

Wladimir Butwilowski

**Einführung in die theoretische Geomorphologie-  
eine Alternativdarstellung.**

Der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften  
der Technischen Universität Dresden

Kartographische Bausteine, Band 32

Institut für Kartographie der Technischen Universität Dresden

Dresden 2007

Herausgeber: Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie  
M. F. Buchroithner, N. Prechtel

Verfasser: Wladimir Butwilowski  
Hellerauer Str. 9  
01129 Dresden

Vervielfältigung: Institut für Kartographie, Kartographisch-Technische Einrichtung  
© 2006-12-12 beim Autor

ISBN: 3-86005-552-6

Bezug über: Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie,  
Helmholtzstr. 10, 01062 Dresden

E-mail: [steffi.sharma@mailbox.tu-dresden.de](mailto:steffi.sharma@mailbox.tu-dresden.de)

Titelbild: Altaigebirge, Plateau Ukok (Foto von Andrej KAPUSTIN, 2003)

## Vorwort

„Wozu schreibt man Bücher?“ - hat Leo TOLSTOJ gefragt und geantwortet: „Vielleicht wegen dem Wunsch, Geld, Ruhm und Ehre zu gewinnen oder andere Leute etwas zu lehren und von eigenen Gedanken zu erzählen...“. Wozu schreibe ich? Auch aus ähnlichen Gründen. Außerdem mag ich, was ich faszinierend finde, mit anderen zu teilen. Ich interessiere mich sehr für die Entstehung und Entwicklung der Natur. Daran habe ich mehr als 25 Jahre gearbeitet, ziemlich viel erkundet, nachgedacht, geprüft...

Um das Geschriebene sowie die Motivation und Stillart des Verfassers besser zu verstehen, ist es manchmal hilfreich, etwas mehr über den informiert zu werden. Meine geowissenschaftliche Tätigkeit wurde im Jahre 1978 an der Tomsker Universität (Russland) begonnen. Später arbeitete ich in geologischen Unternehmen und Naturschutzgebieten (geologische Kartierung, Goldseifensuche, Landschaftsforschung in West-, Nord-Ostsibirien und Altai). Anfang 1993 habe ich habilitiert und unterrichtete als Professor bis 1997 an den Hochschulen. Zu diesem Zeitpunkt wurden von mir 2 Bücher und etwa 80 wissenschaftliche Aufsätze veröffentlicht. Die gewonnenen Forschungsergebnisse bezüglich Goldseifen, Paläogeographie und Naturkatastrophen haben ihre Interessenten gefunden, auch im Westen.

Nach der Übersiedlung nach Deutschland setzte ich geowissenschaftliche Forschungen fort. Mein Projekt „*Theorie der Geomorphologie und geomorphologischer Kartierung: Neue Ansätze, Lösungen, optimierte Methoden - Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel des Altaigebirges*“ (Projekt BU 1205/1-1) wurde von der DFG als Forschungsstipendium bewilligt. So eine Unterstützungsmöglichkeit darf man hier aber nur einmal nutzen. Dann wurde ich arbeitslos. Meine Bewerbungen an verschiedene Betriebe, Behörden, Fakultäten brachten keinen Erfolg und sind in besten Fällen mit standartgleichen Absagen zurückgekehrt. 2001-2003 besuchte ich einen EDV-Kurs, lernte die „Beratung für Qualitäts,- Umwelt- und Sicherheitsmanagement“ kennen, absolvierte ein Praktikum bei einem geologischen Unternehmen und vieles mehr. Auch diese Aktivitäten waren erfolglos.

Es war also im Sinne wissenschaftlicher Verhältnissen ein fataler Fehler von mir, ins Land meiner Ahnen zurückzukehren. Der Rückweg ist jetzt auch keine effiziente Entscheidung. Ich beschwere mich nicht, letztendlich war ich selber schuld. Was kann und soll ich tun? Waren 25 Arbeitsjahre umsonst? Einige Zeit wollte ich gar nichts mehr. Aber die Erinnerungen an meine Lebensereignisse, an interessante Zusammenarbeit, spannende Diskussionen und offene Gespräche mit Kollegen und Freunden haben mir geholfen nicht aufzugeben. Schließlich ist an meiner Misslage nicht die Geomorphologie schuld und die Forschungsergebnisse haben es nicht verdient, einfach weg geschmissen zu werden (dafür wurde in Russland damals mindestens 3-4 Mio. € investiert). Besonders wichtig scheinen mir die Ergebnisse im Bereich theoretischer Geomorphologie. Einige davon wurden schon vor langer Zeit sowohl in russisch als auch in deutsch veröffentlicht, doch sie blieben, vor allem im Westen unbemerkt. Scheinbar interessiert man sich weniger, was für Begriffe, Elemente, Axiome, Gesetze, Theorien und Methoden zur Grunde der Geomorphologie liegen können und sollen? Man braucht aber nicht zu erklären, dass ohne diese Grundlagen die wissenschaftlichen Handlungen, mild gesagt, nicht besonders seriös sind. Deswegen ist dieses Buch in der Hoffnung, erneut das Interesse für fundamentale geomorphologische Probleme zu wecken, insbesondere bei der jungen Generation, geschrieben. Gerade für Studenten ist es auch wichtig Alternativen zu kennen, oder?...

Ich erinnere mich an einen deutschen Studenten, der bei einer Vorlesung auf seine, absolut gerechte Bemerkungsfrage keine vernünftige Antwort bekommen hat, sondern die Professorenbemerkung: „Haltet bitte solche Fragen bei euch, ihr habt noch keine Ahnung, wie man studiert“. Man kann sich vorstellen, wie sich dieser Student vorkam. Armer Kerl, er hat sich damals wirklich für das Fach interessiert, richtig zugehört und konnte dabei auch mitdenken und analysieren. Wo ist er jetzt? Hat er sein Studium absolviert oder abgebrochen?... **Diesem Unbekannten Studenten widme ich mein Buch. Lieber Student! Wir dürfen nicht aufgeben!**

## Danksagung

Ich möchte mich vor allem bei den russischen und deutschen Institutionen für die frühere finanzielle und arbeitsgemäße Unterstützung bedanken. Persönlich bin ich besonders dankbar meinem Lehrer Prof. Dr. Alexej SEMZOW, der mir die Chancen meine Ziele zu verwirklichen gab, den Dipl. Ingenieuren Andreas RICHTER und Alexander AWWAKUMOW, die mir einfach so geholfen haben, dem Dr. Viktor PANYTSHEW, Dr. Zoja CHWOROSTOWA, Dr. Nikolas PRECHTEL, Prof. Dr. Manfred BUCHROITHNER und Prof. Dr. Wolfgang KAULFUß sowie meiner Familie, die mich wissenschaftlich und moralisch unterstützt haben.

**Zusammenfassung:**

BUTWILOWSKI, Wladimir: Einführung in die theoretische Geomorphologie - eine Alternativdarstellung. Herausgegeben von Technischer Universität Dresden, Institut für Kartographie. Dresden, 2007. 169 S., 72 Abb., 16 Tab.

Grundlegendes Vorhabensziel ist eine originelle komplexe Darstellung theoretischer Grundlagen der Geomorphologie. Die Ausgangspunkte für die Erarbeitung dieser Grundlagen liegen in der allgemeinen wissenschaftlichen Methodologie, geomorphologisch-geologischen Fachliteratur, in den konzeptuell neuen Ideen und angewandten Forschungsergebnissen des Verfassers. Erarbeitete theoretische Grundlagen bestehen aus: 1. Ausgangselemente der Lithosphäre und des Georeliefs; 2. Gesetze und Prozesse ihrer Entstehung und Entwicklung; 3. Theorie der Geomorphogenese und der Geomorphostratigraphie; 4. morphogenetische Klassifikationen; 5. morphostratigraphische Klassifikationen. Exakt definierter Begriffsapparat, Axiome, Gesetze der Entstehung und Entwicklung des Georeliefs, Prinzipien der Analyse, Synthese und Synchronisierung der Georeliefeinheiten ermöglichen verschiedene geologisch-geomorphologische Theoreme zu formulieren und zu beweisen, vielfältige geologische Aufgaben (Rekonstruktionen, Szenarien, Prognosen) bei dem Vorhandensein bestimmter Ausgangsdaten zu lösen, rechnergestützte Verfahren für die Analyse und Synthese der Geodaten mit Hilfe von der GIS-Basis auszuarbeiten usw. Viele dargestellte theoretische Erkenntnisse sind im Hinblick auf den aktuellen Forschungsstand der Geomorphologie und der Geologie genügend neu und öffnen neue, auch alternative Möglichkeiten für die geologisch-geomorphologische Erforschung.

**Abstract:**

Butwilowski, Wladimir: Introduction into Theoretical Geomorphology – An Alternative Approach. Editor: Dresden University of Technology, Institute for Cartography, 2007, 169 p., 72 Fig., 16 Tab.

The overall objective of the publication is to give both an innovative and comprehensive presentation of the theoretical foundation of geomorphology. The initial points for the deduction of these basics can be found within general treatments of scientific methodology, within selected geomorphological and geological literature, and, last but not least, within new concepts and related empirical results stemming from the author of this book. The contents will be structured as follows: 1) Basic elements of the lithosphere and the relief; 2) Laws and processes of their development; 3) Theory of relief genesis and morpho-stratigraphy; 4) Morpho-genetic classification; 5) Morpho-stratigraphic classification. The attempt to exactly define all technical terms, along with a presentation of axioms and rules of relief development, as well as with principles of a morphological analysis will be used to arrive at a set of theorems. It will be shown that these can practically be used to solve geological tasks (historical reconstructions, scenarios, forecasts) on the basis of defined source data. Furthermore, the theorems shall allow to process geomorphological data using numerical approaches, especially within a GIS environment. It can be stated that many of the proposed theoretical findings are clearly different from what has been published so far, but will hopefully stimulate new, often alternative ways of geological and geomorphological research.

**Аннотация:**

Бутвиловский Владимир Викторович: Введение в теоретическую геоморфологию – альтернативное представление. Издание Технического университета Дрезден (Германия), институт Картографии, 2007. 169 с., 72 рис., 16 табл.

Основной целью книги является оригинальное комплексное представление теоретических основ геоморфологии. Разработка этих основ опирается на общую научную методологию, специальную геолого-геоморфологическую литературу, концептуально новые идеи и результаты полевых исследований автора. Теоретические основы объединяют: 1. Исходные элементы литосферы и георельефа; 2. Законы и процессы образования и развития этих элементов; 3. Теорию геоморфогенеза и геоморфостратиграфии; 4. Морфогенетические классификации; 5. Морфостратиграфические классификации. Строгие определения терминов понятийного аппарата, аксиомы, точные законы образования и развития георельефа, принципы анализа, синтеза и синхронизации элементов георельефа позволяют формулировать и доказывать различные геолого-геоморфологические теоремы, решать при наличии исходных данных разнообразные геологические задачи (реконструкции, сценарии, прогнозирование развития окружающей среды), разрабатывать компьютерные способы анализа и синтеза геоданных на базе ГИС и т.д. Многие представленные в книге теоретические решения являются принципиально новыми в геологии и геоморфологии и открывают как дополнительные, так и альтернативные возможности геолого-геоморфологического познания.

