

Erdrutsche sind in bergigen tropischen Gebieten recht häufige Erscheinungen. Dies hängt mit den hohen Niederschlägen zusammen, die zu einem erheblichen Teil versickern und das Gestein aufweichen. Bevor das Wasser seine Wirkung entfalten kann, greift es in einem langandauernden Prozeß in Verbindung mit den höheren tropischen Temperaturen die Gesteine an. Dieser Verwitterungsprozeß führt zu einer Zustandsänderung und Entfestigung des Bodens, der dann den abschiebenden Kräften, die an Hängen und Böschungen herrschen, nicht mehr standhalten kann. In Costa Rica lassen sich die verschiedenen Ursachen für Geländerutschungen und die damit zusammenhängenden Rutschungstypen besonders gut studieren.

Untersuchungsraum in Costa Rica

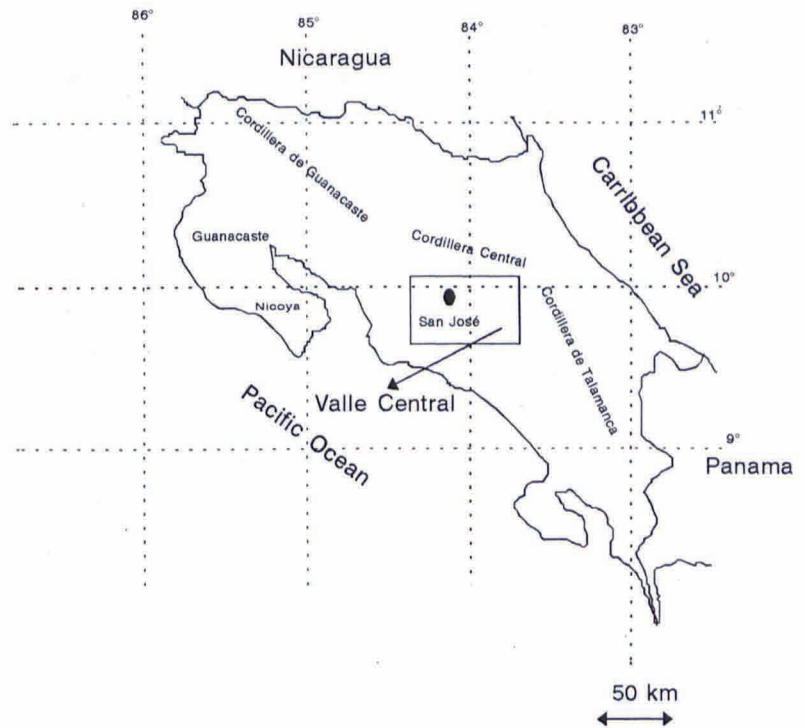


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes in Costa Rica

Erdrutsche in Costa Rica

Rutschungsuntersuchungen im Valle Central

■ Von Klaus Knoblich
und Erich Mands

Geländerutschungen beobachtet man in besonderem Maße an den im zirkumpazifischen Raum verbreiteten vulkanischen Gesteinen. Die Minerale in den Aschen, Schlacken und Tuffen oder auch in den festen Gesteinskörpern sind unter den dort herrschenden klimatischen Bedingungen nicht stabil. Sie werden in Tonminerale umgewandelt, die ein lockeres, veränderlich festes, plastisch reagierendes und hoch wasserempfindliches System bilden.

Die Standsicherheit eines Hangs oder einer Böschung wird durch

die sogenannte Scherfestigkeit des Gesteins bestimmt. Diese setzt sich zusammen aus der Reibung der Bodenkörner untereinander und der Kohäsion zwischen kleinsten Ton- und Schluffpartikeln. Bei zunehmender Verwitterung und durch Wasseraufnahme vermindert sich die Scherfestigkeit, so daß die aus der Schwerkraft resultierenden Schubspannungen die Scherkräfte, die für die Stabilität des Hanges sorgen, überschreiten. So kommt es letztlich zu einer Rutschung.

Eine solche Rutschung kann wenige Hundert m³ Gestein umfas-

sen oder noch kleiner sein. Ihr Volumen kann aber auch mehrere Millionen m³ erreichen. Stets hängt es von der Örtlichkeit ab, ob sie nur ökonomischen Schaden anrichtet oder – wenn Menschen direkt oder indirekt betroffen sind – katastrophale Ausmaße erreicht.

