

Z. Angew. Geowiss.	Heft 5	S. 49 - 64	1984
--------------------	--------	------------	------

MINERALOGISCHE UND BODENMECHANISCHE UNTERSUCHUNGEN AN  
RUTSCHMASSEN AUS DEM VALLE CENTRAL (COSTA RICA)

von K. KNOBLICH, B. SANNER und C. TORRES<sup>\*)</sup>

Kurzfassung

Die vulkanischen Gesteine in Costa Rica sind aufgrund von Verwitterungsvorgängen und hydrothermalen Einwirkungen vielerorts tiefgreifend entfestigt. Im Zersatzmaterial auftretende Rutschungen werden beschrieben. Die betroffenen Gesteine besitzen eine unterschiedliche Mineralzusammensetzung, zeichnen sich aber überwiegend durch ein Aggregatgefüge aus.

Ihre bodenmechanischen Eigenschaften sind charakterisiert durch hohe Fließ- und Ausrollgrenzen und eine niedrige Bildsamkeitszahl. Die sandigen Aggregatteilchen bedingen einen vergleichsweise hohen Reibungswinkel. In Verbindung mit der Kohäsion führt er dazu, daß Böschungen auch unter steiler Neigung stabil sind. Rutschungen treten nur an solchen Stellen auf, wo eine starke Wasserzufuhr stattfindet.

Abstract

The volcanic rocks in Costa Rica show in various areas a deep deconsolidation. It is a result of weathering processes and hydrothermal influence. Some slides in this decomposed rocks are discussed. They occur in a material with different mineralogical composition and predominantly with an aggregate-structure.

The soil mechanical behaviour is characterized by high values of liquid- and plastic limit and a low plasticity index. The sandy aggregate particles cause a relatively high friction angle. In connection with the cohesion it is guaranteed to a stability even of steep slopes. Slides occur only at locations where much water infiltrates the area.

<sup>\*)</sup> Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. K. Knoblich und Dipl.-Geol. B. Sanner, Geologisches Institut,  
Abt. f. Angew. Geologie der Universität Gießen, Diezstraße 15,  
6300 Giessen

Prof. Ing. C. Torres, Instituto de Geología, Universidad Nacional, San José,  
Costa Rica

## Einleitung

Hohe Niederschlagsmengen bei starken Reliefunterschieden und verbreitet auftretenden zersetzten Gesteinen schaffen im Valle Central und seiner gebirgigen Umrahmung die Voraussetzungen für Rutschungen.

Die betroffenen Areale sind überwiegend aus tertiären und quartären vulkanischen Festgesteinen und Lockerprodukten aufgebaut, die durch Verwitterung und/oder hydrothermale Einwirkungen eine Entfestigung erfahren haben.

Auf der Grundlage bodenmechanischer und mineralogischer Daten werden hier einige Rutschungen, die sich in jüngerer Zeit vollzogen haben, beschrieben und untersucht.

## Llano Grande-Gebiet

Das größte Rutschgebiet im Untersuchungsraum (Abb. 1) erstreckt sich nördlich von Cartago am oberen und mittleren Rio Reventado. Bereits KRUSHENSKY (1972) hat auf diese umfangreichen Massenbewegungen hingewiesen. Sie ereignen sich in jungen Förderprodukten des Vulkans Irazú, die aus einer Folge von Laharen, Schlacken, Aschen und Lavamassen bestehen.

Bei der hier als Beispiel herangezogenen, am unteren Reventado gelegenen Rutschung, handelt es sich um eine seit mehr als 10 Jahren in Bewegung befindlichen Masse, die ein Areal von annähernd 550 m Breite und 1100 m Länge einnimmt. Sie drängt zum tief eingeschnittenen Fluß hin und wird im rückwärtigen Bereich von einer durchgehenden Randspalte begrenzt. Ihre Oberfläche ist von zahlreichen Rissen und Versätzen durchzogen (Abb. 2 und 3). Einer Fixierung der Gleitfläche steht die Schwierigkeit entgegen, daß die Untergrundverhältnisse nicht hinreichend bekannt sind.

In dem der Beobachtung zugänglichen Bereich am Fluß besteht die Rutschmasse aus einem Laharstrom, der einer ortsfesten verschweißten Schlacke auflagert. Es handelt sich um ein Gemenge aus Schlacken-Komponenten von Sand- und Kies Korngröße und Andesitblöcken, die in eine tonige Matrix eingebettet sind.

Die Rutschmasse bewegt sich wie ein zäher Brei. Messungen am Fundament eines aufgegebenen Mastes einer Hochspannungsleitung in der Zeit zwischen 1974 und 1978 haben Versatzbeträge von rund 50 m in Horizontal- und 40 m in Vertikalrichtung ergeben (Abb. 4). Ein Ruhezustand ist bislang nicht eingetreten. Dies hängt damit zusammen, daß man das Material an der Rutschungszunge, soweit es nicht vom Fluß weggespült wird, laufend durch Abbaggerung entfernt, um einen Aufstau zu verhindern.

Die hellgrau bis grünlich gefärbten Tone dürften durch Verwitterung und/oder hydrothermale Zersetzung aus vulkanischen Aschen hervorgegangen sein. Sie liegen zumindest während der Regenzeit im breiigen bis weichplastischen Zustand vor. Mit einer Fließgrenze von  $W_L = 70 \%$  und einer Ausrollgrenze von