**Inhaltsverzeichnis**

Vorwort und Dank	3
Zusammenfassung	4
Abstract	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	7
<b>1. Einführung</b>	<b>10</b>
1.1. Allgemeinwissenschaftliche Methodologie	10
1.1.1. Wissenschaftliche Begriffe: Erklärungen und Definitionen	10
1.1.2. Einige Bemerkungen zu den allgemeinwissenschaftlichen Grundlagen	12
1.2. Vergleichsanalyse der Naturwissenschaften	17
1.3. Über den Forschungsstand und die Hauptprobleme der Geomorphologie	20
1.4. Ziel und Problemstellung	21
<b>2. Einführung in die Geomorphologie</b>	<b>22</b>
2.1. Geomorphologische Primärbegriffe: Erdoberfläche und Georelief	22
2.1.1. Oberfläche, Erdoberfläche	22
2.1.2. Relief, Georelief	23
2.2. Geomorphologie als Lehre über das Relief der Erdoberfläche	25
<b>3. Geomorphographie (Bestandteile des Georeliefs)</b>	<b>28</b>
3.1. Fazette (Hang) als elementare Einheit des Georeliefs und ihre Parameter	29
3.1.1. Fazette (Hang) als „energetische“ Homogenität	32
3.2. Reliefformen	35
3.3. Ranggrößen des Georeliefs	38
<b>4. Geomorphogenese (Kinematik und Dynamik der Georeliefentstehung und -entwicklung)</b>	<b>40</b>
4.1. Begriffe „Genesis“ des Georeliefs und „geomorphologische Grenze“	41
4.1.1. Genetische Aufteilung des Georeliefs	43
4.1.2. Geomorphologische Grenzen und Verhältnisse zwischen Hängen	44
4.2. Entstehung und Entwicklung des Disjunktivreliefs (DR)	45
4.2.1. Definition und Axiome des Disjunktivreliefs	45
4.2.2. „Bewegliche Schicht“ (Verwitterungsschicht) auf den Hängen des DR	46
4.2.3. Gesetze der Denudation (Entwicklung des DR) und ihre Beweisführung	50
4.2.4. Realer Verlauf und empirische Beweise der Gesetze der Entwicklung des DR	54
4.2.5. Einwirkung der Umwelt und die Gesetze der Entwicklung des DR	61
4.2.6. Gesetze und Mechanismus der Entstehung der Disjunktivhänge	64
4.2.6.1. Entstehung der Disjunktivhänge (Abbruchwand und ihre Transformation)	64
4.2.6.2. Kurze Analyse der Fehler des Modells von W. PENCK	68
4.2.7. Übergang zur denudativen Entwicklung der Disjunktivhänge	69
4.2.8. Empirische Bestätigungen des Modells der Entstehung von Disjunktivhängen	71
4.3. Entstehung und Entwicklung des Sedimentationsreliefs (SR)	78
4.3.1. Definition und Axiome des Sedimentationsreliefs	78
4.3.2. Gesetze der Entwicklung des SR und ihre Beweisführung	79
4.3.3. Empirische Beweise der Gesetze der Akkumulation	87
4.3.4. Theoretische Folgen der Gesetze der Akkumulation	89
4.4. Geologische Prozesse und Erscheinungen	90
4.4.1. Disjunktive geologische Erscheinungen (Prozesse)	90
4.4.2. Denudative geologische Prozesse und ihre geomorphologische Äußerung	91
4.4.2.1. Denudation durch die äußeren beweglichen Medien	91
4.4.2.2. Gravitative geologische Denudationsprozesse und Verwitterung der Gesteine	96
4.4.2.3. Empirische Daten zu den gravitativen Denudationsprozessen	100
4.4.3. Akkumulative geologische Prozesse und ihre geomorphologische Äußerung	101

<b>5.</b>	<b>Historische Geomorphologie (Geomorphostratigraphie)</b>	<b>106</b>
5.1.	Raum und Zeit (Struktur und Alter) in der Geomorphologie	106
5.2.	Chronologische Verhältnisse zwischen Disjunktivhängen	109
5.2.1.	Chronologische Eigenschaften des SR	111
5.3.	Geomorphostratigraphie und morphostratigraphische Modellierung	111
5.3.1.	Morphostratigraphische Einheiten des DR und Prinzipien der Geomorphostratigraphie	111
5.3.2.	Denudationsbasis als Grundlage der morphostratigraphischen Modelle	114
5.3.3.	Grundlage der Erstellung eines morphostratigraphischen Modells des Georeliefs	117
5.3.4.	Deformationen der Geomorphostruktur	127
5.3.5.	Empirische Bestätigung der Anwendbarkeit des morphostratigraphischen Modells	129
5.4.	Genetische Eigenschaften, Dynamik und Entwicklung des Georeliefs	131
5.4.1.	Genesis des Georeliefs als eine Grundlage paläogeographischer Rekonstruktionen	132
5.4.2.	Über Dynamik und Entwicklung des Georeliefs	133
<b>6.</b>	<b>Hauptklassifikationen der Georeliefeinheiten und geologischen Prozesse</b>	<b>135</b>
6.1.	Rangierung des Georeliefs	135
6.2.	Allgemeine morphologische Klassifikation des Georeliefs	138
6.3.	Allgemeine genetische Klassifikation des Mikroreliefs	141
6.4.	Allgemeine Klassifikationen der geologischen Prozesse	146
6.4.1.	Klassifizierung der Reliefformen und geologischer Prozesse für das Makro- und Mesoreliefs	148
6.5.	Klassifikation chronologischer Georeliefeinheiten und ihre empirische Grundlage	149
	<b>Schluss</b>	<b>154</b>
	<b>Literatur</b>	<b>155</b>
	<b>Anlage</b>	<b>164</b>
	<b>Autor</b>	<b>167</b>
	<b>Kartographische Bausteine</b>	<b>168</b>

**Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 2.1: Beispiel der Auszeichnung des Georeliefprofils auf einem realen Erdoberflächenprofil
- Abb. 2.2: Auszeichnung des Georeliefs auf einem Erdoberflächenprofil nach H. KUGLER u.a, 1980
- Abb. 3.1: Beispiel der Aussonderung der Hänge (Fazetten) auf einem fiktiven Kartenausschnitt (die Fazetten sind mit dicken Linien begrenzt). Maßstab 1:20 000
- Abb. 3.2: Geomorphographische Parameter und Kennzeichen des Hanges
- Abb. 3.3: Beispiele der Auszeichnung der linearen und punktierten Bestandteile von Reliefelementen in einem Kartenabschnitt und Georeliefprofil
- Abb. 3.4: Geometrische Darstellung der Größe der Schubkraft (FS) bei den verschiedenen Hangneigungen ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ )
- Abb. 3.5: Beispiele der Auszeichnung der Unebenheiten auf topographischen Karten und Gestalt der Reliefprofile einiger Unebenheiten (1-2; 1-2-5-6; usw.)
- Abb. 3.6: Arten von Profil- und Grundrissformen der Unebenheiten und ihre Auszeichnung auf der Karte
- Abb. 3.7: Reliefformtypen aus zwei Hängen
- Abb. 3.8: Typen der einfachen Reliefformen und ihre Gestalt in topographischen Karten und Reliefprofilen
- Abb. 4.1: Einfaches Modell des geologisch-geomorphologischen Kreislaufs
- Abb. 4.2: Geomorphologische Grenzen an einem topographischen Beispiel
- Abb. 4.3: Verhältnisse zwischen Georelief und Gesteinsschichten: a) diskordant; b) konkordant; c) Kombination von diskordanten (D) und konkordanten (S) Hängen
- Abb. 4.4: Geologisches Profil der beweglichen Schicht innerhalb disjunktiver Hänge: Beispiel des realen Aufbaus eines Abschnittes nach O.K. LEONTJEW & G.I. RYTSCHAGOW (1979)
- Abb. 4.5: Kinematisches Modell der Wirkung von Kräften innerhalb einer „beweglichen Schicht“ auf einem Hang
- Abb. 4.6: Zusammenhang zwischen vertikaler Mächtigkeit der „beweglichen Schicht“, Höhen und Neigungsstärke der Hänge
- Abb. 4.7: Profilmodell der Kinematik der parallelen horizontalen Verlagerung der Disjunktivhänge H1 und H2
- Abb. 4.8: Entstehung der Akkumulationsbereiche (A) bei ungleicher Verlagerung der Punkte disjunktiver Hänge
- Abb. 4.9: Profilmodelle der Kinematik unmöglicher Varianten der Entwicklung des Disjunktivreliefs (1-6)
- Abb. 4.10: Profilmodell der Kinematik der Transformation des DR und der Höhenlage der Nahtpunkte beim Wechsel des Typs und der Dynamik von Denudationsprozessen
- Abb. 4.11: Theoretische Isolinien maximaler gravitativer Tangentenspannung an den Hangbereichen (a, b) und Taleinschnitten (c, d), (nach E. P. EMELJANOWA, 1972)
- Abb. 4.12: e) Theoretische Kurven maximaler Tangentenspannungen an Hängen verschiedener Neigung (1. – Kurve ( $\tau_{\max}$ ) maximaler Tangentenspannungen; 2. – Bereich, wo die Tangentenspannung größer als die vertikale Kraftspannung ist; 3. – Bereich, wo die Tangentenspannung kleiner als die vertikale Kraftspannung ist) (nach E. P. EMELJANOWA, 1972)
- Abb. 4.13: Verwitterungs- und Denudationsspuren an alten Steinmauern in Dresden
- Abb. 4.14: Modell der Kinematik der „regressiven“ Denudation auf dem disjunktiven Hang durch die im Nahtpunkt entstehende Auflockerung und Rauheit
- Abb. 4.15: Beziehung zwischen Wasserabfluss ( $m^3$ /Jahr) und Entfernung von der Wasserscheide (vom Gipfel) des Hanges (m) bei verschiedener jährlicher Abflussniederschlagsmenge (R, mm/Jahr)
- Abb. 4.16: Beziehung zwischen dem Stoffabtrag ( $T/ha \cdot \text{Jahr}$ ) und der Entfernung von der Wasserscheide (vom Gipfel) des Hanges (m) bei verschiedener jährlicher Abflussniederschlagsmenge (R, mm/Jahr)
- Abb. 4.17: Modell der Entstehung des disjunktiven Hanges
- Abb. 4.18: Transformation der Abbruchwand bei ungleicher Größe der abgetragenen Gesteinsteilen
- Abb. 4.19: Profilmodell der Hangentwicklung (nach W. PENCK, 1960): Kinematik der Umgestaltung des steilen Hanges in flache Hänge bei unveränderter Lage der Denudationsbasis
- Abb. 4.20: Modell der Kinematik der Hangentwicklung bei der Entstehung eines neuen Disjunktivhangs (H2) und bei dem unvollendeten Transformationszyklus des früher entstandenen Hanges (H1)
- Abb. 4.21: Profilgestalt des DR und Modell seiner Entwicklung und Neubildung; a, b, c – Abfolge der Hebung, Neubildung und Lage der Disjunktivhänge
- Abb. 4.22: Modell der Entstehung und Entwicklung der Disjunktivhänge bei Beschleunigung, Verlangsamung und erneuter Beschleunigung tektonischer Hebungen eines Blocks
- Abb. 4.23: Beispielmmodelle der Entwicklung der Hänge
- Abb. 4.24: Hangbildung bei der Peneplenisation nach W. DAWIS (A) und bei der Pediplenisation nach W. PENCK (B) in der Interpretation russischer Geomorphologen (STSCHUKIN, 1964; LEONTJEW & RYTSCHAGOW, 1980; u.a.)
- Abb. 4.25: a – Geometrisches Modell der Kinematik der Entwicklung von Sedimenthängen unter