Freilich ist der Mensch nicht schuldlos daran, daß sich solche Rutschungen in jüngerer Zeit wohl häufiger ereignen. Die Abholzung der Wälder in den bergigen Arealen begünstigt ihr Entstehen. Der pflanzliche Wasserverbrauch ist dort reduziert. In den

Trockenzeiten kommt es zur Bildung von Schrumpfrissen im Boden, die in der Regenzeit das Niederschlagswasser rasch eindringen und auf potentiellen Gleitflächen abfließen lassen. Aber auch der fortschreitende Ausbau der Verkehrswege mit meist zu steil angelegten Böschungen führt bei fehlenden oder nur mangelhaften Entwässerungseinrichtungen zu erhöhten Schubspannungen und zur Bildung linien- und flächenhafter Aufweichungszonen im Untergrund.

In unserem von der DFG geförderten Forschungsprojekt, das einen Beitrag leisten soll zur Kinematik von Rutschungen in tropischen Gebieten und dem Einfluß der Zersetzung vulkanischer Massen auf die Kinematik, haben wir zunächst die mineralogische und bodenmechanische Untersuchung der Gesteine in den Vordergrund gestellt.

Im Valle Central (siehe Abbildung 1), einem dicht besiedelten Hochbecken mitten in Costa Rica in rund 1500 m Höhe gelegen und mit einer bergigen Umrahmung, fallen zwischen 2000 und 5000 mm Niederschläge im Jahr, die sich weitgehend auf die sommerliche Regenzeit beschränken. Hinzu kommt eine hohe Jahresmitteltemperatur von 22°C, die die Verwitterung begünstigt. Die entsprechenden Werte von etwa 650 mm Niederschlag und 8°C im Raum Gießen seien hier zum Vergleich angeführt.

Das Gebiet im Valle Central bei San José ist aus vulkanischen Gesteinen meist andesitischer Zusammensetzung und vulkanischen Lockermassen in Form von Tuffen, Laven, Schlacken und Aschen oder aus Laharen, einer Mischung von all dem, aufgebaut. Örtlich sind diese Gesteine bis in eine Tiefe von gut 100 m völlig zersetzt, wobei neben der Verwitterung auch heiße vulkanische Wässer eine Rolle spielen.

Das Gebiet ist in den letzten Jahren durch neue Wege und Straßen so erschlossen worden, daß auch Gegenden, die noch vor 20 Jahren kaum zugänglich waren, gut erreichbar sind. Die landwirt-

schaftliche Nutzung in Form von Viehweiden reicht bis zu einer Höhe von über 2000 m NN.

Unter den herrschenden Voraussetzungen – Gesteinszersetzung, Entwaldung, landwirtschaftliche Nutzung, hohe Niederschläge und steile Böschungen – beobachtet man zwei Arten von Rutschungen, die sich durch ihre Größe und Kinematik grundlegend unterscheiden: Erdbeben mit kleinerem Volumen, die meist als Brüche an Hängen und Böschungen auftreten, und Großrutschungen mit einem Volumen bis zu mehreren Millionen m³ Erde.

Kleinvolumige Rutschungen

Rutschungen mit kleinerem Volumen vollziehen sich in erster Linie an künstlichen Böschungen und erfolgen schlagartig. Sie scheinen hauptsächlich an klüftige, zersetzte Vulkanite und Tuffe gebunden zu sein. Die Gleitflächen nehmen einen annähernd kreisförmigen, im Kleinbereich abgetreppten Verlauf. Auch sehr unregelmäßig gestaltete Gleitflächen kommen vor, wenn unterschiedlich feste bzw. unterschiedlich stark zersetzte Vulkanite in der Bewegungsbahn vorhanden sind.

Rutschungen dieser Art an Straßenböschungen (siehe Abbildung 2 und 3) können zu erheblichen Beeinträchtigungen des Verkehrs führen. An natürlichen Hängen beobachtet man sie selten, höchstens an steilen Hängen, die als Viehweiden genutzt werden. In bewaldeten Arealen kommen sie so gut wie gar nicht vor.

