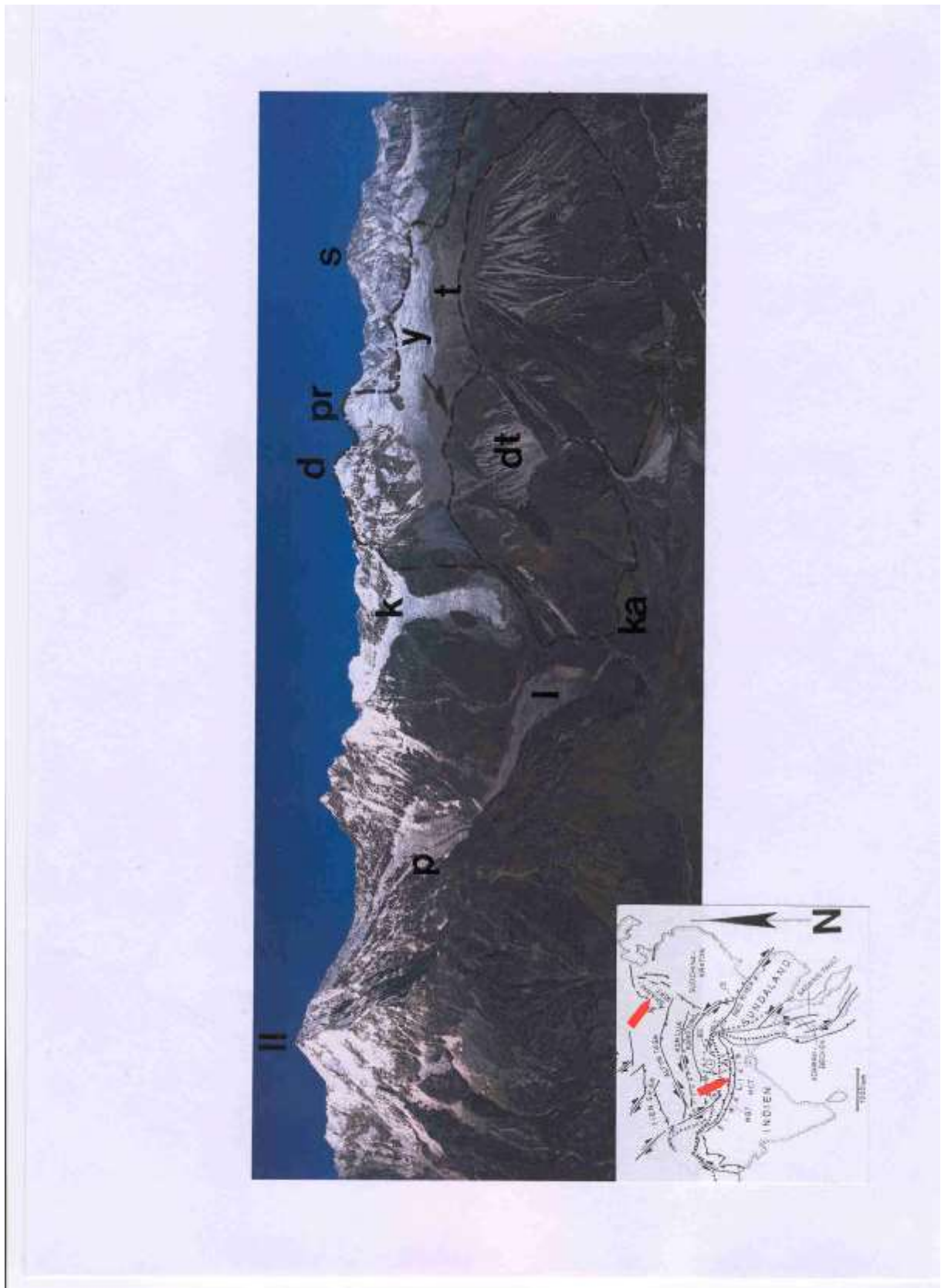


Abb. 1: Gesamtansicht des Bergsturzgebietes um den Tsergo Ri vom Gipfel des Naya Kanga (5.849m) mit Blick Richtung Norden gesehen; -.- = Abrisskamm, ---- = Begrenzung des Ablagerungsraumes, ⇐ = Bewegungsrichtung, ll = Langthang Lirung (7.234m), d = Dragpoche (6.562m), pr = Phrul Rangtshan Ri (6.960m), s = Shisha Pangma (8.027m), p = Pangshungtramo-Prallhang (5.321m), t = Tsergo Ri (4.984m), dt = Dranglung Tal-Störung, l = Ledrub-Lirung-Gletscher, k = Kyimoshung Gletscher, y = Yala Gletscher, ka = Kyangjin Kharka Alm, 3.920m (Foto: J.T. Weidinger und H.J. Ibetsberger, 14. Nov. 1990). Als Insert: Geotektonische Position (aus Tapponnier et al., 1986) des Hauptuntersuchungsgebietes (Langthang Gebirge) und des Vergleichsgebietes im Himalaya (Annapurna Massiv) sowie des Vergleichsgebietes in Zentralchina (Qin Ling Gebirge, Shanxi).

2. Prä-existierende Schwächezonen im Paläo-Bergmassiv und Auslösemechanismen des Bergsturzes

Die ehemalige Bergflanke riss entlang einer mit Sulfiden disseminiert vererzten Struktur ab (Weidinger, Schramm & Nuschej, 2001 und 2002; Abb. 2), wobei auch andere lithotektonische Faktoren, wie diskordant zur Schieferung durchschlagende leukogranitische Gangintrusionen, Mylonit- und Pseudotachylithorizonte (Produkte von Paläo-Überschiebungstätigkeit und Paläoseismik) sowie ein normal auf diese Präferenzrichtung stehendes, neotektonisches Störungssystem (siehe Abb. 13) zur Destabilisierung beitrugen (Abb. 3). Daraus kann auch auf den unmittelbaren Auslöser geschlossen werden: das Bergsturzeroignis wurde mit großer Wahrscheinlichkeit durch ein starkes Erdbeben, das in Zusammenhang mit den Überschiebungsaktivitäten entlang einer Hauptstörungszone im Himalaya, dem Main Central Thrust (MCT), zwischen Hohem und Niederem Himalaya zu sehen ist, vor rund 40.000 Jahren ausgelöst (Weidinger, Schramm & Surenian, 1995 und 1996).

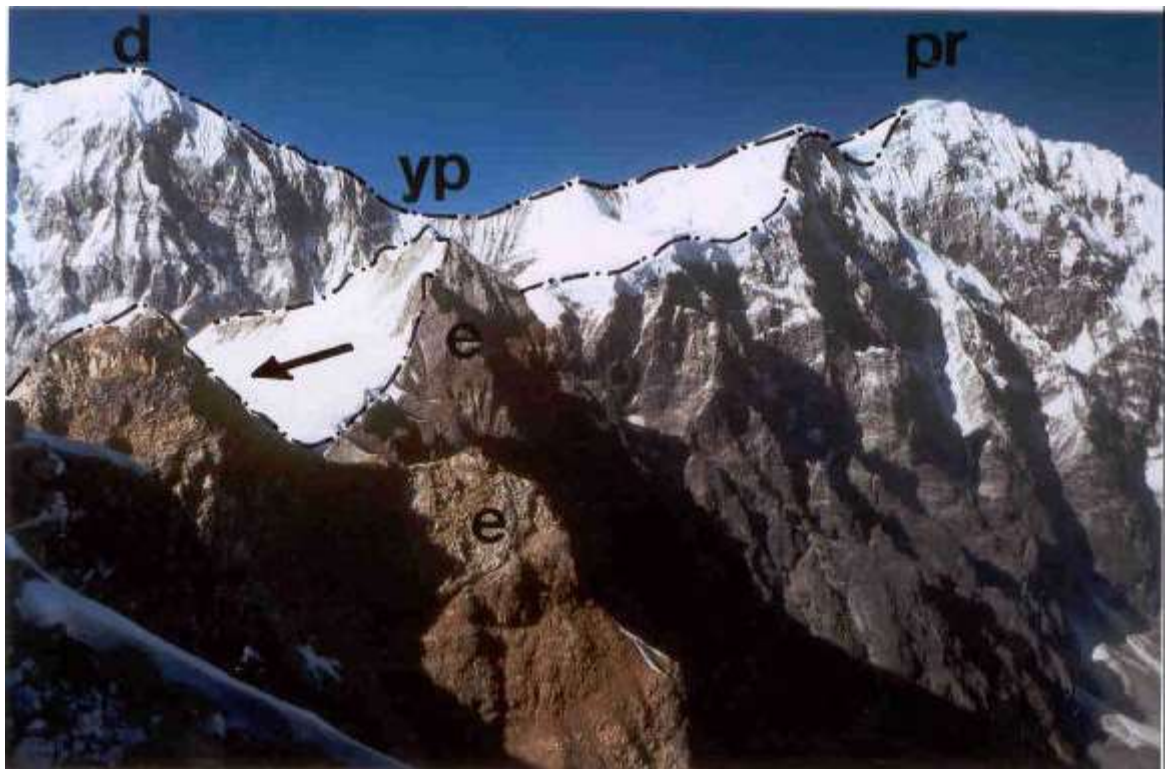


Abb. 2: Ca. 20m mächtiger Ausbiss der stark brekzierten und oxidierten Vererzung (e) im Streichen des rezenten Abrisskammes des Bergsturzes auf einer Höhe von ca. 5.500m gesehen vom Gipfel des Yala Peak I (5.520m) in Richtung NW; d = Dragpoche (6.562m), pr = Phrul Rangtshan Ri (6.960m), yp = Yala Peak II (5.749m), -.-.- = Abrisskamm (teilweise), ← = Bewegungsrichtung; (Foto: J.T. Weidinger, 1993).

