

Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck	Band 8 Festschrift W. HEISSEL	S. 209-225	Innsbruck, Sept. 1978
-----------------------------------	-------------------------------------	------------	-----------------------

Bewegungsablauf und Sanierungsmöglichkeiten von Erdströmen

von G. Bunza⁺)

Zusammenfassung

In Gebieten mit mächtigen tonig-mergeligen Verwitterungsmassen oder Lockergesteinen treten häufig Rutschungen auf, in deren Anschluß die Rutschmassen eine stromartige, gletscherähnliche Entwicklung zeigen und sich kriechend-fließend hangabwärts bewegen. Grundlage der Bewegung sind die technisch-gesteinskundlichen Eigenschaften der Gesteine bzw. die chemischen Eigenschaften der Tonminerale. Bei starker Durchnässung kommt es zu entsprechenden Volumsvergrößerungen im Boden und zur Herabsetzung des Verformungs- und Scherwiderstands. Die frei gewordenen Druckkomponenten führen schließlich zu einer Überschreitung des vorhandenen Gleichgewichts und zu Kriech- und Fließbewegungen. Am Beispiel der Erdströme von Corvara in Badia (Südtirol, Dolomiten) werden Geomorphologie, Ursachen, Auslösfaktoren und Bewegungsablauf von derartigen Massenselbstbewegungen erläutert. Im Anschluß daran werden mögliche Sanierungsmaßnahmen von Erdströmen im allgemeinen aufgezeigt und zur Diskussion gestellt. Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Bodens und zur Erhöhung des Standsicherheitsfaktors der Hänge wird eine Reihe von biologischen-technischen Entwässerungs- und Verbaunungsmaßnahmen vorgeschlagen, die langfristig zur Beruhigung und zum Stillstand der Erdströme führen können.

⁺) Anschrift des Verfassers: Dr. Günther Bunza, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, 8000 München 19

Summary

On slopes with thick clayly-marly weathering masses or other loose masses landslides often occur. At the lower end of the slides the masses sometimes creep or flow downhill and show a glacierstream-like structure. This gravitational mass movement is called earth stream flow or slump earthflow.

The movement takes place because of the geological-petrological aspects of the rocks and/or the chemical properties of the clay minerals. An intense saturation of the soil with water causes an adequate increase in volume and a reduction of the deformation and the shearing resistance. The liberated forces cause the transgression of the present slope-balance and the creeping and flowing mass movements.

The earth streams of Corvara in Badia (South Tyrol, Italy) serve as examples to explain the geomorphology, the causes, the inducing factors and the discharge of movements of an earth stream flow.

The last chapter provides a general discussion of practicable reclaiming measures and lists a number of biological, draining, and torrent regulating provisions to improve the mechanical aspects of the soil and to increase the slope stability. For the term of years these provisions can cause the reassurance and the stagnation of the earth stream movements.

Inhalt

1. Einleitung
2. Die Erdströme von Corvara
 - 2.1. Örtliche Verhältnisse
 - 2.2. Geologie und Tektonik
 - 2.3. Die Erdströme
 - 2.3.1. Beschreibung
 - 2.3.2. Geologische Ursachen
 - 2.3.3. Auslözungsfaktoren
 - 2.3.4. Bewegungsablauf und kinematische Betrachtung
3. Möglichkeiten zur Sanierung von Erdströmen im allgemeinen
 - 3.1. Biologische Maßnahmen
 - 3.2. Entwässerungen
 - 3.3. Bachverbauungen

1. Einleitung

In Verwitterungszonen aus veränderlich festen tonreichen Gesteinen und in Bereichen mächtiger quartärer Schuttablagerungen treten an Hängen häufig Rutschungen auf, deren Gleitbewegungen in tieferen Lagen von plastischen bis weichplastischen Verformungen abgelöst werden. Dabei nehmen die bewegten Massen eine stromartige Form an - man spricht von einem Erdstrom. FISCHER (1967) unterscheidet bei Erdströmen wie bei einem Gletscher zwischen einem Nährgebiet (oberer Teil, Abrißgebiet) und einem Zehrgebiet (unterer Teil). Ersteres zeigt entweder mehr oder weniger typische Rotationsrutsche auf zylindrischen oder Translationsrutschungen auf präformierten ebenen Gleitflächen.

Das Zehrgebiet dagegen wird häufig durch eine ältere Hohlform bestimmt, in der sich die Erd- und Schuttmassen der Rutschungen entweder unmerklich langsam - kriechend - oder mäßig schnell und deutlich sichtbar - fließend - stromartig hangabwärts bewegen.

Aufgrund der größtenteils unterschiedlichen Zusammensetzung, des uneinheitlichen Aufbaus sowie des verschieden starken Durchnässungsgrads der Massen sind meist beide Bewegungsarten im Stromverlauf zu beobachten.

Die bewegten Massen verhalten sich an sich plastisch, Bruchvorgänge darin weisen aber auch auf ein elastisch-brechendes Verhalten hin (BUNZA, 1975). Am Ende der Erdströme kommt es vielfach zur Ausbildung eines Stirnwulsts, von dem oft Teile abbrechen und der Masse vorauseilen (BUNZA, 1975). Mitunter stellt das Vorfeld der Ströme einen nicht zu unterschätzenden Geschiebeherd für den Vorfluter dar oder erweist sich als objektgefährdend.

Initialstadium dieser Massenbewegungen sind die oben angeführten Rutschungen im Abrißgebiet. Sie entstehen meist durch Spannungsumlagerungen infolge von Entlastungen (meist Hangfußwegnahme) oder durch die Wirkungen des Wassers (Poren- und Kluftwasserüberdruck, Volumsvergrößerung durch steigende Wassergehalte etc.). Das Wasser ist es auch, das die Plastizitätseigenschaften der abgerutschten Massen bestimmt. D.h. das Kriechen und Fließen der aus den oberliegenden Anbrüchen stammenden Erd- und Schuttmassen ist vorwiegend saisonell bedingt, also vom jahreszeitlichen und täglichen Niederschlagsangebot (schwankender Wassergehalt verbunden mit inneren Verformungs- und Strukturänderungen) und der Bodentemperatur und damit vom Spannungszustand abhängig.

Zu starkem Kriechen und Fließen neigen besonders lockere Hangmassen mit hohem Anteil an wirksamen Korngrößen, mit großem Porenvolumen, mit lockerer Einzelstruktur, mit guter Kornrundung, mit hangparalleler Lagerung der Lockersedimente und mit lehmigen und tuffigen Beimengungen. Besonders bei Tonen und Mergeln liegen die Voraussetzungen für einen Kriech- und Fließvorgang in der Stärke der diagenetischen Verfestigung und in den chemischen Eigenschaften der Tonminerale.

Die Ursachen des Erdstromkriechens und -fließens liegen also in der Geologie bzw. in den technisch-gesteinskundlichen Eigenschaften der Gesteine. Neben Entlastungen, Porenwasserüberdrücken, Volumswechseln und Überbelastungen führt besonders die mit der Materialdurchnässung verbundene Herabsetzung des Verformungs- und Scherwiderstands zum Kriechen und Fließen. Die Teilchen des Erdstroms schieben sich langsam talwärts, wobei Schmiereffekte und der hydrostatische Druck in Spalten ein übriges tun.

Die Geschwindigkeit der Verformung hängt in erster Linie von den petrographischen und den mikroklimatischen Verhältnissen ab. Daneben beeinflussen der Hangwinkel, die Gesteinsunterlage, die Korngrößenverteilung, das Porenvolumen und Art und Dichte der Vegetation die Geschwindigkeit der Bewegungen.

Erdströme beziehen sich im wesentlichen, wie schon erwähnt, auf glaziale Lockersedimente und auf die Verwitterungsmassen tonig-mergeliger oder auch tuffiger Gesteine. So konnten mehrere solcher Erscheinungen in den Cenomanmergeln des Flysch bei Tegernsee (Alpachtal), in den Resten einer periglaziären Talverfüllung bei Unterammergau (Schleifmühleneine), im Verwitterungsgebiet unterkretazischer Aptychenschichten bei Schwangau (Lenkerbach) und im Bereich von helvetischen Oberkreidegesteinen bei Bad Heilbrunn (Stallauer Bach) in den bayerischen Alpen untersucht werden.

