

4 Erosionsrinnen auf der Erde

Erosionsrinnen (engl. gullies) sind das Ergebnis linienhafter Erosion, die durch eine Kombination verschiedener Prozesse wie Oberflächenabfluß, rückschreitende Erosion, Schlamm- bzw. Schuttströme und anderer Massenbewegungen geformt wird. Die schwerkraftbedingte Massenverlagerung von Locker- und/oder Festgesteinen, vermischt mit Wasser (Schlamm- bzw. Schuttstrom) in unterschiedlichen Mengenanteilen, ist die hauptsächliche Ursache für die Bildung von Erosionsrinnen. Schlamm- oder Schuttströme (engl. mudflows bzw. debris flows) werden zu den gravitativen Massenbewegungen gezählt. Der Feststoffanteil von Schlammströmen besteht überwiegend aus kleinen Korngrößen von Sand-, Schluff- und Tonanteilen, wohingegen Schuttströme einen größeren Anteil von Grobschutt aufweisen (Costa, 1984).

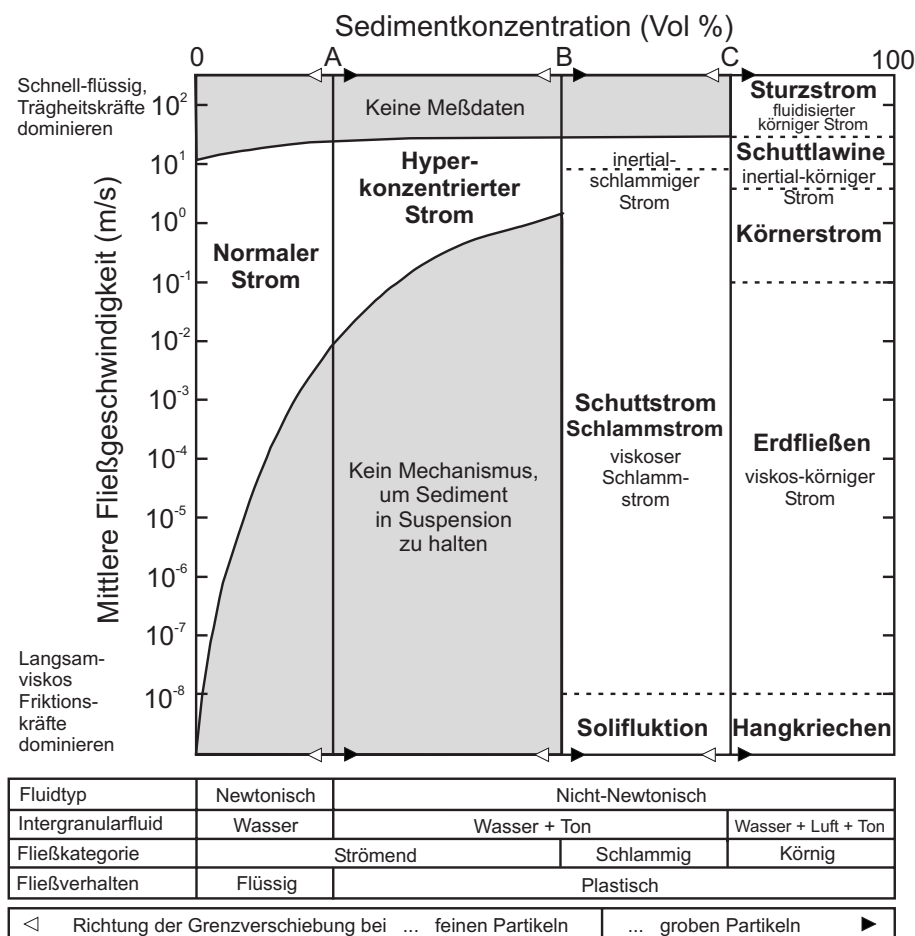


Abb. 44: Rheologische Klassifikation von Sediment-Wasser-Gemischen umgezeichnet nach Pierson und Costa (1987); Jacobshagen et al. (2000).