Im Falle der kleineren, rasch ablaufenden Rutschungen, die man besonders gehäuft an der Interamerikanischen Straße am Aufstieg zur Cordillera de Talamanca beobachtet, haben unsere Untersuchungen zu folgenden Ergebnissen geführt:

Die Rutschungen betreffen geklüftetes vulkanisches Gestein, das einen hohen Zersetzungsgrad aufweist. Das ursprüngliche Gefüge ist erhalten, die Klüftkörper selbst lassen sich durch Fingerdruck zerbröseln. Sie zerfallen in



Abbildungen 2 und 3: Kleinere Rutschungen an der Interamerikanischen Straße

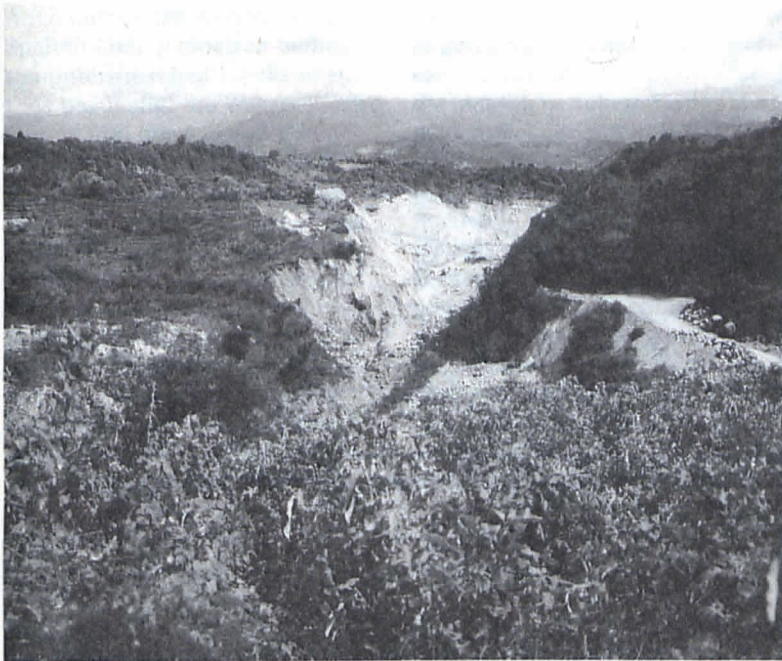


Abbildung 4: Die Rutschung San Blas nahe Cartago

ein lockeres sandig-schluffiges Gemisch aus Tonmineralen und Eisenhydroxiden. Vorherrschend sind Metahalloysit, Smektit, Allophan, Pyrophyllit und Goethit, die vergleichsweise stabile sand- und schluffkorngroße Aggregate bilden. Diese können viel Wasser aufnehmen und binden. Die bodenmechanischen Plastizitätsdaten weisen den Boden als einen organischen Ton aus. Jedoch wurden hohe Reibungswinkel bei

niedriger Kohäsion festgestellt. Übersteigt der Wassergehalt einen bestimmten Betrag, so wird die Scherfestigkeit fast schlagartig erheblich verringert, weil das zusätzliche Wasser im interaggregatischen Porenraum verbleibt, die Kohäsion aufgehoben und der Reibungswinkel vermindert wird. Wenn man die Wirkung des Drucks von Poren- und Kluftwasser berücksichtigt, ließe sich durch dieses bodenmechanische



Abbildung 5: Schäden an der Kirche der Stadt Puriscal (Rutschung Puriscal)

Verhalten die rasche Bewegungsart durchaus erklären.

Die kleineren Rutschungen lassen sich verhältnismäßig leicht sanieren und ließen sich durch entsprechende Maßnahmen zu einem größeren Teil auch verhindern. Allerdings wäre der Kostenaufwand hierzu womöglich größer als die Kosten der Sanierungen.

Großrutschungen

Den vergleichsweise kleinen Rutschungen stehen Großrutschungen gegenüber, die ein Volumen von mehreren Millionen m³ Erdreich umfassen und Flächen von einigen km² einnehmen.

Diese Rutschungen unterscheiden sich auch durch ihre Kinematik von den kleineren Rutschungstypen. Hier kommt es nicht zu abrupten Bewegungen in der Art von Brüchen. Die Massen bewegen sich vielmehr langsam und einigermaßen gleichmäßig, stetig und fließend. Dies zumindest sind die Untersuchungsbefunde an derzeit fünf solcher Fälle in San Blas bei Cartago (siehe Abbildung 4), Piedras de Fuego, Puriscal (siehe Abbildung 5), Alto Tapezco und im Llano Grande. Selbst durch Erdbeben verursachte Erschütterungen oder auch sehr starke Regenfälle scheinen keine signifikante Beschleunigung der Massenbewegung zu bewirken.

