

**SEEN ENTSTEHEN – SEEN VERGEHEN: ZUR GESCHICHTE DER
BERGSTURZSEEN VON RINGMO UND DARBANG IN NEPAL,
CUI-HUA IN CHINA UND AM HUASCARÁN IN PERÚ**

**LAKES APPEAR – LAKES DISAPPEAR: HISTORY OF THE LANDSLIDE
DAMMED LAKES OF RINGMO AND DARBANG IN NEPAL,
CUI-HUA IN CHINA AND AT THE HUASCARÁN IN PERÚ**

Horst Josef Ibetsberger^(1,2)

ZUSAMMENFASSUNG

Spontane Massenbewegungen, wie Bergstürze oder Rutschungen führen zu einer Verlegung des Talbodens durch Akkumulation dislozierten Materials. Dadurch entsteht ein natürlicher Damm, der den Abfluss beeinträchtigt und einen See entstehen lässt. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Materials besteht der Damm nur kurze Zeit oder über Jahrtausende.

Der Bergsturz von Ringmo (Lower Dolpa, West Nepal) verlegte das Tal des Suli Gad, das zwischen Dhaulagiri Himal und Kanjiroba Himal, in N/S-Richtung verläuft. Das Material, das den Bergsturzdammen aufbaut, ist eine kompakte Masse aus Dhaulagiri-Kalk. Der Phoksundo See dürfte mehrere 1000 Jahre alt sein, wie der Verwitterungsgrad des Sediments im Bereich der Dammkrone andeutet.

Der Abbruch einer Gebirgsflanke in der Baglung Parbat Range (Western Development Region, Middle Nepal) zerstörte einen Teil des Dorfes Darbang und verlegte das Tal des Myagdi Khola. Da jedoch die zur Nachmonsunzeit anfallenden Wassermengen im Seitenfluss des Kali Gandaki ein enormes Ausmaß erreichten, wurde der 25 – 50 m hohe Bergsturzdammen bereits nach 6 Stunden durchbrochen. Schwere Verwüstungen waren die Folge.

Der Bergsturz von Cui-Hua (Provinz Shaanxi, China) befindet sich im Qin-Ling Gebirge. Durch den Abbruch eines Felsspornes kam es zur Verlegung des Dongcha Tales und zur Ausbildung des Tianschi Sees. Durch sukzessive Ausschwemmung der feinkörnigen Matrix, in der grobblockige Granite und Granodiorite lagern, wurde der Damm undicht. Um den See nahe der Großstadt Xian zu erhalten, wurde die Innenseite des Dammes künstlich abgedichtet.

Der Fels- u. Eissturz vom Nordgipfel des Huascarán in der Cordillera Blanca (Departamento Ancash, Perú) führte zur Entstehung einer Gletschermure, bestehend aus Wasser, Eis, Schnee und Fels. Der Murstrom verlegte das Rio Santa Tal in seiner gesamten Breite. Dabei entstand ein 2 km langer Stausee. Der unverfestigte, 20 – 30 m hohe Damm bestand nur 30 Minuten. Die freigesetzten Wassermassen führten zu schweren Verwüstungen talabwärts.

Durch Massenbewegungen entstandene Seen bestehen entweder nur kurze Zeit, oder aber für Jahrhunderte bis -tausende. Die meisten „Bergsturzseen“ wurden bereits wieder sedimentär verfüllt. In der Morphologie weisen ebene Talbereiche auf diese fossilen Ablagerungen hin.

¹⁾ Univ.-Lek. Mag. Dr. rer. nat., Institut für Geographie und Geoinformatik, Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34/III, A-5020 Salzburg, Austria bzw. ²⁾ Fa. GeoGlobe Häupl & Ibetsberger OEG, Statzenbachgasse 5, A-5202 Neumarkt am Wallersee, Austria (Tel.: +43-6216-7839-5; Fax: +43-6216-7839-4; mail: horst.ibetsberger@geoglobe.at, www.geoglobe.at)

ABSTRACT

Dislocated landslide material often blocks the whole valley bottom. This is the reason for the origin of natural barriers, which dam up a lake in the hinterland. Now the composition of the deposited material is decisive, if the dam exists only for a short period or for a longer time.

The landslide of Ringmo (Lower Dolpa, West Nepal) blocked the valley of Suli Gad, which is situated between Dhaulagiri Himal and Kanjiroba Himal. The landslide deposit of Dhaulagiri limestone formed a compact and stable dam. The dam and the lake Phoksundo exist since thousands of years. Highly weathered barrier-sediments support this assumption.

The collapse of an overly steep, north facing mountain flank in the Baglung Parbat Range (Western Development Region, Middle Nepal) destroyed a part of the village of Darbang and blocked the Myagdi Khola. The 25 – 50 m high dam existed only for 6 hours. Enormous masses of water, which are typical in the late monsoon-season, swept the dam away and caused heavy devastation down the valley.

The historical rock avalanche of Cui-Hua (Province Shaanxi, China) is situated in the Qin-Ling mountains. The collapse of a mountain flank blocked the Dongcha valley and dammed up lake Tianchi. The natural dam is built up by giant boulders of granite and granuodiorite, which were embedded in fine grained sediment. The sediment was gradually washed out over a long period, that the dam became leak. Therefore the inner side of the dam must have been sealed artificially, to preserve the lake and the recreation area for the people of Xian.

The rock- and ice-fall from the northern peak of the Huascarán in the Cordillera Blanca (Departamento Ancash, Perú) caused a mud flow, which consists of water, ice, snow and rock. The mud flow blocked the main valley of Rio Santa. The 20 – 30 m high dam became unstable after 30 minutes. The dam broke and the masses of water, which filled a lake of a length of two kilometers, swept down the valley. This caused enormous damages on the way of the flood wave to the Pacific Ocean.

Two types of landslide barriers can be differentiated. Natural dams and lakes, which exist only for a „few minutes“, and natural dams and lakes, which are stable for hundreds and thousands of years. Landslide dammed lakes can also be filled with sediments. The original lake disappeared. A flat valley bottom gives evidence of a former lake (silent witnesses).

I. EINFÜHRUNG

Seit 1980 erschienen eine Reihe neuer Publikationen zum Thema „Massenbewegungen und Talverlegungen“. Dabei wurden moderne, computergestützte Simulationen der Bewegungsbahnen und exakte Berechnungen der Kubatur des dislozierten Materials fokussiert. Weitere Untersuchungen gab es zu spezifischen wissenschaftlichen Fragestellungen: Was waren die auslösenden Faktoren der Massenbewegung? In welchen Zustand befindet sich das dislozierte Material? Wie stark ist die morphologische Aktivität im Ablagerungsgebiet? Wie sah die ursprüngliche Landoberfläche im Ablagerungsgebiet aus? Diese und weitere Fragen werden in diversen Arbeiten behandelt (Brückl, Brückl, Heuberger 2001; Hejl, Schramm, Weidinger 1997; Heuberger, Masch, Preuss, Schröcker 1984; Ibetsberger 1996; Ibetsberger, Weidinger 1997; Ivy-Ochs, Heuberger, Kubik, Kerschner, Bonani, Frank, Schlüchter 1998; Li 1989; Li 1994; Meißl 1996; Michelena 1989; Patzelt 1983; Schramm, Weidinger, Ibetsberger 1998; Uhlir 1997; Weidinger 2000a; Weidinger, Ibetsberger 1997c; Weidinger, Schramm, Surenian 1996; Yagi 1997; Yagi, Maruo, Saijo, Nakamura 1990).

