

Z. angew. Geowiss.	Heft 8	S. 91 - 108	1989
--------------------	--------	-------------	------

Ingenieurgeologische Untersuchungen an Rutschungen im Straßennetz Costa Ricas

von B. SANNER^{*)}

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird versucht, die vielfältigen Hangrutschungen, Böschungsbrüche etc. im zentralen Teil Costa Ricas zu erfassen und zu klassifizieren. Gründe für das gehäufte Auftreten zu Beginn der Regenzeit werden im Anstieg des Wassergehaltes im Boden gesehen, der an einigen Beispielen dokumentiert wird. Andere Einflußfaktoren (Geologie, Relief, Hangexposition) werden diskutiert.

Abstract

In this paper an attempt is made to register and classify the various landslides, slope instabilities etc. in central Costa Rica. The increasing number of slope instabilities at the beginning of the rain season is due to the increase in soil moisture content, which is documented in some examples. Other factors (geology, geomorphology, slope exposition) are discussed.

Einleitung

Das Verkehrsnetz Costa Ricas ist jedes Jahr durch Naturereignisse betroffen, die zur Unterbrechung von Verkehrsverbindungen führen. Besonders zu Beginn der Regenzeit kommt es regelmäßig zu Schlammlawinen und Rutschungen.

^{*)} Anschrift des Verfassers: Dipl.-Geol. B. Sanner, Institut für Angewandte Geowissenschaften der Justus-Liebig-Universität Giessen, Diezstraße 15, D-6300 Giessen

Ein Teil des Straßennetzes ist weniger gefährdet; es sind dies die Regionen des Valle Central und der pazifischen Küstenebene. Im Valle Central, wo mehr als die Hälfte der Einwohner Costa Ricas wohnen, findet sich eine große Zahl gut ausgebauter Straßen; die Reliefunterschiede sind relativ gering, die hohe Besiedlungsdichte bringt ein starkes Verkehrsaufkommen und in der Folge eine gute Unterhaltung der Verkehrswege mit sich.

Doch bereits in den Randgebieten des Valle Central ändert sich das Bild: Das Gelände steigt an, eng eingeschnittene Täler und steile Hänge bestimmen die Landschaft. Die Besiedlung ist geringer, nur noch die Hauptverbindungsstraßen sind asphaltiert mit gutem Unterbau, der Rest des Straßennetzes besteht aus unbefestigten Schotterwegen. Besonders im stark zerklüfteten Nordabfall der Cordillera de Talamanca, aber auch an den Hängen der Vulkane der Cordillera Central, sind zahlreiche Rutschungen und Hangbewegungen zu beobachten (CHAVES 1973; KNOBLICH et al. 1977, 1984).

Im folgenden soll ein Versuch gemacht werden, die beobachteten Rutschungen zu klassifizieren, und einige Einflußfaktoren für das gehäufte Auftreten von Rutschungen zu Beginn der Regenzeit zu diskutieren.

Geologischer und geographischer Rahmen

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von der costaricanischen Hauptstadt San José im Valle Central nach Westen und in die Ausläufer der Cordillera de Talamanca im Süden. Abb. 1 zeigt eine vereinfachte geologische Karte dieser Region, die aus den inzwischen recht zahlreichen lokalen Einzeluntersuchungen kompiliert wurde. Besonders zu nennen ist die richtungweisende Arbeit von KRUSHENSKY (1972).

Die Region wird durch den tertiären und quartären Vulkanismus geprägt, der sowohl Laven als auch Tuffe und Ignimbrite hinterlassen hat. Aktiver Vulkanismus findet sich heute in der das Valle Central nach Norden begrenzenden Cordillera Central, und hier besonders in den Vulkanen Poás und Barba sowie weiter östlich im Irazú. Im Südosten beginnen die überwiegend sedimentären Serien der Cordillera de Talamanca; in deren nordwestlichem Ausläufer, den Cerros de Escazú, handelt es sich dabei um Ablagerungen des Oligozän und Miozän. Der dioritische Pluton von Escazú wird von den Sedimenten eingeschlossen.

