

GEOANALYTISCHE GEFAHRENBETRACHTUNG AN RUTSCHGEFÄHRDETEN TALFLANKEN IM LÖSSPLATEAU DER PROVINZEN GANSU UND SHAANXI, VR CHINA

Johannes T. WEIDINGER, Horst J. IBETSBERGER (beide Salzburg),
Jiading WANG und Naixi MA (beide Xi'an, P.R. of China)*

mit 10 Abb. im Text

INHALT

<i>Abstract</i>	234
<i>Zusammenfassung</i>	234
1. Einleitung und Problemstellung	234
2. Quartäre Lössablagerungen in China	235
3. Bemerkungen zur Rutschung der Lishan-Berge von Lintong	239
4. Die Lössrutschungen im Bezirk Lantian	240
5. Die Lössrutschungen im Bereich der Kohleminen von Tungchuan	242
6. Die Löss-Massenbewegungen von Lanzhou und Umgebung, Provinz Gansu	244
7. Die Randbrüche an der Ost- und Südseite der Haifangtai-Lössplattform von Yan-Guo-Xia	248
8. Wegbereitende und auslösende Faktoren aller untersuchten Rutschungen	252
9. Bemerkungen und Danksagung.....	255
10. Literaturverzeichnis	255

* Mag. Dr. Johannes T. WEIDINGER, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Salzburg, A-5020 Salzburg, Hellbrunnerstr. 34/III, A-5020 Salzburg bzw. Institut ERKUDOK© im Stadtmuseum Gmunden, A-4810 Gmunden, Kammerhofgasse 8; e-mail: j_weidinger@hotmail.com; Mag. Dr. Horst IBETSBERGER, Institut für Geographie und Geoinformatik, Universität Salzburg, A-5020 Salzburg, Hellbrunnerstr. 34/III; e-mail: horst.ibetsberger@geoglobe.at; <http://www.sbg.ac.at>; Prof. Jiading WANG, Department of Urban Development and Resource Science, Northwest University of Xi'an, P.R. of China; Prof. Naixi MA, Department of Geography, Northwest University of Xi'an, P.R. of China;

Abstract

Geoanalytical hazard analysis along valley flanks with high potential of landslides in the Loess Plateau of the provinces Gansu and Shaanxi, P.R. of China

One of the main purposes of a study done by the authors in 1997 at the Northwest University of Xi'an, Shaanxi Province, P.R. of China, was to investigate landslides in the Loess Plateau of central China. Apart from the susceptible areas near the city of Xi'an, such as the Lintong-Mountains, and the town of Lantian, focus was on areas around the coal mines of Tungchuan (about 100 km north of Xi'an), as well as the Gau-La-Mountain and the valley of Yan-Guo-Xia (Haifangtai-Loessplatform), close to Lanzhou, the capital of the province of Gansu. On studying pre-existing structures and preparatory causal factors of the landslides, three special trends concerning the triggering mechanisms of the rapidly happening disasters in Loess were found: i) climatological-meteorological conditions (e.g. extreme high precipitation amounts), ii) earthquakes (in one of the most seismic active zones of the world) and iii) human impact (agricultural irrigation) are the main triggering effects of the mass-movements. Geomorphologic changes in the landscape, which is predominantly agricultural, are re-cultivated by local farmers after the consolidation of the masses most of the times, depending on the relative shortage of arable land.

Zusammenfassung

Bei ingenieurgeologischen und morphologischen Studien an Lössrutschungen im zentralchinesischen Lössplateau wurden wegbereitende und auslösende Faktoren, Folgeerscheinungen und Rekultivierungsmaßnahmen untersucht. Dabei konnten drei eindeutige Trends bezüglich der Auslöser-Mechanismen der spontan-gravitativen Rutschungen erkannt werden: Es kommen sowohl klimatologisch-meteorologische Faktoren (episodisch auftretende Starkniederschläge), als auch durch Erdbeben induzierte Ursachen (extrem seismisch-aktive Zone) und nicht zuletzt anthropogene Einwirkungen (landwirtschaftliche Bewässerung) für die Massenbewegungen mit meist großen Verwüstungen in Frage. 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.

1. Einleitung und Problemstellung

Ein österreichisch/chinesischer Expertenaustausch auf universitärer Ebene führte Mag. Dr. J.T. WEIDINGER (Geologe) und Mag. Dr. H.J. IBETSBERGER (Geograph) im Frühjahr 1997 drei Monate an die Nordwest Universität (Xibei-Daxue) von Xi'an, Provinz Shaanxi, VR China. Von dort ausgehend wurde eine Reihe von unterschied-

lichen Massenbewegungen im zentralchinesischen Lössplateau untersucht. Gemeinsam mit chinesischen Geowissenschaftlern, Spezialisten und Politikern besuchte man ausgewiesene Gebiete unmittelbar um die Stadt Xi'an, wie die Lintong-Berge und den Raum um die Kleinstadt Lantian (Beloyan-Lössplattform). Ferner wurden größere Areale in und um das Kohleminenrevier von Tungchuan, ca. 100 km nördlich der genannten Stadt, sowie die Bereiche des Gau-La-Berges und des Tales von Yan-Guo-Xia (Haifangtai-Lössplattform), um Lanzhou, Hauptstadt der Provinz Gansu, genauer inspiziert. Das Hauptaugenmerk lag auf der Analyse präexistierender Anlagen, auslösender Faktoren und der Bewegungsursachen (WANG 1997). Es konnte auch ein ausgezeichneter Eindruck von der chinesischen Lebensweise außerhalb der städtischen Agglomerationen gewonnen, sowie die damit verbundenen, unterschiedlichen Rekultivierungsmaßnahmen nach stattgefundenen Massenbewegungen studiert werden (vgl. Abb. 1).

2. Quartäre Lössablagerungen in China

2.1 Die Gliederung der Lössablagerungen

Quartärer Löss und Löss-ähnliche Ablagerungen sind in Nordchina allgemein weit verbreitet (vgl. Abb. 1). Die durch äolische Aktivität herantransportierten Auflagen auf Plateaus, an Gebirgshängen und in intermontanen Becken bedecken mehr als 600.000 km², wobei die Mächtigkeiten zwischen wenigen Metern und 200 m, in Extremfällen sogar bis zu 400 m (etwa um die Stadt Lanzhou) variieren können. Nach der Herkunft und der internen Struktur unterscheidet man zwei Arten von Löss: i) den Plateau-Löss und ii) den sekundären Löss. Die allgemeine Einteilung des Löss in China erfolgt von Norden nach Süden in drei Stufen mit abnehmender Korngröße. Im Norden findet sich ein Konglomerat, welches das Herkunftsgebiet des Löss darstellt, im mittleren Bereich eine Übergangszone, in welcher aufgrund des Transports bereits kleinere Komponenten vorherrschen und im Süden der eigentliche Löss mit den kleinsten Partikeln. Dieser südliche, dritte Bereich wird entsprechend seiner unterschiedlichen Korngröße wiederum in drei Teile gegliedert, und zwar in den nördlichen Sandlöss, in einen mittleren, normalen Löss (Silt) und in einen südlichen Tonlöss.

2.2 Die Gliederung im Löss-Plateau und dessen Rutschungshäufigkeit

Das zwischen Höhen von 1.200 und 1.600 m gelegene Löss-Plateau von China, das aus durchschnittlich 30-60 m mächtigen Lössablagerungen über jurassischen und tertiären Sedimenten aufgebaut ist (vgl. Abb. 1), wird im Norden von der Großen Chinesischen Mauer, im Süden von den Qin-Ling-Bergen, im Westen von den Helan-Bergen und im Osten von den Luliang-Bergen begrenzt. Geomorphologisch unterteilt man das Plateau in drei Bereiche: das Tal des Gelben Flusses und das breite Tal des Weihe-Flusses im Süden, die mittleren Hochebenen und die hügeligen Gebiete im Norden. Obwohl es prinzipiell in beiden oben genannten Lössarten