Im Besonderen ist es gelungen, wesentliche ingenieurgeologische Fragestellungen in Bezug auf die Stabilität und somit der „Lebenserwartung“ von Bergsturzdämmen zu beantworten. Dazu zählen neben exakter geotechnischer Bewertung der Stabilität der Aufschüttungen, auch morphologische, sedimentologische und pedologische Untersuchungen (Costa, Schuster 1988; Ibetsberger, Weidinger 2000; Perrin, Hancox 1991; Schuster 1986; Weidinger 2000b; Weidinger, Ibetsberger 1997a; Weidinger, Ibetsberger 2000; Weidinger, Wang, Ma 2000).

Neben den nach kurzer Zeit wieder ausgelaufenen und den noch heute bestehenden, gibt es auch verlandete Seen. Die Sedimentation dieser Staubecken erfolgte bereits vor Hunderten bis Tausenden Jahren. In der Morphologie blieb jedoch häufig eine weite Talebene bestehen. Beispiele aus den Alpen und dem Himalaya stellen dies unter Beweis (Heuberger, Masch, Preuss, Schröcker 1984; Selby 1988; Weidinger 1998; Weidinger, Ibetsberger 1997b).

Im Folgenden werden 4 Massenbewegungen vorgestellt, die allesamt das Tal verlegten, einen Damm bildeten und den Hauptfluss aufstauten. Diese Dämme stehen nun im Mittelpunkt der Untersuchungen, in Bezug auf Alter, Größe, Form, Stabilität und Material (Abb.1).

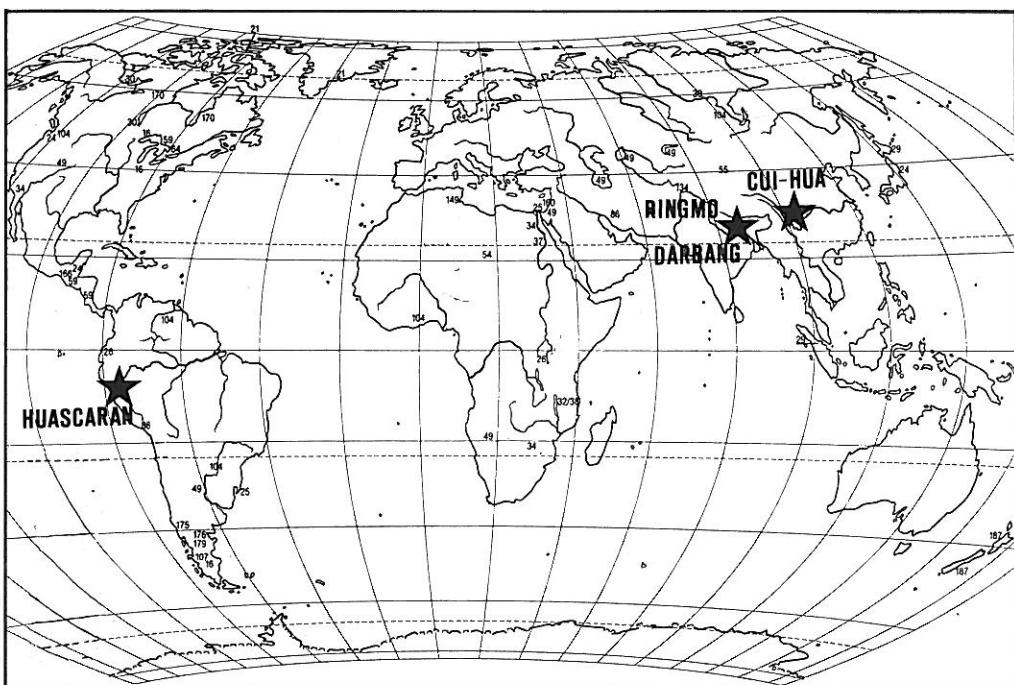


Abb.1: Karte der Untersuchungsgebiete Ringmo, Darbang, Cui-Hua u. Huascarán

II. DER BERGSTURZ VON RINGMO, NEPAL

Der Bergsturz von Ringmo liegt im Gebiet des Lower Dolpa in West-Nepal (Abb. 2). Das N/S-streichende Tal des Suli Gad (auch Bauli Gad oder Phoksundo Khola) trennt die mächtigen Gebirgsstöße des Dhaulagiri Himal im Osten und des Kanjiroba Himal im Westen. Durch den Bergsturz und der anschließenden Ablagerung des Materials wurde das Suli Gad Tal plombiert, ein See aufgestaut (Abb. 3). Der Phoksundo See bildet heute den landschaftlichen Höhepunkt im Shey Phoksundo National-Park. Auf der Krone des Bergsturzdammes liegt die tibetische Siedlung Ringmo auf 3.700 m, die schon seit Alters her eine bedeutende Stellung an der Salz-Karawanenroute von Tibet nach Indien inne hatte.