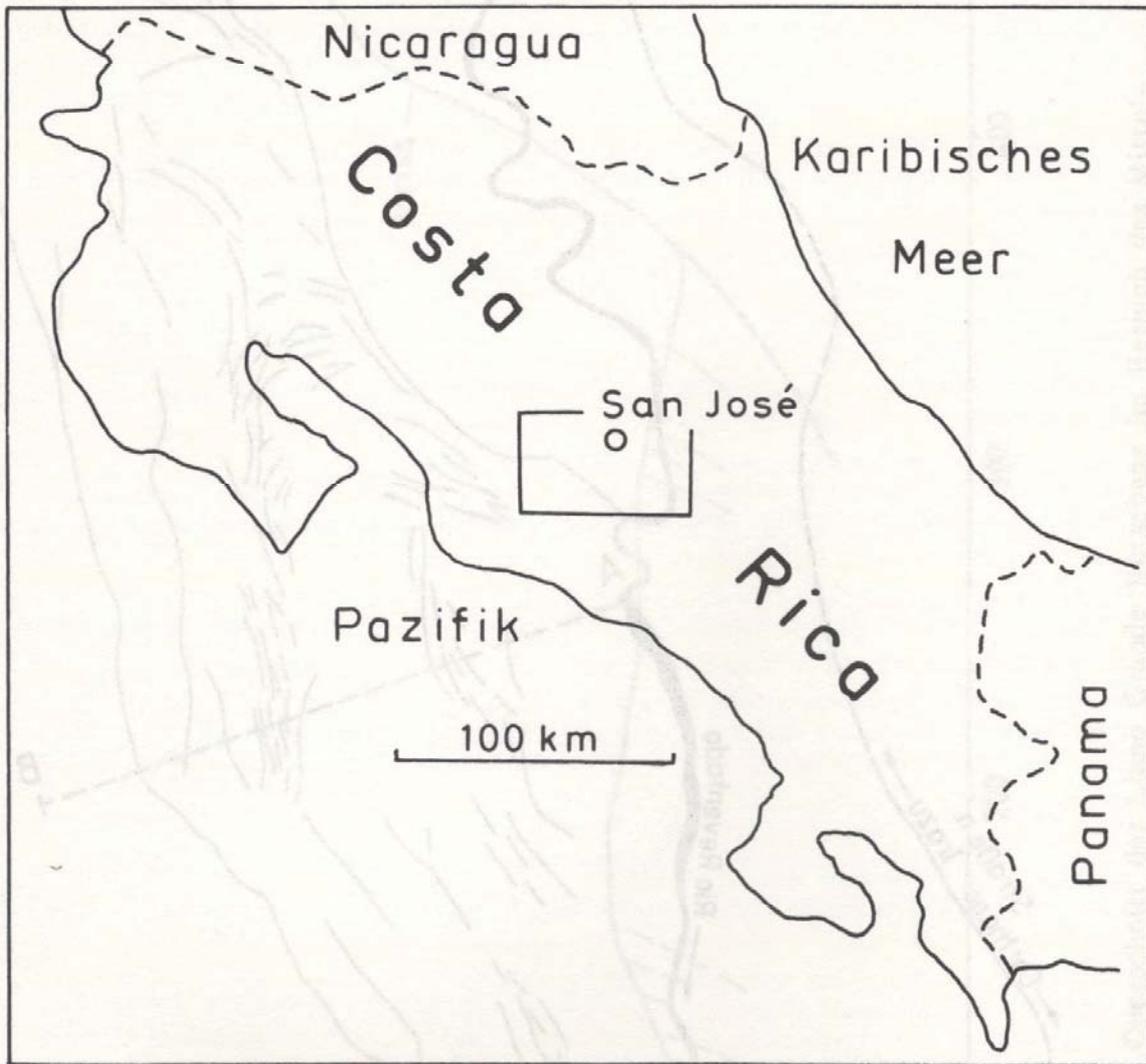


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

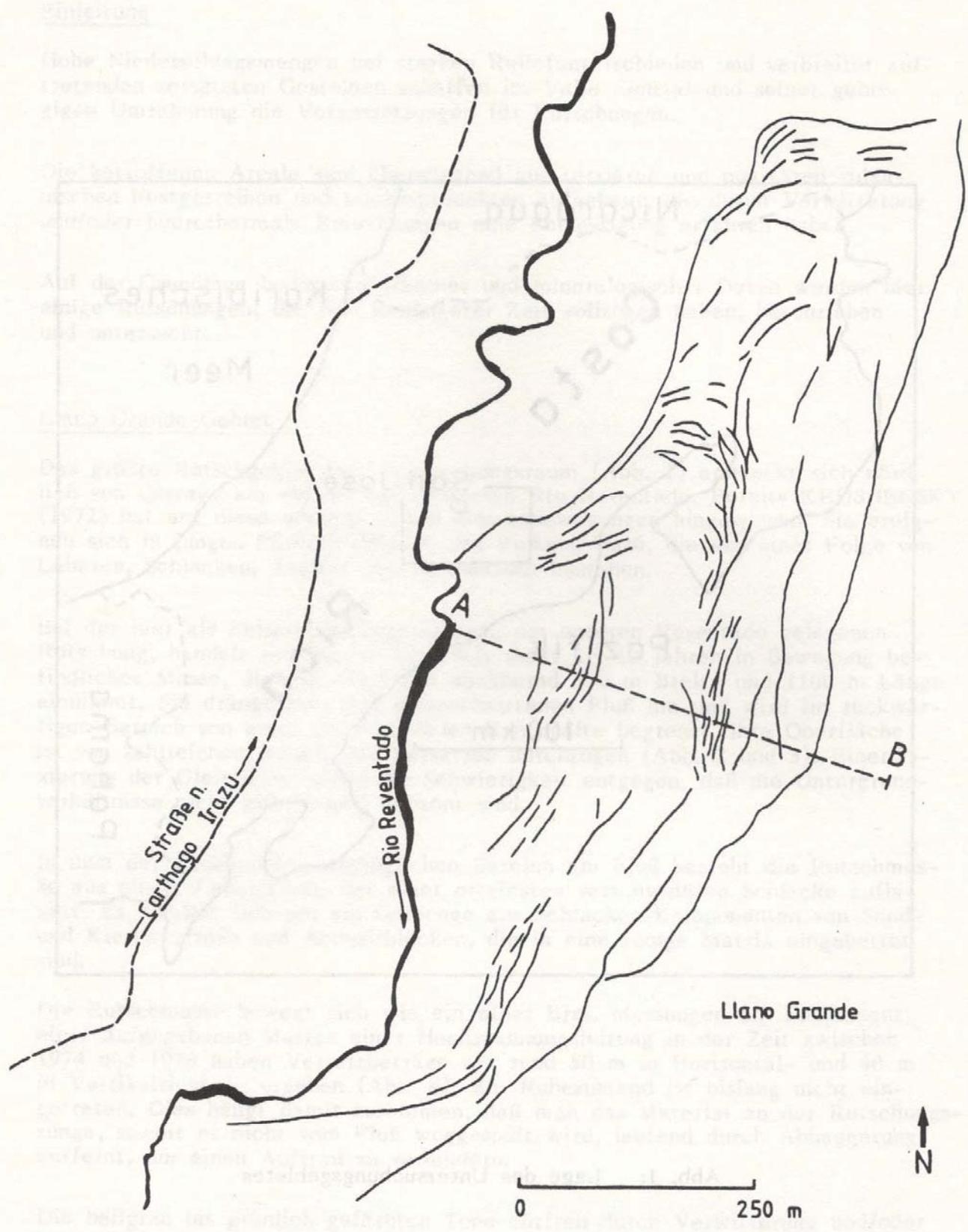


Abb. 2: Umgrenzung, Risse und Versätze der Llano Grande Rutschung nach Luftaufnahmen