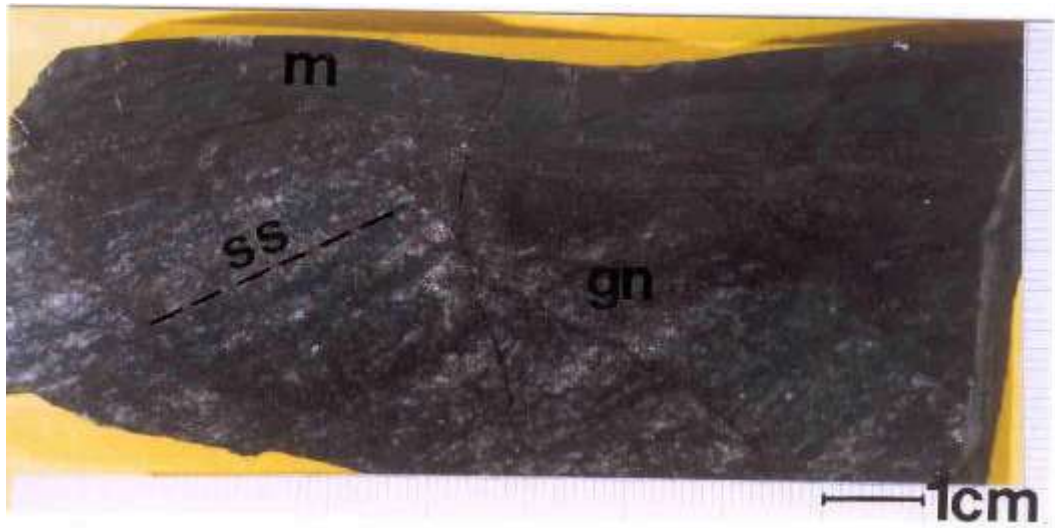


Abb. 3: Durch Überschiebungstätigkeit im Kristallin des Hohen Himalaya tektonisch entstandene und oft diskordant zum ss (---) angelegte (Ultra-) Mylonithorizonte (m, hier in den Sillimanitgneisen, gn, der Basisscholle, Fundpunkt Sh. 4.020m, nördlich Flugplatz) des Bergsturzes trugen wesentlich zur mechanischen Schwächung des Ausgangsmaterials im Abrissbereich bei (Foto: J.T. Weidinger, 1991).

3. Rekonstruktion des Paläo-Bergmassivs und die Kubatur des dislozierten Gesteinsvolumens

Durch die genaue Lokalisierung der präexistierenden Schwächezone im gesamten Fallen und Streichen konnte auch eine möglichst genaue morphologische Rekonstruktion des vor dem Bergsturzeignis vorhandenen Paläo-Gebirgsmassivs erarbeitet werden. Dabei waren nicht nur fotogeologische und tektonisch-morphologische Auswertungen sowie Begehungen in extrem schwierigen Gelände (im Bereich des Abrisskamms bis auf 6.000m Höhe), sondern auch Berechnungen zu den Hebungsraten von Bedeutung (Hejl, Schramm & Weidinger, 1997). Auch die unmittelbare Positionierung des Bergsturzes im Himalaya-Hauptkamm und seine Nähe zum Achttausender Shisha Pangma (8.027m) trugen zu dieser neuen Argumentation bei. Gestützt auf PC-Geländemodellierung (Programm: Surfer) sowie durch ein originalgetreu nachgebautes Geländemodell (M 1 : 5000) kann man heute – entgegen früheren Annahmen (Weidinger & Schramm, 1995a und 1995b) – davon ausgehen, dass es sich dabei um einen, dreiseitig aufgebauten, bis zu achttausend Meter hohen Berg gehandelt haben muss, dessen Gesteinsvolumen von rund 10 – 15 Kubikkilometer (!) zum Einsturz kam und disloziert wurde (Abb. 4; Weidinger, Schramm & Nuschej, 2002).



Abb. 4: Morphologisch-paläogeographische Rekonstruktion der Situation vor dem Bergsturzereignis: x – der mögliche frühere 15. Achttausender im Nepal Himalaya. Restliche morphologisch-paläogeographische Rekonstruktionen und Legende siehe Abb. 12, 15, 16 (Skizze: J.T. Weidinger, 2001).

4. Bewegungsablauf und Bildungsbedingungen für Friktionit (Hyalomylonit)

Die Massenbewegung der hangenden Migmatit- und Ganggranitscholle über der liegenden Sillimanitgneisscholle erfolgte schlitzenartig im Block an einer ca. 20 Grad nach Westsüdwest geneigten Abriss- und Gleitfläche (Abb. 5) mit dermaßen großer Geschwindigkeit (ca. 250 km/h), dass es aufgrund der hohen Reibungswärme (z. T. über 1000 Grad C) nahe und entlang der (den) Gleitfläche(n) zu Gesteinsbrekzierung und Gesteinsaufschmelzung kam (Erismann, Heuberger & Preuss, 1977; Masch & Preuss, 1977; Masch, Wenk & Preuss, 1985; Preuss, 1986). Die daraus nach der Abkühlung entstandenen speziellen Metamorphite mit Deformationsgefügen wurden in ihrer lokalen Ausbildung früher mit Hyalomylonite (Scott & Drever, 1953), heute als Friktionite bezeichnet. Durch den Vergleich dieses in mineralogischer Ausbildung und Genese wohl seltensten

Gesteins der Erde mit dem Köfelsit avancierte der Bergsturz von Langthang zum idealen Komplementärbefund für den Bergsturz von Köfels im Tiroler Ötztal (Heuberger et al., 1984).

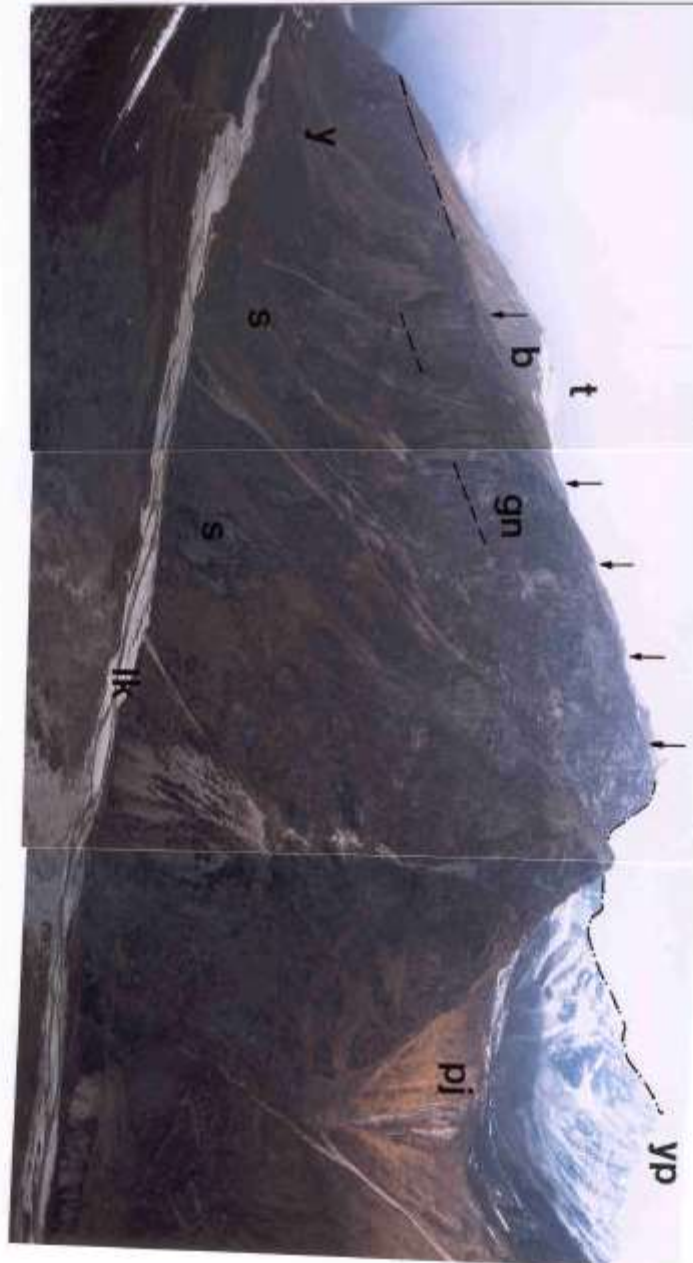


Abb. 5: Beim Blick von Nyangtsa (Sh. ca. 4.200m) nach Westen Richtung Yathang Alm (y) auf die Gneisbasis des Bergsturzes (gn) markiert die durch das Bergsturzereignis entstandene, schrittartig abgesetzte und scharfe Trennlinie (↓↓↓) zwischen liegender Sillimanitgneisscholle (gn) und hangend abgelagerten Migmatiten und Leukograniten der Bergsturzmasse (b, t = Tsergo Ri (5.984m) den Verlauf der ehemaligen Gleitfläche (-.-.- = weiterer Abriss, yp = Yala Peak I (5.520m)); die mechanische Beanspruchung der Gneisbasis manifestiert sich weiters nicht nur in parallel laufende Störungsbahnen (---) sondern auch in den zahlreichen Schuttkegeln (s) postglazialer bis rezenter Felsstürze am Fuße der Wand; lk = Langthang Khola Fluss, pj = quartär gefülltes Kar von Pijung; (Foto: J.T. Weidinger, 1991).

5. Zerrüttungsgrad der Gleitscholle(n) und interne Bewegungsbahnen

Aufgrund von Unregelmäßigkeiten im Bewegungsablauf durch Hindernisse in der Gleitbahn und durch den Anprall der nördlichen Teilmasse an das Berghindernis des Pangshungramo kam es zur Teilung der Gesamtmasse in einen NW- und einen SE-Teil entlang der vertikalen Störungszone des Dranglung Tals (Abb. 6) wodurch unterschiedliche Bereiche der bewegten Masse verschieden stark zerrüttet oder in größere Teilschollen zerlegt wurden (Weidinger, 1992; Weidinger & Schramm, 1995a und 1995b). Dieser Internbau der abgelagerten Masse (Abb. 7), der durch eine geotechnische

Auskartierung des Zerrüttungsgrades nach fünf Klassen festgestellt werden konnte, manifestiert sich auch durch geänderte physikalische Parameter der aus ihnen tretenden Bergwässer, vor allem durch erhöhte elektrische Leitfähigkeiten (eC) der Quellwässer bei höherem Zerrüttungsgrad (Schramm & Weidinger, 1996; Weidinger, Schramm & Madhikarmi, 1995).



