

**13 JAHRE BERGSTURZFORSCHUNG AUF DREI KONTINENTEN
– RÜCKBLICK UND ANALYSE**

**13 YEARS OF LANDSLIDE RESEARCH ON THREE CONTINENTS
– RETROSPECTIVE AND ANALYSIS**

Johannes Thomas Weidinger^(1, 2)

ZUSAMMENFASSUNG

Ihre verheerende Wirkung macht große Bergstürze und Rutschungen zu beachteten Naturphänomenen. Derartig rapide Abtragungen in geologisch anfälligen und extremen klimatischen Gebieten, wie in den Hochgebirgen der Erde, können u. a. durch den Rückgang der Gletscher und das Auftauen der Böden nach den Eiszeiten, durch Starkniederschläge oder schwere Erdbeben, aber auch durch das Vordringen und die Aktivitäten des Menschen ausgelöst werden.

In den Jahren 1990 bis 2002 wurde im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte des Instituts für Geologie und Paläontologie der Universität Salzburg sowie des Erkudok© Instituts im Stadtmuseum Gmunden (Oberösterreich) u.a. durch den Autor versucht, einen möglichst breiten geowissenschaftlichen Forschungsansatz für Massenbewegungen zu finden.

Aus der Fülle von international möglichen Untersuchungsobjekten wurden jene gewählt, die für die Erforschung von allgemein gültigen und übertragbaren Grundlagen in Bezug auf auslösende Faktoren, Prozessablauf, Gefahr und Gefährdung sowie Folgeerscheinungen am sinnvollsten schienen bzw. noch nie geologisch-geotechnisch untersucht worden waren.

Dieser Bericht stellt eine Zusammenschau der wichtigsten diesbezüglichen Aktivitäten und Ergebnisse aus dem Himalaya, den Anden, sowie China und den Alpen dar. Zur Dokumentation wurden nur Übersichtsabbildungen verwendet und auf die entsprechenden Publikationen des Autors verwiesen, in denen weiterführende und spezielle Literaturzitate zu finden sind.

ABSTRACT

Landslides and related phenomena in general have a good public relation due to their devastating effects on nature, human beings and their constructions. They rapidly occur in geologic susceptible and extreme climatic areas on earth such as in the high mountain regions. They are often not only triggered by de-glaciation and de-freezing of the toe after the ice-age, heavy rainfalls, earthquakes but also by human impact.

During several research projects of the Institute of Geology and Paleontology (University of Salzburg) as well as Erkudok© Institute of the museum of Gmunden (Upper Austria) between 1990 and 2002 an attempt was done by the author, to investigate the phenomenon of mass-movements in a geo-scientific way.

We chose those investigation objects, which have provided the most important information on triggering factors, process of the mass-movement, hazard and risk analysis as well as linked subsequent phenomena. This paper is dealing with a comparison of the most important activities and results from investigations in the Himalayas, the Andes, China and the Alps. For the documentation only figures for overviews were used, related publications of the author are mentioned, in which one can find all special references.

¹⁾ Mag. Dr. rer. nat., Erkudok© Institut im Stadtmuseum Gmunden, Kammerhofgasse 8, A-4810 Gmunden, Austria bzw. ²⁾ Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Salzburg, Hellbrunnerstr. 34, A-5020 Salzburg, Austria. (Tel.: +43-7612-794-244; FAX: +43-7612-794-244; e-mail: j_weidinger@hotmail.com)

I. EINFÜHRUNG

Große Massenbewegungen, wie Bergstürze, Rutschungen, Talzuschübe und Vermurungen, sind außergewöhnliche Phänomene, die bevorzugt in prädestinierten Zonen von Hochgebirgsregionen vorkommen. Dabei kommt es häufig zu einer teilweisen Zerstörung oder gänzlichen Vernichtung kultivierter Landflächen. Oftmals ist auch der Verlust von Menschenleben zu beklagen. Aus diesem Grunde ist es von äußerster Dringlichkeit, ihre weltweite Verteilung, auslösenden Faktoren, präexistierenden Strukturen ("preparatory causal factors") und schließlich jene Konsequenzen zu erforschen, welche zu diesen Ereignissen führten und welche einstmals stabil reagierende Gebirgszüge anfällig für mechanisches Versagen machen. Auch die Erforschung des unterschiedlichen Verhaltens lokaler Bewohner von Gebirgsregionen gegenüber der Gefahr durch Felsstürze, Felslawinen und Murströme ist von großer Bedeutung. Wie auch immer geartete anthropogen generierte Stille Zeugen (u.a. Namen, Schutzbauwerke, sakrale Gedenkstätten etc.) können eine wertvolle Hilfe bei der Kartierung von Paläo-Bergsturzereignissen sein. Nicht zuletzt schien es dem Autor von Bedeutung, die auf seinen Expeditionen gesammelten alltäglichen Erfahrungen in Buchform zu veröffentlichen (Weidinger, J.T. 1992; 1996; 2000d).

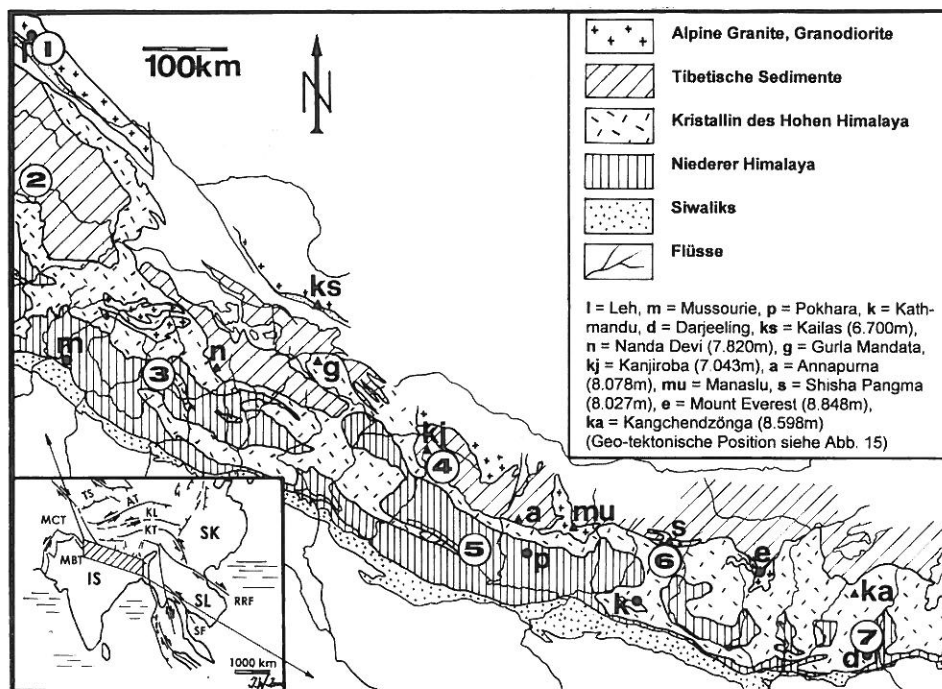


Abb. 1: Geotektonische Karte des Himalaya (nach Fuchs 1982) mit den untersuchten Gebieten

1. Shey, Ladakh (siehe VIII.), 2. Darcha (siehe IV.), 3. Gohna See, 4. Phoksundo See, 5. Dharbang (alle drei siehe III.), 6. Ganesh-Langthang (siehe II.) und 7. Sikkim (siehe VIII)

II. GRUNDLAGENFORSCHUNG AN DER GROSSMASSENBEWEGUNG DES TSENGO RI IM LANGTHANGTAL, NEPAL HIMALAYA

Untersuchungen, die im Rahmen zweier Forschungsprojekte des „Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung – FWF Wien“ durchgeführt wurden, hatten die ingenieurgeologische, geomorphologische, geotechnische, quartärgeologische und paläogeographische Erforschung der Großmassenbewegung des Tsergo Ri im Langthangtal von Nepal und ihres Umfeldes im Kristallin des Hohen Himalaya zum Ziel (Abb. 3). Das Untersuchungsgebiet, das ca. 60 km nördlich der Hauptstadt Nepals, Kathmandu, auf einer Seehöhe zwischen ca. 3.800 und ca. 7.000m (höchster Punkt des rezenten Abrisskamms) liegt, war vor allem deshalb ins Auge gefasst worden, weil es während des Abgleitvorgangs aufgrund der hohen Reibungswärme (z. T. über 1000 Grad C) nahe und entlang der (den) Gleitfläche(n) zu Gesteinsbrekzierung und Gesteinsaufschmelzung (Hyalomylonit, Friktionit) gekommen war.

Ergebnisse der Forschungsarbeiten im Langthangtal

- i) Das Bergsturzereignis des Tsergo Ri 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 Niederm Himalaya zu sehen ist, vor rund 40.000 Jahren ausgelöst (Weidinger, Ibetsberger 1997c).
- ii) Die ehemalige Bergflanke riss entlang einer mit Sulfiden vererzten Struktur ab, 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 zur Destabilisierung beitrugen (Weidinger, Schramm, Surenian 1995; 1996).
- iii) Die Auskartierung einzelner Gleitschollen und interner Bewegungsbahnen in der Masse führte nicht nur zum Erkennen verschiedenster Typen von Gleitflächen (Brekzien- und/oder Friktionit bzw. Hyalomylonit-Horizonte), zur Festlegung der exakten Bewegungsrichtung und des Prallhangs des Bergsturzes samt induzierter sekundärer Massenbewegungen, sondern ließen auch Zusammenhänge zwischen Internbau der abgelagerten Bergsturzmassen und rezenten geomorphologischen Gefahrenzonen deutlich werden (Ibetsberger, Weidinger 1997a; 1997b; Schramm, Weidinger, Ibetsberger 1996; Weidinger, Schramm 1995a; 1995b).
- iv) Bei der Kartierung des internen Zerrüttungsgrades war die Erfassung von physikalischen Parametern von Bergwässern eine hilfreiche Unterstützung, die in uniformen Lithologien allgemein angewendet werden kann (Weidinger, Schramm, Madhikarmi 1995; Schramm, Weidinger 1996).
- v) Quartärgeologische Untersuchungen der hoch-, sowie spät- und postglazialen morphologischen Überprägung des Ablagerungsraums der Massenbewegung halfen den chronologischen Ablauf der Paläo-Ereignisse vor Ort zu entschlüsseln (Ibetsberger, Weidinger 2002).
- vi) Gestützt auf die Berechnung von Hebungsraten, PC-Geländemodellierung (Programm: Surfer) sowie durch ein Geländemodell im Maßstab 1 : 5000 (Abb. 2) ergab die morphologische Rekonstruktion des vor dem Bergsturzereignis vorhandenen Paläo-Gebirgsmassivs einen dreiseitig aufgebauten, bis zu achttausend Meter hohen Berg, dessen Gesteinsvolumen von rund 10 – 15 Kubikkilometer (!) zum Einsturz kam (Hejl, Schramm, Weidinger 1997; Weidinger, Schramm, Nuschej 2002).