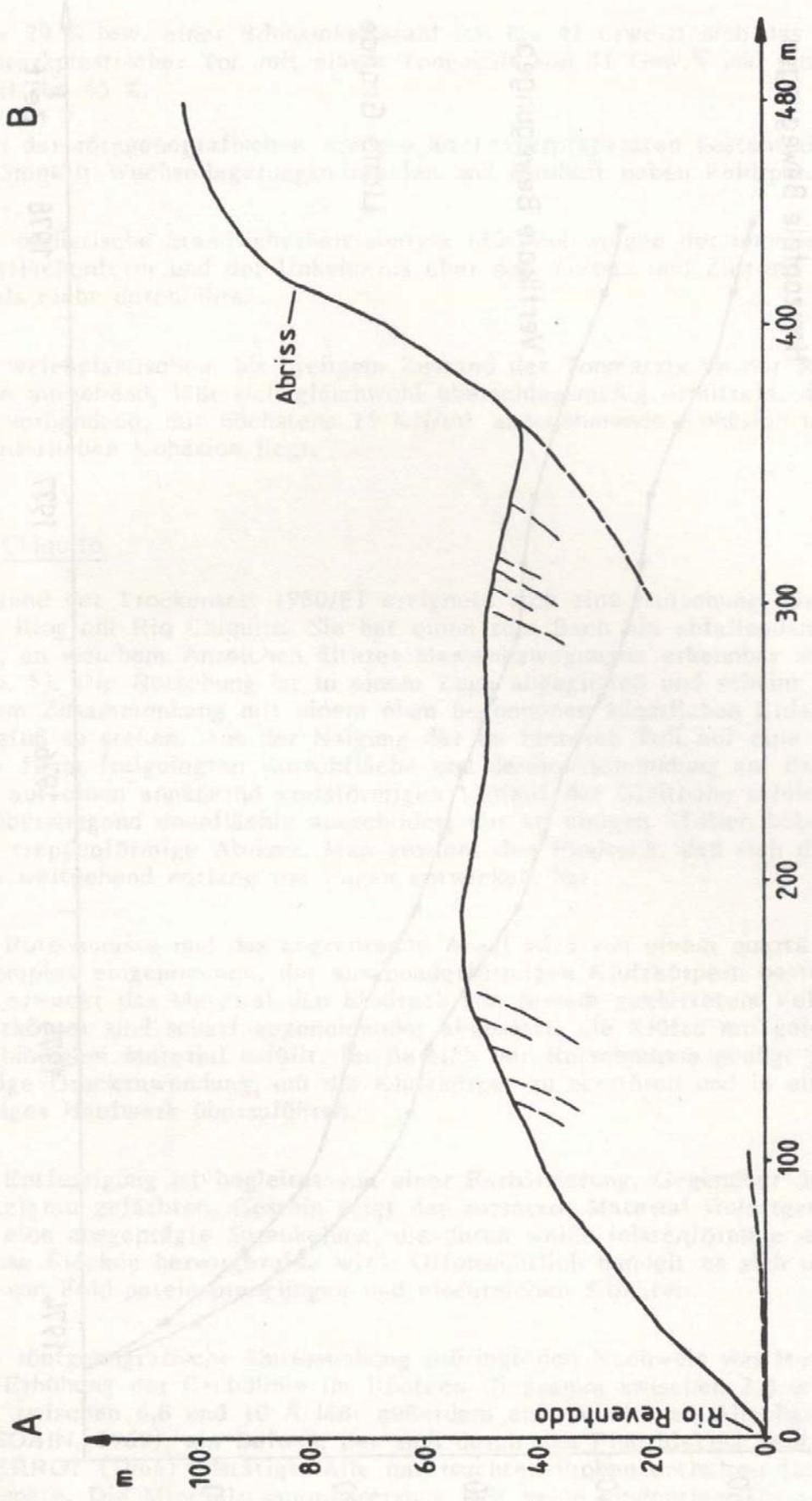


Abb. 3: Querschnitt der Llanos Grande Rutschung im Bereich des Mittel-  
teils (vgl. Abb. 2)