Typische und ausgedehnte Erdströme sind aus dem weiten Tuff- und Mergelgebiet nordwestlich der Pralongia ins Rutorttal bei Corvara in Badia in den Südtiroler Dolomiten niedergegangen.

Im folgenden werden nun anhand dieses Beispiels Geomorphologie, Mechanik und Bewegungsablauf der Erdströme von Corvara erläutert.⁴⁾ Im Anschluß daran werden mögliche Sanierungsmaßnahmen von Erd- und Schuttströmen im allgemeinen aufgezeigt und zur Diskussion gestellt.

2. Die Erdströme von Corvara

2.1. Örtliche Verhältnisse

Südöstlich von Corvara in Badia und östlich des Rio Rutort zwischen Col Alto, Pralongia und Campolongo liegt ein vorwiegend sanft geformtes wiesenreiches und z.T. bewaldetes Bergland, das nur von einzelnen Steilstufen unterbrochen wird. Die Gipfelhöhen liegen bei ca. 2100 m NN. Das Gelände wird vom Rio Confin, Rio Chiesa sowie mehreren Nebenbächen entwässert. Vor-

⁴⁾ Die Untersuchungen der Erdströme von Corvara entstanden im Rahmen einer Arbeit für das Alpeninstitut für Umweltforschung und Entwicklungsplanung in der Gesellschaft für Landeskultur GmbH, München.

fluter ist der Rio Rutort, der nördlich von Corvara in den Gader- bzw. Schwarzbach mündet. In diesem Gebiet liegen mehrere Erdströme. Sie ziehen vom Kamm der Pralongia zum Tal des Rutortbachs. Der größte und aktivste ist der Ruonesstrom (siehe Karte 1, Nr. 3) im Einzugsgebiet des Confin- und Kirchbachs, der bis Corvara reicht, wo seine Zunge allmählich in eine alte fluviatile Aufschüttungssohle übergeht, auf der der Kern der Ortschaft liegt.

2.2. Geologie und Tektonik

Am geologischen Aufbau des untersuchten Gebiets, der aus Karte 2 ersichtlich ist, sind ausschließlich Gesteine der Trias beteiligt. Das Gebiet der Erdströme wird zur Gänze von Wengener und Cassianer Schichten des oberen Ladin aufgebaut. Diese fallen entweder flach muldenförmig gegen das Innere der Sella ein oder sind z.T. stark gestört und gefaltet. Sie sind Bestandteil der sogenannten "Ruonesmulde", einem tektonischen Element des zwischen St. Cassian und Buchenstein WNW-ESE streichenden Tonngewölbes (Annäherung der Sella an die Puezgruppe und dieser an die Peitlerkofelgruppe).

Im Nordwesten, Norden und am Campolongo bilden Augitporphyrtuffe das Liegende der Wengener Schichten. Diese stellen vorwiegend dünntafelige, ebenflächige, dunkle, schwärzliche bis dunkelgraue Tuffschichten dar, wobei die oberen Horizonte vielfach von Tuffsandsteinen eingenommen werden. Daneben finden sich alle Übergänge von sehr dichten feinkörnigen Tuffschiefen zu Tuffsandsteinen und bis zu groben Tuffkonglomeraten sowie kalkreiche Ausbildungen. Die meist zerklüfteten Tuffe verwittern korkenartig braun, der aus ihnen hervorgehende Boden ist dunkel.

Die Cassianer Schichten gehen in allmählichem Übergang durch das Zurücktreten der tuffigen und Zunahme der kalkigen Komponente bis zu deren Vorherrschen aus den Wengener Schichten hervor. Sie nehmen das Bergwiesenland des Pralongiakamms ein. Es sind gelbbraun anwitternde, im frischen Bruch rötlichgraue bis dunkelgraue, meist dünnbankige Kalke, Mergelkalke und Mergel, wobei auch graugelbe oolithische und dolomitische Kalke vorkommen. Oft treten auch 1 cm starke Bänder von Calcit und Gips auf.

In höheren Lagen tritt stellenweise die tuffige Komponente wieder in Form von gut geschichteten, grauen, quarzreichen Tuffsandsteinen oder grünlichen oder rotbraunen Tuffmergeln und Tuffen auf. Besonders an steilen Abbrüchen ist diese, "Pachycardientuffe" benannte Gesteinsserie aufgeschlossen. Augitporphyrite sind untergeordnete schichtparallele Einschaltungen in den tieferen Lagen, meist Geländestufen bildend.

Die primären Abrißzonen (Rotationsbrüche) der Ströme liegen in den oberen grauen Kalkbänken der Cassianer Schichten, während im Mergel- und Tuffbereich die Kriech- und Fließbewegungen vorherrschen. Die Cassianer Schichten sind hier in ihrer ganzen Mächtigkeit und Ausdehnung von den Erd- und Schuttströmen umgelagert und gestört.

Trotz der starken wärmeiszeitlichen Vergletscherung des Gebiets und der selbständigen Gletscherbildung in der Schlußeiszeit (Schlern, Gschnitz, Daun) sind die Vorkommen von Moränenschutt nur spärlich, was auf eine starke fluviatile Ausräumung der Täler schließen läßt.

2.3. Die Erdströme (vgl. Karte 3)

2.3.1. Beschreibung

Im untersuchten Gebiet kann man zwei rezente, verschieden große Erdströme unterscheiden (siehe Karte 1): einen kleineren, der vom Incisapaß kommt, und den 5,45 km² großen und über 3 km langen Ruonesstrom. Letzterer läßt sich im Einzugsgebiet in drei Hauptströme gliedern, die sich zwischen 1900 m NN und 1800 m NN vereinigen und mit einer gemeinsamen, hoch aufgewölbten Zunge gegen Corvara hinunterziehen (siehe Karte 1). Die einzelnen Ströme des Ruoneserdstroms werden durch sogenannte Härtlingsrippen getrennt, standfesteres Material, das auch die Abrißgebiete kennzeichnet.

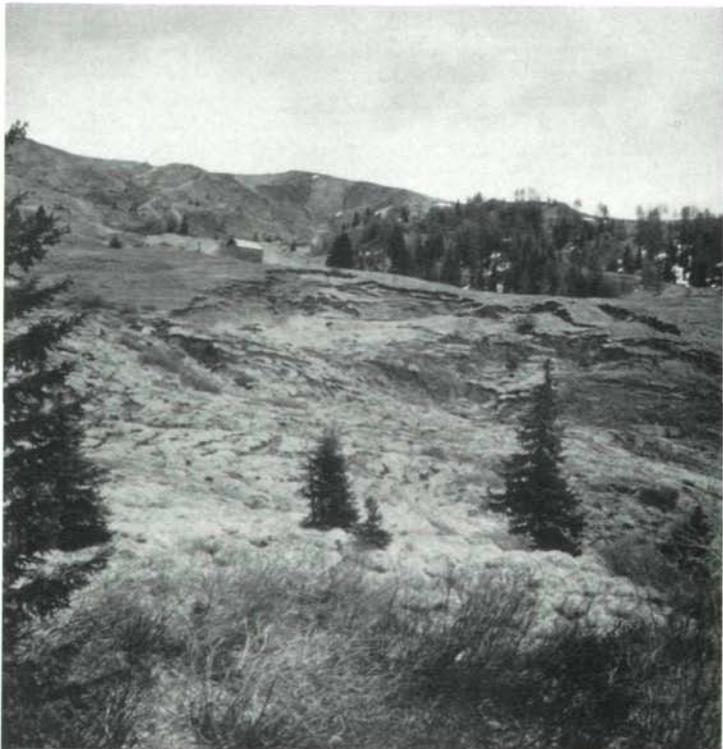


Abb. 1: Flache Rotationsrutschungen und staffelförmige Zugrisse kennzeichnen vielfach die Gefällsstellen des Ruoneserdstroms. Im Hintergrund das Abrißgebiet des Erdstroms am Pralongiakamm.