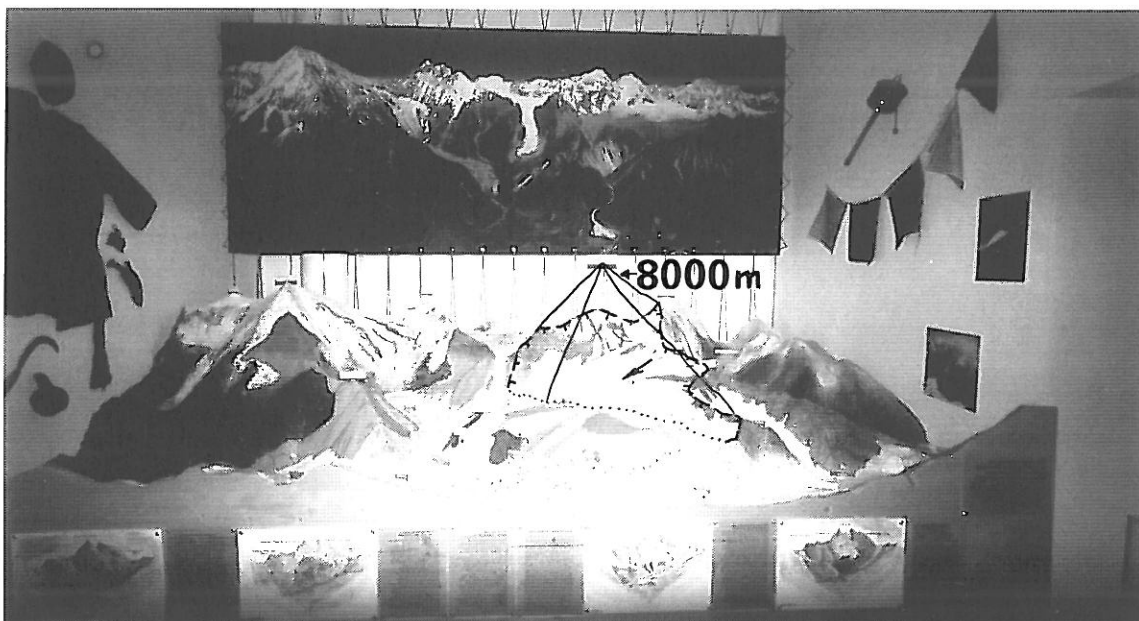


Abb. 2: Ausschnitt aus dem Geländemodell des Tsergo Ri-Bergsturzes von Langthang mit der Rekonstruktion des Paläo-Bergmassivs des ehemals 15. Achttausenders.

(Foto: J.T. Weidinger, 2001). (Anmerkung: Das Modell im Stadtmuseum von Gmunden in Oberösterreich im Maßstab 1 : 5000 ist im Rahmen der Öffnungszeiten zu besichtigen!)



↑Abb. 3: Bergsturzgebiet des Tsergo Ri vom Gipfel des Naya Kanga (5849m) mit Blick Richtung Norden
 Abrisskamm (-.-.), Ablagerungsraum (---), Bewegungsrichtung (⇐). ll = Langhang Lirung (7234m), d = Dragpoche (6562m), pr = Phrul Rangtshan Ri (6960m), s = Shisha Pangma (8027m), p = Pangshungtramo (5321m), t = Tsergo Ri (4984m), dt = Dranglung Tal, l = Ledrub-Lirung-Gletscher, k = Kyimoshung Gletscher, y = Yala Gletscher, ka = Kyangjin Kharka Alm, 3920m (Foto: Weidinger, Ibetsberger 1990).



↑Abb. 4: Die Felslawine beim Landslide Lodge (Foto: Weidinger 1990).

↓Abb. 5: Die Felslawine vom Lama Lodge (Foto: Weidinger 1996).



↑Abb. 6: Geomorphologische Schäden entlang der Straßentrasse in den Ganesh Himal (Foto: Weidinger 1991).



- vii) Die gewonnen geologischen, geomorphologischen und geotechnischen Grundlagenerkenntnisse an der im Kristallin weltweit gewaltigsten und einzigartigen Großmassenbewegung können auch direkt auf eine Einstufung des rezenten Gefahrenpotentials des Langthangtals und ähnlich geotektonisch-lithologisch positionierter Bereiche des Himalaya und der Erde angewendet werden. Dies wurde an einer Reihe von kleineren, teils rezenten Massenbewegungen im Langthangtal, den Felslawinen von Landslide Lodge (Abb. 4), Lama Lodge (Abb. 5), Kyimoshung und Pangri Goldum verifiziert (Tab. 1); (Weidinger 1997b; 1998a; 2000c; 2001d).
- viii) Am Beispiel des Baus der Militär- und Versorgungsstraße in den benachbarten Ganesh Himal konnte auch gezeigt werden, wie tektonisch stark beanspruchte Bereiche auf menschliche Einflüsse in Bezug auf geomorphologische Degradierung (Abb. 6) anfälliger reagieren als tektonisch gering beeinflusste (Weidinger 2002a).

Name	Basis Parameter			Präexistierende Anlagen			
	Alter	Volumen	Fallhöhe	m	g	o	n
Landslide Lodge	1984	50.000 m ³	540 m	+	-	-	+
Lama Lodge	1985, 1994/95	1.8 Mill. m ³	900 m	+	-	-	+
Kyimoshung	1993 - 1995	2 Mill. m ³	1000 m	+	+	-	+
Pangri Goldum	≈1983	15.000 m ³	300 m	+	+	+	+
Tsergo Ri	≈40.000y	>10 km ³	>1600 m	+	+	+	+

Tab. 1: Felslawinen und Tsergo Ri-Bergsturz im Langthangtal und deren präexistierende Anlagen („preparatory causal factors“) im kristallinen Gestein.

(m = Mylonite, Pseudotachylite und Harnischflächen; g = diskordante, leukogranitische Gangintrusionen in Migmatiten; o = strukturebundene Sulfidvererzung in Leukograniten, n = neotektonische Strukturen und Entspannungsklüfte; + = vorhanden, - = nicht vorhanden).

III. ERFORSCHUNG VON BERGSTÜRZEN UND DEREN GESTAUTE SEEN IM HIMALAYA UND IN DER VR CHINA

Stürzt eine Gebirgsflanke quer zum Talverlauf in sich zusammen, so kann die dislozierte Masse den Talboden abriegeln und den Hauptfluss darin aufstauen. Je nach der Größe des Bergsturz-Dammes und des geohydrologischen Einzugsgebietes, wird sich demnach ein mehr oder weniger langlebiger See im Hinterland der Massenbewegung bilden. Eines der spektakulärsten Beispiele dafür ist der 75km lange und 262m tiefe Sariz-See in der Pamir-Region Tadshikistans. Dieser wurde durch den Erdbeben von Ussoy, der im Jahre 1911 durch ein Erdbeben ausgelöst wurde und ein disloziertes Volumen von 4,8 Kubikkilometer aufweist, aufgestaut und ist bis heute stabil.

Dieser See bildet eine Ausnahme, denn nur sehr wenige Bergsturz-gestaute Seen können über sehr lange Zeitperioden existieren, während der Großteil von ihnen bereits wenige Tage nach dem Bergsturzereignis ausrinnt oder sich der Ablagerungsraum durch andere morphodynamische Prozesse entscheidend verändert.

Um die bis dato bekannten Ergebnisse internationaler Forschung zu erweitern, schien es wichtig, herauszufinden, was die Gründe für diese unterschiedliche Lebensdauer sein könnten. Um eine objektive Einschätzung der potentiellen Gebirgsgefahr solcher Bereiche zu gewährleisten, wurden Bergstürze im Himalaya und im Qin Ling Gebirge der VR China herangezogen, die sich im Alter, im abgelagerten Massenvolumen, in Gestalt und Lithologie des Ablagerungsraumes, sowie in der Größe der gestauten Seen unterschieden (Tab. 2). Diese waren die Bergstürze von *Tal* und *Latamrang* (Annapurna-Massiv) im Kristallin des Hohen Himalaya, der Bergsturz von *Ringmo* (Dolpo, Westnepal) in karbonatischen Gesteinen der Tibetischen Sedimente (Abb. 7), die Bergstürze von *Ghatta Khola* (Galwa, Westnepal), *Dharbang* (Dhaulagiri-Massiv, Westnepal; Abb. 8) und *Ghona Tal* (Chamoli, Garhwal Himalaya, Indien; Abb. 9) in Karbonaten, Phylliten und Quarziten des Niederen Himalaya und der Bergsturz von *Cui Hua* im Dong Cha Tal (Abb. 10) in kristallinen Gesteinen des Qin Ling Gebirges der VR China (Weidinger 1998a; 1998b; 1999a; 2000a; Weidinger Ibetsberger 2000; Weidinger, Wang, Ma 2002;).

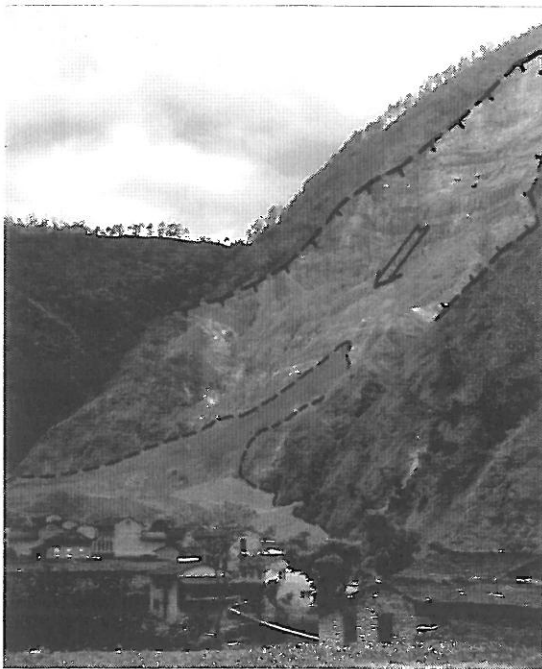
Ergebnisse der Forschungsarbeiten an Bergstürzen und gestauten Seen