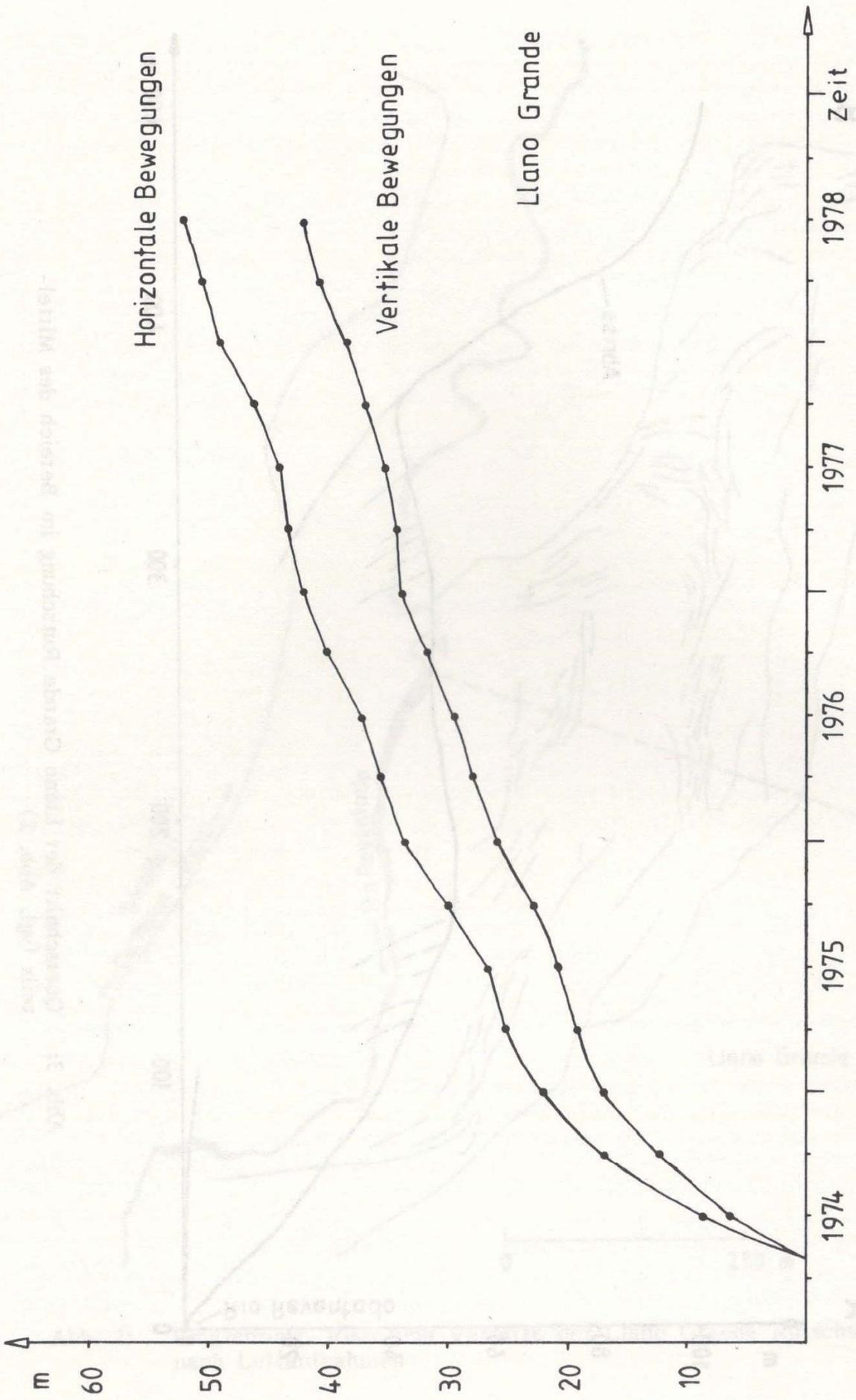


Abb. 4: Bewegungen der Llanos Grandes Rutschung seit 1974

$W_p = 29\%$  bzw. einer Bildsamkeitszahl von  $I_p = 41$  erweist sich das Material als starkplastischer Ton mit einem Tongehalt von 31 Gew.% und einem Sandanteil von 45 %.

Nach der röntgenografischen Analyse an Texturpräparaten besteht der Ton aus Smektit-Wechsellaagerungsmineralen und Kaolinit neben Feldspat.

Eine realistische Standsicherheitsanalyse läßt sich wegen der unbekanntenen Gleitflächenform und der Unkenntnis über den Aufbau und Zustand des Materials nicht durchführen.

Von weichplastischem bis breiigem Zustand der Tonmatrix an der Rutschungszunge ausgehend, läßt sich gleichwohl überschlagsmäßig ermitteln, daß die hier vorhandene, mit höchstens  $15 \text{ KN/m}^2$  anzunehmende Kohäsion unter der erforderlichen Kohäsion liegt.

### Rio Chiquito

Während der Trockenzeit 1980/81 ereignete sich eine Rutschung nördlich von Tres Rios am Rio Chiquito. Sie hat einen zum Bach hin abfallenden Hang erfaßt, an welchem Anzeichen älterer Massenbewegungen erkennbar waren (Abb. 5). Die Rutschung ist in einem Zuge abgeglitten und scheint in ursächlichem Zusammenhang mit einem eben begonnenen künstlichen Erdabhub am Hangfuß zu stehen. Aus der Neigung der im hinteren Teil auf eine Höhe von etwa 50 m freigelegten Rutschfläche und deren Ausmündung am Bach läßt sich auf einen annähernd kreisförmigen Verlauf der Gleitbahn schließen. Sie ist überwiegend ebenflächig ausgebildet; nur an einigen Stellen beobachtet man treppenförmige Abrisse. Man gewinnt den Eindruck, daß sich die Gleitbahn weitgehend entlang von Fugen entwickelt hat.

Die Rutschmasse und das angrenzende Areal wird von einem quartären Andesitkomplex eingenommen, der aus quaderförmigen Kluffkörpern besteht. Äußerlich erweckt das Material den Eindruck von festem geklüftetem Fels. Die Kluffkörper sind scharf gegeneinander abgesetzt, die Klüfte nur gelegentlich von bindigem Material erfüllt. Im Bereich der Rutschmasse genügt jedoch mäßige Druckanwendung, um die Kluffkörper zu zerstören und in ein kiesiges sandiges Haufwerk überzuführen.

Die Entfestigung ist begleitet von einer Farbänderung. Gegenüber dem frischen, dunkelgrau gefärbten, Gestein zeigt das zersetzte Material violettgraue Farben und eine ausgeprägte Sprenkelung, die durch weiße leistenförmige und braune diffuse Flecken hervorgerufen wird. Offensichtlich handelt es sich um die Relikte von Feldspateinsprenglingen und eisenreichen Silikaten.

Eine röntgenografische Untersuchung erbringt den Nachweis von Metahalloysit. Die Erhöhung der Grundlinie im Röntgen-Diagramm zwischen  $2,8$  und  $3,9 \text{ \AA}$  bzw. zwischen  $6,8$  und  $10 \text{ \AA}$  läßt außerdem auf Gehalte an Allophan schließen (BESOAIN, 1969), ein Befund, der sich durch den Fluorid-Test nach FIELDS & PERROT (1966) bestätigt. Alle untersuchten Proben enthalten außerdem Feldspäte. Die Mineralzusammensetzung läßt keine eindeutige Aussage über

