

# Hangzerschneidung und Phasen der Rinnenentwicklung am Beispiel des Lenkengrabens, Kreuzeckgruppe

Von ERICH STOCKER (Salzburg)

Formen der Hangzerschneidung zählen in den Alpen zu den am weitesten verbreiteten Formen, die das Landschaftsbild oft wesentlich prägen. S. MORAWETZ befaßte sich mit den Rinnensystemen aus geomorphologischer Sicht in vielen Arbeiten und rückte diese Formen stärker in das Blickfeld geomorphologischer Betrachtung. Trotz der offensichtlich großen Bedeutung des Formenschatzes der Hangerosion und seiner für die alpine Raumordnung auch steigenden Relevanz gibt es in der modernen Literatur noch wenig Forschungsansätze zur Untersuchung der erosiv-denudativen Abtragssysteme im Steilrelief. Entweder sie werden einschließlich der Badlands voll in die Entwässerungsnetze von Flußsystemen integriert, wobei Fragen der Bodenabspülung im Vordergrund stehen oder die Rinnen nur als niedrigrangigste Zubringer zu den Flußabschnitten höherer Ordnung angesehen werden, oder es stehen vor allem systematische oder begriffliche Fragen im Vordergrund. So hat sich vor allem H. LOUIS 1975, mit der Definition von Rinnen und Runsen befaßt und in ihnen Formen initialer Fließwassererosion gesehen. J. BÜDEL 1948, 34, kam zu einer Gliederung der Formen in jene der Hangzerrung bei gleichwertigen parallelen Rinnen und jene der Hangzerschneidung bei Vorhandensein eines hierarchisch angeordneten Systems, eine Differenzierung, die auch bei späteren Arbeiten im alpinen Raum Anwendung fand (G. SCHWEIZER, 1968, 71). A. MARCUS, 1980, 389–398, stellt ebenfalls die große Bedeutung der Systemabschnitte erster Ordnung fest, da sie nahezu 50% der Fläche vom Netzwerk eines Einzugsgebietes ausmachen können und außerdem die Grundbausteine bei der Klassifizierung eines Flußsystems nach Ordnungen darstellen.

Die geomorphologische Bedeutung der Klassifizierung eines Rinnensystems nach Ordnungen – eine Integrierung in das Flußnetz ist damit verbunden – beruht vor allem auf einer brauchbaren Korrelationsmöglichkeit von Daten über geomorphologische Prozesse mit morphometrischen Daten, wie dies in den zahlreichen flußmorphometrischen Beziehungen zum Ausdruck kommt. A. N. STRAHLER, 1950, 688–689, fand in der Gleichgewichtstheorie von Erosionshängen in reif zerschnittenen Bergländern Korrelationen zwischen Rinnenneigungen und Neigungen der Seitenhänge.

Die Anwendung der Ordnungsklassifikation nach A. N. STRAHLER auf Rinnensysteme bringt jedoch eine Reihe von Problemen an der Übergangszone von fluvialer zu denudativer Formung. Vor allem im alpinen Bereich können bedeutende Quellbäche ohne entsprechende Tiefenrinnen, daneben aber tiefe Hangfurchen ohne entsprechende Gerinne in Erscheinung treten, da infolge glazialer Erosion ältere Rinnensysteme ausgelöscht wurden und somit unausgereifte, dicht verästelte Quellstränge neben tief eingeschnittenen und ausgereiften Formen zu liegen kommen. So können die Flußordnungen höherrangiger Rinnenabschnitte durch lokal stark abweichende Bifurkationsverhältnisse so stark verändert werden, daß eine geomorphologische Vergleichbarkeit nicht mehr gegeben ist. Da der Aufbau eines hierarchischen Ordnungssystems nur von den obersten Enden eines Rinnensystems ausgehen kann, ist die Definition für die Einzugsgebiete 1. Ordnung entscheidend für die Einschätzung der Teiläste der höheren Ordnungen. Selbstverständlich bestünde auch grundsätzlich die Möglichkeit des umgekehrten Vorgehens von den Sammelsträngen des Abflusses zu den sich verzweigenden Seitenästen bis zu den obersten Enden eines Entwässerungssystems, was aber wieder Probleme bei der Bewertung der Teilabschnitte bringen würde. Geht man umgekehrt von den begrenzenden Vollformen aus (S. MORAWETZ, 1962, 263–265), tritt ein ähnliches Problem bei der Abstufung in Hauptkamm, Hauptseitenkamm, sekundärem Seitenkamm und Seitenkammgabelung auf, vor allem

deshalb, weil zwischen den niedrigrangigen Rinnen auch Flächen liegen können, die erst zu einer übergeordneten Rinne tributär sind, wie H. LOUIS, 1975, 26, feststellt. Er schlägt eine Gliederung in Anfangsstränge und Sammelstränge des Abflusses vor, wobei im Bereiche der Sammelstränge das Begleitgelände vollständig aus Tributärböschungen besteht und die Fall-Linien des Begleitgeländes einen Winkel von über  $45^\circ$  mit der Tiefenlinie bilden. In den Anfangssträngen, den Rinnen und Runsen, wäre zumindest eine der beiden Bedingungen nicht gegeben. A. WIRTHMANN, 1977, 44, zeigt allerdings zahlreiche Beispiele aus verschiedenen Klimabereichen auf, wo Runsensysteme sich das Begleitgelände vollständig tributär machen, und spricht in diesem Fall von einer *erosiven Hangentwicklung*, bei der nicht die höherrangigen Flußabschnitte die Steuerung der Hangentwicklung übernehmen. In den Alpen können solche Erscheinungen erosiver Hangentwicklung an Kar- und Trogwänden und entlang von steil abfallenden Flanken von Kämmen beobachtet werden. An höheren Teilflanken kommt es auch zur Verknüpfung dieser Runsensysteme erosiv gestalteter Steilhänge mit den Systemen der Hangzerschneidung im Anschluß an das eigentliche Flußsystem (S. MORAWETZ, 1966, 48–71). So können zwischen den Formen initialer und dominierender Linearerosion auch längere Übergangszonen bestehen, wie etwa bei Wildbächen, die über sehr lange Zeiten durch dominierende Linearerosion gekennzeichnet sind, bei Unwettern aber kurzzeitig zu Murenkanälen umfunktioniert werden, wobei es zu bedeutend größeren Durchtransporten und Erosionsleistungen kommen kann als in langen Phasen mit dominierendem fluvialem Geschehen. Die von H. LOUIS, 1961, 41, getroffene Unterscheidung zwischen Hangfurchen und Tälern mittels der Differenz zwischen Hangböschung und Gefälle der Tiefenlinie um mindestens 50% kann als wesentliches Erfahrungskriterium herangezogen werden. Eine feine Differenzierung der vielfältigen Erscheinungen linear-erosiver Formen kann wahrscheinlich aber nur aufgrund der Kenntnis der in der betreffenden Tiefenlinie wirkenden verschiedenen Prozesse getroffen werden. Der von H. LOUIS, 1975, 13, als morphometrisches Unterscheidungskriterium herangezogene Grenzwinkel von  $45^\circ$ , den die Projektion der Fall-Linien der Steilhänge mit der Tiefenlinie im Grundriß bildet, dürfte auch zusammen mit dem Merkmal der Tributärböschungen nicht ausreichen, um eine Grenzziehung zwischen Formen initialer Linearerosion und dominierender Linearerosion zu ermöglichen. Schließen die Fall-Linien der Seitenböschung mit der Tiefenlinie im Grundriß einen Winkel von über  $45^\circ$  Grad ein, so bedeutet dies nichts anderes, als daß die Böschungen nur um etwa  $10^\circ$  steiler sind als die Tiefenlinie. Sogar bei steilen Rinnen ist in den meisten Fällen eine derartige Überschreitung sehr leicht möglich, so daß man hier fast immer von Formen mit dominierender Linearerosion sprechen könnte.