- i) Die Stabilität eines Bergsturzdammes ist zu einem wesentlichen Teil von den Gesteinstypen (auch die Möglichkeit einer Durchmischung mit Moränenmaterial sollte in Betracht gezogen werden), der Größe und dem Volumen sowie der Gestalt (geometrischen Form) des Ablagerungsraumes abhängig.
- ii) Das schlechte mechanische Verhalten einer für Massenbewegungen anfälligen Felsflanke, die bereits zuvor durch ein oder mehrere Sturzereignisse einen See staute, kann durch einen weiteren Bergsturz in den See so starke Flutwellen erzeugen, dass ein Dambruch auftritt.
- iii) Das Bergsturzmateriale kann beim Bewegungsvorgang extrem zerrüttet werden, wobei dieser Bereich in den meisten Fällen erosionsanfällig wird. Gullies, Rinnen, Rutschungen und diverse Auswaschungen dominieren in diesem Bereich. Die Untersuchung des Grades der Zerrüttung des bewegten Materials (Schollen, Blöcke, zerrüttet bis kataklastisch in unterschiedlicher Stärke) ist demnach in diesem Zusammenhang sehr wichtig. Dieser wird wiederum von der Art des Bewegungsablaufs (schlittenartig, sturzstromartig, Insitu-Kollaps) bestimmt. Im Falle des Bergsturzes von Dharbang hielt der Damm aus diesem Grunde nur 6 Stunden (Ibetsberger, Weidinger 2000).
- iv) Durch Bergstürze verursachte, natürliche Dämme können später durch die Sedimentfracht der durchsickernden und durchfließenden, oft auch thermalen und mineralstoffreichen Wässer sekundär verkittet und stabilisiert werden. Die geohydrologischen Bedingungen, die Sedimentationsrate im rückwärtig gestauten See und die Sickerrate der Berg- und Seewässer durch die Bergsturz-Barriere sind demnach für die Lebensdauer des Sees oder für die Dauer als potentieller Gefahrenherd von großer Bedeutung.
- v) Das allmählich geringer werdende Gefahrenpotential durch natürliches, stufenweises Absenken des Seespiegels aufgrund von Flutkatastrophen oder langsamer, rückschreitender Erosion der Staubarriere stellt im Falle des Gohna Tal Bergsturzes ein Musterbeispiel dar und gibt zudem eine Möglichkeit, Langzeitriskien für Mensch und Kulturlandschaft besser abschätzen oder berechnen zu können. Aufgrund der Morphodynamik durch klimatische Bedingungen (unterschiedlicher Wasserabfluss durch geänderte Einzugsgebiete, rapide Abtragung, hohe Sedimentfracht und Sedimentationsraten durch Monsunregenfälle), wie etwa dem Himalaya, kann aber auch gezeigt werden, wie kurzlebig solche Seen sein können. Bereits nach wenigen Jahrzehnten (in diesem Fall nach nur 78 Jahren) können solche Sedimentationsbecken wieder durch Alluvionen verfüllt sein und stellen somit keine weitere Gebirgsgefahr mehr dar. (Weidinger 1997a; Weidinger, Ibetsberger 1997a; 1997b).
- vi) Besonders interessant waren die Untersuchungsergebnisse an der Cui Hua-Felslawine, 30km südlich von Xi'an. Dort konnte durch die Besiedelung und Kultivierung der Bergsturzmassen der Bergsturzdamm, der den Tianchi See staute, bis heute dicht und stabil gehalten werden. Erst in jüngster Zeit wird der See als Reservoir für Trinkwasser, landwirtschaftliche Bewässerung, Energieversorgung und als Naherholungsgebiet für die Großstadt Xi'an genutzt.
- vii) Die Kubatur des Bergsturzes von Ringmo beträgt mit etwa zwei Kubikkilometer ein Vielfaches des zurückgehaltenen Wasservolumens, wodurch der gestaute See im Hinterland nie völlig ausfließen konnte. Die geringeren Niederschlagsmengen hinter den Monsun-abgeschatteten Vorketten des Himalaya sind der wesentliche Grund für die niedrigere Sedimentfracht in den völlig klaren (!) See, dessen Reservoir über einen Zeitraum von 40.000 Jahren nicht verfüllt werden konnte.

Bergsturz von	1. Tal	2. Latamrang	3. Ghatta Khola
A. Alter und	< 1000y	?30ky – postglazial	postglazial
B. Bewegungstypus	Felslawine	schlittenartig	Felslawine
C. Geol. –tekt.	Kristallin	Kristallin	Galwa Fenster
Position	Hoher Himalaya	Hoher Himalaya	Niederer Himalaya
D. Lithologie	Gneise	Gneis und Quarzit	Dolomite
E. Material	Blöcke mit 0.2-10m	zerrüttete, gemischte, kataklastische Massen	Blöcke mit Durch- messern bis zu 5m
F. Massenvolumen	4.5 Mill. m ³	0.2 km ³ von gesch- ätzten 1.5 km ³	4.8 Mill. m ³
G. Nebeneffekt	staute See	staute See	staute See



↑Abb. 7: Durch Gullies stark erodierte Bergsturzmassen von Ringmo (---) mit dem Abrisskamm (-.-.); der gestaute Phoksundo See liegt dahinter (s); (Foto: Weidinger 1995).



↑Abb. 8: Der Bergsturz von Dharbang; Abrisskamm (-.-.), Bewegungsrichtung (⇌), Ablagerungsraum (---); Häuser von Dharbang (Foto: Weidinger 1994).



↑Abb. 9: Blick vom ehemaligen Gohna Sees (s) in die steile Abrissflanke des Bergsturzes (-.-.) samt Bewegungsrichtung (⇌) und Bergsturzmassen (---); (Foto: Weidinger 1995).



←Abb. 10: Blockhalde des Bergsturzes von Cui Hua (b) mit dem gestauten und künstlich gedichteten Tianchi See (s) und der Lage des Dorfes Chui Tsho Tshe (d); (Foto: Weidinger 1997).

Bergsturz von	4. Ringmo	5. Dharbang	6. Gohna Tal	7. Cui Hua
A. Alter und	30-40ky	1926 (1. Ereignis) 1988 (2. Ereignis)	1893 (1. Ereignis)	780 v. Chr. (1. Ereignis)
B. Bewegungstypus	in situ Kollaps	in situ Kollaps	in situ Kollaps	Felslawine
C. Geol.-tekt. Position	Tibetische Sedimente	Niederer Himalaya	Chamoli Fenster Niederer Himalaya	Kristallin des Qin Ling
D. Lithologie	Dhaulagirikalke	Schiefer, Quarzite, Phyllite	Kalke	Gneise Granite
E. Material	zerrüttete Fragmente	zerrüttet, "pulverisiert" kataklastische Massen	zerrüttete Gesteinsfragmente	Blöcke bis 70m
F. Massenvolumen	1.5 m ³	5 Mill. m ³	150-200 Mill. m ³	350 Mill. m ³
G. Nebeneffekt	staute See	staute See	staute See	staute See

Bergsturzsee von	1. Tal	2. Latamrang	3. Ghatta Khola
A. Länge, -breite, -tiefe	1.0x0.3x<0.1km	geschätzt: 5x0.8x0,4km gesichert: <2x0.3x0.05km	0.3x0.1x<0,1km
B. See-Volumen	10-15 Mill. m ³ (je nach Breite)	geschätzt: 500-800 Mill. m ³ gesichert: 15 Mill. m ³	1 Mill. m ³
C. Dammstabilität	stabil durch Zementation	instabil durch Erosion kataklatischen Materials	stabil durch Zementation
D. See-Lebensdauer	Alluvionen gefüllt in 200y	Erosionstunnels und Ausfluss nach <1000y	Alluvionen gefüllt nach <100y

Bergsturzsee von	4. Ringmo	5. Dharbang	6. Gohna Tal	7. Cui Hua
A. Länge, -breite, -tiefe	5.0x0.8x<0.2km	0.7x0.1x0.05km	4x<0.34x<0,3km	800x300x<20m
B. See-Volumen	350-400 Mill. m ³	geschätzt: 1.7 Mill. m ³	250 Mill. m ³	3 Mill. m ³
C. Dammstabilität	stabil durch Zementation	instabil durch Erosion kataklatischen Materials	instabil durch See-Ausbrüche	stabil durch Dammgröße
D. See-Lebensdauer	stabil nach 30-40ky	Erosionstunnels und Ausfluss nach 6 Stunden	Alluvionen gefüllt nach 78y	stabil nach über 2700y

Tab. 2: Charakteristische Parameter von sieben ausgewählten Bergstürzen und Stabilitätsbedingungen der ehemaligen Bergsturz-gestauten Seen im Himalaya und in China

IV. ERFORSCHUNG VON BERGSTÜRZEN UND FELSLAWINEN UND DEREN GESTAUTE SEEN IM TIBETISCHEN HIMALAYA

Die vermutlich größte Massenbewegung in den Tibetischen Sedimenten (Schiefer, Sandsteine, Kalke und Dolomite von Karbon bis Trias) ist der Bergsturz von Manang im Tal des Marsyandi nördlich des Annapurna-Massivs (Nepal), bei dem eine Gebirgsflanke entlang eines gestaffelten Abrissbereichs über eine Länge von 35 km (!) im Zuge des Rückgangs der letzten großen Vereisung abgerissen ist. Seine rudimentären Ablagerungen bedecken bis heute nachhaltig den Talboden und beeinflussen ihn sowohl geomorphologisch als auch geohydrologisch (Abb. 11).

Nördlich der Stadt Kyelong (Distrikt Lahul, Indien), nahe der Grenze von Himachal Pradesh zu Kashmir & Jammu (Ladakh), passiert die Manali-Leh-Road ebenfalls drei gewaltige Bergsturzgebiete – die Felslawinen (Sturzströme) von Darcha, Pateo und Sarai Kenlung –, die sich in Sedimenten der Tibetischen Zone des Himalaya ereigneten. Zwei dieser Felslawinen nahe Darcha (Abb. 12) und Pateo (Abb. 13) befinden sich im Tal des Bhaga Flusses, die dritte im Tal des Yünan Flusses, nahe der Alm Sarai Kenlung (Abb. 14) – beide Gebiete vom Bara Lacha Pass (4810 m) getrennt. Von besonderem Interesse ist die Tatsache, dass diese drei Bergsturzgebiete nicht nur spezielle Landschaftsformen, sondern auch rezente Gefahren schaffen. Auch die Frage wurde erörtert, ob deren präexistierende Strukturen und auslösende Faktoren in einer engen Beziehung stehen. Aus diesem Grund wurden vom Autor in den Jahren 1995 und 2000 geologisch-geomorphologisch-geotechnische Forschungsexkursionen in dieses Gebiet durchgeführt, die sich mit Bergsturzkatastrophen und damit verbundenem Geschehen entlang der genannten Straße beschäftigten (Tab. 3).

Ergebnisse der Forschungsarbeiten von Darcha, Pateo und Sarai Kenlung (Indien)

- i) Die Studie zeigte, dass das Gebiet vom Bhaga Fluss über den Bara Lacha Pass (4810 m) zum Yünan Fluss und der Sarchu Ebene im Norden von Indien im allgemeinen und besonders im Himalaya eine dichte Verteilung von großen Bergstürzen (resp. Felslawinen, Sturzströmen) aufzuweisen hat. (Weidinger 2000b; Weidinger, Ibetsberger, Nuschej 2002; Weidinger, Nuschej 2001).
- ii) Die drei Bergstürze sind Repräsentanten von Gebirgskatastrophen des Spätglazials (Sarai Kenlung), des Postglazials (Pateo) sowie aus der Gegenwart (Alter von Darche: 250 Jahre) und dokumentieren somit ein zeitlich durchlaufendes Gefahrenmoment.
- iii) Ein Grund für diese Tatsache könnte in der wechselnden Gesteinsbeschaffenheit der Tibetischen Zone innerhalb der Phe-, der Karsha- und der Thaple-Formation, sowie der Muth Quarzite und der Kioto Kalke sein. Auch die komplexe tektonische Struktur und die damit verbundene Möglichkeit von Erdbeben mit großer Magnitude in dieser seismisch aktiven Zone könnte ein Auslöser für die Massenbewegungen sein.
- iv) Die Erdbeben könnten die Auslöser der größeren Bergstürze (Pateo, Sarai Kenlung) gewesen sein, wohingegen schwere Niederschläge während des Monsuns Auslöser für die kleineren Ereignisse, wie Darche und zahlreiche andere rezente Massenbewegungen waren.
- v) Es konnte gezeigt werden, dass nicht nur die alten Abrissbereiche der Felslawinen, sondern auch deren Ablagerungsräume Gefahren erzeugen können. Nicht zuletzt erlaubte es die Studie aber auch, das Risiko des rezenten Gefahrenmoments in Bezug auf Felslawinen einzuschätzen. So kann etwa die Kartierung von präexistierenden Anlagen und auslösenden Faktoren vergangener Ereignisse als Indikator fungieren, um weitere Bergsturz-gefährdete Bereiche mit instabilen Bedingungen entlang des genannten Verkehrsweges zu bestimmen.