Die Möglichkeit einer abrupten Änderung des Bewegungsmechanismus wird gleichwohl seit langem diskutiert, und es bleibt die Angst vor einer rasch erfolgenden katastrophalen Entwicklung. Dies hätte verheerende Folgen, bei-



Klaus Knoblich, Jahrgang 1936, ist seit 1971 Professor für Ingenieur- und Hydrogeologie an der Universität Gießen. Zur Zeit ist er Geschäftsführender Direktor des Instituts für Angewandte Geowissenschaften. Seine Forschungsschwerpunkte sind: Untersuchung und Bewertung von Altstandorten, Grundwasserneubildung, Böschungs- und Hangstabilität und die Nutzung von geothermischer Energie. Regionale Schwerpunkte seiner Forschungsarbeit sind Afrika und Lateinamerika. Seit Februar 1996 leitet er das DFG-Projekt „Massenbewegungen in zersetzten vulkanischen Lockergesteinen (Costa Rica)“.

JUSTUS-LIEBIG-



Prof. Dr. Klaus Knoblich
Dr. Erich Mands

Institut für Angewandte Geowissenschaften
Dietzstraße 15
35390 Gießen
Telefon (06 41) 99-361 20

spielsweise für die Stadt Puriscal, die zur Hälfte auf einer Rutschmasse liegt, und für die Städte Cartago und Turrialba, wo die Rutschmassen von San Blas bzw. Piedras de Fuego die Flüsse Reventado und Reventazón unmittelbar oberhalb der Städte durch eine instabile Barriere aufstauen würden. Es ist also wichtig zu wissen, ob sich die jeweilige Masse weiterhin so langsam wie bisher bewegt, so daß – wie schon seit vielen Jahren an der Zunge der San Blas-Rutschung – genug Zeit bleibt, um die herandrängenden Massen durch täglichen Maschineneinsatz abzubaggern und wegzutransportieren und so einen Aufstau des Flusses zu verhindern.

Zumindest von der Rutschung bei San Blas gibt es Daten über die Bewegungsgeschwindigkeit (siehe Abbildung 6). Ein auf der Rutschmasse installierter Meßpunkt hat zwischen 1974 und 1991 eine Horizontalverschiebung von rund 160 m und eine Vertikalbewegung von rund 50 m erfahren. In den Jahren 1994 und 1995 konnten wir beobachten, daß es im Gefolge starker Niederschläge neben der fließenden Bewegung an der Rutschungszunge zur Bildung von Abbrüchen entlang kreisförmiger Gleitfugen kam, die ein Volumen von einigen Tausend m³ erreichten. Ein Stillstand der Bewegung ist erst zu erwarten, wenn die Massen das Tal ausfüllen und der Gegenhang ein Widerlager bildet (siehe Abbildungen 7 und 8).

Natürlich stellt sich die Frage, ob man auch durch technische Maßnahmen einen Stillstand der Bewegung erreichen könnte. Solche Maßnahmen sind zwar denkbar, aber sie wären extrem kostenaufwendig, und der Erfolg bleibt letztlich doch fraglich.

Bei diesen Großrutschungen bewegen sich die Massen auf einer Gleitfläche, die am jeweiligen oberen Ende der Rutschung steil einfällt und dann schwach gekrümmt bzw. annähernd eben weiterverläuft. Die Bewegung ähnelt einem Fließvorgang, vergleichbar dem eines Gletschers.