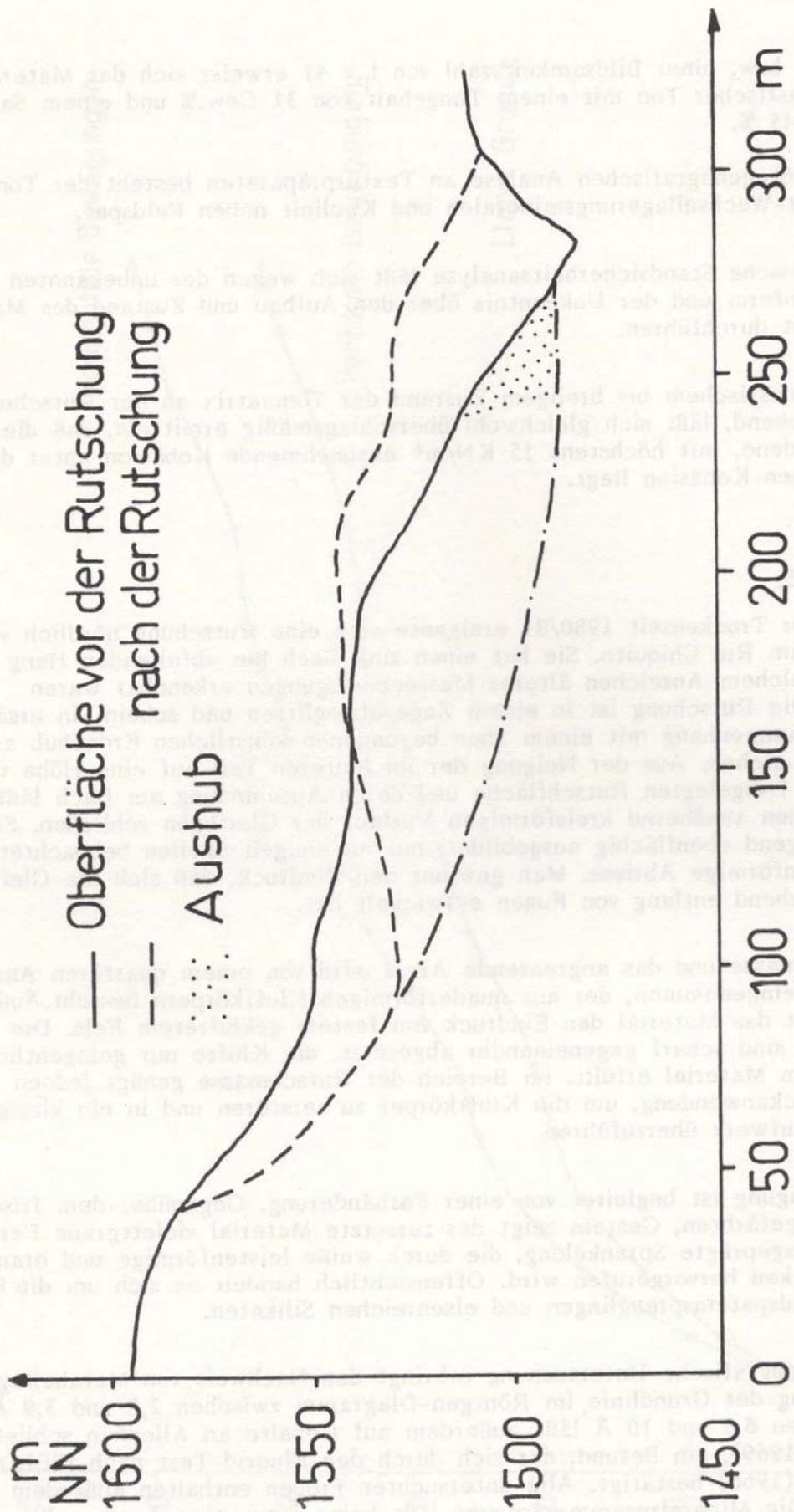


Abb. 5: Schnitt durch die Rio Chiquito Rutschung

die Ursachen der Entfestigung, ob Verwitterung oder hydrothermale Zersetzung oder beides zu. Die Festigkeit der beim Zerdrücken entstehenden Aggregate ist relativ hoch. Wahrscheinlich beruht sie auf den Primärbindungen der noch nicht quantitativ umgewandelten Feldspäte. Das Aggregatsystem ist quasi unplastisch. Aufschlammung und Behandlung mit Dispergierungsmitteln liefert bei den Proben Tonanteile von weniger als 15 % bei Sandgehalten von mehr als 35 %. Erst durch Zerdrücken der kantig gedrunghenen Aggregate läßt sich das System in einen tonigen Schluff überführen, der die in Tab. 1 angegebenen Bildsamkeitszahlen liefert.

$W_L$ %	$W_P$ %	$I_p$	$\rho^o$	$c$ (KN/m <sup>2</sup> )	$W$ %
66,5	39,2	27,3			
65,0	41,9	23,1			
94,4	46,7	47,7	24	31	42,8
62,0	45,0	17,0	28	10,5	42,4
49,2	28,6	20,6			
58,0	34,4	24,6			
63,3	31,9	31,4			
53,7	32,9	20,8			
63,0	36,8	26,2			
68,0	34,3	33,7			
63,2	40,0	23,2			
59,8	39,3	20,5			
78,0	47,9	30,1			
48,5	29,7	18,8	34	12	29,1

Tab. 1: Bildsamkeitsdaten von künstlich zerkleinerten Proben der Rio Chiquito-Rutschung

Charakteristisch sind die hohen Fließgrenzen bei zugleich erhöhten Ausrollgrenzen und dementsprechend niedrige Bildsamkeitszahlen. Sie sind ein Zeichen für die inneraggregatische Wasserinaktivierungsfähigkeit, die auf einen hohen Porenraum der versuchsbedingt schluffigen Aggregate schließen läßt. In der Tat erweisen sie sich im Rasterelektronenmikroskop als schwammig-zellige Gebilde. Unterstützt wird die Wasseraufnahme durch die Allophane, die gleichfalls als schwammartige Komponenten aufzufassen sind. Im Endeffekt ergibt sich ein Verhalten, das mit demjenigen organischer Tone vergleichbar ist und sich im Bildsamkeitsdiagramm in einer Stellung unter der A-Linie ausdrückt (KNOBLICH, et al., 1984).

In direkten Scherversuchen an halbfesten Proben, die lange nach dem Ereignis entnommen worden sind, wurde beobachtet, daß sich in der Scherzone die im ungestörten Material latent vorhandenen Aggregate aus dem Verband lösen und eine mehrere Millimeter starke sandige Schicht bilden. Damit erklärt sich der vergleichsweise hohe, bei über  $24^\circ$  liegende Reibungswinkel. Die Kohäsion ist angesichts der Vorherrschaft von Tonmineralen vergleichsweise gering, weil die zusammenhaltenden Kräfte offensichtlich in der Hauptsache innerhalb der Aggregate wirken.

Die Geländebeschaffenheit vor der Rutschung läßt vermuten, daß das betreffende Gebiet bereits zu einem früheren Zeitpunkt von Bewegungen betroffen war. Auf Rutschungen hinweisende ähnliche Geländeformen in der Nachbarschaft unterstützen diese Vermutung (Abb. 6).

Man wird also davon ausgehen dürfen, daß zum Zeitpunkt der Rio Chiquito-Rutschung bereits eine Gleitfläche vorhanden war und damit wohl ein Zustand der Restfestigkeit vorgelegen hat.