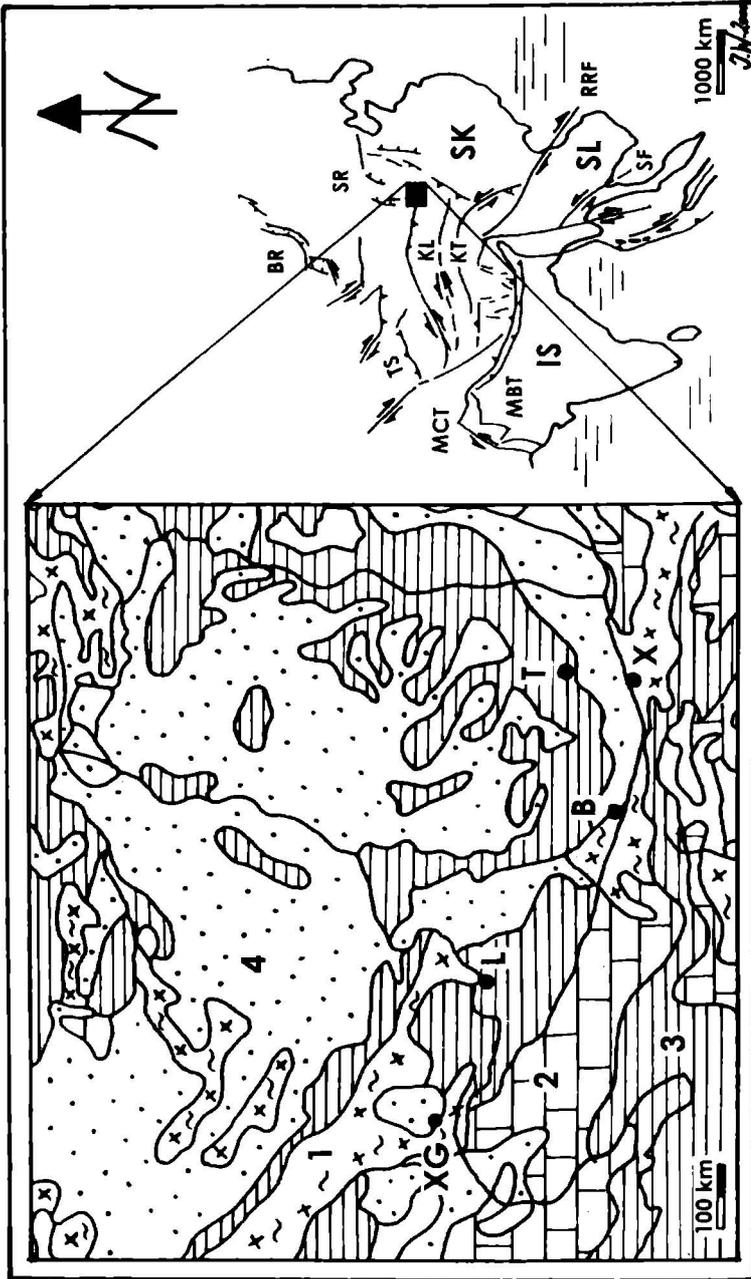


Abb. 1: Geotektonische Position und moderne Kinematik (nach TAPPONNIER et al. 1986) des ostasiatischen Bereichs (rechte Seite) und der geologische Rahmen (nach Li 1989) des Studiengebietes (linke Seite)

Rechte Seite: 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

Linke Seite: 1 – Magmatite und Metamorphite, 2 – Karbonatische Gesteine, 3 – Sedimente, 4 – Löss (unkonsolidiert), XG – Xining, L – Lanzhou, B – Baoji, T – Tungguchuan, X – Xi'an.

Rutschungen gibt, ist dieser primäre Löss am Plateau am meisten von Großrutschungen betroffen. Aufgrund der klimatischen Bedingungen, der Besiedelungsdichte und der seismischen Aktivität steht vor allem der südliche Bereich im Mittelpunkt einer diesbezüglichen Forschung und zwar entlang der Achse Xining – Lanzhou – Baoji – Xi'an (von W nach E). Die in dieser Studie untersuchten Gebiete liegen alle in diesem Bereich.

2.3 Geologie im Guangzhong-Becken, nördlich von Xi'an

Das Becken von Guangzhong, das im Norden von den Bei-Shan-Bergen und im Süden von den Qin-Ling-Bergen begrenzt ist und in dessen südlichem Bereich auch Xi'an liegt (vgl. Abb. 2), entstand durch eine bis heute andauernde, aktive Bruchtek-

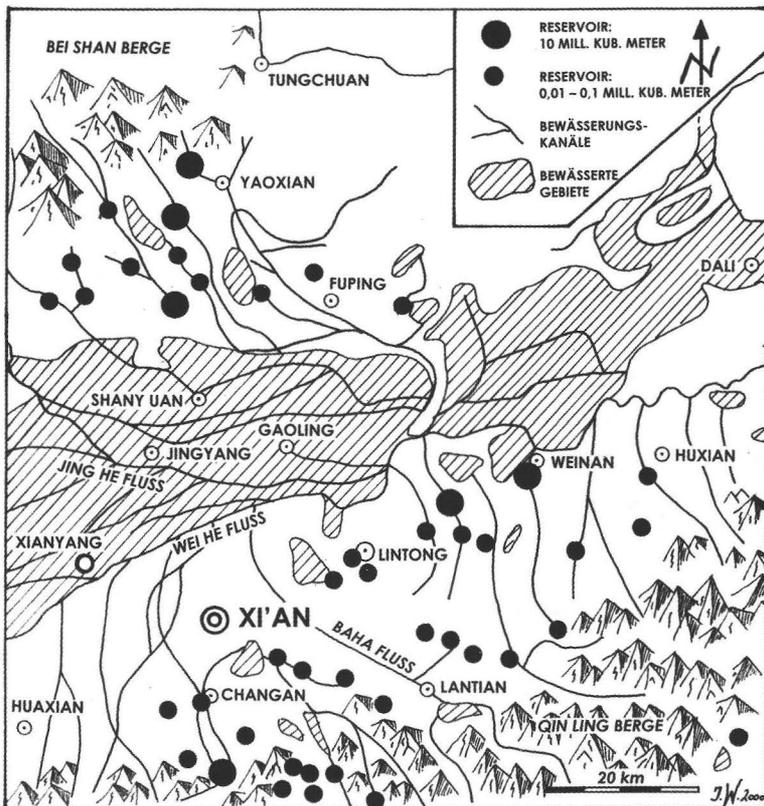


Abb. 2: Die Untersuchungsgebiete im Guangzhong-Becken rund um Xi'an (Jingyang, Lantian) bzw. in den Bei-Shan-Bergen (Tungchuan), Bewässerungskanäle, Reservoirs und landwirtschaftlich bewässerte Zonen (verändert und ergänzt nach LEI 1995).

tonik. Daher treten darin 14 NE-SW verlaufende, bis zu 2 km lange Sprünge auf, die durch eine Grundwasserabsenkung entstanden. Assoziierte rezente Subsidenzerscheinungen können große Schäden an Bauwerken verursachen (etwa im Bereich der großen, neuen Wohnanlagen, im Norden der Stadt Xi'an).

Der Verlauf des Weihe-Flusses entspricht genau dem Streichen zweier solcher neotektonischer Brüche. Die Stadt Xi'an liegt auf den Flussterrassen T2 *und* T1. Weiter nach Norden ist allerdings nur T2 aufgeschlossen, da der Fluss aufgrund der Hebung der Qin-Ling-Berge im Süden eine langsame Nordwärtsbewegung erfährt, und den Rest der Terrassen erodierte.

Die T2-Terrasse wird vom Löss überlagert, dessen Glieder (Q2 und Q3) durch einen interglazialen Verwitterungshorizont (VH) getrennt sind (vgl. Abb. 3). Die allgemeine Mächtigkeit des Löss beträgt auf der nahen, östlich gelegenen Beloyan-Plattform ca. 76 m für Q1, ca. 33 m für Q2, ca. 5 m für Q3 und ca. 1 m für Q4. Das wichtigste Fossil zwischen Q1 (Alter: 2,48 Mio. Jahre) und Q2 (Alter: 730.000 Jahre) ist der *Homo pekinensis*, der ca. 1,1 Mio. Jahre alt ist, während Q3 mit 150.000 bis 100.000 Jahren und Q4 mit etwa 10.000 Jahren datiert werden.

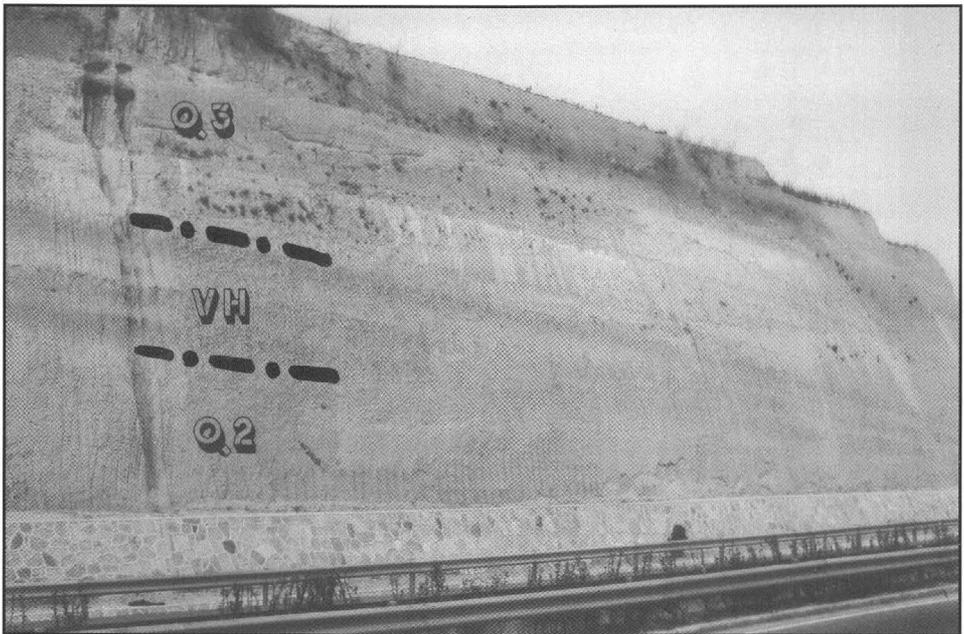


Abb. 3: Wenige hundert Meter nördlich der Brücke über den Qing-He-Fluss, ein Zufluss des Weihe-Flusses, ist ein Lössprofil entlang der Schnellstraße nach Tungchuan aufgeschlossen. Man erkennt Q2 im Liegenden. Darüber befindet sich ein mehrgliedriger, interglazialer Verwitterungshorizont (VH), der bei feuchtwarmen Bildungsbedingungen entstanden sein dürfte. Im Hangenden folgt Q3 (Foto: WEIDINGER 1997).