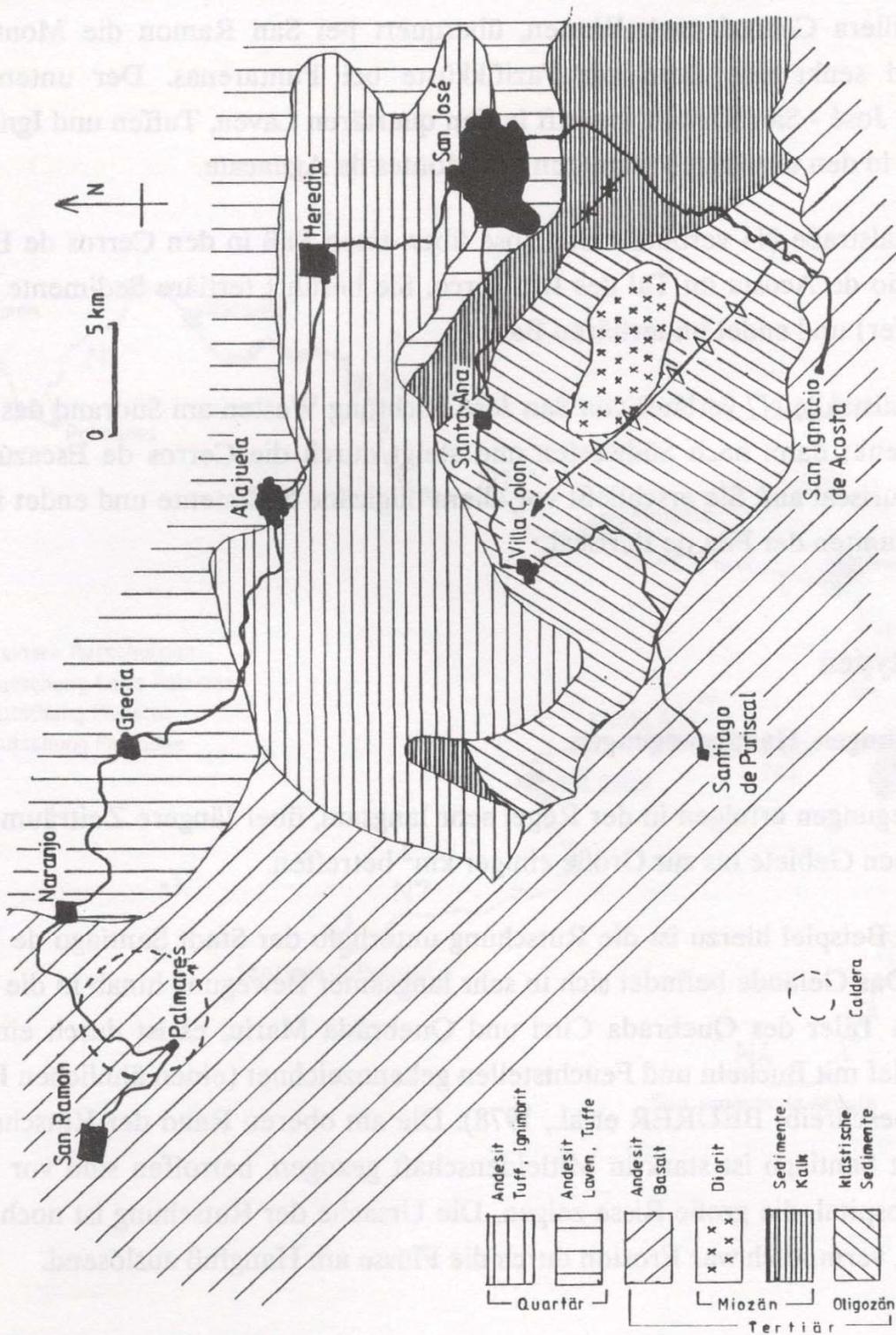


Abb. 1: Geologie des Valle Central, Costa Rica

Fig. 1: Geology of the Valle Central, Costa Rica

3 Hauptverbindungsstraßen wurden für die Untersuchungen ausgewählt; sie erschließen alle genannten geologischen Einheiten (s. Abb. 1).

Die Nationalstraße N1 verläßt San José nach Nordwesten, sie verläuft an den Ausläufer der Cordillera Central nach Westen, überquert bei San Ramon die Montes de Aguacate und senkt sich dann zur Pazifikküste bei Puntarenas. Der untersuchte Abschnitt San José - San Ramon verläuft in den quartären Laven, Tuffen und Ignimbriten und endet in den tertiären Vulkaniten der Montes de Aguacate.

Die Nationalstraße N4 verbindet San José über einen Paß in den Cerros de Escazú mit San Ignacio de Acosta im Tal des Rio Jorco. Sie berührt tertiäre Sedimente (Kalk und Tonschiefer) und endet im tertiären Basalt.

Die Nationalstraße N7 verläuft von San José Richtung Westen am Südrand des Valle Central, schwenkt dann nach Südwesten und steigt durch die Cerros de Escazú nach Santiago de Puriscal auf. Sie erschließt vor allem oligozäne Sedimente und endet in den tertiären Vulkaniten der Fila de Puriscal.

Rutschungstypen

a) Großrutschungen, Hangbewegungen

Diese Bewegungen erfolgen in der Regel sehr langsam, über längere Zeiträume hinweg, und können Gebiete bis zur Größe einiger km² betreffen.

Wichtigstes Beispiel hierzu ist die Rutschung unterhalb der Stadt Santiago de Puriscal (Abb. 2). Das Gelände befindet sich in sehr langsamer Bewegung hinab in die nördlich gelegenen Täler des Quebrada Cirri und Quebrada Marin, es ist durch ein sehr unruhiges Relief mit Buckeln und Feuchtstellen gekennzeichnet (einen ähnlichen Fall in Deutschland beschreibt BEURER et al., 1978). Die am oberen Rand der Rutschmasse gelegene Stadt Santiago ist stark in Mitleidenschaft gezogen, betroffen sind vor allem Kirche und Hospital, die große Risse zeigen. Die Ursache der Rutschung ist noch nicht restlos geklärt, vermutlich war Erosion durch die Flüsse am Hangfuß auslösend.