Die vielfältigen Erscheinungsformen initialer Linearerosion machen seine auf morphometrischer Basis begründete Abgrenzung äußerst schwierig; es ergibt sich die Frage nach dem internen Aufbau solcher Einzugsgebiete 1. Ordnung. J. T. HACK & J. C. GOODLETT, 1960\*, führten eine Typisierung der Teilflächen solcher Einzugsgebiete in Bachbett, Steilhänge mit eventuell vorhandener Fußzone, Konkavität oberhalb der fluvialen Tiefenlinie sowie begrenzenden Rückenzone mit konvexen Isophypsen durch. Für die Ausprägung dieser gut abgrenzbaren Einheiten ist aber ein ausgereiftes Entwicklungsstadium der Fluvialerosion Voraussetzung. Dabei müssen die Gerinne bereits tief eingesenkt sein und unterhalb von Ursprungsmulden beginnen.

Eine neue Definition für Einzugsgebiete 1. Ordnung stellt A. MARCUS, 1980, 391, vor. Er versteht darunter Oberflächen, welche Wasser und Sedimente in einen unverzweigten Bach liefern und gliedert sie in eine Kopf- und eine Seitenhangzone unter. Im Bereich der Kopfzone (entsprechend der konkaven Mulde nach J. T. HACK & J. C. GOODLETT) finden überwiegend denudative Prozesse statt, die es nicht gestatten, daß sich eine einheitliche Tiefenlinie bildet; die Flächen der Seitenhangzonen sind allein auf die zentrale Tiefenlinie erster Ordnung ausgerichtet. Auch hier wird eine Konformität zwischen den Abflußbahnen

des Wassers und entsprechender Formen, die diese Gerinne aber erst nach längerer Zeit schaffen können, vorausgesetzt. In Gebieten stärkerer glazialer Überformung kam es vielfach zur Auslöschung reifer entwickelter Fluvialformen, so daß die Größe der Gerinne nicht immer in Einklang mit der Dimension der damit in Verbindung stehenden Fluvialformen steht. Im Zuge der Umwandlung eines Erosionstrichters zu einem Kar wird das ursprünglich rein fluvial gestaltete System von Flußabschnitten vor allem im Bereich der Tiefenlinien der niedrigsten Ordnungen durch Glazialerosion so stark verändert, daß damit auch die Ordnung der tieferliegenden höherrangigen Talabschnitte sehr schwer zu bewerten ist. So sind etwa bei Quelltrichterkarren die höherrangigen Flußabschnitte glazial kaum umgestaltet, während die niedrigrangigen Verzweigungen von der glazialen Erosion am meisten betroffen wurden. Nach dieser Umformung stehen sich kaum 1 m tief eingesenkte Quellläste einer nach unten führenden Hangfurche von vielleicht über 100 m Eintiefung gegenüber. Dieses unmittelbare Aneinandergrenzen von hochgradig verschiedenartigen Formen von Entwässerungssystemen kann zu Verfälschungen in der Bewertung der höherrangigen Flußabschnitte führen, und die Definition des internen Formeninventars der Abschnitte 1. Ordnung würde zu einer Großzahl von Typen führen. So ist also eine möglichst einfache Definition für die Einzugsgebiete 1. Ordnung notwendig, welche auf die unterschiedlichsten Verhältnisse anwendbar ist, die zugleich auch möglichst wenig morphographisch-morphometrische Kriterien enthält und deren zentrale Bedeutung dem unverzweigten, *linearen Abzugskanal* von Wasser und Sediment zukommt. Die von A. MARCUS, 1980, 391, vorgeschlagene Definition scheint die variabelsten Anwendungsmöglichkeiten zu bieten; sie erlaubt gleichzeitig auch eine Typenbildung von Einzugsgebieten erster Ordnung. Die Verhältnisse der Wasserbeteiligung und des reibungsreichen Materialtransports entlang der Tiefenlinie können in solchen Einzugsgebieten außerordentlich variieren. Neben rein fluvial ausgearbeiteten postglazialen Rinnen in einer Rundhöckerlandschaft treten fast ausschließlich denudativ gestaltete Steinschlaggrinnen und Murenbahnen auf.

#### *Das Untersuchungsgebiet Lenkengraben*

In diesem Teilabschnitt der westexponierten Hänge des Rottensteinertales kam es zu einer weitreichenden Hangzerschneidung in einem Einzugsgebiet von 3,9 km<sup>2</sup>. Vergleicht man die Profile der Rückenlinien mit denen der Tiefenlinien, kann der Grad der Eintiefung von über 100 m deutlich abgelesen werden. Die ursprünglich konvexen Hänge, welche teils auch durch einige Verflachungen gekennzeichnet sind, wurden entlang der Tiefenlinie konkav ausgestaltet. Auffallend ist die fast völlige Übereinstimmung der Gefällsverhältnisse der Gräben bis in höhere Lagen. Im höheren Hangbereich weicht nur der Neuberggraben durch weitere Tieferlegung von den anderen Profilen ab, da er nach einer Biegung eine Störungslinie benutzt, welche zu einer tieferen Ausräumung der kristallinen Schiefer, vor allem der Phyllite, geführt hat.

Abb. 1 zeigt die Kartierung der Einzugsgebiete verschiedener Ordnung nach dem System von A. N. STRAHLER, 1952. Die Festlegung der Einzugsgebiete 1. Ordnung auf der Basis von A. MARCUS, 1980, führte zu einer sehr realistischen Einschätzung der Wertigkeit der höherrangigen Tiefenlinien. Nur an zwei Bereichen kam es infolge glazialer Umgestaltung zum Aneinandergrenzen sehr verschiedenartiger Systeme: Im Quelltrichterkar S Lenkenspitze (Nordspitze des Einzugsgebietes) grenzen zahlreiche unter 1 m tief eingesenkte Quellbäche an eine Hangfurche von ca. 100 m Tiefe; ebenso tritt diese Diskrepanz im südlichsten Quelltrichterkar der Neubergalm auf.