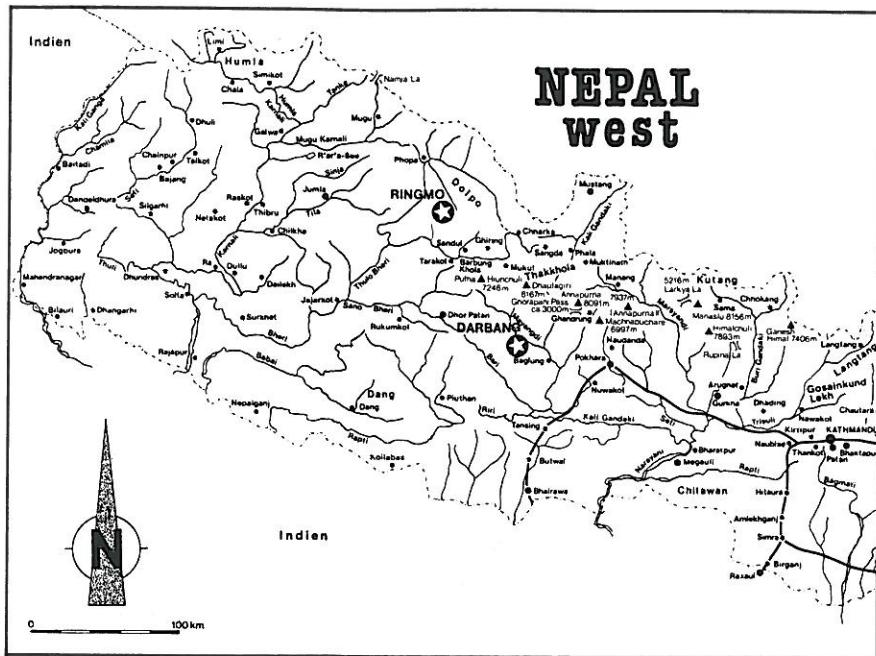


Abb.2: Topographische Lage der Bergsturzgebiete Ringmo und Darbang, Nepal

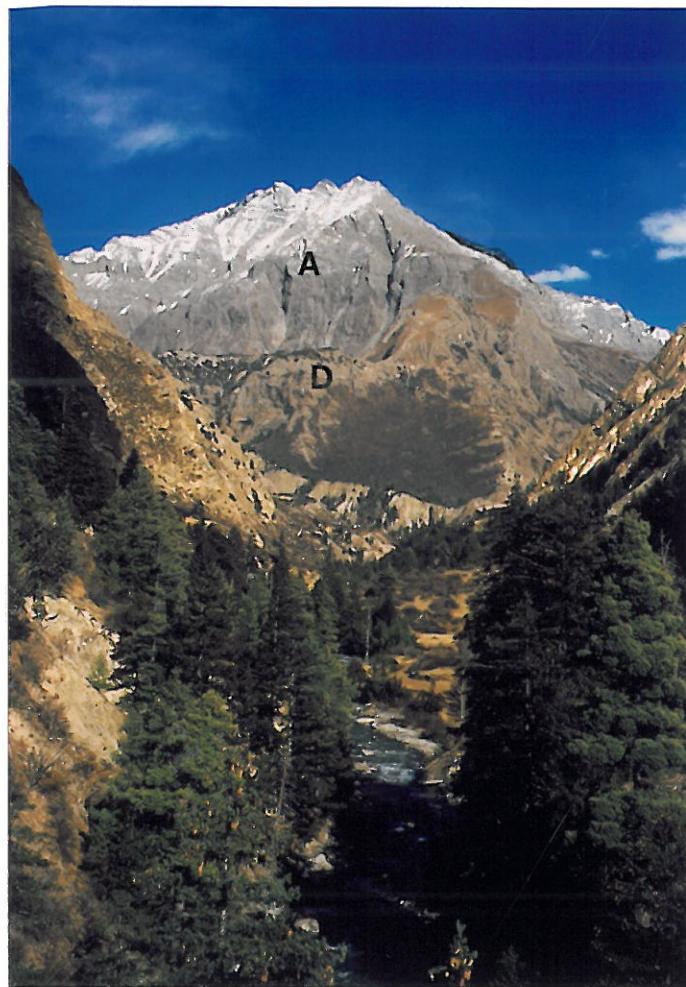


Abb.3: Tal des Suli Gad mit Abrissbereich (A) und Bergsturzdamm (D)

Der Bergsturz erfolgte an der SE-Seite des Phoksundo Sees. Hier wurde eine ca. 5500 m hohe Gebirgsflanke instabil und kollabierte. Das Ausmaß der Abrissnische berechnete Yagy (1997) mit 1500 m Höhe und 2500 m Breite. Bei einer Tiefe der Nische von durchschnittlich 30 – 50 m ergibt dies eine Kubatur von ca. 1,5 Milliarden m³.

Die spontan gravitative Massenbewegung führte zur Verlegung des Tales und zur Ausbildung des Sees. Der Phoksundo See dürfte auf Grund der Kompaktheit des Damm-Materials heute noch in ähnlicher Weise bestehen, als zur Zeit seiner Entstehung. Das aktuelle Seebecken ist 5000 m lang, 800 m breit, 200 m tief und beinhaltet 350 – 400 Mio. m³ Wasser (Abb. 4).



Abb.4: Bergsturzdamm und Phoksundo See im Shey Phoksundo National-Park

Welche Faktoren waren für diese Massenbewegung verantwortlich? Das auslösende Moment dürfte ein Erdbeben gewesen sein. Das Gestein zeigte jedoch bereits vorher Inhomogenitäten (Entspannungsklüfte), die in der Übergangszone vom Hohen Himalaya im Süden zu den Tibetischen Sedimenten im Norden gehäuft auftreten. Durch außerordentlich starke, tektonische Beanspruchung der Gesteine an der Grenze „Higher Himalayan Crystallines / Dhaulagiri Limestones“ neigen diese im Besonderen zu instabilen Verhalten (Dewey, Shackleton, Chengfa, Yinyin 1988; Fuchs 1977a; Fuchs 1977b; Reddy, Searle, Massey 1992; Tapponier, Peltzer, Armijo 1986). Diese primären, tektonischen Anlagen im Gestein waren für eine Massenbewegung geradezu prädestiniert.

Der Bergsturzdamm besteht aus karbonatischen Material, ist 600 – 1500 m breit und ca. 200 m hoch. Auf der mit einer sanft welligen Morphologie überzogenen Dammkrone liegt Ringmo. Auf der Westseite des Dammes erfolgt der Abfluss des Phoksundo Sees, der in die mit groben Blockwerk übersähte Tomalandschaft nur gering eingeschnitten ist. An der Außenseite des Dammes stürzt der Suli Gad im größten Wasserfall Nepals (170 m) ins Tal.

Der Bergsturzdamm erscheint durchaus stabil. Da die Ablagerung nicht von Moränenmaterial überlagert ist, darf der Bergsturz als nacheiszeitliche Massenbewegung eingestuft werden. Die Braunerde-Entwicklung der Böden unterstützt diese Annahme. Die Erosion dürfte die Damm-

krone zu Beginn stärker, im Laufe der Zeit jedoch nur mehr geringfügig verändert haben. Zudem ist sie mit Bäumen und Strauchwerk bestanden, die einen hohen Stabilitätsinput leisten.

Das Bergsturzmaterial ist eine Mischung aus größeren Schollen, grobem Blockwerk und kleineren Bruchstücken. Diese Zusammensetzung dürfte maßgebend für die Stabilität und den Erhalt des Dammes über Jahrtausende gewesen sein. Durch die Mächtigkeit und Kompaktheit der Ablagerung, konnte der Damm durch die anfallenden Wasser des Suli Gad nicht demontiert werden. Dafür reichte die Erosionskraft des Flusses nicht aus, der nur während der Schneeschmelze deutlich mehr Wasser führt als das übrige Jahr. Die Wetterstation von Dunai (Distrikt-Hauptstadt, ca. 30 km südlich von Ringmo) weist ca. 500 mm Niederschlag aus, der jedoch in Ringmo und nördlich davon noch geringer ausfällt (Abb. 5).

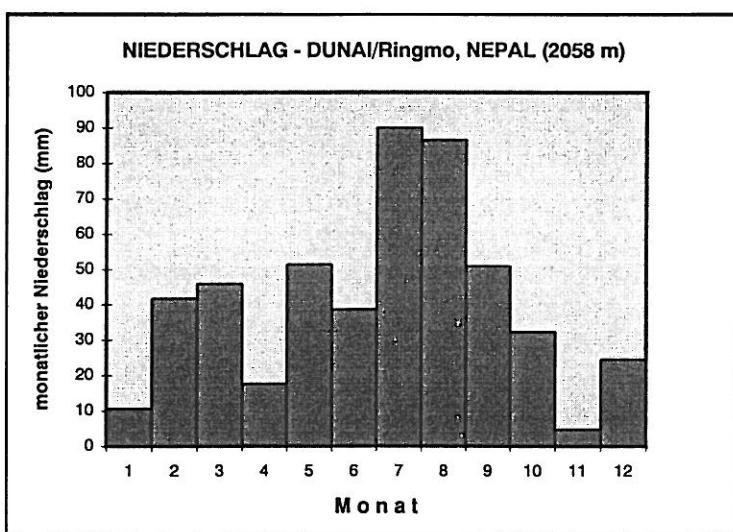


Abb.5: Diagramm monatliche Niederschlagssummen, Dunai (1987-90)

III. DER BERGSTURZ VON DARBANG, NEPAL

Der Bergsturz von Darbang liegt im Gebiet der „Western Development Region of Nepal“, ca. 40 km NW der Stadt Baglung (Abb. 2). Die Siedlung Darbang (1130 m) befindet sich auf der orographisch linken Flussterrasse des Myagdi Khola, eines Nebenflusses des Kali Gandaki. Das NW/SE-streichende Tal durchschneidet die Mittelgebirgsregion Nepals (Baglung Parbat Range), und liegt südlich des Dhaulagiri Himal. Dieses Gebiet stellt auf Grund sehr günstiger klimatischer Verhältnisse im Staubereich des Dhaulagiri- und Annapurna-Massivs, eine dicht bevölkerte, landwirtschaftliche Gunstregion dar.