- Bedingungen ununterbrochenes Akkumulationsprozess. b – Geometrischer Beweis des 1. und 2. Gesetzes der Akkumulation durch die gleiche Menge der auf unterschiedlich geneigten Hängen akkumulierten gleichen Stoffteilchen
- Abb. 4.26: Profilmodelle unmöglicher Varianten der Entwicklung von Sedimenthängen unter Bedingungen ununterbrochener Akkumulationsprozesse
- Abb. 4.27: Profilmodelle der räumlichen lateralen Verschiebung der Verbindungspunkte von Sedimenthängen bei unterschiedlicher Geschwindigkeit der Akkumulationsprozesse (b), oder beim Kontakt mit einem Disjunktivhang (a)
- Abb. 4.28: Einfaches Modell der Kompaktion einer Säule von Gesteinsteilchen (K)
- Abb. 4.29: Profilmodelle der Kinematik der Kompaktion: A). Kinematik der Kompaktion nach 1. und 2. Gesetz; B). Ungleiche Kompaktion und Entstehung der Abbruchswände
- Abb. 4.30: Modelle der Kinematik der Entstehung disjunktiver Abbruchswände
- Abb. 4.31: Bewegungsformen und Wirkungsbereiche des Treibmediums an den Unebenheiten
- Abb. 4.32: Kinematik und Dynamikwirkung der Abreißkraft von einem beweglichen Medium am distalen Hang
- Abb. 4.33: Morphologische Spuren der Korrasion im Altaigebirge: vom Gletscher abgeschliffene Felsen an einem Trogtalhang im Tschulyschman-Tal; rechts unten eine Schutthalde (helleres Dreieck)
- Abb. 4.34: Größe der Wirkung der Schubkraft des bewegenden Mediums auf einen einzelnen Steinblock in seinem proximalen (Fp) und distalen (Fd) Bereich
- Abb. 4.35: Äußerung verschiedener Typen der Akkumulation im Georelief und in Sedimenten
- Abb. 4.36: Beispiele der realen sedimentativen Reliefformen (topographische Grundrisse und geologischer Aufbau): a). Riffeldünen (Aufwerfen), b). Schollenwälle (Aufschleppen), c). Nehrung (Aufrollen), Auenterrassen (Auflegen) und Delta (Schwemmkegel) (Aufschütten)
- Abb. 4.37: Links: riesiger Bergsturz (1) im Tschulyschman-Tal, rechts: Rutschung (Steingletscher) im Hochgebirge
- Abb. 5.1: Geometrischer Beweis des chronologischen Verhältnisses „Punkt A (Hang A) ist älter als Punkt B (Hang B)“ im Georelief
- Abb. 5.2: Räumlich-zeitliche Verhältnisse der Sedimenthänge zwischen einander und zu Disjunktivhängen am Beispiel des Reliefabschnitts „Bergsturz Saratan“ im Altai-Gebirge
- Abb. 5.3: Synchronisation der Georeliefeinheiten am Beispiel eines realen Kartenausschnitts des Altaigebirges (Einzugsgebiet des Katun); Biegungen der Nahtlinien sind geomorphologische Deformationen des DR
- Abb. 5.4: Globale und regionale Denudationsbasis und ihre möglichen Verhältnisse mit der Abfolge der Disjunktivhänge
- Abb. 5.5: Vernichtung lokaler tektonischer Störungen der DR-Struktur im Laufe ihrer denudativen Entwicklung
- Abb. 5.6: Morphostruktur des DR des Mittelgebirges im Einzugsgebiet des Flusses Karakokscha im Altai
- Abb. 5.7: Horizontale Lage der mesozoischen Nahtlinien im DR am Beispiel des realen Kartenausschnitts im Kusnezki-Alatau-Gebirge
- Abb. 5.8: Chronologischer Vergleich der Einheiten getrennter geomorphologischer Profile durch ihre Hauptmerkmale und geomorphologische Chronoskala
- Abb. 5.9: Synchronisation der Morphoniveaus einer tektonisch zerrissenen Morphostruktur des DR
- Abb. 5.10: Entstehung und Transformation eines disjunktiven Hanges bei mehreren gleichzeitigen tektonischen Zerreißen verschiedener Lage und Höhenamplituden
- Abb. 5.11: Synchronisation getrennter Neigungsgürtel (Morphoniveaus) (A...A4; B) bei verschiedenen Strukturen des Georeliefs
- Abb. 5.12: Synchronisation der Neigungsgürtel (B1...B7; C1...C6) und der Sedimentformationen (A1...A8) miteinander
- Abb. 5.13: Chronologische Verhältnisse zwischen Hängen des SR und DR und geologischen Sedimentschichten; Ermittlung des Alters der Sedimenthänge durch das Alter zu ihnen konformer Schichten
- Abb. 5.14: Umwandlung (Generalisierung) der sedimentativen Reliefkomplexe (Morphokomplexe) B, C, D in einen Teil des Reliefkomplexes A bei Betrachtung in einem kleineren Maßstab
- Abb. 5.15: Modell der Reliefentwicklung bei epirogenetischen Bewegungen
- Abb. 5.16: Entwicklung disjunktiver Hänge und einige, durch ungleichmäßige denudative Verlagerung entstehende laterale „Deformationen“ eines Neigungsgürtels
- Abb. 5.17: Mögliche (a) und unmögliche (b) Lage der Nahtlinien von Neigungsgürteln verschiedenen Alters, die durch tektonische plikative Deformationen versetzt wurden
- Abb. 5.18: Die Rumpftreppe des westlichen Erzgebirges (BÜDEL, 1935, Lage des Kärtchens siehe rechts, Äquidistanz 10m)
- Abb. 5.19: Schemata der Verhältnisse zwischen disjunktiven Rumpfflächen verschiedenen Alters in Ostafrika (nach BELOUSOW u.a. 1974) A – ohne Berücksichtigung der nachfolgenden tektonischen Vertikalbewegungen; B – mit Berücksichtigung tektonischer Bewegungen/Deformationen im Mesozoikum und Känozoikum
- Abb. 5.20: Abschätzung und Vergleich der Dynamik und des geomorphologischen Alters der Entstehung von Disjunktivhängen



- Abb. 6.1: Darstellung desselben Reliefabschnitts auf den Karten verschiedener Maßstäbe  
Abb. 6.2: Hänge verschiedener Ränge des Georeliefs auf einem Reliefprofil  
Abb. 6.3: Mögliche Änderungen des Status von Hängen verschiedenen Rangs des Georeliefs  
Abb. 6.4: Schema der physisch-geographischen Zonalität der Treibmedien auf der Erdoberfläche  
Abb. 6.5: Profil- und Grundrissgestalt morphostratigraphischer Einheiten des DR

### Tabellenverzeichnis

- Tabelle 4.1. Mengen des Wasserabflusses und abgetragenen Lockermaterials von einer Flächeneinheit in verschiedenen Entfernungen von der Wasserscheide eines Ackerhanges (nach M.J. LWOWITSCH, 1958)
- Tabelle 4.2. Durchschnittlicher jährlicher Abtrag des Gesteinmaterials (Denudationsschicht, **D**) von Hängen verschiedener Neigungsstärke in Kordillern Nordamerikas (nach EARDLY, 1967)
- Tabelle 4.3. Berechnung der horizontalen Verlagerung (**S**) verschiedener Hängen mittels Denudationsprozesse in den Kordillern Nordamerikas
- Tabelle 4.4. Mengen des abtransportierten Materials (Tonnen /km<sup>2</sup> Jahr) innerhalb der glazialen, periglazialen Zonen und der gemäßigten Waldzone der Gebirge (nach A.P. DEDKOW, 1992)
- Tabelle 4.5. Denudationsintensität (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> Jahr) für die verschiedenen klimatischen Bedingungen der Ebenen und Gebirge der Erde (nach J. CORBEL, 1964)
- Tabelle 4.6. Menge und Verhältnisse der energetischen Belastung auf Hängen verschiedener Neigung
- Tabelle 4.7. Schubkraft und ihre Verhältnisse zur Reibungskraft auf Hängen verschiedener Neigungen und bei verschiedenen Reibungskoeffizienten
- Tabelle 6.1. Parameter der kleinstmöglichen darstellbaren Hänge für die Kartendarstellung in verschiedenen Maßstabsgrößen
- Tabelle 6.2. Morphologische Klassifikation des Georeliefs (Klassen, Rang, Höhenlage, Steilheit und Maßstab)
- Tabelle 6.3. Genetische Klassifikation des Sedimentationsreliefs (Mikrorelief)
- Tabelle 6.4. Klassifikation disjunktiver geologischer Prozesse (für das Mikrorelief) und ihrer Erscheinungsmerkmale im Georelieft
- Tabelle 6.5. Klassifikation exogener geologischer Denudationsprozesse (für das Mikrorelief) und ihrer Erscheinungsmerkmale als Rauheit des Georeliefs
- Tabelle 6.6. Klassifikation der möglichen Dynamik der denudativen Prozesse entsprechend dem Widerstand der Gesteine und der wirkenden Treibmedien (für das Mikrorelief)
- Tabelle 6.7. Klassifikation azonaler gravitativer lithogener Denudationsprozesse (für das Mikrorelief) und ihrer Erscheinungsmerkmale als Rauheit des Georeliefs
- Tabelle 6.8. Klassifikation der allgemeinen und regionalen kartierten morphostratigraphischen Abteilungen (Einheiten) und sedimentativen Reliefkomplexe
- Tabelle 6.9: Vorläufige allgemeine geomorphologische Skala und ihre Synchronisation mit Zyklen der Entwicklung des Geosystems der Erde

# 1. Einführung

## 1.1. Allgemein wissenschaftliche Methodologie

„Im Laufe der Entwicklung jeder Wissenschaft kommt unvermeidlich eine Etappe, in der sie sich selbst zu verstehen versucht und sich selbst zu analysieren beginnt. Der Bau eines Hauses beginnt mit dem Fundament, doch beim Bau einer Wissenschaft erscheint ihr Fundament in der Regel relativ später“ (SALIN 1989, S. 124).