Neben Schlamm- bzw. Schuttströmen gibt es eine Reihe weiterer gravitativer Massenbewegungen wie Bergstürze, Steinschlag, Gleitungen, Rutschungen, Hangkriechen, Solifluktion, Erdbeben, Lawinen und Körnerströme. Diese Prozesse unterscheiden sich in ihrer Bewegungsart, Geschwindigkeit und Materialzusammensetzung und prägen durch Erosion und Deposition unterschiedliche Formen. Da die Übergänge zwischen gravitativen Massenbewegungen fließend sind, ist eine genaue Einordnung der Prozesse schwierig und führte in der deutsch- als auch fremdsprachigen Literatur zu unterschiedlichen Begriffsdefinitionen von Schuttströmen, die aber den gleichen Prozeß beschreiben (siehe Tabelle 9). Es gibt zahlreiche Klassifikationsansätze, die den Bewegungsmechanismus und die Materialsortierung in Betracht ziehen (z.B. Carson und Kirk-

Name	Autor
Deutsch	
Mure	<i>Rickmers</i> (1913)
Murgang	<i>Haeberli et al.</i> (1991)
Murschub	<i>Strunk</i> (1974)
Sandbrei	<i>Walther</i> (1924)
Schlammstrom	<i>Penck</i> (1924)
Englisch	
Alpine mudflow	<i>Slaymaker und McPherson</i> (1977)
Debris avalanche	<i>Williams und Guy</i> (1973)
Debris slide	<i>Bogucki</i> (1977); <i>Rapp</i> (1963)
Debris torrent	<i>Bovis</i> (1993); <i>Swanston und Swanson</i> (1976)
Lahar	<i>Neall</i> (1976); <i>Scrivenor</i> (1929)
Mud avalanche	<i>Conway</i> (1893, 1894)
Mudflow	<i>Blackwelder</i> (1928); <i>Owens</i> (1973, 1974)
Mudrock flow	<i>Bailey et al.</i> (1934)
Mudspate	<i>Rickmers</i> (1913)
Mudstream	<i>Bonney</i> (1902); <i>Scrivenor</i> (1929)
Soil flow	<i>Schrott et al.</i> (1996)
Summer solifluction	<i>Baird und Lewis</i> (1957)
Französisch	
Boue torrentielle	<i>Lefebvre in Meunier</i> (1991)
Coulée boueuse	<i>Cailleux und Tricart</i> (1950); <i>van Vliet-Lanoë und Valladas</i> (1992)
Coulée de débris	<i>van Steijn et al.</i> (1988a)
Coulée de débris canalisée	<i>Sauret</i> (1991) in <i>Meunier</i> (1991)
Coulée de laves	<i>van Steijn et al.</i> (1988a)
Flot de débris	<i>Bertran und Texier</i> (1994); <i>Chamley</i> (1977); <i>Hétu et al.</i> (1995)
Lave boueuse	<i>Hétu et al.</i> (1995)
Lave de ruissellement	<i>van Steijn et al.</i> (1988a)
Lave torrentielle	<i>Tricart</i> (1957)
Andere Sprachen	
Blockig slamström	<i>Rapp und Nyberg</i> (1981)
Puinstrom	<i>de Graaf et al.</i> (1993); <i>Hovius</i> (1990); <i>van Steijn</i> (1989)
Sjel	<i>Gontscharev</i> (1962)

Tab. 9: Begriffe, die Schuttströme beschreiben (verändert aus *Blijenberg* (1998) teilweise nach *Innes* (1983))

by, 1972; *Kurdin*, 1973; *Varnes*, 1978; *Pierson und Costa*, 1987; *Coussot und Meunier*, 1996). Ein Schuttstrom wird von *Varnes* (1978) als schnelle Massenbewegung von Feinmaterial, Wasser und Luft definiert, der sich als viskoser Strom bewegt. *Johnson* (1970) definiert einen Schuttstrom als gravitativ beeinflusste Massenbewegung zwischen einer Gleittrutschung (engl. slide) und Wasserfließen (engl. waterflooding), der aber aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften keinem dieser Prozesse zugeordnet werden kann. Die rheologische Klassifikation von *Pierson und Costa* (1987) unterscheidet gravitative Fließbewegungen zwischen Schuttströmen und anderen Fließtypen (Abbildung 44). Viskose Schlammströme und viskose Körnerströme zählen in dieser