Abb. 6: Auch im vertikalen, die Bergsturzmassen teilenden Störungssystem des Dranglungtals (dt) kam es zur Bildung von tertiären Gleitflächen (siehe Punkt 6.) mit Brezien und Friktionit (siehe tg und orangen ↙); durch den hohen Zerrüttungsgrad konnte diese Störungszone durch nachfolgende glaziale und fluviatile Erosion leicht ausgeräumt werden; Blick vom Phushung II (4.520m) in Richtung ENE, genau in die entgegengesetzte Richtung der Hauptbewegung (siehe ↙); -.-.- = Abrisskamm, dc = Grat von Dakpatsen, t = Tsergo Ri, yp = Yala Peak; (Foto: J.T. Weidinger, 1995).

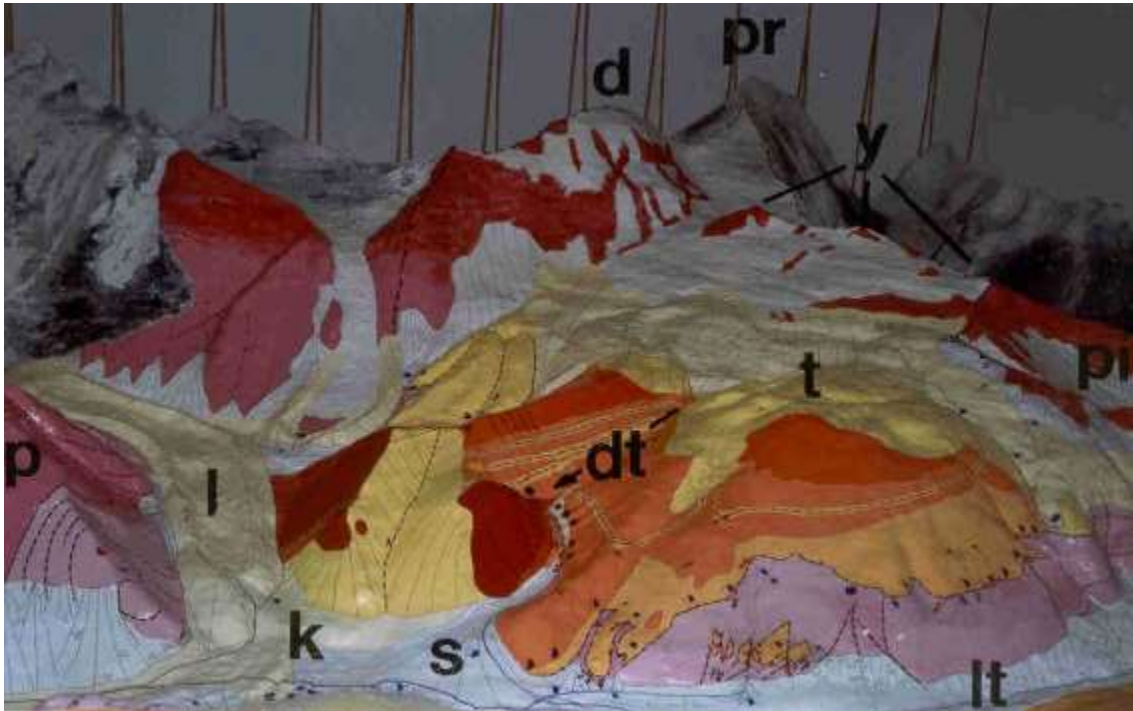


Abb. 7: Ausschnitt aus dem Geländemodell des Tsergo Ri-Bergsturzgebietes von Langthang mit dem Farbencode der ingenieurgeologischen Mehrzweckkarte (Weidinger, 1992) am Pangshungtramo-Prallhang, im Abrissbereich und in der Basisscholle: *altrosa* (Sillimanitgneis) – rot (Migmatit/Leukogranit) = massiv, hellrosa = wenig geklüftet; im Migmatit/Leukogranit der Bergsturzmassen: rot = wenig geklüftete bis geklüftete, kompakte Schollen; dunkelorange = stark geklüftete Schollen, orange = kataklastisch, hellorange = mylonitisiert, gelb = quartäre Moränenbedeckung; grüne Pfeile in der Basis = Einfallen der Mylonite; rote Pfeile = Einfallen der Friktionitausbisse an der primären Gleitfläche; blaue Kreis-sektoren = ansteigende Werte der elektrischen Leitfähigkeiten austretender Bergwässer von 0–800 μ S. P = Pangshungtramo (5.321m), d = Dragpoche (5.554m), pr = Phrul Rangtshan Ri - Gipfel (6.950m, höchster erhaltener Punkt des Abrisskamms, y = Yala Gipfel I (5.520m), II (5.749m) und III (5.820m), von rechts nach links, t = Tsergo Ri (4.984m), lt = Langthang Tal, l = Ledrub-Lirung-Gletscher, pi = Kar von Pijung, dt = Dranglungtal-Störung entlang der Hauptbewegungsrichtung (\downarrow) und (s) = Schwemmkegel des Dranglung Tals; k = Kyangjin Kharka Alm (Anmerkung: Das Modell im Stadtmuseum von Gmunden in Oberösterreich wurde im Jahre 2000 von J.T. Weidinger im Maßstab 1 : 5000 angefertigt und ist im Rahmen der Öffnungszeiten zu besichtigen!)

6. Typen der Gleitflächen mit Brekzien- und Friktionit/Hyalomylonit-Bildung

Neben den primären Bewegungsbahnen (Scott & Drever, 1953) zwischen der liegenden Sillimanitgneisscholle und der hangenden Migmatit-Leukogranitscholle (Abb. 8, Abb. 9) wurden auch sekundäre (Abb. 10) und tertiäre (Abb. 11) Gleitflächen ausgebildet, an denen ebenfalls die Bildungsbedingungen von Friktionit/Hyalomylonit erreicht wurden. Während sekundäre Bewegungsbahnen in der Hangendscholle des gesamten Ablagerungsraums parallel zu den primären auftreten und durch Hindernisse an der Basis hervorgerufen worden sind, treten die tertiären Gleitflächen ausnahmslos im Dranglungtal auf, wo es innerhalb der bewegten Masse durch den Anprall an das Pangshungtramo-Hindernis zur Ausbildung eines gewaltigen senkrechten Störungssystems kam (u.a. Schramm, Weidinger & Ibetsberger, 1996).

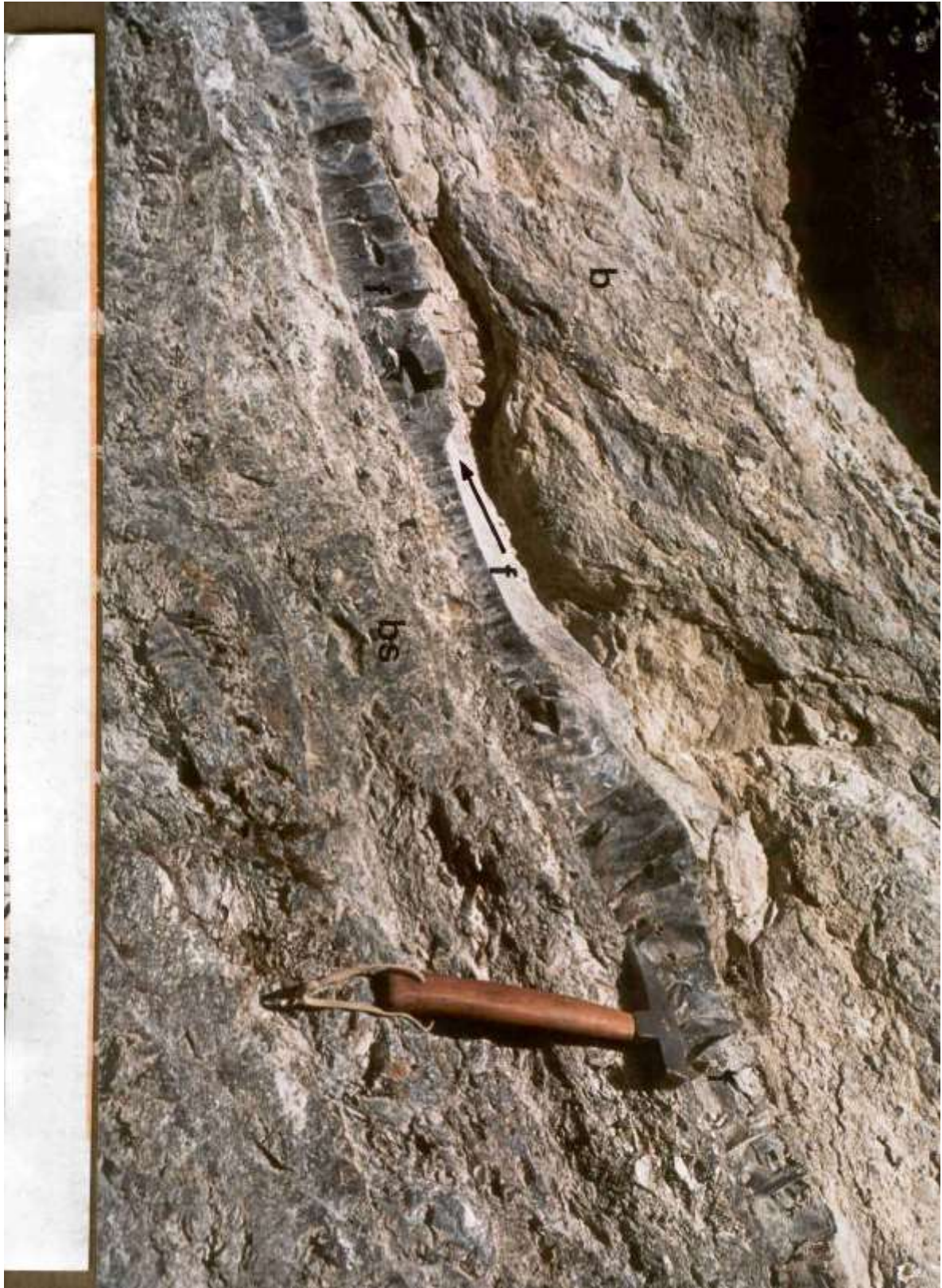


Abb. 8: Der Ausbiss des Friktionits (Hyalomylonits) der primären Gleitfläche (f) am Südhang des Tsergo Ri auf einer Seehöhe von ca. 4.000m trennt exakt die kompakte Sillimanitgneis-Basisscholle im Liegenden (bs) von den durch den raschen Bewegungsvorgang stark zerrütteten Migmatiten/Leukograniten der Bergsturzmasse (b), ↓ = Bewegungsrichtung; (Foto: J.T. Weidinger, 1990).