Das System des Lenkengrabens besteht insgesamt aus einem Fächer sich verteiler

\*) In: L. B. LEOPOLD, M. G. WOLMAN & J. P. MILLER, 1964, 373.

Rinnen, welche im nordwestlichen Sektor bereits zu einer typischen Hangzerschneidung führten. Die Basis liegt bei 1160 m Höhe, die Umrahmung zwischen 2130 und 2300 m, wobei auf eine Horizontaldistanz von 2 km etwa 1000 m Höhenunterschied überwunden werden (Abb. 2). Die Eintiefung im Nordwestteil, wo das Hangrelief bis zu 200 m tief von den Furchen zerschnitten wird, ist auf besonders günstige geologische Voraussetzungen zurückzuführen; das Streichen der steil einfallenden Glimmerschiefer und Phyllite des Altkristallins der Kreuzekgruppe stimmt weitgehend mit der Richtung der Rinnen überein. Vergleicht man die Längsprofile der Tiefenlinien mit den Hangprofilen (Abb. 2),

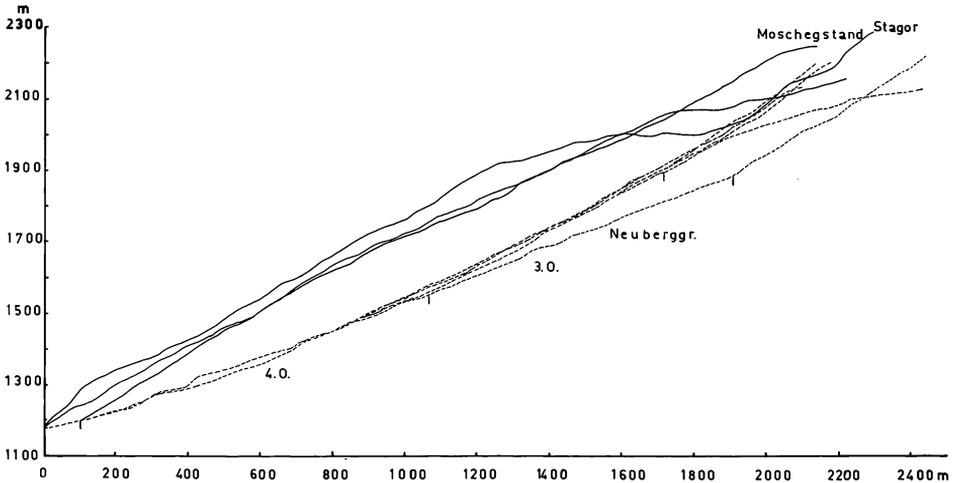


Abb. 2: Der Vergleich der Längsprofile der Tiefenlinien (gestrichelt) und der überwiegend konvexen Rückenlinien zeigt das Ausmaß der Hangzerschneidung im Bereich Lenken- und Neuberggraben.

so erkennt man, daß nur der Sammelstrang 5. Ordnung mit nur mehr wenigen 100 m Länge ein wesentlich flacheres Längsgefälle besitzt als die Hälfte der Neigung der begleitenden Hänge. Nach H. LOUIS, 1961, 41, müssen somit alle anderen auch sehr tief eingesenkten und V-förmig eingeschnittenen Gräben zu den Hangfurchen gerechnet werden. Tabelle 1 zeigt die wesentlichsten Charakteristika der Rinnen im System Lenkengraben.

o	n	d	$\bar{e}$	$\bar{l}$	$\bar{h}$	$\bar{\alpha}$
1.	59	13,7	7	180	118	33,2
2.	12	7,8	22	354	204	29,9
3.	4	2,3	85	778	373	25,6
4.	2	(3,2)	154	795	300	20,7
5.	1		120	(210)	(50)	13,4

Tabelle 1: Daten zum Erosionssystem Lenkengraben: Flußordnung (o), Zahl der Abschnitte (n), Dichte (d), mittlere Eintiefung ( $\bar{e}$ ), mittlere Länge ( $\bar{l}$ ), mittlerer Höhenunterschied ( $\bar{h}$ ), mittleres Gefälle in Grad ( $\bar{\alpha}$ ).

### Rinnensysteme 1. Ordnung

Die Einzugsgebiete der Rinnensysteme 1. Ordnung umfassen über 50% der Gesamtfläche des Erosionssystems Lenkengraben und bestehen aus insgesamt 59 erosiv-denudativen Hangfurchen. Von der Hangzone unterhalb der Hauptwasserscheide wird ein mehrere hundert Meter breiter Streifen fast durchgehend von Einzugsgebieten erster Ordnung

eingenommen. Nach unten zu erfolgt eine Verzahnung mit den Einzugsgebieten 2. und teils auch 3. Ordnung, im Abschnitt von Neuberg auch 4. Ordnung. Im Quelltrichterkar S Lenkenspitze treten bei geringem Gefälle Quellbäche mit Eintiefungen von nur wenigen Dezimetern auf, deren Einzugsgebiete voneinander schwer zu trennen sind, da sie in einem von Blockströmen bedeckten oberen Karboden beginnen. Abgesehen von lokalen Uferunterspülungen können keine größeren erosiven Leistungen beobachtet werden. Die Flächen zwischen den Quellsträngen sind großteils stark vernäßt, von den Hängen her erfolgen stärkere solifluidale Bodenbewegungen. Das geringe Gefälle und diese von der Seite her wirkenden flächenhaften Massenbewegungen ermöglichen postglazial praktisch keine entscheidende Tiefenerosion oder Erweiterung eines Abtragstypus von linearem Charakter. In den oberen  $\frac{2}{3}$  des Einzugsgebietes, die von Blockströmen bedeckt sind, kommt es nur zu episodischen Schmelzwassergerinnen.

