

Fragen der Hangentwicklung

Von Sieghard MORAWETZ

Eingelangt am 12. April 1971

Mit Abtragungsfolgen, Abtragungstheorien und Denkmodellen darüber befaßte man sich schon lange, aber besonders intensiv im letzten Jahrzehnt. Beobachtung, Theorie und Experiment versuchen sich zu ergänzen und die Erkenntnisse zu vertiefen. Aus der großen Zahl der Autoren, die dazu beitragen, um über die Analyse zu einer Synthese zu gelangen, seien nur W. M. DAVIS (1909, 1912), S. PASSARGE (1912, 1920), W. PENCK (1924), A. PHILIPPSON (1931), O. LEHMANN (1933), A. WURM (1935), H. WISSMANN (1951), P. BIROT (1961, 1970), J. BÜDEL (1963, 1970), H. LOUIS (1960, 1968), A. E. SCHEIDEGGER (1961), L. B. LEOPOLD (1970), F. AHNERT (1954, 1970) und H. GOSSMANN (1970) genannt.

Die Grundbedingungen für die Abtragung sind die Schwerkraft, das Vorhandensein eines transportfähigen Materials und Transportkräfte. Das Wie der Vorgänge ist je nach Material, Transportkraft und Neigung sehr unterschiedlich und die Kombinationen sind Legion. Mit dem Kleinerwerden des Materials nimmt die Bedeutung des Wies des Materials ab und die Transportkraft, die nötig ist, das Einzelteilchen zu bewegen, kann immer kleiner werden, aber dafür erlangt die Masse der Teilchen immer mehr Gewicht und überlastet dadurch oft den Transporteur. Weiters vermögen zu feine Teilchen auf den Untergrund keine Wirkung mehr auszuüben. Ein die Erosion auslösendes Element fehlt und es bleibt nur mehr das Transport-Verteilungsproblem.

Für das Wie der Gesteinsaufbereitung und die Art der Transportkraft hat das Klima ausschlaggebende Bedeutung. Humid, nival-glazial, arid und die zahlreichen Übergänge sind die Hauptformen der klimabestimmten Transportkräfte. Darum war in der Geomorphologie, die Klimamorphologie, wie die Kapitel fluviatiler, nivaler und arider Formenschatz bezeugen, immer ausschlaggebend und erfuhr nur in den letzten Jahrzehnten einen ganz bedeutenden Ausbau und eine starke Vertiefung. In den folgenden Zeilen sollen jedoch nicht spezielle Fragen der Klimamorphologie, sondern die allgemeine Hangentwicklung Beachtung finden.

Ein Denkmodell, das W. PENCK (1924) entwickelte, teilt die Hänge in gerade, konvexe und konkave ein. Es gehört zu einer von altersher bestehenden Beobachtungstatsache, daß diese Hangformen in der Landschaft immer wieder anzutreffen sind. Diese drei Hangformen genügen vollauf, alle Relieftypen von den bescheidensten vertikalen und horizontalen Ausmaßen bis zur den höchsten vertikalen und horizontalen Beträgen zu erfassen. Ja man kann diese Dreiteilung der Hänge im Grundprinzip noch vereinfachen und sagen: die Hänge sind in kleinsten Abschnitten gerade und allein das Aneinanderstoßen der geraden Hänge unter verschiedenen Winkeln erzeugen die konvexen oder konkaven Formen.

Die Schlußfolgerung, die W. PENCK aufgrund richtiger Beobachtungen hin-

sichtlich der Hangentwicklung zog, nämlich der gerade Hang entspricht einem Gleichgewicht zwischen Hebung und Abtragung, der konvexe bezeugt ein Überwiegen der Hebung (aufsteigende Entwicklung) und der konkave ein Überwiegen der Abtragung (absteigende Entwicklung), ist höchstens in Grenzfällen richtig. Die Morphologie der Hangentwicklung ist leider viel komplexer, als daß nur einfache Kausalitäten zwischen Form, Hebung und Abtragung bestünden; so sind selbst bei einfacher, einmaliger Höferschaltung gerade, konvexe und konkave Formen möglich.

In jüngster Zeit befaßte sich H. GOSSMANN auf Anregung J. BÜDELS mit den Theorien zur Hangentwicklung in verschiedenen Klimazonen. BÜDEL schlug vor, einmal rechnerisch zu überprüfen, wie und unter welchen Umständen die völlige Abtragung einer Hochscholle zum ausdruckslosen „Endrumpf“ nach Davis oder zu immer flacheren „Spültälern“ nach LOUIS fortentwickelt werden kann. Bei der Hangverflachung nimmt einerseits die absolute Menge des fortzuschaffenden Materials stark zu, andererseits die Leistungsfähigkeit der Abtragungsvorgänge in der Zeiteinheit stark ab und damit in entscheidender Weise die Geschwindigkeit, mit der ein Materialvolumen von einem solchen Hang weggeschafft werden kann. BÜDEL (S. 2) gibt für eine Verflachung von zwanzig Grad auf einen Grad eine Zeit von mehreren Milliarden Jahren an. Die weiteren Untersuchungen führten zu dem Schluß: Die Vorstellung der Existenz von Abflachungs-Endrumpfen aus ehemals stärker reliefierten und steilgeböschten Talrelieftypen müssen aus dem Kreis der geomorphologischen Theorien gestrichen werden.

Der Haldengang

Die in der Theorie schwierige Frage sind Hänge, besonders Wandfüße gerade, konkav oder konvex, läßt sich noch nicht vollkommen klar beantworten, hier stehen sich die Auffassungen O. LEHMANN'S (1933) und H. LOUIS gegenüber. Ersterer leitet bei einer freien Felswand einen leicht konvexen Fuß ab, während LOUIS einen konkaven Haldengang verfißt. Die Theorie LEHMANN'S wurde von J. P. BAKKER und L. HEUX (1946) aufgrund der Beachtung des Volumenverlustes und Volumenzuwachses vertieft und bei Berücksichtigung des Massenänderungskoeffizienten, der Wandneigung und der Neigung der Schutthalde die Form des Felssockels berechnet. Auch A. M. TROFIMOV (1965) und A. E. SCHEIDEGGER (1961) kommen zu Sockelformen, die der Vorstellung LEHMANN'S entsprechen. Aus den Beobachtungen in alpinen Gebirgen lassen sich sowohl Beispiele für die Auffassung LEHMANN'S, BAKKER'S, TROFIMOV als auch LOUIS erbringen. Unbestreitbar bleibt: je schneller in der Horizontalen sich die Wand zurück verlegt und je geringer sie dabei in die Höhe rückt, desto konvexer wird der Wandsockel und je geringer die Wandneigung, umso weniger ist bei gleicher Wandhöhe, abzutragen. Hohe, steile und geschlossene Wände neigen im Vergleich zu niedrigeren und stark aufgelösten Wänden weniger zur Ausbildung eines konvexen Sockels. Sehr maßgeblich für ein schnelles Zurückweichen der Wand ist es, wenn an der Wand und Wandfußkante besonders heftige Erosionsangriffe vor sich gehen können. Die bekannten großen Wände der Ostalpen in den Dolomiten, Nördlichen und Südlichen Kalkalpen haben 60 bis über 70 Grad Neigung bei Höhenunterschieden zwischen 500—1000 Metern, während die Halden meist zwischen 25 bis etwas über 30 Grad gebösch sind. Höhendifferenzen über 500 m, so z. B. unter der Dachsteinsüdwand (Halde von 2200 bis 1600 m, 25—32 °), Marmolatasüdwand (Halde 2700—2000 m, 28 °), oder im Gesäuse unter der Planspitznordwand (1400—600 m, 23—31 °), in der Goferschütt vor der Reichensteinnordwand (1700—1100 m, 21—24 °) werden

auf diesen Halden überwunden. Der kritische Punkt ist die Kante zwischen dem Wandfuß und dem Haldenhang. Wie der Wandfußhang genau beschaffen ist, entzieht sich durch die Auflagerung der Halde meist der Beobachtung. Im Bereich der Sella, Langkofelgruppe, der Sextener Berge (Zwölfer, Oberbacherspitze) und im Gesäuse sind dem Verfasser sowohl konvexe als auch konkave Wandfußpartien bekannt. Schließt an eine um 60 Grad steile Wand ein zunächst um 25 Grad geneigter Wandfußhang an, der dann an Neigung zunimmt, also eine deutlich konvexe Form aufweist, wobei die horizontale Achse etwa 3,5 Einheiten und die der Höhe 3 Einheiten beträgt, so läßt sich durch Schuttauflagerung von 1—1,5 Einheiten im Bereich des stärksten konvexen Abschwunges ein gleichmäßig geneigter Schutthang von wieder 25 Grad Neigung herstellen, der aber am Wandfuß und am Haldenende nur eine ganz dünne Schuttstreu aufweist. Legt man jedoch eine Tangente an die konvexe Krümmung des Wandfußhanges, so erhält man ungefähr in der Haldenmitte nur eine dünne Schuttstreu, dafür eine Haldendicke von rund einer Höheneinheit am Hangknick zwischen Wand und Wandfußhang und einen ähnlichen Betrag im untersten Haldendrittel. Mit der Eindeckung des Wandfußes um eine Einheit steigert sich die Hangböschung bis zu dem möglichen Maximum großblockiger geschütteter Halden auf rund 40 Grad.

Diese Beispiele und Überlegungen sollen aufzeigen wie sehr Wandfüße durch die Auflagerung des Schuttes abgeändert werden. Dem Beobachter auf großen mächtigen Haldenzügen entgeht nicht, daß gerade in den mittleren Teilen öfters Anstehendes, kaum verhüllt, anzutreffen ist und dadurch die Halde zweigeteilt erscheint, oder dort gar Rinnen die Halde aufzulösen versuchen. Das kann nun heißen, ein leicht konkaver, dann leicht konvexer und wieder leicht konkaver Hang wird durch die Halde erst so ganz einheitlich.

Was die Mächtigkeit des Haldenschuttes anbetrifft, ist man überall dort, wo nicht Rinnen die Halde durchteufen, auf Schätzungen angewiesen. Dabei sind nicht so sehr die Minimal-, sondern die Maximalwerte von Wichtigkeit. Nimmt man eine Wandneigung von 50 Grad und einen Wandfußhang von 20 Grad an und läßt in den Hangknick, den stumpfen Winkel von 160 Grad, Schutt einlagern, der gleichmäßig hangauf und hangabwärts wächst, so erhält man eine Halde von rund 35 Grad Neigung bei der sich die Haldenlänge zur Haldendicke rund 6 : 1 verhält. Bei einer Haldenlänge von 1000 Metern ergäbe sich eine Mächtigkeit von 160 Metern. Bei solchen Ausmaßen beginnen jedoch schon Eigenbewegungen auf der Halde, die eher zu einem Abbau als zu einem weiteren Aufbau der Halden führen. Große Mächtigkeiten wären bei einem fast horizontalen Haldenboden und einer recht steilen Wand bereits bei geringen Haldenlängen in der Theorie möglich. So ergibt eine 750 m lange Halde unter einer 60 Grad steilen Wand bei 35 Grad Haldenneigung auf einem 350 Meter breiten Boden eine Dicke von 250 Metern. Solche Bodenbreiten sind auch unter Wänden vor den fluviatil bestimmten Taleinschnitten möglich.