Abb. 9: Friktionit (Hyalomylonit) der primären Gleitfläche von Langthang (geschnitten und geschliffen) zeigt neben dunkel bis beige gefärbtem, schlierigem Gesteinsglas, heller Mikrobrekzie und granitischen Gesteinsfragmenten zahlreiche kleinere Hohlräume von Entgasungsblasen (Foto: J.T. Weidinger, 1991).



Abb. 10: Friktionit (Hyalomylonit) in Form einer stark porösen Bimssteinknolle (geschnitten und geschliffen), von einer sekundären Gleitfläche entnommen (Foto: J.T. Weidinger, 1991).



Abb. 11: Ausbiss von Mikrobekzie und stark porösem Friktionit (Hyalomylonit) einer vertikalen tertiären Gleitfläche (t), die unmittelbar an einer sekundäre Gleitfläche (s) ansetzt; aus dem Plattverschiebungssystem des Dranglung Tales (Foto: J.T. Weidinger, 1995).

7. Prallhang des Bergsturzes und induzierte sekundäre Massenbewegungen

Durch die Kollision (Abb. 12) mit dem unmittelbaren Prallhang im Westen des rezenten Ablagerungsraumes (Gipfel des Pangshungtramo) wurden weitere Massenbewegungen induziert. Dazu zählt das unmittelbar mit dem Anprall in Zusammenhang stehende Abgleiten einer einzelnen Scholle vom Gipfel des Berges (Abb. 13) sowie Abstürze von beträchtlichen Gesteinskubaturen und Einzelblöcken, die durch zahlreiche, zum Teil durch die Tektonik vorgegebene Abrisskanten und Ausbruchsnischen am Berg zu erkennen sind (Abb. 14).

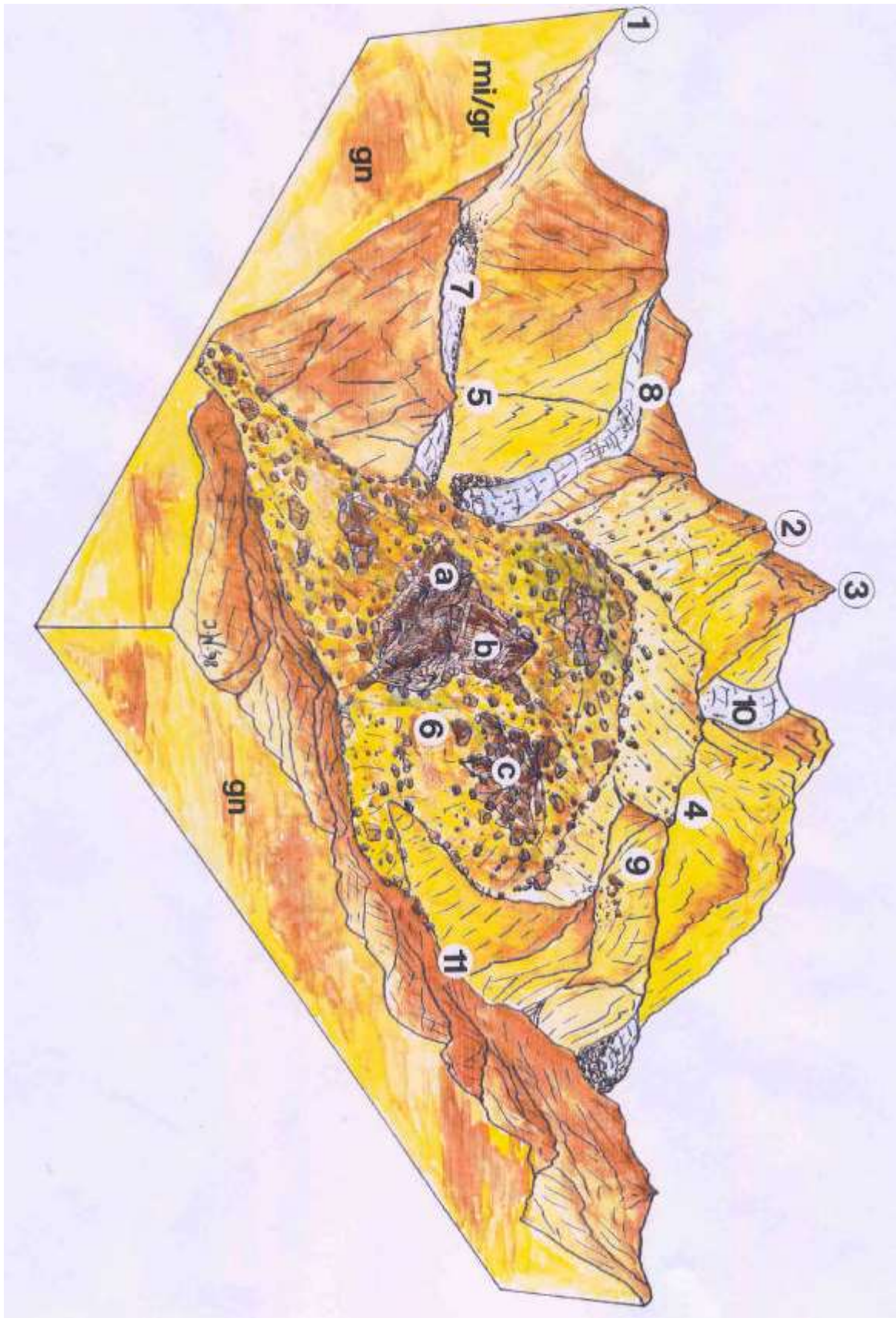


Abb. 12: Morphologisch-paläogeographische Rekonstruktion der Situation kurz nach dem Bergsturzereignis: 1 - Langthang Lirung Gipfel, 2 - Dragpoche Gipfel, 3 - Phrul Rangtshan Ri Gipfel, 4 - Abrissbereich entlang des rezenten Grates zwischen Yala Peak I und III, 5 - Pangshungramo Gipfel, 6 - Bergsturzmaterial (die kompakt dislozierten und brekzierten Blöcke und Schollen darin sind heute: a - Kyimoshung Gipfel, b - Dakpatsen-Grat und c - Tsergo Ri Gipfel), 7 - Ledrub-Lirung-Gletscher, 8 - Kyimoshung Gletscher, 9 - Kar von Pijung, 10 - Phrul Rangtshan Gletscher, 11 - Langthang Tal; gn = Sillimanite Gneis, mi = Migmatit, gr = Leukogranit (Skizze: J.T. Weidinger, 2001).