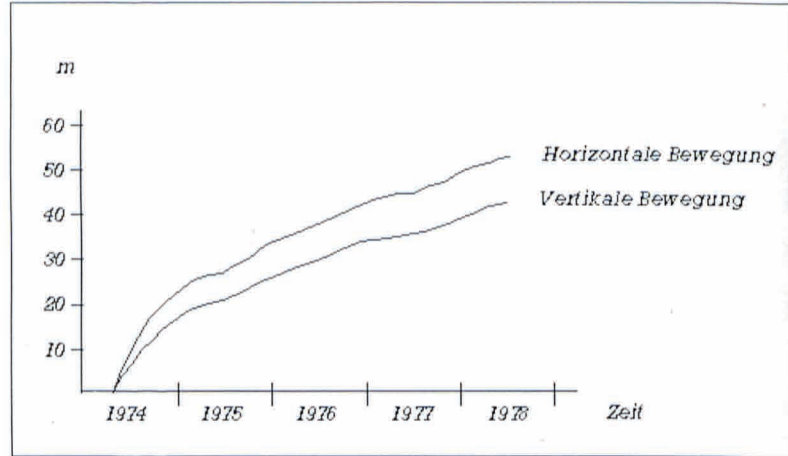


Abbildung 6: Horizontal- und Vertikalbewegung der Rutschung San Blas

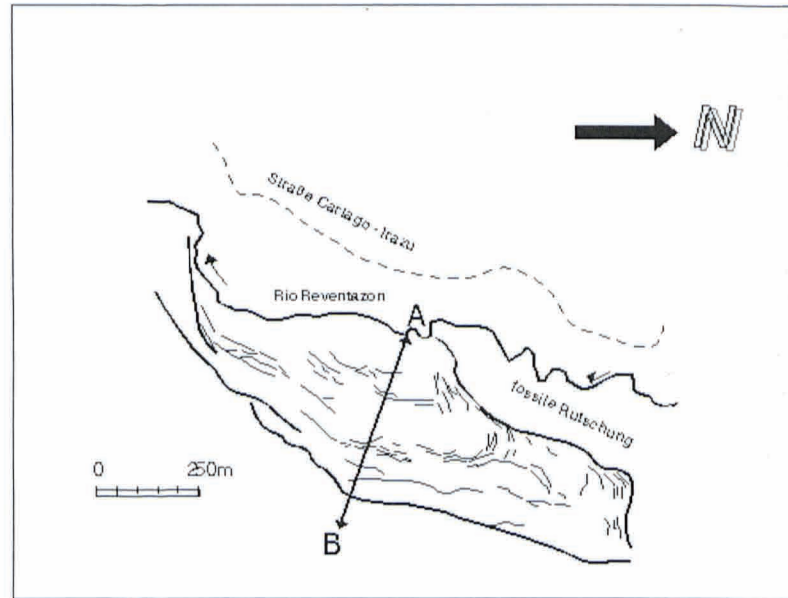


Abbildung 7: Rutschung von San Blas

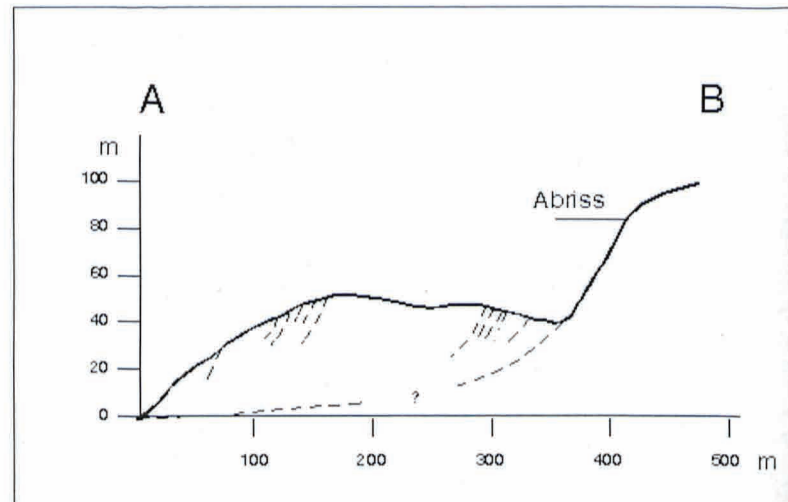


Abbildung 8: Querschnitt durch die Rutschung San Blas

Auch hier bilden sich Risse und Spalten über geologisch bedingten unterirdischen Knickstellen. Dies begünstigt die Wassereinsickerung und führt zu einer weiteren Aufweichung der Gesteine. Die Hauptgleitflächen verlaufen stellenweise etwa 70 m unter der Erdoberfläche. Jedoch gibt es innerhalb der Massen auch Zonen, die sich selbständig auf Sekundär-gleitflächen bewegen.

Über die Kinematik großer Massen ist – wenn man von Gletschern absieht – wenig bekannt. Im Unterschied zu Gletschern fehlt Rutschungen ein Nährgebiet,

das für Nachlieferung von Material und ständigen annähernd gleichen Schub sorgt. Außerdem sind die Massen in hohem Maße inhomogen. Bei der San Blas-Rutschung bewegt sich ein Komplex aus Festgesteinslagen, Schlacken, Aschen in verschiedenen Verwitterungszuständen und Lahareinlagerungen mit Blöcken bis zu 10 und mehr m³ Größe. Eine etwa gleiche inhomogene Kornzusammensetzung läßt sich in Alto Tappeco beobachten.