3. Bemerkungen zur Rutschung der Lishan-Berge von Lintong

3.1 Geschichte der Rutschung

1986 wurde im Lishan-Berg bei Lintong, nordöstlich von Xi'an gelegen (vgl. Abb. 2), von Geologen und Geomorphologen ein Bewegungshorizont entdeckt. Da die sich am Fuße des Berges befindlichen Palastanlagen durch diese Bewegung bedroht waren (auch der direkt auf dem Rutschgebiet stehende Saiang-Tung-Tempel ist davon betroffen), wurde ein Institut zur Kontrolle dieser kriechenden Massenbewegung in der Ortschaft Lintong gegründet. Etwas abseits des von der Hangrutschung betroffenen Bereichs konnte auch eine Seilbahn installiert werden; Teile dieser Anlage sind durch die Bildung eines großen Gullys direkt unter dieser Bahn gefährdet.

3.2 Geologie des Lishan-Berges

Lithologisch beginnt die Abfolge am Fuß des Berges mit Alluvionen, darüber folgen Magmatite und Tonsteine, die im Hangenden von etwa 8-13 m mächtigem Löss abgelöst werden. Die Gleitfläche befindet sich sowohl im unterlagernden Ton als auch im Löss, nicht aber an der Grenze beider. Der gesamte Rutschbereich wurde in einen Westteil, einen zentralen Mittelteil und in einen oberen Hangenteil untergliedert, wobei im mittleren Bereich eine Stützmauer errichtet werden soll, um den am Fuße liegenden Hua-Tsing-Tshe-Park zu schützen. In einigen Bereichen wurde auch bereits geankert.

3.3 Gegenmaßnahmen

Der sich bewegende Teil des Hanges hat eine Fläche von rund 0,7 km² und eine durchschnittliche Mächtigkeit von 17-18 m. Die Verstellung des Hanges wird mit dem GPS- und GGS-System sowohl geophysikalisch als auch punkto Deformation vermessen, wobei in den Jahren bis 1996 ein progressiver Betrag von bis zu 8-10 mm festgestellt werden konnte. Es folgte das trockenere Jahr 1996, worauf 1997 nur 5 mm Verstellung registriert wurden. Im Bereich des im Hang liegenden Saiang-Tung-Tempels befindet sich ein 50 m langer Untersuchungsstollen, der mit dem Equipment für eine 3-dimensionale Schermessung ausgestattet ist. In einem weiteren Tunnel wird ebenfalls seit 1995 gemessen, während ein dritter Stollen der allgemeinen Beobachtung dient. Die Peilpunkte auf dem Rutschkörper werden mit einem Lasersystem eingemessen.

3.4 Bemerkungen zur Rutschsituation im Frühjahr 1997

Im westlichen Bereich des Hanges, nahe dem Gully unterhalb der Seilbahn, befinden sich auf einer Seehöhe von 610 m eine ganze Reihe offener, vertikaler Klüfte im Löss, die eine Tiefe von 5-10 m und eine Länge im Streichen von mehr als 100 m

erreichen können. Sie verlaufen in einem Abstand von 1-2 m und werden durch Suchschürfe aufgespürt. Diese werden vom lokal tätigen Ingenieur zum Teil wieder aufgefüllt. Das Dränagesystem besteht nach dem Lokalausweis nur in einer oberflächlichen Ableitung der Niederschlagswässer.

4. Die Lössrutschungen im Bezirk Lantian

4.1 Geologie und Topographie von Lantian

Der Bezirk Lantian (630.000 Einwohner) umfasst 20 Gemeinden sowie sieben größere Ortschaften und Dörfer. Die gleichnamige Hauptstadt, die ca. 50 km ESE von Xi'an liegt (vgl. Abb. 2), hat 40.000 Einwohner. Der südliche Teil des Landes ist von den Bergen des Wang-Xün-Shan, einem großen Gebirgszug, der etwa 200 km E-W streicht, bedeckt. Diese stellen die Fortsetzung der Chui-Hua-Berge dar. In diesen Bergen hat der Baha-Fluss (sprich Bacha) sein Einzugsgebiet, der den Bezirk Lantian etwa in SE-NW Richtung durchfließt. An der SW-Seite dieses Flusses befindet sich die Beloyan-Lössplattform. Auf beiden Seiten des Flusses kommt es in der dritten Terrasse der Alluvionen häufig zu Erdrutschen und Böschungsbrüchen, die so gut wie nicht erforscht sind, da keine Schwerindustrie davon betroffen ist und die Regierung daher keine Dringlichkeit sieht. Der Hauptschwerpunkt der geomorphologischen Schäden liegt allerdings in der Lössplattform selbst.

4.2 Die Rutschungen an der Ostseite der Beloyan-Lössplattform

1988 und 1993 ereigneten sich auf einer Seehöhe von 740 m an der Ostseite der Beloyan-Lössplattform, und zwar an der Geländeböschung am Rand der Plattform, zwei große Rutschungen (respektive Sackungen), die Verwüstungen über eine Länge von einem Kilometer, parallel zum Rand der Plattform verursachten. Es kamen allerdings keine Menschen zu Schaden. Die Massenbewegungen wurden durch den außerordentlich reichen Niederschlag in den Monaten Juni bis August der Jahre 1989 bis 1993 verursacht oder zumindest davon stark beeinflusst. Setzungsrisse, Bewegungsflächen und offene Klüfte laufen zum Abriss parallel und verursachten in und an den Gebäuden des nahen Bauerndorfes Wen-Tia-Po (das sind insgesamt fünf Bauernhäuser, die in Konsequenz der Ereignisse hangeinwärts versetzt werden mussten) große Schäden. Der Großteil dieser Risse wurde von den Bauern wieder verfüllt. Sie sind heute am Boden kaum, an den Hauswänden nur als stille Zeugen in Form von versetzten Mauerteilen auszumachen. Der Hang ist allerdings auch heute noch nicht zur Ruhe gekommen, denn die große, ein Kilometer lange Abrissnische beinhaltet eine ganze Menge kleinerer, kesselartiger Teilbereiche, die in Bewegung sind.

4.3 Die Sackung von Wen-Tia-Po

Unterhalb der Ortschaft Wen-Tia-Po befindet sich einer dieser Quell- und Bewegungskessel, der einen Durchmesser von 250-300 m aufweist und 1993 zum letzten Mal aktiv war (vgl. Abb. 4). Dabei öffneten sich Spalten von 1-5 m Weite, die nach der Sackung mehrere Geländestufen hinterlassen haben, welche noch heute in diesem Kessel morphologisch gut zu erkennen sind. In der Mitte dieses Kessels bildete sich offensichtlich an einer heute frei liegenden Bewegungsfläche ein Quellaustritt (im Bild nicht zu sehen), den es vor der Rutschung 1989 nicht gegeben hatte. Aus diesem Quellaustritt steigen Gasblasen auf, woraus geschlossen wird, dass die Rutschung noch aktiv ist. Beim Ereignis selbst versiegte auch ein Großteil der Quellen im Dorf.

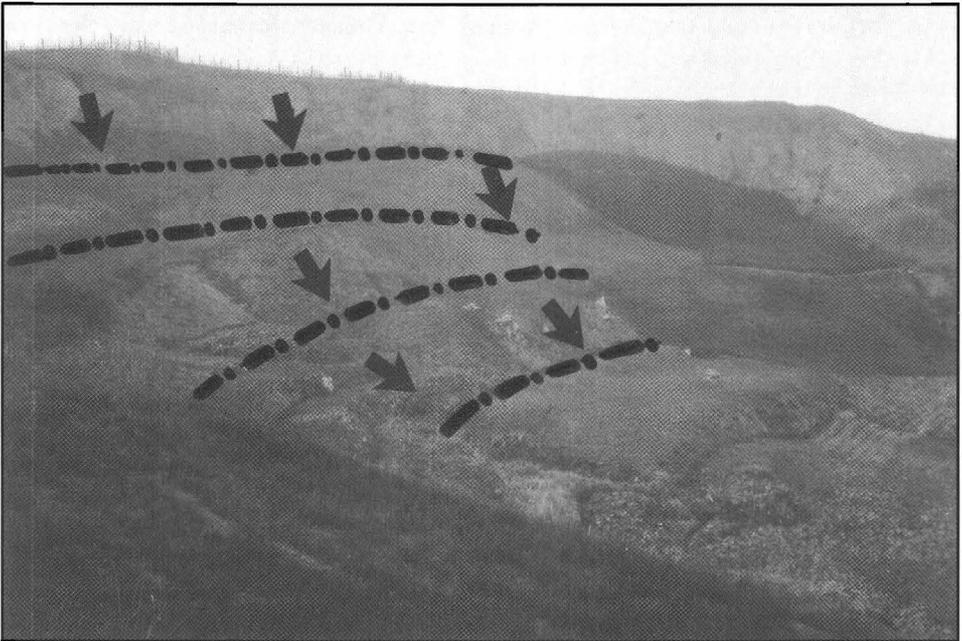


Abb. 4: Der von der bäuerlichen Bevölkerung bereits wieder rekultivierte stufenförmige Rutschkessel unterhalb des Dorfes Wen-Tia-Po im Bezirk Lantian, 5 km SE der gleichnamigen Stadt; Blickrichtung E-W mit den durch strichpunktierte Linien angedeuteten Geländestufen und den durch Pfeile hervorgehobenen Bewegungsrichtungen (Foto: WEIDINGER 1997).