Durch eine überschlägige Rückrechnung mit einem Gleitkreis, der durch die freiliegende Fläche und die Ausmündung am Bach näherungsweise fixiert ist, ergibt sich eine ausreichende Standsicherheit schon bei niedrigeren Scherparameterwerten als den versuchsmäßig ermittelten. Allerdings wird man zu berücksichtigen haben, daß die Wassergehalte bzw. Zustandsformen der Versuchsproben nicht jenen entsprechen, die beim Rutschungsereignis vorgelegen haben. Seinerzeitige Untersuchungen an einer Reihe von Proben ergaben einen weichen bis breiigen Zustand zumindest für einige Bereiche. Bei der herrschenden Trockenzeit wird man die mit einer lokalen Kluftgrundwasserzufuhr in Verbindung mit der Einsickerung von Wasser durch intensive Bewässerung des landwirtschaftlich genutzten Areals erklären müssen.

#### Rutschungen an der Interamerikanischen Straße

Ein weiteres Gebiet, das in jüngerer Zeit von Rutschungen betroffen war, erstreckt sich entlang der Interamerikanischen Straße zwischen den Ortschaften Empalme und San Isidro. Die Cordillera de Talamanca ist hier aus Vulkaniten der miozänen-pliozänen Aguacate-Formation aufgebaut, die bis in größere Tiefen in entfestigtem zersetzten Zustand vorliegen. Ursache scheinen Verwitterungsvorgänge zu sein, denn die entsprechenden Zonen zeigen eine flächenhafte Verbreitung.

Die Rutschungen sind hier in einem Zuge abgeglitten. Betroffen sind Straßendämme, die aus dem zersetzten Gestein geschüttet sind und Böschungen. Im letzteren Falle wird an den Aufschlüssen deutlich, daß durch die Verwitterungsvorgänge - entsprechend der Situation im Bereich der Rutschung Rio Chiquito - keine wesentliche Veränderung des Kluftgefüges eingetreten ist. Jedoch zerbröseln auch hier die äußerlich intakt erscheinenden rotbraunen und violettgrauen, oft weich gesprenkelten Kluftkörper bei leichter Druckanwendung in ein Aggregataufwerk. Schlämmanalysen unter Einsatz von Dispergierungsmitteln ergeben Tongehalte von weniger als 14 Gew.% bei Schluffanteilen zwischen 30 und 40 Gew.%. Die Sandfraktion ist stets am stärksten vertreten. Anhand

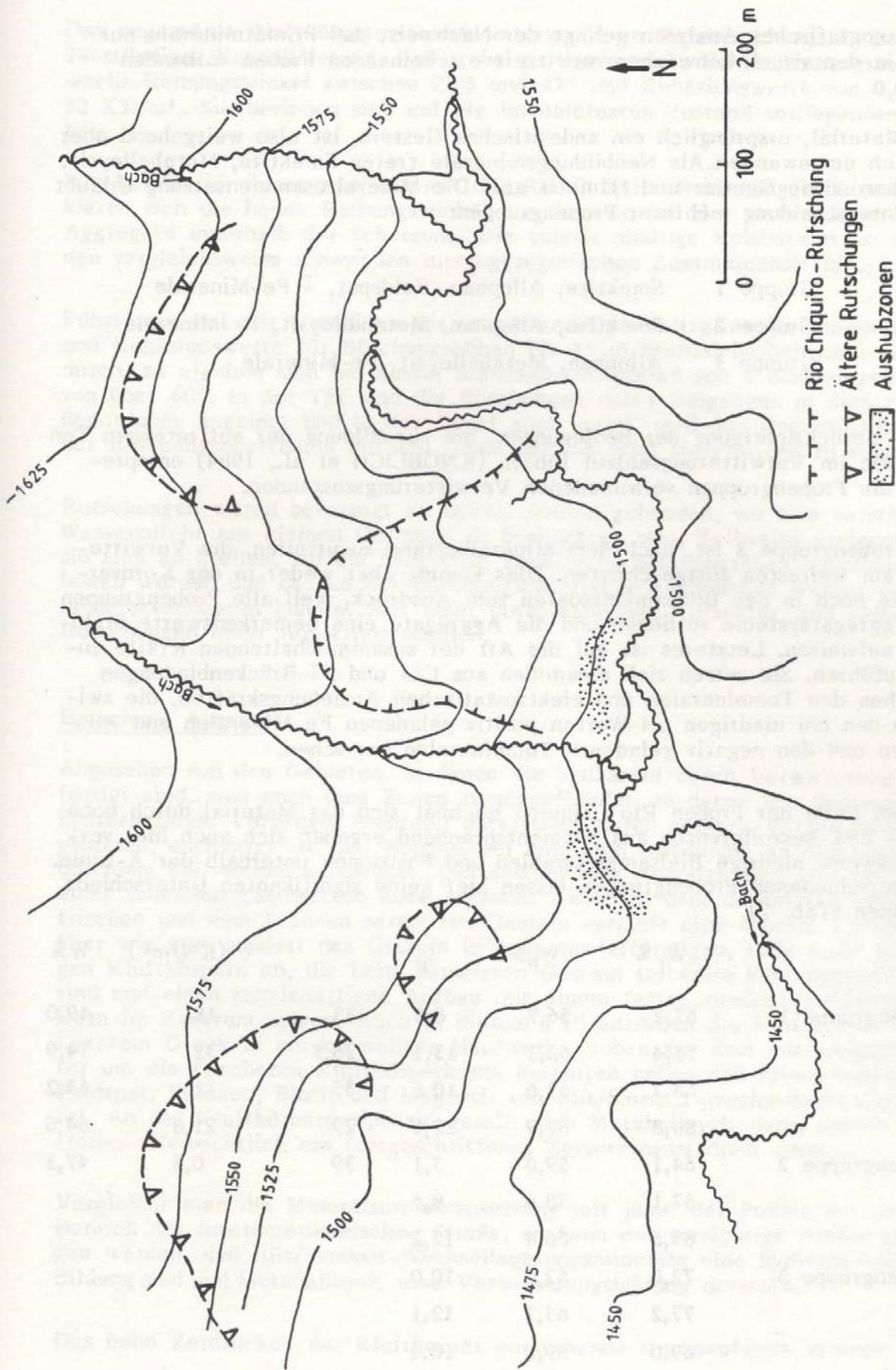


Abb. 6: Areal der Rio Chiquito Rutschung nach Luftaufnahmen und Geländebeobachtungen

röntgenografischer Analysen gelingt der Nachweis, daß Primärminerale nur noch in den visuell schwächer verwittert erscheinenden Proben vorhanden sind.