Ein anderer Typus mit langgestreckter Tiefenlinie, welche bereits mehrere Meter eingetieft ist und ein Dauergerinne besitzt, findet sich in mehreren SE anschließenden Rinnen. Diese Rinnen mit einem Gefälle von etwa  $33^\circ$  werden von Hängen von meist über  $35^\circ$  umgeben, auf denen Denudationsprozesse größerer Intensität wirken. Sie bilden Kahlflächen in der Mattenregion, auf denen Kammeissolifluktion, Rasenabschälung, Oberflächenabspülung und bei Hervortreten des anstehenden Gesteins auch Frostverwitterung stattfinden. Abb. 3 zeigt die Verbreitung dieser unter „Bodenerosionsflächen“ zusammengefaßten Abtragsformen, welche manchmal auch lineare Erstreckungen zeigen und so auch episodisch Murenbahnen darstellen können. Da das von den Seitenhängen anfallende Grobmaterial in der Tiefenlinie auch rascher transportiert werden kann (infolge der größeren Steilheit), kann auch die Einschneidung rascher vor sich gehen und auch die Erweiterung des Rinnenprofils entsprechend Schritt halten. In manchen Fällen kann auch zwischen einer schmalen, die Tiefenlinie umgebenden Zone intensiven Abtrags und besonders steiler Böschungswinkel und einer entfernteren Zone mit vorherrschender gebundener Solifluktion und somit langsamer flächenhafter Abtragung unterschieden werden. Diese Flächen sind aber in der überwiegenden Zahl ebenfalls den Rinnen 1. Ordnung tributär, nur an 3 relativ schmalen Hangstreifen ist eine Zuordnung zu Rinnen 2. Ordnung festzustellen.

Schließlich sind auch noch jene Typen von Einzugsgebieten 1. Ordnung zu beobachten, die den Normalfällen mit Wasserrinne, Kopfhängezone und Seitenhängezone entsprechen. Den Ausgangspunkt der linearen Eintiefung bilden in diesem Fall die Quellen. Bei kaum beobachtbaren intensiver wirkenden Hangprozessen in der Umgebung der Rinne ist deren Eintiefung in das Hangrelief meist nicht sehr schroff. Bei geringer Wasserführung kommt es nur zu langsamem Transport von Grobmaterial sowie zum Abtransport von gelösten und suspendierten Stoffen.

### *Rinnensysteme 2. und 3. Ordnung*

Die Tiefenlinien 2. und 3. Ordnung erreichen bereits eine Eintiefung von 22 m bzw. 85 m im Durchschnitt, wobei ihre mittlere Neigung noch nahezu  $30^\circ$  bzw.  $26^\circ$  erreicht (Tab. 1). Diese Tatsachen zeigen bereits die damit notwendig verbundene große Steilheit der Seitenböschungen, an denen in vielen Fällen lebhaft Denudationsprozesse zu beobachten sind; dabei kommt es nicht nur zur Mobilisierung der Boden- und Verwitterungsdecke, sondern auch zur aktiven und rasch verlaufenden Felsabtragung, die vor allem an S-exponierten Seitenflanken der Rinnen nischenförmige Denudationsformen (Plaiken) hervorruft. Diese Felsabtragsflächen (Abb. 3) erklären sich aus dem Zusammenwirken verstärkter Rinnenerosion, welche zur Hangunterschneidung führte, zu geringer Stabilität der Gesteine und einer intensiven Frostverwitterung an diesen meist S-exponierten Steilflächen der subalpiner Stufe mit einer besonders hohen Zahl an Frostwechseltagen (E. STOCKER, 1971, 163–174).

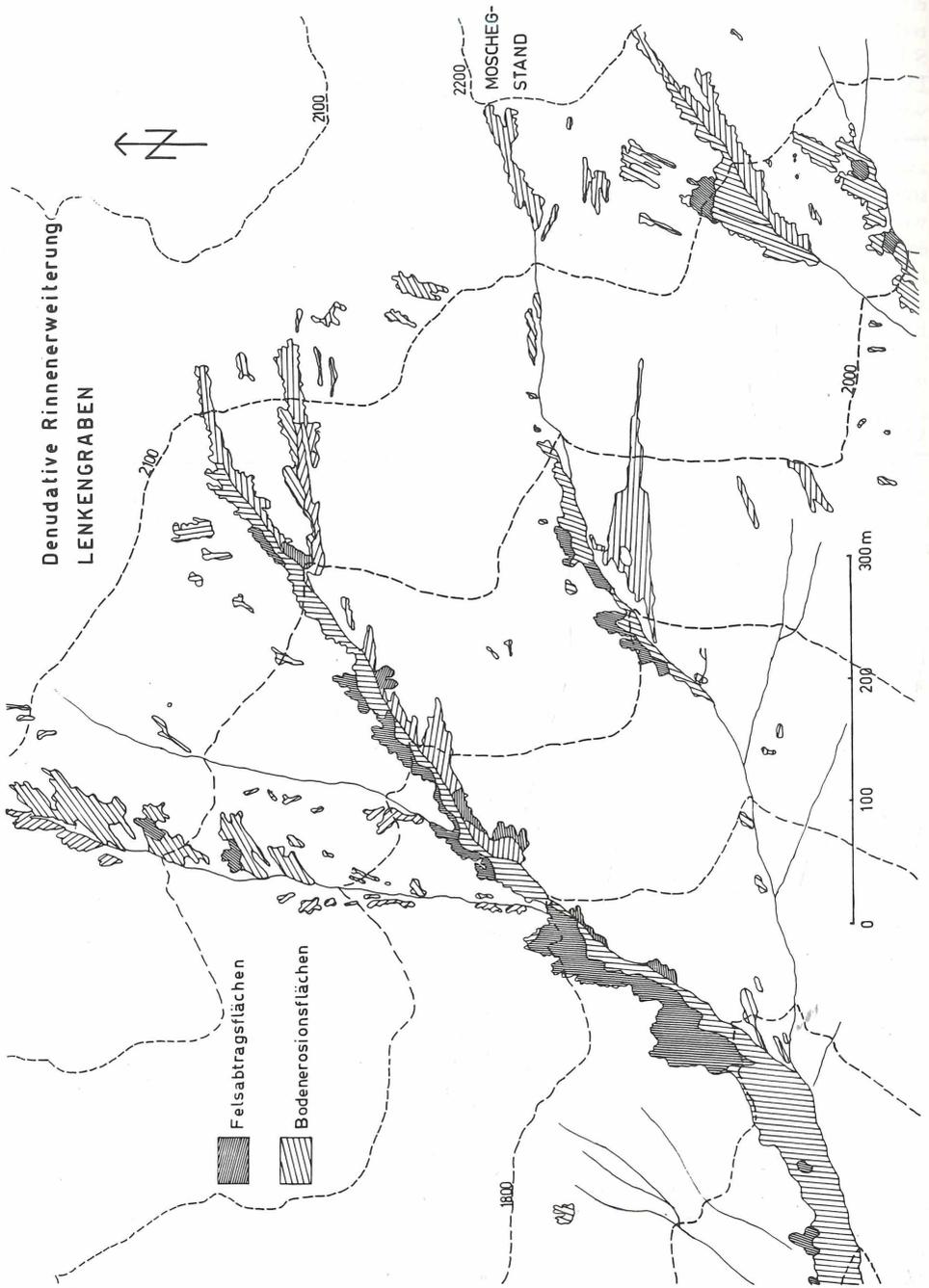


Abb. 3: Ausschnitt aus einem Teilgebiet des Lenkengraben-Einzugsgebietes mit starker Verknüpfung erosiver und denudativer Prozesse im Bereiche der Rinnen 1. und 2. Ordnung.