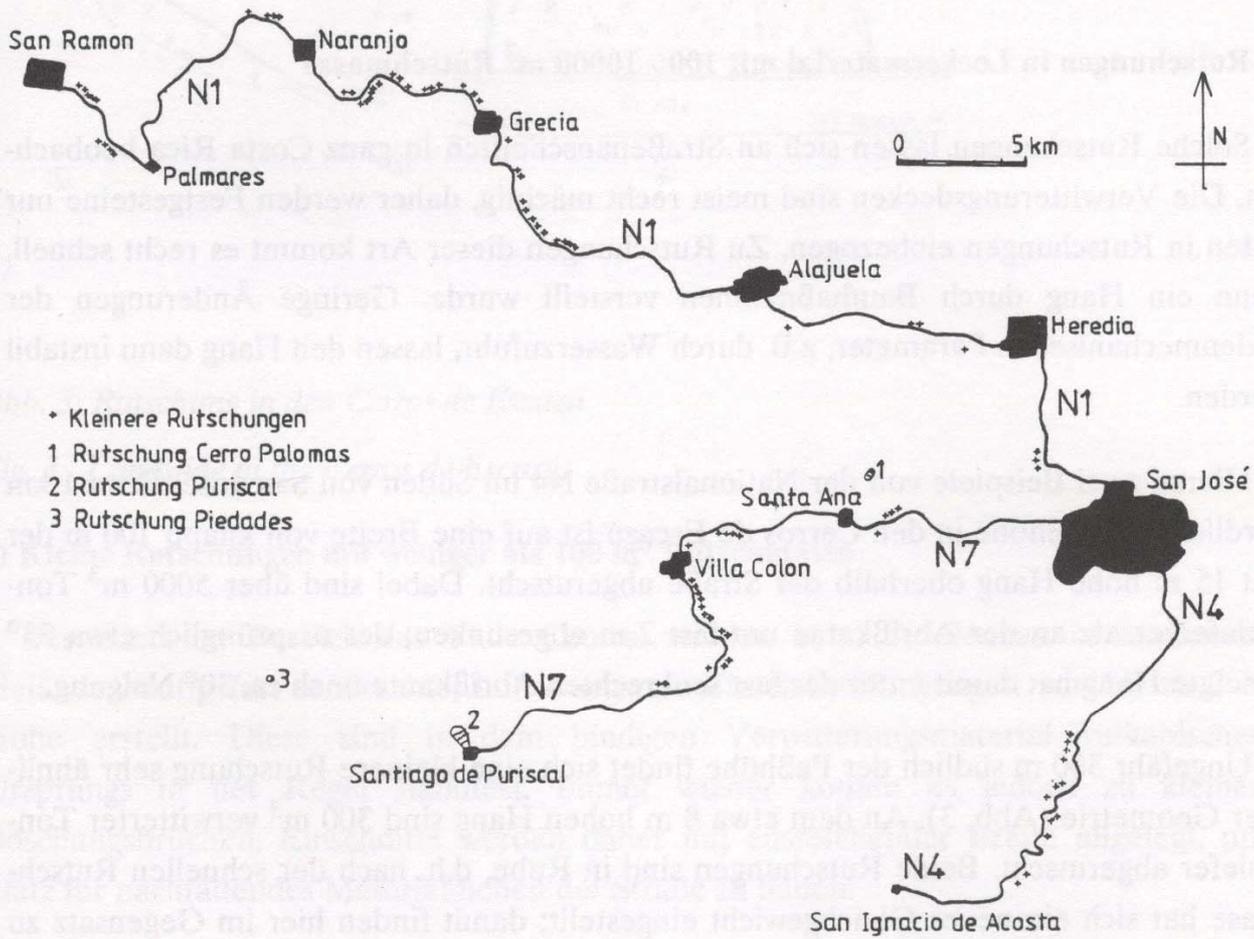


Abb. 2: Untersuchte Straßen und Rutschungen

Fig. 2: Roads investigated and corresponding landslides or slope failures

Eine weitere Rutschung dieser Art findet sich an der Autobahn "Carretera Prospero Fernandez" am Cerro Palomas (s. Abb. 2). Sie ist erheblich kleiner (ca. 300 x 300 m); der Hang ist mit 8° - 10° Neigung relativ flach. Hier rutschen vulkanische Festgesteine (Laven und Tuffite) auf Lockermaterial langsam zu Tal. Ausgelöst wurde die Bewegung mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Entlastung des Hangfußes im Zuge des Autobahnbbaus.

Sehr gut beobachtet und untersucht ist die Rutschung bei Llano Grande am Südwesthang des Vulkans Irazú, außerhalb des Untersuchungsgebietes. Durch fortdauernde Erosion am Fuß kommt sie nicht zur Ruhe (KNOBLICH et al. 1977, 1984)

b) Rutschungen in Lockermaterial mit 100 - 10000 m³ Rutschmasse

Solche Rutschungen lassen sich an Straßenanschnitten in ganz Costa Rica beobachten. Die Verwitterungsdecken sind meist recht mächtig, daher werden Festgesteine nur selten in Rutschungen einbezogen. Zu Rutschungen dieser Art kommt es recht schnell, wenn ein Hang durch Baumaßnahmen versteilt wurde. Geringe Änderungen der bodenmechanischen Parameter, z.B. durch Wasserzufuhr, lassen den Hang dann instabil werden.

Hierzu zwei Beispiele von der Nationalstraße N4 im Süden von San José. Etwa 1 km nördlich der Paßhöhe in den Cerros de Escazú ist auf eine Breite von knapp 100 m der fast 15 m hohe Hang oberhalb der Straße abgerutscht. Dabei sind über 5000 m³ Tonschieferersatz an der Abrißkante um fast 2 m abgesunken; der ursprünglich etwa 35° geneigte Hang hat damit unter der fast senkrechten Abrißkante noch ca. 30° Neigung.

Ungefähr 300 m südlich der Paßhöhe findet sich eine kleinere Rutschung sehr ähnlicher Geometrie (Abb. 3). An dem etwa 8 m hohen Hang sind 300 m³ verwitterter Tonschiefer abgerutscht. Beide Rutschungen sind in Ruhe, d.h. nach der schnellen Rutschphase hat sich ein neues Gleichgewicht eingestellt; damit finden hier im Gegensatz zu den Großrutschungen keine Bewegungen mehr statt.

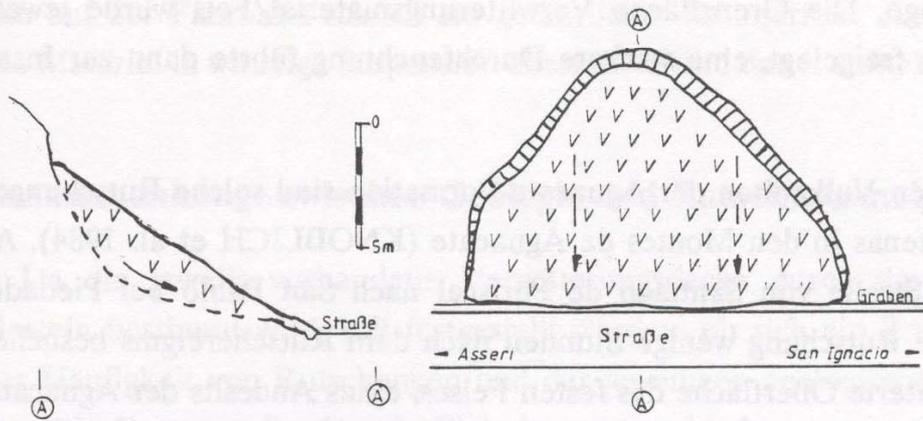


Abb. 3: Rutschung in den Cerros de Escazú

Fig. 3: Landslide in the Cerros de Escazú

c) Kleine Rutschungen mit weniger als 100 m^3 Rutschmasse

Besonders im Bereich des Valle Central werden beim Straßenbau in unebenem Gelände häufig fast senkrechte, unbewachsene Einschnittböschungen von bis zu 2 m Höhe erstellt. Diese sind in dem bindigen Verwitterungsmaterial vulkanischen Ursprungs in der Regel standfest. Immer wieder kommt es jedoch zu kleinen Böschungsbrüchen. Einschnitte werden daher mit ausreichender Breite angelegt, um Platz für nachfallendes Material neben der Straße zu haben.