Für die Erarbeitung theoretischer Grundlagen der Geomorphologie ist eine Darstellung allgemeiner wissenschaftlicher Definitionen, Kriterien, Faustregeln und Organisationsstruktur als notwendig erwiesen sowie eine Analyse der Naturwissenschaften insbesondere im Vergleich zu einander. Dadurch kann man auch geowissenschaftliche Probleme, Ziele und Aufgaben richtig zu erkennen, zu formulieren und den allgemeinen wissenschaftlichen Forderungen zu unterordnen.

Die Wissenschaft ist im Prinzip ein Gebilde aus Erkenntnismethoden und exakten Kenntnissen über Etwas, das von Subjekten durch empirische Erkundung und Messungen sowie durch formal-logische Überlegungen festgestellt, geprüft und als Urteile und Definitionen dargestellt wird (BUTWILOWSKI 1995). „Ihre Glaubwürdigkeit wird immer in bestimmten Genauigkeitsgrenzen gebraucht, hinter denen zusätzliche Genauigkeit nicht effizient ist“ (GUMILOJW 1993, S. 353). Die Glaubwürdigkeit wissenschaftlicher Kenntnisse kann durch ihre Verwirklichung in logisch ausgebauten Theorien, in Experimenten und in der Praxis bewertet werden. Man sagt, dass es keinen Glauben in der Wissenschaft gibt und geben sollte. Tatsächlich aber basiert die Wissenschaft auf dem Glauben an den sogenannten „gesunden“ Menschenverstand, an Axiome und Logik. Die Hauptsache ist jedoch, dass diese Basis für die Problemlösung effektiv sein soll. Gerade von diesem Standpunkt ist es zweckmäßig, die Wahrheit und die Richtigkeit der Kenntnisse zu bewerten, und als wichtigste Kriterien dafür sind die Nützlichkeit, Einfachheit und Schönheit erwiesen. „Die Existenz der Wissenschaft bewährt sich selbst mit den gesellschaftlich nützlichen Ergebnissen, die sie liefert... Die Einfachheit in der Wissenschaft ist nicht nur ein Mittel für das Ersparnis des Denkens und Aufwandes, sie verringert das Auftreten von Fehlern und insbesondere das Auftreten eines verborgenen Widerspruchs“ (SALIN 1989, S. 141). Die Schönheit ist das von der Nützlichkeit und der Einfachheit abgeleitete Kriterium. „Die Suche nach der Schönheit führt zu derselben Auswahl wie auch die Suche nach dem Nützlichen und Einfachen“ - sagt POINCARÉ.

Die Grundlage der Wissenschaft besteht aus folgenden Teilen (WORONIN & EGANOW 1974, BUTWILOWSKI 1995):

1. **Anfangsbegriffe**, mit deren Hilfe wissenschaftliche Definitionen, Urteile und Axiome formuliert werden (z.B. „Punkt“, „Gerade“, „Winkel“, „Masse“, „Kraft“ u.a.);
2. **Forschungsgegenstand** (Etwas, das untersucht und erkannt wird);
3. **Ziele und Probleme** der Erkenntnis [das Ziel - Abbild des gewünschten Erkenntnisergebnisses; das Problem - eine gewisse Unwissenheit über etwas, was geklärt oder erkannt sein sollte];
4. **Forschungsmethoden** (Reihenfolgen von Handlungen, die zur Erkenntnis über etwas oder zur Lösung eines Problems notwendig sind);
5. **Fakten, Axiome und Gesetze** vom Forschungsgegenstand, **Theorien**, ihre **Anwendungsbereiche** und angewandten Verwendungsverfahren;
6. **Verbindungen** mit anderen Wissenschaften.

Solch eine Grundlage soll erschaffen, geprüft und entsprechend neuen Kenntnissen ständig präzisiert und verbessert werden.

### 1.1.1. Wissenschaftliche Begriffe: Erklärungen und Definitionen

„Überall, wo die Philosophie das Wesen zu ergründen suchte, konnte sie dieses „Wesen“ nur durch die Bedeutung des Wortes finden“ (SALIN 1989, S. 164). „Die Sprache stellt uns Fallen“ (LENK 1990, S. 94).

Wie gesagt, „am Anfang war das Wort“ und nur durch die Sprache kann man Überlegungen ausführen und Gedanken formulieren. Man kann den Begriff „Sprache“ als eine Gesamtheit von Zeichen (Schallzeichen, Bildzeichen usw.), die die Informationen äußern und übermitteln, definieren. Die wissenschaftliche Sprache „ist ein überaus wichtiges Erkenntnisinstrument“ (SHOL 1993, S. 97) und besteht aus Begriffen und Urteilen (Wörtern und Sätzen).

Die Begriffe bezeichnen den Forschungsgegenstand, Urteile - seine Eigenschaften, Beziehungen und Verhältnisse. Dabei besteht die Rolle eines Begriffes nicht nur darin, durch ein spezielles Wort eine komplizierte Auffassung zu bezeichnen und damit die Informationsermittlung und -übermittlung zu erleichtern, sondern auch darin, ein Mittel des internationalen Verkehrs zu werden (FLORENSOW 1978). Die meisten einfachen alltäglichen Wörter und Auffassungen, die das Wesen der Dinge äußern, werden oft zu wissenschaftlichen Begriffen und enthalten dabei ihren alltäglichen Sinn. Man kann dazu einige Beispiele aus der Physik geben: Gewicht, Dichte, Geschwindigkeit, Kraft usw. Die Bedeutung (Definition) der Begriffe wird subjektiv bestimmt und ist oft nicht exakt und eindeutig. Nicht ohne Grund sagten die altindischen Weisen, dass die überwältigende Mehrheit der wissenschaftlich-philosophischen Auseinandersetzungen nur deswegen auftritt, weil die Opponenten die Bedeutung und den Sinn ein und derselben Wörter und Sätze unterschiedlich verstehen.

Deswegen strebt man danach, wissenschaftliche Sprachen zu erschaffen, in denen die Bedeutungen der „Wörter“ (Begriffe) definiert (dargestellt, erklärt) sind, und mit deren Hilfe man seine Gedanken richtig äußern und eine Diskussion korrekt führen kann. Jede exakte Definition ist eine vereinbarte Annahme, die nach mehreren empirischen Prüfungen und logischen Überlegungen ermittelt und formuliert wurde. Aber „das schwierigste ist es, nicht irgendeinen Begriff wahrzunehmen, sondern diesen Begriff immer... nur in einem Sinne zu verwenden. Wenn seine Definition angenommen wurde, so muss sie die Kraft des strengsten Gesetzes bekommen“ (SALIN 1989, S. 181). Nur dann werden Begriffe, Sprache und Logik wissenschaftlich effektiv arbeiten.

Man muss betonen, dass „die Forderungen der Eindeutigkeit der geowissenschaftlichen Begriffe genauso streng sein müssen, wie in der Mathematik (...) Andernfalls werden die Gesetze der Logik - die Hauptgesetze jeder Wissenschaft, ohne die kein Urteil möglich ist, - unverwendbar sein“ (SALIN 1989, S. 151). „Man muss jede Aussage (wenn sie einen wissenschaftlichen Status beansprucht) absolut buchstäblich bis zum letzten Komma, d. h. streng formal, verstehen und anwenden. Wenn man sich allerdings bemüht, seine Aussagen nicht streng eindeutig zu behaupten, wenn man sich auf das Fassungs- und Überlegungsvermögen des Lesers verlässt, wenn man sich auf die unbeschränkte Zulassung für das Einfügen verschiedener Korrekturen in die Schlussfolgerungen verlässt, dann ist es leicht, Aussagen zu formulieren, dann sind alle beliebigen Improvisationen möglich... In der Wissenschaft schlägt dieser verantwortungslose Liberalismus jede Waffe der Beweisführung aus den Händen. Man kann sich auf nichts stützen, alles schwimmt, wackelt, entgleitet aus den Händen“ (SALIN 1989, S. 181). „Gerade die Eindeutigkeit macht wissenschaftliche Konstruktionen im eigentlichen Sinne mathematisch und jede eindeutige Äußerung ist auch im Prinzip eine mathematische Formel“ (SALIN 1989, S. 152). Dabei muss man nicht unbedingt Zahlen und Formeln benutzen. Die Zahlen und Formeln verändern den Inhalt der durch die Formeln aufgeschriebenen Begriffe oder Urteile nicht im Geringsten, wenn sie (Begriffe und Urteile) unexakt und widerspruchsvoll definiert sind.

Wie die wissenschaftliche Sprache sein sollte, ist nicht schwer zu sagen, aber diese Forderungen zu verwirklichen - das ist nicht leicht. Zuerst muss man die Bedeutungen der Begriffe bestimmen (definieren). Aber „in jeder Definition kommen Wörter vor, die andere Begriffe bezeichnen; in den Definitionen dieser Begriffe kommen wieder andere Begriffe vor usw.“ (SALIN 1989, S. 161). So entsteht ein geschlossener logischer Kreis. Damit dieser „Teufelskreis“ nicht entsteht, muss es Ausnahmen für einige Begriffe geben. Solche Ausnahmen können Primärbegriffe (Anfangsbegriffe, Basiswörter einer Sprache) sein, auf denen die ganze Struktur der Wissenschaft und ihrer Sprache aufgebaut wird. Diese Begriffe können nicht durch andere Begriffe definiert werden, was schon ARISTOTELES klar wurde. Die Basiswörter sind einfach nur Wörter, die man in der Sprache als Bezeichnungen für die einfachsten und wichtigsten Handlungen, Empfindungen, Dinge (stehen - gehen, gut - schlecht, ich - du) verwendet. Sie bilden die Grundlage der Sprache, man kann sie „zeigen“ durch eine Handlung oder ein Ding und damit einem anderen ihre Bedeutung **erklären**.

Es ist sinnvoll am Anfang anzunehmen, dass es „nicht wichtig ist, was die „Dinge“ sind, sondern wie man mit ihnen umgeht. Die „Dinge“ erklären sich durch ihre Eigenschaften und Beziehungen, die in den Axiomen festgelegt werden“ (ZÄCH 1990, S. 9). Man braucht einen Primärbegriff (als Bezeichnung eines Dinges) nicht zu definieren, d. h. man nennt das Ding „**Etwas**“ und erklärt oder zeigt, welche Eigenschaft und welche Beziehung dieses Etwas hat, was und wie Etwas macht. So ein Ansatz zur Erklärung der Primärbegriffe lässt das Paradoxon ihrer Definierung vermeiden, d. h. man kann ihre Definition durch eine Äußerung in Form einer Handlung oder Zeichnung ersetzen.

Auch „in der Mathematik bleiben die Primärbegriffe (z.B. „Punkt“, „Element“, „Gerade“, „Menge“ usw.) oft nicht definierbar“ (SALIN 1989, S. 170). Wie ist in der Geometrie z.B. so ein wichtiger Primärbegriff „Punkt“ schon vor 2600 Jahren von EUKLID erklärt worden? „Bei EUKLID findet man die klassische Definition: „**Ein Punkt ist, was keinen Teil hat**“, eine Formulierung, die eigentlich nur sagt, was der Punkt nicht ist“ (ZÄCH 1990, S. 9). Anders gesagt, der Punkt ist Etwas ganz unbekanntes, vielleicht alles Beliebige und relativ kleine, das aber immer die Eigenschaft hat, relativ so klein und deswegen nicht teilbar zu sein. Diese vereinbarte Eigenschaft des „Etwas“ ist schon vollkommen ausreichend, um durch sie die ganze Konstruktion der Geometrie „aufzubauen“ und alle sekundären Begriffe der Geometrie einzuführen, sie richtig und eindeutig zu definieren.