Die Besonderheit der Vergesellschaftung dieser Rinnen mit intensiv verlaufenden Denudationsprozessen und die Tatsache, daß die Rinnenquerprofile etwa in 5–15 m über der Tiefenlinie einen deutlichen Knick aufweisen, ermöglichten mit Hilfe von Profilanalysen und Abtragsmessungen nähere Rückschlüsse auf die Rinnenentwicklung in diesem Bereich. Die Knicke der Querprofile der Rinnen kennzeichnen eine Phase verstärkter Tiefenerosion; oberhalb der konvexen Knicke bestehen nahezu konstante Hangneigungen von 37°, darunter setzen wandartige Steilböschungen mit sehr unterschiedlichen Werten an. Diese Unterschneidung führte vor allem an jenen Rinnenseitenhängen, deren Gefälle quer zum Streichen der steil hangwärts einfallenden Phyllite verläuft, an manchen Stellen zu tiefergründigen Sackungen, zumindest aber zu einer oberflächennahen Umbiegung und Zerbrechung der s-Flächen. Damit war eine Herabsetzung der geomorphologischen Wertigkeit des Gesteinskörpers gegeben, und die durch die Felsbewegung verursachte Beanspruchung des Gesteins führt zu einer besseren Wasserwegsamkeit des Kluftsystems und der Schichtflächen und damit zu einer weit höheren Frostanfälligkeit. Mit der jungen Phase der Rinneneintiefung war die Entstehung eines sehr viel Material liefernden Felskliffs verbunden, dessen Stadien des Zurückwanderns sich an zahlreichen Rinnenquerprofilen beobachten lassen. Der in die steilen Tiefenlinien der Rinnen gelieferte Schutt fördert die weitere korrosive Erniedrigung der Bachbetten.

Die Vermessung von 24 Rinnenseitenprofilen und ihre Einordnung nach der Höhe der Felskliffoberkante über der Tiefenlinie ergibt eine Reihe, die sehr deutlich auf die Entwicklung der Rinnenseitenböschung hindeutet (Reihenprofil Abb. 4). Einfache nicht-lineare Regressionen (Exponentialfunktion) ergaben hohe Korrelationskoeffizienten zwischen dem Höhenunterschied des sich rasch entwickelnden Seitenhangabschnittes einerseits und andererseits dem durchschnittlichen Böschungswinkel, dem prozentuellen Höhenunterschied des steilsten Abschnittes sowie jenes Abschnittes mit einer Hangneigung über 44°, weiters dem Winkel des steilsten Abschnittes und dem Basisböschungswinkel. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten liegen alle im Bereiche der 99% Vertrauensgrenzen. So ergab auch die Berechnung der Schätzwerte für jeden einzelnen der Parameter für beliebige Höhenunterschiede sehr realistische Daten (Tab. 2).

	1)	2)	3)	4)	5)	6)
20	47,3	57,7	38,3	48,3	40,9	
40	45,1	55,4	30,7	39,1	39,4	
60	43,1	53,3	24,6	31,6	37,9	
80	41,1	51,2	19,8	25,6	36,5	
100	39,3	49,2	26,9	20,7	35,1	
120	37,4	47,3	12,7	20,7	33,8	
150	35,0	44,6	9,1	16,8	31,9	
$r =$	0,679	0,431	0,748	0,679	0,683	

Tabelle 2: Berechnete Schätzwerte für verschiedene Parameter aufgrund von 24 vermessenen Rinnenquerprofilen.

- 1) Höhenunterschied in m
- 2) Mittlerer Gesamtböschungswinkel
- 3) Mittlerer steilster Böschungswinkelabschnitt
- 4) Höhenunterschied des steilsten Böschungsbereichs in Prozent vom Gesamthöhenunterschied.
- 5) Prozentueller Höhenunterschied aller Böschungen über 44°
- 6) Mittlerer Basisböschungswinkel

Mit wachsendem Höhenunterschied der in rascher Entwicklung begriffenen Seitenhangprofile nimmt der durchschnittliche Böschungswinkel ab, und gleichzeitig verringert sich auch der Winkel des Felskliffs und vor allem dessen prozentueller Anteil am Gesamthö-

henunterschied; dasselbe gilt auch für alle Böschungen über  $44^\circ$ . Im Basisbereich (unterstes Drittel bezogen auf den Gesamthöhenunterschied) kommt es erwartungsgemäß nur zu einer geringen Abnahme der Neigung mit wachsender Höhe. Die graphische Darstellung der errechneten Werte zeigt eine gute Übereinstimmung mit den vermessenen Profilen, da aber nicht alle Teilbereiche der vermessenen Profilstrecken in der Korrelationsrechnung berücksichtigt wurden, sind kleine Abweichungen bei der Rekonstruktion der Entwicklungsreihe vorzusetzen. So ergibt sich bei der Verbindung der Oberenden der Profile ein konvexer Ausgangshang, eine Hangform, die bei der Berechnung der Abtragsmengen in den einzelnen Entwicklungsphasen nicht berücksichtigt wurde, da sie aus den tatsächlich vorhandenen Profilen nicht erschließbar war.

Verlängert man den Ausgangshang bis über den rezenten Rinnenboden, so ergibt sich, unabhängig von der Höhe des Felskliffs über der Tiefenlinie ein Einschneidungsbetrag von 5–15 m je nach dem Rang der Tiefenlinie (Abb. 4). Im Bereiche besonders widerstandsfähiger Gesteinskomplexe sind manchmal inselförmige Abtragsreste des Ausgangshanges erhalten; sie ermöglichen eine sichere Rekonstruktion der ursprünglichen Rinnenseitenböschungen. In diese V-förmigen Ursprungsformen schnitten sich die Bäche kräftig ein;