Auch an den Hängen der Cordillera Central findet sich derartige Steilhänge geringer Höhe, wobei hier infolge des stärkeren Reliefs meist keine Schutzzone zur Straße zu verwirklichen ist. An der zum Gipfel des Vulkans Irazú führenden Nationalstraße N8 konnten im Juni 1981 bei Tierra Blanca auf 300 m eine ganze Reihe solcher kleiner Böschungsbrüche oberhalb der Straße beobachtet werden.

d) Rutschungen von Lockermaterial auf Fels

Dieser Rutschungstyp kann vor allem in der Cordillera de Talamanca beobachtet werden, wo Verwitterungsdecken bei starkem Relief auf sedimentären Festgesteinen liegen. KNOBLICH et al. (1977) beschreibt einige Beispiele entlang der Nationalstraße N2 südlich von Cartago. Die Grenzfläche Verwitterungsmaterial/Fels wurde jeweils durch Baumaßnahmen freigelegt, eine stärkere Durchfeuchtung führte dann zur Instabilität.

Auch in den tertiären Vulkaniten der Aguacate-Formation sind solche Rutschungen beschrieben, so bei Atenas in den Montes de Aguacate (KNOBLICH et al. 1984). An der nicht befestigten Straße von Santiago de Puriscal nach San Pablo bei Piedades konnte der Autor eine Rutschung wenige Stunden nach dem Rutschereignis besuchen (Abb. 4). Die unverwitterte Oberfläche des festen Felses, eines Andesits der Aguacate-Formation, war freigelegt und glänzte feucht; die Verwitterungsdecke befand sich als schlammige Masse am Fuß des Hanges auf der Straße.

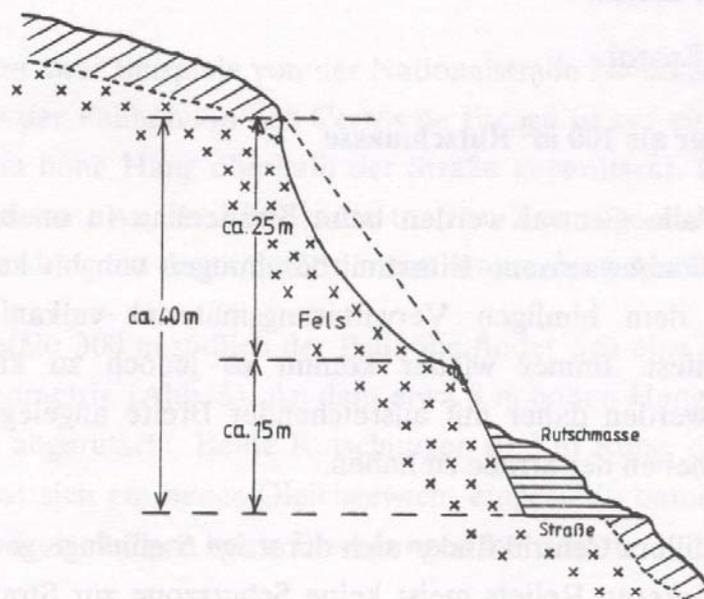


Abb. 4: Rutschung in der Fila de Puriscal

Fig. 4: Landslide in the Fila de Puriscal

e) Schlammströme

Bei sehr starken Regenfällen kommt es zur vollständigen Aufweichung des Bodens. Auch in flachen Gebieten können sich dann breiig-flüssige Schlammströme auf die Straßen ergießen. Durch die grundsätzlich vorhandenen Ton- und Schluffpartikel bildet sich auf der Fahrbahn schnell ein gefährlicher Schmierfilm. Anhaltender Regen kann das Material in wässrige Suspension überführen und damit aufnehmen und wegführen.

Zusammenhänge zwischen Geologie und Rutschungsneigung

Da die jeweils vorhandene Verwitterungsdecke durch das darunter anstehende Gestein bestimmt wird, soll festgestellt werden, ob sich ein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von Rutschungen und der jeweiligen geologischen Gegebenheit erkennen läßt. Dazu wurden 4 große Einheiten unterschieden:

Tertiäre Vulkanite (Aguacate-Formation u.ä.)

Tertiäre Sedimente (Form. Coris, Terraba, Pacacua u.ä.)

Quartäre Vulkanite (meist Laven) der Cordillera Central

Quartäre Tuffe und Ignimbrite des Valle Central

Die auf die einzelnen Einheiten entfallenden Streckenlängen der N1, N4 und N7 wurden ermittelt und die zugehörige Anzahl von Rutschungen gezählt. Das Ergebnis ist in Abb. 5 dargestellt. Dabei ist zu erkennen, daß es in den Sedimenten am häufigsten zu Rutschungen kam. Die relativ geringe Neigung zu Rutschungen in den quartären Tuffen und Ignimbriten läßt sich aus der Lage dieser Formation im recht geringe Reliefunterschiede aufweisenden Valle Central erklären. Der generelle Einfluß des Reliefs muß aber geprüft werden.

Rutschungshäufigkeit bezogen auf die Reliefstärke

Es ist zu erwarten, daß das Großrelief eines Gebietes Einfluß auf die Rutschungshäufigkeit hat. Als Grundlage zur Einschätzung wurde eine Karte der Reliefunterschiede pro km² im Valle Central erstellt, wobei der jeweils höchste und tiefste Punkt in einem willkürlichen Raster von 1 km Kantenlänge bestimmt wurde. Anschließend wurde die auf jede Reliefklasse entfallende Straßenlänge ermittelt und die Zahl der beobachteten Rutschungen in dieser Reliefklasse festgestellt.