4.4 Die Folgerscheinungen der Sackung von Wen-Tia-Po

Unterhalb des unter 4.3 beschriebenen Bewegungsbereiches, im heutigen Akkumulationsraum, gab es vor 1989 einen kleinen Taleinschnitt, der heute weitgehend verfüllt, zum Teil auch wieder tief erodiert ist. In diesem Bereich existierte vor der

ersten Bewegung ein Friedhof mit großen alten Bäumen. Die gesamte Anlage (60 Gräber und das Wäldchen) wurde bei diesem Ereignis zerstört, Gräber und Leichen zum Teil an die Oberfläche verfrachtet, die Bäume mit in die Tiefe gerissen. Unterhalb befindet sich ein Dorf und eine kleine dazugehörige, von den lokalen Bauern betriebene Fabrik, die ebenfalls örtlich verlegt werden musste.

5. Die Lössrutschungen im Bereich der Kohleminen von Tungchuan

5.1 Allgemeines zum Kohlebergbaurevier

Als wichtiges Industriezentrum (Kohleminen, Zementfabriken, keramische Produkte, Porzellan und Ziegelindustrie) ist Tungchuan, ca. 100 km Luftlinie nördlich von Xi'an gelegen (vgl. Abb. 2), auch ein bevölkerungsmäßiges Ballungszentrum mit großer Zuwanderungsrate, weshalb der Wohnraum in dem engen Tal knapp wurde und die Menschen in den Flanken der Lössplattform, in Lösshöhlen und Lössbauten siedelten. Viele von ihnen wohnen heute noch dort. Die Industrialisierung begann zwischen 1932 und 1934 mit der Kohlegewinnung. Nach etwa 60 Jahren Abbau im Stadtgebiet sind die Vorräte unterhalb desselben weitgehend erschöpft, und der Abbau verlagerte sich weiter nach Norden.

5.2 Geologie der Umgebung von Tungchuan im Süden des Lössbeckens

Etwas südlich der Stadt ist ein sich weiter nach Norden fortsetzendes paläozoisches Profil aufgeschlossen. Dies beginnt in diesem Bereich mit ordovizischen Kalken, die im gesamten nördlichen China verbreitet sind und zur Zementerzeugung genützt werden (es gibt in dieser Gegend ca. 40 Zementfabriken). Um Tungchuan befindet sich allerdings eine Schichtlücke: Südlich von Tungchuan fehlen Silur, Devon und Karbon, darüber trennt eine Diskordanz vom hangend folgenden Löss. Tungchuan liegt im Bereich einer großen Falte in den ordovizischen Kalken; diese streichen von NE nach SW. An dieser NW-SE verlaufenden Verfaltung (und auch Störung) gibt es eine Reihe von perlschnurartig angelegten Erdbebenherden (Epizentren). Beginnend im SE wurden weiter nach NW fortschreitend von 1958 über 1971, 1972, 1975, 1976 (mehrere) und 1980 zahlreiche Erdbeben registriert.

5.3 Allgemeines zur Rutschsituation

Zur Stadt Tungchuan gehören zwei Bezirke und zwei Regionen. In diesem Umfeld gibt es insgesamt 92 registrierte Massenbewegungen. 90 davon befinden sich im Löss, nur zwei im anstehenden Kalk. Weitere 41 Schuttströme und Lawinen, die sich nicht unmittelbar im Löss sondern im Schutt ereignet haben, kommen noch hinzu. In den vergangenen Jahren wurde aus diesem Grunde die Zusammenarbeit zwischen dem lokalen "Büro zur Kontrolle der Rutschungen" und dem geologischen College von Xi'an intensiviert.

5.4 Eine Lössrutschung am Ortseingang von Tungchuan

Am Ortseingang zu Tungchuan befindet sich eine bekannte Massenbewegung im Löss. Die Mächtigkeit des Löss beträgt hier etwa 100 m. Es handelt sich dabei um eine rejuvenierte Rutschung, die 1982 noch einmal aktiv wurde. Die Breite des

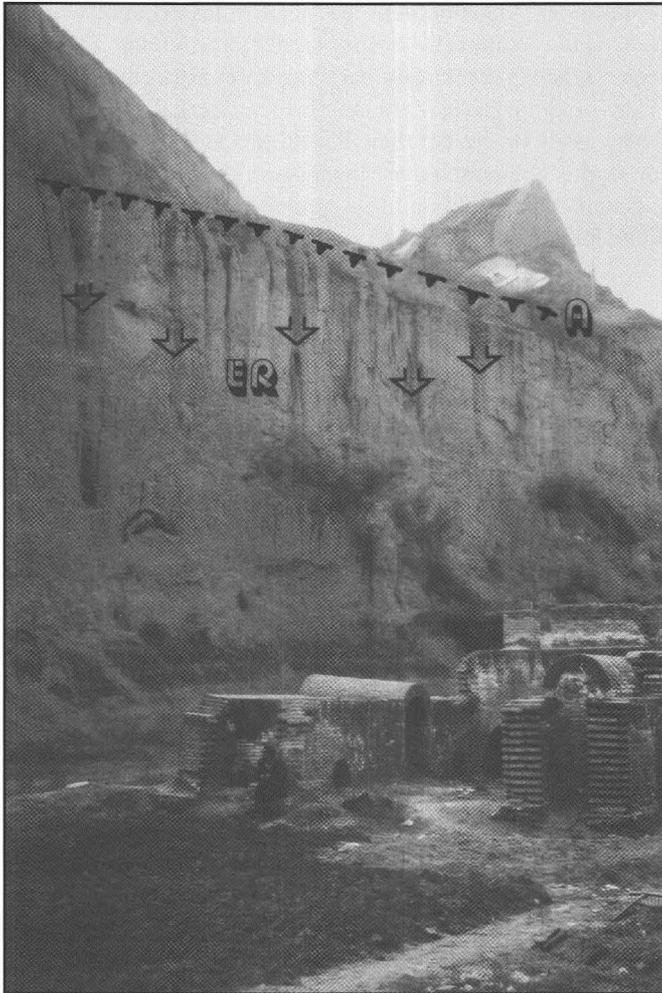


Abb. 5: Am Wandfuß der Rutschung aus dem Jahre 1982 am Eingang des Ortes Tungchuan befindet sich bereits wieder eine kleine Ziegelbrennerei, deren Betrieb den alten Abrissbereich (A) zur Gewinnung des Rohstoffs weiter untergräbt. In der fast senkrechten Abrisswand sind die durch Erosionsrinnen (ER und Richtungspfeile), bedingt durch die Abwässer der obigen Besiedelung, erweiterten Klüfte im Löss zu erkennen, die abermals Anlagen für einen weiteren Abruch darstellen werden (Foto: WEIDINGER 1997).

Abrisskessels beträgt ungefähr 400 m, die Laufweite betrug 900 m und war damit extrem groß, reichte bis über den Hauptfluss des Tals und beschädigte dort noch eine Zementfabrik. Die Hangneigung betrug 60 Grad und die Geschwindigkeit ca. 20-30 m/s. 360.000 m³ Material bildeten das dislozierte Volumen. Insgesamt 15 Gebäude wurden von dieser Rutschung vernichtet, darunter eine Schule, eine Tankstelle, ein Kraftwerk und mehrere Bauernhäuser. Fünf Menschen kamen dabei ums Leben. Als Auslöser konnte das Anschneiden des Wandfußes erkannt werden (auch heute befindet sich am neuen Wandfuß bereits wieder eine kleine Ziegelbrennerei, vgl. Abb. 5, die ihren Rohstoff direkt aus der Wand der Rutschung bezieht) sowie die Tatsache, dass zuvor eine große Zahl an Bauern oberhalb des Abrisses lebte, die praktisch alle Abwässer in die offenen Klüfte des Löss leitete. Dazu kamen noch außerordentlich starke Niederschläge. Insgesamt kann das Ereignis daher als eine Kombination aus natürlichen und anthropogenen Auslösemechanismen gesehen werden. Eine ähnliche Rutschung ereignete sich 1996 im Ort Er-Sher-Li-Pu, südlich von Tungchuan.