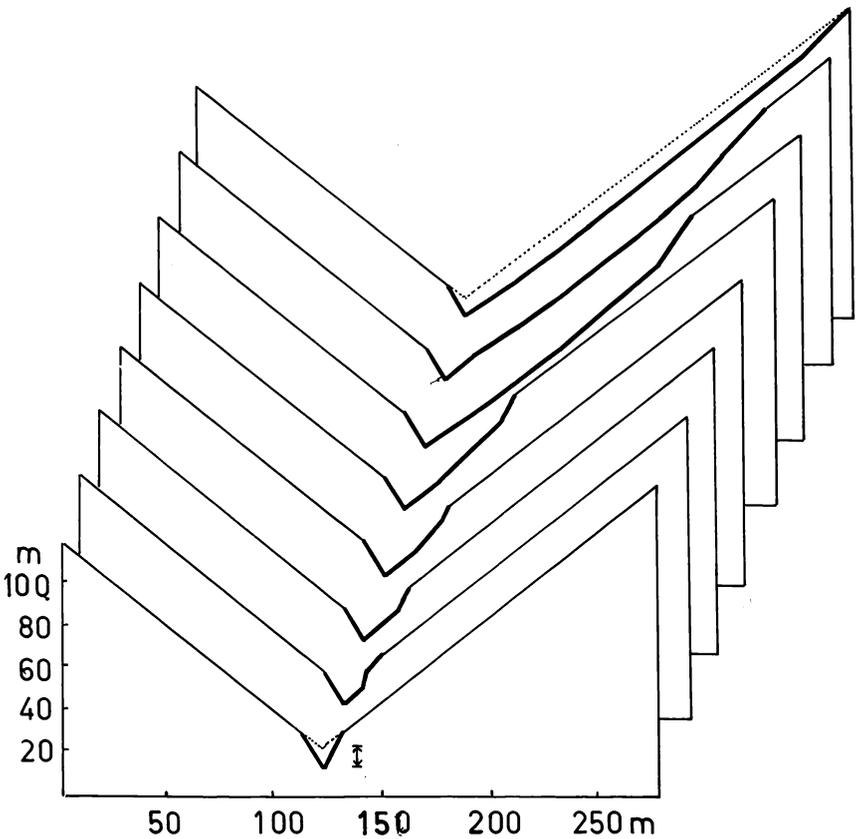


Abb. 4.: Das Reibenprofil zeigt schematisch die fortschreitende Hangentwicklung und Erweiterung des V-förmigen Grabenquerprofils. Die Konstruktion beruht auf Vermessungen von 24 Profilen. Die Ausgangshänge von  $37^\circ$  Steilheit wurden um einen Betrag von 10 m durch Rinnenerosion unterschritten. Am Ende der Entwicklung stehen gerade bis leicht konkave Hänge von 37 bis  $40^\circ$  Neigung.

dabei kam es entweder während der Phase der Einschneidung oder erst nachträglich als Folge einer tieferen Hangunterschneidung zu einer rascheren denudativen Entwicklung der Rinnenseitenböschungen. Die aufgrund des Einschneidens entstandenen Felsböschungen wanderten an vielen Stellen hangaufwärts zurück, wobei die Hangprofile zu dominierenden Konkaven umgewandelt wurden; an manchen Stellen kam es bereits zu einer Aufzehrung der Felskliffs und zu einer Begradigung der Hänge, die mit einer Stabilisierung der Denudationsprozesse verbunden ist.

Nahe dem Oberrand einer bereits stärker abgeschragten Felskliffzone wurden in einem Gesamtzeitraum von 1598 Tagen 49 Messungen des Steinschlagabtrags (meist Monatsmessungen) durchgeführt. Dabei ergab sich ein jahreszeitlich stark schwankender durchschnittlicher Abtrag von  $39 \text{ kg/m}^2/\text{Jahr}$ . Durch Bodenerosion auf den Kahlflächen kam es zusätzlich zu einem sommerlichen Abtrag von durchschnittlich  $12 \text{ kg/m}^2/\text{Jahr}$ . Unter Berücksichtigung von ca. 25% Abtragsverlust vor allem in den Übergangsjahreszeiten und im Winter und des Abtrages durch Kammeissolifluktion, die in den Messungen nur zu einem geringen Teil erfaßt wurde, kann mit einem Jahresabtrag von etwa  $65 \text{ kg/m}^2/\text{Jahr}$  gerechnet werden. In längeren Zeitabständen stattfindende Rutschungs- und Felssturzvorgänge sind allerdings unberücksichtigt.

Diese gemessenen Abtragswerte wurden zur Grundlage einer Berechnung über die Geschwindigkeit des Aufwärtswanderns eines Felskliffs herangezogen. Als Randbedingung galt die Annahme eines  $37^\circ$  steilen Ausgangshanges und eine Hangentwicklung nach abgeschlossener Einschneidung des Baches. Tatsächlich können Einschneidung und Rinnenprofilerweiterung auch gleichzeitig vor sich gehen, die Rinnenprofilerweiterung ist in den meisten Fällen jedoch als Folge der Einschneidung zu werten. Mittels Volumensbestimmung des Abtrags ließen sich so Rücktrittsraten des Felskliffs von  $6,4 \text{ cm/Jahr}$  im Anfangsstadium und  $11,8 \text{ cm/Jahr}$  in einem weiter fortgeschrittenen Stadium berechnen. Nur unter Berücksichtigung der Abtragsgeschwindigkeit bei den gemessenen Abtragsprozessen ergab sich für 20 m über den Rinnenboden hinaufreichende aktive Felskliffs ein Alter von etwa 260 Jahren, für 40 m hohe Formen ein solches von etwa 660 Jahren und für 80 m hohe Formen ein Alter von etwa 1420 Jahren. Zwar haben die Denudationsvorgänge, die zu dieser raschen Rinnenprofilerweiterung geführt haben, an vielen Rinnen lückenlos die Seitenhänge erfaßt, doch ihr verschieden weit hinaufreichendes Felskliff zeigt, daß infolge verschiedener geomorphologischer Wertigkeit der Gesteine und ihrer differenziert nach lokalen Gegebenheiten unterschiedlichen Aufbereitung durch Felsgleitprozesse dieser Entwicklungsprozeß verschieden rasch voranschreitet. Nimmt man am Beginn der Entwicklung noch eine etwas rascher verlaufende Felssturzstätigkeit an, so ist es durchaus denkbar, daß sogar ausgereifte, begradigte Rinnenseitenprofile nicht älter als ca. 1000 Jahre sind. Aber auch wenn man die Zeitspanne für die Begradigung eines 10 m tiefen Rinneneinschnittes mit einer damit verbundenen Rinnenprofilerweiterung bis 100 m über den Rinnenboden mit errechneten 1750 Jahren annimmt, wären die 80–100 m tief eingesenkten Rinnen 2. und 3. Ordnung unter der Voraussetzung ununterbrochener rascher Tiefenerosion und gleich rascher Rinnenprofilerweiterung nicht älter als 20.000 Jahre. Spätglaziale Seitenmoränenreste an Rinnenseitenhängen des westlichsten Rinnenastes bei dem WERNLE A., welche nur 20–40 m über der Tiefenlinie anzutreffen sind, erlauben jedoch keine derartigen weiteren Extrapolationen; die derzeitige Abtragsintensität erklärt zwar das Alter der herrschenden Entwicklung, wie jedoch die Knicke im untersten Profilabschnitt zeigen, ist diese Rinnenentwicklung mit ihrer hohen Abtragsintensität an den Seitenhängen nur auf diese jüngste Phase der Tiefenerosion mit einem Ausmaß von 5 bis 15 m zu beziehen. Eine erosive Hangentwicklung im Sinne von A. WIRTHMANN, 1977, 42–61, kann also zumindest kurzzeitig auch bei relativ weitabständigen Rinnensystemen vor allem bei instabilen Gesteinen in Gang kommen. Auch die älteren Rinnenseitenböschungen mit einem Hangwinkel von etwa  $37^\circ$  könnten Ergebnisse der geschilderten Vorgänge der

Rinnenerweiterung darstellen. Gerade in jenen Abschnitten, wo diese Prozesse der raschen Böschungswinkelentwicklung der Rinnenseitenhänge zu beobachten sind, kommt es auch insgesamt zur tiefsten Zerschneidung; die Hangentwicklung der Seitenhänge der Rinnen steuert in entscheidendem Ausmaß die Hangzerschneidung.