Bergsturz von	1. Darcha	2. Pateo	3. Sarai Kenlung
A. Alter	200–300y	postglazial	postglazial
B. Geologisch-stratigraphische Position	Tibetische Sedimente Phe Formation	Tibetische Sedimente Karsha Formation	Tibetische Sedimente Thaple Formation
C. Lithology	Quarzite, Phyllite	Kalke, Dolomite	Konglomerate, Quarzite
D. Vertikal Distanz vom Abriss zum Ablagerungsraum	< 1000m	< 1800m	ca. 1000m
E. Horizontale Distanz vom Abriss zum Ablagerungsraum	< 2,5 km	< 4500m	< 3500m
F. Größe des Ablagerungsraums	ca. 0,5 km ²	ca. 2 km ²	3,5km ² - 12km ²
G. Volumen	ca. 25 Mill. m ³	ca. 150 Mill. m ³	ca. 350 Mill. m ³
H. Materialzusammensetzung	Schollen und Blöcke	zerrüttete, kataklastische Gesteinsfragmente	zerrüttete, kataklastische Gesteinsfragmente
I. Größe der Blöcke	< 5m	< 5m	< 10m
J. Nebeneffekte	zerstörte ein Dorf	staute 2 kleine Seen	staute 1 große See
K. Potentielles Risiko	hohes Risiko in kleinem Bereich	geringes Risiko	riskant im Ablagerungsraum und in Teilen des Abrisskamms

Bergsturz von	1. Pateo	2. Sarai Kenlung
A. Seelänge, -breite, -tiefe	1. See: 6x<1x<0,1km 2. See: 2,5x <0,5x<0,1km	2,5x<1x<0,1km
B. Volumen des Sees	1. See: 300 Mill. m ³ 2. See: 62,5 Mill. m ³	125 Mill. m ³
C. Dammstabilität	tiefe Gully-Erosion von beiden Seen durch den Ablagerungsraum	stufenweise Erosion
D. Lebensdauer des Sees	beide verschwanden in relativ kurzer Zeit	< 3500 y (gezählte Warven der Seesedimente)

Tab. 3: Charakteristische Parameter der Felslawinen von Darcha, Pateo und Sarai Kenlung und die Stabilitätsbedingungen der ehemaligen Bergsturz-gestauten Seen



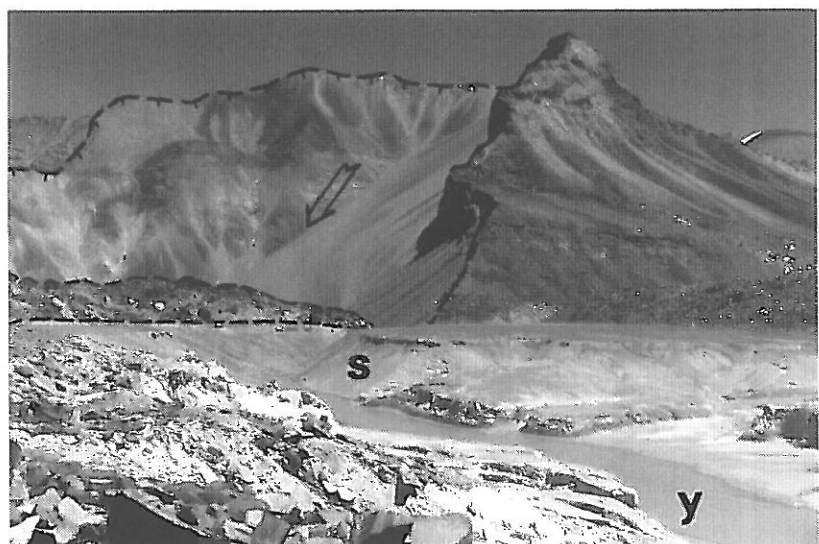
↑Abb. 11: Blick über das Bergsturzgebiet (---) im Tal des Marsyandi Flusses (m) bei Manang (Foto: Weidinger 1993).

↓Abb. 12: Der Bergsturz von Darcha im Tal des Bhaga Flusses (b) vernichtete vor ca. 250 Jahren die alte Ortschaft Sum Do (= drei Flüsse); Abrisskamm (-.-.), Ablagerungsraum (---), Bewegungsrichtung (⇐).



←Abb. 13: Bergsturzgebiet von Pateo im Tal des Bhaga Flusses; Ablagerungsraum (---). Gully-Erosion (g) führte zum Auslaufen der beiden gestauten Seen.

→Abb. 14: Bergsturz von Kenlung Sarai im Tal des Yünan Chu Flusses (y); Abrisskamm (-.-.), Teil des Ablagerungsraumes (---), Sedimente des ehemals gestauten Sees (s), Bewegungsrichtung (⇐).



(Fotos 12-14: Weidinger 2000).

V. ERFORSCHUNG VON MASSENBEWEGUNGEN IM LÖSSPLATEAU DER PROVINZEN SHAANXI UND GANSU DER VR CHINA

Ein österreichisch-chinesischer Expertenaustausch auf universitärer Ebene führte den Autor im Frühjahr 1997 drei Monate an die Nordwest Universität (Xibei-Daxue) von Xi'an, Provinz Shaanxi, VR China. Gemeinsam mit chinesischen Geowissenschaftlern, Spezialisten und Politikern besuchte man Gebiete um die Stadt Xi'an, wie die Lintong-Berge und den Raum um die Kleinstadt Lantian (Beloyan-Lössplattform). Ferner wurden größere Areale um das Kohleminenrevier von Tungchuan, ca. 100km nördlich der genannten Stadt, sowie die Bereiche des Gau-La-Berges, des Ta-Pan-Xia Staudamms (Abb. 16) und des Tales von Yan-Guo-Xia (Haifangtai-Lössplattform) um Lanzhou, Hauptstadt der Provinz Gansu, genauer inspiziert. Das Hauptaugenmerk des Forschungsaufenthalts lag auf einer Analyse präexistierender Anlagen, auslösender Faktoren und den Bewegungsursachen einer Reihe von unterschiedlichen Rutschungen im zentralchinesischen Lössplateau. Bei den ingenieurgeologischen und morphologischen Studien an diesen Lössrutschungen wurden neben den wegbereitenden und auslösenden Faktoren auch Folgeerscheinungen und Rekultivierungsmaßnahmen untersucht. Daneben konnte ein ausgezeichneter Eindruck von der chinesischen Lebensweise außerhalb der städtischen Agglomerationen gewonnen, sowie die damit verbundenen, unterschiedlichen Rekultivierungsmaßnahmen nach stattgefundenen Massenbewegungen studiert werden (Weidinger 2001c; 2002f; Weidinger, Ibetsberger, Wang, Ma 2001).

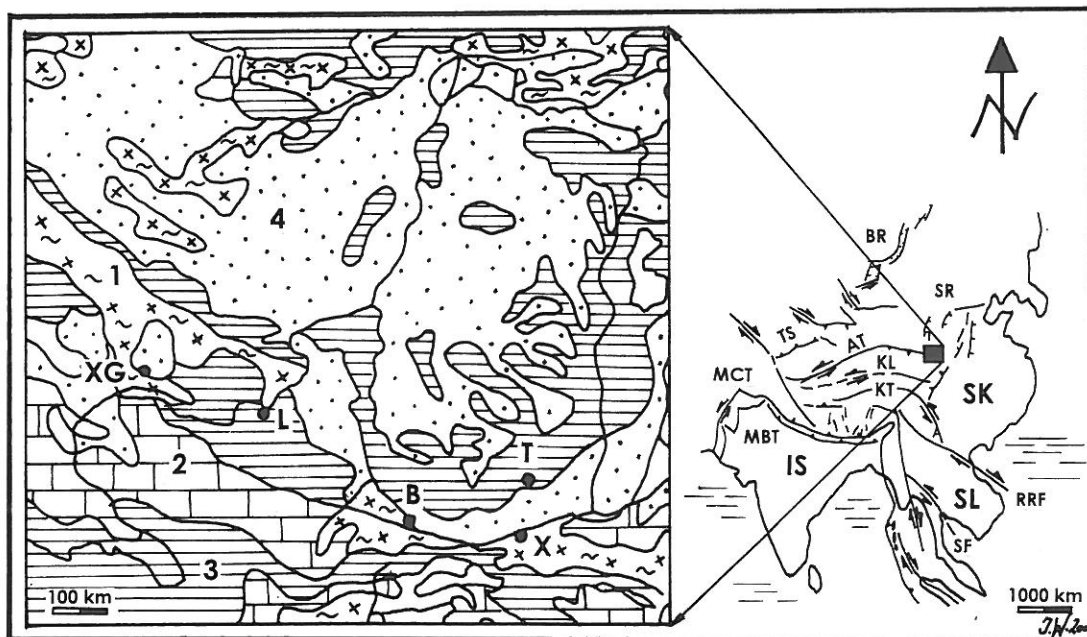
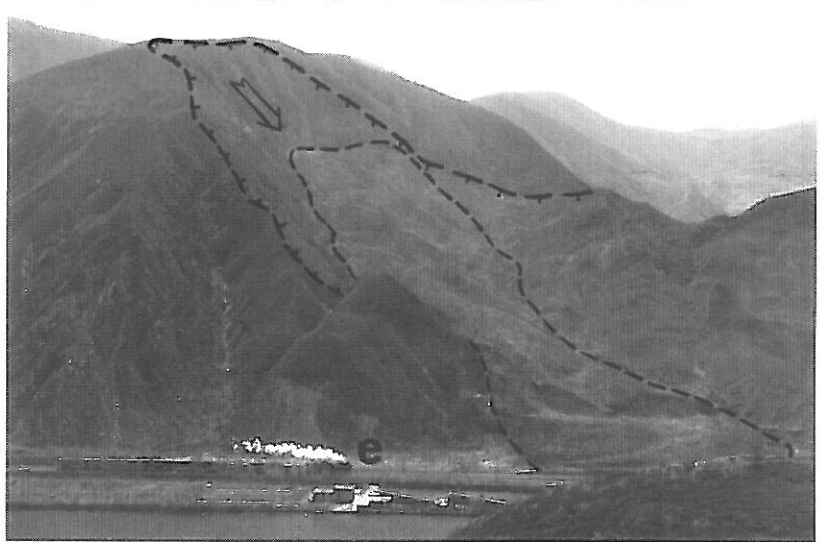


Abb. 15: Geologischer Rahmen des Forschungsgebietes in China: 1 - Magmatite und Metamorphite, 2 - Karbonatische Gesteine, 3 - Sedimente, 4 - Löss (unkonsolidiert), XG - Xining, L - Lanzhou, B - Baoji, T - Tungchuan, X - Xi'an (Geotektonische Position nach Tapponnier et al., 1986: IS – Indischer Subkontinent, SK - Südchina-Kraton, SL - Sundaland, MCT - Main Central Thrust und MBT - Main Boundary Thrust (Himalaya), SF - Sagaing-Störung, RRF - Red-River-Störung, KT – Kang-Ting, KL – Kun-Lun, SR – Shaanxi Riftsystem, TS – Tien-Shan, BR - Baikal Riftsystem).

Untersuchungsergebnisse der Rutschungen im Löss-Plateau der VR China

- i) Als auslösende Mechanismen der spontan-gravitativen Lössrutschungen mit meist großen Verwüstungen konnten in erster Linie klimatologisch-meteorologische Faktoren (episodisch auftretende Starkniederschläge) festgestellt werden.
- ii) Weitere Auslöse- und Bildungsmöglichkeiten von Bergstürzen und Rutschungen in Shaanxi und Gansu können aber auch geologische Strukturen, die im Übergangsbereich zwischen dem Kun-Lun-Gebirge und dem Qin-Ling-Gebirge auftreten, sein. In diesem weiten Gebiet gibt es eine Reihe großer Erdbebenzonen, deren Aktivitäten als Auslöser wirken.