Bei der Bewegungsart gehen wir davon aus, daß bestimmte Gesteine, die eine besonders niedri-

ge Scherfestigkeit besitzen, mit größerem Anteil in der Rutschmasse vorkommen. Unseren Überlegungen zufolge reagieren sie in spezieller Weise auf eine Zunahme des Wassergehalts und besitzen außerdem eine so hohe bodenmechanische Kohäsion oder eine so hohe Viskosität, also Zähigkeit, daß ein abrupter Bruch nicht eintritt. Außerdem, so muß man aus der Bewegungsart schließen, dürften Mineralsysteme, die auf Erschütterungen mit einer Verflüssigung reagieren, zumindest nicht in größerer Menge vorkommen. Die Gesteine verhalten sich letztlich so, daß unter einer Spannung eine fließende Bewegungsart erzwungen wird. Dies würde dann aber auch bedeuten, daß eine Änderung der Kinematik, hin zu einer rasch ablaufenden Bewegung mit katastrophalen Wirkungen, nicht zu erwarten ist. Die Annahme, daß sich die Bewegung eher als viskoses Fließen denn als eine bruchhafte plastische Verschiebung beschreiben läßt, wird durch die bodenmechanischen Kennwerte untermauert (siehe Abbildung 9).

Im Gegensatz zu der Schubspannungs-/ Scherwegskurve eines elastisch-plastisch reagierenden Materials, das nach einem Peak, der den Bruchzustand anzeigt, auf seine Restscherfestigkeit abfällt, verläuft die des Materials aus San Blas bis zum maximalen Scherweg des Gerätes ansteigend. Der Scherweg beträgt 2 cm, jedoch läßt sich die Ausbildung einer Abriß-/Scherfläche an vielen der untersuchten Proben nicht feststellen. Dementsprechend muß es zu einer Massenverschiebung innerhalb des Probekörpers kommen, die als plastisches viskoses Fließen bezeichnet werden kann.

Obwohl relativ viele sandkorngroße Körner im Material enthalten sind, ist die Kohäsion, die am Schnittpunkt der Ordinate mit der Schergerade abgelesen werden kann, recht hoch. Hier stellt sich die Frage, ob infolge des plastisch viskosen Verhaltens der Probe überhaupt noch zwischen Kohäsion und Reibung unterschieden



Erich Mands, Jahrgang 1959, studierte von 1980 bis 1987 Geologie und Paläontologie an der Universität Gießen. Von 1989 bis 1992 war er als DAAD-Dozent am Department of Geology and Mineral Sciences und am Department of Civil Engineering der Universität Ilorin in Nigeria tätig. 1992 wurde er mit einer „Kritischen Betrachtung der Wasserbilanzparameter und hydrogeologischen Untersuchungen der Einzugsgebiete River Gbako und River Gurara (Mittelnigeria)“ promoviert. Seit 1992 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Geologie der Universität Gießen. Hier arbeitet er seit Februar 1996 im DFG-Projekt „Massenbewegungen in zersetzten vulkanischen Lokergesteinen (Costa Rica)“ mit.