Eine ähnliche Entwicklung mit episodisch starker Aktivität beschreibt Th. C. PIERSON, 1980, 227–247, an einem System von etwa 100 m tief eingeschnittenen Gräben (Ravines), die in weichen, zerscherten, grauackentartigen Schiefen angelegt sind, aus Neuseeland. Auch hier werden die über 40° steilen Seitenhänge der Rinnen von vegetationslosen Steilabbrüchen mit Spülrinnen („scars“) begleitet. Neben dieser Parallelität bei den zu beobachtenden Prozessen konnte auch die Verknüpfung mit Spannungsrissen und Sackungserscheinungen im Gestein festgestellt werden. Mit Hilfe der fächerartigen Akkumulationen an der Basis konnten Phasen intensiver Erosion und Denudation und ein Mindestalter der Formen von 20.000 Jahren festgestellt werden.

#### *Rinnen 4. Ordnung*

Im Untersuchungsgebiet liegen nur mehr 2 Äste 4. Ordnung, welche bereits um 150 m eingetieft sind und infolge ihrer Steilheit von über 20° noch nicht als Täler zu betrachten sind. Bedeutendstes Merkmal der Seitenhänge dieser Rinnen ist die Konvexität der Böschungen, welche als Rest ursprünglicher Hangknicke, bedingt durch die junge Phase der Zerschneidung, zu deuten ist. Auch entlang dieser Rinnen sind ähnliche Denudationsprozesse zu beobachten, wenn auch in etwas geringerem Ausmaß; die begradigten konvexen Böschungen deuten auch auf ein weiter fortgeschrittenes Entwicklungsstadium. Zusätzlich sind die Seitenhänge dieser beiden Gräben durch fiederförmig angeordnete Zubringer 1. Ordnung gegliedert.

#### *Schlußfolgerungen*

Während in Gebieten mit reifer fluvialer Zertalung die Handhabung von Ordnungssystemen für Flußnetze keine größeren Schwierigkeiten macht, kommt es in alpinen Gebieten wegen der Überlagerung verschiedenster Formungsvorgänge zu äußerst starken lokalen Differenzierungen, welche sowohl die Festlegung der Ordnungen der Rinnensysteme erschweren als auch Korrelationen zwischen Größenordnungen der Gerinne und entsprechenden morphologischen Parametern ungünstig beeinflussen. Allein durch die höhenmäßige Abwandlung der dominierenden Abtragsprozesse können bedeutende Formenwandel im Gerinnenetz entgegnetreten. S. MORAWETZ, 1966, 53–56, sieht in der Grenze zum unbewachsenen Grobtschutt eine solche wesentliche Grenze von der flächenhaften zur linearen, durch Rinnen stärker dominierten Abtragung, da die in-situ-Schuttbildung der Anlage von linearen Systemen äußerst hinderlich ist. S. MORAWETZ, 1979, 201–203, betont aber auch den starken Umwandlungsprozeß von Systemen an der Übergangszone von Rinnen mit starker Schutförderung zu Quellstrangknoten unterhalb von Schutthalden. Die glaziale Überformung in der Trog- und Karregion stellt eine weitere Erschwernis für die Systematisierung von linearen Abtragsformen dar; Systemen von postglazialen Alter mit weitgehender Unausgereiftheit stehen relativ alte Hangfurchen gegenüber (E. STOCKER, 1974, 112). Anhand des Beispiels des Rinnensystems Lenkengraben kann gezeigt werden, daß eine erosive Hangentwicklung im Sinn von A. WIRTHMANN, 1977, 44, bei der das Geschehen in der Tiefenlinie der Rinne in unmittelbarem Zusammenhang mit der Denudation der Rinnenseitenhänge steht, nicht nur bei den engständigen Rinnenabschnitten erster Ordnung Platz greifen kann, sondern bei begünstigenden Gesteinsverhältnissen auch auf höherrangige Rinnenabschnitte übergreifen kann. In vielen Fällen ist jedoch das Areal zwischen den höherrangigen Bachabschnitten bereits so groß, daß sich Änderungen in der

Erosionsgeschwindigkeit nicht auf die gesamten tributären Seitenhänge auswirken, was sich durch Knicks in den Seitenhangprofilen äußert. Im alpinen Raum liegen leider noch kaum Studien vor, in denen Ordnungssysteme beim Studium von Formen der Hangzerschneidung getestet werden. Es wäre weiters zu prüfen, ob die von A. MARCUS, 1980, eingeführte Definition für die Einzugsgebiete 1. Ordnung breiter anwendbar wäre.