Die Halden selbst können einen geraden, leicht konkaven, H. LOUIS vertritt fast ausschließlich die konkave Form, oder leicht konvexen Verlauf zeigen. Auch ein Wechsel von konvex zu konkav ist möglich. Diese verschiedenen Formen sind stark abhängig von der im Anstehenden ausgebildeten Form, wo allerdings der Haldenschutt oft einen Formausgleich bewirkt. Von zahlreichen Autoren liegen Beschreibungen und Analysen der Schutthalden vor. E. GERBER und A. E. SCHEIDEGGER befaßten sich in letzter Zeit mit den Bewegungen auf den Schuttmantelhängen. Diese Schutthalden bestehen teils aus allochthonen Lockergesteinen, die durch mechanische Verwitterung — der Steinschlag ist hier ein

wesentliches Faktum, wo durch oftmaligen sprunghaften Transport das Gesteinsstück eine mehrmalige Umlagerung erfährt — aus dem Verband gesprengt werden und von verhältnismäßig weither anfallen; und aus autochthonem Material, das an Ort und Stelle aus dem Hang sich absondert. Was die Bewegungsarten anbetrifft, kommt dem Fallen und Gleiten die Hauptrolle zu. Blockschuttsäume und Girlanden im Verlauf der Isohypsen stellen sich ein, dann wieder Schuttstreifen in der Falllinie, dazwischen gibt es ausscherende Formen. Stauungen vor großen Blöcken treten auf, bei genügend Feinmaterial erlangen diese Stauungen den Charakter von Schwemmschleppen. Verdichtungen, Setzungen, ein Dichtschlemmen der Halden tritt ein. Von der Form der Blöcke hängt es weiter ab, ob erleichtertes Gleiten auf der Feinunterlage sich einstellt oder Einbohrungen mit Hochstellungen und Kippungen auftreten. Die Bewegung kann eine mehrfache sein, einmal die des Blockes, die der lokalen Schleppe und die der ganzen Halde, wobei der einzelne Block sich schneller als die Unterlage der Schleppe und diese wieder schneller als die Halde sich bewegen kann. Weitere Wälle vor dem Block sind die Folge. Kipplagen mehren sich da und eine oberflächige Instabilität nimmt zu. Viele der Bewegungen lassen sich mit der coulombschen Zustandsgleichung erfassen, bei der die Scher-, Normalspannung, Kohäsion und innere Reibung die wesentlichen Faktoren sind. Vom Böschungswinkel, der Dichte des Schuttes, der Schwerebeschleunigung hängt weitgehend die kritische Höhe des Schuttes ab. Eine Überlagerung mit Miniaturrutschungen ist häufig. Von kleinsten bis größeren Ausmaßen wechseln damit leicht konvexe und konkave Formen ab. Auf Großhalden, die auf flache Böden auslaufen, aber dort noch Grobmaterial und Riesenblöcke absetzen — der Transport über Schneefelder erleichtert dies und es stellen sich die von Krebs und Tarnuzzer beschriebenen Schneeschuttwälle ein — erfolgt dann von unten ein Rückstau und damit eine Abschwächung der konkaven Form. Erst bei genügender Zerkleinerung des Grobschuttes, Ausschwemmung des hangabwärts angesammelten Feinmaterials, häufiger Kippung der Großblöcke und der damit verbundenen erhöhten Zerschlagung, gewinnt die Abtragung über die Akkumulation wieder die Oberhand.

Stellen gehäufter Schuttanlieferung sind vielfach die obersten Haldenteile, wo der Rückwitterungsschutt der Felswand anfällt. Was sich auf Schuttkegeln und Schutthalden beobachten läßt, stellt sich auch auf Schwemmkegeln ein. Die Untersuchungen von K. HORMANN (1964) auf den Torrenten in Friaul erwiesen eindeutig ein Abwechseln von stärkeren und geringeren Neigungen, die vielfach zwischen 10 bis 20 ‰ sich bewegen. Ferner wachsen in den Torrenteneinschnitten Akkumulationen von unten, von dem Vorland mit geringster Neigung nach oben, bis dann wieder eine Umschaltung von der Sedimentation zur Erosion erfolgt; also auch da ein Wechseln der Vorgänge, das zwangsläufig mit Konvex- und Konkaventwicklungen verbunden ist.

Der Hangknick

Die Berechnungen von H. GOSSMANN (1970, S. 36—52) ergaben, daß mit dem Fortschreiten der Hangabtragung keine Verflachung der Hangneigung eintritt, wie man es oft in schematischen Darstellungen findet. Vielmehr ist das Gegenteil der Fall, wie man es aus den Hangkurven der Großmannschen Modellreihe II—VII (S. 41—50) ganz deutlich entnehmen kann. Übrigens zeigen schon die Sandkastenversuche von A. WURM (1935, S. 58—59, 63) sowohl bei langgestreckten Rücken als auch Kegelbergen eine ganz auffallende Restbergversteilung. Für J. BÜDEL (1970, S. 4) scheint es überhaupt „die jetzt mögliche umfas-

sende Erklärung des meist scharfen Hangknickes, der am Fuß aktiver Steilhänge beim Übergang zu Pedimentauftritt zu sein“. Sicher ist die lange Erhaltung und Verschärfung der Hangknicke eine auffallende, das Landschaftsbild bestimmende Erscheinung, die man immer wieder beobachtet. Sie überrascht jedoch besonders dort, wo eine beachtliche Grob- und Feinmaterialanlieferung erfolgt und man zur Meinung verleitet wird, es kommt dadurch zu einem Ausgleich des Hangknickes. Sicher findet ein solcher da und dort statt, aber die öfters sehr schematisch eingezeichnete Ausfüllung des Hangknickes mit Schuttmaterial, wo hangab und hangauf entfernungs-gleich der Ablagerungsraum eingetragen ist, hat keine Berechtigung. Eine einfache Rechnung ergibt z. B. bei 60 Grad Wandneigung und 30 Grad Wandfußhang für den Sedimentausgleichhang bei einem gleichmäßigen Sedimentaufbau hangauf und hangab vom Hangknick eine Durchschnittsneigung von rund 45 Grad, die aber bei einem geschütteten Hang nicht mehr möglich ist. Selbst bei einem Schrofenhang von 45 Grad und einem Fußhang von 5 Grad beträgt die Neigung des Ausgleichhanges noch 25 Grad. Aus solchen Zahlen leiten sich lange Sedimentschleppen hangabwärts und nur kurze Verhüllungen wandaufwärts ab. Diese Überlegungen, die an einer Unzahl von Beobachtungen ihre Bestätigung erfährt, stimmt auch recht gut mit den Modellreihen von GOSSMANN überein (Reihe I—VII), in denen der Hangknick, was seine absolute Höhe anbelangt, immer merklich hinauf rückt. Nun sind im alpinen Hochgebirge auch dort, wo nicht durch Unterschneidung oder glaziale Einflüsse eine Versteilung eintrat, zwischen Wand- und Wandfuß deutliche Knicke vorhanden. Eine Versteilung nach unten ist bei Wänden und Schrofenhängen dem Bergsteiger nur allzu bekannt und recht weit verbreitet. Eine Ursache dafür liegt in der Art der Schuttanlagerung.

Zwischen der Halde und dem steil ansteigenden Anstehenden herrscht meist kein lückenloser Übergang, sondern es gibt eine Art Randklüft. Recht deutlich ist dies dort, wo die Halde am oberen Beginn aus Grobschutt besteht, der aus dem Steinschlag stammt. Da senkrechte Wände die Ausnahme sind, kann sich der Steinschlag nicht im senkrechten Fall vollziehen, sondern setzt oft gleitend ein und geht erst dort, wo das Gesteinsstück über eine Kante mit einiger Energie hinausgeschoben wird für eine bestimmte Strecke in einen freien Fall über. Durch Abgleiten von einem Band oder in einer Kleinstrinne erhält das Lockermaterial Wucht, die es befähigt, sich vom Hang abzuheben und hinauszufallen. Jede schnelle Bremsung eines rutschenden Gesteinsstückes kann zu seinem Überschlag und Absturz führen. Jedes solches Hinaus- und Hinabstürzen bewirkt, daß das Auffallen nicht unmittelbar am Fuß, sondern in einem kleinen Abstand erfolgt. Gerade die großen Gesteinsstücke landen infolge ihrer beachtlichen Wucht weiter ab als die kleineren. Dazu ist gar kein sehr steiler Hang nötig. Maßgeblich ist, daß die aus dem Verband gekommenen Gesteinsstücke ins Rollen und Springen geraten. Sicherlich füllt sich der Hohlraum zwischen den Groblöcken auf dem Hangfuß und der Wand allmählich mit feinerem Material aus. Je größer die Hohlraumfurchen desto stärker dient sie als Materialfang. Ihre Erhaltung hängt aber davon ab, daß immer wieder gröberes Material angeliefert wird und nach vorne gelangt. Nur wo im Wandabschnitt Rinnen herabziehen, in denen auch viel Kleinmaterial angeliefert wird, bildet sich ein kontinuierlicher Übergang vom Hangfußhaldenhang zur Wand aus. Von der Randklüft-Steilhangfurchen, selbst wenn sie nur im kleinsten Ausmaß vorhanden ist, gehen wesentliche Wirkungen aus. Die Furchen dient als Wasser- und Schneefang. Das Wasser, das über den Steilhang abrinnt und abtropft, sammelt sich dort. Der Grad der Durchfeuchtung ist bei viel Feinmaterial ein großer. Es kommt zeit-

weise zu Spülwirkungen und einem Abfluß, der sich jedoch nicht so sehr haldenabwärts, also weg von dem Steilhang, sondern vielfach parallel zum Wandfuß vollzieht. Das hat wiederum mindestens streckenweise eine gewisse Ausspülung und Säuberung von dem Feinmaterial zur Folge. Diese Vorgänge tragen dazu bei, die Furche zu erhalten. Von den Hangrinnen und den in sie hineinlappenden Haldenrinnenschwemmkegeln gelangt oft Wasser durch seitliches Abfließen von der schmalen Kegelspitze in die Randklüftfurchen. Starke Schneeanhäufungen im nivalen Bereich, wie sie am Fuß von Steilhängen üblich sind, sorgen für eine vermehrte Wasserzufuhr an ihre nächste Umgebung auch während der Schönwetterperioden. Diese erhöhte Wasserdarbietung fördert sowohl die Frostverwitterung als auch die Korrosion im Kalkgestein. Das Eindringen des Wassers in die Schichtfugen, Klüfte und Feinrisse schafft dort einen Streifen mit erhöhter Gesteinszerstörung, so daß von diesen Furchen und wandfußparallelen Dellungen ein verstärkter Erosionsangriff von unten ausgeübt wird, was zu einer Hangverteilung und zu einer Verschärfung des Hangknickes zwischen Pediment und Wand führt.

Das, was sich am Pediment-Wandfußknick, zwar an vielen Stellen unterbrochen, abspielt, läßt sich bei der Aufzehrung von Restbergücken und im Hochgebirge auf Flankenrippen und an Seitengraten, die zwischen den Hangrinnen liegen, oft beobachten. Da gibt es einmal die Auflösung der Rippen in Scharten und Türme, meist eingeleitet durch kleinste sekundäre Zubringer der Hauptrinne. Dieser Ablauf allein erzielt nur eine Zerlegung der Rippe in einen Sägekamm aber noch keine wesentliche Verteilung nach unten. Wieder ist es das Wasser, das von den kleinen Sätteln und Scharten — bei Schneeanhäufungen in diesen, steht es lange in das Frühjahr und den Sommer hinein auch an schönen Tagen zur Verfügung — abrinnt und absickert von größter Bedeutung. Das Wasser schlägt nicht immer in der Fallinie den Weg von den Sätteln und Scharten nach abwärts ein. Schuttstreifen und Schuttwülste, die girlandenförmig angeordnet sind, drängen das Wasser seitwärts ab, wo es sich mit dem Wasser, das von den Türmen und Kuppen herab kommt, vereint. Gerade die Steinschläge und die Lockermaterialbewegungen von den Kuppen und Türmen, die ja unter verschiedenen Winkeln auf die Schuttlüge, die von den Sätteln abgehen, herankommen, tragen sehr zu der Schuttstreifen- und Girlandenbildung bei. Dem Wasser wird es erschwert, den Hang auf dem kürzesten Weg hinabzueilen. Durch das seitliche Abdrängen des Wassers erhöht sich im Fußbereich der Kuppen und Türme und etwas seitlich unter den Sätteln und Scharten der Erosionsangriff. Eine Verteilung als Folge einer denudativen bandförmigen Unterschneidung stellt sich ein und die Kuppen werden steiler. Ähnliche Vorgänge gehen von den Formen, die J. SÖLCH (1935, S. 149) Schrägsimse nennt, aus. Die steilen Restformen, die bei den Versuchen von A. WURM, wo eine Landschaft aus Zementrohmehl, also einem sehr homogenen Material durch Abspülung herausgearbeitet wurde, lassen sich noch am besten durch ein unregelmäßiges Abfließen des Wassers infolge von Miniaturschwemmkegelbildungen und seitlichem Abgleiten von diesen, wodurch es mindestens zeitweise zu seitlichen Angriffen parallel zu den Vollformen kam, erklären. Allerdings herrschen in der Natur durch die Petro- und Lagerungsvarianz ungleich mehr und größere Kombinationsmöglichkeiten, die am Ende der Entwicklung aber wieder abzuklingen scheinen.