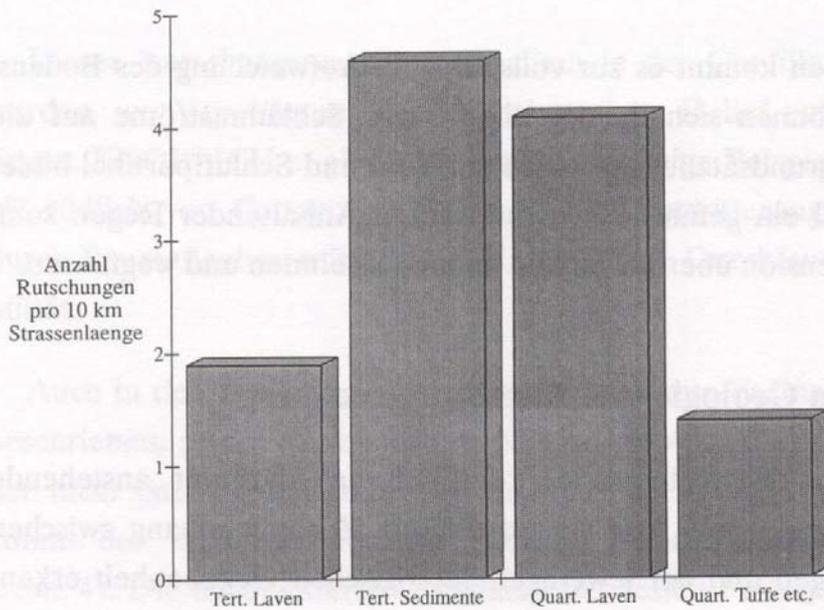


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Gestein und Rutschungsneigung

Fig. 5: Correlation between rock type and slide sensibility

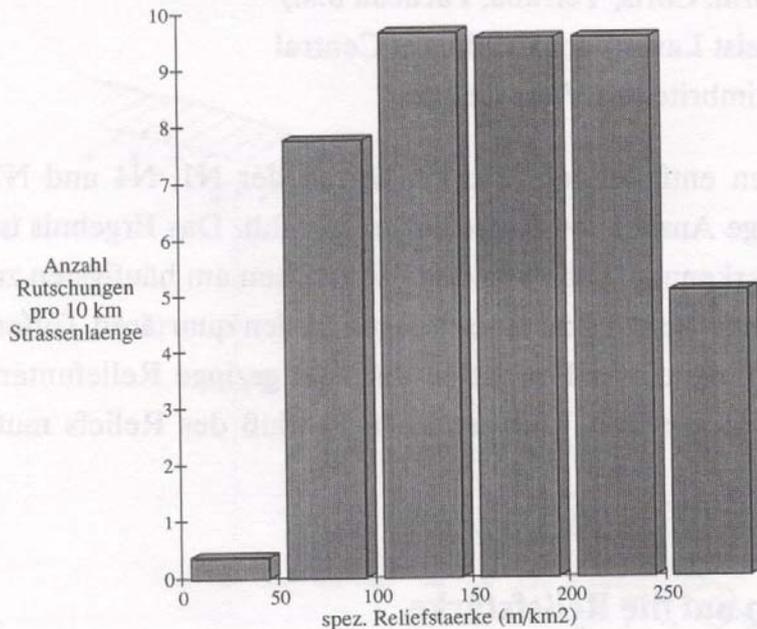


Abb. 6: Rutschungshäufigkeit und Reliefunterschiede

Fig. 6: Correlation between morphology and slide sensibility

Abb. 6 zeigt die Anzahl der Rutschungen auf 10 km Straßenlänge für die einzelnen Reliefklassen. Selbstverständlich entfallen auf die Klasse bis 50 m/km² nur wenige Rutschungen. Von 50-250 m/km² ist die Anzahl der Rutschungen klassenunabhängig etwa gleich groß, in der Klasse über 250 m/km² nimmt die Rutschungshäufigkeit ab. Bei

derartig steilem Gelände wird Planung und Ausführung entsprechend sorgfältig betrieben, außerdem mag die geringe Streckenlänge in diesem Gebiet die statistische Aussage beeinflussen.

Exposition der Rutschhänge

Um eine Abschätzung des Einflusses der Expositionsrichtung des Hanges zu ermöglichen, wurde die Exposition sämtlicher Rutschungen entlang der drei bearbeiteten Straßen festgestellt und in einem Histogramm aufgetragen (Abb. 7). Wegen des willkürlichen Straßenverlaufes und der kleinen Stichprobe (90 Rutschungen) ist statistische Korrektheit nicht zu beanspruchen, doch zeigt sich deutlich, daß keine bevorzugte Richtung für Rutschungen besteht.

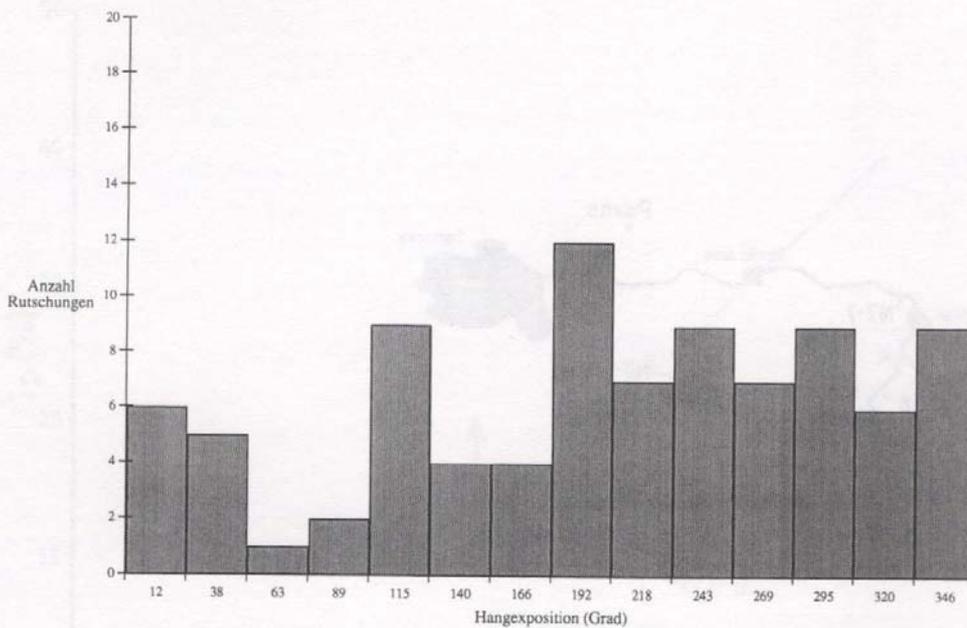


Abb. 7: Rutschungshäufigkeit und Exposition der Rutschhänge

Fig. 7: Correlation between slope exposition and sliding sensibility

Entwicklung des Wassergehaltes im Boden

Der natürliche Wassergehalt im Boden ist ein entscheidender Faktor für das bodenmechanische Verhalten vor allem bindiger Lockergesteine. Bei niedrigen Plastizitätszahlen I_p können geringe Änderungen bereits zur Instabilität führen.