Das Material, ursprünglich ein andesitisches Gestein, ist also weitgehend oder gänzlich umgewandelt. Als Neubildungsminerale treten Smektite, Metahalloysit, Allophan sowie Geothit und Hämatit auf. Die Mineralzusammensetzung erlaubt die Unterscheidung mehrerer Probengruppen:

Gruppe 1	Smektite, Allophan, Feldspat, $\pm$ Fe-Minerale
Gruppe 2	Smektite, Allophan, Metahalloysit, Fe-Minerale
Gruppe 3	Allophan, Metahalloysit, Fe-Minerale

Unter Berücksichtigung der Bedingungen, die zur Bildung der auftretenden Tonminerale im Verwitterungsablauf führen (KNOBLICH et al., 1984) entsprechen die Probengruppen verschiedenen Verwitterungszuständen.

Bei Probengruppe 3 ist, nach dem Mineralbestand zu urteilen, die Verwitterung am weitesten fortgeschritten. Dies kommt aber weder in der Kornverteilung noch in den Bildsamkeitsdaten zum Ausdruck, weil alle Probengruppen als Aggregatsysteme vorliegen und die Aggregate eine bemerkenswerte Stabilität aufweisen. Letzteres ist auf die Art der zusammenhaltenden Kräfte zurückzuführen. Sie setzen sich zusammen aus Ca- und Al-Brückenbindungen zwischen den Tonmineralen und elektrostatischen Anziehungskräften, die zwischen den bei niedrigen pH-Werten positiv geladenen Fe-Mineralen und Allophanen und den negativ geladenen Tonmineralen herrschen.

Wie im Falle der Proben Rio Chiquito zeichnet sich das Material durch hohe Fließ- und Ausrollgrenzen aus. Dementsprechend ergeben sich auch hier vergleichsweise niedrige Bildsamkeitszahlen und Positionen unterhalb der A-Linie. Die verschiedenen Probengruppen lassen hier keine signifikanten Unterschiede erkennen (Tab. 2).

	$W_L$ %	$W_P$ %	$I_P$	$\sigma$	$c$ (KN/m <sup>2</sup> )	W %
Probengruppe 1	65,2	56,7	8,5	33	18	49,0
	75,4	62,3	13,1	28,5	32	34,9
	68,2	57,6	10,6	35	11	63,2
	80,8	67,9	12,9	29	21,8	64,6
Probengruppe 2	64,1	59,0	5,1	39	0,6	47,3
	67,1	58,6	8,5			
	83,6	66,4	17,2			
Probengruppe 3	72,0	62,0	10,0			
	77,2	65,1	12,1			
	69,0	59,0	10,0			

Tab. 2: Bildsamkeitsgrenzen und Scherparameter des Materials

Das ungestörte Kluftkörpermaterial, untersucht im Rahmenschergerät bei 24-stündiger Konsolidierung, liefert bei zeitkonstantem Schubspannungszuwachs Reibungswinkel zwischen 28,5 und 47° und Kohäsionswerte von 0,6 bis 32 KN/m<sup>2</sup>, Sie beziehen sich auf die im halbfesten Zustand vorliegenden Proben.

Wie bereits im Zusammenhang mit der Rio Chiquito-Rutschung erläutert, erklären sich die hohen Reibungswinkel aus dem Zerfall des Materials in seine Aggregate innerhalb der Scherzone. Die relativ niedrige Kohäsion weist auf den vergleichsweise schwachen interaggregatischen Zusammenhalt hin.

Führt man auf der Grundlage der versuchsmäßig ermittelten Reibungswinkel und Kohäsionswerte für Böschungshöhen bis 15 m Standsicherheitsanalysen durch, so ergeben sich bei einem Standsicherheitsgrad von 1 Böschungswinkel von über 60°. In der Tat sind die Böschungen unter Neigungen in dieser Größenordnung angelegt und in der Regel auch stabil, weil das Regenwasser an der Böschungsoberfläche abfließt, ohne das Material tiefgreifend zu verändern.

Rutschungen waren bevorzugt an solche Stellen gebunden, wo eine verstärkte Wasserzufuhr aus kleinen Gerinnen zu beobachten war. Teilweise ereigneten sie sich an Stellen, wo die hangseitig angelegten Straßengräben unverbaut belassen wurden und das an der Böschungsoberfläche abfließende Wasser ungehindert versickern konnte. Seit einer entsprechenden Korrektur sind keine Rutschungen mehr registriert worden.

#### Rutschung Atenas

Abgesehen von den Gebieten, in denen die Vulkanite durch Verwitterung entfestigt sind, sind auch jene Zonen rutschgefährdet, in denen das Gestein durch hydrothermale Vorgänge, eventuell unterstützt durch spätere Verwitterungsprozesse, entfestigt ist. Als Beispiel sei hier eine Rutschung an einer Straßenböschung bei Atenas aufgeführt. Die anstehenden Andesite sind hier entlang einer schmalen gestreckten Zone zersetzt. Zwischen dem dunkelgrau gefärbten frischen und dem braunen zersetzten Gestein verläuft eine scharfe Grenze. Hier wie dort sondert das Gestein in teils quaderförmigen, teils mehr plattigen Kluftkörpern ab, die beim zersetzten Gestein teilweise kantengerundet sind und einen schalenartigen Aufbau mit einem festen, rundlich geformten Kern im Zentrum zeigen. Auch in diesem Fall zerfallen die Kluftkörper unter leichtem Druck in ein krümeliges Haufwerk. Proben aus dem entfestigten Sektor um die frischeren Kluftkörperkerne enthalten neben den Primärmineralen Feldspat, Pyroxen, Biotit und Magnetit ein Illit/Smektit-Wechselagerungsmineral. An der Kluftkörperperipherie gesellt sich Metahalloysit dazu, dessen Auftreten offensichtlich ein fortgeschrittenes Zersetzungstadium anzeigt.

Vergleicht man die Mineralzusammensetzung mit jener der Proben aus dem Bereich der Interamerikanischen Straße, so kann der vorsichtige Schluß gezogen werden, daß Illit/Smektit-Wechselagerungsminerale eine hydrothermale Bildung sind und Metahalloysit eine Verwitterungsbildung darstellt.