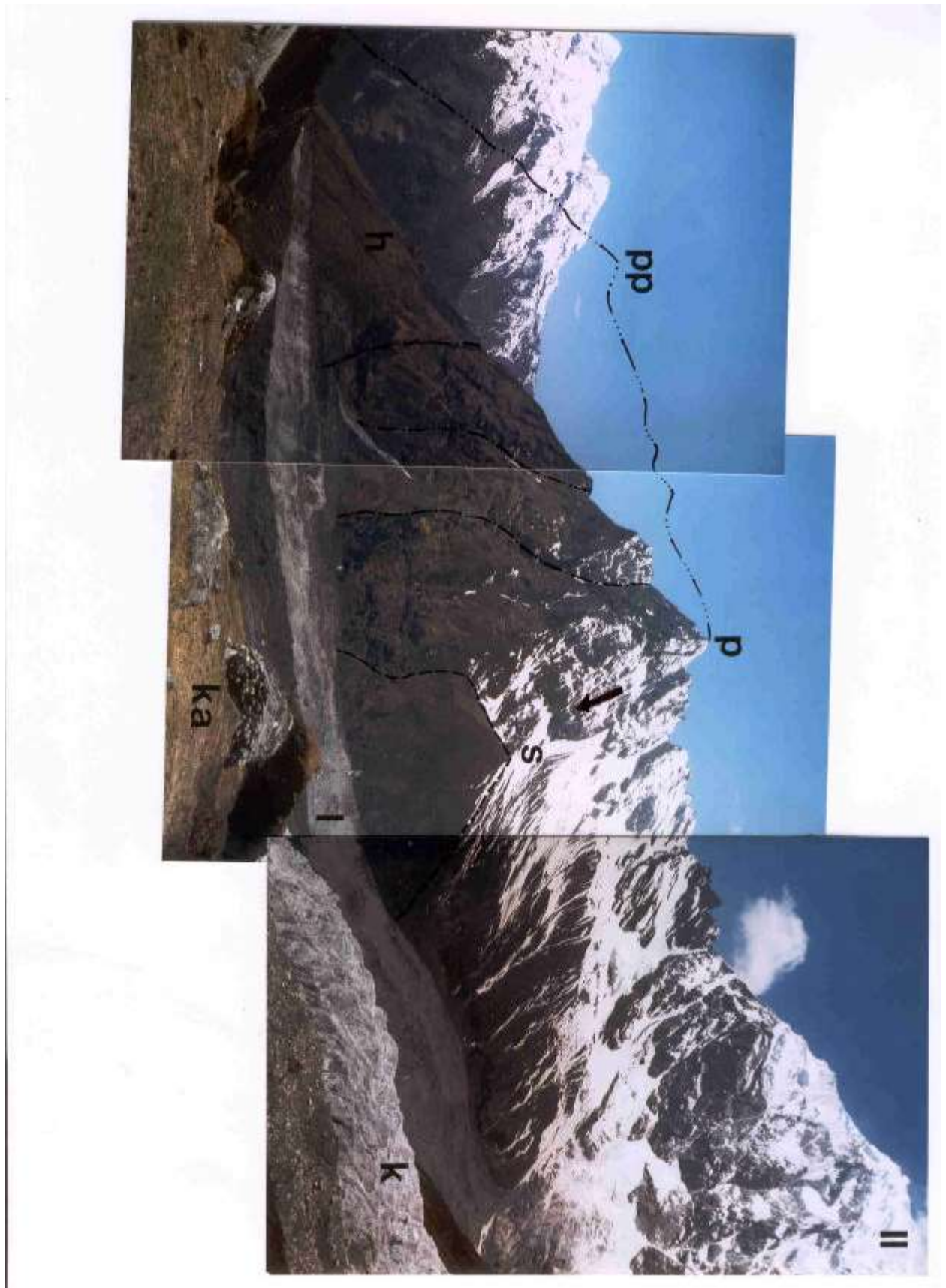


Abb. 13: Der von großen Störungssystemen (-.-.-) durchzogene Pangshungtramo Gipfel (p) stellt den Hautanprallbereich des Bergsturzes dar; -...-...- = der ungefähre Verlauf des ehemaligen Berggrates vor dem Anprall mit dem „Paläo-Pangshungtramo“ (pp) und darunter der durch Talzuschübe aufgelöste rezente Hangfuß des Berges (h), daneben die vom Gipfel des Berges abgeglittene Scholle (s), deren Begrenzung (---) und Gleitrichtung (↓); rechts im Bild der Gipfel des Langthang Lirung, ll, (7.234m), l = Ledrub-Lirung-Gletscher, k = Kyimoshung Gletscher, ka = Kyimoshung Alm (4.600m) ist der Standpunkt mit Blick in die Hauptbewegungsrichtung nach WSW (Foto: J.T. Weidinger, 1991).



Abb. 14: Blick auf den durch den Anprall der Bergsturm Massen und nachfolgende Erosionsprozesse morphologisch stark strukturierten zentralen Ostflankenbereich des Pangshungtramo (p) mit den wichtigsten neotektonischen Störungszonen von der Endmoränenstaffel des Ledrub-Lirung-Gletschers (Sh: 4.040m) aus gesehen (Mensch ↓ als Größenvergleich); (Foto: J.T. Weidinger, 1990).

8. Hoch-, sowie spät- und postglaziale morphologische Überprägung des Ablagerungsraums der Massenbewegung

Dem Bergsturzeignis nachfolgende großräumige Vergletscherungen, vor allem während des letzteiszeitlichen Gletscherhochstandes (Abb. 15) und im Spätglazial (Abb. 16), erodierten mehr als 4/5 der ursprünglichen Bergsturzmasse zu einem Rudiment mit einem Volumen von ca. 2 - 3 Kubikkilometer (Bäumler et al., 1996; Heuberger & Ibetsberger, 1996 und 1998; Ibetsberger, 1993; Ono, 1986; Shiraiwa & Watanabe, 1991). Nachfolgende Abtragungs- und Verwitterungsprozesse im Postglazial begünstigten die Auflösung des Pangshungtramo-Prallhanges durch subrezente Talzuschübe (Abb. 13, links). Auch an der Südseite des Langhang Tales wurden durch nachfolgende Erosion und Hangentlastung an den Talflanken Entspannungsvorgänge hervorgerufen, die ebenfalls zu langanhaltenden Talzuschüben führten (Abb. 17 und 18). An der talaufwärtigen Gneisbasis kommt es bis heute zu einer Reihe beträchtlicher Felsstürze (siehe auch Abb. 5).

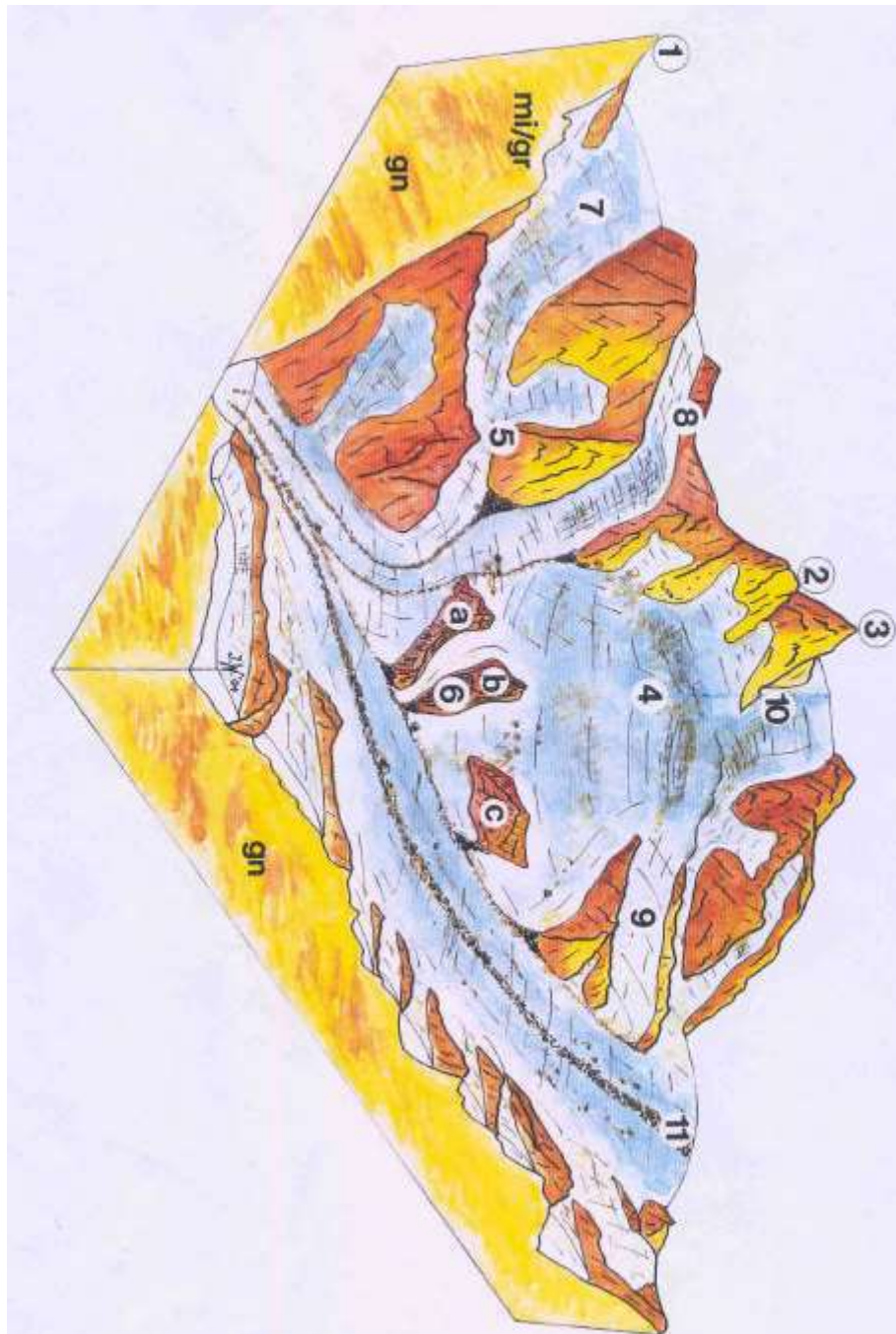


Abb. 15: Morphologisch-paläogeographische Rekonstruktion der Situation während des letzten Hochglazials: 4 – Yala Gletscher mit dem Abrisskamm der rezenten Gipfel Yala Peaks III, 9 – Gletscher von Pijung, 11 – Langhang Gletscher; restliche Legende siehe Abb. 12 (Skizze: J.T. Weidinger, 2001).