Für ein Monitoring des natürlichen Wassergehaltes im Boden wurden 5 Probenahmepunkte entlang der Nationalstraße N7 ausgewählt (Abb. 8). Die Zustandsgrenzen der Proben nach Atterberg sind in Tab. 1 aufgelistet und im Diagramm Abb. 9 dargestellt.

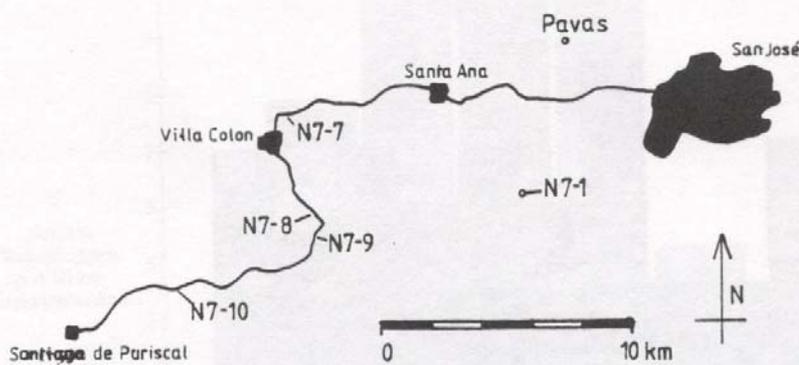


Abb. 8: Lage der Probenahmepunkte N7-1 bis N7-10

Fig. 8: Position of sampling locations N7-1 to N7-10

Tab. 1: Atterberg'sche Grenzen der Proben N7-1 bis N7-10

Probe Nr.	W_1 (%)	W_p (%)	I_p (%)
N7-1	41,2	31,2	10,0
N7-7	47,8	43,8	4,0
N7-8	44,1	30,7	13,4
N7-9	53,0	44,4	8,6
N7-10	72,0	47,3	24,7

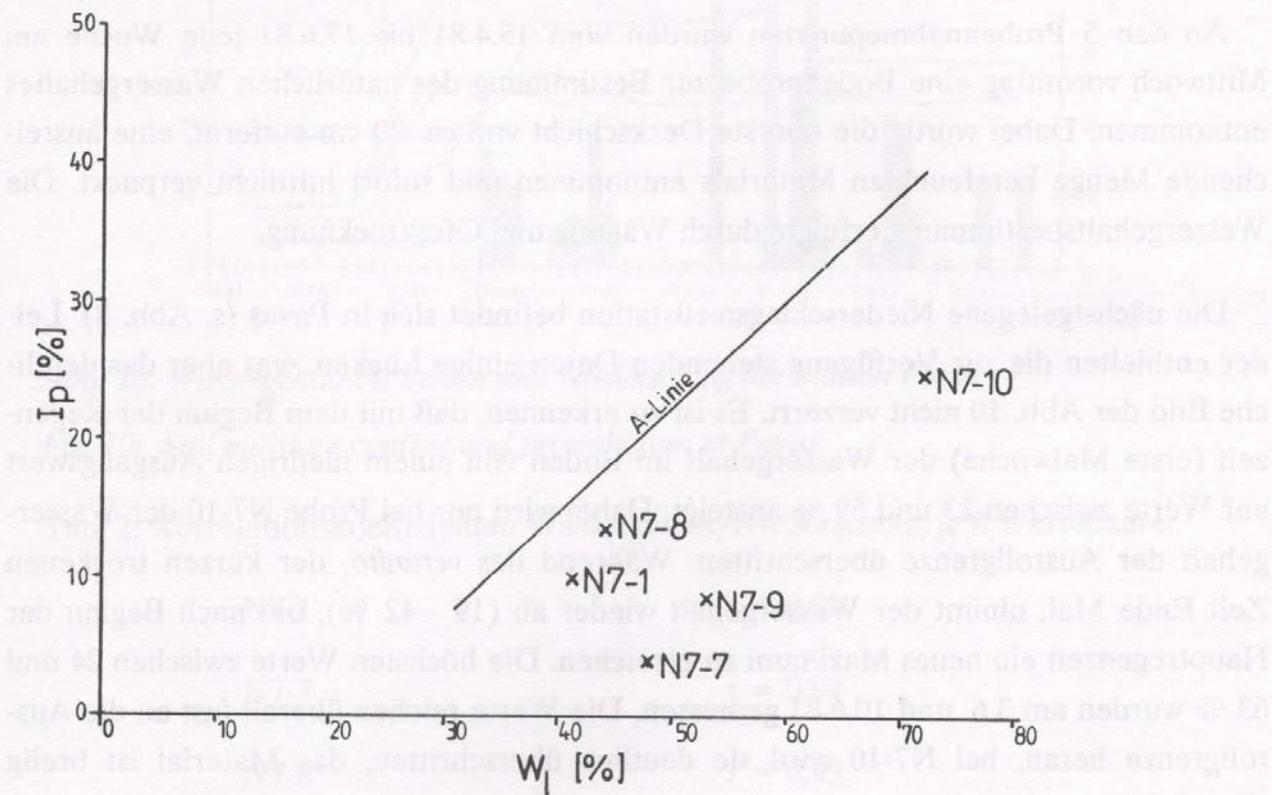


Abb. 9: Zustandsdiagramm nach Casagrande für die Proben N7-1 bis N7-10

Fig. 9: Casagrande-diagram of samples N7-1 to N7-10

Im Valle Central Costa Ricas, wie in weiten Teilen Mittelamerikas, herrscht ein Klima mit ausgeprägten jahreszeitlichen Schwankungen der Niederschlagsmenge. Die Monate November bis April sind überwiegend trocken (*verano*), Ende April beginnt eine erste Regenzeit, die Ende Mai/Anfang Juni durch eine kurze Periode trockenen Wetters abgelöst wird (*veranito*). Die Monate Juni bis Oktober sind durch ständige Nachmittagsregen mit hohen Niederschlagsmengen gekennzeichnet (*invierno*).