→ **Abb. 16: Löss-Rutschung**
 (Abrisskamm, -.-.-;
 Bewegungsrichtung, ⇐)
 hinter dem Ta-Pan-Xia-
 Damm westlich von
 Lanzhou, dessen
 Ablagerungsraum (---) die
 Eisenbahnstrecke (e) von
 Lanzhou nach Xining
 vernichtete.



← **Abb. 17: Klüfte und oberflächliche
 Entspannungsrisse im Löss**
 von Tungshuan, die zur Abwasserbeseitigung (a)
 genutzt werden.



**Abb. 18: Rutschungen an
 der Haifangtai-
 Lössplattform; Süd- (↑)
 bzw. Ostflanke (⇐, z.T.
 rekultiviert);
 Abrisskamm (-.-.-),
 Ablagerungsraum (---),
 Bewegungsrichtung (⇐).**

(Fotos 16-18: Weidinger
 1997).

- iii) Mit zunehmendem Ausbau der Bewässerungskanäle in und um das Guangzhong-Becken von Shaanxi, die von den Flüssen Jing, Luo, Wei und Baha gespeist werden, kam es aber auch zur Anhebung des Grundwasserspiegels, was ebenfalls als Auslösemechanismus für Rutschungen im Löss-Tafelland (Löss Plattformen) verantwortlich ist.
- iv) Im Bereich der Innenstadt von Tungchuan sind es vor allem der unkontrollierte Wohnbau durch das immense Bevölkerungswachstum der letzten Jahrzehnte und die nicht geregelte Abwasserwirtschaft (zum Beispiel unmittelbar in präexistierende Klüfte im Löss), die als Auslöser für die kleinräumigen Lössrutschungsverwüstungen in Frage kommen (Abb. 17).
- v) Auslöser der Rutschungen der Haifangtai-Lössplattform war der Anstieg des Grundwasserspiegels im Löss durch die seit 1963 startende, verstärkt seit 1968 angelaufene Besiedelung auf der Plattform, nach dem Bau des talaufwärts gelegenen Wasserspeichers von Liujiaxia und der Migration der ehemals dort ansässigen Bevölkerung auf diese Lössplattform. Die landwirtschaftliche Bewässerungsmenge war zu hoch und der neu entstandene Grundwasserspiegel induziert seit dem Jahr 1985 eine große Anzahl von Rutschungen an der Löss-Terrassenkante.
- vi) Die oft beträchtlichen geomorphologischen Veränderungen der häufig landwirtschaftlich genutzten Gebiete werden, nach der Konsolidierung der abgelagerten Massen je nach Dringlichkeit größtenteils von der lokalen Bevölkerung rekultiviert (Abb. 18).

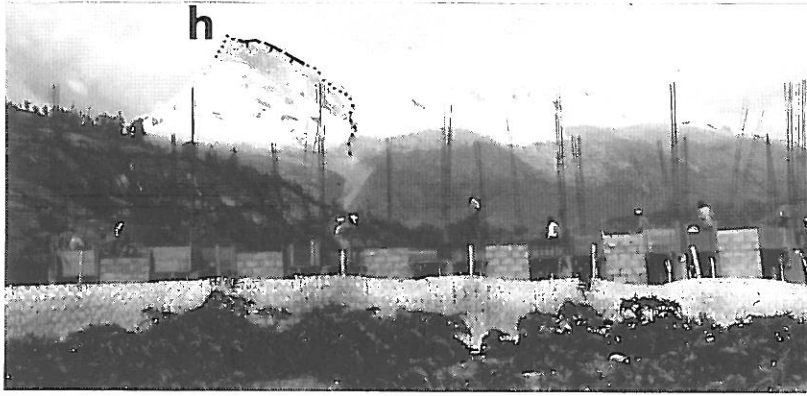
VI. BERGSTURZFORSCHUNG IN DER SEISMO-VULKANISCH AKTIVEN ZONE DER SÜDAMERIKANISCHEN KORDILLEREN

Durch die Forschungen am Tsergo Ri Bergsturz angeregt, schien es im Zuge der langjährigen Untersuchungen von Bedeutung, auch eine Vergleichszone heranzuziehen, in der eindeutig belegt werden konnte, dass große Bergstürze durch Erdbeben und damit assoziierter vulkanischer Tätigkeit ausgelöst werden können. Aus diesem Grunde wurden im Frühjahr 1994 widrige Bedingungen in Asien (Pestepidemie in Indien und Kathmandu) genutzt, um eine privat finanzierte Forschungsreise nach den dafür bestens geeigneten Anden zu unternehmen.



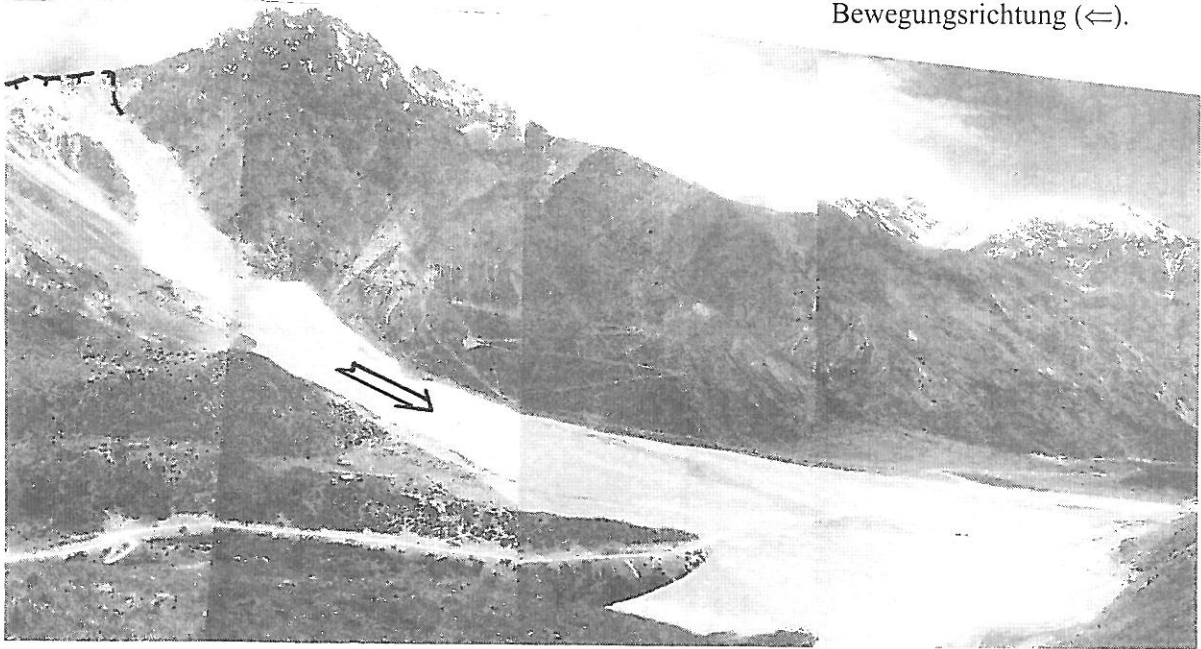
Abb. 19: Lage der in Südamerika untersuchten Massenbewegungen

1. Huascarán, 2. Parinacota, 3. Aconcagua, 3. El Volcan (Geotektonik: Minster, Jordan 1978)



← **Abb. 20: Der Gefahrenbereich am Fuße des Huascarán (h) erfreut sich weiterhin reger Bautätigkeit; Abrissbereich (-.-.).**

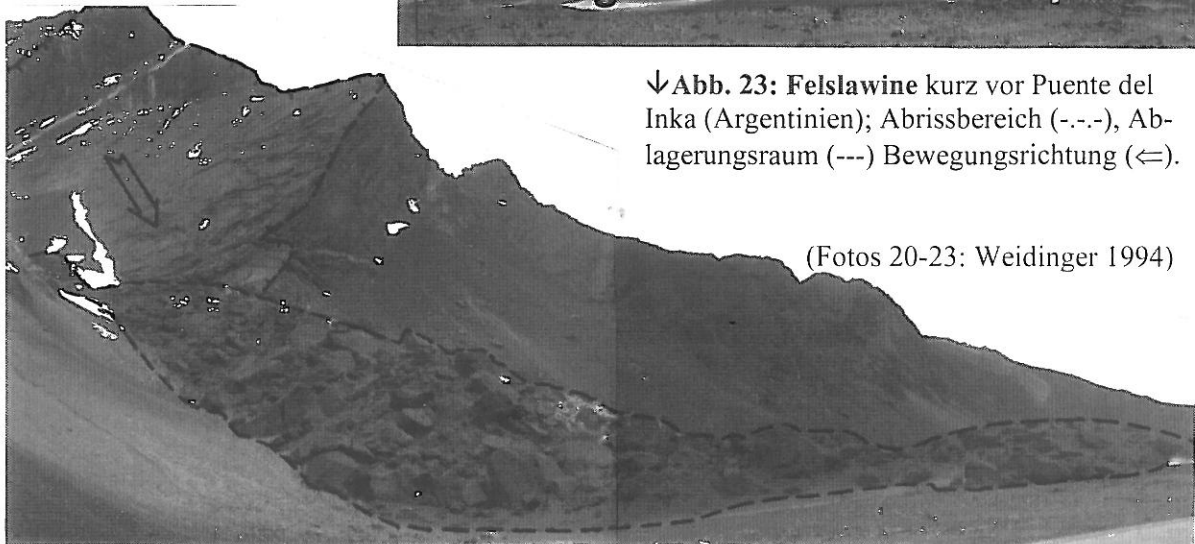
↓ **Abb. 21: Schussstrom von El Volcan in Chile mit ähnlicher Wirkungsweise wie jene vom Huascarán in Peru; Abrissbereich (-.-.), Bewegungsrichtung (⇐).**



→ **Abb. 22: Am Fuß des Vulkans Parinacota befinden sich auf 150 km² Fläche Kuppen (k, Gleitschollen) mit Seen (s) – Ablagerungen eines Flankeneinbruchs, der sich vor 15000–17000 Jahren ereignete.**



↓ **Abb. 23: Felslawine kurz vor Puente del Inka (Argentinien); Abrissbereich (-.-.), Ablagerungsraum (---) Bewegungsrichtung (⇐).**



(Fotos 20-23: Weidinger 1994)

Die größten Bergsturzkatastrophen in den Anden waren die durch Erdbeben ausgelösten Fels- und Gletscherstürze vom 6654m hohen Huascarán-Gipfel (Cordillera Blanca), im Norden von Peru. Hausgroße Blöcke rasten mit bis zu mehr als 300 Stundenkilometer in einer Schlammlawine zu Tal. Dabei kamen 1962 über 4000 und im Jahre 1970 über 22000 Menschen aus den nahen Orten Yungay und Ranrahirca ums Leben. Ein weiterer Ansatzpunkt waren Bergstürze, die sich unmittelbar an Vulkanflanken ereignen. Denn in der morphologischen Entwicklung eines Vulkankegels ist das bergsturzartige Einbrechen eines Flankenteils ein durchaus zu beobachtendes Phänomen. Aber erst mit dem im Jahre 1980 erfolgten Ausbruch des Mt. St. Helens (USA) oder jenem des Pinatubo (Philippinen) im Jahre 1991 wurde auch der Öffentlichkeit klar, dass Flankenabbrüche an Vulkanen verheerende Schuttlawinen in Gang setzen können. So standen die Berg- und Gletscherstürze des Huascarán (Peru), die Flankenabbrüche des Vulkans Parímacota im Lauca Nationalpark und der Bergsturzstrom von El Volcán (beide Chile) sowie Berg- und Felsstürze im Bereich des 6954m hohen Aconcagua (Argentinien) im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Ergebnisse der Forschung in den peruanischen, chilenischen und argentinischen Anden