Rinnen

Häufig wiederkehrende Formen sind die Rinnen, die sowohl im Anstehenden als auch im Lockermaterialien die Hänge in geringen Abständen durchziehen. Viele dieser Rinnen gehören im Sinne von H. KAUFMANN zu den rhythmischen Phänomenen und fallen durch ihre parallelen Anordnungen und ähnlichen Größen auf. Sie gehen über bestimmte Maße, die durch die Abstände voneinander bestimmt werden, nicht hinaus. Das Gefälle der Rinnen ist im Vergleich zu selbst sehr steilen Talkerben groß, weicht aber von der allgemeinen Hangneigung nur wenig ab.

Versucht man eine Typisierung der Rinnen aufgrund ihres Aussehens, so erscheint es zweckmäßig, zwischen ganz einförmigen unverzweigten und verzweigten Rinnen zu unterscheiden. Die Rinnen können den ganzen Hang durchziehen, oder nur über einen Teil sich erstrecken, gleich am Kamm beginnen, oder erst nach einem gewissen Abstand einsetzen. Die Rinnenneigung kann selbst über lange Hänge fast gleich bleiben, aber sich auch hangabwärts etwas erhöhen oder verringern. Im ersteren Fall werden die Rinnen hangab tiefer und die Rinnengröße höher, im letzteren die Rinnen flacher, und die Rinnentrennlänge niedriger. Legt sich der Hang oben etwas zurück, wie dies bei Kammauflösungen eintritt, so läßt sich dort meist eine zentripetale Anordnung von Kleinstrinnen feststellen. Auf längeren Hängen kann bereits ein leichtes Abweichen von dem Rinnenparallelverlauf zu einem Rinnenzusammenschluß und damit zu einem Rinnenausfall führen. Streben dagegen die Rinnen hangab etwas auseinander, gibt es Raum für den Einzug neuer Rinnen. So ein Rinneneinzug stellt sich auf den nach abwärts an Breite zunehmenden Dreieckshängen ein, wobei allerdings die Rinnenlängen nach dem Rand der Dreieckshänge stark abnehmen müssen.

Eine Hauptfrage ist es, warum Rinnen, die mehrere hundert Höhenmeter überwinden, so regelmäßig verlaufen und keine Neigungsänderungen aufweisen, während man bei fast allen Talkerben bei solchen Höhenunterschieden auf beachtliche Gefällsknicke stößt. Die Möglichkeiten der Gefällsveränderungen sind hier gering. So verlangt eine Neigungssteigerung von 30 Grad auf 35 Grad bei dreihundert Meter Höhendifferenz an der Basis bereits ein Hangzurückschneiden von hundert Metern und eine Rinnentiefe von rund 60 Metern; bei einer Steigerung von 45 Grad auf 50 Grad muß die Rinnentiefe bereits auf 100 Meter anwachsen. Umgekehrt ist bei Rinnenverflachung oben der gleiche Betrag dort wegzunehmen. Nimmt die Rinnentiefe zu, löst sich der Hang immer mehr auf. Erreichen die Neigungen der Rinnenflanken zur Rinne 60 Grad, so wächst im Vergleich mit geringen Neigungen die Hangoberfläche auf rund das Doppelte an. Damit erhöhen sich die mechanischen Angriffsmöglichkeiten sehr. Zu dem Höchstmaß an Gesteinsaufbereitung gesellt sich bei diesen großen Neigungen auch ein Maximum an Abtrag. Solange sich der Schutt in den Rinnen nicht staut, passiert er auch schnell durch. Man gewinnt den Eindruck, in den unteren Rinnenteilen lagert weniger Schutt als weiter oben. Das Anfrieren des Lockermaterials, längere Schneelagen oben, die zeitweise als Schuttfänger dienen, mögen dazu etwas beitragen. Hat der Schutt einmal Bewegung erlangt, so nimmt rinnenabwärts die Abgleitgeschwindigkeit immer stärker zu und die Rinnen werden nach unten gleichsam durchgeputzt und reingefegt, ohne daß jedoch die Rinnensohle übermäßige Angriffe erleidet. Die Rinnenglätte vermindert dort die Reibung und bei hohen Geschwindigkeiten kann das Gleiten in ein Springen übergehen und die Erosion kann nur mehr streifen- und punktweise einwirken. In dieser Situation scheinen manche Rinnen eher breiter als tiefer zu werden, da

ein Ausscheren der Blöcke aus der Fallinie schon bei kleinsten Hindernissen eintritt. Trotz all dem scheint die Lockermaterialdarbietung und der Materialabtransport ziemlich gleichmäßig vor sich zu gehen. Erst am Fuß des Hanges, wo von dem Hangknick ein Rinnenkegel in die Rinne von unten nach oben hinein wächst, verteilen sich Wasser und Schutt stärker nach den Seiten hin.

In Sanden, Lehmen, Kiesen sind die Rinnen oft noch schöner als im Anstehenden entwickelt. Ihre Ausmaße sind allerdings viel kleiner, dafür die Neigungen besonders einheitlich. In solchen Rinnen, die überall einige Grade unter den Neigungen geschütteter Böschungen bleiben, um 25 Grad mißt man häufig, läßt sich eine dreiphasige Entwicklung verfolgen. Zuerst bildet sich eine ganz einförmige Rinne (1. Phase), dann vertieft sich die Rinne und die Rinnenflanken werden steiler als die Rinnenneigung (2. Phase). Nimmt die Eintiefung der Rinne und damit die Steilheit der Rinnenflanken weiter zu, wird ein kritischer Punkt erreicht. Der Materialanfall von der Seite wird so stark, daß der Abtransport in der Rinne nicht mehr anstandslos zu bewältigen ist. Die Rinneneintiefung hört auf, es bleibt trotz der Steilheit in der Rinne Material liegen. Stauungen treten auf, die Bildung von leichten Prall- und Gleithängen beginnt und die Rinne gewinnt an Breite. (3. Phase). Erreicht die Prallhangbildung stärkeres Ausmaß, kann es zu Anzapfungen und Rinnenvereinigungen kommen. Hat die Rinne einige Breite erlangt und haben sich die Rinnenhänge so abgefacht, daß die seitliche Materialzufuhr auf den Rinnenboden abnimmt, erfolgt wieder Erosion in der Rinne selbst. Diese Rinnen, die meist ein sehr homogenes Lockermaterial voraussetzen, benötigen, handelt es sich um stärker durchlässige Schichten, einen gewissen Abstand vom Rinnenrücken bis sie sich einstellen. Der Anlaufbereich ist je nach der Rinnendichte und Rinnentiefe unterschiedlich und schwankt zwischen wenigen Metern und über hundert Metern. Erst dort, wo in den Rinnen eine rückschreitende Erosion beginnt, die sich immer weiter hangaufwärts fortsetzt, wird endlich das Anlaufgebiet oben aufgezehrt. Die Rinnen im Hochgebirge setzen dagegen oft gleich am Kamm oder Grat an. Hier wirkt sich die Schneeanhäufung im Winter und die starke Auflösung der Kämme schon ganz oben fördernd für die Rinnenbildung aus. Zerklüftete Schichtkopfhänge neigen im Vergleich zu reinen Schichtflächenhängen viel stärker zur Rinnenbildung. Das Wassereindringen und die Wasserverteilung auf den Schichtflächen scheint unregelmäßiger zu sein.

Ein weitverbreiteter Typus ist der Rinnenfächer, wo im obersten Teil einer großen Hangrinne die Nebenrinnen, oft vier bis sieben, sich in einem Knauf vereinen. Die Hauptrinnen dagegen verlaufen ziemlich parallel und die Rippen zwischen den Rinnen zeigen eine regelmäßig fiederförmige Anordnung. Legt sich der Hang in den obersten Teilen etwas zurück, können die Nebenrinnen im Sinne von Quelltrichterrinnen etwas radialer ausgreifen und die sonst recht spitzen Winkeln, unter denen die Seitenrinnen die Hauptrinne erreichen, werden stumpfer. Es bestehen zwischen diesen Formen und manchen Racheln-Calanchianfängen beachtliche Ähnlichkeiten. Weiter abwärts behalten die Hochgebirgsrinnen ihre Neigung bei, während bei zahlreichen Racheln auf dem Rachelhinterhang ein weniger geneigter Rachelschlauch anschließt, den im Vergleich zum Hinterhang auch weniger geneigte Rachelseitenrippen begleiten, die ab und zu sich sogar deutlich vom Hintergrund absetzen. Dann herrschen im Rachelschlauch und auf den Rachelseitenkämmen ähnliche Neigungsverhältnisse. Mit mehr oder weniger deutlichen Dreieckshängen fallen diese Rachelseitenkämme zum Rachelfuß ab. Dort stellt sich oft eine klare Rachelpedimentfläche ein, auf die von den steilen Dreieckshängen abgelagert wird. Die Pedimentfläche erfährt weiters durch

die aus dem Rachelschlauch angelieferten Sedimente schwemmkegelförmige Überlagerungen. Haben diese Überlagerungen eine bestimmte Mächtigkeit und Neigung erreicht, kommt es wieder zu Einschneidungen. Eine solche Formung zeigt beachtliche Parallelen mit den Trockenfronthängen BÜDELS (1970, S. 30 bis 31), wo von den Gabeldreieckshängen Flächenspülung auf das Pediment erfolgt, aber in den Dreieckshängen auch Rinneneinzug einsetzt. Diese Trockenfronthänge mit Neigung von 25—30 Grad, etwas versetzt hintereinander gereiht — auch die Rachelseitenrippenhänge treten oft versetzt auf — liegen zwischen Rinnen und Kurtälchen. Von den Fronthängen werden die Fußflächen überschüttet, die konkaven Arbeitskanten beeinflußt und ein Hangfußeffekt bildet sich aus. BÜDEL spricht von einem Spülsockel (S. 36), der im Unterhang Neigungen von 3,5—4,5 Grad, im Oberhang von 10—15 Grad besitzt, oder auch von Dachfußflächen, denen zweite und dritte Flächen (Fußflächentreppen), die dann geringere Neigungen haben, folgen. Eine ähnliche Dreistaffelung stellt BÜDEL (S. 25, 28) bei den Frosthängen in Südspitzbergen fest, wo auf einen stark zerrunten Oberhang ein Mittelhang, beziehungsweise ein Seitenrippenkamm mit Dreieckshang von 25—30 Grad Neigung anschließt. Unter dem Dreieckshang bildet der Frostunterhang meist eine geschlossene Rampe mit Neigungen von 10—12 Grad am Oberrand und solchen von 3—5 Grad am Unterrand.

Diese auffallende Dreigliederung der Hänge, die im subtropischen Trockenfronhangbereich, auf arktischen Frosthängen und in stärker beregneten Rachelgebieten sich einstellt, dürfte auf der starken Bodenaufbereitung und der damit verbundenen Beistellung von viel leicht abtragbarem Material und auf allgemeinen Hanggesetzen, die für die verschiedensten Klimagebiete gelten, beruhen.