5.5 Die Nan-Gua-Lawine nördlich des Ortszentrums von Tungchuan

Etwas nördlich vom Stadtzentrum befindet sich 30 m von der Hauptstraße in westliche Richtung entfernt eine weitere Lössrutschung, die als Nan-Gua-Lawine bekannt geworden ist. Sie ereignete sich im Oktober 1984 nach schweren Regenfällen. 2.270 m² Fläche wurden dabei verwüstet, dazu etwa 20 Gebäude und drei Wohnhöhlen in der Flanke der Lössplattform zerstört. 50 Menschen kamen dabei ums Leben. Obwohl das dislozierte Volumen mit 6.000 m³ nicht besonders groß war, kam es zu schweren Verwüstungen und hohen Opferzahlen. Die Bewegung der Rutschung erfolgte vom Abriss ausgehend in zwei Bereichen (schräg zu der N-S verlaufenden Straße in Richtung NE, andererseits in Richtung Norden), die durch einen mittleren, stabileren Teil der Wand, der bis heute stehen blieb, getrennt sind. Vor allem bei dem größeren, NE-orientierten Teil erkennt man Erosionsrinnen, die durch das Einleiten von Abwässern in Vertikalklüfte entstanden sind und zu einer Wasserübersättigung des Hanges geführt haben. Neben den Regenfällen und dem Einleiten der Abwässer von oben, war zudem das Anschneiden des Hangfußes aufgrund menschlicher Aktivitäten (Straßenbau) für das Ereignis ausschlaggebend.

6. Die Löss-Massenbewegungen von Lanzhou und Umgebung, Provinz Gansu

6.1 Allgemeine Situation von Massenbewegungen in der Provinz Gansu

Aufgrund des alten Verlaufes der Seidenstraße, die den Bereich der Hauptstadt Lanzhou (700 km westlich von Xi'an, vgl. Abb. 1) querte, reichen die Aufzeichnungen von Katastrophen mehr als zwei Jahrtausende zurück. Man wich damals in erster Linie solchen Gefahrenbereichen aus und verlegte die Karawanenroute fallweise.

Erst seit dem wirtschaftlichen Aufschwung Chinas ab 1949 wurde die Untersuchung von Bergstürzen und Rutschungen von der Regierung gefördert. Da 70% der Landesfläche von Gansu gebirgig sind, wurden Massenbewegungen zu einem Hauptuntersuchungsthema. 210 von insgesamt etwa 40.000 Rutschungen in Gansu werden rund um die Stadt Lanzhou betreut. Etwa 10.000 Rutschungen befinden sich im Bereich des Belojiang-Flusses und südlich davon, im felsigen Teil des Landes. An den Flanken dieses Flusses findet man auch einige Bergstürze im anstehenden Gestein. Weiter im NW des Landes befindet sich der Qilian-Gebirgszug (Verlängerung des Kun-Lun-Massivs) in der Wüste, in dem ebenfalls Ablagerungen von Bergstürzen häufig sind.

6.2 Das Problem der Lössrutschungen in Gansu

Höchst anfällig für Massenbewegungen in Gansu ist der Löss, der im Gebiet um Lanzhou mit rund 400 m die größte Mächtigkeit von ganz China erreicht. Als größte Lössrutschung wird jene von Yung-Ming-Qing angegeben, die einen Abrissbereich von 5 km Länge erfasste und eine Laufweite von 4 km erreichte. Unterlagert wird der Löss von Mergel und Sandsteinen der Kreide (Neokom), die mit rund 15-30 Grad nach Süden einfallen. Der Großteil der Rutschungen ereignet sich auch zwischen dieser Kreideformation und dem überlagernden Löss. So in der Provinz Long-Nan, und in benachbarten Gebirgsketten im Süden von Gansu, wo es alljährlich durchschnittlich elf solcher Schuttströme und Vermurungen gibt, sowie rund um Lanzhou. Der Ta-Pung-Tal-Schuttstrom vernichtete zum Beispiel im Jahre 1984 eine Ziegelfabrik und mehrere Bauernhöfe, wobei eines dieser Bauernhäuser über 100 m weit mittransportiert wurde (mitsamt einem kleinen Kind, das unverletzt blieb), ohne besonderen Schaden zu erleiden. Dabei waren durch ein lokales Frühwarnsystem keine Todesopfer zu beklagen. Ji-Thung-Tshan in der Nähe des Bahnhofs der Stadt Tianshui war eine weitere dieser Lössbewegungen am 11. August 1990, die durch das Anschneiden eines Hangfußes beim Bau einer lokalen Werks-eisenbahn in der Nähe eines Ziegelwerkes entstanden war. Das Volumen betrug mehrere Millionen Kubikmeter. Durchschnittlich sterben pro Jahr in der Umgebung von Lanzhou 34 Menschen und in der gesamten Provinz Gansu rund 100 Menschen durch derartige Naturgewalten.

6.3 Die Rutschung vom Gau-La-Berg (Bei-Ta-Berge), südlich der Stadt Lanzhou

Der Gau-La-Berg erreicht eine relative Höhe von 600 m über der Stadt Lanzhou. Die Mächtigkeit des Löss beträgt hier ca. 340 m, wobei Q1 mit 150 m, Q2 ebenfalls mit 150 m und Q3 mit 40 m vertreten sind. Die Massenbewegung wurde 1920 durch ein Erdbeben ausgelöst. Das Volumen der abgelagerten Massen beträgt in etwa 1,5 Mio. m³ und wird vom Laolang-Tal, das von der Stadt über den Ablagerungsraum in Richtung Osten zieht, durchlaufen. In den Jahren zwischen 1950 und 1960 war die Stadt Lanzhou noch wesentlich kleiner, wobei im südlichen Bereich, nahe des heutigen Bahnhofs (vgl. Abb. 6), suburbanes Gebiet vorherrschte, weshalb bei



Abb. 6: Die Großmassenbewegung im Löss des Gau-La-Berges (Bei-Ta-Berge), südlich der Stadt Lanzhou, wurde im Jahre 1920 durch ein Erdbeben ausgelöst, wobei aufgrund der damals dünnen Besiedelung nur geringer Sachschaden und wenige Todesopfer zu beklagen waren. Der Abriss (A), die Bewegungsrichtung (Pfeil) und das Akkumulationsgebiet (AK) zeigen, dass bei einer Re-Aktivierung dieser Rutschung große Teile der Stadt um den Hauptbahnhof verwüstet würden (Foto: WEIDINGER 1997).

den Rutschungen immer wieder Bauernhäuser vernichtet wurden und Todesopfer hingenommen werden mussten. Auch 1920 wurden etliche Dörfer vernichtet, wobei 300 bis 400 Tote zu beklagen waren.

6.4 Lössrutschungen im Bereich von Staudämmen am Gelben Fluss

Entlang des Gelben Flusses gibt es eine ganze Reihe von Taleinschnitten und in diesen wiederum insgesamt 16 große Staubecken von Kraftwerken. Im Umfeld dieser Staudämme finden sich etwa 30% der anfallenden Rutschungen im Löss. Beispiele dafür sind das Tal von Yan-Guo-Xia oder jenes von Wu-Gia-Xia. Zweites, in der Nähe von Binglingsi-Shiku (buddhistisches Kloster), einem bekannten Pilgerort, birgt einen dieser Stauseen, der ein Volumen von 1,4 km³ aufweist. Bei Anlage des Staudamms wurden 1 Mio. Menschen in die Gegend süd-westlich von Lanzhou übersiedelt, und zwar auf die vierte Lössterrasse, die nachfolgend aus agrarwirtschaftlichen Gründen mit dem Wasser des Gelben Flusses bewässert wurde und so wiederum eine Vielzahl von Rutschungen an den Rändern dieser Terrasse auslöste.

6.5 Die Rutschung von Ta-Pan-Xia

Bei der Anfahrt von Lanzhou in Richtung Westen (vgl. Abb. 8, links oben) zum Yan-Guo-Xia-Tal passiert man den Ta-Pan-Xia-Damm am Gelben Fluss. Dahinter erkennt man eine alte, bereits wieder stabilisierte Rutschung (vgl. Abb. 7). Der Wasserspiegel im Staubereich, hier um ca. 20 m höher als normal, hat keinen oder nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Rutschungsbildung entlang der Terrasse. Erst weiter stromaufwärts, hinter dem zweiten Damm, der einen wesentlich größeren See aufstaut, ist auch der Grundwasserspiegel des Flusses als rutschungsaus-

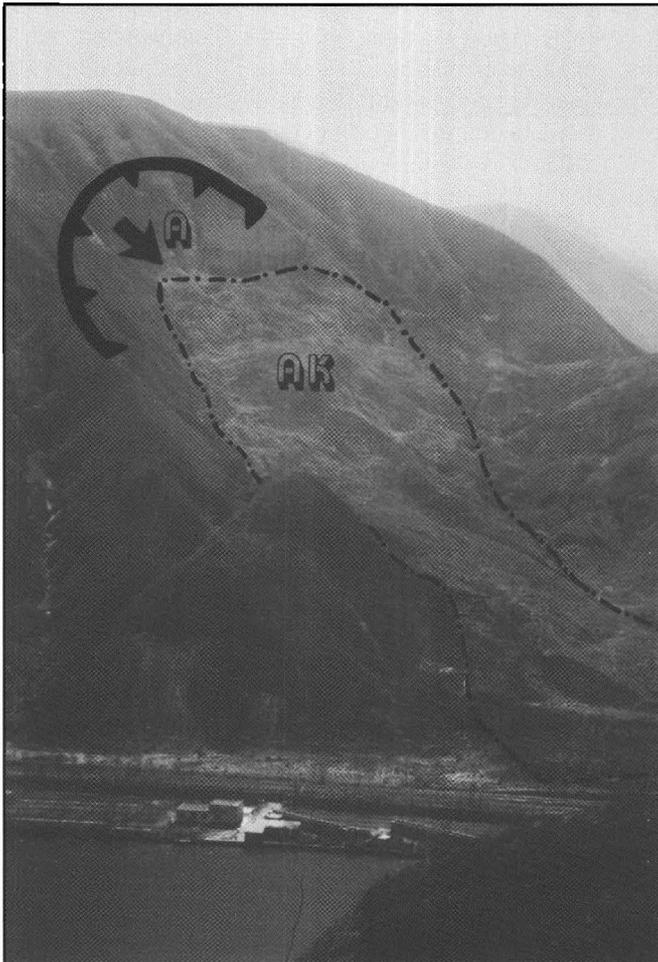


Abb. 7: Rutschbereich im Löss (Abriss, A, und Pfeil in Bewegungsrichtung) hinter dem Ta-Pan-Xia-Damm westlich von Lanzhou, dessen Akkumulationsbereich (AK) die Eisenbahnstrecke von Lanzhou nach Xining (geplant bis Lhasa) vernichtete (Foto: IBETSBERGER 1997).

lösender Faktor von maßgeblicher Bedeutung. Im Vordergrund verläuft entlang des Flusses die Bahnlinie nach Xining, die bis Lhasa (Tibet) weitergeführt werden soll, und von derartigen Rutschungen ebenfalls betroffen sein könnte.