Klassifikation zu der Gruppe der gravitativen Ströme, unterscheiden sich aber hinsichtlich ihres Wassergehaltes. Der Wassergehalt in Körnerströmen ist geringer als in Schuttströmen bis nicht vorhanden und das Fließverhalten wird von Interaktionen zwischen einzelnen Körnern (Korn-Korn-Kollisionen) bestimmt. In Schuttströmen hingegen dominieren viskose Wassereffekte, Interaktionen zwischen einzelnen Körnern und zwischen Körnern und Wasser (*Blijenberg, 1998*). Neben der rheologischen Klassifikation von *Pierson und Costa (1987)*, die in der Fachliteratur breite Anwendung findet, gibt es zahlreiche weitere Klassifikationsansätze nach morphogenetischen Kriterien (*Brunsdon, 1979; Innes, 1983*), Geschwindigkeit (*Varnes, 1978*), Ablagerungsvolumen (*Innes, 1983*) und Wasservolumen (*Gol'din und Lyubashevskiy, 1966; Syanozhetsky et al., 1973*). Die zahlreichen, unterschiedlichen Klassifikationsansätze in der Fachliteratur führen auch heute noch zu einer großen Konfusion (*Selby, 1993*).

Durchgesetzt hat sich in der heutigen internationalen Fachliteratur der Begriff **debris flow**, wobei auch der Begriff **mudflow** in Verbindung mit gravitativem Fließen von feinem Material verwendet wird. Der Begriff **lahar** hat sich für Schlammströme an Vulkanen durchgesetzt. In der vorliegenden Arbeit wird die Klassifikation nach *Pierson und Costa (1987)* verwendet, da diese mehrere Kriterien wie Fließverhalten, Sedimentkonzentration und Geschwindigkeit berücksichtigt und sich in der Fachliteratur durchgesetzt hat. Für den in der Fachliteratur mittlerweile gebräuchlichen englischen Begriff **debris flow** wird in der vorliegenden Arbeit das deutsche Synonym **Schuttstrom** verwendet. Es wird jedoch teilweise (Regionalanalyse) hinsichtlich der Materialzusammensetzung zwischen Schuttströmen (Fein- und Grobmaterial) und Schlammströmen (Feinmaterial, engl. mudflow) unterschieden (z.B. *Bahlburg und Breitkreuz, 1998; Jacobshagen et al., 2000*).

4.1 Morphologie

Erosionsrinnen weisen drei charakteristische Merkmale auf (Abbildung 45): 1) Eine Entstehungszone 2) eine Transportzone und 3) eine Depositionszone. Erosionsrinnen beginnen in der Entstehungszone, in der die Erosion von Material durch Schuttströme überwiegt. Diese Zonen sind charakterisiert durch steile Hänge, die wenig bis keine Vegetation aufweisen und hinreichend Verwitterungsmaterial an der Oberfläche aufweisen. Sie kann in Form einer tiefen Rinne (couloir) über einer Schutthalde auftreten oder trichter- bis muldenförmig ausgeprägt sein (*Blijenberg, 1998*). Hangabwärts geht die Entstehungszone in die Transportzone über, in der Erosion und Deposition ungefähr im Gleichgewicht stehen. Sie ist gekennzeichnet durch die Erosionsrinne, die von seitlichen Ablagerungen (levées) begrenzt sein kann. Seitliche Ablagerungen können durch Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit an den Rändern der Rinne (*Cailleux und Tricart, 1950; Hooke, 1987*), durch Verdrängung der Schuttmasse beim Fließvorgang entstehen (*Sharp, 1942; Tricart, 1957; Curry, 1966; Pierson und Desvarreux, 1980*), als „tote Regionen“ des Fließvorgangs zurückbleiben (*Johnson, 1970; Johnson und Rahn, 1970*), durch im Gerinnebett nachfolgende Schuttströme abgelagert werden (*Keefer und Johnson, 1983*) oder durch Sackung der Schuttoberfläche bei Verringerung der Fließgeschwindigkeit zurückbleiben (*Johnson und Rodine, 1984*). Die verschiedenen Entstehungsmöglichkeiten von seitlichen Ablagerungen werden in einem „review“ von *Corominas (1995)* ausführlich behandelt. Die Transportzone geht weiter hangabwärts, bei abnehmenden Hangneigungen, in die Depositionszone über. In dieser Zone dominiert die Ablagerung über die Erosion. Die Depositionszone ist oft gekennzeichnet durch schwemmkegelartige Aufschüttungen. Großflächige Schwemmkegelzonen sind aber nicht immer anzutreffen. Die Ablagerungen können auch als kurze, steile Endschuttmasse, die in dünnen Ablagerungsschichten ausläuft, ausgeprägt sein, oder die seitlichen Ablagerungen bilden von beiden Seiten eine wulstförmige Endzunge (z.B. *Easterbrook, 1999*). Bei der Bildung von levées wird die überwiegende Schuttmasse in den seitlichen Ablagerungen gebunden (*Costa, 1984*).