Flache, multiple, rückschreitende Rotationsrutschungen charakterisieren das "Nährgebiet" der Erdströme von Corvara am Pralogniakamm und nordwestlich davon, aber auch die Gefällsbrüche innerhalb der Ströme (Abb. 1). Jeder dieser Brüche weist eine mehr oder weniger gekrümmte Gleitfläche auf, die sich gegenseitig beeinflussen, um dann eine gemeinsame, vorwiegend tief gelegene basale Gleitfläche zu formen, als Tangente der einzelnen Flächen. Mit steigender Anzahl der Rotationsbrüche, die in ihrem Einzelcharakter alle en-bloc-Bewegungen sind, wird der Gesamtcharakter immer mehr translationsförmig (BUNZA, 1976). Wandstufen und Verebnungszonen als Ausstriche der schaufelförmigen Bewegungsflächen (Abrißbahnen) zerlegen das Gelände in einzelne Terrassen. Die Verebnungen sind vielfach Träger kleiner flachgründiger Nackenseen (Abb. 2). Z.T. sind diese angeführten Rutschungsformen meist nur mehr fossil erhalten. Sekundäre Massenbewegungen wie Translationsrutsche und Zugrisse kennzeichnen heute diese Brüche. Ihre Entstehung geht einerseits auf Entlastung infolge Vorrückens der Erd- und Schuttströme, andererseits auf Schneekriechen und Schneerutsche zurück, wobei auch das Abbrechen größerer Schneewächte an den Hangkanten eine Rolle spielt.

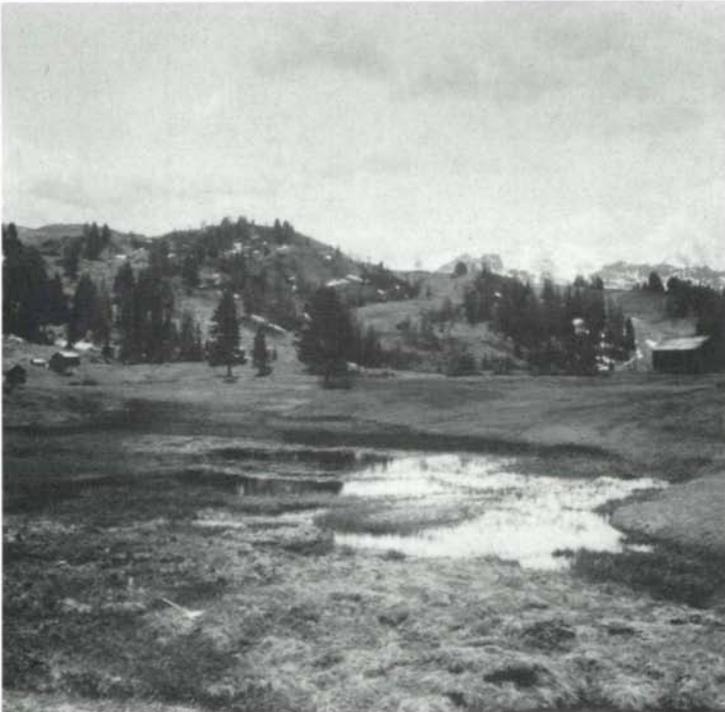


Abb. 2: Zahlreiche flachgründige Nackenseen sorgen für eine ständige Durchfeuchtung des unterliegenden Erdstrommaterials.

Das Zehrgebiet wird durch plastische Verformungen mit Stauchungs- und Sackungserscheinungen charakterisiert, wobei die Gesamtbewegung dem Fließen einer zähflüssigen Masse recht ähnlich ist. So sind konkave Einmuldungen, Aufbuckelungen, der Stromrichtung angepaßte Querwülste (Abb. 3), Krummwuchs an Bäumen, schwimmende Rasenpolster und Wiesen, Würgeböden und Spalten mit gespannten Wurzelsträngen zu beobachten. Rutschungen innerhalb der Ströme, vielfach verursacht durch wechselnde Wassergehalte, zerlegen

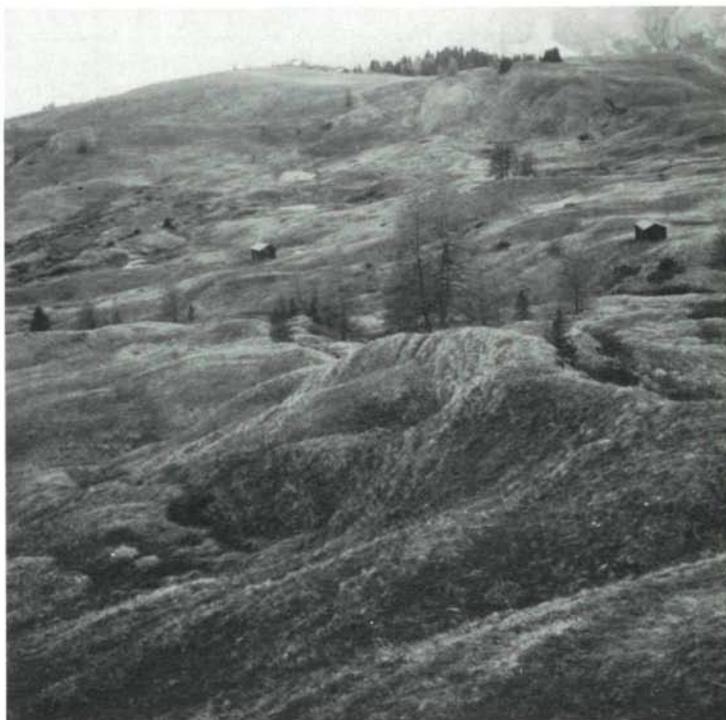


Abb. 3: Die langsamen Kriech- und Fließbewegungen des Erdstroms werden durch eine unruhige Geländeformgebung gekennzeichnet.

das Material in treppenartige Schollen. Die Scherflächen können dabei auch in Bewegungsrichtung verlaufen, so daß Horizontalverschiebungen vorkommen. Sofern in diesen Bereichen Wald stockt, werden die Bäume verstellt oder stürzen um (FISCHER, 1967: Abb. 4).



Abb. 4: Horizontalverschiebungen bei wechselnden Wassergehalten bewirken die Auflösung der Vegetationsdecke in Schollen sowie Baumverstellungen.

Am Rand der Erdströme kommt es vielfach zur Aufpressung und Aufwerfung ufermoränenartiger Wälle (Abb. 5), während am Ende jener ein Stirnwulst zu beobachten ist. Dieser erreicht beim Ruonestrom den Kirch- und Rutortbach, wo er in hohen Anbrüchen ständig abgetragen wird.

2.3.2. Geologische Ursachen

Es sind hauptsächlich die Verwitterungsprodukte der Wengener und Cassianer Schichten, die zur Bildung der Erdströme Anlaß und Stoff geben. Zur raschen Verwitterung der Gesteine trägt hier auch wesentlich die starke tektonische Beanspruchung beider Fazieseinheiten in der mittleren Kreidezeit bei. Tuffe und Mergel verwitterten (besonders in der Nacheiszeit) und verwittern leicht zu einem blau- bis gelbbraunen feinkörnigen Material mit einem Tongehalt von 41%. Die Tone quellen bei Wasserzugabe sehr stark, es entstehen graubraune Mergeltone und