Der katastrophale Bergsturz von Darbang ereignete sich am 20. September 1988. An diesem Tag kam es zum unerwarteten Abbrechen einer übersteilten Talflanke an der orographisch rechten Seite des Myagdi Khola. Die Abrissnische hatte ein Ausmaß von 500 m Breite und 800 m Höhe (Abb. 6). Das dislozierte Volumen der Massenbewegung kann auf ca. 5 Mio. m³ geschätzt werden (Yagi, Maruo, Saijo, Nakamura 1990).

Die spontan gravitative Massenbewegung verursachte enorme Verwüstungen bei Darbang. Sämtliche Gebäude auf der orographisch rechten Seite des Myagdi Khola wurden zerstört, mehr als 100 Menschenleben waren zu beklagen. Das dislozierte Material verlegte den Flusslauf des Myagdi Khola. Erst nach 6 Stunden konnte der mehrere 10er Meter mächtige Bergsturzdamm aus Trümmermasse durchbrochen werden. Die darauffolgende Flutwelle verursachte talabwärts große Schäden.

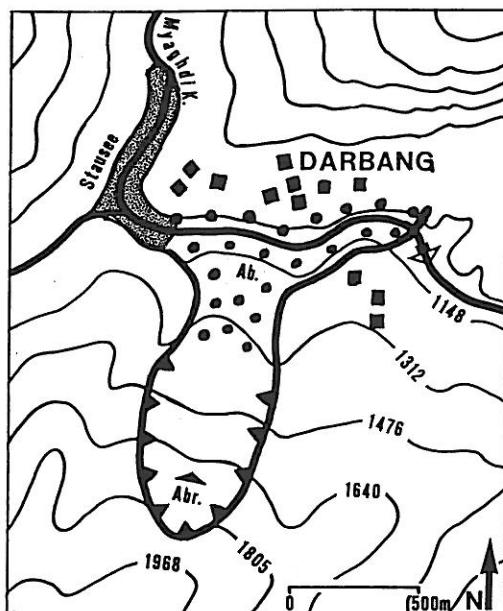


Abb.6: Bergsturz Darbang mit Abriss (Abr.), Ablagerung (Ab.) und Stausee

Was führte nun zu diesem Flankenabbruch? In diesem Fall dürfte ein ganzes Faktorenbündel zusammengespielt haben. Eine wesentliche Rolle steht dabei den geologischen, lithologischen und tektonischen Verhältnissen zu. Die Mittelgebirgslandschaft von Darbang liegt im Bereich des geologischen Kontakts der Chail und der Jaunsar Formation des „Lesser Himalaya“. Daraus resultiert eine starke tektonische Beanspruchung des Gesteins. Lithologisch handelt es sich um metasedimentäre Schiefer, Phyllite und Quarzite. Diese wurden zusätzlich durch die räumliche Nähe der MCT (Main Central Thrust) tektonisch überprägt, so dass sie für instabiles Verhalten äußerst anfällig sind (Weidinger, Ibetsberger 2000).

Ein weiterer entscheidender Faktor, der zur Massenbewegung überleitete, sind die extremen klimatischen Verhältnisse in der Staurandlage südlich des Dhaulagiri und Annapurna Himal. Jährliche Niederschlagssummen von 5000 mm (5551 mm in Lumle, ca. 50 km E von Darbang) sind keine Ausnahme. Auf Basis der meteorologischen Daten der Station Baglung (1981-1990) ist ersichtlich, dass jährliche Niederschlagswerte über 2000 mm erreicht werden (Abb. 7). Im Katastrophenjahr 1988 trafen mehrere ungünstige Umstände zusammen. Die extreme Hitze und Trockenheit in der Zeit des Vormonsuns April, Mai und Juni führte zu einem tiefgründigen Aufbrechen der Bodenkrume. Mit dem Ausbruch des Monsuns im Juli drang das Niederschlagswasser tief in die Risse und Spalten des Bodens und bis weit in das Anstehende hinein vor. Die extremen Niederschläge von 1988 übersättigten das Gestein, das durch die eigene Auflast in sich zusammen sackte (Ibetsberger, Weidinger 2000).

Die Massenbewegung begrub einen Teil des Dorfes Darbang und bildete einen Damm aus, der das Myagdi Khola Tal abriegelte. Der Bergsturzdam war ca. 700 m lang, 100 m breit und 25 – 50 m hoch. Er bestand aus stark zertrümmerten Material, das den anfallenden Wassermassen des Myagdi Khola nur über 6 Stunden Einhalt bieten konnte. Dann wurde die Dammkrone gekappt und die dadurch ausgelöste Flutwelle wälzte sich talwärts (Abb. 8).

Eine Begutachtung der Bergsturzmasse zeigte, dass die Schiefer und Phyllite durch den Prozess des Zusammensackens der Felsflanke außerordentlich stark zertrümmert wurden. Der wasserübersättigte Fels dürfte als breiartige Masse den Talboden gefüllt haben, und nur wenig Widerstand den Wassermassen des Myagdi Khola geleistet haben. Noch dazu während einer Zeit, als der Fluss auf Grund der monsunalen Niederschläge selbst Hochwasser führte.

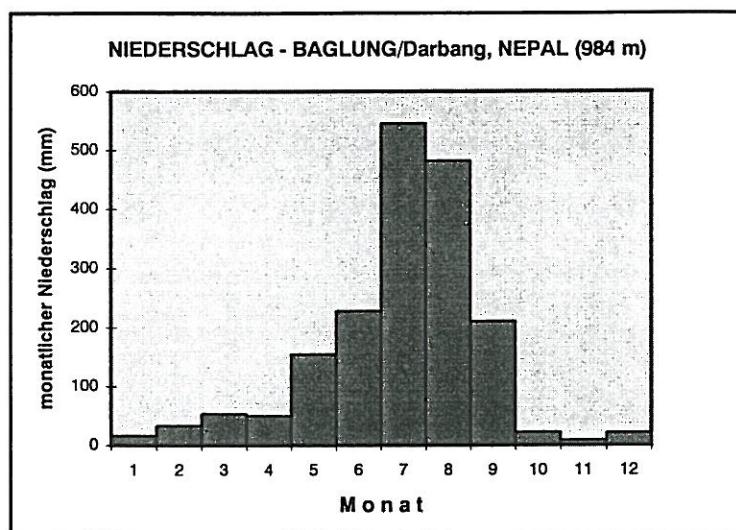


Abb.7: Diagramm monatliche Niederschlagssummen, Darbang (1981-90)



Abb.8: Der Myagdi Khola durchschneidet das Bergsturzgebiet von Darbang

IV. DER BERGSTURZ VON CUI-HUA, CHINA

Der Bergsturz von Cui-Hua liegt ca. 30 km südlich von Xian, der Hauptstadt der Provinz Shaanxi. Das N/S-streichende Dongcha Tal durchschneidet die Mittelgebirgskette des Qin-Ling Gebirges. Das Gebirge erhebt sich deutlich über die weite Talebene des Weihe Flusses, auf der die ehemalige Hauptstadt von China, Changan, das heutige Xian angesiedelt ist. Am Rande der Ebene finden sich mächtige Löbauflagerungen (Weidinger, Ibetsberger 2001). Die hohe Bevölkerungsdichte erfordert eine intensive Landwirtschaft, mit Auslaugung der Böden und enormer Rutschungsgefährdung, im Bereich steil geböschter Hänge (Abb. 9).