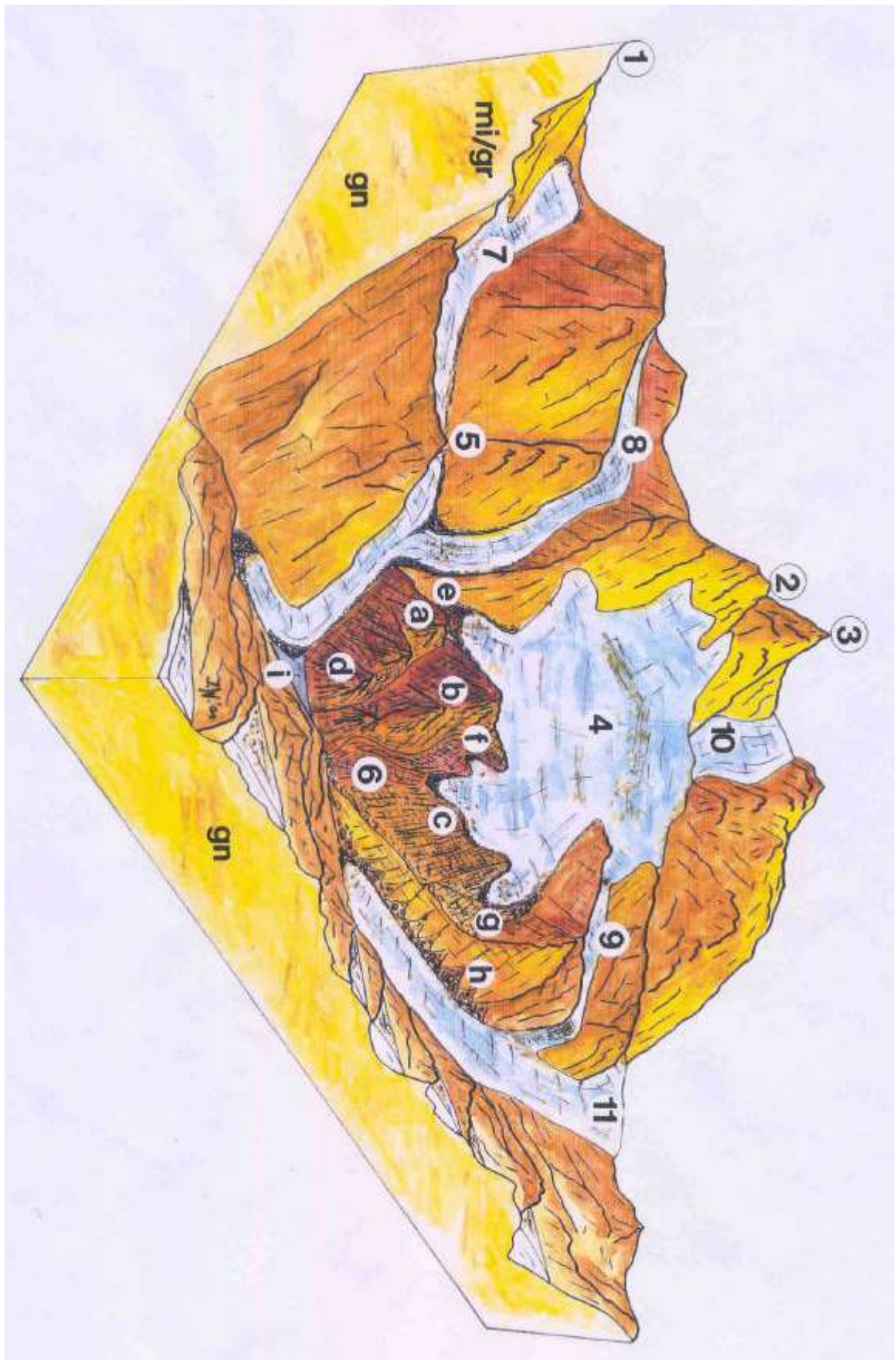


Abb. 16: Morphologisch-paläogeographische Rekonstruktion der Situation während des Spät- und Postglazials: 6 – Ablagerungsraum des Bergsturzes (d – Phushung Gipfel, e – Kyimoshung Tal, f – Dranglung Tal, g – Yala Tal, h – Felsstürze, i – durch den Ledrub-Lirung-Gletscher gedämmter temporärer See; restliche Legende siehe Abb. 12 (Skizze: J.T. Weidinger, 2001).



Abb. 17: Der ausgeprägte Talzuschub vom Gochenpo (g, 5.270m) an der Südseite des Langthangtals (lk = Langthang Khola Fluss, s = Shingdum Dorf) über eine Länge von 4 km vom Gipfel bis ins Tal (→ = Bewegungsrichtung S-N, --- Grenzen der bewegten Teilschollen), auf dem die Alm Pangmelung Kharka (p) liegt, ist ein weiteres Indiz für den ehemals weit ausgedehnten Ablagerungsraum der Bergsturm Massen vor der eiszeitlichen Erosion (Foto: J.T. Weidinger, 1991).



Abb. 18: Eine Gleitscholle im hangenden Bereich des Talzuschubes vom Gochenpo (5.270m) an der Südseite des Langthangtals zeigt auf einer Seehöhe von 4.600m eine zwischen der durch die rezente Bewegung talwärtigen Scholle (s1) und einer durch den spät- postglazialen Eisdruck gekippten bergwärtigen Scholle (s2) hervorgerufene A-förmige Kluft (siehe ↓) mit einer maximalen Öffnungsweite von ca. 30m (Foto: J.T. Weidinger, 1991).

9. Zusammenhänge zwischen Internbau der abgelagerten Bergsturzmassen und rezenten geomorphologischen Gefahrenzonen

Sowohl die Morphologie des Bergsturz-Ablagerungsraumes und des Prallhanges als auch deren rezente Erosionsanfälligkeit sind in direktem Zusammenhang mit den Bewegungsvorgängen und mechanischen Beanspruchungen während des Sturzereignisses und der damit verbundenen Ausbildung von Gleitflächen und Störungszonen innerhalb der Massen zu sehen. Dadurch lassen sich aus den gewonnenen Grundlagenerkenntnissen auch Aussagen über rezente Geogefahren- und Erosionszonen im almwirtschaftlich genützten Bergsturzablagerungsraum mit einem Flächenausmaß von ca. 24 qkm ableiten. Die Viehwirtschaft wird nicht nur im Talboden sondern auch bis auf den Gipfelbereich des Tsergo Ri betrieben, eine damit in Verbindung stehende, nahe gelegene Käserei befindet sich direkt am Fuße der Bergsturzmassen, bei der Alm Kyangjin Kharka auf einer Seehöhe von 3.920m. Vor allem das vermehrte Schuttangebot aus der gewaltigen Störungszone des Dranglung Tals und eine jahreszeitlich bedingte, vermehrte Wasserführung dieses Baches während der Sommermonsunzeit führt immer wieder zu katastrophalen Vermurungen und Aufschotterungen des zu Weidezwecken genutzten flachen Schwemmkegels desselben im Haupttalboden (siehe Abb. 7, s, und Abb. 19; Ibetsberger, 1996a und 1996b; Ibetsberger & Madhikarmi, 1995; Ibetsberger & Weidinger, 1997a und 1997b; Schramm, Weidinger & Ibetsberger, 1996).



Abb. 19: Zur Sommermonsunzeit kann die Wasserführung des Dranglungbaches aus dem Bergsturzgebiet ein Vielfaches des Normalwertes erreichen; mitgeführte Gerölle mit einem Durchmesser von über 2m sind dabei keine Seltenheit. Hier wurde ein aufgrund der geringen Transportweite im Dranglung Tal (max. 3 km) schlecht kantengerundeter Leukogranitblock vom enormen Wasserschwall „exotisch“ über ältere, bereits bewachsene Alluvionen abgelagert. Im Hintergrund der Dakpatsen-Grat (dc) (Foto: J.T. Weidinger, 1991).

10. Allgemeine Anwendbarkeit der gewonnenen Daten und Erkenntnisse auf das Problem der Massenbewegungen in lokaler und regionaler Umgebung des Bergsturzes

Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich prä-existierender Schwächezonen im Gestein und auslösender Faktoren der Großmassenbewegung des Tsergo Ri lassen sich auf das gesamte Langthangtal übertragen und dienen als Grundlage für rezente Gefahrenzonenkartierungen in einem für Nepal wirtschaftlich wichtigen Raum, der neben der Möglichkeit des Almbetriebs auch alle Vorzüge eines Trekkinggebietes bietet. Im unteren Langthangtal, dort wo neben der schluchtartigen Übersteilung der Hänge mit neotektonischen Phänomenen und Spannungsrissen über mehrere Kilometer auch noch eine extrem hohe Mylonitisierung der Gneise im Bereich der Main Central Thrust (MCT) als zusätzlicher Destabilisierungsfaktor auftritt, ist dieser Umstand besonders ausgeprägt. Dies bestätigte sich mit der Untersuchung einiger „kleinerer“, rezenter Bergstürze im genannten Tal, die sich zum Teil während der Projektlaufzeiten am Anfang der neunziger Jahre ereigneten und fast ausschließlich während der schwerer Niederschlagsperioden des Sommermonsuns entstanden oder dadurch ausgelöst wurden (Abb. 20, 21 und 22; Weidinger, 1997; Weidinger, 1998a; Weidinger, 2001; Weidinger, 2002).



Abb. 20: Im unmittelbaren Bereich der MCT im untersten Langtangtal mehrt sich die Fels- und Bergsturz­häufigkeit in den stark tektonisierten Gneisen. Diese 1984 entstandene Felslawine nahe dem nach ihr benannten Landslide Lodge (Touristenherberge) mit einem Volumen von 50.000 Kubikmeter forderte entlang der Haupttrekkingroute ein Todesopfer (Foto: J.T. Weidinger, 1990).

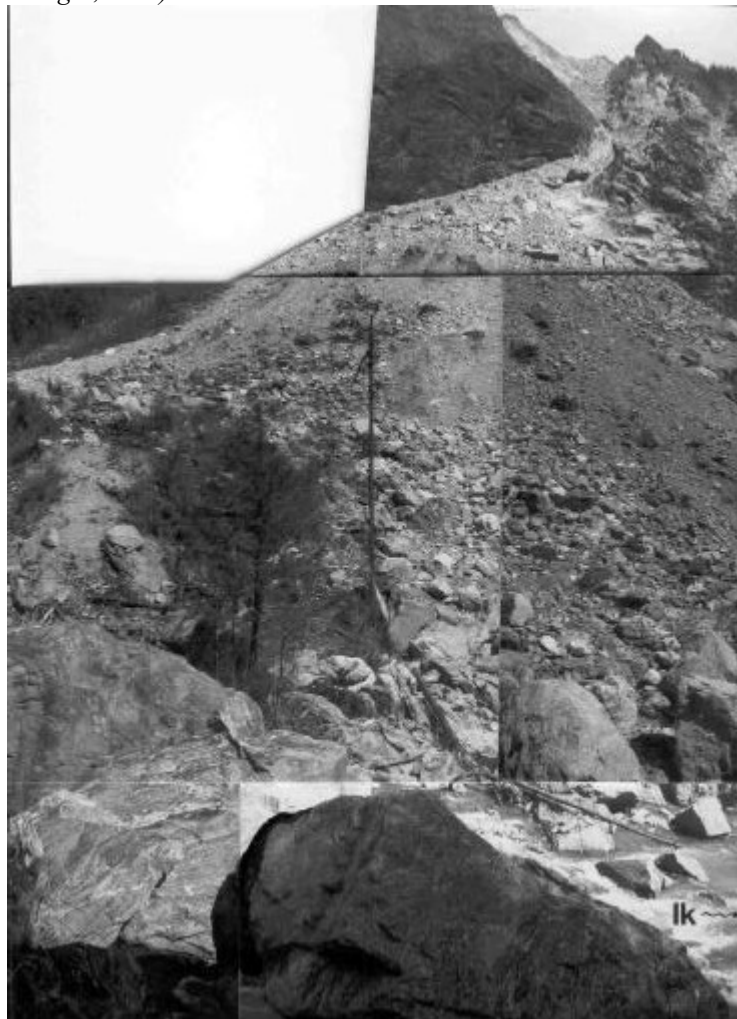


Abb. 21: Die progressive Entwicklung der Felslawine in der Nähe des Lama Lodge (bekanntes Touristencamp mit etlichen kleineren Hotels im unteren Langthangtal) konnte über einen Zeitraum von 7 Jahren (1990– 1996) untersucht und beobachtet werden. Nach Augenzeugenberichten 1985 entstanden, vervielfachte sich bis zum Frühjahr 1996 nicht nur die Ausdehnung des Abrissbereiches sondern wuchs auch der Akkumulationskegel stetig bis auf eine Kubatur von 1,8 Mill. Kubikmeter an und staute sogar für kurze Zeit den Langthang Khola Fluss (lk), (Foto: J. T. Weidinger, 1996).