Das beim Zerdrücken der Kluftkörper entstehende Kornhaufwerk erweist sich

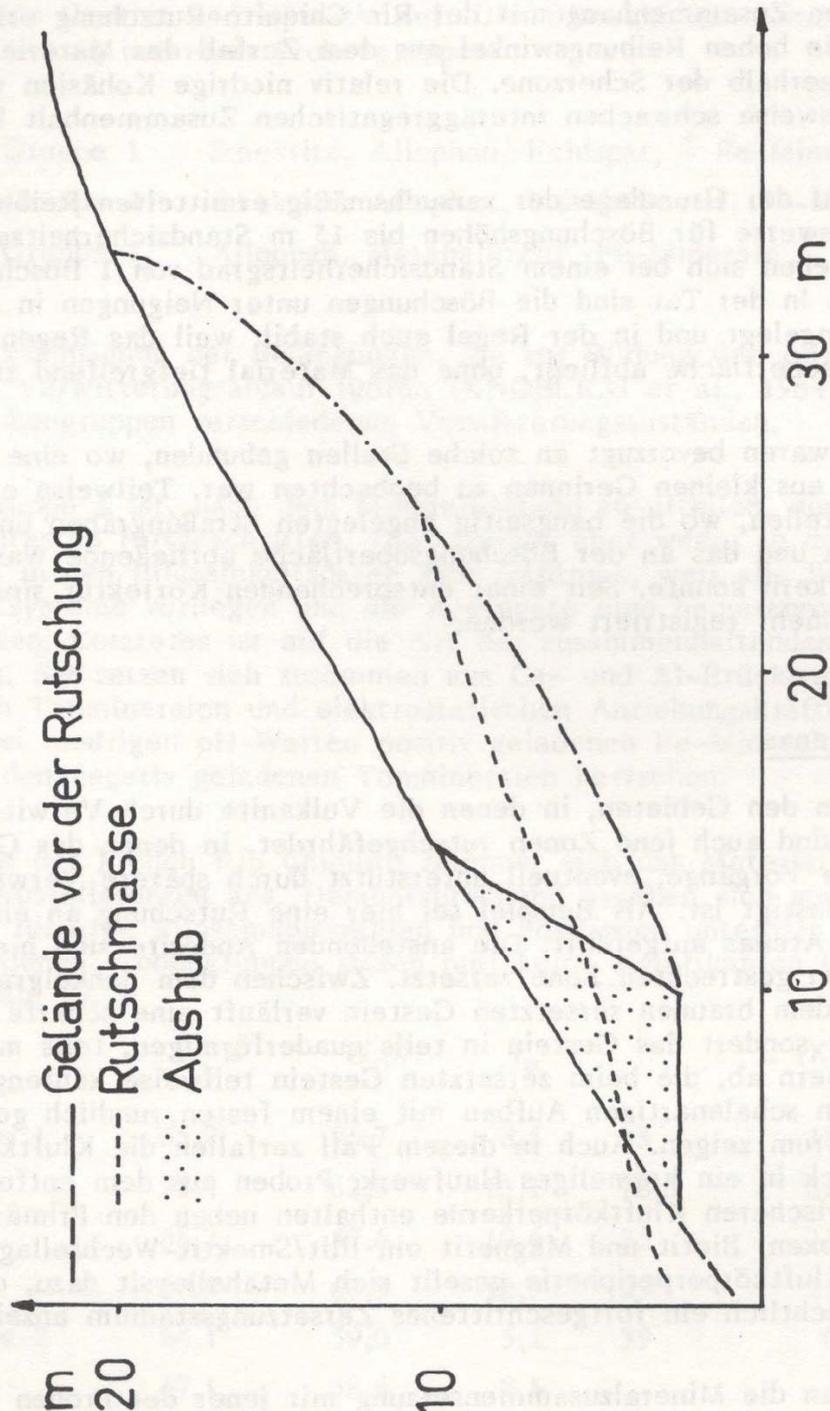


Abb. 7: Rutschung bei Atenas

als ein Aggregatsystem, das der Schlämmanalyse zufolge über 40 % Sand und weniger als 15 % Ton enthält. Seinen Bildsamkeitsgrenzen zufolge (Tab. 3) ist das Material mit demjenigen der Interamerikanischen Straße vergleichbar.

$W_L$ %	$W_P$ %	$I_P$
34,0	27,0	7
46,4	32,2	14,2
57,3	45,5	11,8
45,0	35,5	9,5
50,7	40,1	10,6
51,8	43,3	8,5

Tab. 3: Bildsamkeitsgrenzen des Materials der Rutschung Atenas

Die Rutschung erfolgte an einem etwa 20 m hohen, mit 27° geneigten Hang, der im Zuge einer Straßenbaumaßnahme auf eine Höhe von ungefähr 8 m unter einem Winkel von 60° abgeböschert worden war. Die Gleitfuge mündet am Böschungsfuß aus. Sie verläuft entlang von Klüften, ist also treppenartig ausgebildet, schneidet teilweise aber auch durch die Klüftkörper und zeigt eine insgesamt schwache Krümmung (Abb. 7).

Repräsentative Scherversuche des zersetzten Gesteins liegen nicht vor. Aggregatgefüge und Bildsamkeitsdaten lassen es jedoch zulässig erscheinen, daß der Reibungswinkel des Materials mit einem relativ hohen Betrag angesetzt wird. In Anlehnung an die vergleichbaren Gesteine aus den Bereichen Rio Chiquito und Interamerikanische Straße dürfte er bei mindestens 24° liegen. Legt man diesen Betrag einer überschlägigen Standsicherheitsanalyse zugrunde, so erhält man eine erforderliche Kohäsion in der Größenordnung von 20 bis 30 KN/m<sup>2</sup>, die von den Vergleichsproben nur teilweise erreicht wird.

Man wird also davon ausgehen können, daß am vorliegenden Hang nach Anlage der Böschung schon eine geringe Veränderung des Wassergehaltes zu einer Instabilität geführt hat. Dementsprechend ist die Rutschung auch zu Beginn einer Regenzeit erfolgt.

### Schriftenverzeichnis

BESOAIN, E. (1969): Untersuchungen von Böden aus Pyroklastiten Chiles, Japans, Deutschlands und Italiens.- Diss. Univ. Bonn, 344 S., Bonn.

- FIELDS, M. & PERROT, K. W. (1966): The nature of Allophane in Soils. Part 3: Rapid Field and Laboratory Test for Allophane.- New. Z. J. Sci., 9, 3, Wellington.
- KNOBLICH, K., LENZ, W. & TORRES, C. (1984): Verwitterungsvorgänge in vulkanischen Festgesteinen Costa Ricas.- Z. Angew. Geowiss., 5, 5-23.
- KNOBLICH, K., LENZ, W. & TORRES, C. (1984): Mineralbestand und Bodenmechanisches Verhalten von verwitterten Vulkaniten aus dem Bereich der Interamerikanischen Straße in Costa Rica.- Geotechnik, 7, H. 3, 130-137, Essen.
- KRUSHENSKY, R. D. (1972): Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica.- Geol. Surv. Bull., 1358, Washington.