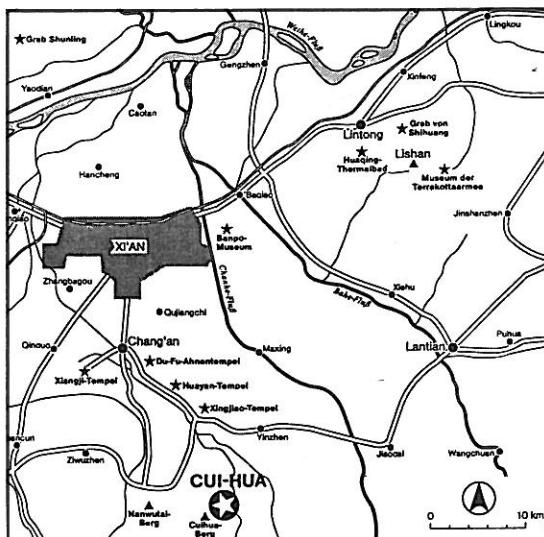


Abb.9: Topographische Lage des Bergsturzgebietes von Cui-Hua, China

Die Massenbewegung erfolgte an der Westseite des Dongcha Tales. In diesem Bereich ist ein Teil eines ca. 1500 m hohen Felsspornes kollabiert. Dabei kam es zu keinem Transport des Materials über größere Distanz. Dieses wurde unmittelbar am Fuße des Felsflanke wieder abgelagert. Die Kubatur der Bergsturzmasse dürfte ca. 350 Mio. m³ umfassen. Das Ablagerungsgebiet ist gekennzeichnet durch eine typische Tomalandschaft mit riesigen, bis 1000 m³ großen Blöcken (Ibetsberger, Weidinger 1997; Weidinger, Ibetsberger 1997c).

Die spontan gravitative Massenbewegung führte zur gänzlichen Verlegung des Dongcha Tales und zur Ausbildung eines Sees. Der Tianchi See besteht somit noch heute, in ähnlicher Weise wie bereits seit dem Abgehen der Massenbewegung (Abb. 10).

Was führte zu dieser großen Massenbewegung? Hier hat ein Erdbeben die Naturkatastrophe ausgelöst. Dies bestätigen genaue Aufzeichnungen der chinesischen Geschichtsschreibung, die das Erdbeben auf 780 v. Chr. datieren. Man befindet sich hier im Bereich einer Scharung randlicher Störungslinien jener Haupterdbebenlinie, die nahe Xian verläuft. Silurische und devonische Granite und Granodiorite zeigen auf Grund extremer tektonischer Beanspruchung eine intensive Aufrüttung, und verhalten sich weitgehend instabil gegenüber mechanischer Beanspruchung (Weidinger 2000b).

Der Bergsturzdammbau besteht aus plutonischem Material (Granit, Granodiorit), ist 80 – 120 m breit und ca. 150 m hoch. Der Damm besteht vorwiegend aus grobblockigem Material, eingebettet in feinkörniger Matrix. Durch eine mehrere Jahrtausende andauernde, kontinuierliche Ausschwemmung des Feinmaterials aus dem Schüttkörper, erhöhte sich auch die Durchlässigkeit. Auf Grund dessen musste der Damm, vor allem zur Erhaltung des Tianchi Sees während



Abb.10: Das Akkumulationsgebiet des Cui-Hua-Bergsturzes und der Tianchi See



Abb.11: Der Cui-Hua Bergsturz und der abgedichtete Damm des Tianchi Sees

der Sommermonate, auf künstliche Weise abgedichtet werden (Abb. 11). Dieser Eingriff ermöglicht einen, über das Jahr ausgeglichenen Wasserspiegel, im gerne besuchten Naherholungsgebiet der Millionenstadt Xian (Weidinger, Wang, Ma 2000).

Das Bergsturzmaterial ist eine Mischung aus groben Blockwerk und kleineren Bruchstücken. An der Westseite des Tianchi Sees bilden riesige Bergsturzblöcke eine bizarre Tomalschaft, die durch ein Wegsystem erschlossen ist. Durch dachziegelartige Stapelung des Blockwerks ergaben sich „Pseudohöhlensysteme“, wie die wind- und ice-cave, die auf einen Rundweg durchwandert werden können.

V. DIE GLETSCHERMURE VOM HUASCARÁN, PERÚ

Der Huascarán (6654 m) gehört zur Andenkette der Cordillera Blanca, die sich im Norden von Perú erstreckt. Das Rio Santa Tal, mit dem Hauptort Huaráz liegt eingesenkt zwischen der Cordillera Negra im Westen und der Cordillera Blanca im Osten. Nördlich von Huaráz befindet sich das Städtchen Yungay, das nur 15 km vom Fuße des Huascarán entfernt liegt (Abb. 12). Unweit von Yungay entwässert der Rio Ranrahirca (oder Rio Shacsha), in dessen Einzugsgebiet der Huascarán liegt, in den Rio Santa. Die Berge der Cordillera Blanca, v.a. der Huascarán waren seit jeher von großer bergsteigerischer Faszination. Aus diesem Grunde wurden bereits bei der Cordillera Blanca-Expedition des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines 1932 photogrammetrische Vermessungsarbeiten durchgeführt, die in der Cordillera Blanca-Karte 1:100.000 umgesetzt wurden.

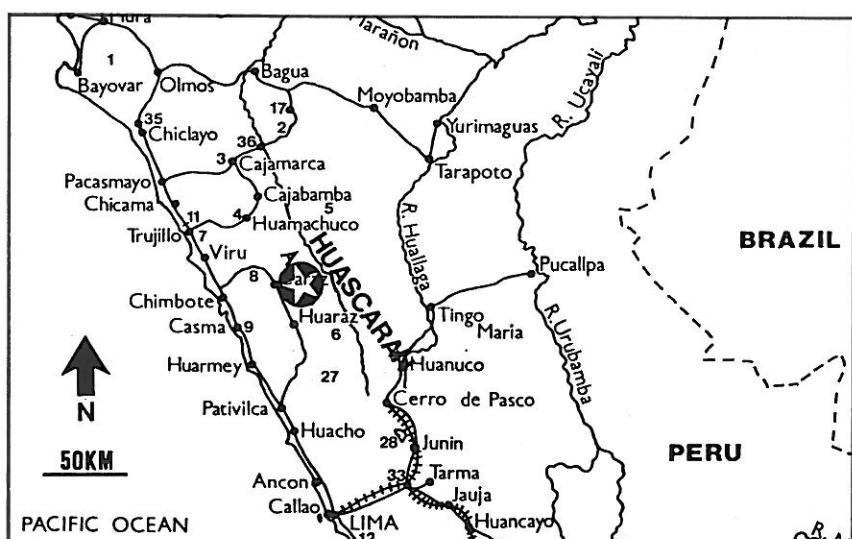


Abb.12: Topographische Lage des Bergsturzgebietes am Huascarán, Perú

Am 31. Mai 1970 kam es zu einem Eis- und Felssturz vom 6654 m hohen Nordgipfel des Huascarán. Dieser Gipfel trägt eine Gletscherkappe, die nach Westen zu, über eine 900 m hohe, nahezu senkrechte und ca. 1,5 – 2 km breite Felswand abbricht. Im Bereich der Abbruchstelle beträgt die Mächtigkeit des Gipfelgletschers 30 – 50 m (Patzelt 1983).