Glatthänge

Glatthänge sind in den Hochgebirgen aber auch im niedrigeren Gelände auffallende Erscheinungen. Drei Haupttypen lassen sich da unterscheiden, erstens die Glatthänge im Hochgebirge, die den direkten Erosionsangriffen von den Talrändern her entzogen sind und wo die denudativen Vorgänge bestimmend einwirken; zweitens Glatthänge, die bis auf die Talsohlen herabreichen und wo auch im Bereich eines zwar allgemeinen Stockwerkbaues an zahlreichen Stellen keine Zwischenerosionsbasen mehr auftreten und drittens Glatthänge im Kalkgestein der klassischen Karstlandschaften, wo nur leicht geschwungene Kuppen und Rücken ohne jede Rinnenbildung vorhanden sind. Letztere Formen haben in den Karstgebieten eine weite, das Landschaftsbild prägende Bedeutung, erstere stellen sich dagegen auf Hängen unter den Kämmen zwischen der Schnee- und Waldgrenze häufig ein. Die Glatthänge, die von den Kämmen bis auf die tiefliegenden Talsohlen herabreichen, beschränken sich auf jene Fälle, wo Zwischenerosionsbasen fehlen und höchstens ein bescheidener Wechsel von leicht konvexen zu leicht konkaven Hangverläufen sich einstellt. Dieser leichte Wechsel von konvex zu konkav kann als der letzte Rest eines einstigen Stockwerkbaues angesehen werden. Glatthänge, die über viele hundert Höhenmeter vom Kamm zu einer tiefen Talsohle reichen, sind naturgemäß selten, kommen aber im alpinen Bereich am Ausgang der Seitentäler vor.

Das Hauptproblem bei den Glatthängen, die ja meist in einem sehr steilen Relief liegen, ist die Glatthaltung der Hänge. Im Kalkgestein mit unterirdischer Wasserabfuhr und Korrosion als maßgeblichen Abtragungsfaktor erklärt sich das Fehlen von linearer Zerlegung einigermaßen. In undurchlässigen Gesteinen ist das Fehlen von Rinnen und anderen linearen Einschnitten dagegen auffallend. Bei R. SCHWINNER (1933), H. SPREITZER (1956, 1959, 1960), W. KLAER (1962) und

K. WICHE (1952, 1961), die auf Glatthänge im Hochgebirge hinweisen, wird dem Schnee und seiner glättenden Wirkung, der Summe der Solifluktionserscheinungen im weitesten Sinne und der mechanischen Verwitterung, die besonders alle Vollformen, die über die allgemeine Hangfläche aufragen, stärkstens angreifen, höchste Bedeutung beigemessen. SCHWINNER meint, in den Niederen Tauern trugen die Westwinde zur Schaffung einer glatten Schneedecke auf westexponierten Hängen sehr viel bei (S. 287). Der Schneedruck und Schneebretter bewirkten eine Glättung des Untergrundes. Dem steht eine starke Zerstörung alles dessen, was über die Schneeoberfläche aufragt und ungeschützt ist, gegenüber, und dadurch wird die Wetterseite zu einem Glatthang geformt. Es gibt keinen Zweifel, daß vor allem kleine Aufragungen über die Hangfläche und die schützenden winterlichen Schneelagen einer ausnehmend starken Frost- und Insolationsverwitterung unterliegen.

H. SPREITZER (1960), der der Hangformung in den Alpen und im Taurus eingehend nachging und die Formung in den dem Flußwerk entzogenen Graten und Bergrücken untersuchte, betont den Einfluß der Luv- und Sonnseiten, wo starke physikalische Wandverwitterung, rasche Abfuhr des Materials durch Steinschlag und Schneeflecken herrscht. Die Glatthänge in den Niederen Tauern erscheinen bevorzugt in südlicher, südwestlicher und westlicher Exposition (S. 216), in Höhen von 2000—2500 m und bei Neigungen um 28—30 Grad. Dem Verfasser sind zahlreiche Glatthänge in der Kreuzeck- und Reißeckgruppe, den Ötztaleralpen, in den Niederen Tauern und auch im Steirischen Randgebirge bekannt, die sehr ähnliche Höhenlagen und Neigungen aufweisen. All diesen Glatthängen ist gemeinsam entweder eine recht geschlossene Gras- oder Schuttbedeckung. Der Schutt stammt oftmals von keinen überhöhenden Schrofenhängen oder Wandpartien, sondern kommt in situ aus dem Boden heraus. Blockfelder, Blockstreifen, Blockflecke und zahlreiche Wanderblöcke sieht man da. Wo die Schuttbedeckung sehr geschlossen ist und einige Mächtigkeit hat, sind die Hänge besonders einförmig. Es ist ja einleuchtend, daß dort, wo viel Schutt produziert wird, von ihm Dellungen, Rinnen, kleine Hangverletzungen einen Zuschub erfahren, die Glättung eben die Oberhand über die linearen Zerschneidungsversuche hat. Hier spielt sich ein ununterbrochener Kampf zwischen den in der Fallrichtung einwirkenden Vorgängen, die zu senkrechten Hangstreifungen und Rinnenbildungen drängen und mehr flächenhaften in breiter Front verlaufenden Bewegungen ab. Das Lineare erliegt da und selbst das Wasser kann sich nicht zu leistungsfähigen Adern zusammenfinden. Dabei hat gerade der Schutt, der Grobschutt, hinsichtlich der Wasserverteilung eine wichtige Rolle. Jeder Block gibt Anlaß zu einer Umfließung, zu der die feinsten Wasserfäden gezwungen werden, und dies wiederholt sich tausendfach. Einheitlich hangabwärts gerichtete Wasseradern können noch nicht entstehen.

Wo Frostschuttgirlanden und Rasenwülste in der Isohypse verlaufen und in kurzen Abständen hintereinander lagern, geht von diesen Formen ebenfalls eine den normalen senkrechten Abfluß hemmende Wirkung aus. Die Ausschaltung und das Zurückdrängen des Linearen ist eine Hauptursache der Glatthangbildung. SPREITZER meint, die aktivste Bildungszeit der Glatthänge liegt in den Niederen Tauern etwas weiter zurück (S. 219). Im Spätglazial, Gschnitz, Daun und zur Fernauzeit war je nach Höhenlage die Schuttproduktion besonders hoch. So beobachtet man fast bei jeder Gebirgswanderung, wie mit dem Aufstieg über die Waldgrenze die Schuttmengen auf Hängen, selbst dort, wo es keine Überhöhungen gibt, zunehmen und vor der Schneegrenze, vor allem auf den Sonnseiten, ein Maximum erreichen. In der höheren Stufe des heutigen periglazialen

Gürtels sind dann auch die mit der Solifluktion verbundenen Hangglättungen wirksam. Da aber Solifluktionserscheinungen ein feineres Material verlangen, feineres Material jedoch für Wasseransammlung und lineare Zerlegung durch das Wasser viel anfälliger als Schutt ist, könnte man meinen, hier wird nun bald Zerschneidung beginnen, dem ist aber nicht so, da die Solifluktion mit ihrer flächigen Bodenbewegungen den hochgelegenen linearen Zerschneidungsansätzen erfolgreich entgegen wirkt. SPREITZER meint allerdings (S. 226), gegenwärtig sei die Hauptmasse der Blockmeere auf den Glatthängen und die Lockerböden unter den Gashängen unbewegt. Es handelt sich also gleichsam um gepanzerte Hänge, wo es wenig Veränderung gibt und der herrschende Zustand der Glätte erhalten bleibt.

Viel stärker als in den Alpen ist der Glättungsvorgang auf den Sonnseiten des Kilikischen Ala Dag. SPREITZER spricht (S. 228) von einem geradezu auffälligen Charakterzug des Gebirges von einer gewissen Höhe an. Die rezente Zerschneidung beginnt dort unterhalb des kaltzeitlichen periglazialen Glatthanggürtels. Oberhalb 3200—3300 m befindet man sich dann im Gürtel der noch rezenten Glatthangbildung. In Makedonien und Nordgriechenland sind die Glatthänge ebenfalls weit verbreitet. Eine Entscheidung zu fällen, ob es sich um mehr rezente oder pleistozäne Glatthangbildungen handelt, ist dort nicht leicht, und zwar deshalb nicht, weil man kaum den Einfluß der Frostverwitterung von der Insolationsverwitterung trennen kann. Heute gibt es dort wohl mehr Schutt durch Insolationsverwitterung, in der Kaltzeit produzierte aber die Frostverwitterung mehr. Beide Vorgänge sind ja nur ein Mittel zur Grobbodenbildung. Der Schutt trägt da wie dort sehr viel dazu bei, die lineare Erosion und Hangzerlegung zu erschweren und zu unterbinden. SPREITZER (S. 235) kommt für höher aufsteigende Alpengruppen zu dem Schluß: die Bildung von Glatthängen ist heute durch Solifluktion und Nivation von 2300 bis 2400 m an als rezenter Vorgang zu beobachten, der für den höheren periglazialen Bereich von 2400 bis 2900 m hinauf besonders charakteristisch ist. In der Eiszeit war der periglaziale Gürtel um wenigstens 1500 m herabgedrückt.

Glatthänge sind somit weitgehend eine Funktion der Boden- und Schuttbildung. Je mehr Grobschutt sich bildet und je mehr Bodenbewegung nach den verschiedensten Richtungen stattfindet, desto schwieriger wird es dem Wasser genmacht, sich linear zu sammeln und in Rinnen abzufließen. Die Rinnen gehören jedoch schon zu den ersten kräftigeren Relieferungen der Hänge und stellen oft den Beginn von Hangauflösungen dar und sind dann das Ende der Glatthänge. Die glatten Hänge hängen auch weitgehend vom Niederschlag ab. Außer der mechanischen Verwitterung hat das Wasserdargebot größte Bedeutung. Nicht zufällig, sondern genetisch bedingt, treten in den Alpen, in Makedonien, Griechenland und Kleinasien, in der Richtung nach Südosten sich steigernd, die Glatthänge in immer größerem Ausmaße auf. Eine Abnahme der Niederschläge scheint der Glatthangbildung förderlich zu sein. In den Alpen sind die Südhänge der Niedere Tauern, die Gurktaleralpen, das Steirische Randgebirge, aber auch die Kreuzekgruppe und manche Hänge in den Ötztaler Alpen ziemlich niederschlagsarm und Gebiete mit einer geringen Steigerung des Niederschlags mit der Höhe. Es gibt dort auch kaum so sehr ausgesprochene Luvlagen. Ebenso fehlen große winterliche Schneeanwehungen und Wächtenbildungen. Gerade beachtliche Schneeanhäufungen und Wächten liefern im Frühjahr und Frühsommer noch weit unter der Schneegrenze in den Schönwetterperioden dauernd Schmelzwasser, was eine Schmelzwasserrinnenbildung fördert. Fehlende Wächten und fehlende hochgelegene Schneebretter mindern die Schneeabrutschgefahr

und damit die Entstehung von Schneebrettmulden und Lawintrögen, wo sich dann das Wasser sammelt.

Lagert Schnee auf Grobschutt, so muß sich das Schmelzwasser sehr verteilen, bevor es das Anstehende erreicht. Der Schneedruck wirkt wohl glättend auf die Schuttlagerung, aber der Schutt verhindert eine direkte Beeinflussung des Untergrundes. Das Schmelzwasser, das auf Schneefeldern, die lange in den Sommer hinein andauern, sich im Schnee oft streifenförmig sammelt, zur Ausbildung von Schneerippen und Schneerinnen beiträgt, kann den festen Untergrund dort nicht direkt angreifen, da der Schutt sich zwischenschaltet. Der Schutt mit seinen großen Zwischenräumen wirkt auch ohne Schneedecke als Kaltluftkeller, so daß die Zahl der Frostdurchgänge, die bis zum Anstehenden durchdringen, recht vermindert wird. Hier wirkt der Schutt sehr bremsend auf jede stärkere Aufbereitung und hat eine Halde dazu gepackte Lagerung, entsteht der Eindruck von Inaktivität. P. HÖLLERMANN (1964), der sich mit der rezenten Verwitterung in der Ortlergruppe befaßte, betont (S. 59) die oft geringe Aktivität der Halden und weist auf das verzögerte Altern des Schuttes unter dem Schnee und in der Tiefe der Halden hin. Gibt es auf der Haldenoberfläche im Bereich unter den Wandrinnen und innerhalb der Lawinenzüge verhältnismäßig viel labiles Material, ändert sich dieser Zustand abseits dieser Streifen meist bald. Dort läßt sich von einem einigermaßen zementierten Haldenzustand sprechen. Ein Höchstmaß an Festigkeit erlangt die Halde, wenn das Hochkantstellen der Blöcke und damit die Blockkippen nachlassen und eine Art Pflasterung sich einstellt, die jährlich während der hohen Schneelagen immer wieder eine Niederpressung erfährt.