Der Boden, während der niederschlagsarmen Zeit ausgetrocknet, erhält mit dem Beginn der Regenzeit eine Zufuhr großer Mengen von Wasser. Meist sind es starke Regengüsse, die in wenigen Stunden 20-30 mm, im Extremfall bis 60 mm Niederschlag bringen; daneben kommen auch Tage mit geringem, länger andauernden Regen vor, wobei zwischen 5 und 10 mm Niederschlag gemessen werden. Der Wassergehalt im Boden steigt damit auch in größerer Tiefe erheblich an.

An den 5 Probennahmepunkten wurden vom 15.4.81 bis 17.6.81 jede Woche am Mittwoch vormittag eine Bodenprobe zur Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes entnommen. Dabei wurde die oberste Deckschicht von ca. 20 cm entfernt, eine ausreichende Menge bergfeuchten Materials entnommen und sofort luftdicht verpackt. Die Wassergehaltsbestimmung erfolgte durch Wägung und Ofentrocknung.

Die nächstgelegene Niederschlagsmeßstation befindet sich in Pavas (s. Abb. 8). Leider enthielten die zur Verfügung stehenden Daten einige Lücken, was aber das deutliche Bild der Abb. 10 nicht verzerrt. Es ist zu erkennen, daß mit dem Beginn der Regenzeit (erste Maiwoche) der Wassergehalt im Boden von einem niedrigen Ausgangswert auf Werte zwischen 23 und 59 % ansteigt. Dabei wird nur bei Probe N7-10 der Wassergehalt der Ausrollgrenze überschritten. Während des *veranito*, der kurzen trockenen Zeit Ende Mai, nimmt der Wassergehalt wieder ab (19 - 42 %), um nach Beginn der Hauptregenzeit ein neues Maximum zu erreichen. Die höchsten Werte zwischen 24 und 63 % wurden am 3.6. und 10.6.81 gemessen. Die Werte reichen überall fast an die Ausrollgrenze heran, bei N7-10 wird sie deutlich überschritten, das Material ist breiig ($I_c = 0,34$).

Wie nicht anders zu erwarten, korreliert der Wassergehalt im Boden sehr gut mit der Summe des in der jeweils vorangegangenen Woche gefallenen Niederschlages. Betrachtet man den Wassergehalt und den zugehörigen wöchentlichen Niederschlag ohne Berücksichtigung der Zeitachse, so ergeben sich die Korrelationskoeffizienten der Tab. 2.

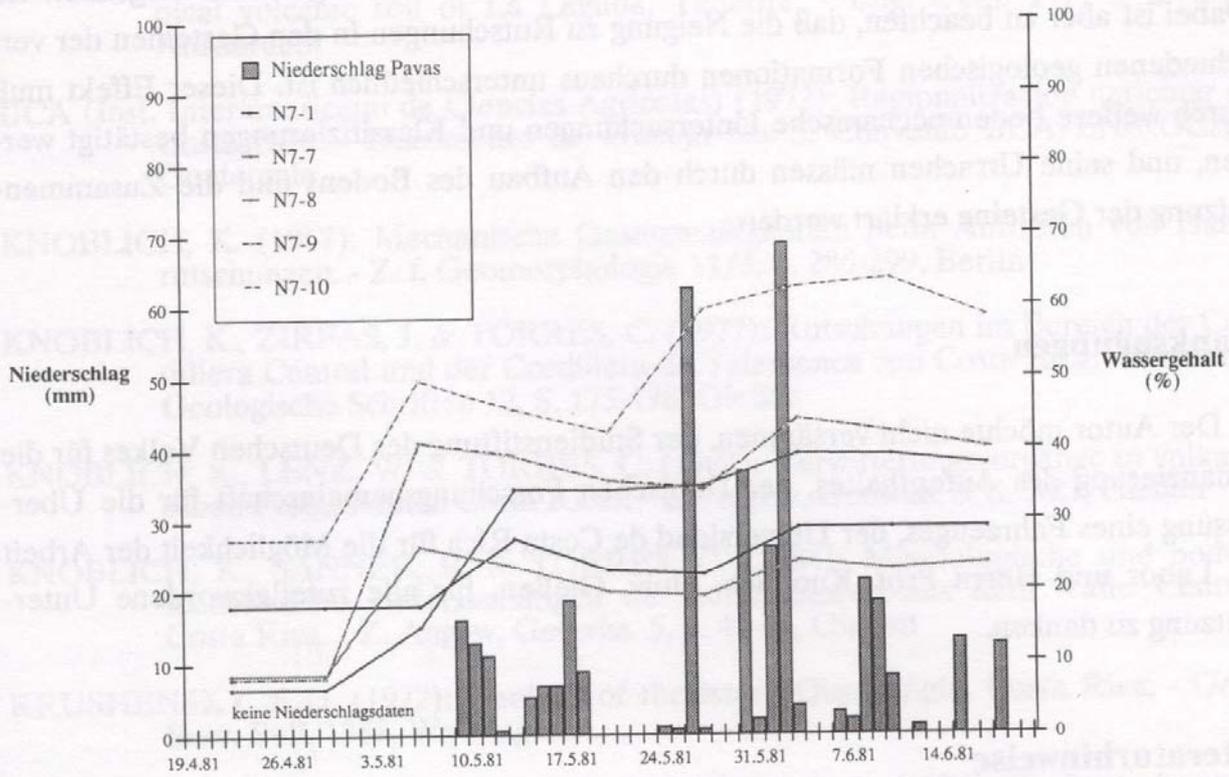


Abb. 10: Wassergehalt im Boden und Niederschlag der Station Pavas

Fig. 10: Soil moisture content and precipitation at Pavas

Tab. 2: Korrelationskoeffizienten Wassergehalt/Niederschlag, je 8 Wertepaare:

N7-1	$r = 0,92$
N7-7	$r = 0,94$
N7-8	$r = 0,95$
N7-9	$r = 0,96$
N7-10	$r = 0,86$

Das Signifikanzniveau liegt somit bei 95 bzw. 99 %.

Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen zeigen deutlich, daß ein auslösender Faktor für die häufigen Rutschungen der Anstieg des Wassergehaltes im Boden zu Beginn der Regenzeit ist. Dabei ist aber zu beachten, daß die Neigung zu Rutschungen in den Gesteinen der verschiedenen geologischen Formationen durchaus unterschiedlich ist. Dieser Effekt muß durch weitere bodenmechanische Untersuchungen und Klassifizierungen bestätigt werden, und seine Ursachen müssen durch den Aufbau des Bodens und die Zusammensetzung der Gesteine erklärt werden.

Danksagungen

Der Autor möchte nicht versäumen, der Studienstiftung des Deutschen Volkes für die Finanzierung des Aufenthaltes, der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Überlassung eines Fahrzeuges, der Universidad de Costa Rica für die Möglichkeit der Arbeit im Labor und Herrn Prof. Knoblich, Univ. Gießen, für alle zuteilgewordene Unterstützung zu danken.

Literaturhinweise

- ACEVEDO, P.M. & KARZULOVIC, A.L. (1981): An equivalent bidimensional analysis of slope stability problems. - Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 23, S. 75-78, Krefeld
- BEURER, M., DIEDERICH, G., HOLTZ, S. & PRINZ, H. (1978): Ingenieurgeologische Probleme im Kinziggebiet. - Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver. N.F. 60, S. 83-94, Stuttgart
- BISHOP, W.A. (1955): The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. - Geotechnique, Vol. 5, S. 1-17
- CASTILLO M., R. (1969): Geología de los mapas basicos Abra y partes de Rio Grande, Costa Rica. - Informes Técnicos y Notas Geológicas 33, San José
- CHAVES, R. (1973): Valle Central: Estudios geotécnicos para emplazamientos industriales y urbanísticos. - Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Dirección de Geología, Minas y Petróleo, San José
- CHAVES, R. & SAENZ, R. (1974): Geología de la Cordillera de Tilarán, Costa Rica. - Informes Técnicos y Notas Geológicas 53, San José
- EDEN, W.J. & LAW, K.T. (1980): Comparison of undrained shear strength results obtained by different test methods in soft clays. - Can. Geotec. J. 17, S. 369-381, Ottawa

- FISCHER, R. & FRANCO, J.C. (1979): La Formacion Coris, Mioceno, Valle Central, Costa Rica. - Instituto Geográfico Nacional, informe semestral 1-6/79, S. 15-72, San José
- GONZALEZ DE VAL, L.I. & JIMINEZ, L.A. (1981): Engineering Geology of the tropical volcanic soil of La Laguna, Tenerife. - Eng. Geol. 17/1-2, S. 1-17, Amsterdam
- IICA (Inst. Interamericano de Ciencias Agricolas) (1972): Regionalizacion agricolar de Costa Rica. - Documento de Trabajo No. 5, Convenio IICA/ZN-ROCAP, Guatemala
- KNOBLICH, K. (1967): Mechanische Gesetzmäßigkeiten beim Auftreten von Hangrutschungen. - Z. f. Geomorphologie 11/3, S. 286-299, Berlin
- KNOBLICH, K., ZIRFAS, J. & TORRES, C. (1977): Rutschungen im Bereich der Cordillera Central und der Cordillera de Talamanca von Costa Rica. - Gießener Geologische Schriften 12, S. 175-198, Gießen
- KNOBLICH, K., LENZ, W. & TORRES, C. (1984): Verwitterungsvorgänge in vulkanischen Festgesteinen Costa Ricas. - Z. Angew. Geowiss. 5, S. 5-23, Gießen
- KNOBLICH, K., SANNER, B. & TORRES, C. (1984): Mineralogische und bodenmechanische Untersuchungen an Rutschmassen aus dem Valle Central, Costa Rica. - Z. Angew. Geowiss. 5, S. 49-64, Gießen
- KRUSHENSKY, R.D. (1972): Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. - Geol. Surv. Bull. 1358, Washington
- KRUSHENSKY, R.D., MALAVASSI, E. & CASTILLO, R. (1976): Geology of central Costa Rica and its implications in the geologic history of the region. - J. Res. U.S. Geol. Service 4/2, S. 127-134, Reston
- MALAVASSI, E. (1977): Explicacion de un perfil geológico a traves de Costa Rica. - V. Reunion de Geólogos de America Central, Managua
- MORA C., S. (1981): Clasificacion morfotectónica de Costa Rica. - Instituto Geografico Nacional, informe semestral 7-12/81, S. 35-56, San José
- RAJ, P.P. (1981): Comparison of true and residual friction angles. - Soil Found. 21/3, S. 99-103, Tokio
- RIVIER, F. (1979): Geología del area norte de los Cerros de Escazú, Costa Rica. - Instituto Geografico Nacional, informe semestral 1-6/79, S. 99-138, San José
- SANDOVAL M., F. (1971): Geología de una parte de la Region noreste del Valle Central. - Informes técnicos y notas geologicas 44, San José
- SANNER, B. (1980): Methoden zur Standsicherheitsanalyse von Böschungen. - Gießener Geologische Schriften 22, Gießen
- SIEFFERMANN, G. & MILLOT, G. (1969): Equatorial and tropical weathering of recent basalts from Cameroon. - Proc. Int. Clay Conf. 3/1, S. 417-430, Tokio

- VEDER, C. (1979): Rutschungen und ihre Sanierung. - Springer Verlag, Wien
- WEYL, R. (1959): Contribucion al conocimiento de las rocas magmaticas de Costa Rica. - Instituto Geografico Nacional, informe semestral 7-12/59, S. 19-23, San José
- WEYL, R. (1980): Geology of Central America. - Verlag Gebr. Bornträger, Berlin
- ZARUBA, Q. & MENCL, V. (1969): Landslides and their control. - Elsevier, Amsterdam / Academia, Prag