7. Die Randbrüche an der Ost- und Südseite der Haifangtai-Lössplattform von Yan-Guo-Xia

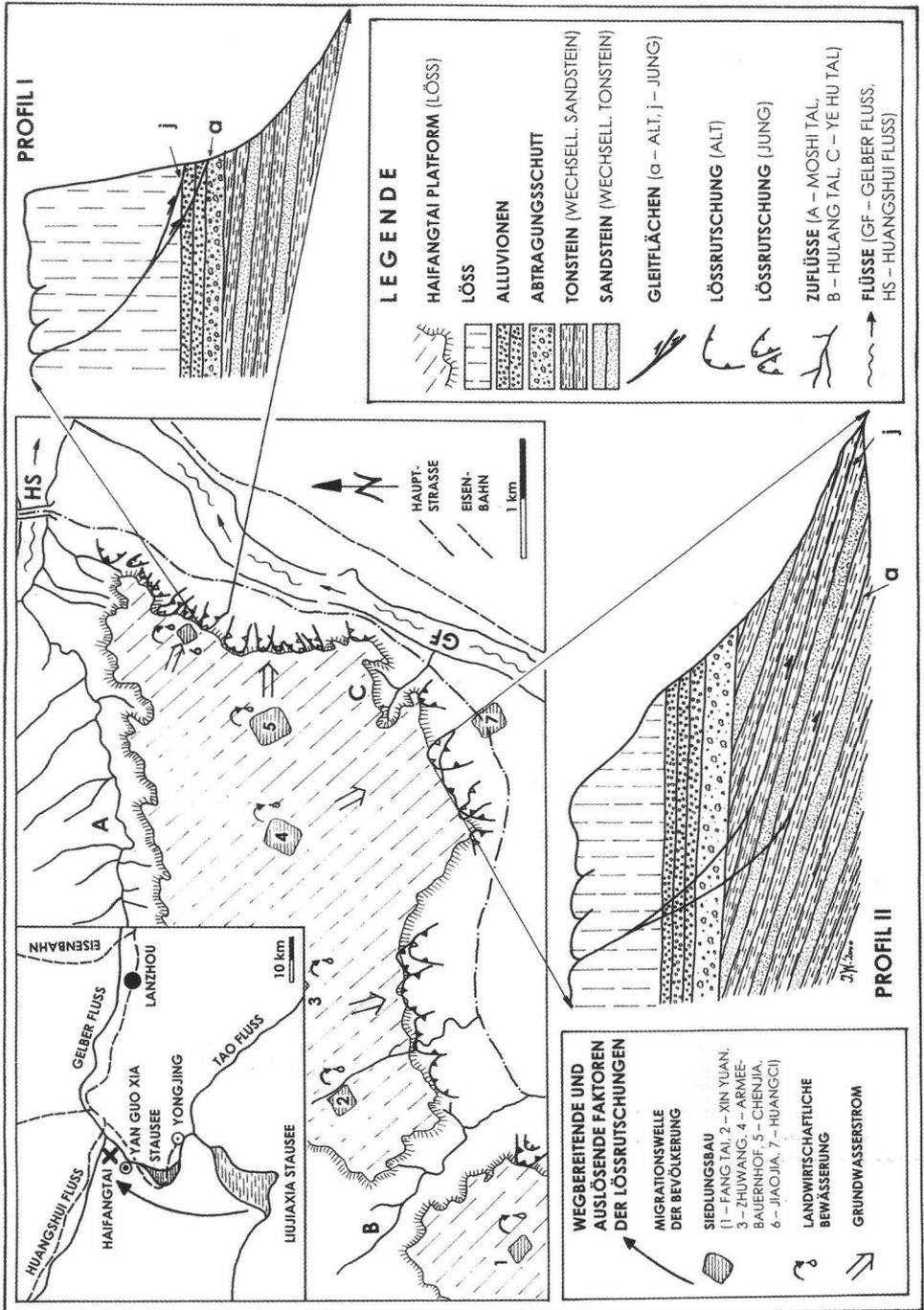
7.1 Geographische Lage der Haifangtai-Lössplattform

Diese Massenbewegungen befinden sich 70 km südwestlich von Lanzhou, im Bezirk Yongjing, am Zusammenfluss des Gelben Flusses mit dem Huangshui-Fluss (vgl. Abb. 8). Man quert bei der Anfahrt den Huangshui, der das Wasser aus Xining, aus der Nähe des Lössplateaus, zuführt. Der Gelbe Fluss ist hier über eine Länge von 10 km durch den Ta-Pan-Xia-Damm aufgestaut, wobei die Vierte Lössterrasse, die 120-130 m relative Höhe aufweist, instabil wurde. Diese Haifangtai-Plattform (1.600 m) gliedert sich in einen nordöstlichen Haitai- und einen südwestlichen Fangtai-Bereich; ehemals zusammengehörig werden sie heute vom Hulang-Tal durchschnitten. Während die Plattform nur etwa 5 Grad nach SE geneigt ist, brechen die Ränder mit 33-47 Grad steil ab. Durch Niederschläge und Bewässerungswirtschaft entstanden dort im Laufe von wenigen Jahrzehnten 31 Rutschungen, 87 Subsidenzlöcher und 30 Gullies (WANG 1997)!

7.2 Geologie der Plattform und der Rutschbereiche

Am Aufbau dieser Plattform sind stratigraphisch nur Ablagerungen der Kreide und des Quartärs beteiligt. Ein typisches Profil (vgl. Abb. 8) besteht vom Hangenden zum Liegenden aus 33-55 m "Oberen Malan-Löss" (Q3, Q2), 2-12 m Ton und Lehm, Alluvionen (Q1, Q2) und Abtragungsschutt (3-6 m mächtig). Danach folgt die unterlagernde Kreide in Form von Sand- und Tonsteinen, die mit leichtem Gefälle in Richtung S zum Flussbett hin einfallen. Vor allem die Tonsteine mit ihrer geringen Scherfestigkeit und der starken Verwitterung zeigen schlechte ingenieur-geologische Parameter. Obwohl die Rutschungen an der lithologischen Grenze ansetzen, gehen die Gleitflächen selbst auch quer durch und betreffen noch an ihrer Basis die Tonsteine der Kreide.

Abb. 8: Die geographische Lage der Gau-La-Rutschung, der von Ta-Pan-Xia sowie jenen mehr als 30 der Haifangtai-Plattform am Zusammenfluss des Huangshui-Flusses mit dem Gelben Fluss. Die Haifangtai-Lössplattform und die Verteilung der Lössrutschungen am östlichen und südlichen Rand derselben, Profilschnitte der Rutschungstypen sowie wegbereitende und auslösende Faktoren (verändert zusammengezeichnet und durch eigene Untersuchungen ergänzt nach WANG G., 1997 und WANG N., 1997).



7.3 Verteilung und Typen der Rutschungen

Die weitaus größte Anzahl an Lössrutschungen ereignet(e) sich an der Ost- und Südseite der Haifangtai-Plattform (vgl. Abb. 8). Dort lassen sich zwei Typen von Bewegungen unterscheiden: i) jene, zwischen dem Huangshui-Fluss und dem Ye-Hu-Tal gelegene, vornehmlich aus Löss aufgebaute Rutschmassen, deren Gleitflächen an der Grenze zwischen Löss und Alluvionen bzw. an jener zwischen Alluvionen und Schutt gelegen sind (vgl. Abb. 8, Profil 1; Abb. 9); sie nehmen 61% der Gesamtrutschungen ein und weisen Volumina von 20.000 bis 100.000 m³ auf; ii) jene, zwischen dem Ye-Hu-Tal und dem Hulang-Tal gelegene, aus Löss und Kreideschichten aufgebaute, deren häufig rejuvenierte Gleitflächen in den Kreideschichten liegen (vgl. Abb. 8, Profil 2; Abb. 10), diese nehmen 12,9% aller dort registrierter Massenbewegungen ein, jedoch kann ihr disloziertes Volumen von einigen Hunderttausend bis einige Millionen Kubikmeter betragen.