Die Entdeckung und Erklärung des Primärbegriffes (und damit der Ausweg aus dem „Teufelskreis“ seiner Definierung) sollten von der allgemeinen Konzeption und den Hauptzielen der Wissenschaft bestimmt werden. Jede beliebige Begriffserklärung und -definition wird also „effektiv sein, wenn sich aus ihr irgendwelche für die Entwicklung der Wissenschaft nützlichen Schlussfolgerungen ergeben“ (KOSYGIN 1974, S. 10). Oft wird die ganze Struktur einer Wissenschaft, im Grunde genommen, auf einem Primärbegriff (z.B. auf dem „Punkt“ in der Geometrie) aufgebaut. In der Logik wird es angenommen, wissenschaftliche Begriffe durch geeignete allgemeine Eigenschaften und durch die besonderen Eigenschaften der Dinge zu definieren. Es gibt 8 Regeln der Begriffsdefinierung (SCHARAPOW 1989), und zwar: Zweckmäßigkeit, Fachlichkeit, Eindeutigkeit, Begriffseinführung, Elimination, Klarheit, Wissenschaftlichkeit der Sprache und die Koordiniertheit. Ihre Nichtbeachtung führt zu 15 Arten von Fehlern (Chaos, Unsinn, Polysemie, Amphibolie usw.). Über diese Regeln wurde schon viel geschrieben und nachgedacht. Aber diese Regeln helfen bei der Formulierung der Definitionen leider zu wenig, sie helfen eher die Richtigkeit der bereits formulierten Definitionen zu beurteilen. Wie eine Definition formuliert werden sollte, muss der Forscher selbst entscheiden, ausgehend von der Logik, Intuition und wissenschaftlichen Kenntnis. Diese Aufgabe ist nicht einfach und erfordert eine aufwendige intellektuelle Arbeit und eine besondere Intuition. Nicht ohne Grund läuft die Arbeit an der Verbesserung der Definitionen in der Mathematik ständig und ist **äußerst respektiert** (KLINE 1984).

Um die Erklärungen eindeutiger und verständlicher zu gestalten, wurde von mir eine knappe Erklärung einiger allgemein wissenschaftlichen Begriffe dargelegt, welche weiter nur in diesem Sinne angewendet werden (**Anlage**).

### **1.1.2. Einige Bemerkungen zu den allgemeinwissenschaftlichen Grundlagen**

Der **Forschungsgegenstand** einer Wissenschaft soll also möglichst exakt definiert werden (Anlage). Er besteht aus materiellen und ideellen Komponenten, d. h. aus einer gewissen materiellen Realität und gedachten ideellen Modellen dieser Realität. Das Materielle ist beständig und „ewig“, das Ideelle - momentan und flüchtig und ist nur für das Empfinden des Subjektes charakteristisch. Nur das Subjekt ist fähig das Ideelle (Gedanken, Vorbilder) zu erzeugen, zu steuern und letztendlich die Gedanken in Texte und die geistlichen Vorbilder in Bilder oder materielle Konstruktionen zu verkörpern. Das Ideelle kann man in diesem Sinne als Urbild des Materiellen nennen. Durch das Ideelle wird das Ziel der wissenschaftlichen Tätigkeit verwirklicht: Erschaffung der adäquaten Modelle des Gegenstandes für ihren wirkungsvollen Einsatz in der praktischen Tätigkeit.

Die Wechselwirkungen zwischen den materiellen und ideellen Komponenten des Forschungsgegenstandes können unterschiedlich sein. In der Zeit des Werdens einer Wissenschaft überwiegt die materielle Komponente. D.h., die gewonnenen Kenntnisse sind überwiegend an konkrete materielle Gegenstände „gebunden“. Dann, **im Laufe der Entwicklung der Wissenschaft wird die Erforschung ihrer ideellen Komponente** (Modelle und Theorien) immer mehr wichtiger. Diese Tendenz ist z. B. in den Geowissenschaften noch schwer zu erkennen, aber sie ist ganz deutlich in der Physik, Chemie und umso mehr in der Mathematik ausgeprägt.

Außer Begriffe und ihrer Definitionen ist es sehr wichtig, die **Axiome** über die Eigenschaften des Forschungsgegenstandes zu formulieren. Die wissenschaftliche Erfahrung hat gezeigt, dass die Ermittlung und Formulierung der Axiome in bedeutendem Ausmaß eine Kunst (deduktive „Erleuchtung“) ist. Es gibt keine genauen Regeln und Anleitungen, wie man ein Axiom erschafft. Man muss sehr vieles durchdenken und die ganzen Kenntnisse auffassen, die in der gegebenen Wissenschaft und allgemein bekannt sind. Genau wie im Fall der Begriffsbestimmung gibt es nur Kriterien, welche bestimmen, wie die Axiome nicht sein sollten. Man muss die Folgen und die Anwendungsmöglichkeiten eines Axioms immer wieder durchrechnen, mehrmals seine Formulierung präzisieren und seine Wahrheit in Beziehung auf die Gesetze der Logik und andere Wissenschaften prüfen, sowie in Beziehung auf gesammelte Fakten.

Um die Axiome und wissenschaftlichen Theorien abzuleiten, ist es auch notwendig, Fakten zu haben. „Der Faktum ist ein registriertes Ereignis“ (SCHARAPOW 1989, S. 52). Man kann den Begriff „**Faktum**“ als richtiges Wissen über etwas, entsprechend bestimmten Genauigkeitsschranken definieren. Anders gesagt, der Faktum ist ein tatsächlich wahres Urteil über etwas, das man in Folge der Beobachtung oder des Experimentes feststellt. Dem Fakt steht die Fiktion (Illusion, Irrtum) gegenüber, es gibt keine falschen Fakten. Viele Forscher nehmen an (KRUT 1978), dass die empirischen Fakten (Beobachtungsdaten) äußerst subjektiv sind und nicht genügend exakt und wahr sein können, was die Schlussfolgerungen aus diesen Daten nur stochastisch macht. So eine Einstellung, die die Wissenschaft und das Weltverständnis zerstört, ist nicht richtig. Die Praxis hat schon unzählige Male die Falschheit von Urteilen über die Unmöglichkeit einer **genügend** exakten und wahrhaftigen subjektiven Wahrnehmung der realen Welt bewiesen.

**Wenn etwas** (Faktum, Urteil) **nicht tatsächlich wahr ist, so ist es falsch - in der Wissenschaft kann es nichts dritten geben.** Die Wahrheit existiert a priori, und wir sind fähig, sie zu erkennen. Folglich müssen wir als Axiom annehmen, dass unsere Beobachtungen, Urteile und Lösungen tatsächlich wahr sein können. „**Sein können**“

**bedeutet nicht, dass sie immer wahr sind.** Es gibt Fakten und Fiktionen und es gibt die einzig richtigen Lösungen und viele falsche. **Die Wahrheit wird durch die Praxis** („unendlich“ viele Prüfungen der Wahrheit) **und ihr Erzeugnis - formale Logik - geprüft, bewertet und festgelegt.** Nur das Subjekt stellt die Wahrheit fest und formuliert sie.

Die Ermittlung wissenschaftlicher Fakten ist eine äußerst wichtige Tätigkeit in der Wissenschaft und mit ihr sind alle Forscher beschäftigt. Neue Fakten beschleunigen die Entwicklung der Wissenschaft, sie festigen oder zerstören ihre theoretischen Konstruktionen und sind in jedem Fall ihr „Baumaterial“. Wie Tomas HECKSLY gesagt hat, die „größte Tragödie der Wissenschaft besteht darin, dass ein abscheulicher Fakt die wunderschöne Theorie vernichtet“ (zitiert nach W. CAREY 1991, S. 42). Natürlich ist er eine Tragödie für die Anhänger dieser Theorie, aber für die Wissenschaft ist er etwas Gutes, denn nicht eine „wunderschöne Theorie“ wird vernichtet, sondern ein Irrtum. Ein Fakt kann nicht „abscheulich“ sein; **das Wichtigste ist, dass ein Fakt tatsächlich ein Fakt ist und nicht eine Fiktion für einen Fakt ausgegeben wird.**

Man kann nicht sofort ein wissenschaftliches Werk vorschlagen, das keine Fehler und Irrtüme hätte. Fehler und Mängel kann man in jedem Werk finden, das ist nicht schwer. Aber **tausend Fehler überwiegen auf keinen Fall ein kleines Stück der neuen, tatsächlich wahren wissenschaftlichen Ergebnisse**, wenn es im gegebenen Werk vorhanden ist. Allerdings **muss man Angst davor haben, ein Fehler zu machen, aber man muss mehr Angst davor haben, unverstanden zu bleiben.** Wenn eine wissenschaftliche Darlegung begrifflich, klar und formal richtig ist, so werden die Fehler, die darin sind, leicht erkennbar sein. Aber wenn es in einer Darlegung keine Klarheit und feste Regeln gibt, so gibt es keine Kriterien für die richtige Feststellung der Fehler. Solch eine Darlegung und solche „Daten“ kann man bei der Lösung des Forschungsproblems überhaupt nicht benutzen.

Man sollte einige Bemerkungen zur Nutzung der sogenannten wissenschaftlichen „**Daten**“ machen. Die Forschungserfahrung am Beispiel der Geowissenschaften zeigt, dass wenn man beim Lösen eines wissenschaftlichen Problems alle zu diesem Problem bekannten „Daten“ und Meinungen als tatsächlich wahre Daten erklärt und sie als Grundlage der Lösung dieses Problems benutzt, dann wird dieses Problem nie gelöst, weil sich die Meinungen und „Daten“ zu fast jedem Problem in den Geowissenschaften sehr stark voneinander unterscheiden und einander widersprechen. Wenn man wirklich alle diesen „Daten“ und Meinungen, z. B. zur Erkenntnis der Paläogeographie der Quartärzeit, verallgemeinert, so wird das paläogeographische „Bild“ außerordentlich chaotisch und widerspruchsvoll. Gewissenhaft so ein „Bild“ erhaltend, ziehen einige Forscher (HEINE 1983) die Schlussfolgerung, dass die Erforschung des Pleistozäns uns angeblich dazu führt, dass es in der Natur nur Chaos gab, und dass das Prinzip des Aktualismus für die geomorphologischen und paläogeographischen Konstruktionen, die aus bekannten „Daten“ folgen, nicht wirksam ist. Tatsächlich kommt man beim Nutzen eines ähnlichen Ansatzes zu so vielen Widersprüchen, die man mit keinem Modell erklären kann, das ein bisschen dem gesunden Menschenverstand entspricht. Deshalb braucht man eine kritische Bewertung, Überprüfung und eine richtige Auswahl der empirischen Daten.