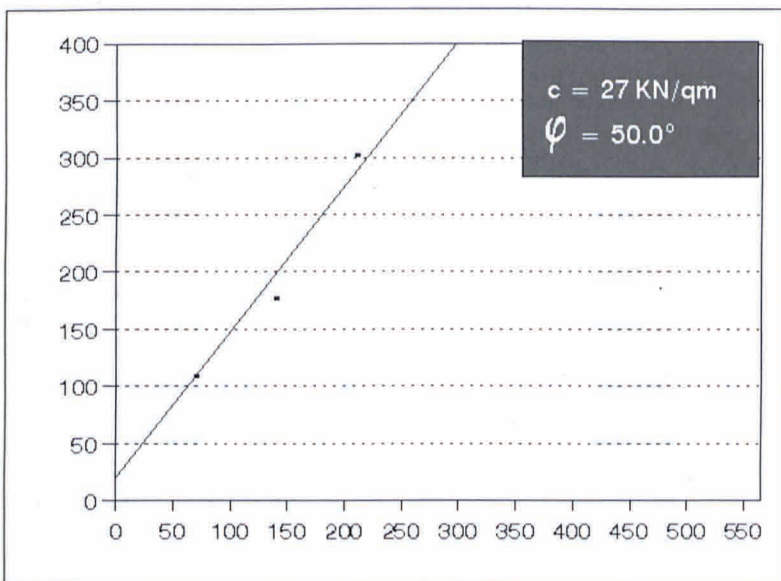
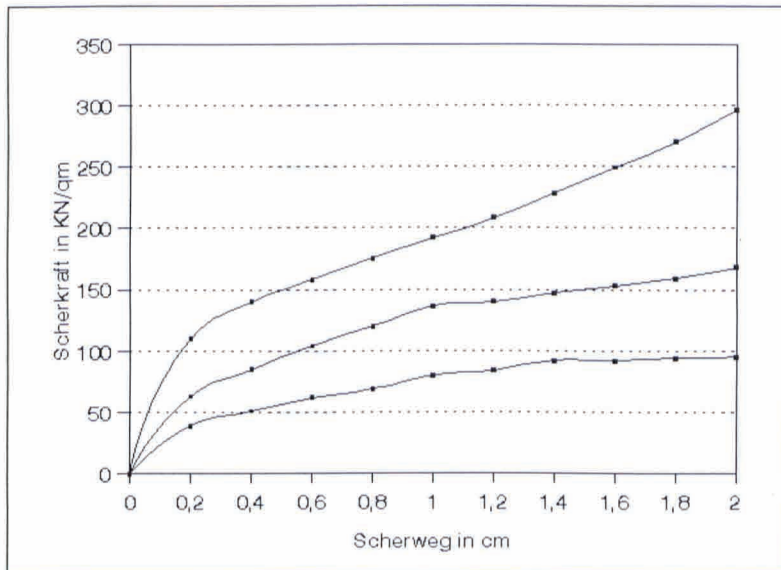


Abbildung 9: Schubspannungs- / Scherwegdiagramm sowie Scherdiagramm des Materials der Rutschung San Blas