Abb. 9: Typische Rutschung an der Ostflanke der Haifangtai-Lössplattform aus den 1980er Jahren mit dem Abrissbereich (A), der Rutschbahn (Pfeile) und dem Akkumulationsgebiet (AK). Es entstanden nur geringfügige Schäden. An der alten, durch Bewuchs bereits wieder unauffällig gewordenen Abrisskante mit Gleitfläche (AA) bilden sich nach wie vor Erosionsrinnen aus, weshalb die Rutschmasse nicht landwirtschaftlich rekultiviert werden kann (Foto: IBETSBERGER 1997).

7.4 Geschichte der Rutschungen

In den Jahren 1984 bis 1989 gab es eine Reihe von Lössrutschungen an dieser Plattformkante. Ihre Abrisse waren allerdings nicht breiter als 30-50 m, ihre Laufweiten nicht weiter als 200 m, wobei in einigen Fällen die Hauptstraße erreicht und blockiert wurde. Von 1990 bis 1995 folgten 20 weitere Rutschungen, wobei die Abrissbreiten, die Volumina und auch die Laufweiten (bis zu max. 400-500 m) wesentlich größer waren. Weiters kam es aufgrund der Bewässerung zu einer stetig zunehmenden Subsidenz, was zu einem Zusammensacken des Löss führte. Insgesamt wurde seit dem Beginn dieser Setzung ein Gesamtbetrag von 2 m gemessen. Durch diesen Vorgang wurden natürlich auch Gebäude auf der Lössplattform beschädigt. So gab es in diesem Bereich Bauern, die seit dem Jahre 1963 insgesamt sechsmal umziehen mussten. Die Risse und Klüfte an der Kante der Lössplattform reichen mehrere Zehnermeter hinter den Rand hinein. Der Grundwasserspiegel lässt sich nicht absenken, weil das Wasser salzig und tonig ist und deshalb nicht mehr zur Bewässerung wieder verwertet werden kann. Abhilfe könnte hier nach der Entnahme des künstlich entstandenen Grundwassers und noch vor der abermaligen Verwendung zur Bewässerung eine Schwebstofftrennung und Entsalzungsanlage bringen, die einen sinnvollen Kreislauf des Wassers ermöglichen würde.

7.5 Die Rutschung von Huangci am südlichen Rand der Haifangtai-Lössplattform

Eines der bedrohten Dörfer am Hangfuß an der Südseite der Haifangtai-Plattform ist Huangci, das direkt unter einem dieser Rutschbereiche gelegen ist (vgl. Abb. 8, Siedlung 7 und Profil II). Im Mai 1994 kam es hier zu ersten Kriechbewegungen, als sich die offene Hauptkluft auf der Lössplattform zu einer Gleitfläche entwickelte. Schon damals wurden 71 von 316 Familien des darunter liegenden Dorfes Huangci (1.350 Einwohner) ausgesiedelt. Am 30. Jänner 1995 brach der Hang endgültig und es kam zum Abgang einer großen Rutschung aus nördlicher Richtung. Der Abriss liegt ca. 500-600 m hinter dem Dorf; das Dorf wurde allerdings nur noch gerade erreicht (vgl. Abb. 10). Die Gleitfläche verläuft dabei in den unterlagernden Kreidelfels hinein, ist also ein typisches Beispiel für Typ 2. Das dislozierte Gesamtvolumen der Rutschung beträgt 6 Mio. m³, wobei der Ablagerungsraum bei einer Länge von 370 m und einer mittleren Mächtigkeit von 40 m an seiner Stirnseite 300 m, an seiner Rückseite 500 m breit ist.

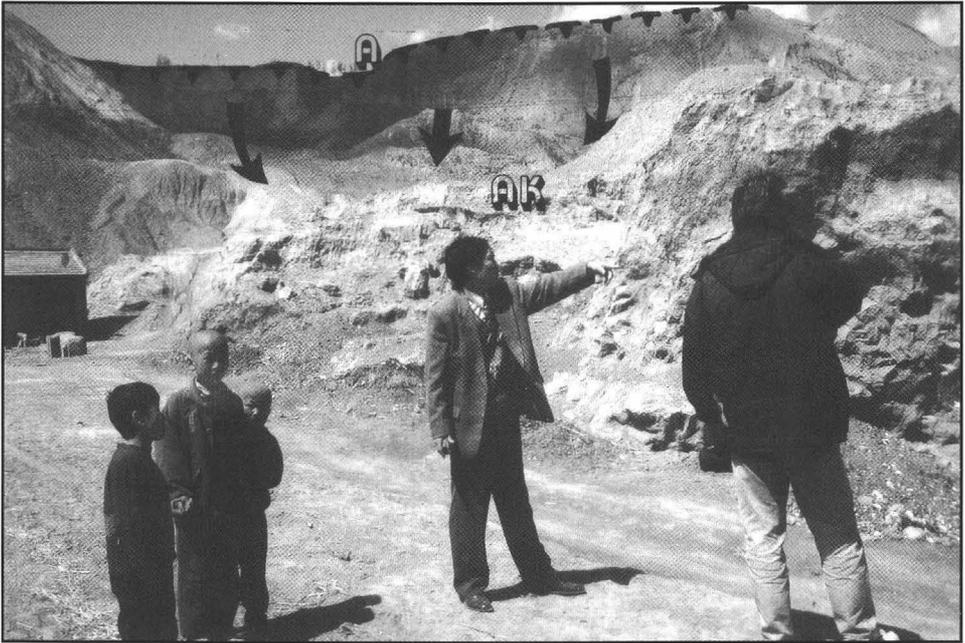


Abb. 10: Die Rutschung vom Dorf Huangci ist ein typisches Beispiel für eine Massenbewegung an der östlich gelegenen Südkante der Haifangtai-Lössplattform. Das Foto zeigt den weit (bis 600 m) hinter dem ehemaligen Plattformrand liegenden Abrissbereich (A), die Rutschbahn (Pfeile) und einen Teil des noch nicht rekultivierten Akkumulationsgebietes (AK), (Foto: WEIDINGER 1997).

8. Wegbereitende und auslösende Faktoren aller untersuchten Rutschungen

8.1 Seismische Aktivität als Rutschungsauslöser im Bereich von Xi'an

Das Becken des Weihe-Flusses, in dem es eine ganze Reihe wichtiger geologischer Strukturen gibt, wird von zwei Störungen begrenzt, die im Süden durch die Qin-Ling-Gebirge, im Norden durch die Bei-Shan-Berge repräsentiert werden, und etwa E-W verlaufen. Die neotektonischen Strukturen im Becken selbst kommen vor allem von jungen Erdbeben. 19 Erdbeben mit einer Magnitude größer als fünf wurden bisher rund um Xi'an festgestellt. 1189 v. Chr. wurde das erste Erdbeben in dieser Gegend in den Qi-Shan-Bergen registriert. Ein weiteres folgte 780 v. Chr., das ebenfalls in den Qi-Shan-Bergen und in den Cui-Hua-Bergen wirksam war. In letzteren löste es zwei bedeutende Bergsturzlavin aus (IBETSBERGER & WEIDINGER 1997, WEIDINGER 2000, WEIDINGER et al. 2000). Im Jahre 1072 gab es ein weiteres großes Erdbeben, wobei im Bereich des Hua-Shan (nordöstlich von Xi'an, nahe

Weinan) eine Felslawine mit 6 km Laufweite abging. Dieser We-Hua-Se-Bergsturz hatte ein geringeres Volumen als jener in den Cui-Hua-Bergen, doch seine Laufweite war beachtlich. 1556 folgte das verheerendste Erdbeben, und zwar jenes vom Bezirk Hua, mit einer Magnitude von 8,5 und insgesamt 830.000 Toten. Im Epizentrum dieses Erdbebens gab es eine ganze Menge von Bergstürzen, Rutschungen und Lawinen.

8.2 Klimatische Bedingungen (erhöhter Niederschlag) als Rutschungsauslöser um Xi'an

Im Gebiet um Xi'an sind pro Jahr durchschnittlich 600 mm Niederschlag zu erwarten. Da dieser aber nicht gleichmäßig verteilt ist (3:1 Verhältnis der Sommer zu den Winterniederschlägen), gibt es eine ganze Reihe von Gefahren. Im Winter ist es extrem trocken, während es im Sommer häufig Überschwemmungen gibt. 1928 war eines dieser extrem trockenen Jahre. Mehrere Millionen Menschen mussten ausgesiedelt werden. Neben Überschwemmungen herrschen zu den niederschlagsreichen Zeiten Mur- und Schuttströme sowie eigentliche Bergstürze und Rutschungen vor. Neben der Bewässerungswirtschaft bilden extreme Niederschläge in diesem Bereich die zweithäufigste Ursache der Lössrutschungen, wie auch das Beispiel vom Bezirk Lantian zeigt. Mit zunehmendem Ausbau der Bewässerungskanäle in und um das Guangzhong-Becken von Shaanxi – die Geschichte der Bewässerungswirtschaft reicht bis in das 3. Jhd. v.Chr. zurück – die von den Flüssen Jing, Luo, Wei und Baha gespeist werden, kam es aber auch zu Veränderungen der geohydrologischen Verhältnisse, vor allem zur Anhebung des Grundwasserspiegels (LEI 1995; vgl. Abb. 2). Aus diesem Grund sind neben Erdbeben als auslösende Faktoren vor allem diese Umstände für Rutschungen im Löss-Tafelland (Löss Plattformen) verantwortlich.