Der Aufbau einer Wissenschaft muss sich vor allem auf die **Logik** stützen. Sie umfasst die Methoden der Beweisführung und Widerlegung, sowie die Gesetze und Formen des richtigen Denkens (Logik 1995). Das, was logisch schlecht begründet ist, kann nicht auch praktisch gut sein. Die empirische Begründung der Logik ist unbegrenzt groß. **Das erlaubt uns vor allem, den Gesetzen der Logik den Vorzug zu geben bei jedem Widerspruch mit anderen Gesetzen.** Noch besser ist es, keine Widersprüche zuzulassen.

Die Grundgesetze der Logik sind folgende (Logik 1995):

- **das Gesetz der Gleichheit** (jeder Begriff muss sich selbst gleich sein und darf nicht während seiner Anwendung durch einen anderen Begriff ersetzt werden);
- **das Gesetz der Widerspruchsfreiheit** (zwei entgegen gesetzte Urteile können nicht in ein und derselben Beziehung tatsächlich wahr sein);
- **das Gesetz des ausgeschlossenen Dritten** (aus zwei entgegen gesetzten Urteilen kann nur das Eine tatsächlich wahr sein, das Andere ist immer falsch und etwas anderes darf nicht sein);
- **das Gesetz der ausreichenden Begründung** (jedes tatsächlich wahre Urteil soll genügend bewiesen oder begründet werden).

Die Kenntnisse (Fakten) über einen Forschungsgegenstand werden für die Formulierung von zwei Typen von Urteilen benutzt: **induktive und deduktive Urteile.** Die induktiven Urteile sind **Schlussfolgerungen**, die durch die Versuchseinschätzungen und Benutzung des konkreten Gegenstandes gezogen werden, sie sind Urteile „vom Einzelnen zum Allgemeinen“. Dadurch werden die sogenannten „empirischen“ Gesetzmäßigkeiten festgelegt. Die deduktiven, logisch gezogenen Urteile gehen nicht nur von den Fakten über das Gegenstand aus, sondern hauptsächlich von allgemeinen philosophischen und formal-logischen Kenntnissen. Die Richtigkeit und Nützlichkeit dieser Urteile werden durch die Praxis oder Experimente geprüft und bewiesen; sie sind Urteile „vom Allgemeinen zum

Einzelnen“. Das gilt für die Axiome, Hypothesen, Theorien, viele wissenschaftliche Gesetze usw. **Die deduktive Schlussfolgerung wird üblich als Formel „wenn etwas wirklich... ist, so...“ formuliert und muss logisch richtig sein** (SHOL 1993). „Die deduktive Schlussfolgerung garantiert ihre Wahrheit, wenn die Ausgangsaxiome tatsächlich wahr sind“ (KLINE 1984, S. 13). D. HARWEY (1974) behauptet sogar, dass die induktiven Erkenntnismethoden meistens nicht ganz wissenschaftlich sind. Es gibt keine exakten induktiven Urteile; sie sind alle nur wahrscheinlich (SHOL 1993).

Um die Fakten und Urteile zu gewinnen, muss man bestimmte **Forschungsmethoden** anzuwenden. „Die Methode ist die erste und wichtigste Sache. Von der Methode, von der Handlungsweise hängt die ganze Richtigkeit der Forschung ab“ - sagt der russische Biologe I.P. PAWLOW. „Die Methode ist wichtiger als eine Entdeckung“ - behauptet der Physiker L.D. LANDAU. Wenn man die Methode kennt und sie anwendet, so kann man die erwünschten Erzeugnisse herstellen und nicht umgekehrt. Man kann ein Erzeugnis erzielen (kaufen), aber es ist nicht immer leicht, es wiederzuerzeugen, denn dafür braucht man das Wissen über die Methode seiner „Herstellung“. „Man kann die Methodik begreifen, aber nicht das Erzeugnis“ (SALIN 1989, S. 255).

Die wichtigsten Forschungsmethoden sind allgemeine logische Methoden: **Analyse und Synthese, Induktion und Deduktion, Abstrahieren, Idealisieren, logische Urteile** (Schlussfolgerungen). Sie sind alle bekannt. Die Schwierigkeit liegt in ihrer Anwendung bei einem konkreten, noch ungenügend erforschten und nicht formalisierten Forschungsgegenstand, wie Georelief, Grundwasser usw. Sehr nützlich sind auch die **Experimente und theoretischen Forschungen** möglicher Verhaltensvarianten eines idealisierten Gegenstandes. Gemeinsam mit den empirischen Daten bereiten diese Methoden die Voraussetzungen für die Formulierung der Axiome des Verhaltens, der Beziehungen und Eigenschaften, die für den Gegenstand charakteristisch sind; und danach - zu der Ausarbeitung einer Hypothese, welche man unbedingt durch ein Experiment prüfen und in eine Theorie überarbeiten sollte. Außerordentlich nützlich für die Erkenntnis sind die **Idee der Elementabsonderung** (Aussonderung der homogenen „unteilbaren“ einfachsten Teile aus einem komplexen Gegenstand), die **Idee der Erhaltung der Masse und Energie**, die **Idee der Symmetrie**, die **Idee der Einheitlichkeit des physikalischen Weltbildes** (prinzipielle Analogie der Konstruktion und Entwicklungsverfahren der Dinge und Erscheinungen).

Die Natursysteme und -gegenstände sind äußerst kompliziert. Wie kann man das Wesentlichste des Gegenstandes hervorzuheben ohne Verlust seiner Erkenntnis? **Man sollte es so machen, dass das Wesentliche sich selbst zeigen könnte und das Unwesentliche unbemerkt bleibt**. Vieles hängt von den räumlich-zeitlichen Beziehungen des Gegenstandes und des Subjektes ab. Z.B., in den Grenzen des Sonnensystems sind die Forschungsgegenstände (die Planeten) und das Subjekt bedeutend weit voneinander entfernt. Dabei sind sie auf so eine Strecke entfernt, die zulässt, die Gesetzmäßigkeiten der Kinematik der Planetenbewegung zu erkennen und ihre kleinen zufälligen Abweichungen zu abstrahieren (diese Abweichungen sind einfach unbemerkt). Die zufälligen Störungen der gesetzmäßigen Entwicklung sind typisch für jeden Gegenstand, aber man beginnt erst bei großer Annäherung an den Gegenstand, sie deutlich zu sehen. Bei einer bestimmten Annäherung werden sie so groß, dass sie den gesetzmäßigen Veränderungen angemessen werden. Dies erschwert für uns sehr stark, die gesetzmäßigen Eigenschaften und Änderungen des Gegenstandes hinter seinen zufälligen Eigenschaften oder Änderungen zu erkennen (zu sehen). Anders gesagt, für eine genauere Erkenntnis des Gegenstandes sind bestimmte Rahmen seiner „Entfernung“ und bestimmte Zeitdauer seiner Beobachtung notwendig, bei denen das Subjekt in der Lage ist, die gesetzmäßige Entwicklung des Gegenstandes und zufällige Abweichungen von dieser Entwicklung zu sehen und zu erkennen (voneinander zu trennen). Bei einer sehr großen Entwicklungsgeschwindigkeit und Distanz zum Gegenstand sind seine Zufälle überhaupt nicht zu sehen, dabei wird auch sein Wesen, das sich in Form und Abfolge seiner Entwicklung äußert, ebenfalls schlechter erkennbar sein.

Z.B. bei der Erkenntnis der Elementarteilchen sind das Subjekt und der Gegenstand (Elementarteilchen) auf eine, im Bezug auf die Größe der Teilchen zu großen Entfernung voneinander entfernt und das Tempo der Teilchenbewegung (Entwicklung) ist äußerst schnell in Bezug auf die Möglichkeiten der Wahrnehmung des Subjektes (inklusive Geräte). Die Abfolge und Impulse der Bewegung einzelner Objekte wird deswegen nicht genau fixiert (Prinzip der Unschärferelation von HEISENBERG), es wird angenommen, dass diese Objekte gleichzeitig das Verhalten von Teilchen und Wellen haben. Anders gesagt, der Gegenstand verliert seine „Grenzen“ und verwandelt sich (für unsere Wahrnehmung) in eine kontinuierliche „Aureole“. Wenn er nicht über eine große Bewegungsenergie (Energie) verfügt, dann wird er überhaupt nicht erkennbar, es ist so, als ob er „unsichtbar“ wird (z.B. Vakuum?).

Näher als eine minimale Erkennungsdistanz wird ein Gegenstand als chaotisches verschiedenartiges Gebilde wahrgenommen, dessen Verhalten und Gestalt nicht zu sehen sind, sondern nur seine einzelnen Teile. Solche Beziehungen sind für die Gegenstände des gleichen Größenranges wie das Subjekt selber charakteristisch, wenn sie sich unmittelbar um das Subjekt herum befinden oder künstlich (durch Geräte) zu ihm angenähert werden. Das hat sehr gut der Dichter Sergej JESENIN ausgedrückt: „Von Angesicht zu Angesicht ist das Gesicht doch nicht zu sehen“. Z. B. kann man unter dem Mikroskop eine solche Vergrößerung der Abbildung einer Kante des Lineals

erreichen, dass es unmöglich festzustellen wird, dass sie ein Ausschnitt des Körpers ist, dessen Kante bei gewöhnlicher Wahrnehmung tatsächlich eine geradlinige Form hat. Das geschieht aufgrund der Mikrounebenheiten der Kante, die künstlich der Wahrnehmung des Subjektes angemessen gemacht wurden. Auch wenn man eine verlangsamte Aufnahme der Bewegung eines fallenden Wassertropfens macht, dann ist es zu sehen, dass diese Bewegung äußerst kompliziert ist. Statt einer vertikal nach unten gerichteten geradlinigen Fallbahn, wie es bei der normalen Wahrnehmung des Tropfenfallens eindeutig zu sehen ist, sieht man chaotische Bewegungen zur Seite, nach unten und sogar nach oben. Wenn man einen einzelnen Bewegungsabschnitt in diesem Maßstab betrachtet, so kann man sogar zu einer „begründeten“ Schlussfolgerung kommen, dass der Tropfen sich nach oben bewegt, d. h. falsch seine allgemeine Bewegung zu erkennen.

**Genau so sind unsere Erkenntnisbeziehungen mit der uns angemessenen Umwelt, deren meisten Komponenten sich im Verhältnis zu unseren Wahrnehmungsmöglichkeiten sehr langsam entwickeln.** Deswegen beobachten wir oft hauptsächlich die zufälligen Ereignisse und Schwankungen der Umweltentwicklung. Es fällt uns schwer das wirkliche Wesen des Gegenstandes und seiner Entwicklung richtig zu bewerten und das Gesetzmäßige von dem Zufälligen auf dem empirischen Niveau zu trennen. **Für die richtige Erkenntnis eines beliebigen Gegenstandes existieren besondere räumlich-zeitliche Beziehungen, die das Subjekt nur durch viele verschiedene Versuche feststellen kann.** Der Mensch verfügt über das Denken und ist fähig, die Beziehungen mit den Forschungsgegenständen künstlich mit Hilfe von Geräten, Beobachtungen, Messungen, Experimenten, theoretischen Modellen zu erzeugen und zu regulieren. Als Methoden der Erkenntnis sind auch die **Analogie** und der **Vergleich** sehr effektiv. P. S. TARANOW (1996) meint, dass mit Hilfe des Vergleichs eines früher unbekanntes Dinges mit einem schon bekannten das unbekanntes Ding uns bekannt und begreifbar wird. „Denn alles ist allem in irgendeiner Beziehung ähnlich“ - sagte PROTAGOR. Die Methode des Vergleichs und der Gleichstellung ist also eine Brücke zwischen dem Bekannten und Unbekannten. Diese Methode ist aber als Hilfsmethode für die Erklärungen der Begriffe, Urteile, Theorien und Gesetze geeignet.