In tieferen Lagen und in südlicheren Breiten, wo das Periglazial nicht so weit hinabreicht, oft unzusammenhängend und in Form von Solifluktionsflecken auftritt, auf die KLAER (1962) in den Gebirgen Vorderasiens hinwies, stellen sich sehr auffallende Glatthänge ein, und zwar Glatthänge, die häufiger als in den Alpen, aber nicht in der Mehrzahl mit fast keinem Schutt bedeckt sind. Der feinklastische Verwitterungsschutt wird dort nach KLAER (S. 20) nicht solifludal sondern durch einfache Abspülung abtransportiert. SPREITZER weist am kilikischen Ala Dag ebenfalls auf solche Hänge hin und spricht von richtigen Scheuerflächen. Nach KLAER (S. 26) liegen im unteren Bereich des Periglazialgürtels Abspülungs- und Solifluktionsformen in tiefer Verzahnung vor. Je nach den örtlichen Verhältnissen überwiegt einmal die Formung durch Solifluktion und dann wieder durch Abspülvorgänge. Auf den Südabdachungen entwickelte sich ein periglazial denudativer Gürtel, auf den Nordabdachungen dagegen ein glazial erosiver. Je weiter im Süden die Gebirge liegen und je tiefer die glatten Hänge hinabreichen, desto mehr verliert aber die Exposition an Einfluß. J. HAGEDORN (1970) mißt dem Gleiten des Trockenschuttes große Bedeutung bei, wie überhaupt dem gravitativen Schuttransport bei großer Hangneigung. Glatthänge treten seiner Meinung (S. 109) bevorzugt in subtropisch-semiariden Räumen in allen Expositionen auf und bevorzugen Kalkgesteine. Einige der Glatthänge waren im Parnaß und auf dem Peloponnes schon vor dem Quartär vorhanden und verdanken ihre Erhaltung dem Fehlen einer fluvialen, glazialen und nivalen Erosion. Ein Teil der Glatthänge ist dort auch nicht an die Periglazialregion gebunden. Maßgeblich für die Glatthangbildung ist eine hohe Effektivität der mechanischen Verwitterung und eine Hangkonservierung. Sowohl die hohe mechanische Verwitterung als auch die Konservierung scheint auf den Schichtkopfhängen besser zu sein. Auf den südexponierten Hängen in den Alpen mit verhältnismäßig geringen Niederschlägen und wenig Niederschlagssezessen herr-

schen für die Glatthangbildung noch die besten Bedingungen. Weiter im Süden ist eine hohe Verdunstung, geringer Gesamtniederschlag, der aber gelegentlich in Form von heftigen Güssen fällt, die aber mehr zur Flächenspülung als zur linearen Erosion beiträgt, wohl als ein Plus für die Glatthangbildung anzusehen.

Dreieckshänge

Hänge mit einer prägnanten Form und beachtlicher Stabilität sind die Dreieckshänge, die besonders E. GERBER (1944, 1969) untersuchte. Sie kommen in Gipfelnähe der Drei- und Vierkanter vor und sind recht klar auf den Seitenkämmen zwischen den Seitentälern auf dem Abfall zum Haupttal entwickelt. Weiters lösen sich manchmal ganze Bergflanken, die durch kleine Tälchen und Großrinnen gekerbt sind, in Dreiecksformen auf, wenn die Schenkelkanten mit einem Winkel zwischen 60—90 Grad im Verschneidungsbereich aufeinander stoßen. Sind die Dreieckshänge in Gipfelnähe meist reine Denudationsformen, die nach unten zu auf die obersten Reste der alten Erosionsbasen auslaufen, bildet für die Dreieckshänge der Seitenkammabfälle die Sohle der übergeordneten Täler die Erosionsbasis. Da die Hänge der Drei- und Vierkantgipfel im wesentlichen Karlinge sind, zählen sie zu den Hängen der Karumrahmung und sind daher in den untersten Partien stark von der glazialen Rückwitterung und Unterschnidung im Sinne einer Karwandstufenbildung geprägt. Bei weitständiger Anordnung der Quellmulden und Erosionstrichter entstehen dazwischen breite Gipfel. Bei engständiger Dreiecksgipfel und schmale Kare mit verhältnismäßig steiler Umrahmung. Diese Hänge überwinden selten mehr als wenige hundert Höhenmeter und haben im Karbereich oft Wandcharakter. Sie sind sowohl glatt, als auch von Rinnen durchzogen.

Die Dreieckshänge der Seitenkämme können viele hundert Höhenmeter von der Talsohle bis zu den Firsten überwinden und erfahren überall dort, wo der Fluß nicht unmittelbar an sie anprallt, auch keine Unterschnidung und Versteilung. Den Hängen der Karlinge und den Seitenkammdreiecksgipfeln ist gemeinsam, daß sie kein großes Einzugsgebiet und vor allem kein sie überhöhendes Einzugsgebiet aufweisen. Wo Seitenkammdreieckshänge ohne Rinnen sind und sie Grobschutthalde bedecken, scheinen sie gleichsam gepanzert zu sein und den linearen Erosionsangriffen entzogen. Die Zerschneidung von unten her wird bei Vorhandensein von Basisschutthalde, selbst bei einem Auftreten von Quellen im Niveau der Talsohle, stark herab gemindert. Ab und zu droht eine Rinnenbildung von oben her, und zwar dann, wenn von den Flanken der Seitenkämme, z. B. von Trogschultern und sie überhöhenden Karräumen, Wasseradern nach den Dreieckshängen abbiegen. Im allgemeinen fallen die Dreieckshänge durch ihre Stabilität auf. Es handelt sich da vielfach um Hänge, die dem Stockwerkbau und seinen Einflüssen entzogen sind. Im Kauner-, Pitz- und Ötztal und in zahlreichen Tälern der Hohen und Niederen Tauern liegen sie nebeneinander. Sie überwinden dort 1000 bis 1500 m Höhenunterschied, wobei ihre Neigung um 30—35 Grad beträgt. Die Kanten der Dreiecksschenkel streben öfters mit 45—60 Grad empor. Bei nur 30 Grad Neigung der randlichen Begrenzung und einem Scheitelwinkel von 120 Grad benötigt die Basis bei 1000 Höhenmetern schon über 3500 m. Daraus läßt sich entnehmen, daß diese verhältnismäßig flachen Schenkel nicht allzu häufig sein können, da es in vielen Tälern einfach an Platz mangelt. In den inneren Teilen der Ötztaler und Tauern gibt es keine einheitlichen Hänge, die einen so beachtlichen Höhenunterschied überwinden, wie dies bei den Großdreieckshängen der Fall ist. So folgt auf die einförmigen Hänge, die das Gurgler- und Ventertal begleiten, doch

noch ein Kargürtel darüber. Auf dem Weg vom Ötz-, Pitz- und Kaunertal zu den Hochkämmen schalten sich in den kurzen Nebentälern Böden in 2000–2400 m Höhe ein, über denen dann noch eine Karzone liegt. Die verbreitetste Zerlegung der Dreieckshänge erfolgt durch einfache, parallele und kaum verzweigte Rinnen, deren Eintiefung hangabwärts selten zunimmt. Ein Teil dieser Hänge sind auch Glatthänge, besonders dort, wo die Schuttverkleidung und der Schuttschub die Rinnenbildung erschwert.

Außer diesen großen Dreieckshängen gibt es eine Unzahl kleinformatiger; einmal alle jene kleinsten Dreiecke, die sich unter den Rinnenrippen ausbildeten, dann etwas größere dort, wo sich die kleinsten fluviatilen Einrisse vereinen, kleine Sporne herauschneiden und die Spornabfälle zu Dreieckshängen wandelten. In Rachellandschaften lösen sich kleine und kleinste Rachelriedel von den höheren Rachelfirsten ab und diese Rachelriedel, oder auch nur Rachelsporne, enden wieder mit einem Dreieckshang. Solche Hänge markieren öfters die Rachelbasis oder ein Rachelniveau. Dann wieder sieht man nach rückwärts verlagerte und verschieden hoch einsetzende Rachelgabelungen mit Dreieckshängen in diesen Gabelungen. BÜDEL (1970, S. 33, 36) berichtet von Dreieckshängen im innerasiatischen Wüstengebirge. Dort schließen an mehrteilige Dachfußflächen zerlegte Flächenriedel an, deren Abfälle, es sind BÜDELS Trockenfronthänge, die sehr schöne Dreiecksformen aufweisen. Diese Trockenfronthänge haben Neigungen von 25–30 Grad. Es fehlt ihnen ein geschlossenes Pflanzenkleid und sie besitzen meist nur eine lückenhafte Bodendecke, die vielfach eine Schuttdecke wird. Auch nackt felsige Hänge stellen sich ein. Weit verbreitet sind dort nach BÜDEL die stoßweisen Angriffe der Erosion, wie Abspülung, Absanden und Herabkollern der Blöcke; winterliche Frostverwitterung kommt dazu. Charakteristisch ist auch für diese Dreieckshänge das Abreißen der Denudation nach oben, da diese Hänge ja kein überhöhdendes Gelände aufweisen. Vielfach trennt die rückschreitende Erosion in den Kerben die Riedel überhaupt von dem Rückengelände ab.

Die dreiteiligen Frosthänge BÜDELS (S. 23) zeigen im Mittelhangabschnitt häufig Dreieckshänge. Zwischen dem steilen Oberhang und dem Unterhang schaltet sich der Mittelhangabschnitt mit stark hängenden Kurzriedeln ein, die zum Unterhang mit Dreieckshängen herab ziehen. Die Neigungen dieser Dreieckshänge sind beachtlich steiler als die der Frostunterhänge, die im obersten Teil immerhin noch 10–12 Grad, aber ganz unten nur mehr 5–3 Grad aufweisen. Auf den Dreieckshängen mißt man 25–30 Grad, über 30 Grad sind jedoch selten. Eine allzu heftige freie Schuttbewegung geht auf diesen Hängen nicht mehr vor sich. Bedingt durch das Klima und dem im Untergrund gefrorenen Boden, spielt in der Zeit der Auftauperiode und den dann fallenden Niederschlägen die Abspülung eine große Rolle. Auf den Unterhängen verschmilzt das von den Dreieckshängen abgospülte Material mit dem aus den Runsen und Kerben herausgeschleppte. Auf diesen Dreieckshängen wandert im Vergleich zu den zementierten Hängen im Hochgebirge schnell viel Schutt und feineres Material ab. Hauptursache dafür ist der Eisrindeneffekt BÜDELS (1969, S. 30), wo das Anstehende auf den durchfrorenen Hängen flächenhaft zermürbt wird und in der Tauperiode der Abspülung anheim fällt. Bei jeder größeren Hangneigung erlischt ja die Solifluktion. Dagegen ist Runsenbildung und Runsenpülung möglich, die bei engständiger Anordnung der Runsen im Endergebnis wie Flächenpülung wirkt. Auf diesen Dreieckshängen herrscht eine starke Analogie zu den Verhältnissen auf den Pedimenten und Trockenfronthängen der semiariden Gebiete. Nach BÜDEL ist jedoch die Abtragung auf den polaren Solifluktionshän-

gen und auf den Hängen mit Eisrindeneffekt viel stärker als auf den Hängen der Trockengebiete. Beiden gemeinsam ist allerdings die ruckweise Abtragung. In den polaren Gebieten vollzieht sich der Abtrag in der Auftauperiode, in den Trockengebieten während der wenigen episodischen aber heftigen Niederschlägen.