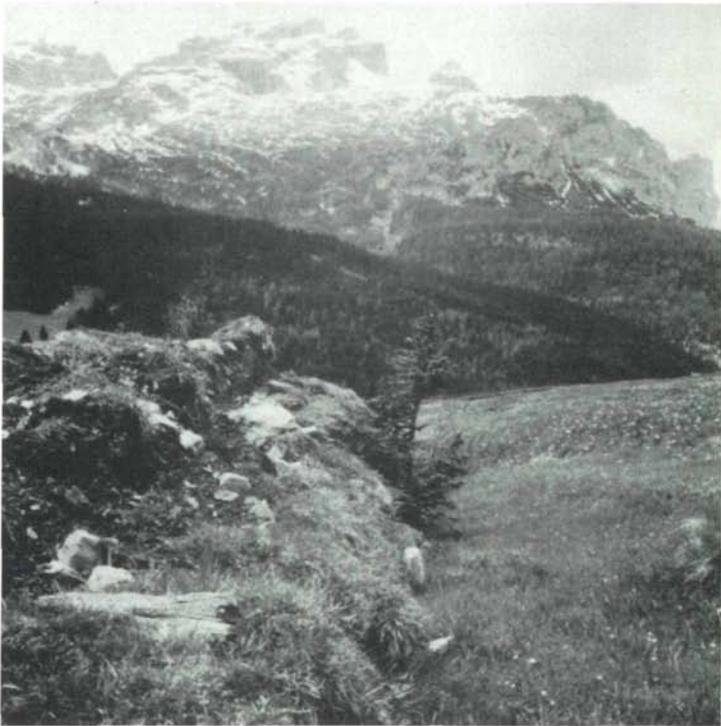


Abb. 5: Ufermoränenartiger Wall am Rand des Ruoneserdstroms.

Lehme, die unter entsprechenden Voraussetzungen schon an mäßig geneigten Hängen zu fließen beginnen. Zu einer besonders schnellen und tiefgründigen Verwitterung zu tonreichen, feinkörnigen Lockermassen tragen hier Gipseinlagerungen bei. Durch die chemische Auslaugung des Gipses in den Tonen wird die Kornbindung zwischen den Schichtsilikaten langsam herabgesetzt, wodurch das Gestein beachtlich an Festigkeit verliert (vgl. FISCHER, 1967).

2.3.3. Auslösungsfaktoren

Erster auslösender Faktor der Bewegungen war der Rückzug des Lokaleises vor ca. 50 000 bis 10.000 Jahren. Dadurch wurde das Gestein in stärkerem Maß der Verwitterung ausgesetzt. Durch das Schmelzen des Eises wurden einerseits größere Mengen Wasser frei, andererseits wurde dem übersteilten Pralongiahang der Fuß genommen, so daß es zu Rutschungen und zu Kriech- und Fließbewegungen kam.

Die heutigen Bewegungen hängen vom Klima bzw. vom Wasserdargebot ab. Corvara weist einen Jahresniederschlag zwischen 945 und 1010 mm auf, wobei im Winter und Herbst die größten Niederschlagsmengen fallen. Die stärksten Bewegungen sind daher im Frühjahr nach der Schneeschmelze und im Spätsommer zu erwarten, was auch mit den Erhebungen übereinstimmt.

Mittlere Niederschlagsmengen 1948-1957 im

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	
154,9	197,1	464,2	248,7	(Jahreszeitenmittel), nach FLIRI (1962)

Mittlere Zahl der Tage mit mindestens 1 mm Tagesniederschlag von 1948-1957 im

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	
17,3	22,6	38,7	19,7	(Jahreszeitenmittel), nach FLIRI (1962)

Zahl der Tage mit einer Tagessumme des Niederschlags von mindestens 30 mm im Jahrzehnt 1948-1957 im

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	
8	4	24	20	nach FLIRI (1962)

Wengener und Cassianer Schichten haben die Fähigkeit, Wasser zu speichern und langsam abzugeben, weshalb sie sich als Quellhorizonte auszeichnen und die Standorte meist vernäster Wiesen sind (FISCHER, 1967: 232). Der Hauptanteil des Bodenwasserüberschusses kommt von den in die Verebnungsböden verteilt oder in einzelnen Gerinnen einfließenden Hangwässern. Diese reichern besonders zu Zeiten der Schneeschmelze das Grundwasser an und heben es stellenweise bis über die Oberfläche, so daß Nackenseen und Vernässungszonen entstehen. Diese sorgen für eine ständige Durchfeuchtung des Erdstrommaterials, so daß die Bereitschaft zu Bewegungen latent ist. Insbesondere das Wasser der Nackenseen kann, wenn der Untergrund dicht ist, durch Überläufe für die Durchfeuchtung darunter liegender Bereiche sorgen. Dadurch werden vielfach Bewegungen der steileren Hangteile ausgelöst, die zur Öffnung von Bewegungsbahnen hinter den Nackenseen führen. Hier kann nun in der Folge einerseits das oberflächlich abfließende Wasser als auch der Tümpel in tiefere Bereiche der Ströme leicht eindringen und für die Materialdurchfeuchtung und die Schmierung tiefer liegender Gleitflächen sorgen. Die Feuchte des Ruoneserdstroms liegt zwischen 7,5% und 48% (FISCHER, 1967), die natürliche Dichte zwischen 1,8 und 2,0 g/cm³.

Dringt nun zusätzliches Niederschlags- oder Schmelzwasser durch die zahlreichen Zugrisse und Anbruchflächen im Abrißbereich, an den trennenden Rippen und an den Gefällsknicken in den Boden ein, so kommt es zur Überschreitung eines kritischen Punkts im Wassergehalt des Bodens. Die Kriech- und Fließbewegungen kommen dann hauptsächlich infolge der Volumsvergrößerung der Tonminerale (20-fache Volumszunahme), d.h. durch die damit verbundene Herabsetzung des Verformungs- und Scherwiderstands und unter

dem Einfluß der Gravitation zustande. Die Scherfestigkeit sinkt auf die Restscherfestigkeit ab. Das Material besitzt vermutlich während der Bewegung eine Restkohäsion.

Bedeutsame Unterstützung erfährt die Bewegung durch die Frostsprengung des Spalteneises, das die Gesteinsfragmente noch zerkleinert und auflöst und beim Tauen zusätzlich Wasser liefert.

Weitere mitwirkende Auslösfaktoren sind hauptsächlich Porenwasserüberdrucke infolge stauender Schichten im Untergrund, die Hangunterscheidungen und Versteilungen durch den Confin- und Rutortbach, Volumswechsel der Tonminerale durch Quellungs- und Dehnungstendenzen und Schrumpfung, Überbelastungen jeder Art (auffahrende Rutsch- und/oder Kriechmassen, Schneeauflagerungen, Füllung von Spalten und Hohlräumen mit Wasser oder Eis = hydrostatischer Druck), Ausspülen und Abtransport von feinem zwischenräumlichem Material oder dynamische Beanspruchung. Nach Starkniederschlägen kann das Gewicht des Wassers in unterliegenden Bereichen zur Auspressung von tonigen Massen führen, deren Bewegungen sich auf größere Erdstromteile übertragen können, wie es auch Fischer (1967) beschreibt.

2.3.4. Bewegungsablauf und kinematische Betrachtung

Initialstadium der gesamten Bewegungen sind Rißbildungen im Ursprungsgebiet der Erdströme infolge Verlustes des Hangwiderlagers (siehe 2.3.3.). In die entstandenen Risse dringen Schmelz- und Niederschlagswasser ein und verursachen Rotationsrutschungen bei Überschreitung des Scherwiderstands infolge Kohäsions- und Reibungsminderungen. Die Massen sacken blockförmig ab, ohne daß zunächst der Materialverband gestört wird. Durch weiteren Hangwiderlagerverlust in tieferen Hangabschnitten erfolgen neuerliche Rutschungen, so daß sich das Einzugsgebiet der Erdströme rückschreitend mehr und mehr vergrößert. Der Druck der in höheren Lagen absitzenden Massen sowie die in 2.3.3. angeführten Auslösfaktoren setzen die tieferen Lagen in weitere Bewegung; die en-bloc-Rutschungen werden mehr und mehr von plastischen Verformungen abgelöst. Die Masse nimmt eine Stromform an, ähnlich der eines Gletschers (Abb. 6). Die Bewegung dieses saisonellen Kriechens und Fließens vollzieht sich als meist langsames, unmerkliches, plastisches, laminares Fließen; in Wirklichkeit ist sie aber meist eine unbegrenzte Folge von sehr kleinen Bewegungen.