Wissenschaftliche Kenntnisse werden im Endeffekt zu den Theorien verallgemeinert. „Die Theorie unterscheidet sich von der Hypothese dadurch, dass sie in bestimmten Bezügen tatsächlich wahr ist, die Hypothese dagegen ist vor allem nur logisch richtig“ (SCHARAPOW 1989, S. 58). Die wissenschaftliche Methodologie und die Logik stellen zahlreiche Forderungen an die Theorien und an die theoretischen Konstruktionen: die Nachvollziehbarkeit aus den Beobachtungen, die Eindeutigkeit, Widerspruchsfreiheit, Einfachheit, das Fehlen von logischen Kreisen in der Reihenfolge der Schlussfolgerungen, die Möglichkeit der Ergänzung durch neue Daten, die Vereinbarkeit mit anderen Modellen und Theorien (SALIN 1983). Die **Theorie ist ein Symbolmodell oder ein Verbalmodell**, das den Gegenstand idealisiert und vereinfacht. Sie ist eine miteinander gebundene Menge richtiger Schlussfolgerungen über etwas, bestätigt durch Experimente und die Praxis. „Von der Einstellung, „wie es wirklich ist“, kann jede Theorie zerstört werden, z. B. die Theorie der Mechanik (denn der Massenpunkt ist eine reine Abstraktion), oder der klassischen Thermodynamik und statistischen Physik usw.“ (Methoden 1978, S. 22). Die Realität ist gewöhnlich so kompliziert und unregelmäßig, dass man gezwungen ist, sie zu vereinfachen und zu idealisieren, um irgendwelche Theorien ihrer Wechselbeziehungen erschaffen zu können. Bildlich gesagt, die Theorie stellt „ein Sieb dar, das die unzähligen Daten durchsiebt und sortiert und ohne sie würden die Daten wie ein verwickelter Unsinnknäuel bleiben“ (BURTON 1963, S. 156). S.I. WAWILOW betont auch: „Viele Etappen der Wissenschaftsentwicklung wurden zeitweilig von bewusster Vernachlässigung einiger Fakten und einiger Erscheinungstypen, die die Lösung der Aufgaben erschwert haben, begleitet“ (zitiert nach J.S. SALIN 1989, S. 187). Die Theorien können genetisch, historisch, ursächlich sein. Aber nicht unbedingt. Keiner dieser Forderungen entspricht der Geometrie - einer Wissenschaft, die als perfektes Muster der theoretischen Konstruktionen dient. I. NEWTON, der danach strebte, die Physik analog zur Geometrie aufzubauen, betonte oft, dass die Ermittlung der Ursachen für die Erforschung der Dinge nicht zwingend ist.

Die Theorie in den Naturwissenschaften besteht aus zwei Teilen: 1) das Verhältnis der Eigenschaften des Gegenstandes mit mathematischen Größen; 2) die Gleichungen oder Gesetze, die die Zusammenhänge zwischen diesen Größen (Eigenschaften) bestimmen. „Bei dem Aufbau der Theorien darf man nur die Größen benutzen, die prinzipiell beobachtbar und messbar sind, - weist D. GAMOW hin“ (zitiert nach G. M. GOLIN 1987, S. 47). Zweckdienlich sollte man dabei auch dem Prinzip von U. OKKAMA folgen: „Enta non sunt multiplicaude praeter accessitatem“ (man braucht keine zusätzlichen Bestandteile in den Konstruktionen außer den Notwendigen).

Viele Forscher sind der Meinung, dass die empirischen Daten die Entwicklung der Theorie nicht fördern, und dass Theorien die empirischen Daten eher „betonen“ als diese Daten für den Aufbau theoretischer Konstruktionen benutzen. A. EINSTEIN behauptet sogar, dass „... man durch den Versuch eine Theorie prüfen kann, aber es gibt keinen Weg vom Versuch zum Aufbau der Theorie“. Diese Behauptung widerspricht der Logik und der Erfahrung wissenschaftlicher Forschungen und wurde ausgedacht, um beliebige „Theorien“ erschaffen zu können. Die „Theorie des Urknalls“ kann möglicherweise ein Beispiel dafür sein. Die Geschichte der Wissenschaft zeigt aber, dass die Kenntnisse ohne eine formal begründete Theorie entstehen können und effektiv benutzt werden können. Eine

**Theorie aber stützt sich immer auf die Kenntnisse und Experimente, die durch empirische Tätigkeit vieler Generationen gewonnen wurden.** Sie ist, bildlich gesagt, sowieso eine Auffassung irgendwelcher Erfahrungen und Experimente. Es gibt doch ein anderes Problem: „Wie ist der konkrete Weg von empirischen Daten zur Theorie?“ Diese Frage zu beantworten ist wirklich nicht leicht. Es gibt verschiedene Wege, sie sind uns jetzt bekannt, weil sie erschlossen sind. **Der Weg ins Unbekannte ist zuerst immer unbekannt, aber das bedeutet nicht, dass er nicht existiert.**

Man sollte zustimmen, dass „die Theorie etwas erklären sollte. Entsprechend der gegenwärtigen Sichtweise bedeutet das Erklären eines Gegenstandes oder einer Erscheinung sein Anknüpfen an ein Gesetz und die Feststellung seiner gesetzmäßigen Verbindung mit einem anderen Gegenstand oder Erscheinung. Ein Gesetz zu erklären bedeutet es an eine Theorie anzuknüpfen. Eine Theorie zu erklären bedeutet sie an eine allgemeine Theorie anzuknüpfen“ (SALIN 1989, S. 240). „Jeder Forscher ist verpflichtet, die Folgen aus seinen Schlussfolgerungen bis zum Ende zu verfolgen, auch wenn sie ihn in andere wissenschaftliche Disziplinen führen“ (CAREY 1991, S. 18). Zumindest sollte man danach streben. „Bei der Ausarbeitung alternativer Modelle und Hypothesen (...) ist es oft notwendig, die äußerste, sogar extreme Position einzunehmen, um die Mängel des alten Modells zu sehen und eine andere Entscheidung zu treffen“ (GREGORY 1988, S. 18).

„Das Hauptziel der Wissenschaft ist die Ausarbeitung der Theorien und Entdeckung der **Gesetze**“ (SCHARAPOW 1989, S. 67). Wie schon I. KANT gesagt hat, es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie und exakte wissenschaftliche Gesetze. „Das Gesetz stellt nur den verallgemeinerten Charakter irgendeines tatsächlichen Zusammenhanges (Abfolge, Wechselbeziehung usw.) dar. Die Erklärung der Erscheinungen beginnt nur mit der Koordinierung der Gesetze“ (FRESS & PIAGE 1966, S. 164). E.N. ELISEEW (1990) sondert 5 allgemeine Gruppen der naturwissenschaftlichen Gesetze ab:

1. **Gesetze der Wechselbeziehung und Wechselwirkung** (z.B. das dritte Newtonsche Gesetz, die dritte Regel der Thermodynamik, Prinzip von Le CHATELIER usw.);
2. **Gesetze der Erhaltung und Nachfolge** (das Gesetz der Trägheit, das Gesetz der Erhaltung der Masse und Energie usw.);
3. **Gesetze der Übereinstimmung** (das zweite Newtonsche Gesetz, die zweite Regel der Thermodynamik u. a.);
4. **Gesetze der Periodizität** (das Gesetz der periodischen Struktur der chemischen Elemente);
5. **Gesetz der Unumkehrbarkeit der Änderungen in der materiellen Welt** (die Entwicklung der Dinge verläuft unter Bedingungen des Ungleichgewichtes; dieses Gesetz spielt die Hauptrolle in den Naturprozessen).

Offensichtlich sollte man danach streben, die Auswirkung dieser allgemeinen Gesetze in den Geowissenschaften festzustellen und zu formulieren. Doch viele denken, dass es entweder keine eigenen Gesetze in der Geologie und Geomorphologie gibt, oder sie schlecht formuliert sind (Methoden... 1978). Sicher ist es, dass sie entweder noch nicht entdeckt worden sind, oder misslungen formuliert sind.

Auch das Problem der **Klassifizierung** ist eines der schärfsten Probleme in den Geowissenschaften. Seine Lösung lässt die Wissenschaft von einer empirischen auf eine theoretische Entwicklungsstufe erheben (LOSKUTOW 1989). Walter KUBIENA (1948) weist völlig richtig hin: „Zeigen Sie mir Ihr Klassifikationssystem, und ich sage Ihnen, wie gut Sie das erforschte Problem ausgearbeitet haben“. Die ungenau bestimmbaren Grenzen zwischen verschiedenen Elementen stören und diskreditieren das ganze System der Klassifikation (BOUL u.a. 1977). Man kann die „**Klassifikation**“ als eine Darstellungsform der unterschiedlichen Elemente eines Gegenstandes, entsprechend ihren Zusammenhängen und Reihenfolgen aufgebaut, definieren. Das Ziel der Klassifikation ist eine Darstellung wissenschaftlicher Kenntnisse über die Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten des Gegenstandes in einer einfachen, logischen und anschaulichen Form sowie die Voraussage neuer Klassen seiner Elemente und ihrer Eigenschaften. Die Richtigkeit und die Effektivität eines solchen Ansatzes bestätigt die Klassifikation der chemischen Elemente.

Man muss betonen, dass **beim Klassifizieren keine hierarchischen Unterschiede zwischen selten vorkommenden und oft vorkommenden Elementen gemacht werden sollte. Nur ihre unterschiedlichen Merkmale sind wichtig.** In der Chemie z. B. haben Eisen und Gold den gleichen Rang, obwohl das Gold in der Natur um Millionen Mal seltener vorkommt. Man muss die Klassifikationen durch die Theorien der gegebenen Wissenschaft aufbauen. Es gibt zwei Ansätze zur Erstellung der Klassifikationen: die deduktive (logische) Absonderung und Anordnung der Elemente und die induktive (empirische). Der erste ist effektiver und ist nur dann möglich, wenn es eine Theorie für den gegebenen Forschungsbereich gibt, den zweiten kann man benutzen, wenn so eine Theorie noch nicht ausgearbeitet ist. In diesem Fall wendet man quantitative Methoden des Klassifizierens (Clusteranalyse u.a.) an. Aber diese Methoden können oft keine exakten oder sogar falsche „Lösungen“ liefern und sollten nur als vorläufige, einer Weiterentwicklung bedürftige Lösungen betrachtet werden.