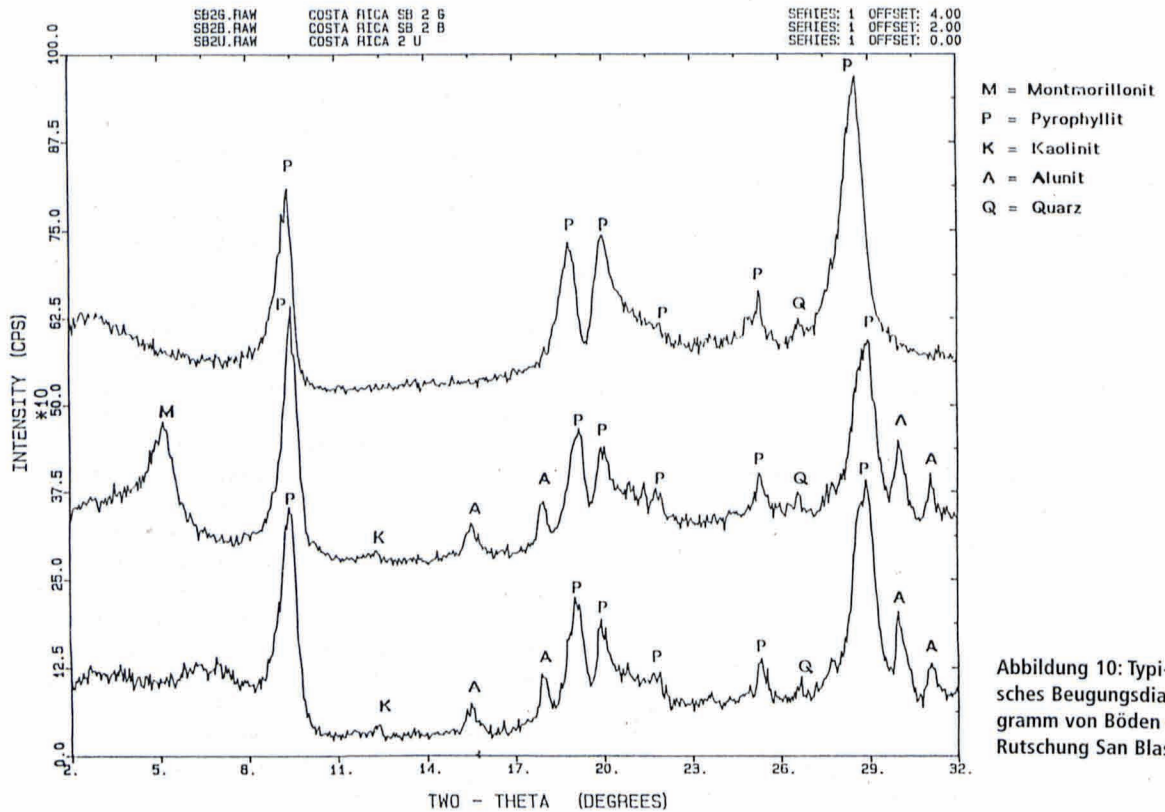


Abbildung 10: Typisches Beugungsdiagramm von Böden der Rutschung San Blas

werden kann. Vernünftiger scheint es, diese beiden nur zusammenfassend als Scherwiderstand zu bezeichnen.

In den Großrutschungen sind wir auf Lockergesteine gestoßen, die extrem viel Wasser aufnehmen können, bevor sie in den flüssigen Zustand übergehen. Sie weisen zum Teil eine außergewöhnliche Zähigkeit auf, besitzen also genau die Eigenschaften, die man aufgrund der Bewegungsart erwarten würde. Die röntgenographische Untersuchung zeigt, daß neben nicht- oder nur schwach kristallisiertem kieseligem Material auch Pyrophyllit-Alunit-Mineralgemische mit Einlagerungen von Montmorillonit zu finden sind (siehe Abbildung 10). Unter Berücksichtigung ihrer bodenmechanischen Daten wird durchaus verständlich, daß solche Materialien nicht mit einem Bruch reagieren, sondern mit einer Fließbewegung. Sofern sie also in der Gleitfuge vorliegen, ist eine abrupte Bewegungszunahme nicht zu erwarten.

Mit unseren weiteren Untersuchungen ist beabsichtigt, das bodenmechanische Verhalten der von Geländerrutschungen betroffenen Gesteine in Abhängigkeit von deren mineralogischer Zusammensetzung abzuklären. Dabei wird auch besonderes Augenmerk gelegt auf den Wassergehalt des Materials in seiner Wirkung auf die Scherparameter. Schließlich soll durch Geländeuntersuchungen der Gleitflächenverlauf ermittelt werden, um auf der Grundlage der gesamten Daten die Kinematik der Rutschungen zu erfassen. Außerdem hoffen wir, Daten zu gewinnen, mit denen wir den Einfluß der häufigen Erdbeben auf die Entstehung von Rutschungen und deren Bewegungen klären können. ■

LITERATUR

- KANNO, I., ONIKURA, Y. & HIGASHI, T. (1968): Weathering and Clay mineralogical characteristics of volcanic Ashes and Pumices in Japan. Trans. 96h Intern. Congr. Soil Sci., III, 111-122, Adelaide.
- KNOBLICH, K., LENZ, W. & TORRES, C. (1984): Mineralbestand und Bodenmechanisches Verhalten von verwitterten Vulkaniten aus dem Bereich der Inter-amerikanischen Straße in Costa Rica.- Geotechnik 7, H. 3, 130-137, Essen.
- KNOBLICH, K. (1985): Mineralbestand, Gefüge und bodenmechanisches Verhalten tropisch verwitterter Vulkanite.- Ingenieurgeol. Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein. Hrsg. K. H. Heitfeld, Springer Verlag.
- LAGUNA, M.J. (1983): Petrologie, Geochemie und Tonmineralogie der Vulkanite der Aguacate-Formation (Miozän-Pliozän), Costa Rica, Zentralamerika. Diss. Univ. Marburg.
- MORA, S., ISHIHARA, K., WATANABE, H., YASUDA, S. & YOSHIDA, N. (1994): Soil liquefaction and landslides during the Limón-Telire Costa Rica Earthquake.- Proc. Performance of Ground and Soil Structures During Earthquakes, Special Volume of XIII ICSMFE, New Delhi, India: 93-101.
- WARKENTIN, B.P. & MAEDA, T. (1974): Physical Properties of Allophane Soils from the West Indies and Japan. Soil Sci. Amer. Proc., 38, 372-377, Madison.