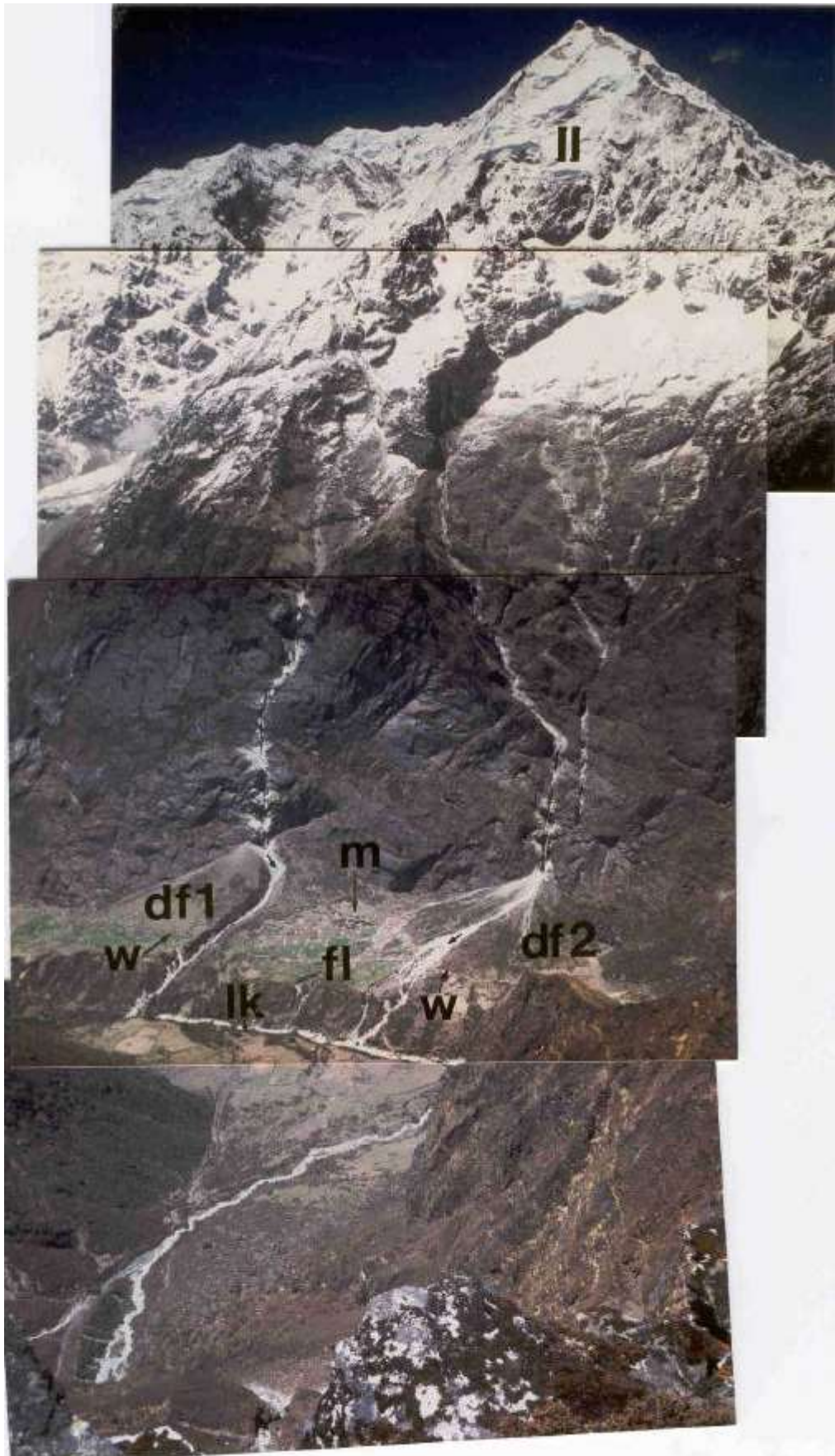


Abb. 22: Das Panorama von der Südseite des Langhangtals (Höhe des Standpunktes: 4.550m) nach Norden veranschaulicht das lokale Geogefahrenpotential, das auch im direkten oder indirekten Zusammenhang mit dem großen Tsergo Ri-Bergsturz steht. Der Langhang Lirung (II) im Hintergrund überthront mit seiner Höhe von 7.234m um gut 3600m die höchste permanente Ansiedlung des Langhangtals, das Dorf Möndrong (m), das zwischen zwei Lawinenschuttkegel (df1 und df2) eingebettet die Jahrhunderte unbeschadet überdauerte. Die auf einer glazialen Terrasse oberhalb des Langhang Khola Flusses (lk) angelegten Felder des Dorfes werden durch Mauern mit dem Mantra „Om mani padme hum“ (w) vor Vermurung und Aufschotterung geschützt (Foto: J.T. Weidinger, 1991).

11. Bedingte allgemeine Anwendbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf andere Gebiete

Die am Tsergo Ri-Bergsturz und im gesamten Langthangtal gewonnenen Daten bezüglich präexistierender Schwächezonen und der „tektonischen Vorgeschichte eines Untersuchungsgebietes“ konnten teilweise auf weitere Bergsturzgebiete im Kristallin des Himalaya, wie etwa auf das Marsyandi Tal im Annapurna Massiv, übertragen werden (Weidinger, 1998b; Weidinger, 1999; Weidinger & Ibetsberger, 2000). Und auch auf andere geotektonisch und lithologisch ähnlich positionierte Gebiete der Erde sollten sie mit Abstrichen angewendet werden können, was bisher durch Untersuchungen an einer kristallinen Felslawine im Qin Ling Gebirge Zentralchinas (Provinz Shanxi) seine Bestätigung fand (Weidinger, 2000; Weidinger & Ibetsberger, 1997; Weidinger, Wang & Ma, 2002).

12. Anmerkungen

Eine ganze Reihe von Personen, die hier nicht alle genannt werden können, waren am Zustandekommen der Forschungsarbeiten im Gebiet des Langthangtals von Nepal von Bedeutung. Der Dank des Autors gilt seiner Lebensgefährtin, Frau Barbara Bergmayr und seinen Eltern, Elfriede und Johann Weidinger. Besonders sei aber den Projektleitern, Herrn Univ. Prof. J.-M. Schramm (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Salzburg) und em. Univ. Prof. Dr. H. Heuberger sowie meinem Kollegen Dr. H. J. Ibetsberger (beide vom Institut für Geographie, Universität Salzburg) für die gemeinsamen Forschungsjahre im Himalaya gedankt. Auch der Direktorin des Stadtmuseums, Frau Kustodin Ingrid Spitzbart, dem Bürgermeister, Herrn Heinz Köppl, sowie dem Stadt- und Gemeinderat von Gmunden in Oberösterreich sei gedankt, dass die Forschungsergebnisse von Langthang in Form eines Geländemodells des Bergsturzes samt einer umfassenden Gesteins- und volkskundlichen Sammlung in einem Sonderschauraum des Museums der Öffentlichkeit präsentiert werden können und ein neues Zuhause gefunden haben. Ein Großteil der Arbeiten wurde finanziell vom „Fond zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung - FWF-Wien“ (Projekte P07916-GEO, P09433-GEO) unterstützt.

Literatur

- BÄUMLER, R., Kemp-Oberhetinger, M., Zech, W., Heuberger, H., Siebert, A., Madhikarni, D.P. & Poudel, K.P., 1996: Soil Weathering on Glacial and Glacifluvial Deposits in the Langtang Valley (Central Nepal) and Its Relation to the Glacial History. *Z. Geomorph., Suppl.* **103**, 373-387.
- ERISMANN, T.H., HEUBERGER, H. & PREUSS, E., 1977: Der Bimsstein von Köfels (Tirol), ein Bergsturz-"Friktionit". *Tschermaks Miner.Petrogr.Mitt.*, **24**, 67-119.
- HAGEN, T., 1969: Report on the Geological Survey of Nepal. Vol.1: Preliminary reconnaissance. *Denkschr.Schweiz.Naturforsch.Ges.*, **86/1**, 1-185.
- HEJL, E., SCHRAMM, J.-M. & WEIDINGER, J.T., 1997: Long term exhumation at the Tsergo Ri landslide area (Langthang Himal, Nepal): information from apatite fission track data. 12th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, Abstract Volume, 149-150.
- HEUBERGER, H., MASCH, L., PREUSS, E., SCHRÖCKER, A., 1984: Quarternary landslides and rock fusion in Central Nepal and in the Tyrolean Alps. *Mountain Res. Dev.* **4**, 345-362.
- HEUBERGER, H. & IBETSBERGER, H.J., 1996: Problems of Late-Glacial and Holocene Advances in Langtang, Nepal. In: S.R. Chalise & N.R. Khanal (eds.), *Internat. Conference on Ec. of H.M.A. in Kathmadu (Abstract Volume)*, 330-333.
- HEUBERGER, H. & IBETSBERGER, H.J., 1998: Problems of Holocene Glacier Advances in Langtang, Central Nepal. In: S.R. Chalise et al. (eds.), *Ecohydrology of high mountain areas (Proceedings of the Internat. Conference on Ec. of H.M.A. in Kathmadu, Mountain Natural Resources' Division, Internat. Centre for Integrated Mountain Dev.)*, 459-465.
- IBETSBERGER, H., 1993: Quartärgeologische Untersuchungen im Langthangtal. - Doctoral Thesis at the Institute of Geography of the University of Salzburg, 158p.
- IBETSBERGER, H.J., 1996a: The Tsergo Ri landslide: an uncommon area of high morphological activity in the Langtang Valley, Nepal. *Tectonophysics* **260**, 85-93.
- IBETSBERGER, H.J., 1996b: Morphological studies at the Dranglung Chu valley in the Tsergo Ri landslide deposit area (Langthang Himal, Nepal).- In: Senneset, K. (Ed.), *Landslides. Glissements de Terrain. Pro. 7th Int. Symp. Landslides, Vol. II. Balkema, Rotterdam, 773-778.*