8.3 Niederschlag als Rutschungsauslöser um Lanzhou

Vorbedingung für Rutschungen um Lanzhou können auch extreme Wetterverhältnisse sein. Der durchschnittliche Niederschlag pro Jahr beläuft sich auf 400-500 mm, obwohl die Verteilung dieser Niederschläge in der gesamten Provinz Gansu sehr unterschiedlich und unregelmäßig ist. Die Hauptniederschlagszeit ist zwischen Juli und September, wobei es im Juli und August auch zu Stürmen im zentralen Land kommen kann. Auch die Geomorphologie des Landes mit ihren hohen Bergen und übersteilten Hängen (rund 30 Grad Hangneigung) spielt bei der Situation der Massenbewegungen eine wesentliche Rolle. Und nicht zuletzt ist der anthropogene Einfluss (Bewässerungskanäle) vor allem in den letzten Jahrzehnten als auslösendes Moment für Massenbewegungen von besonderer Bedeutung. Das Rutschungshauptgebiet der Haifangtai-Lössplattform liegt im Bereich eines kontinentalen, semiariden Klimas. Der durchschnittliche Jahresniederschlag zwischen 1961 und 1990 betrug 316 mm, allerdings liegt das Maximum in der Regenzeit von Juni bis September etwa fünfmal so hoch wie der Durchschnitt, was fallweise zur Ursache von Rutschungen werden kann. Aufgrund der allgemeinen Trockenheit aber, gab es vor der

Besiedelung und Bewässerung der Haifangtai-Plattform nur wenig Grundwasser und nur acht Rutschungen, die teilweise mehr als 300 Jahre zurücklagen (WANG J. 1997, WANG N., 1997).

8.4 Erdbeben als Rutschungsauslöser um Lanzhou

Als Auslöse- und Bildungsmöglichkeiten von Bergstürzen und Rutschungen in Gansu fungieren zum einen geologische Strukturen, die im Übergangsbereich zwischen dem Kun-Lun-Gebirge und dem Qin-Ling-Gebirge auftreten. Zum anderen ist die Boden- und Gesteinsbeschaffenheit für Auslösemechanismen von großer Bedeutung. In diesem weiten Gebiet gibt es eine Reihe großer Erdbebenzonen, die als Auslöser wirken. Im Gebiet um Lanzhou wie in der gesamten Provinz Gansu gibt es zwar eine Menge kleinerer Erdbeben, jedoch bilden sie nicht oder nur sehr selten den Hauptauslöser für die Rutschungen. Eine Ausnahme stellt das Erdbeben vom 24. Juli 1995 im Bereich von Lanzhou mit einer Magnitude von 5,8, bei dem zahlreiche Rutschungen ausgelöst, fünf Menschen durch das Erdbeben und fünf weitere durch die Rutschungen selbst getötet wurden.

8.5 Präexistierende Klüfte und Überbevölkerung als Rutschungsauslöser von Tungchuan

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, die als Auslöser für die kleinräumigen Lössrutschungsverwüstungen in Frage kommen. Präexistierende vertikale Klüfte im Löss mit mehr oder weniger großen Öffnungsweiten stellen dabei die Angriffspunkte für Erosion und Auswaschung durch eingeleitete Abwässer dar, die in der Folge von Niederschlagswässern und Frostverwitterung zu Gullies erweitert werden, ehe es zum Kollaps der Flanken kommt.

8.6 Energie- und Bewässerungswirtschaft als Rutschungsauslöser von Yan-Guo-Xia

Auslöser der Rutschungen der Haifangtai-Plattform 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 Liujixia und der Migration der ehemals dort ansässigen Bevölkerung auf die Lössplattform. Die landwirtschaftliche Bewässerungsmenge war zu hoch. Das Wasser staut sich entlang der unterlagernden Tonschicht mit Sandsteinen, die auch salzgesättigt sind. Zu Beginn der Besiedelung gab es überhaupt keinen Grundwasserspiegel, um das Jahr 1992 war bereits ein 20 m über dem Kreideton hoher Spiegel festzustellen, und im Jahre 1996 war dieser bereits 25 m hoch. Deshalb gibt es an dieser Seite des Tals auf einer betroffenen Länge von 10 km genau 70 große Quellen unter dem Löss, die pro Jahr 460.000 Kubikmeter Wasser schütten. Zum Vergleich seien hier die Verhältnisse auf der südlichen Seite des Flusses genannt,

wo es aufgrund der fehlenden Bewässerung überhaupt keine Quellen gibt. Die Hangneigung im betroffenen Gebiet ist mit 41 Grad viel zu hoch. Ab dem 25. Juli 1984 kam es zu den ersten Rutschungen, wobei die Wassermenge der künstlichen Bewässerung bis 1985 von 8 Mio. m³ auf nur mehr 6 Mio. m³ pro Jahr zurückgenommen wurde. Trotzdem ist es bis heute so, dass nach der Hauptbewässerungszeit im Winter, während der das Wasser gefriert, mit dem Auftauen des Bodens die Rutschungen im Frühjahr und Frühsommer folgen.

9. Bemerkungen und Danksagung

Der Forschungsaufenthalt der beiden Autoren J.T. WEIDINGER und H.J. IBETSBERGER an der Nordwest Universität (Xibei Daxue) von Xi'an, VR China, wurde vom "Auslandsreferat" der Universität Salzburg finanziell unterstützt ("Habilitationstipendium"). Die beiden genannten Autoren danken ihren chinesischen Kollegen, Prof. Jiading WANG und Prof. Naixi MA, für die Einführungsvorträge, Geländeexkursionen und die Mitarbeit in den genannten Arbeitsgebieten, Prof. Zhouzu LI (Xibei Daxue) für mehrere fachliche Diskussionen und den Professoren der Universität Salzburg, Frau Vizerektor Prof. Dr. B. WINKLEHNER, Herrn Prof. Dr. J.-M. SCHRAMM und Herrn Prof. Mag. Dr. G. TICHY, für die Unterstützung des Projekts. Die Ergebnisse wurden im Institut ERKUDOK© im Stadtmuseum Gmunden zusammengefasst und ausgearbeitet.

10. Literaturverzeichnis

- IBETSBERGER H.J., WEIDINGER J.T. (1997), Geomorphic Hazard Studies of two big Landslide Areas (Langthang Himal – Nepal, Qin-Ling-Mountains – P.R. China). In: Journal of Gansu Sci. China, 9 Suppl., Sum. No. 36 (= Proc. of Int. Sym. of '97 NEASFWLD), S. 109-112. Lanzhou, Ed. Dep. of J. of Gansu Sci.
- LEI X. (1995), Human Diversion Irrigation and the Resultant Geological Disasters in the Loess Yuan of Guanzhong, Shaanxi Province. In: Scientia Geologica Sinica, Suppl. Issue, 1, S. 127-133.
- LI T. (1989), Landslides: Extend and economic significance in China. In: BRABB E.E., HARROD B.L. (Hrsg.), Landslides: Extend and Economic Significance, S. 271-287. Rotterdam, Balkema.
- TAPPONNIER P., ARMijo J. (1986), On the mechanics of the collision between India and Asia. In: COWARD M.P., RIES A.C. (Hrsg.), Collision Tectonics (= Geol. Soc. London, Spec. Publ., 19), S. 115-157. London.
- WANG G. (1997), Sliding Mechanism and Prediction of Critical Sliding of Huangci Landslide. In: Journal of Gansu Sci. China, 9 Suppl., Sum. No. 36 (= Proc. of Int. Sym. of '97 NEASFWLD), S. 37-44. Lanzhou, Ed. Dep. of J. of Gansu Sci.
- WANG J. (1997), A Discussion on Velocities of Loess Landslide and Mud Flow. In: Journal of Gansu Sci. China, 9 Suppl., Sum. No. 36 (= Proc. of Int. Sym. of '97 NEASFWLD), S. 143-148. Lanzhou, Ed. Dep. of J. of Gansu Sci.

- WANG N. (1997), Characteristics of Landslides Caused by Irrigation on the Margins of Loess Platform. In: *Journal of Gansu Sci. China*, 9 Suppl., Sum. No. 36 (= Proc. of Int. Sym. of '97 NEASFWLD), S. 103-108. Lanzhou, Ed. Dep. of J. of Gansu Sci.
- WEIDINGER J.T. (2000), A Lake-damming Rockavalanche in the Qin-Ling-Mountains / P.R. of China – the Benefits of an Earthquake-triggered natural Disaster and linked geomorphologic Changes in prehistoric Times. In: *Abstract Volume of INQUA – commission of the holocene*, meeting Seville, Spain, 2000, Sevilla.
- WEIDINGER J.T., WANG J., MA N. (2001), The Earthquake-triggered Rockavalanche of Cui Hua, Qin-Ling-Mountains / P.R. of China – the Benefits of a Lake-damming prehistoric natural Disaster. In: *Proc. of INQUA – commission of the holocene*, meeting Seville, Spain, 2000, in press.