All den Dreieckshängen ist gemeinsam, angefangen von den Vier- und Dreikantgipfeln bis zu den Großhängen zwischen den Seitentälern und von den Kleinstformen am Ende von Rinnenrippen und Rachelgabelungen, daß sie Begrenzungshänge sind, auf die keine Überhöhen einwirken. Auch für die Dreieckshänge der dreiteiligen Frosthänge und die Trockenfronnhänge gilt dies. Weiters ist bis auf die Vier- und Dreikantgipfelhänge den Dreieckshängen eine Anordnung zwischen linearen Kerben, angefangen von seichten Rinnen und Racheln bis zu tief eingeschnittenen Tälern, gemeinsam. Diesen Einschnitten verdanken die Dreieckshänge ihre Anlage. All diese Hänge weisen beachtliche bis sehr große Neigungen auf und verzeichnen eine große Hangkonstanz. Sowohl Verteilungen hangabwärts als auch Zurücklegungen nach dem Schenkelscheitel sind minimal. Wesentliche Veränderungen wären ohne eine grundlegende Umstrukturierung des Zerschneidungstypus' nicht möglich. Die Dreieckshänge gehören zu den immer wiederkehrenden Erscheinungen in den Kammlandschaften. Sie kommen in den verschiedensten Klimabereichen von semiarid, humid bis randpolar-nival vor, solange wenigstens episodisch fluviale Zerlegung einwirkt.

Die Steilheit der Hänge, die starke physikalische Verwitterung und die beachtlichen mechanischen Vorgänge im Boden sorgen auch in Gebieten mit relativ vielen Niederschlägen für eine solche Verteilung des Wassers, daß eine Gerinnebildung sehr erschwert bis ausgeschlossen wird. Der Grobschutt in den Hochgebirgen der humiden Bereiche spielt da eine wichtige Rolle; der Eisrindeneffekt, der Frostboden und die Frostverwitterung in den subpolaren Gebieten und die Insolationaverwitterung im Verein mit der Flächenspülung in den semiariden Gegenden. Die erhöhte Aufbereitung und der erleichterte Transport hanganwärts infolge der großen Steilheit fördern die flächenhaften Vorgänge. Im Hochgebirge kann bei überwiegendem Grobschuttanfall eine Zementierung der Hänge eintreten, weil dort bei langer Schneedeckendauer für immer neue Glättung der Haldenoberfläche gesorgt wird und das Wasser innerhalb der Halde in linearer Hinsicht besonders wirkungslos bleibt.

Hangnicke und Talstufen

Hat man geknickte Hangprofile vor sich, liegt die Frage nahe, wo und wie werden Änderungen vor sich gehen. Sind es die konkaven oder die konvexen Stellen, an denen die Angriffe und Veränderungen am intensivsten ablaufen. An Knicken wechselt nicht nur die Hangneigung sondern oft auch die Art des Erosionsangriffes und vollzieht sich ein Wechsel von der Erosion zur Akkumulation. Man muß da zwischen Innen- und Außenknicken unterscheiden. Die Innenknicke führen zu einem konkaven, die Außenknicke zu einem konvexen Profil. Am Innenknick sammelt sich das Lockermaterial; es sind im Gebirge vornehmlich die Gebiete der Haldenbildung. Bei beschränkter Ausdehnung des unteren flachen Hangabschnittes können sich die Halden über das ganze Flachhanggebiet erstrecken und es gibt keine „natürliche Grenze“ für den Ablagerungsraum. Bei der Schmalheit zahlreicher Leisten und Niveaureste gewinnt diese Tatsache an Bedeutung. Es kommt in diesem Ablagerungsbereich im allgemeinen zur Ausbildung eines Übergangshanges zwischen dem steilen Ober- und dem flachen Unterhang. Im einzelnen kann der akkumulative Übergangshang, hat er ein etwas größeres Ausmaß, wieder leicht konkave und leicht konvexe

Partien aufweisen. Konvexe Abschnitte stellen sich dort ein, wo vom Steilhang besonders viel Material angeliefert wird, das sich auf dem Unterhang etwas anstaut. Eine noch nicht vollzogene Sortierung des Materials führt zu zahlreichen kleinen Stauwirkungen. Jede Art von Wallbildung schafft Raum für Auffüllungen und nach Erreichen der Stauhöhe kommt es zu schwachen konvexen Abfällen.

Alle diese Formen sind allerdings Übergangsformen, die sich dauernd ändern, solange von oben Material geliefert wird. Im Bereich dieser Akkumulationen hat man dort, wo die Halde noch nicht sehr mächtig ist, das ist im untersten Bereich und teils im obersten Teil, wo die Halde gegen den Steilhang wächst und oft auf einem Felssockelfußhang nur dünn aufliegt, mit einem doppelten Abtragungsniveau zu rechnen. Legt sich der Steilhang mit der Zeit so zurück, daß seine Neigung mit der Neigung des Haldenhanges eins wird, verschwindet der Hangknick. Der höchstmögliche Ausgleich ist erreicht und nur mehr die Vorgänge auf dem Hang selbst sind maßgeblich.

Bei den konvexen Knicken liegen die Entwicklungsmöglichkeiten komplizierter. Man hat da zwischen dem sehr oder ganz flachen oberen Teil und dem steileren unteren Hang zu unterscheiden. Der Winkel, unter dem diese Hänge zusammenstoßen, ist ein mehr oder weniger stumpfer. Nur dort, wo eine ganz ebene Fläche zu einem senkrechten Abfall abbricht, gibt es einen rechten Winkel. In diesem Falle können von der ebenen Fläche, abgesehen von der Verwitterung und Bodenbildung, keine Wirkungen ausgehen. Die weitere Entwicklung wird von den Vorgängen an der Wand bestimmt und ob es zu einer parallelen Zurückverlegung oder einer Abschrägung kommt. Die Entwicklungsmöglichkeiten verändern sich einmal mit der Abweichung des Oberhanges von der Horizontalen und dann der Minderung der Unterhangneigung. Mit der Zunahme der Neigung des Oberhanges wächst der Einfluß von oben und mit einer Minderung der Unterhangneigung schwächt sich der Einfluß von unten ab. Die Beseitigung der konvexen Kante wird einmal beschleunigt, dann wieder verzögert. Eine rückschreitende Erosion auf dem Unterhang, die eine Versteilung des Unterhanges bewirkt, verschärft im Endeffekt die Konvexität. Nur wenn im Bereich des Unterhanges oben mehr an Abtragung erzielt wird, läßt die Konvexität nach. Ähnliches geschieht, wenn vom Oberhang her die Kante oder der Konvexbuckel der Zerstörung anheim fällt.

Nach der allgemeinen Hangentwicklung, wie sie GOSSMANN darstellte und auch nach den Versuchen von WURM, kommt es von unten her zur Versteilung. Von oben können Rinnenbildung, Wasseradern, aber auch Schuttschub zerstörend eingreifen. Innerhalb rein denudativer Vorgänge vermag von oben tief eindringender Spaltenfrost beachtlich zur Aufbereitung des an die Konvexkante anschließenden Oberhanges beitragen. Scharfe Kanten werden aber auch vom Unterhang angegriffen. An sehr steilen Hangpartien dringt das Wasser aber nur bei entsprechendem Schichtfallen leicht in den Hang ein und steht für die Frostsprengung im reichlicheren Maß zur Verfügung. Die Zerstörung von oben dürfte dort zunächst überwiegen, allerdings nur so lange, bis sich eine mächtige Boden- oder Schuttschicht gebildet hat. Von da an werden auf etwas steileren Oberhängen, auf denen der Schutt schneller zum Abtransport kommt, aber nicht zu viel Wasser abfließt, sondern in den Untergrund eindringt und dort wirkt, weitere flächige Zerstörungen vor sich gehen. Alle schärferen und isolierten Auftragungen verfallen durch die von allen Seiten einsetzenden denudativen Angriffe zuerst einer Beseitigung. Bei langsamer Zurückarbeitung von unten vollzieht sich durch die Einflüsse von oben ein Ausgleich hinsichtlich der Hangneigung und die Hangknicke mindern sich.

Der tieferen Zermürbung des Gesteins auf dem flachen Hang von oben her und einer geringeren auf dem unteren Steilhang, steht auf dem steilen Unterhang ein schneller Abtransport gegenüber. Dort, wo die tiefe Zermürbung von oben mit der von der Seite sich trifft — etwas unter der Konvexkante bedingt durch eine optimale Wasserdarbietung von oben und der von der Fallseite — werden die kräftigsten Angriffe auf die Kante erfolgen und ihre Abrundung herbei führen. Weiters kommt es zu Differenzierungen ob nach außen oder nach innen fallende Gesteinsverbände vorhanden sind. Wie immer diese Vorgänge im einzelnen verlaufen, Kantenabrundung und nicht Kantenverschärfung sind die Folgen. In zahlreichen Fällen erfolgt diese von oben her, wie dies die Zerschneidung von Schultern durch die Wasserläufe aus dem Karraum zeigt. Bei einem engständigen Rinnennetz kann es fast zu flächenhaften Wirkungen kommen. Ebenso dort, wo aus dem Schutt in geringen Abständen Wasserfäden austreten. Sind die Leisten und Schultern schmal, die Hänge nach dem Tal dagegen lang und der Höhenunterschied beachtlich, benötigt eine bescheidene Zurückverlegung des Talhanges bereits mehr Volumsbewältigung als die Beseitigung der Schulter. Die langen steilen Hänge neigen aus diesen geometrischen Verhältnissen zu einer größeren Konstanz als die Leisten.

Ganz besondere Hänge sind die der Talstufen in den Gebirgstälern. Talstufen zählen zwar zu den nicht seltenen Erscheinungen im Hochgebirge, sind aber doch so etwas wie ein Anachronismus, etwas nicht recht Hingehöriges im Tal. So gut wie unversehrte Talstufen gehören jedoch zu den großen Seltenheiten, da die kräftigen Wasser der Täler plus dem reichlichsten Schleifmaterial intensivst an der Zerlegung arbeiten; daher bilden Talschluchten bis Klammern die Regel innerhalb der Stufen. Die Talstufen zählen auch zu den Abschnitten in den Tälern, die außer von dem Talfluß von den Seitengewässern sehr stark angegriffen werden. Mehrere Wasserstränge, die über eine Talstufe herab kommen, sind für Morphologen und Bergsteiger bekannte Erscheinungen. Die Mehrzahl der Wasseradern stammt da aus den Hochtälern und Karräumen über den seitlichen Talflanken. Diese Wasseradern sind oft an der Zerlegung der Talstufe beteiligt. Der Fluß, der talauf wirkt, erzeugt einen langgestreckten Einschnitt, der mehr oder weniger schnell an Höhe gewinnt, beziehungsweise tief bleibt. Im ersten Fall ist die Talschlucht steil und kurz, im zweiten flach und lang. Je mehr loses Material anfällt, also der Fluß belastet wird, desto steiler muß das Bett bleiben, damit der Transport vor sich gehen kann. Zu lange und zu flache Steilstücke sind daher nicht zu erwarten. Für eine lange Erhaltung und Versteilung der Stufen, abgesehen von der glazialen, liegen die Bedingungen ungünstig. Ein Aufwärtswandern über längere Strecken wäre nur dann möglich, wenn die Steilstufe unten immer eine Erneuerung erfährt. Jede Schuttverhüllung von unten her wirkt dem entgegen. Einen gewissen Ausgleich kann der Anstieg der Talsohle oberhalb der oberen Stufenkante schaffen. Der Abschwächung der Stufenhöhe durch Schuttverhüllung unten arbeitet das seitliche Abgleiten des Hauptwasserlaufes auf dem Einschnittskegel entgegen. Die Schrägsimse, wie sie J. SÖLCH (1935, S. 149) nennt, unterstützen diese Entwicklung. Trotzdem darf man keine weiten Taleinverlegungen der Stufen erwarten. Höchstens dort, wo die Stufen der Hochzone immer schwächer werdenden linearen Angriffen ausgesetzt sind und die inneren Stufen die größeren relativen Höhen aufweisen, kann das Nachlaufen der Stufen und Kerbenscheitel zum Erfolg führen und eine Stufenverheftung eintreten.