- i) Da Paläoseismik und rezente seismische Aktivitäten oftmals in Kombination mit vulkanischer Tätigkeit den Hauptgrund für den Einsturz von Bergflanken darstellen, ist es allgemein äußerst wichtig, auch seismo-tektonische Studien, Arten von seismisch und vulkanisch aktiven Störungszonen und Korrelationen von Störungen und dem Versagen von Bergflanken in die Bergsturzforschungen mit einzubeziehen.
- ii) Stille Zeugen gewaltiger prähistorischer Gletscherstürze vom Huascarán (Peru) konnten auch in jenen Bereichen gefunden werden, die heute nach den beiden großen Unglücken von 1962 und 1970 in vermeintlich ungefährdetem Gebiet wieder besiedelt werden (Abb. 20).
- iii) Die Wassersättigung einer relativ geringen Gesteinsmenge im Abrissbereich (im Falle des Huascarán war es Gletschereis) kann durch Entstehung eines Murschussstroms zu einer Vervielfachung der Laufweite und des Ablagerungsraumes führen, was am Beispiel von El Volcán verdeutlicht wurde (Abb. 21).
- iv) Der Vorgang des Abgleitens einer Vulkanflanke muss nicht unbedingt mit einem Ausbruch einher gehen. Im Beisein von flüssiger Lava allerdings verstärken sich manche Erscheinungen, wie etwa die Laufweite oder die Verteilung von Schuttlawinen, Gleitschollen und Ignimbriten, wie dies am Parímacota (Chile) der Fall war (Abb. 22).
- v) Eine der wesentlichsten Unterschiede zu normalen Bergstürzen ist bei Flankeneinbrüchen an Vulkanen das spätere morphologische „Verheilen“ der Abrissnische am Vulkankegel durch nachfolgende Vulkanausbrüche. In solchen Fällen ist die Deutung der abgelagerten Massen als Bergsturzmaterial um so schwieriger, was die Einstufung des Gefahrenpotentials betrifft. Gerade der Parímacota ist eines der interessantesten Beispiele dieses letztgenannten Typus.
- vi) Auch im näheren Umfeld des vulkanisch-seismisch relativ inaktiven Massivs des Aconcagua kommt es immer wieder zu massiven Felslawinen (Abb. 23).

VII. BERGSTURZFORSCHUNG IN DEN NÖRDLICHEN KALKALPEN ÖSTERREICHS

Mit dem neuen Aufgabenbereich des Autors, der Leitung des Erkudok© Instituts im Stadtmuseum von Gmunden, wurde auch der Schwerpunkt der Bergsturzforschung in eine andere Richtung gelenkt. Neben der Dokumentation aller bekannten großen Massenbewegungen im Salzkammergut, wie etwa der Bischofsmütze (Abb. 25), dem Sandling (Abb. 26) und der Zwerchwand, im Zuge der Arbeiten am Erkudok© Institut, wird großes Augenmerk auf die Erforschung der Erd- und Schuttströme des Gschlifgraben (Abb. 27) und der Berg- und Felsstürze der Traunstein-Westwand (Abb. 28) bei Gmunden gelegt. Aufgrund seines außergewöhnlichen Erscheinungsbildes wird aber besonders dem Bergsturz in der Hetzau im Almtal, der im Toten Gebirge, im Gebiet des Großen Priels (2515m) liegt, wissenschaftliche Aufmerksamkeit gewidmet (Daxner, Weidinger 2001; Weidinger 1999b; 2001a; 2001e; 2001f; 2001g; 2002b; 2002c; 2002e; 2002g; 2002h).

Dieser Bergsturz im Almtal gehört mit einem Ablagerungsgebiet von über 12 Kilometer Länge zu jenen Massenbewegungen der Alpen mit den größten Reichweiten. Während die Deutung der mächtigen quartären Lockersedimente in der Hetzau, einem Seitental des Almtals am Fuße des Toten Gebirges, als Bergsturzmassen bestätigt wurden, scheint es sich bei dieser, einer der größten spätglazialen Massenbewegungen der Alpen um einen „Bergsturz ohne Herkunftsgebiet“ zu handeln. Untersuchungen des Erkudok© Instituts, die im Sommer 2001 an der angeblichen Abrissnische im Bereich der beiden Hochplattenkogel, ca. 5 km westlich des Großen Priels (2515m) durchgeführt wurden, brachten keine Bestätigung dieser Vermutung, sondern liefern eine neue, plausible Möglichkeit der Herkunft der Sturzmassen.

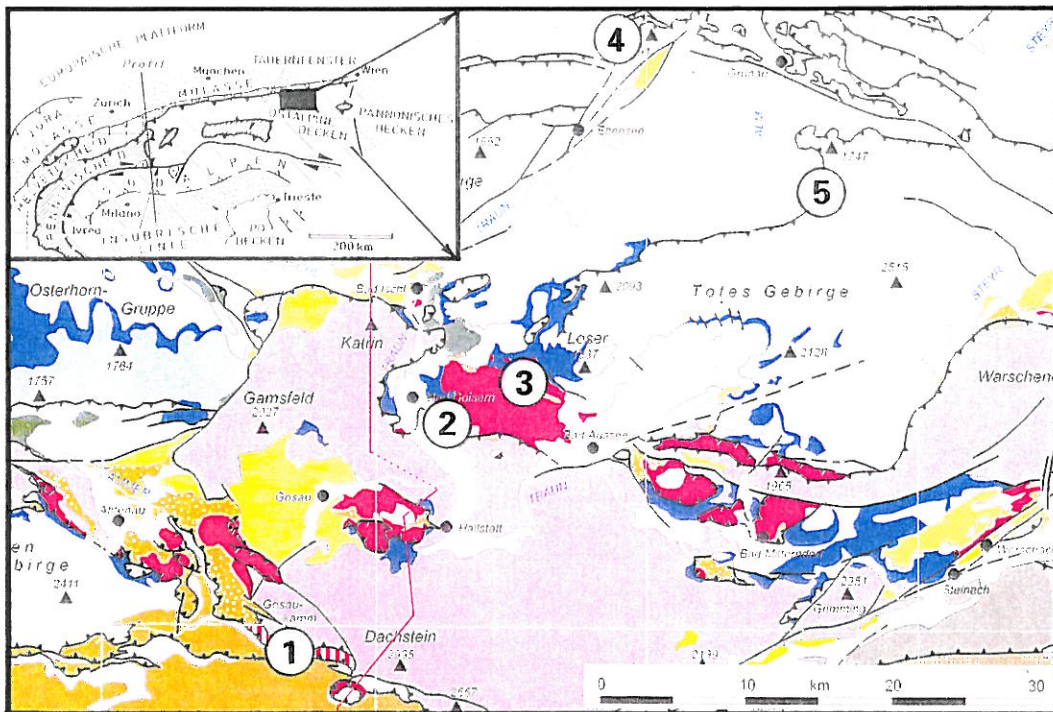


Abb. 24: Lage der untersuchten Berg- und Felsstürze in den Nördlichen Kalkalpen
 1. Bischofsmütze, 2. Zwerchwand, 3. Sandling, 4. Gschlifgraben und Traunsein-Westwand,
 5. Bergsturz im Almtal (Geotektonik: Laubscher 1988; Tektonik: G.W. Mandl 2000).

Ergebnisse der Untersuchungen im Salzkammergut mit besonderer Berücksichtigung des Abrissbereichs des Bergsturzes in der Hetzau

- i) Alle genannten Massenbewegungen befinden sich in keinem stabilen Zustand. Die ständige Dokumentation ihrer Aktivitäten ist ein brauchbares Mittel zur Vorhersage von weiteren, von ihnen ausgehenden Gefahren.
- ii) Die Umrandung des Büchsenkars mit den Gipfeln Östlicher Hochplattenkogel (2154m), Westlicher Hochplattenkogel (2073m) und Jakobinermitze (1997m) zeigt keine morphologischen Anzeichen einer Aus- oder Abbruchsnische eines Bergsturzes. Sie wurde lediglich glazial angelegt und überprägt.
- iii) Strukturgeologische Untersuchungen an den Hochplattenkogeln zeigten keine signifikante Kluft- oder Störungsrichtung die Wand-parallel oder aus der Wand geneigt wäre und damit eine bevorzugte Abgleitrichtung der Gesteinspakete vorgäbe. Vermeintliche Platten entstanden größtenteils durch die erosive Tätigkeit der ehemaligen Gletscher. Der Name des Berges stammt nicht von solchen Störungen sondern von den nach S einfallenden Bänken des Dachsteinkalks.
- iv) Nach eingehender Untersuchung des Talschlusses der Hetzau konnte eine Flanke östlich desselben, die vom W-Grat des Kreuzes (2174m) sowie dem nach Norden ziehenden Verbindungsgrat zum Zwillingkogel (2184m) und dessen WNW-Grat begrenzt ist, als mögliche Ausbruchsnische erkannt werden (Abb. 29).



← Abb. 25: Der Bergsturz von der Bischofsmütze (Foto: Hanke 1993).

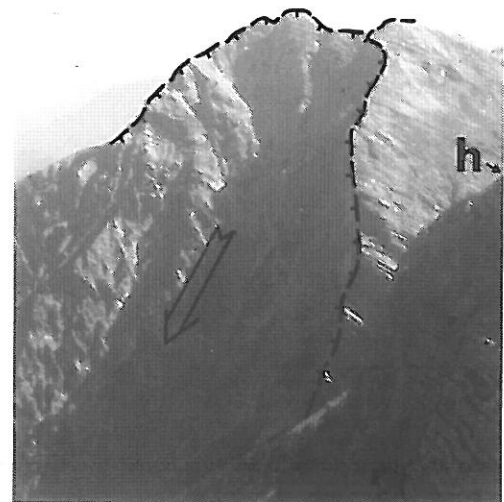
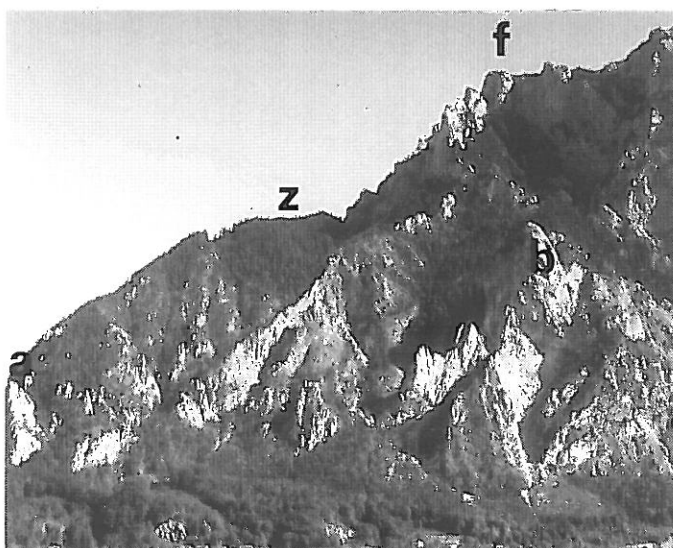


↑ Abb. 26: Abrissbereich des Sandling Bergsturzes von 1920; stark zerrüttete und Absturz-gefährdete Felsmasse.



↑ Abb. 27: Murstrom des Gschlifgraben.

→ Abb. 29: Bergsturz im Almtal; Abrissbereich (-.-.), Bewegungsrichtung (⇐), Welser Hütte (h).