Die Erdströme transportieren vielfach große Mengen anderen Gesteinsmaterials, das gleichsam in dem Brei schwimmt. Dabei handelt es sich sowohl um Kalke und Laven aus dem Verband der Wengener und Cassianer Schichten als auch um eingearbeiteten Moränenschutt.

Wie festgestellt werden konnte, findet das Kriechen im untersuchten Bereich auf zwei Hauptgleitflächen statt. In die obere, in ca. 3 m Tiefe gelegene Gleitfläche gehen die vielen Teilgleitflächen der Abrißgebiete und Geländebruchgebiete über. Die zweite basale Kriechfläche befindet sich in ca. 5 m Tiefe. Dies ergibt eine Gliederung der Erdstrommassen in drei Teile: die Oberflächenschicht bis zu 3 m Tiefe besteht aus der weichen und gestörten Kriech- und Fließmasse, die die größte Bewegungs-



Abb. 6: Teilansicht des Ruoneserdstroms. Die Grenze zwischen bewegtem und unbewegtem Material ist deutlich sichtbar.

geschwindigkeit hat, während die Bewegungsrichtung von Zone zu Zone verschieden ist. Während die Mittelschicht von 3 m bis 5 m Tiefe sich nicht deutlich von der darüberliegenden abhebt, besteht die Tiefenschicht, von 5 m bis über 10 m Tiefe hinreichend, aus festeren Tonen und befindet sich im Grenzgleichgewichtszustand. Diese Einteilung dürfte in etwa auch drei verschiedenen Kohäsionsstufen entsprechen, so daß die Festigkeit des Erdstrommaterials mit der Tiefe zunimmt.

Das Kriechen oder Fließen findet solange statt, solange an irgendeiner Stelle des "Erdkörpers" die kritische Scherspannung überschritten wird. Die Geschwindigkeiten bewegen sich dabei nach FISCHER (1967) zwischen 10^{-2} und 10^{-1} m/Jahr. In der Mitte der Ströme sind die Bewegungen rascher als am Rand. Entsprechend verhalten sich die Rutschwülste, die in weit geschwungenen Bögen zur Ausbildung gelangen.

Bei Nachlassen der Wasserzufuhr oder Austrocknung ist eine Stopfung der Bewegung möglich. Allerdings bleibt der Mergelton unter

der harten, gelbgrauen, aufspringenden Kruste noch lange feucht und zäh.

3. Möglichkeiten zur Sanierung von Erdströmen im allgemeinen

Aus den Beschreibungen von Corvara und aus bisher vorliegenden Untersuchungen über Erdströme in den bayerischen Alpen geht einwandfrei hervor, daß das in den Boden eindringende Wasser der Hauptauslösungsfaktor der stromförmigen Kriech- und Fließbewegungen ist.

Es steht fest, daß die Bereitschaft zu Bewegungen infolge der Gesteinseigenschaften und der bereits unterschiedlich, aber meist tief reichenden Durchfeuchtung nicht gänzlich aufgehoben werden kann, sie kann aber vermindert werden.

Die natürliche Feuchte der Erdstrombereiche reicht nicht aus, um Bewegungen auszulösen, erzeugt aber eine hohe Labilität. Erst zusätzliches Wasser infolge größerer Schmelzwassermengen oder Starkniederschläge führen zur Überschreitung des Scherwiderstands und manchmal der Fließgrenze und damit zu Rutschungen, Kriech- und Fließbewegungen. Da die Standfestigkeit der Erdstrommaterialien meist nur knapp unterhalb des kritischen Punkts liegt, genügen wenige Prozent zusätzlichen Wassers, um diese Grenze zu überschreiten und Bewegungen auszulösen.

Ziel einer Sanierung sollte die Fernhaltung dieser wenigen Prozent Wassers von den Erdströmen sein, um mit Hilfe untenstehender biologischer und technischer Maßnahmen die Bewegungen der Erdstrombereiche zum Stillstand zu bringen. Der Umfang dieser Arbeiten richtet sich selbstverständlich nach der Größenordnung der Objektgefährdung und der Geländesituation und der damit zusammenhängenden sinnvollen Einsatzmöglichkeiten von Mensch und Maschinen.

Die Maßnahmen:

3.1. Biologische Maßnahmen

- Lebendverbauung der Anbruchflächen und Zugrisse in den Abrißzonen und an den stabilen trennenden Graten (Buschlagen aus Grau-, Grünerlen oder Weiden).
- Bestockungsverdichtung durch entsprechende Aufforstung in den schon bestehenden Wäldern stabilerer Bereiche, wie in den Steillagen der Abrißgebiete, der trennenden Grate und in den Bereichen der ursprünglichen Landoberfläche oberhalb der Abrißzonen.

Durch diese Maßnahmen wird einerseits ein gewisser Teil des Regens durch Interception verdunstet, andererseits wird der Oberflächenabfluß und damit das vermehrte Eindringen von Wasser in tiefer liegende Verebnungszonen, Anbruchflächen und Zugrisse und schon labile Erdstrombereiche verringert. Auch die Schneeanhäufung und Wächtenbildung sowie die Zugriß- und Schurfflächenbildung durch Schneekriechen und -rutschen werden damit wirksam unterbunden.

3.2. Entwässerungen

- Ausleitung und Trockenlegung der Nackenseen und Tümpel.
- Entwässerung der Vernässungszonen und Naßgallen durch offene Gräben.
- Ableitung einzelner Wassergräben im Bereich der Vernässungszonen und stärker bewegter Erdstromteile.
- Fassung der Quellaustritte und schadloße Ableitung in Vorfluter.

Die Drängräben müssen dichte Sohlen besitzen und sollten offen geführt werden. Es wird so die Funktionskontrolle und Reinigung derselben erleichtert.

Da für die erste Zeit der Sanierungsarbeiten sicherlich noch Erdstrombewegungen zu erwarten sind, erscheinen Trapezhalbschalen aus Beton, die aus ca. 1 m langen zusammensteckbaren Stücken bestehen oder Bohlenbeläge am zweckmäßigsten, da diese die Bewegungen mitmachen.

Als zusätzliche entwässernde Maßnahme, die wesentlich zur Stabilisierung des Geländes beitragen kann, dürfte sich die Abteufung von mehreren Druckausgleichsschächten am Ende von Gefällsbrüchen, d.h. am Beginn von vernästen und zu entwässernden Verebnungen zur Erfassung tiefer liegender Wasserhorizonte erweisen. Die Schächte sollten auf den jeweiligen Verebnungen in etwa gleichen Abständen zueinander liegen, wobei aber auch das Mikrorelief (z.B. verstärkte Wasserführung in Muldenzonen) zu berücksichtigen ist. Eine Abteufung der Druckausgleichsschächte bis zu einer obersten Hauptgleitfläche erscheint sinnvoll, da dadurch gleichzeitig die Schachtsohlen abgedichtet werden. Die Schächte, deren Füllung aus Schotter oder Styroporkugeln bestehen kann, müssen selbstverständlich Anschluß an die Drängräben haben. Eine Abdichtung der Anschlüsse und Schächte, selbst nach oben zur ursprünglichen Geländeoberfläche hin, ist nicht notwendig.

Zur Funktionskontrolle der Druckausgleichsschächte sollten stellenweise Beobachtungsrohre in diese eingeführt werden.

Alle kleineren Rinnsale und Wassergräben sollten direkt oder durch Vorschaltung von scharf am Hangfuß (Gefällsknicken) geführten Gräben und ohne Belastung des Entwässerungssystems in den Vorfluter abgeleitet werden. Stellenweise werden Bedarfsentwässerungen mit kleinen Holzsohlschwellen notwendig sein, um die Eintiefung und die unkontrollierte Vernässung des Geländes zu unterbinden. Damit erreicht man, daß einerseits den lebendverbauten und aufgestockten Flächen ein stabiler Fuß verliehen wird und andererseits die Vernässung der jeweils tieferliegenden Bereiche verhindert wird.