Ausgelöst durch ein Erdbeben mit der Stärke 7,8 (n. Richter) brach die Gletscherkappe auf einer Breite von ca. 800 m ab. Mit dem Eisbruch haben sich auch größere Felsbrocken aus der darunterliegenden Wand gelöst, die ebenfalls zu Tal stürzten. Die dislozierte Eis- und Felsmasse dürfte ein Volumen von 50-100 Mio. m^3 umfasst haben (differenzierende Angaben in der Literatur).

Das Epizentrum des schweren Erdbebens lag im Pazifischen Ozean, ca. 25 km W der nordperuanischen Stadt Chimbote. Erdbeben sind entlang des neotektonischen Lineaments am Fuße der Cordillera Blanca eine häufige Erscheinung, die schon in früherer Zeit größere Massenbewegungen ausgelöst haben. Prähistorische Eis- u. Felsstürze von bis zu 200 Mio. m³ und 13 Mio. m³ disloziertes Material am 10. Jänner 1962 zeugen davon (Welsch, Kinzl 1970).

Das abgelöste Material stürzte nun 3000 m, bis an dem Fuß des Huascarán ab. Dort prallte das Fels- u. Eismaterial auf den „Gletscher 511“. Durch den Aufprall wurden enorme Kräfte (hohe Temperaturen und extreme Drücke) frei, die einerseits das Gestein bersten ließen, und andererseits das Gletschereis zum Schmelzen brachten. Dadurch entstand ein „Wasser-, Eis-, Schnee- u. Schuttbrei“, eine sogenannte Gletschermure.

Der Murstrom schoss mit einer Geschwindigkeit von 300 – 400 km/h das Seitental des Rio Ranrahirca hinaus. Diese Geschwindigkeit ergibt sich daraus, da der von der Aufprallstelle ca. 15 km entfernte Ort Yungay in ca. 2 Minuten erreicht wurde. Die Stadt Yungay und auch die benachbarte Ansiedlung Ranrahirca wurde mit einer 3 – 10 m mächtigen Schicht aus Felsblöcken, Eis und Schlamm überdeckt (Abb. 13). Eine Minute nachdem der Murstrom die Stadt Yungay zerstörte, erreichte dieser das Rio Santa Tal. Dort besaß der Hauptstrom noch immer genügend Energie, um am gegenüberliegenden Hang 80 – 100 m hinauf zu schießen. Das dort angesiedelte Dorf Matacoto wurde dadurch ebenfalls teilweise zerstört.



Abb.13: Der Abriss am Huascarán-Nordgipfel u. die verschüttete Stadt Yungay (vorne)

Der mächtige Hauptstrom dämmte das Haupttal des Rio Santa zur Gänze ab. Der ca. 20 m hohe Damm staute den Rio Santa zu einem 2 km langen See (Abb. 14). Da jedoch der Damm, bestehend aus dem Wasser-, Eis-, Schnee- und Schuttgemisch keinerlei Stabilität aufwies, konnte dieser den Gewicht der aufgestauten Wassermassen nur 30 Minuten standhalten. Der Fluss riss mit einer gewaltigen Flutwelle Gesteinstrümmer, Bäume, Schutt, Fahrzeuge und Menschen mit. Die Wassermassen richteten talwärts enorme Schäden an Hab und Gut an.

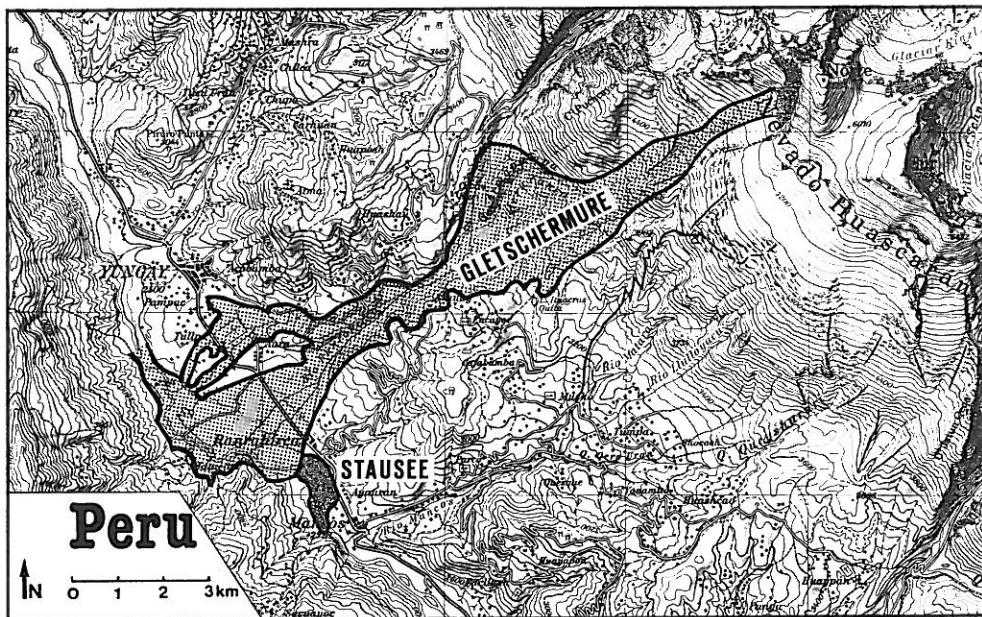


Abb.13: Detailaufnahme des Ausmaßes der Gletschermure am Huascarán (nach Welsch & Kinzl 1970, Basis: AV-Karte Cordillera Blanca, Nord)

Das Material, aus dem der Damm aufgebaut war, wies keinen Zusammenhalt auf. Mehrere m^3 große Blöcke schwammen in einer feinkörnigen Matrix mit Wasser und Eis vermischt. Dadurch konnte nicht jene Stabilität aufgebaut werden, die nötig gewesen wäre um einen dauerhaften Damm entstehen zu lassen. Wären dem Material mehrere Tage zur Verfestigung zur Verfügung gestanden, hätte dieser Stabilitätsinput wohl ausgereicht um einen für längere Zeit standhaften Damm entstehen zu lassen. Das wäre bei geringerem Wasseranfall, etwa einem Seitenfluss, nicht aber beim Hauptfluss möglich gewesen.