← Abb. 28: Bergzerreißungen in der Zirlerberg(z)-Scholle, am Fuße der Traunstein-Westwand; Adlerhorst (a), Brandkogel (b), Fahnenkogel (f); (Fotos 26-29: Weidinger 2001).

VIII. WELTWEITE ERFORSCHUNG ANTHROPOGEN GENERIERTER STILLER ZEUGEN VON GEBIRGSKATASTROPHEN

In allen bisher beschriebenen Untersuchungsgebieten (Nördliche Kalkalpen, Anden, Himalaya, Qin Ling Gebirge samt Löss-Plateau der VR China) beschäftigte man sich neben der ingenieurgeologischen und geomorphologischen Kartierungen von Gebirgsgefahren (Berg- und Felsstürze, Rutschungen und Vermurungen) in diversen Detailstudien mit dem unterschiedlichen Verhalten lokaler Bewohner gegenüber der Gefahr, deren Leben, Häuser, technische Konstruktionen und Agrarfelder durch Felslawinen und Murströme etc. zu verlieren. Dabei konnten eine ganze Reihe von Trends beobachtet und erarbeitet werden, wie menschliche Gegenmaßnahmen in Bezug auf Gebirgsgefahren und -katastrophen zu Stillen Zeugen derselben und damit zu brauchbaren Hilfen bei der Einschätzung oder Kartierung solcher Gefahrenmomente werden können. Untersucht wurden nur Bereiche, in denen nicht nur die Gefahr sondern auch die Gefährdung von Menschenleben und Kulturland omnipräsent war und teilweise immer noch ist (Weidinger 2001b; 2002a; 2002d).

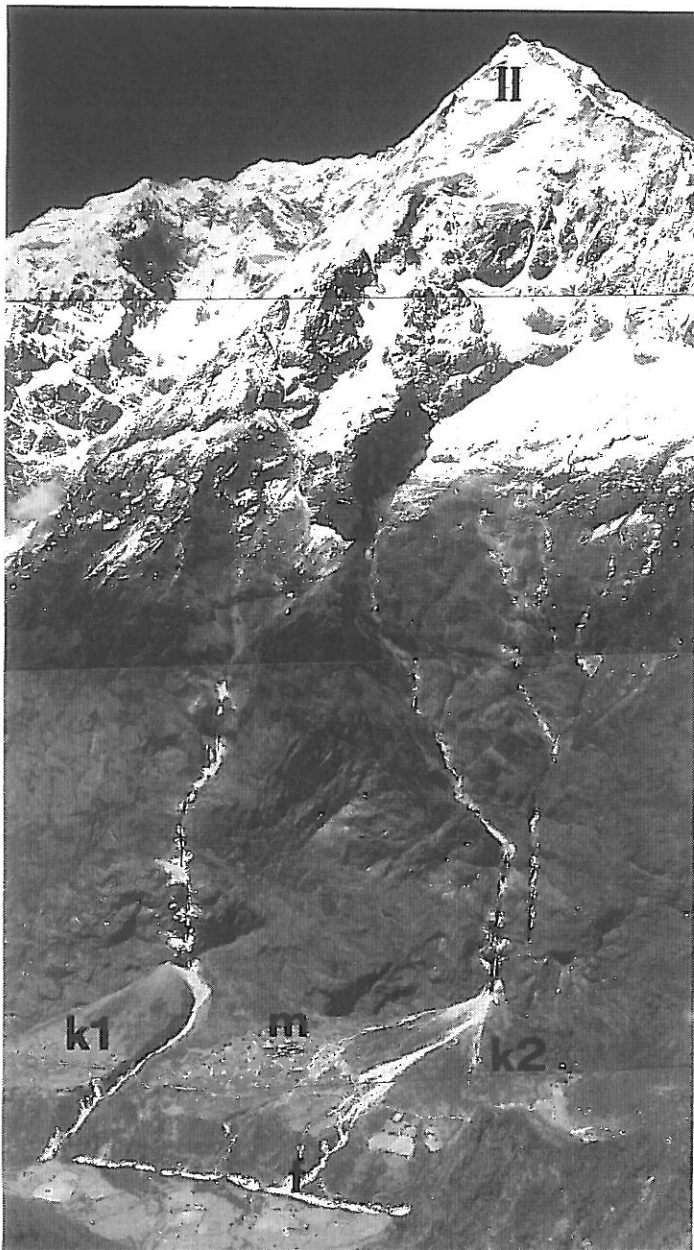
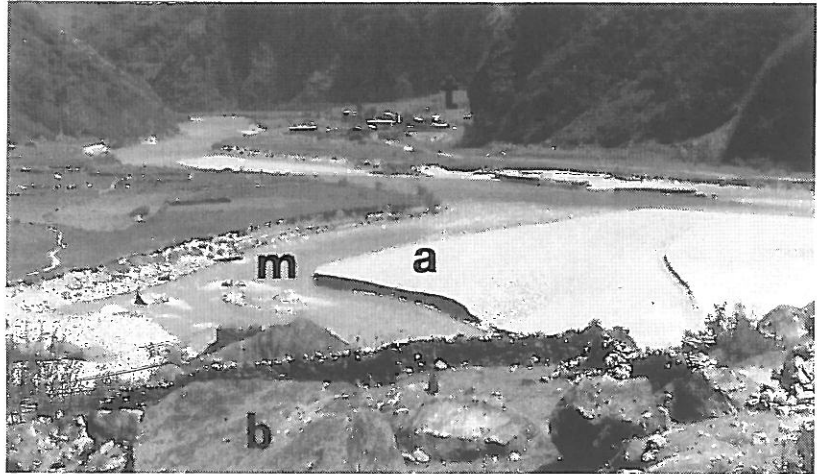
Ergebnisse der Erforschung Stiller Zeugen

- i) Oft weisen bereits Namen auf das ehemalige Vorhandensein einer geologisch-geomorphologischen Besonderheit hin (Abb. 30).
- ii) Es konnte beobachtet werden, dass es in bestimmten Fällen durch das Fehlverhalten lokaler Bevölkerung oder durch religiös-mythologisch bedingte Motivation zu einer Wiederansiedlung im gefährdeten Bereich kam. So forderte der Bergsturz von Dharbang (Westnepal) im Jahre 1923 mehr als 500 Menschenleben und im Jahr 1988 weitere 50 Menschenleben der wieder angesiedelten Bewohner. Auch die Bautätigkeit im Gefährdungsbereich des Huascarán ist dafür ein gutes Beispiel.
- iii) Unter diesen Themenkreis fällt auch die Rekultivierung von durch Bergstürze und Rutschungen zerstörter Landschaft, die nicht immer unproblematisch sein kann. Ein Beispiel dafür sind die Ablagerungsräume der Lössrutschungen von Yan Guo Xia in China, die jederzeit durch weitere Rutschungen erneut bedroht werden können oder zahlreiche Massenbewegungen in Sikkim (31).
- iv) Positiv ist die ausdrückliche Verlagerung von Ortschaften aus dem Gefahrenbereich zu erwähnen (was im übrigen sehr selten der Fall ist!), wie dies etwa im Fall des Bergsturzes von Darcha praktiziert wurde. Dort wurde nach der vor 250 Jahren erfolgten Zerstörung der alten Ortschaft Sum Do durch das katastrophale Ereignis das neue Dorf Darcha in nahezu ungefährdetem Bereich wieder errichtet.
- v) Einen großen Stellenwert in allen besiedelten Hochgebirgen der Erde nimmt die oft über Jahrhunderte erfolgte Errichtung religiös motivierter Bauwerke ein, die in vielen Fällen zumindest Schutz- und Abwehrfunktion haben und auf längst vergangene Katastrophen hinweisen. Bekannt sind dafür Kapellen und Kirchen in den Alpen und den Anden oder Chörten im buddhistischen Himalaya (Abb. 32). Ein echtes Beispiel für eine derartige Wildbach- bzw. Lawinenkontrolle konnte aus dem Langthangtal berichtet werden (Abb.33).
- vi) Nur in Ausnahmefällen kann man von einer regelrechten Nutzung der meist seltenen Vorzüge einer Gebirgskatastrophe durch Menschen sprechen. Dafür ist wohl der Ablagerungsraum der Felslawine von Cui Hua samt dem gestauten Tianchi See im Qin Ling Gebirge der VR China das beste Beispiel. Bis heute werden die Bergsturzmassen als Lebensraum und der See als Wasserspeicher genutzt.

IX. ANMERKUNGEN

Eine ganze Reihe von Personen, die hier nicht alle genannt werden können, waren am Zustandekommen der weltweiten Forschungsarbeiten mit dem Hauptthema Massenbewegungen von Bedeutung. Der Dank des Autors gilt seiner Lebensgefährtin, Frau Barbara Bergmayr, seinen beiden Söhnen Max und Leo sowie seinen Eltern, Elfriede und Johann Weidinger. Besonders sei aber den Projektleitern,

→ Abb. 30: Der Name der Ortschaft Tal (t; = See; nepalesisch) im Tal des Marsyandi Flusses (m) hinter der Annapurna ist ein „Stiller Zeuge“ für einen ehemals durch eine Felslawine (b) gestauten, heute durch Alluvionen (a) gefüllten See.

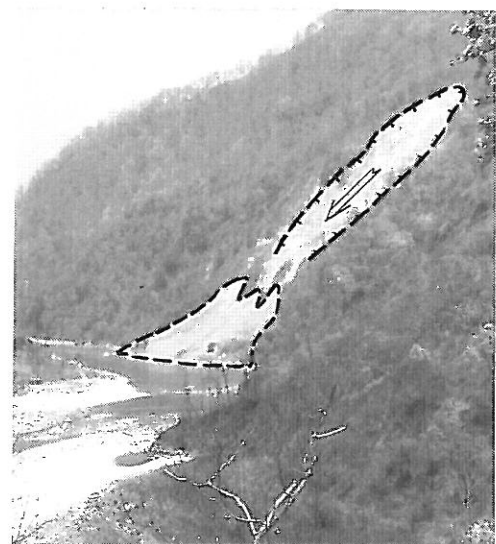


↑ Abb. 33: Der Langthang Lirung (II; 7234m) überthront um gut 3600m das zwischen zwei Lawinenschuttkegel (k1 und k2) eingebettete Dorf Mönдрong (m); Langthang Khola Fluss (f). Die Felder (grün) werden durch „Mani-Mauern“ geschützt (Foto: Weidinger 1991).

↓ Abb. 32: Hunderte Chörten als Kontrolle vor Vermurungen und als Schutz und Abwehrschild beim Palast von Shey, Ladakh, Indien (Foto: Weidinger 2000).



↓ Abb. 31: Rutschung im Tal der Tister, Sikkim; Abrisskamm (---), Ablagerungsraum (---), Bewegungsrichtung (⇐); (Fotos 30-31: Weidinger 1993).



Herrn Univ. Prof. J.-M. Schramm (Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Salzburg) und em. Univ. Prof. Dr. H. Heuberger sowie Kollegen Dr. H. J. Ibetsberger (beide vom Institut für Geographie, Universität Salzburg) für die gemeinsamen Forschungsjahre auf drei Kontinenten 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 viele der Forschungsergebnisse und speziell jene von Langthang in Form eines Geländemodells des Bergsturzes samt einer umfassenden Gesteins- und volkskundlichen Sammlung in einem Sonderschauraum des Stadtmuseums 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) sowie von der Universität Salzburg (Habitationsstipendium des Auslandsreferats) unterstützt.