- IBETSBERGER, H.J. & MADHIKARMI, D.P., 1995: The Dranglung-Chu-Fan. An outstanding example of a hazardous event in the upper Langtang valley, central Nepal. *J. Nepal Geol. Soc.* **12**, 48-50.
- IBETSBERGER, H.J. & WEIDINGER, J.T., 1997a: Studies of erosional cracks in the Tsergo Ri landslide area, Langthang Valley, Nepal. 12th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop in Rome, Abstract Volume, 49-51.
- IBETSBERGER, H.J. & WEIDINGER, J.T., 1997b: Geomorphic Hazard Studies of two big Landslide Areas (Langthang Himal - Nepal, Qin Ling Mountains - P.R. China). *J. Gansu Sci. Suppl.*, **9** (Sum. No.36; '97 North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslide and Debris Flow, Yichang-Chongqing, China, Abstract Volume.), 109-112.
- 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.
- MACFARLANE, A., 1993: Chronology of tectonic events in the crystalline core of the Himalaya, Langtang National Park, central Nepal. *Tectonics* **12**, 1004-1025.
- MASCH, L. & PREUSS, E., 1977: Das Vorkommen des Hyalomylonits von Langtang, Himalaya (Nepal). *N. Jahrb. Min., Abh.*, **129**, H.3, 292-311.
- MASCH, L., WENK, H.R. & PREUSS, E., 1985: Electron microscope study of hyalomylonites - evidence for frictional melting in landslides. *Tectonophysics*, **115**, no.1/2, 131-160.
- ONO, Y., 1986: Glacial Fluctuation in the Langtang Valley, Nepal Himalaya. *Göttinger Geograph. Abh.* **81**, 31-38.
- PREUSS, E., 1986: Gleitflächen und neue Friktionitfunde im Bergsturz von Köfels im Ötztal, Tirol. *Mater. Tech.* **3**, 169-174.
- SCHRAMM, J.-M. & WEIDINGER, J.T., 1996: Distribution of electrical conductivity at Tsergo Ri landslide, central-north Nepal. *Proc. 7th Int. Symp. Landslides (Balkema, Rotterdam)*, 889-894.
- SCHRAMM, J.-M., WEIDINGER, J.T. & IBETSBERGER, H.J., 1998: Petrologic and structural controls on geomorphology of prehistoric Tsergo Ri slope failure, Langtang Himal, Nepal. *Geomorphology* **26**, 107-121.
- 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.
- SHIRAIWA, T. & WATANABE, T., 1991: Late Quaternary Glacial Fluctuation in the Langtang Valley, Nepal Himalaya, Reconstructed by Relative Dating Methods. *Arctic and Alpine Research* **23**, 404-416.
- TAPPONNIER, P., PELTZER, G. & ARMIJO, 1986: On the mechanics of the collision between India and Asia. In: COWARD, M. P. & RIES, A. C. (eds.): *Collision Tectonics*, Geol. Soc. London, Spec. Publ., **19**, 115-157.
- WEIDINGER, J. 1992: Geologische Untersuchungen im Bereich der Großmassenbewegung von Langtang - Nepal. Doctoral Thesis at the Institute of Geology und Paleontology of the University of Salzburg, 100p., 3 maps.
- WEIDINGER, J.T., 1997: The Lama Lodge - rockavalanche in the lower Langthang Valley - Nepal: progressive development of a landslide in the High Himalayan Crystalline. *J. Nepal Geol. Soc.* **16** (Abstract Volume Sec. Nepal Geol. Con.), 102-104.
- WEIDINGER, J.T., 1998a: Progressive Development and Risk-Analysis of Rockavalanches; Case Study in the High Himalayan Crystalline of the Langthang National Park - Nepal. *J. Nepal Geol. Soc.* **18** (Proceedings Sec. Nepal Geol. Con., Kathmandu, Nepal), 319– 328.
- WEIDINGER, J.T., 1998b: On the Stability of Landslide-dammed Lakes in the Annapurna Himalaya, Nepal. *Proc. of the 13th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop in Peshawar*, 1p.
- WEIDINGER, J.T., 1999: The Disasters of Tal, Latamrang, Ghatta Khola, Ringmo and Dharbang - on the stability of five Landslide-barriers and their dammed lakes in the Nepal Himalayas. *J. Nepal Geol. Soc.* **20** (Abstract Volume Int. Sym. on Eng. Geol., Hydrol. and Nat. Disasters with Emph. on Asia in Kathmandu), 143-144.
- WEIDINGER, J.T., 2000: A Lake-damming Rockavalanche in the Qin Ling -Mountains / P.R. of China - the Benefits of an Earthquake-triggered natural Disaster and linked geomorphologic Changes in prehistoric Times. Abstract Volume of INQUA (commission of the holocene) - meeting in Seville, 2p.
- WEIDINGER, J.T., 2001: Torrent and Avalanche Control by Sacred Buddhist Buildings in the Langthang Himalaya, Nepal. *J. Nepal Geol. Soc.* (Abstract Volume of 3rd Nepal Geol. Con. in Kathmandu), 2p.
- WEIDINGER, J.T., 2002: Sacred Buddhist-Lamaistic Buildings in the Himalayas as Indicators, silent Witnesses and Counter-Measures for Mountain Hazards. *J. Nepal Geol. Soc.* (Proc. of 3rd Nepal Geol. Con. in Kathmandu), *in reviewing process*.
- WEIDINGER, J.T. & IBETSBERGER, H.J., 1997: The Cuihua Rockavalanche (China) and the Tsergo Ri Massmovement (Nepal) - two Earthquake triggered Landslides in Crystalline Rocks of High Mountain Regions. *J. Gansu Sci. Suppl.*, **9** (Sum. No.36; '97 North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslide and Debris Flow, Yichang-Chongqing, China, Abstract Volume.), 99-102.
- WEIDINGER, J.T. & IBETSBERGER, H.J., 2000: Landslide dams of Tal, Latamrang, Ghatta Khola, Ringmo and Dharbang in the Nepal Himalayas and related hazards. *J. Nepal Geol. Soc.* **22** (Proc. Int. Sym. on Eng. Geol., Hydrol. and Nat. Disasters with Emph. on Asia in Kathmandu), 371-380.
- WEIDINGER, J.T. & SCHRAMM, J.-M., 1995a: A Short Note on the Tsergo Ri Landslide, Langtang Himal, Nepal. *J. Nepal Geol. Soc.* **11**, 281-287.
- WEIDINGER, J.T. & SCHRAMM, J.-M., 1995b: Tsergo Ri (Langthang Himal, Nepal) - Rekonstruktion der "Paläogeographie" eines gigantischen Bergsturzes. *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck* **20**, 231-243.
- WEIDINGER, J.T., SCHRAMM, J.-M. & MADHIKARMI, D.P., 1995: Electrical Conductivity in a Landslide-Area with Uniform Lithology (Tsergo Ri Landslide, Langtang, Nepal). *Spatial Trends and Application. J. Nepal Geol. Soc.* **12**, 50-51.

- WEIDINGER, J. T., SCHRAMM, J.-M. & NUSCHEJ, F., 2001: REM-Analysis of an Ore-mineralisation at Yala Peak (5.520m), Nepal Himalayas: On the "broken-crest-problem" of the World's largest Landslide in Crystalline Rocks. *J. Asian Earth Sciences* (Abstract Volume of the 16th HKTW workshop, Schloss Seggau, Austria), **19**, 3A, additional pages.
- WEIDINGER, J.T., J.-M. SCHRAMM & NUSCHEJ, F., 2002: Ore Mineralization Causing Slope Failure in a Mountain Crest of High Altitude - On the Collapse of an Eight Thousand Metre Peak in Nepal. *J. Asian Earth Sciences* (Proc. of the 16th HKTW workshop, Schloss Seggau, Austria), *in reviewing process*.
- WEIDINGER, J.T., SCHRAMM, J.-M. & SURENIAN, R., 1995: Disseminated sulfidic ore mineralisation at Yala Peak (Langthang Himal, Nepal) - an assisting factor for the Tsergo Ri landslide event? In: D.A. Spencer, J.-P. Burg and C. Spencer-Cervato (Editors), 10th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, Abstract Volume. *Mitt. Geol. Inst. ETH Zürich* **298**, 294-297.
- WEIDINGER, J.T., SCHRAMM, J.-M. & SURENIAN, R., 1996: On preparatory causal factors, initiating the prehistoric Tsergo Ri landslide (Langthang Himal, Nepal). *Tectonophysics* **260**, 95-107.
- WEIDINGER, J.T., WANG, J. & MA, N., 2002: The Earthquake-triggered Rockavalanche of Cui Hua, Qin Ling - Mountains / P.R. of China - the Benefits of a Lake-damming prehistoric natural Disaster. *Proc. of INQUA* (commission of the holocene) - meeting in Seville, *in reviewing process*.