Warum kam es nun zu diesem Fels- und Eisabbruch? Der Huascarán Batholith besteht aus tertiären, biotitreichen Granodiorit, der durch ein System an Rissen und Spalten durchsetzt ist. Die Kluftgefüge weisen drei Trennflächenscharen auf. Die beiden steilstehenden Kluftscharen (E/W u. N/S) sind wandbildend, während eine dritte Fläche flach nach SW weist. Durch das Erdbeben kam es zu einer Gefügelockerung und zum Abbrechen eines Teils des Gipfelmassives entlang dieser Schwächezonen.

Das Erdbeben vom 30. Mai 1970 gehörte auf Grund der räumlichen Verbreitung und der katastrophalen Folgen zu den größten der Geschichte Südamerikas. Im Norden von Perú kamen 70.000 Personen ums Leben, davon ein Drittel durch die unmittelbar damit in Zusammenhang stehende Gletschermure vom Huascarán.

VI. VERGLEICHENDE ANALYSEN

Während die Bergsturzdämme von Ringmo in Nepal und Cui-Hua in China noch bestehen, wurden jene von Darbang (Nepal) und vom Huascarán (Perú) nach wenigen Minuten bis Stunden wieder durchbrochen. Was waren nun die Gründe dafür?

Die Stabilität eines natürlichen Dammes ist abhängig vom Material und seiner Beschaffenheit. Dabei spielt die mechanische Beanspruchung des Gesteines während des

Bewegungsablaufes eine wesentliche Rolle. Abgleitbewegungen führen meist zu einer geringeren Aufrüttung des Gesteins als dies bei Sturzbewegungen der Fall ist.

Bei Abgleitbewegungen kommt es zur Versetzung einer in sich kompakten Felsscholle, die am Talgrund akkumuliert wird. Von der Lithologie und den internen Strukturen des Gesteins, den morphologischen Verhältnissen auf der vorgegebenen Gleitbahn, sowie der Kubatur und der Mächtigkeit der Rutschmasse ist es abhängig, ob das dislozierte Material als weitgehend kompakte Scholle oder als Trümmermasse abgelagert wird. In ersteren Fall entsteht daraus ein massiver Damm, der den Talboden zwar plombiert, aber als durchaus stabil anzusehen ist. Im zweiteren Fall hängt die Stabilität des Dammes unmittelbar mit der Stärke der Beanspruchung des Gesteins zusammen. Leicht bis- mittelstark zerrütteter Fels baut einen noch stabilen, stark zerrütteter Fels einen bereits instabilen, mylonitischer bis kataklastischer Fels einen deutlich instabilen Damm auf. In Abhängigkeit von der Dauer der Periode der „Setzung des Dammes“ und der unmittelbaren „Belastung des Dammes“ (Druck durch den aufgestauten Wasserkörper) ist es nun abhängig, ob Material geringer Gebirgsgüteklaasse stabil oder instabil reagiert. Die Karbonatmasse des Bergsturzes von Ringmo dürfte ähnlich einer kompakten Scholle die Basis des Talbodens erfüllt haben. Darüber findet man minder beanspruchten Fels in dem sich auch der heutige Abfluss des Phoksundo Sees eingeschnitten hat.

Bei Sturzbewegungen kommt es zu einem gravitativ bedingten, weitgehend freien Fall der Gesteinsmasse. Die Beanspruchung des Materials beim Aufprall ist abhängig von der Lithologie und den internen Strukturen des Gesteins, sowie der Höhendifferenz zwischen der Abrisskante und dem Ablagerungsgebiet. Der Bergsturz von Cui-Hua steht als Beispiel dafür. Hier dürfte das dislozierte Material nahezu im freien Fall kollabiert sein. Da der Fels aus kompaktem platonischem Material besteht und der relative Höhenunterschied nur 250 m betrug, wurde die Sturzmasse nur gering aufbereitet. Dadurch findet man extrem grob-blockiges Material, das auch den Damm aufbaut, der den Tianchi See aufstaut. Da das feinkörnige Material aus dem natürlichen Damm, seit dem Bergsturzereignis von 780 v. Chr., weitgehend ausgeschwemmt wurde, würde heute ohne künstliche Abdämmung ein hoher Anteil an Wasser versickern.

Die Sturzereignisse von Darbang (Nepal) und am Huascarán (Perú) weisen einige Parallelen auf. In beiden Fällen kam es zu einem Flankenabbruch. Das Material staute den Fluss zu einem See, der jedoch nach wenigen Stunden den Damm demontierte und mit einer Flutwelle den tiefer liegenden Talabschnitt verwüstete. Während der Bergsturzdamm von Darbang aus kataklastischen bis mylonisierten Gesteinsmaterial bestand, wurde das Rio Santa Tal im Norden von Perú vom Schwemmfächer einer Gletschermure verlegt. Der Bergsturzdamm von Darbang konnte dem Druck der enormen Wassermengen des temporären Sees nur 6 Stunden standhalten und zerbarst. Das Schne--, Eis- und Gesteinsgemisch der Gletschermure vom Huascarán erreichte nie ein Stadium an Konsistenz, um einen dauerhaften Damm entstehen zu lassen. Die breiartige Masse wurde durch die Kraft des aufgestauten Wassers richtiggehend verschwemmt (Abb. 15).

So gibt es natürliche Dämme, die auf Grund aufgelisteter Voraussetzungen von Beginn an stabil reagieren, und andere die von Anfang an keine „Überlebenschance“ haben. Eine zusätzliche Stabilisierung der Dammkrone erfolgt durch den Bewuchs mit Vegetation. Hier sind es vor allem Flechten, Moose, Gräser und Zergsträucher, die als Pioniervegetation anzusehen sind. In weiterer Folge findet man auch niederwüchsige Bäume (Zwergbirken), später aber auch Kiefern und Tannen. Die Böden können in Abhängigkeit von ihrem Alter Rohböden, flachgründige Ranker oder Rendzina, Braunerden und Podsole sein. Vergleyungen treten auf Grund der Permeabilität des abgelagerten Materials selten auf.



Abb.15: Grobes Blockwerk in feinkörnigen Material, Gletschermure Huascarán

ANHANG I: LITERATUR

- Brückl, E., Brückl, J., Heuberger, H. (2001). Present structure and prefailure topography of the giant rockslide of Köfels.- Z. f. Gletscherk. u. Glazialg., 37, 1, 49-79, Innsbruck.
- Costa, J.E., Schuster, R.L. (1988). The formation and failure of natural dams.- Geol. Soc. of American Bulletin, 100, 1054-1068.
- Dewey, J.F., Shackleton, R.M., Chengfa, C., Yinyin, S. (1988). The tectonic evolution of the Tibetan Plateau.- Philos. Trans. R. Soc. London A, 327, 379-413, London.
- Fuchs, G. (1967). Zum Bau des Himalaya.- Österreichische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch Naturwissenschaftliche Klasse, Denkschriften, 113, 1-211, Wien.
- Fuchs, G. (1977a). On the geology of the Karnali and Dolpo Regions, West Nepal.- Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 66, 21-32, Wien.
- Fuchs, G. (1977b). The geology of the Karnali and Dolpo Regions, Western Nepal.- Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 120, 2, 165-217, Wien.
- 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.- Proc. 12th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, Abstract Volume, 149-150, Rom.