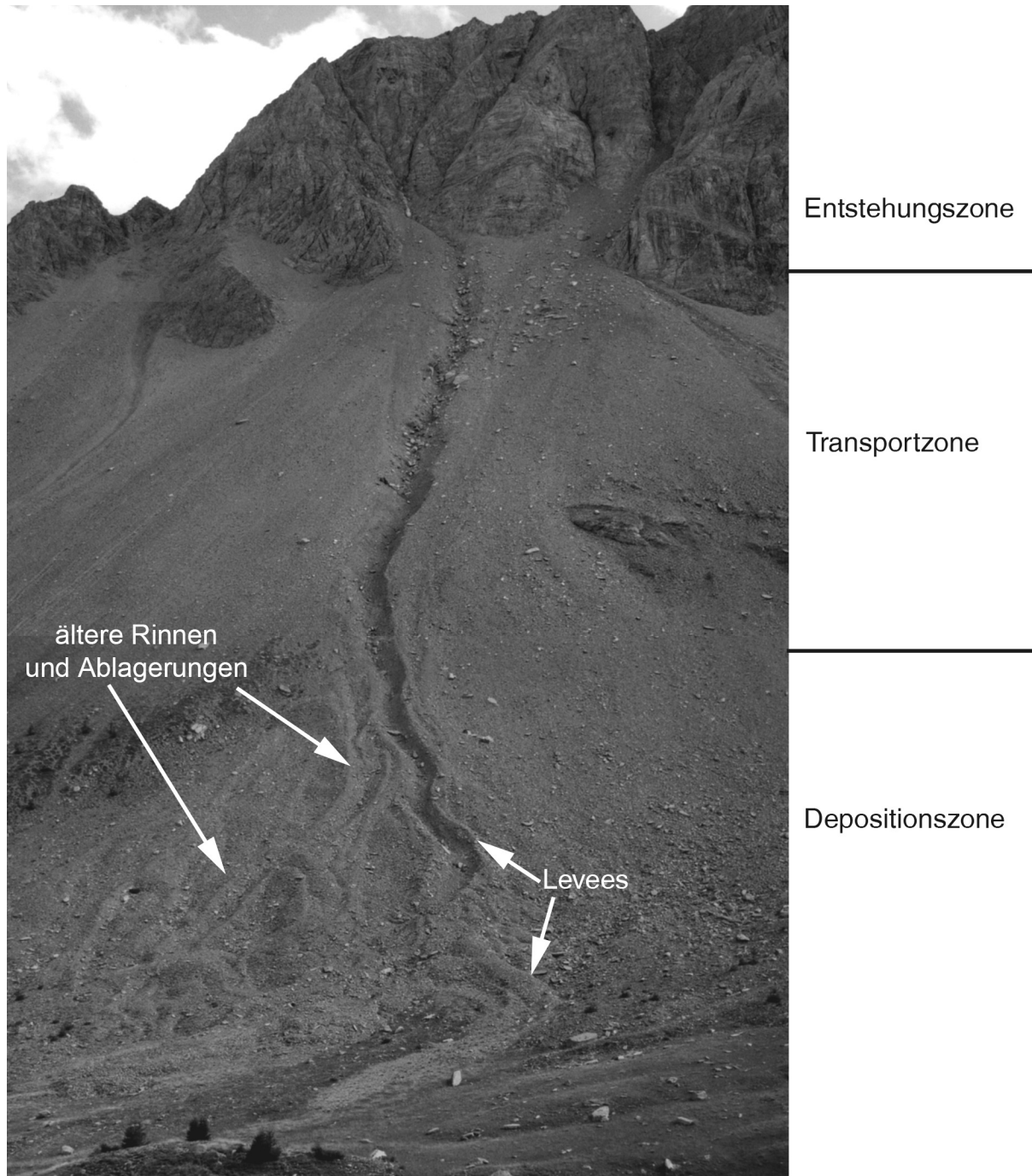


Abb. 45: Morphologie von Erosionsrinnen (Aufnahme: Französische Alpen, südlich von Barcelonnette bei etwa 6°44'E und 44°19'N, mittl. Höhe 2500 m, D. Reiss, August 2003).