Im einzelnen gibt es sehr unterschiedliche Situationen. Schalten sich hinter einer oberen Stufenkante Wannern ein, die wassererfüllt sind, so wirken diese

Wannen als Sedimentfänger und der Wasserabfluß über die Stufenkante erfolgt ruhig und ohne Schleifmaterial. Werden die seitlich herab kommenden Wasserläufe auf den Halden der Flanken ihrer linearen Wirksamkeit weitgehend beraubt, verzögert sich die Zerstörung der Stufe von oben her außerordentlich. Die innere Verheftung der Stufen blieb aber immer eine Funktion aus den Stufenhöhen, der gesamten Reliefenergie und den horizontalen Stufenabständen. Geringe horizontale Entfernungen, relativ große Stufenhöhen im Inneren der Täler, bescheidenere in den äußeren Talteilen, aber doch so hohe, daß die Stufen nicht zu schnell zum Erliegen kommen, sind für eine Stufenverheftung sicher günstige Bedingungen. Für den stattlichen Eindruck, den zahlreiche Stufen im Inneren der Alpentäler hinterlassen, trug die versteilende glaziale Überarbeitung bei, der bei starker Glättung der Hänge die lineare Zerlegung nur zögernd folgte. Die starke Wasserdarbietung während der Sommermonate, vor allem wenn noch Schneeflecke abschmelzen, täuscht. Solch große Aktivität herrscht nur während weniger Monate. Im Winter tritt Starre ein, aber auch in den Abschmelzzeiten sind die Wasserläufe durch erhöhte Schuttanlieferung plus dem Feinmaterial gerade auf flacheren Strecken bald aus- und überlastet. Für die Tiefenerosion bleibt da wenig Energie übrig. Wo im Frühjahr und Sommer der von BÜDEL eingeführte Eisrindeneffekt im weitesten Sinne Wirkung erlangt, viel vom Frost gesprengtes Material flächenhaft anfällt, kann es, ja muß es in den Wasserläufen zu Überlastungen kommen. Ob bei Ausschaltung der Wasserläufe, die heute oft recht steilen Stufen der Hochtäler im Sinne der Hangentwicklung GOSSMANN'S und WURM'S ihre Steile behalten würden oder sogar noch verstärken, kann nicht gesagt werden, denn die glazial überarbeiteten Stufen haben im Vergleich zu Spülhängen ein versteiltes Profil. Auch sonst lassen sich die Erkenntnisse GOSSMANN'S und WURM'S in den glazialen Bereich doch nicht so ohne weiteres übertragen.

Talanordnungen und Hangbildung

Die Hangbildung wird durch die Talanordnungen und Talentwicklungen beeinflusst. Je nachdem, ob es sich um radiale, zentripetale und fiederförmige Talsysteme handelt, stellt sich ein Auseinanderstreben oder Zusammenlaufen der Täler, oder eine mehr oder weniger parallele Talführung ein. Bei dem Auseinanderstreben der Täler erweitern sich die Talabstände und die Zwischenräume wachsen. So nimmt der Talabstand bei einer vierteiligen radialen Talanordnung nach vier Längeneinheiten auf das sechsfache, bei einer sechsteiligen Anordnung auf das vierfache zu. Daraus ergibt sich ein zwangsläufiger Einzug neuer Täler, da in einem berechneten Gebiet größere Areale nicht tallos bleiben. Bei zentripetaler Anlage verkleinern sich die Talabstände nach den Beckentiefen. Bei regelmäßig fiederförmiger Anlage gibt es zwar zunächst eine Konstanz der Talabstände, die jedoch durch lokale seitliche Einflüsse z. B. Gegenüberlage von Prallhängen bei noch nicht großer Einschneidtiefe Abänderungen erfahren, die zu einem vorzeitigen Zusammenlauf führen. Nun können die Seitentäler zu diesen Tälern in einem mehr oder weniger rechten oder mehr spitzen Winkel angelegt sein. Je spitzer die Winkel, desto schmaler bleiben die Areale zwischen den Tälern. All den Talanordnungen und Zerschneidungstypen gemeinsam ist eine Arealgliederung in verschiedene Sektoren, die eine unterschiedliche Erhaltungskonstanz besitzen. Kleine Sektoren zwischen kräftigen Arbeitern, die zueinander drängen, kommen leichter zum Erliegen als breite Sektoren ohne kräftige Arbeiter. Zu den Restarealen gehören oft die Dreiecks- oder auch Trapezhänge, vor allem die Fronthänge zwischen den Seitentälern zum Haupttal hin. Diese

Fronthänge sind zugleich die ungegliederten Talhänge des Haupttales. Eine Veränderung der Hangneigung ist bei großen Höhenunterschieden selbst bei Unterschneidung durch den Hauptfluß nicht leicht, da jede kleinste Hangversteilung die Abtragung auf dem Hang verstärkt und dadurch den Fluß von der Prallposition wieder abdrängen kann. Solche Hänge kann man auch als Zwangshänge, wo die einförmigen Vorgänge auf dem Hang allein die Hangform bestimmen, bezeichnen. Diese Hänge sind weiters Begrenzungshänge zwischen zwei Seitentälern und einem Haupttal.

Während in den Seitentälern oft ein Stockwerkbau vorhanden ist, fehlt ein solcher den Frontalhängen. In den Nebentälern ziehen von den Nebenkämmen wieder kleinere Nebenkämme zweiter Ordnung, oft sind es nur Nebenkammstutzen nach dem Nebental. Dort gibt es wieder Dreiecksfronhänge, die vielfach die Karräume trennen; aber diese Dreieckshänge gehen hangabwärts in die Flanken der Nebentäler über. Liegen die Seitenkammdreieckshänge zweiter Ordnung in ähnlicher Höhe und fußen sie auf einem einheitlichen Karniveau, markiert die Dreieckshangbasis das Karschwellenniveau. Aber auch bei einem talein starken ansteigenden Karniveau und einer kräftigen Zurückschneidung der Kartrennlänge rücken diese Kartrennlingsfrontalhänge in stark verschiedene Höhenlagen. Eine richtige Übereinanderlagerung von Dreiecksfrontalhängen trifft man jedoch kaum wo an. Gehen die Frontalhänge knicklos in die Talflanke über, fehlt an diesen Stellen jedes Anzeichen eines Stockwerkbaues. Im Bereich der Talschlüsse und Quelltrichterzerschneidung über den höchsten Talstufen setzt bei einer Zerschneidung durch die Quelläste Rippenbildung ein, wo nach dem Quellknäuf hin sich ebenfalls Kleinstdreieckshänge einstellen, besonders dann, wenn die Quelläste hangabwärts sich immer mehr eintiefen. Zahlreiche Hangverletzungen von hufeisenförmiger Form mit nachfolgender Rinnenbildung können ebenfalls Kleinstdreiecksformen zeigen. Von den großen Frontaldreieckshängen zu den Haupttälern, den kleineren in den Nebentälern, den noch kleineren im Bereich der Kartrennlänge und Quellastrippen läßt sich eine immer kleiner werdende Formenreihe verfolgen. Dabei ist es nicht ausgeschlossen, daß auf den Großdreieckshängen, die Rinnenbildung aufweisen, Rippendreieckshänge eingelagert sind.

Bei unregelmäßigen radialen Talanordnungen und einem dichten Einzugs neuer Täler bei wachsenden Ersttalabständen und stark unregelmäßigen Zurückschneidungen kann das Eintreten, was GERBER allgemeine Flankenauflösung nennt; wo dann Dreieckshänge verschiedener Größenordnungen unregelmäßig teils ebeneinander teils etwas übereinander liegen. An Gebirgsrändern, die aus einer Gebirgsbildung mit wachsender horizontaler und vertikaler Phase hervor gingen, also ein Stockwerkbau in größeren horizontalen Abständen aufeinander folgt, stellen sich verschwommene Dreieckshänge ein. Verschwommen deshalb, weil das später hochgeschaltete ehemalige Gebirgsvorland schon zu Rücken und Riedeln zerschnitten wurde und diese nicht mehr breit genug sind, eine wirkliche Basis für die einstigen Frontalhänge abzugeben. So handelt es sich im Bereich des Steirischen Randgebirges um breite Rücken- und Kammstufen des im ganzen zu Auslaufrücken umgeformten Gebirgsrandabfalles.

Hänge mit freier rein denudativer Entwicklung gab es in einem stark beregneten Gebirge mit wasserundurchlässigem Baumaterial zunächst wohl nicht. Entstand dann später ein Stockwerkbau und erhielten sich hochgelegene Stockwerkreste, die nun als Zwischenerosionsbasis dienen und abseits der Arbeit der heutigen Flüsse liegen, so ist dort bei Ausschaltung linearer Vorgänge durch Grottschuttbildung und lange Schneelagen das denudative Geschehen für die

Hanggestaltung der maßgebliche Faktor. Das Kleinerwerden der Areale mit der Höhe und der immer nivalere Klimaablauf trägt viel zu dieser Entwicklung bei.

Im Gebiet der Seitentalmündungen reichen die ungegliederten Hänge auch im Seitental zunächst oft bis zu den Kammfirsten hinauf. Es handelt sich dort um die Fortsetzung der Frontaldreiecksituation in die Nebentäler hinein. Die heftige lineare Erosion des vor der Ausmündung schon kräftigen Nebenflusses überwältigte dort den Stockwerkbau, der weiter talein wieder in Erscheinung tritt, was folgende geometrische Beispiele belegen. Ein Hochgebirgstal, das mit 10 % ansteigt, überwindet auf zehn Kilometer 1000 Höhenmeter. Macht die Umrahmungshöhe am Talausgang 2000 m aus und verlaufen die Kämme ziemlich schwebend und beträgt die Hangneigung um 27 Grad, was einen Kammabstand um 8 Kilometer verlangt, der im alpinen Bereich in dieser Größenordnung häufig ist, so mindert sich nach zehn Kilometern der Höhenunterschied von der Talsohle zur Kammhöhe um 1000 Höhenmeter. Das heißt, die Hangneigung müßte bei fehlendem Talboden auf rund 14 Grad zurück gehen, oder bei Beibehaltung der Hangneigung von 27 Grad sich ein zwei Kilometer breiter Talboden einstellen. Bei 5 % Talsteigung und rund 45 Hangneigung (Tallichte in Kammhöhe um vier Kilometer) und 2000 m Reliefenergie werden nach zehn Kilometern 500 Höhenmeter überwunden. Bei Beibehaltung der Hangneigung von 45 Grad gäbe es Platz für einen rund 1000 m breiten Talboden. Fehlt dieser, müßte sich die Hangneigung auf rund 37 Grad vermindern. Rückt man bei 10 % Talsteigung nach zehn Kilometern 1000 m höher, wächst die Talbodenbreite sogar auf rund 2000 m an, oder die rahmenden Hänge gingen auf 27 Grad zurück. Viele Hangneigungen liegen im alpinen Bereich zwischen 27—45 Grad, aber Talbodenbreiten von zwei Kilometer fehlen im Inneren der Gruppen, auch solche von einem Kilometer gibt es kaum. Das zeigt, daß bei den genannten Reliefverhältnissen es für einen Stockwerkbau Platz gibt und sich Schultern und Leisten von wenigen hundert Metern Breite und geringen Neigungen, wie auch Karniveaus einschalten, beziehungsweise erhalten können.