Mit Hilfe dieser von oben nach unten geführten Entwässerungsmaßnahmen ist es möglich, eine allgemeine Beruhigung des Geländes allmählich herbeizuführen.

3.3. Bachverbauungen

- Örtliche Verbauung der Vorfluter und Hauptvorfluter.
- In Erd- und Schuttstrombereichen eignen sich für die Bachverbauung, wie schon festgestellt, am besten Holzsohlschwellen.

Jedes hier im Erdstromkörper errichtete Werk muß einen gewissen Elastizitätsgrad besitzen, um lange bevor die anderen Maßnahmen wirksam werden, die unterschiedlich starken Kriech- und Fließbewegungen aufzunehmen, ohne daß seine Funktion übermäßig beeinflusst und vermindert wird. Die Wirkungen der Bachverbauungen bestehen in der Verminderung der Tiefen- und Seitenerosion, besonders bei Hochwasser, und der damit zusammenhängenden Entlastung darüberliegender Hangpartien. Durch eine stabile Bachsohle wird die Gefahr größerer Geschiebeeinstöße verringert. Ebenso ist eine bessere Verheilung der Anbrüche mit Vegetation möglich, die dann gleichzeitig dem Fuß der Erdströme Stabilität verleiht.

Bei entsprechender Objektgefährdung, kleineren Erdstrombereichen oder Übergang der Vorfluter in Schluchtstrecken, wird sich die Errichtung einer Murgangsperrre als zweckmäßig erweisen (Erdstrom "Rohrkopf" bei Schwangau).

Durch die angeführten Sanierungsmaßnahmen, deren Wirkungen aber erst in Jahren voll zum Tragen kommen, wird es möglich sein, nicht nur zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Bodens beizutragen, sondern auch die wenigen Prozent zusätzlichen Wassers, die zur Überschreitung des kritischen Punkts führen, von den Hängen fernzuhalten und damit letzten Endes die Erdströme zum Stillstand zu bringen.

Der Erfolg der Sanierungsmaßnahmen hängt wesentlich von der regelmäßigen Instandhaltung der Entwässerungssysteme und der begrüntem und aufgeforsteten Bereiche ab.

Literatur

- ACKERMANN, E. (1950): Quickerden und Fließbewegungen bei Erdbeben. - Zt.d.Dt.Geol.Ges., Bd.100, S.427-466, Stuttgart.
- ACKERMANN, E. (1951): Einfluß geringer Tongehalte auf Eigenschaften feinklastischer Lockergesteine. - Z.d.Dt.Geol.Ges., Bd.103, S.382-386, Hannover.
- AMPFERER, O. (1928): Beiträge zur Glazialgeologie der westlichen Südtiroler Dolomiten. - Zt.f.Gletscherkunde, Bd.16, S.242-260, Leipzig.
- BJERRUM, L. (1968): Kriechen von Böschungen in vorbelasteten Tonen. - Schweiz.Bauzeitung, 86.Jg., H.31, S.545-547, Zürich.
- BUNZA, G. (1975): Klassifizierung alpiner Massenbewegungen als Beitrag zur Wildbachkunde. - Int.Symposion "Interpraevent 1975", Bd.1, Fachbereich I, S.9-24, Innsbruck, Tirol, Österreich.
- BUNZA, G. & W. HÖLTL (1972): Bodenmechanische Analysen von Bodenproben des Tegernseer Landstroms". - Unveröff. Manuskript, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München.
- BUNZA, G. & J. KARL (1973): DFG-Forschungsbericht über Exkursionen in der Schweiz.
- BUNZA, G.; KARL, J.; MANGELSDORF, J. & P. SIMMERSBACH (1976): Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde. - Schriftenreihe der Bayer.Landesstelle für Gewässerkunde München, H. 11, Teil I, München.
- FAIRBRIDGE, R.W. (1968): Soil Creep. - In: Fairbridge, R.W.:

- The Encyclopedia of Geomorphology, S.1029-1030, New York, Amsterdam, London.
- FISCHER, K. (1967): Erdströme in den Alpen. - Mitt.d.Geogr.Ges. München, 52, S.231-246, München.
- FLIRI, F. (1962): Wetterlagenkunde von Tirol. - Tiroler Wirtschaftsstudien, 13. Folge, Innsbruck (Wagner).
- GASSER, J. (1947): Das Gadertal, Versuch einer landeskundlichen Beschreibung. - Geogr.Diss., 138 S., Innsbruck.
- HAEFELI, R. (1954): Kriechprobleme im Boden, Schnee und Eis. - Wasser- und Energiewirtschaft, 46. Jg., Nr. 3, S.51-67.
- KLEBELSBERG, R.v. (1923): Aus der Geologie Südtirols: die eiszeitliche Vergletscherung. - Zeitschrift "Der Schlern", 4. Jg., Innsbruck.
- KLEBELSBERG, R.v. (1927): Beiträge zur Geologie der Südtiroler Dolomiten. I. Rückzugsstände der Eiszeitgletscher in den Dolomitentälern. - Zt.d.Dt.Geol.Ges.Berlin, Bd.79, S.280-354, Berlin.
- KLEBELSBERG, R.v. (1928): Geologischer Führer durch die Südtiroler Dolomiten. - Samml.Geol.Führer, 33.Bd., Berlin.
- KLEBELSBERG, R.v. (1935): Geologie von Tirol. - Verl.Gebr.Borntraeger, Berlin.
- LAATSCH, W. & GROTTENTHALER, W. (1972): Typen der Massenverlagerung in den Alpen und ihre Klassifikation. - Forstwiss. Cbl., 91.Jg., H.6, S.309-339, München.
- MUTSCHLECHNER, G. (1932): Geologie der St. Vigiler Dolomiten. - Jb.d.Geol.B.A., Wien, 82.Bd., S.162-272, Wien.
- MUTSCHLECHNER, G. (1933): Geologie des Gebietes zwischen St. Kassian und Buchenstein (Südt. Dolomiten). - Jb.Geol. B.A. Wien, 83.Bd., S.19-232, Wien.
- MUTSCHLECHNER, G. (1933): Geologie der Peitlerkofelgruppe. - Jb.Geol.B.A. Wien, 83.Bd., S.75-112, Wien.
- PENCK, A. & E. BRÜCKNER (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. - 3.Bd., S.853-951, Leipzig.
- REITHOFER, O. (1928): Geologie der Puezgruppe (Südt. Dolomiten). - Jb.Geol.B.A. Wien, 78.Bd., S.261-326, Wien.
- REITHOFER, O. (1928): Geologie der Sellagruppe (Südt. Dolomiten). - Jb.Geol.B.A. Wien, 78.Bd., S.529-579, Wien.
- SCHAUER, Th. (1975): Die Blaikenbildung in den Alpen. - Schriftenreihe des Bayer.Landesamts f.Wasserwirtsch., H.1, München.
- VORNDRAN, G. (1971): Zum Stand der geomorphologischen Forschung in den Dolomiten. - Mitt.Geogr.Ges.München, 56.Bd., S.119-141, München.
- WUNDERLICH, H.G. (1966): Quellungsdrucke bindiger Bodenarten als Schadensfaktor in der Bauwirtschaft und Agens der physikalischen Verwitterung. - Geol.Mitt., 6 (Breddin-Festschrift), S.15-28, Aachen.