4.2 Vorkommen

Erosionsrinnen sind auf der Erde weltweit verbreitet. Sie kommen aber vor allem in semi-ariden, alpinen und arktischen Regionen vor (z.B. *Carson, 1976*). Günstige Faktoren für die Bildung von Schuttströmen in diesen Regionen sind (a) steile Hänge, (b) oberflächlicher Verwitterungsschutt an den Hängen (unkonsolidiertes Material) und (c) eine spärliche bis nicht vorhandene Vegetation. Erosionsrinnen sind häufig nicht die einzigen Formen an diesen Lokalitäten. Auch andere gravitative Massenbewegungen wie Körnerströme, Lawinen, Rutschungen und Blockgletscher in

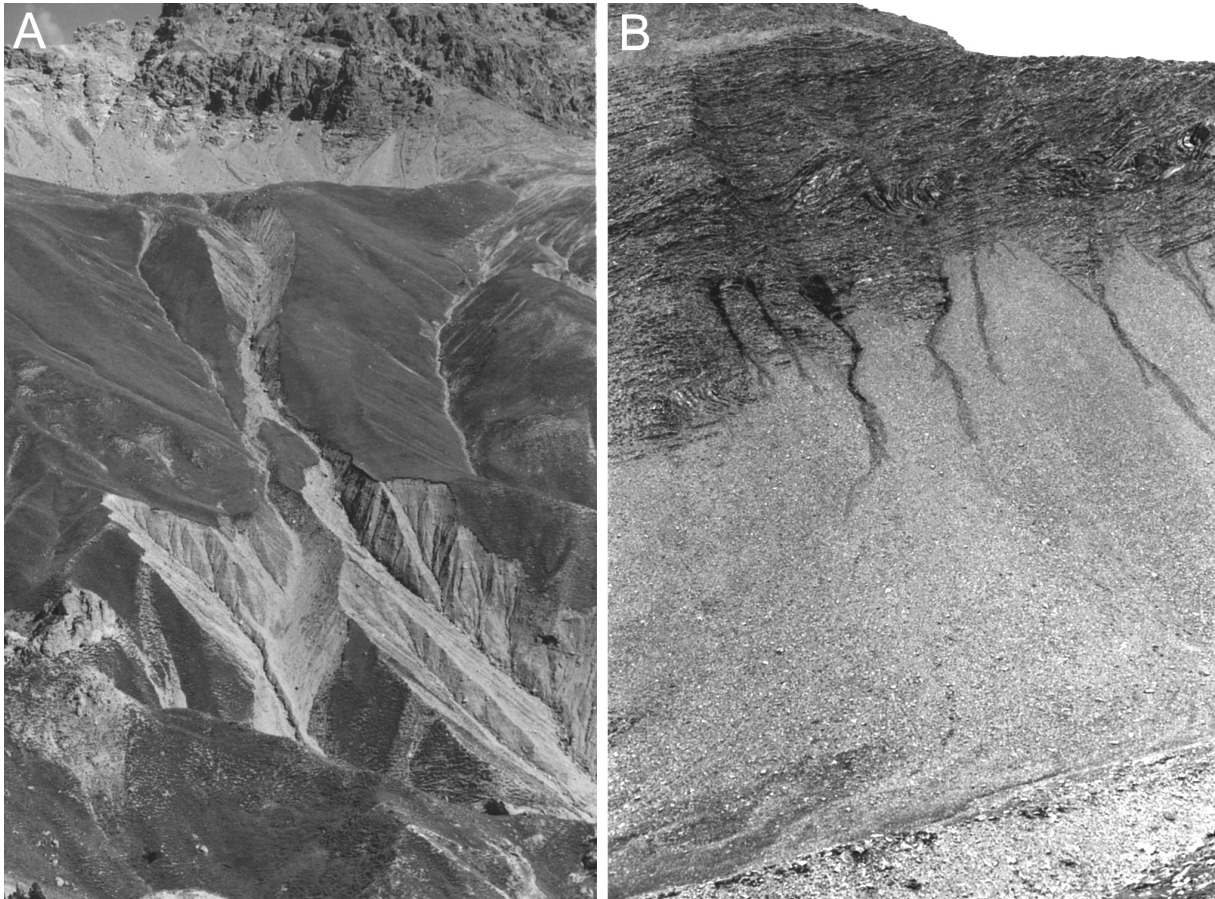


Abb. 46: Unterschiedliche Formen von Erosionsrinnen in den Alpen. (A) Breite Entstehungsgebiete mit kleineren Rinnen an den Seiten. Die Morphologie deutet auf Erosion durch Oberflächenabfluß und rückschreitende Erosion hin (Aufnahme: Schweizer Alpen, Ofenpass bei etwa 10°15'E und 46°41'N, 2400 m, D. Reiss, August 2003. (B) Lineare Erosion an einem Schutthang ausgelöst durch Quellaustritte in überlagerndem konsolidiertem Schichtmaterial. Die dunklen Bereiche an der Schichtzone und den Rinnen zeigt Austritt von geringen Wassermengen und Durchfeuchtung zum Zeitpunkt der Bildaufnahme (Aufnahme: Französische Alpen, nördlich von Barcelonnette bei etwa 6°39'E und 44°26'N, 2400 m, D. Reiss, August 2003).

alpinen und arktischen Gebieten (Abbildung 47) sind begünstigte Prozesse und treten oftmals nebeneinander auf (*Corominas et al., 1996*).

Erosionsrinnen sind häufig auf Schutthalden (talus), Schuttfächern und alluvialen Schwemmkegeln anzutreffen. Die meist vegetationslosen Hänge und unkonsolidiertes Verwitterungsmaterial begünstigen die Bildung von Erosionsrinnen. Abbildung 48 zeigt eine Schutthalde von verwittertem und umgelagerten Fein- und Schuttmaterial im Schweizer Hochgebirge, auf dem sich Erosionsrinnen gebildet haben.

4.3 Auslösende Faktoren