Im Bereich der Talausgänge herrschen die wenig gegliederten Zwangshänge vor und die Stockwerke sind so gut wie ausgelöscht; im Inneren der Gebirgsgruppen, wo eine verminderte Reliefenergie sich einstellt, gibt es die gestuften Hänge, die sich auf die Zwischenerosionsbasen beziehen. E. STOCKER (1969) untersuchte solche Hänge in der Kreuzeckgruppe, wo von fast geraden Hängen am Talausgang nach dem Inneren der Täler, wo es aber zuerst kaum Schultern und Leisten gibt, sondern nur ein leichter Wechsel vom geraden zum konkaven und konvexen Hangverlauf eintritt. Erst im Inneren der Gruppe gibt es dann ebene Karböden und erhaltene lokale Erosionsbasen. Zwischen den „Glatthängen“ talaus zu und dem Stockwerkbau weiter innen schalten sich die von konkav zu konvex pendelnden Wechselhänge ein, die man dort, wo dieser Wechsel etwas schärfer wird, als „Treppenhänge“ bezeichnen kann, ohne daß jemals eine wirkliche Treppe mit ebenen Absätzen vorhanden war.

Zusammenfassung

Da die Hänge von den Talanordnungen sehr abhängig sind, ist es zweckmäßig, zwischen freien Hängen und talgebundenen zu unterscheiden. Die freien Hänge treten an den Gebirgsrändern und überall dort auf, wo die Bindung an eine lineare Talerosion fehlt. Diesen freien Hängen stehen alle anderen gegenüber, die durch die Talentwicklungen und da wieder besonders durch die Talnetze und verschiedenen Zerschneidungstypen entstanden sind. Bei den radialen Talanordnungen mit zunächst zunehmenden Talabständen können die Hänge an

Größe gewinnen, solange bis sich neue Täler einziehen und den Raum, der den einzelnen Tälern zukommt, einengen. Bei einer zentripetalen Talanordnung tritt dagegen Verengung der Talräume flußabwärts ein, was oft zu einer Versteilung der Talflanken führt. Auch die Hangform neigt da, wird ein Höchstmaß an Neigung erreicht, zur Einförmigkeit. Bei fiederförmigen Talnetzen und regelmäßigen Talabständen und ebensolchen Flankenneigungen bestimmen die relativen Höhenunterschiede weitgehend die Hangneigungen. Diese Hänge sind stark eingespannt in die Verhältnisse, die sich aus den Werten für die Talabstände, das Talgefälle und die Reliefenergien ergeben. Als stark modifizierender Faktor spielen die Prallhangstellen eine wichtige Rolle, wie überhaupt die seitliche Unterschneidung. Gewinnt die Unterschneidung das Übergewicht, erreicht der Zwang auf die Talflanken ein Höchstmaß. Sind all die Hänge innerhalb engständiger Zerschneidungstypen Zwangshänge, so gehören die an den Unterschneidungsstellen zur höchsten Kategorie dieser Art. Auch alle Dreiecks- und Trapezhänge, die durch zwei Nebentäler und ein Haupttal determiniert sind, gehören hier her; dann noch alle größeren und kleineren Verschneidungshänge im Bereich der Talzwiesel.

Im Aussehen gibt es nur gerade, konkave und konvexe Hänge oder umgekehrt, auch ein mehrmaliger Wechsel von geraden zu konkav und konvex kann vorhanden sein. Voraussetzung für einen mehrmaligen Wechseln von konvex zu konkav oder auch umgekehrt ist ein Stockwerkbau und ein Relief, in dem das Anstehende dominiert. Je auffälliger der Wechsel von konvex zu konkav und je größer diese Formen, desto mehr an Sonderentwicklungen können platzgreifen. Der Konkavbereich ist vielfach Schauplatz von Einlagerungen, der Konvexbereich ein Gebiet erhöhter Angriffe von oben und von unten. Beide Vorgangskomplexe streben zu einem Formenausgleich. Je stärker bei einem Stockwerkbau die Hänge von unten her durch Unterschneidung und rückgreifende Abtragung beeinflußt werden und je kleiner die Stockwerkniveaus waren, desto geringer wird der konkave Anteil am Hang bis schließlich nur mehr ein ganz leichter Wechsel von konkav zu konvex die einstigen Stockwerke andeutet. Innerhalb der Konkavformen kann in den Sedimenteintragen ein bescheidener Formenwechsel von geraden zu konkav und konvex sich einstellen. Allerdings handelt es sich da durchwegs um Kleinformen, die durch einen starken Wechsel in der Korngröße des Ablagerungsmaterials und Schuttstau entstehen.

Eine auffallende Erscheinung sind die Glatthänge, die in Großformen dort zur Ausbildung kommen, wo durch starke und langdauernde Tiefenerosion die Stockwerke nicht mehr vorhanden sind, wie dies öfters am Ausgang der Täler der Fall ist. Da handelt es sich um Hänge, wo durch das Gestein und die Gesteinslagerung bedingt — kleinbankige Schichtkopfhänge die viel gleichgroßen Grobtschutt liefern, sind oft günstig — der Hang sehr gleichmäßig angegriffen wird und durch den Schutt, die beachtliche Neigung und die Darbietung des Niederschlags eine lineare Hangzerlegung bereits recht erschwert ist. Glatthänge sind auch oft gepanzerte Hänge, und zwar durch Schutt gepanzerte Hänge und wo der Schutt differenzierte Erosionsangriffe verhindert. Ein wesentlicher Teil der Dreiecks- und Trapezhänge gehören ebenfalls zu den Panzerhängen. Hier spielen aber außer dem Einfluß der Schuttbedeckung noch zwei wesentliche Momente mit; einmal der fehlende Angriff von oben — diesen Hängen ermangelt eine Überhöhung — und ein Schutthang unten, der von der seitlichen Unterschneidung aller nicht zu starken Wasserläufen schützt. Hangschuttproduktion, Schuttanlieferung und Abtransport durch den Fluß scheinen da im Gleichgewicht zu sein. Fehlt die Schuttpanzerung der Dreieckshänge, läßt sich oft Rinnenbil-

zung feststellen. Auch allzugroße Dreieckshänge neigen wegen des großen Einzugsgebietes und den damit verbundenen erhöhten Möglichkeiten der Wassersammlung zur Ausbildung von Rinnen.

Hänge einer freien denudativen Hangentwicklung neigen, wie die Überlegungen von Ed. Richter bis Büdel und Gossmann und die Sandkastenversuche von A. Wurm zeigen, zu einer Versteilung, so daß einst flachere Hänge im Endstadium der Entwicklung steiler sind und schärfere Knicke aufweisen.

Literatur

- AHNERT F. 1954. Zur Frage der rückschreitenden Denudation und des dynamischen Gleichgewichts bei morphologischen Vorgängen. *Erdkunde*, 8. Bonn.
- 1970. An approach towards a descriptive classification of slopes. *Zeitschr. f. Geomorphologie*, Supplbd. 9.
- BAKKER J. P. und Le HEUX J. W. 1946. Projective-geometric Treatmet of O. LEHMANN'S Theory of the Transformation of Steep Mauntain Slopes. *Proc. Acad. Sci. Amsterdam* 49.
- BIROT P. 1961. Reflexions sur le profil d' équilibre des cours d' eau IV. *Zeitschr. f. Geomorph. NF.* 5.
- BÜDEL J. 1963. Klimagenetische Geomorphologie. *Geogr. Rundschau*.
- 1969. Der Eisrindeneffekt als Motor der Tiefenerosion in den exzessiven Talbildungszonen. *Würzburger Geogr. Arbeiten*. 25.
- 1970. Geomorphologische Probleme der Hangentwicklung. In *Theorien zur Hangentwicklung in verschiedenen Klimazonen* von H. GOSSMANN. *Würzburger Geogr. Arbeiten*. 31.
- 1970. Pedimente, Rumpfflächen und Rückland-Steilhänge. *Zeitschr. f. Geomorphologie*. 14.
- DAVIS W. M. 1909, 1912. *Grundzüge der Physiogeographie. Die erklärende Beschreibung der Landformen*. Leipzig.
- GERBER Ed. 1944. *Morphologische Untersuchungen im Rhonetal zwischen Oberwald und Martiny*. *Arbeiten aus dem Geogr. Inst. der techn. Hochschule Zürich* 1.
- 1969. Bildung und Formung von Gratgipfeln und Felswänden in den Alpen. *Zeitschr. f. Geomorphologie. Supplbd.* 8.
- GOSSMANN H. 1970. *Theorien zur Hangentwicklung in verschiedenen Klimazonen*. *Würzburger Geographische Arbeiten*. 31.
- HAGEDORN J. 1969. *Beiträge zur Quartärmorphologie griechischer Hochgebirge*. *Göttinger Geogr. Abh.* 50.
- HÖLLERMANN P. 1964. *Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Beispiel des oberen Suldentales (Ortlergruppe)*. *Zeitschr. f. Geomorphologie Supplbd.* 4.
- HORMANN K. 1964. *Torrenten in Friaul und die Längsprofilentwicklung auf Schottern*. *Münchner Geogr. Hefte*. 26.
- KAUFMANN H. 1929. *Rhythmische Phänomene der Erdoberfläche*. Braunschweig.
- KLAER W. 1962. *Die periglaziale Höhenstufe in den Gebirgen Vorderasiens*. *Zeitschr. f. Geomorphologie NF.* 6.
- LEHMANN O. 1933. *Morphologische Theorie der Verwitterung von Steinschlagwänden*. *Vierteljahrsschrift Naturf. Ges. Zürich*.
- LEOPOLD L. B. 1970. *Review of studies of hillslopes-U. S. A.* *Zeitschr. f. Geomorph. Supplementbd.* 9.
- LOUIS H. 1960. 1968. *Allgemeine Geomorphologie*. Berlin.

- PASSARGE S. 1912. 1920. Grundlagen der Landschaftskunde. Hamburg. Physiologische Morphologie. Geogr. Ges. Hamburg. 26.
- PENCK W. 1924. Die morphologische Analyse. Stuttgart. Pencks Geogr. Abh. Bd. 2.
- PHILIPPSON A. 1931. Grundzüge der allgemeinen Geographie Bd. 2. Leipzig.
- SCHIDEGGER A. E. 1961. Theoretical geomorphology. Berlin.
- SCHWINNER R. 1933. Ungleichseitigkeit der Gebirgskämme in den Ostalpen. Zeitschr. f. Geomorphologie. 7.
- SÖLCH J. 1935. Fluß- und Eiswerk in den Alpen zwischen Ötztal und St. Gotthard. Petermanns Ergsbd. 48 Gotha.
- SPREITZER H. 1956. Zur Geographie des Kilikischen Ala Dag im Taurus. Festschr. z. Hundertjahrfeier d. Geogr. Ges. Wien.
- 1959. Fußflächen am Kilikischen Ala Dag im Taurus. Mittl. Österr. Geogr. Ges. 101. Wien.
- 1960. Hangformung und Asymmetrie der Bergrücken in den Alpen und im Taurus. Z. Geomorphologie Supplbd. 1.
- STOCKER E. 1969. Hanguntersuchungen in der Kreuzekgruppe. Dissertation Graz.
- TROFIMOV A. M. 1965. Influence of the intensity of erosion and changes in the porosity of talus on the curvature of the slope slope. Accad. Sci. USSR. Doll. Earth Sc. Sect. 167.
- WICHE K. 1959. Klimamorphologische Studien im Westlichen Karakorum. Deutscher Geographentag Berlin 1959.
- 1961. Beiträge zur Formenentwicklung der Sierren am unteren Segura. Mittl. Österr. Geogr. Ges. 103. Wien.
- WISSMANN H. 1951. Über seitliche Erosion. Colloquium Geographicum I. Bonn.
- WURM A. 1935/36. Morphologische Analyse und Experiment. Hangentwicklung, Einebnung, Piedmonttreppen. Zeitschr. f. Geomorphologie. 9.

Anschrift des Verfassers: Univ.- Prof. Dr. Sieghard MORAWETZ,
Swethgasse 3, A-8010 G r a z.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1971

Band/Volume: [101](#)

Autor(en)/Author(s): Morawetz Sieghard Otto

Artikel/Article: [Fragen der Hangentwicklung. 73-95](#)