### *Zusammenfassung*

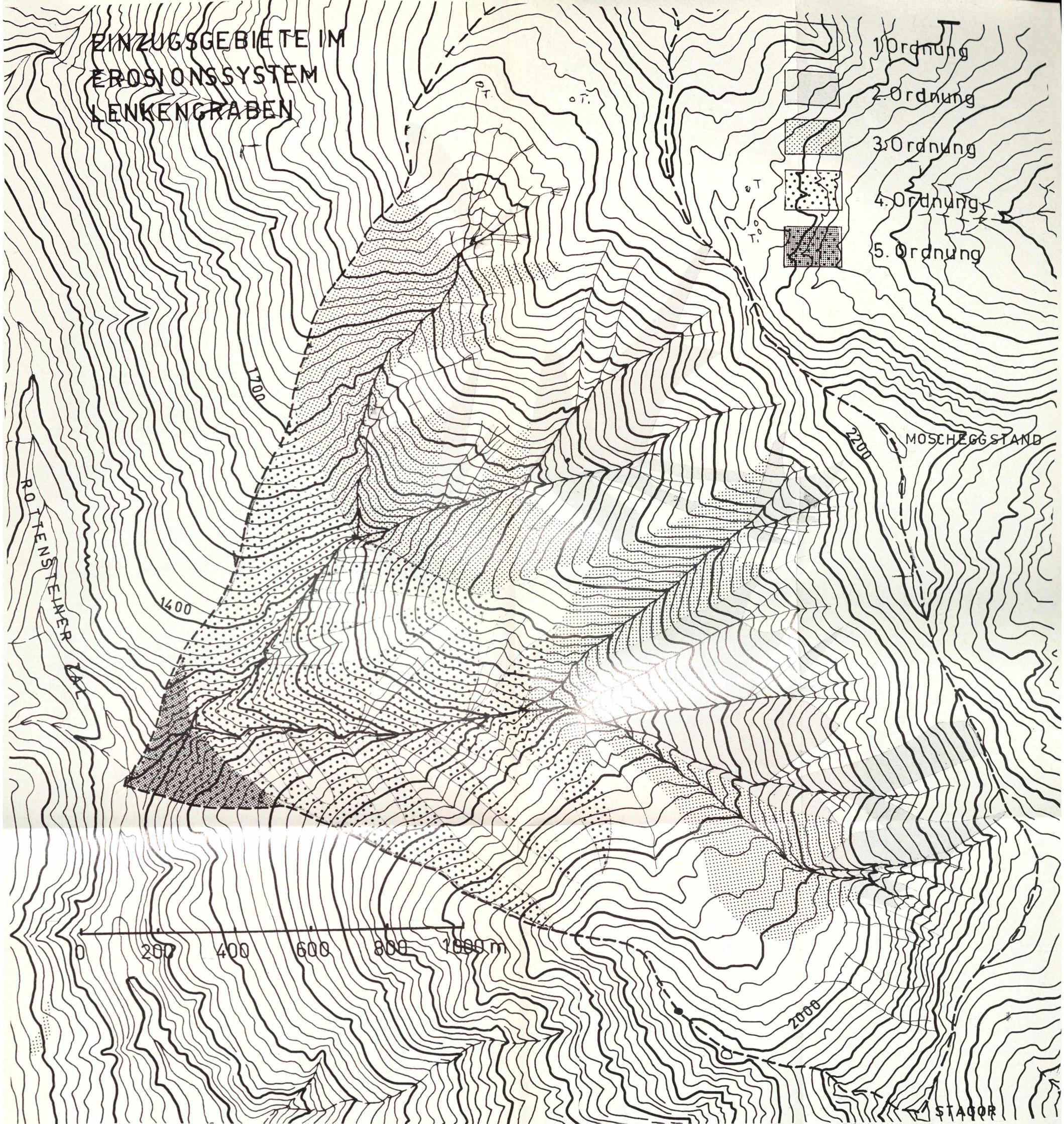
Formen der Hangzerschneidung sind in den Alpen besonders weit verbreitet. In Anwendung auf alpine Räume werden Fragen der Klassifizierung nach Ordnungen diskutiert und die dabei auftretenden Probleme, welche sich zunächst aus der Festlegung von Rinnen 1. Ordnung ergeben, besprochen. Der Wandel der dominierenden Abtragsprozesse nach Höhenstufen, starke glaziale Überformung sowie krasse Unterschiede im Reifegrad von benachbarten Formen der Hangzerschneidung erschweren Korrelationen zwischen Gerinneklassen und dazugehörigen morphologischen Parametern. Anhand des Beispiels einer Hangzerschneidung im Bereich des Lenkengrabens (Kreuzeckgruppe) werden Typen und Stadien einer erosiven Hangentwicklung untersucht. Deutlich können Übergangsstadien von gemischt denudativer und erosiver Formung und die Verknüpfung von Erosions- und Denudationsprozessen erfaßt werden. Auch bei höherrangigen Rinnenabschnitten kann, begünstigt durch Instabilität der Gesteine, lineare Eintiefung mit Rinnenprofilerweiterung einhergehen, welche die gesamten, bereits über 100 m hohen Seitenhänge erfaßt. Mittels Abtragmessungen und Profilanalysen der Rinnenseitenhänge wird der Versuch unternommen, das letzte Stadium der Rinnenvertiefung mit der folgenden rasch verlaufenden Erweiterung der Kerben zeitlich einzugrenzen.

### *Literatur*

- BÜDEL, J., 1948: Die klima-morphologischen Zonen der Polarländer. *Erdkunde* 2, 22–53.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G., & MILLER, J. P., 1964: *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco, 522 S.
- LOUIS, H., 1968: *Allgemeine Geomorphologie*, Berlin 522.
- LOUIS, H., 1975: Abtragshohlformen mit konvergierend-linearem Abflußsystem. *Münchner Geogr. Abh.* 17, 45 S.
- MARCUS, A., 1980: First-order drainage basin morphometry – definition and distribution. *Earth surf. proc.* 5, 389–398.
- MORAWETZ, S., 1962: Beobachtungen an Rinnen, Racheln und Tobeln. *Z. Geomorph.* 6, 260–278.
- MORAWETZ, S., 1966: Gebiete besonders starken Formenwandels in den Ostalpen. *Mitt. Österr. Geogr. Ges.* 108, 48–71.
- MORAWETZ, S., 1979: Zur Frage der Talentwicklungen. *Mitt. Österr. Geogr. Ges.* 121, 196–206.
- PIERSON, Th. C., 1980: Erosion and deposition by debris flows at Mt. Thomas, North Canterbury, New Zealand. *Earth surf. proc.* 5, 227–247.
- SCHWEIZER, G., 1968: Der Formenschatz des Spät- und Postglazials in den Hohen Seealpen. *Z. Geomorph. Suppl. Bd. 6*, 167 S.
- STOCKER, E., 1971: Plaiken – Erscheinungsbilder rascher Hangentwicklung. *Mitt. Naturwiss. Ver. d. Stmk.*, 101, 163–174.
- STOCKER, E., 1974: Morphometrische Studien an Rinnensystemen mittels Laborversuchen. *Mitt. Österr. Geogr. Ges.* 116, 108–118.
- STRAHLER, A. N., 1950: Equilibrium Theory of Erosional Slopes. Approached by Frequency Distribution Analysis. *Am. J. Sc.* 248, 673–696. In: *Benchmark Papers in Geology, Slope Morphology*, 161–201.
- WIRTHMANN, A., 1977: Erosive Hangentwicklung in verschiedenen Klimaten. *Z. Geomorph. Suppl. Bd.* 28, 42–61.

# EINZUGSGEBIETE IM EROSIONSSYSTEM LENKENGRABEN

- 1. Ordnung
- 2. Ordnung
- 3. Ordnung
- 4. Ordnung
- 5. Ordnung



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz](#)

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: [25\\_1983](#)

Autor(en)/Author(s): Stocker Erich

Artikel/Article: [Hangzerschneidung und Phasen der Rinnenentwicklung am Beispiel des Lenkengrabens, Kreuzeckgruppe 179-189](#)