Die Schuttströme können durch Starkniederschlagsereignisse, Tauen von Schnee/Bodeneis oder einer Kombination von beidem ausgelöst werden (*Azimi und Desvarreux, 1974; Owen, 1991*). Dabei kommt es zu einer Durchnässung der Regolith- bzw. Bodenschicht mit Wasser und einer Sättigung des Porenvolumens zwischen den einzelnen Körnern. Die Kohäsion zwischen einzelnen Partikeln geht verloren bzw. die internen Reibungswiderstände verringern sich und die Masse kann den Bewegungen nicht mehr standhalten. Die relativ hoch-viskose Matrix-Wasser-Mischung



Abb. 47: Vergesellschaftung von 3 typischen Formen (Schutthalden, Schuttströme und ein 1 km langer Blockgletscher). Die rechten Erosionsrinnen könnten durch Schmelzwasser der darüberliegenden Schneeflecken ausgelöst worden sein (Aufnahme: Schweizer Alpen, Oberer Engadin, nord-östlicher Hang des Piz Alabana bei etwa 9,7°E und 46,35°N, mittl. Höhe 2700 m, D. Reiss, August 2003).

fließt den Hang hinunter. Die Rate der Verringerung der Fließfestigkeit bei Durchfeuchtung ist bei Feinmaterial schneller als bei gröberem Material, da die internen Reibungswiderstände beim Zusammenhalt von Korn zu Korn eine größere Rolle spielen (*Rodine, 1974*). Durch die viskose Matrix-Wasser-Mischung wird gröberes Material bis hin zu Blöcken, die mehrere Meter Durchmesser erreichen können, hochgehalten und mittransportiert. Die Viskosität von Schuttströmen ist vergleichbar mit der von nassem Zement (2 Pa s), und der Wasseranteil beträgt meistens zwischen 10 bis 30 Gewichtsprozent (*Costa, 1984*). Charakteristische Geschwindigkeiten von Schuttströmen liegen zwischen 0,5 m/s bis 20 m/s, und der Strom kann Entfernungen von > 20 km zurücklegen (*Costa, 1984*). Sind Erosionsrinnen bereits vorhanden, findet ein nachfolgendes Fließen in den schon existierenden Abflußbahnen statt. Häufig transformieren auch Bergstürze und Rutschungen in Schuttströme (*Johnson und Rodine, 1984*), die ebenfalls durch Niederschlagsereignisse oder Tauprozesse ausgelöst werden können (*Costa, 1984*), aber auch durch Instabilität des Hanges aufgrund einer zunehmenden Versteilung oder durch Erdbeben (z.B. *Press und Siever, 1995*).