- Heuberger, H., Masch, L., Preuss, E., Schröcker, A. (1984). Quaternary landslides and rock fusion in the Central Nepal and in the Tyrolean Alps.- *Mountain Res. and Developm.*, 4/4, 345-362, Boulder/Colorado.
- Ibetsberger, H.J. (1996). The Tsergo Ri landslide: An uncommon area of high morphological activity in the Langthang valley, Nepal.- *Tectonophysics*, 260, 85-93, Amsterdam.
- Ibetsberger, H.J., Weidinger, J.T. (1997). Geomorphic Hazard Studies of two big Landslide Areas (Langthang Himal - Nepal; Qin Ling Mountains - P.R. China).- *Proc. of Int. Symp.'97 NEASFWLD*, (= *J. of Gansu Sciences, China*, Suppl. 9, 109-112), Lanzhou.
- Ibetsberger, H.J., Weidinger, J.T. (2000). Role of extreme meteorological anomalies in initiating the Darbang Landslide, Dhaulagiri Himal, Western Nepal.- *J. Nepal Geol. Soc.*, 21, 35-40, Kathmandu.
- Ivy-Ochs, S., Heuberger, H., Kubik, P.W., Kerschner, H., Bonani, G., Frank, M., Schlüchter, Ch. (1998). The age of the Köfels event. Relative, ^{14}C and cosmogenic isotope dating of an early holocene landslide in the central Alps (Tyrol, Austria).- *Z. f. Gletscherk. u. Glazialg.*, 34, 1, 57-68, Innsbruck.
- Li, T. (1989). Landslides. Extend and economic significance in China.- Brabb, Harrod (eds.), *Landslides: Extend and Economic Significance*.- 271-287, Balkema, Rotterdam.
- Li, T. (1994). Landslide Disasters and human responses in China.- *Mountain Res. and Developm.*, 14/4, 341-346, Boulder/Colorado.
- Meißl, G. (1996). Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Reichweite von Felsstürzen.- *Salzburger Geograph. Materialien*, 24, 243-248, Salzburg.
- Michelena, R.E. (1989). Landslides in Peru.- Brabb, Harrod (eds.), *Landslides: Extend and Economic Significance*.- 119-112, Balkema, Rotterdam.
- Patzelt, G. (1983). Die Berg- und Gletscherstürze vom Huascaran, Cordillera Blanca, Peru.- *Arbeitsgemeinschaft für vergleichende Hochgebirgsforschung* (ed.).- *Hochgebirgsforschung*, Heft 6, Innsbruck.
- Perrin, N.D., Hancox, G.T. (1991). Landslide-dammed lakes in New Zealand – preliminary studies on their distribution, causes and effects.- Bell (ed.), *Landslides*.- 1457-1466, Balkema, Rotterdam.
- Reddy, S.M., Searle, M.P., Massey, J.A. (1992). Structural evolution of the high Himalayan Gneiss sequence.- Treloar, P.J., Searle, M.P. (eds.), *Himalayan Tectonics*.- *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 74, 375-389, London.
- 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, Amsterdam.
- Schuster, R.L. (1986). Landslide dams, processes, risk and mitigation.- *Proc. American Soc. of civil Eng. Convention*, Seattle, Washington, 3, 164, (=ASCE Geotechnical Spec. Pub.), New York.
- Selby, M. (1988). Landforms and denudation of the High Himalaya of Nepal: results of continental collision.- *Z. f. Geomorph. N. F.*, Suppl. 69, 133-152, Berlin, Stuttgart.
- Tapponnier, P., Peltzer, G., Armijo, J. (1986). On the mechanics of the collision between India and Asia.- Coward, M. P., Ries, A. C. (eds.), *Collision Tectonics*.- *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 19, 115-157, London.
- Uhlir, C. F. (1997). Landslide dammed lakes: a case study of the Lamabagar and Ghat-Chaurikharka landslide deposits (Dolakha and Solukhumbu Districts, Eastern Nepal). - *J. Nepal Geol. Soc.*, 16, 104-105, Kathmandu.
- Weidinger, J.T. (1998). Case history and hazard analysis of two lake-damming landslides in the Himalayas.- *J. Asian Earth Sciences*, 2-3, 323-331, Amsterdam.
- Weidinger, J. T. (2000a). Der Tsergo Ri Bergsturz im Nepal Himalaya – Erforschung der größten Kristallinmassenbewegung der Erde als Grundlage für rezente Gefahrenzonenkartierungen.- *Tagungsb. Geoforum Umhausen 2000*, 9-11, Innsbruck

- Weidinger, J.T. (2000b). A Lake-damming Rockavalanche in the Qin Ling-Mountains / P.R. of China - the Benefits of an Earthquake-triggered natural Desaster and linked geomorphologic Changes in prehistoric Times.- Abstract Volume of INQUA - commission of the holocene, meeting Seville, Spain, 2000, Sevilla.
- Weidinger, J.T., Ibetsberger, H.J. (1997a). Outbreaks and disappearance of a landslide-dammed lake: casestudy from the Himalayas.- Geolog. Vereinigung (ed.), Elementare Geologische Prozesse, 87. Jahrestagung, 1997, Abstracts (= Terra Nostra, 36).
- Weidinger, J.T., Ibetsberger, H.J. (1997b). Risk-Analysis of Gohna Tal Landslide (Kumaon Himalayas, India.- Angiolini, L. et al. (eds.), Proc. of the 12th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, 1997, Abstract Volume, 105-106, Milano.
- Weidinger, J.T., Ibetsberger, H.J. (1997c). The Cui Hua-Rockavalanche (Qin Ling Mountains / P.R. China) and the Tsergo Ri-Massmovement (Langthang Himal / Nepal) - two Earthquake-triggered Landslides in Crystalline Rocks of High Mountain Regions? - Proc. of Int. Symp. '97 NEASFWLD, (=J. of Gansu Sciences, China, Suppl. 9, 99-102), Lanzhou.
- 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 Gcol. Soc., 22 (Proc. Int. Sym. on Eng. Geol., Hydrol. and Nat. Disasters with Emph. on Asia, 28-30 Sept. 1999), 371-380, Kathmandu.
- Weidinger, J.T., Ibetsberger, H.J. (2001). Geoanalytische Gefahrenbetrachtung an rutschgefährdeten Talflanken im Lößplateau der Provinzen Gansu und Shaanxi, VR China.- Mit. d. Ö. Geogr. Gesellschaft, 143. Jahrgang, 233-256, Wien.
- 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. (2000). 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 Seville, Spain, 2000.
- Welsch, W., Kinzl, H. (1970). Der Gletschersturz vom Huascaran (Peru) am 31 Mai 1970, die größte Gletscherkatastrophe der Geschichte.- Z. f. Gletscherk. u. Glazialg., 6, 1-2, 181-192, Innsbruck.
- Yagi, H. (1997). Origin of the Phoksundo Tal (lake), Dolpa district, western Nepal.- Journal Nepal Geological Soc., 15, 1-7, Kathmandu.
- Yagi, H., Maruo, Y., Saijo, K., Nakamura, S. (1990). The September 1988 large landslide in the vicinity of MCT, Darbang, Nepal.- Journal Japan Landslide Soc., 26, 45-49, Tokio.
- Yagi, H., Öi, H. (1995). Hazard mapping on large scale landslides in Lower Nepal Himalayas.- Novosad, S., Wagner, P. (eds.), Landslides.- Proc. 7th int. Conf. a. Field workshop on Landslides, Kathmandu, 111-116.