Bildnachweis

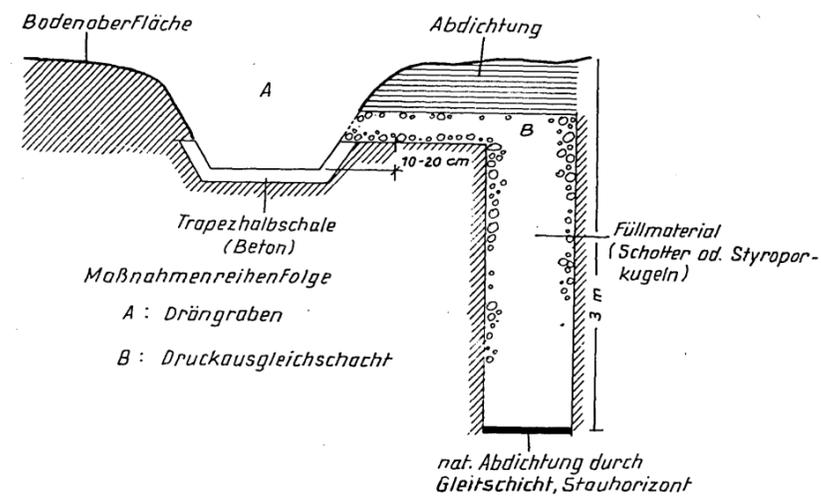
Bunza, G.: Abb. 6
Karl, J. : Abb. 1-5

Grafik

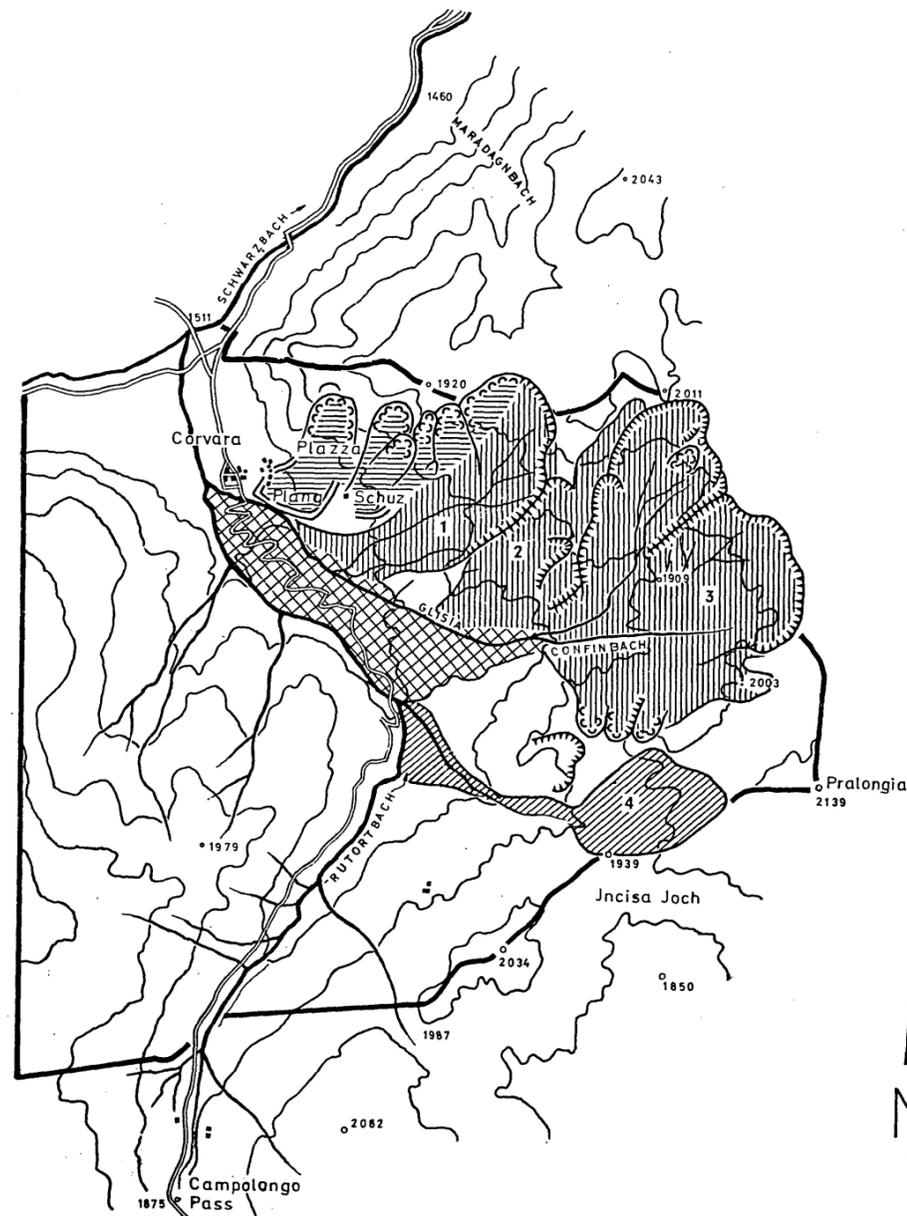
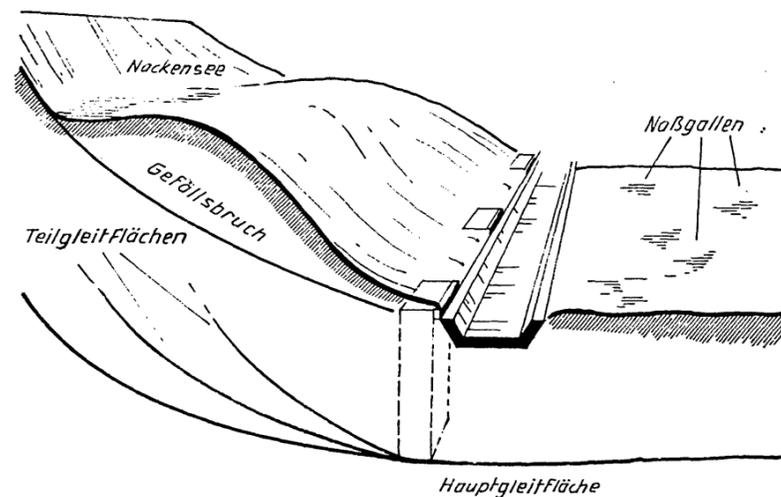
Hermut Geipel, München

DIE ERDSTRÖME VON CORVARA

Karte: 1



Beilagen 1 und 2



- Grenze d. Untersuchungsgebietes
- 1, 2, 3, 4 } aktive Erdströme
- gemeinsame Zunge
- fossile Erdströme
- fossile Großbruchränder
- fossile Kriechkörper
- Abriffzonen Anrisse
- trennende Grate (Härtlinge)