Neben den oben beschriebenen Schuttströmen haben weitere Prozesse wie Oberflächenabfluß und rückschreitende Erosion einen erheblichen Anteil an der Bildung von Erosionsrinnen. Erosionsrinnen können z.B. auf ungeschützten Hängen oder Ackerflächen durch fluviatile Einschneidung in Verbindung mit rückschreitender Erosion entstehen (gullying). Die flächenhafte Abspülung an Hängen nach Starkregenereignissen führt durch die Konzentration des Wassers an kleinen Unebenheiten, oftmals zur Bildung von kleinen Rillen, welche sich durch nachfolgenden linienhaften Abfluß weiter einschneiden und verbreitern (z.B. *Ahnert, 1996*). Die entstehenden Versteilungen der oberen Kerben der Rinnen können bei weiteren Ereignissen rückschreitend

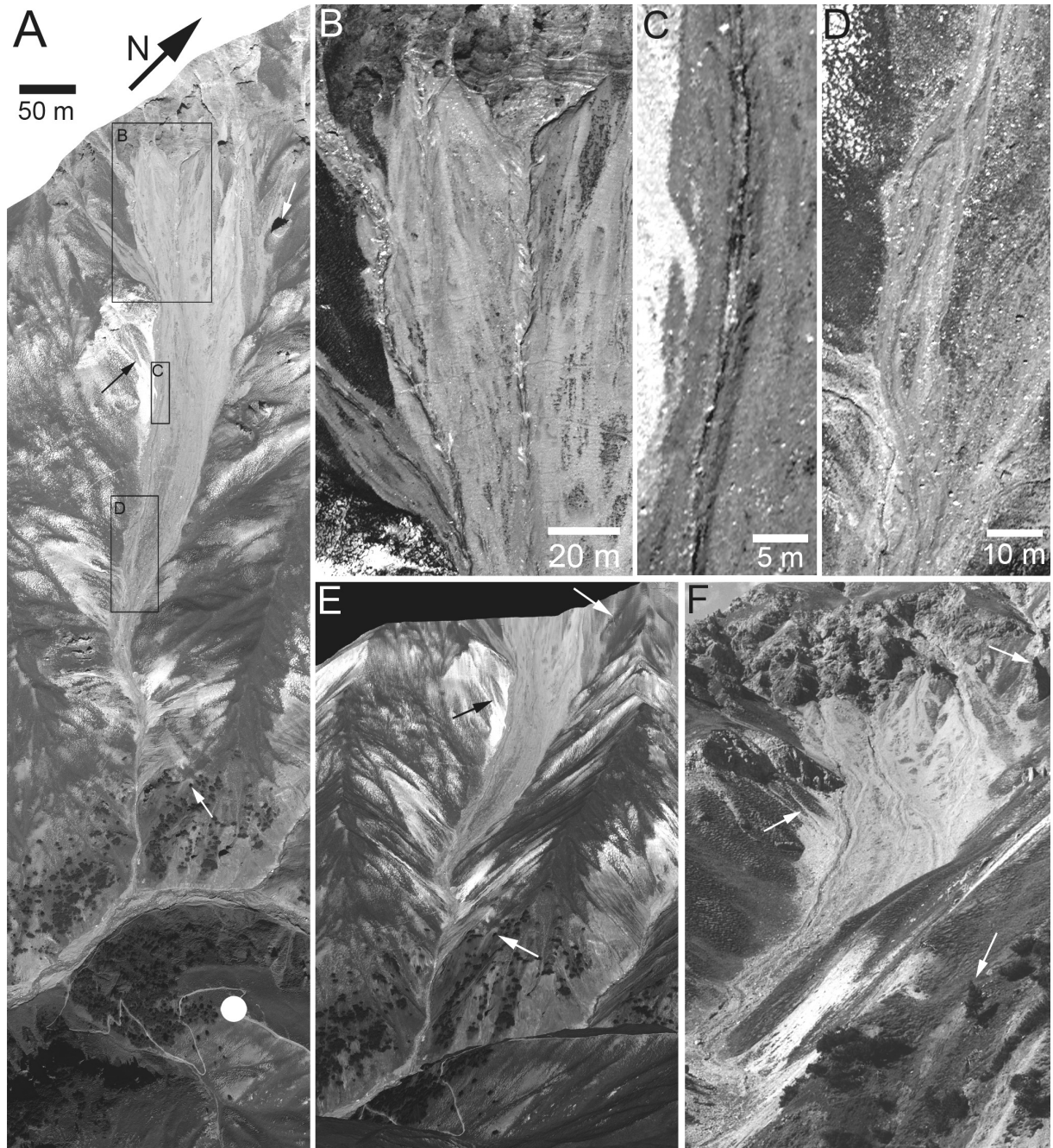


Abb. 48: Schuttfächer in den Schweizer Alpen (Ofenpass). Erosionsrinnen haben sich aufgrund des vorhandenen verwitterten Schuttmaterials gebildet. Sie beginnen direkt am Übergang zwischen den konsolidierten Schichten und unkonsolidiertem Schuttmaterial am Hang. (A) Hochauflösende (15 cm/pxl) HRSC-Luftbildaufnahme (Befliegung vom 11.07.2003) vom Schuttfächer (10,15°E und 46,41°N, topographische Höhe etwa 2400 m), die Pfeile zeigen markante Geländepunkte zum Vergleich der Bilder E und F. Der weiße