ANHANG I: BERGSTURZ-PUBLIKATIONEN DES AUTORS

- Daxner F., Weidinger J.T. (2001). Wandern in der Ferienregion Traunsee. Studienverlag (Edition Löwenzahn), 132p., Innsbruck.
- 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. Abstract Volume 12th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, 149-150, Rom.
- Ibetsberger H.J., Weidinger J.T. (1997)a. Studies of erosional cracks in the Tsergo Ri landslide area, Langthang Valley, Nepal. Abstract Volume 12th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, 49-51, Rom.
- Ibetsberger H.J., Weidinger J.T. (1997)b. Geomorphic Hazard Studies of two big Landslide Areas (Langthang Himal - Nepal, Qin Ling Mountains - P.R. China). Jour. Gansu Sci. Suppl. 9 (Sum. No.36), 109-112, Lanzhou, China.
- Ibetsberger H.J., Weidinger J.T. (2000). Role of extreme meteorological anomalies in initiating the Darbang Landslide, Dhaulagiri Himal, Western Nepal. Jour. Nepal Geol. Soc. 21, 35-40, Kathmandu.
- Ibetsberger H.J., Weidinger J.T. (2002). Auswirkungen spät- u. postglazialer Vorstöße von Seitentalgletschern auf die Entwicklung des Langtangtales zwischen Kyangjin Kharka und Langshisa Kharka / Nepal. Geoöko, *in Druck*.
- Schramm J.-M., Weidinger J.T. (1996). Distribution of electrical conductivity at Tsergo Ri landslide, central-north Nepal. In: Kaare Senneset (Editor), Proc. 7th Int. Symp. Landslides. Balkema, 889-894, Rotterdam.
- Schramm J.-M., Weidinger J.T., Ibetsberger H.J. (1996). Petrologic and structural control on geomorphology of prehistoric Tsergo Ri slope failure, Langtang Himal, Nepal. Geomorphology 26, 107 – 121, Amsterdam.
- Weidinger J.T. (1992). Der Tschuga-Pani-Treck - Abenteuer in Asien. Eigenverlag, 199p., Gmunden.
- Weidinger J.T. (1996). Zur Schnauze der Kuh - Mysteriöse Suche im Himalaya. Eigenverlag, 208p., Gmunden, Neu Delhi.
- Weidinger J.T.(1997)a. Case History and Hazard analysis of two lake-damming Landslides in the Himalayas. Jour. of Asian Earth Sciences 16, 323-331, Kidlington, Oxford.
- Weidinger J.T.(1997)b. The Lama Lodge - rockavalanche in the lower Langthang Valley - Nepal: progressive development of a landslide in the High Himalayan Crystalline. Jour. Nepal Geol. Soc. 16, 102-104, Kathmandu.
- Weidinger J.T.(1998)a. On the Stability of Landslide-dammed Lakes in the Annapurna Himalaya, Nepal. Proc. 13th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, Peshawar.
- Weidinger J.T. (1998)b. Progressive Development and Risk-Analysis of Rockavalanches; Case Study in the High Himalayan Crystalline of the Langthang National Park - Nepal. Jour. Nepal Geol. Soc. 18, 319 – 328, Kathmandu.
- Weidinger J.T. (1999)a. 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. Jour. Nepal Geol. Soc. 20, 143-144, Kathmandu.

- Weidinger J.T. (1999)b. Wege in die Vorzeit des Salzkammerguts. Studienverlag (Edition Löwenzahn), 200p., Innsbruck.
- Weidinger J.T. (2000)a. 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-meeting 2000, Seville.
- Weidinger J.T. (2000)b. Are the prehistoric Mountain Slides of Darcha, Pateo, Kenlung, Chumik Marpo, Dolma and Tso Tok Phu (SE-Zanskar) representative for recent Hazard-mapping along the Manali-Leh-Road (Northern India)? Abstract Volume of the IAEG meeting 2000, Hannover.
- Weidinger J.T. (2000)c. Der Tsergo Ri Bergsturz im Nepal Himalaya – Erforschung der größten Kristallinmassenbewegung der Erde als Grundlage für rezente Gefahrenzonenkartierungen. Tagungsband Geoforum Umhausen 2000, 9-11, Innsbruck.
- Weidinger J.T. (2000)d. Hinter den Riesen - eine Anden-Himalaya-Odyssee. R+B Verlag und Buchvertrieb, 231p., Burgkirchen-Steyr.
- Weidinger J.T. (2001)a. Das Institut ERKUDOK© im Stadtmuseum Gmunden und die bisherigen Projekte von 1998 – 2001. Ber. d. Geol. B. A. 56, 117-119, Wien.
- Weidinger J.T. (2001)b. Torrent and Avalanche Control by Sacred Buddhist Buildings in the Langthang Himalaya, Nepal. Jour. Nepal Geol. Soc., 23, Kathmandu.
- Weidinger J.T. (2001)c. Rutschgefährdete Talflanken im Lössplateau der Provinz Gansu sowie der Nutzen einer Felslawine im Qin Ling-Gebirge, Provinz Shaanxi, VR China. Tagungsband Geoforum Umhausen 2001, 14-15, Innsbruck.
- Weidinger J.T. (2001)d. Die Erforschung der Tsergo Ri-Großmassenbewegung im Nepal Himalaya als Grundlage für rezente Gefahrenzonenkartierungen im Langthangtal. Proceedings Geoforum Umhausen 2001, 2, 37-60, Innsbruck.
- Weidinger J.T. (2001)e. Rund um den Traunsee vom Urknall zur Moderne. Studienverlag (Edition Löwenzahn), 148p., Innsbruck.
- Weidinger J.T. (2001)f. Der geologische Aufbau des Traunsteins – ein Dokument seines Lebenslaufs. In: Pichler W., Stieb A., Traunstein und Umgebung, Naturfreunde Österreich, Aktualisierte Neuauflage, 147p., Verlag Werner Pichler, Vöcklabruck.
- Weidinger J.T. (2001)g. Die Spuren der Eis- und der Nacheiszeit am Ostufer des Traunsees. In: Pichler W., Stieb A., Traunstein und Umgebung, Naturfreunde Österreich, Aktualisierte Neuauflage, 147p., Verlag Werner Pichler, Vöcklabruck.
- Weidinger J.T. (2002)a. Silent witnesses of mass-movement disasters in Alpinotype Mountain Ranges from India, Nepal and China. In: Fiebiger G. (Hrsg.), Volume of the meeting and Proceedings Int. Workshop of IUFRO 8.04 Natural Desasters on Rockfall Control Engineering in Galtuer/Tyrol/Austria 2002, Salzburg.
- Weidinger J.T. (2002)b. Das Institut Erkudok© (Gmunden, OÖ) – Basisstation für geowissenschaftliche Forschung und Lehre im Traunseegebiet. Tagungsband „Erdwissenschaften in Österreich 2002“ (Pangeo Austria I), p. 189, Salzburg.
- Weidinger J.T. (2002)c. Das Institut Erkudok© (Stadtmuseum Gmunden, OÖ) – Zentrum für die Dokumentation von Massenbewegungen im Salzkammergut. Tagungsband Geoforum Umhausen 2002, Innsbruck.
- Weidinger J.T. (2002)d. Sacred Buddhist monuments in the Himalaya: indicators and protectors form Mountain Hazards. Jour. Nepal Geol. Soc. 24, Kathmandu, *in Druck*.
- Weidinger J.T. (2002)e. Das Institut ERKUDOK© im Stadtmuseum von Gmunden – eine geowissenschaftliche Forschungsstätte im Salzkammergut. Ber. d. Geol. B.A. 57, Wien, *in Druck*.
- Weidinger J.T. (2002)f. Lössrutschungen und Felslawinen in den Provinzen Shaanxi und Gansu der VR China. Proceedings Geoforum Umhausen 2001, Innsbruck, *in Vorbereitung*.
- Weidinger J.T. (2002)g. Kombinierte Erdgeschichtliche Übung für Allgemein Bildende Höhere Schulen in Zusammenarbeit mit dem Erkudok© Institut im Stadtmuseum Gmunden. Proceedings Workshop Geowissenschaften, Schule und Öffentlichkeit-Stand 2002, Kremsmünster, *in Vorbereitung*.
- Weidinger J.T. (2002)h. Das Institut Erkudok© (Gmunden, OÖ) – Basisstation für geowissenschaftliche Forschung und Lehre im Traunseegebiet. Proceedings „Erdwissenschaften in Österreich 2002“ (Pangeo Austria I), Salzburg, *in Vorbereitung*.

- Weidinger J.T., Ibetsberger H.J. (1997)a. Outbreaks and disappearance of a landslide-dammed lake - case study from the Himalayas. Tagungsband 87. Jahrestagung der Geologischen Vereinigung e.V., Terra Nostra.
- Weidinger J.T., Ibetsberger H.J. (1997)b. Risk-analysis of Gohna Tal-landslide (Kumaon Himalayas, India). Abstract Volume 12th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop, 105-106, Rom.
- Weidinger J.T., Ibetsberger H.J. (1997)c. The Cuihua Rockavalanche (China) and the Tsergo Ri Massmovement (Nepal) - two Earthquake triggered Landslides in Crystalline Rocks of High Mountain Regions. Jour. Gansu Sci. Suppl. 9 (Sum. No.36), 99-102, Lanzhou, China.
- Weidinger J.T., Ibetsberger H.J., 2000: Landslide dams of Tal, Latamrang, Ghatta Khola, Ringmo and Dharbang in the Nepal Himalayas and related hazards. Jour. Nepal Geol. Soc. 22, 371-380, Kathmandu.
- Weidinger J.T., Ibetsberger H.J., Wang J., Ma N. (2001): Geoanalytische Gefahrenbetrachtung an rutschgefährdeten Talflanken im Lößplateau der Provinzen Gansu und Shaanxi, VR China. Mitt. Österr. Geograph. Ges. 143, 233 – 256, Wien.
- Weidinger J.T. Ibetsberger H. J., Nuschej F. (2002). Hazard and Risk in the Area of the Rock Avalanches of Darcha, Pateo and Sarai Kenlung (Manali-Leh-Road, Himachal Pradesh, India). Geoöko, *in Druck*.
- Weidinger J. T., Nuschej F. (2001). Large-scale Landslides along the Manali-Leh-Road (Northern India). Jour. of Asian Earth Sciences 19, 3A, addenda abstracts, 13-14, Kidlington, Oxford.
- Weidinger J.T., Schramm J.-M. (1995)a. A Short Note on the Tsergo Ri Landslide, Langtang Himal, Nepal. Jour. Nepal Geol. Soc. 11, 281-287, Kathmandu.
- Weidinger J.T., Schramm J.-M. (1995)b. Tsergo Ri (Langthang Himal, Nepal) - Rekonstruktion der "Paläogeographie" eines gigantischen Bergsturzes. Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 20, 231-243, Innsbruck.
- 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. Jour. Nepal Geol. Soc. 12, 50-51, Kathmandu.
- 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. Jour. of Asian Earth Sciences 19, 3A, addenda abstracts, 14-15, Kidlington, Oxford.
- Weidinger J.T., J.-M. Schramm Nuschej F.(2002). Ore Mineralization Causing Slope Failure in a High-Altitude Mountain Crest — On the Collapse of an 8000 m Peak in Nepal. Jour. of Asian Earth Sciences, Kidlington, Oxford, *in Druck*.
- 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? Mitt. Geol. Inst. ETH Zürich 298, 294-297, Zürich.
- 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, Amsterdam.
- 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. Quaternary International, Elsevier; *in Druck*.