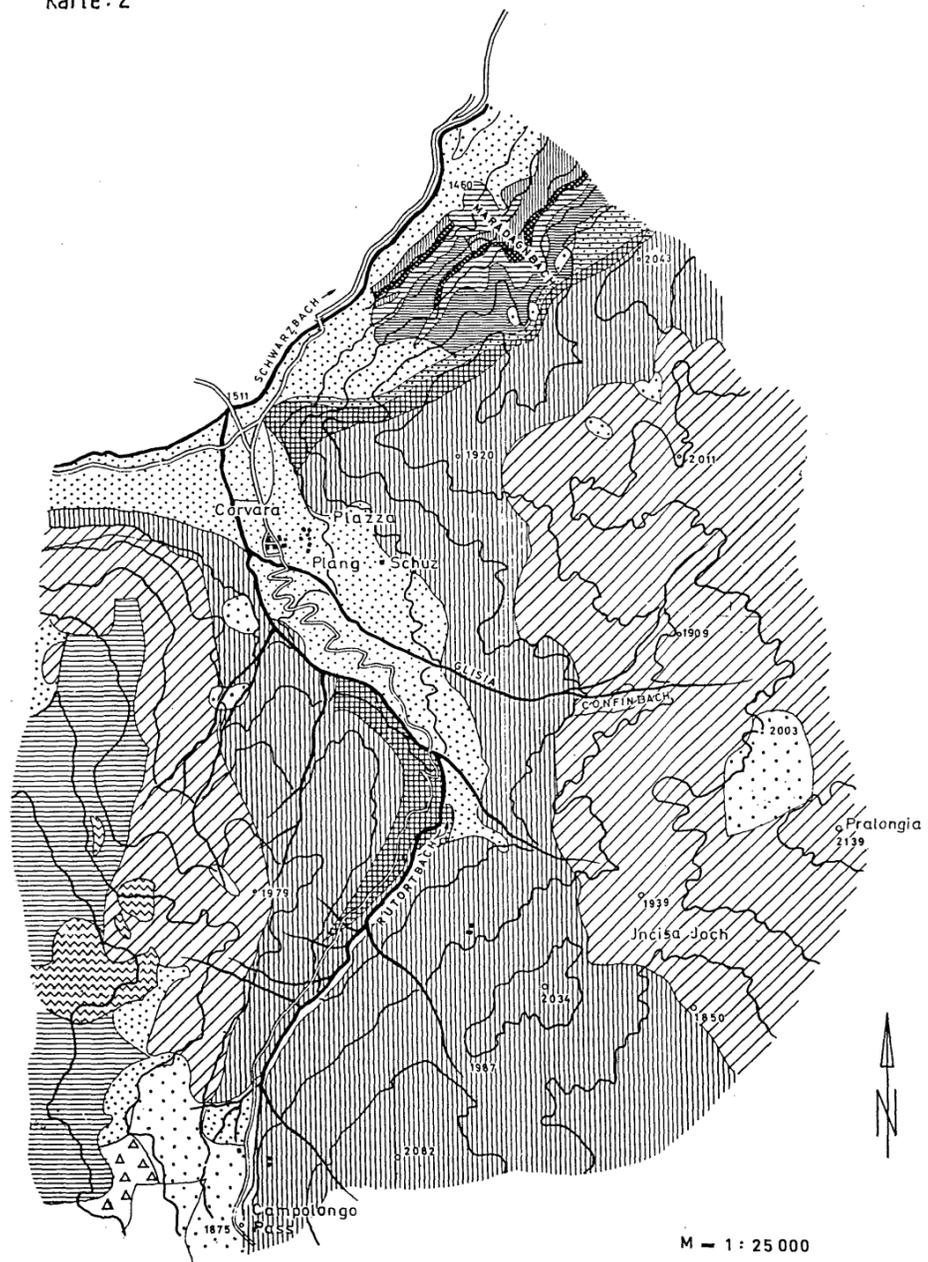
M = 1 : 25 000



GEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE DES GEBIETES ZWISCHEN CORVARA, PRALONGIA

UND CAMPOLONGO

Karte: 2

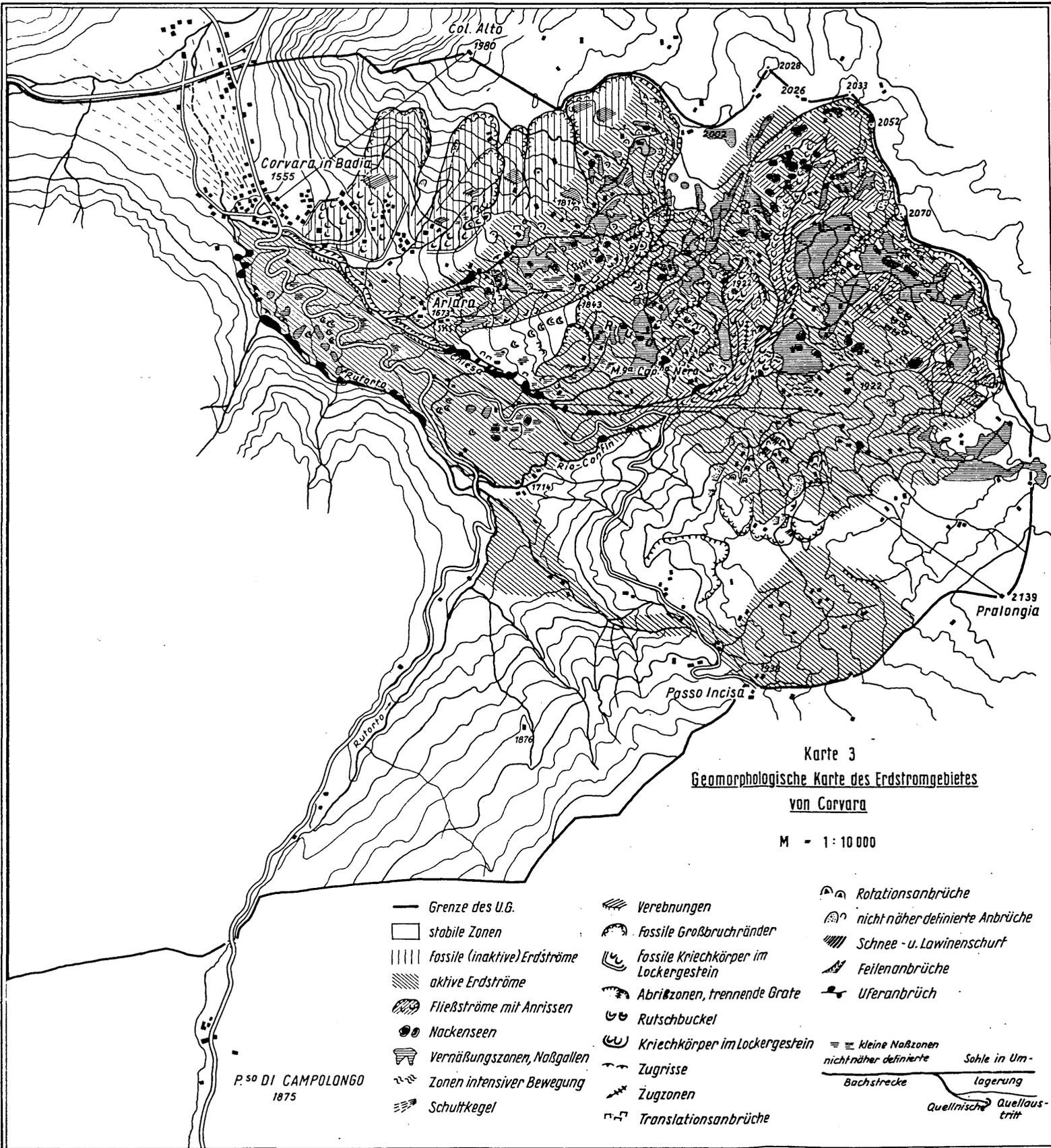


- Werfener-Schichten
- Muschelkalk
- Buchensteiner-Schichten
- Buchensteiner Agglomerate
- Augit-Plagioklas-Porphyr
- Wengener-Schichten
- Cassianer-Schichten
- Raibler-Schichten
- Mendel-u. Schlerndolomit
- Moränen
- rezente Schuttbildung
- ▲▲▲ Bergsturzmassen

M = 1 : 25 000



Kartengrundlagen: Geologische Karte des Gebietes zwischen St. Kassian und Buchenstein (Südtiroler Dolomiten) von G. MUTSCHLECHNER, Wien 1933. Geologische Karte der Sellagruppe (Südtiroler Dolomiten) von O. REITHOFER, Wien 1928.



Karte 3
 Geomorphologische Karte des Erdstromgebietes
 von Corvara

M - 1:10 000

- | | | |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|
| — Grenze des U.G. | ▨ Verebnungen | ⤴ Rotationsanbrüche |
| □ stabile Zonen | ⤴ Fossile Großbruchränder | ⤴ nicht näher definierte Anbrüche |
| ▨ fossile (inaktive) Erdströme | ⤴ Fossile Kriechkörper im Lockergestein | ▨ Schnee- u. Lawinschurf |
| ▨ aktive Erdströme | ⤴ Abrißzonen, trennende Grate | ⤴ Feilenanbrüche |
| ⤴ Fließströme mit Anrissen | ⤴ Rutschbuckel | ⤴ Uferanbruch |
| ●● Nackenseen | ⤴ Kriechkörper im Lockergestein | ≡ kleine Naßzonen |
| ⤴ Vernäßungszonen, Naßgallen | ⤴ Zugrisse | ≡ nicht näher definierte |
| ⤴ Zonen intensiver Bewegung | ⤴ Zugzonen | — Sohle in Um- |
| ⤴ Schuttkegel | ⤴ Translationsanbrüche | Bachstrecke |
| | | lagerung |
| | | Quellnische |
| | | Quellaus- |
| | | tritt |

P. SO DI CAMPOLONGO
 1875