Punkt markiert die Aufnahmestelle von Bild F. Der Vergleich zwischen Bilddaten aus der Luft (entsprechend Orbit) und Gelände zeigt wie unterschiedlich Nadir- und Perspektivabbildungen wirken bzw. die Interpretation beeinflussen kann. (B) Ausschnitt der Quellregion, (C) Ausschnitt von der Transportzone, (D) Ausschnitt von der Depositionszone, (E) Perspektive erstellt aus den Stereodaten der Luftbildaufnahme (DTM-Auflösung 50 cm/pxl), (F) Perspektivaufnahme aus dem Gelände (Aufnahme: D. Reiss, August 2003).

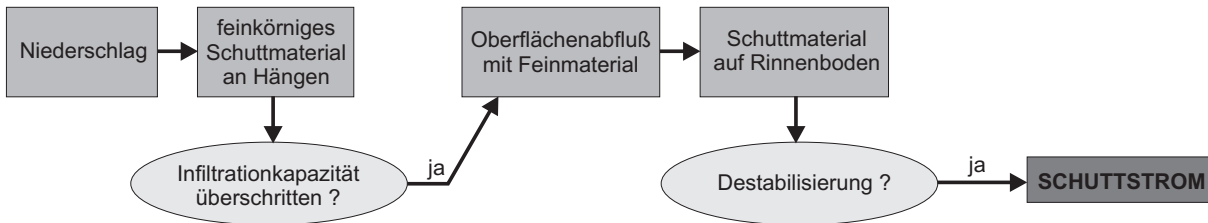


Abb. 49: Entstehung von Schuttströmen nach *Postma* (1988) verändert aus *Blijenberg* (1998).

erodieren (vgl. Abbildung 46A). Auch für die Auslösung von Schuttströmen geht *Postma* (1988) *Blijenberg* (in 1998) davon aus, daß Oberflächenabfluß und Bildung von kleinen Rillen/Rinnen durch linienhafte Erosion der vorhergehende Prozeß ist (Abbildung 49). Wird das in den Rinnen liegende Schuttmaterial durch Sättigung des Porenvolumens und folgender Verringerung der internen Reibungswiderstände destabilisiert, dann wird ein Schuttstrom ausgelöst (Abbildung 49). Desweiteren können Schuttströme auch durch Grundwasserquellaustritte (groundwater seepage) ausgelöst werden (*Howard und McLane*, 1988) (vgl. Abbildung 46B).