Man muss betonen, dass die Menge der Elemente nicht immer vollständig bekannt ist. Deswegen wäre es richtiger, zuerst alle für die Elemente bekannten Gesetzmäßigkeiten und Abfolgen zu analysieren, zu durchdenken und auszuwählen, dann auf ihrer Grundlage die Struktur der Klassifikation zu entwerfen und nur danach die Mengen der zur Zeit bekannten Elemente mit diesen Gesetzmäßigkeiten und Struktur ins Verhältnis zu setzen. „WHITEHEAD (1925) sagt: „Wenn Sie durch Ihre Klassifikation nicht zur Mathematik übergehen können, haben ihre Überlegungen nicht vielen Wert“ (zitiert nach BOUL u.a. 1977, S. 264). „Richtige Klassifikationen spielen in der Wissenschaft die gleiche fundamentale Rolle wie die Gleichungen der Grundgesetze in den exakten Wissenschaften“ (Geologische Körper 1986, S. 65). Die Regeln des Klassifizieren der Elemente (Dinge, Individuen) sind folgende (Logik 1995):

1. **Die Einteilung muss angemessen sein;**
2. **Die Einteilung sollte durch ein Merkmal erfolgen;**
3. **Die Glieder der Einteilung sollten einander ausschließen;**
4. **Die Einteilung sollte lückenlos sein.**

Dabei müssen die Klassen diskret (jedes beliebige Element darf nur einer Klasse angehören) und die Elementmerkmale exakt sowie für alle Elemente der gegebenen Klasse richtig sein (Geologische Körper 1986). Die Klassifikationen werden gewöhnlich als Text, Tabelle und „Klassifikationsbaum“ dargestellt; nach Ju. I. LOSKUTOW (1988) ist die beste Methode der Klassifikationsdarstellung ein „Klassifikationsbaum“. Das ist nicht ganz richtig; jedem Fall entspricht eine bestimmte Form der Klassifikation, obwohl die **Tabellenform** am effektivsten erscheint, was das Periodensystem der chemischen Elemente bewiesen hat.

Diese Vorgehen sind also allgemeine Normen wissenschaftlicher Tätigkeit. „Wissenschaften, die unabhängig von den allgemein wissenschaftlichen Normen sind, gibt es nicht und kann es nicht geben“ (SALIN 1989, S. 146). Wenn irgendwo die allgemeinen wissenschaftlichen Normen nicht erfüllt werden, wirkt es sich unvermeidlich auf die praktische Effektivität der Forschungen aus. Die besten Beispiele liefern darüber die sogenannten exakten Wissenschaften. Es gibt genug Probleme auch in der Mathematik und Physik (KLINE 1984), aber hier ist eine große Problemmenge genügend exakt und widerspruchsfrei gelöst worden, und sie „arbeiten“ effektiv in der Praxis. Man muss dabei betonen, dass „die exakten Wissenschaften nicht deshalb so bezeichnet werden, weil sie in allem exakt und glaubwürdig sind, sondern weil man die Größe der Lösungsungenauigkeiten in diesen Wissensbereichen kennt“ (LJUBISCHEW 1975, S. 25). Die Mathematik und Physik können also als Vorbild wissenschaftlicher Problemstellungen und -lösungen benutzt werden.

## 1.2. Vergleichsanalyse der Naturwissenschaften

„Die Geologie kann nur dann ein echtes theoretisches Niveau erreichen, wenn sie eine neue Denkweise erschafft, die sich auf das System der speziellen und allgemeinen Theorien, auf eine exakte wissenschaftliche Sprache und auf ein verbessertes System von Methoden stützt“ (PAWLOW 1990, S. 147).

Als wissenschaftliche Lehren befinden sich Geowissenschaften noch im Stadium des Werdens (HARVEY 1974, SALIN 1983, SCHARAPOW 1989, BUTWILOWSKI 1995, u.a.) und es ist wichtig, dieses Stadium möglichst schnell zu überwinden. Dafür ist die Erfahrung von anderen Naturwissenschaften (Mathematik, Physik, Chemie usw.), die diesen Weg schon erfolgreich vollbracht haben, außerordentlich nützlich. Aus dem Vergleich zwischen Geowissenschaften und „exakten“ Wissenschaften werden ihre Unterschiede deutlich sowie was in diesen verbessert werden sollte.

Wie der Rückblick auf die geowissenschaftlichen Ergebnisse immer wieder zeigt, treten hier viel zu viele Unklarheiten fast bei jedem Forschungsbereich hervor (SALIN 1983, SCHARAPOW 1989, u.a.). Aufgrund der Unvollkommenheit der Begriffsdefinitionen und der formal-logischen geowissenschaftlichen Basis können die Opponenten einander sehr oft die Richtigkeit ihrer Vorstellungen und Ergebnisse nicht beweisen. Eine notwendige Verbesserung der Begriffsdefinitionen sollte deswegen im Mittelpunkt stehen, aber bis heute nimmt man diese Arbeit nicht ernst genug. In der Physik und Mathematik dagegen war und ist die Verbesserung der Definitionen immer an der Spitze der Beachtung und wurde nie als „Anschlag“ auf die Autoritäten empfunden. Dabei basieren die Physik und Mathematik nur auf etwa 50-100 Hauptbegriffen; aber die Geowissenschaften sind mit tausenden Begriffen überlastet und viele von denen dabei misslungen definiert. Sehr oft wird hier ein Begriff durch einen unbekanntem Begriff oder durch sich selbst definiert, oder überhaupt nicht definiert.

Bei der Erkenntnis eines Forschungsgegenstandes idealisieren die Physiker seine Eigenschaften und abstrahieren viele seiner Beziehungen und zufälliger Abweichungen. Die Geowissenschaftler streben gewöhnlich danach, den Forschungsgegenstand zu verkomplizieren, alle seine möglichen Beziehungen in Betracht zu ziehen. Die Physiker

bezeichnen eine wissenschaftliche Arbeit als theoretische, wenn sie sich auf ein Modell stützt, das den allgemeinen wissenschaftlichen Forderungen entspricht, keine formal-logischen Fehler enthält und neue kontrollierbare Kenntnisse und Gesetze ermitteln lässt. Die Geologen bezeichnen eine Arbeit als theoretische, wenn sie kausale und genetische Schlussfolgerungen enthält, welche einige wahrscheinliche Voraussagen treffen können. Dabei wird „dem Formulieren geologischer Gesetze wohl ungenügend Beachtung geschenkt“ (SCHARAPOW 1989, S. 56).

Die Physiker analysieren die möglichen Aufgabenstellungen, die Einzigartigkeit ihrer Lösung sowie ihre exakte Anwendbarkeit in der Realität, aber die Geowissenschaftler können das meistens nicht. Tatsächlich hat I.P. SCHARAPOW (1989) Recht, dass eines der wichtigsten Probleme der Geowissenschaften in der schlechten Formulierung der Probleme, Hypothesen und Aufgaben besteht. Die Physiker bauten die Hypothesen als mathematische Aufgabenstellungen auf der Basis eines Modells und der exakten wissenschaftlichen Gesetze, aber die Geowissenschaftler bauten sie mithilfe eines bildlichen Modells auf dem Grund der Überlegungen, welche für glaubwürdig gehalten werden. Dies alles behindert die Entwicklung der geowissenschaftlichen Theorien (WORONIN & EGANOW 1974).

Für die Erkenntnis der Umwelt verwendet man oft die so genannte Systemanalyse, die die ganze Kompliziertheit des Forschungsgegenstandes berücksichtigen muss (KEDROW 1967). Diese Analyse ist in den Geowissenschaften wegen der Unvollkommenheit ihrer wissenschaftlichen Grundlage noch nicht geeignet. Das Haupthindernis in der Anwendung dieser Analyse besteht auch darin, dass **eine exakte Erkenntnis der Wechselwirkung mehrerer, sich gleichzeitig ändernder Komponenten nicht möglich ist**. „Die Aufgabe der Bestimmung der Bewegung mehrerer aufeinander einwirkender Körper... ist mathematisch so schwierig, dass sie sogar bis heute allgemein ungelöst geblieben ist. Sogar im Fall von drei miteinander wirkenden Körpern sind ihre Bewegungen so kompliziert, dass man keine allgemeinen Formeln ziehen kann, nach denen man ihre Position im Raum mathematisch exakt bestimmen könnte“ (KLIMISCHIN 1976, S. 90), was LAGRANGE schon im Jahre 1772 festgestellt hat. Die Aufgabenstellung der gleichzeitigen Erfassung mehrerer ändernder Naturkomponenten ist also eine unlösbare Aufgabe und hat auch in den Geowissenschaften kaum was zu suchen. Aber die Geographie oder Geologie stellen gerade ähnliche Aufgaben in Vordergrund der Forschungen.

Man behauptet (BOUL et.al. 1977), dass die Umweltkomponenten in folgender Reihenfolge erforscht werden sollten: 1. Registrierung und Kartierung; 2. Klassifizierung; 3. mathematisches Abstrahieren. Diese Handlungsabfolge ist jedoch typischer induktiver Forschungsansatz, welcher schon in den Geowissenschaften realisiert wurde und schon lange kaum neue Kenntnisse liefert. Wie lange kann man etwas immer wieder registrieren und kartieren, das noch unexakt definiert und ungenau klassifiziert ist? „Die Folgen eines solchen Ansatzes sind Schlussfolgerungen, die unmöglich zu beweisen sind, Ergebnisse, die man nicht reproduzieren kann, Bewertungen, die Geschmackssache von jedem selbst sind und Streit, der nicht entschieden werden kann. Das wissen viele Spezialisten sehr wohl... Der Geologe hat immer zwei Meinungen - ist der Lieblingsscherz der russischen Geologen“ (SALIN 1989, S. 108). Es gibt aber logischerweise nur eine richtige Antwort auf die Frage oder es gibt keine.

Um die Umweltkomponenten richtig zu erforschen, braucht man jedoch einen deduktiven Ansatz: deduktive Definitionen, Axiome, theoretische Abstraktionen und Idealisierungen des Forschungsgegenstandes (BUTWILOWSKI 1995). Auf dieser Basis kann man seine Elemente klassifizieren und nur danach z.B. Kartierungen durchführen und theoretische Konstruktionen an realen Objekten überprüfen.

Man strebt heutzutage immer wieder nach Datensynthese in den Geowissenschaften und dies erschwert auch die Erkenntnis des Georeliefs, der Gesteine oder der Böden. Wie kann eine Synthese realisiert werden, wenn eine exakte Analyse dieser Gegenstände noch nicht ausgearbeitet ist? Wenn sie ausgearbeitet ist, dann im Aspekt der angewandten Physik und Chemie der Böden oder Gesteine, anders gesagt, im Interesse anderer Wissenschaften. Jedoch die Erschaffung eigener theoretischer Grundlagen und Analyse der Geosysteme sollten unsere vorrangigen Ziele sein. **Ohne eine formal exakte Analyse ist die Synthese methodisch und praktisch fehlerhaft**. Natürlich kann man einige Probleme der Relief- oder Bodenerkenntnis auch empirisch lösen, aber wie viele Fehler und wie viel Aufwand gab es dabei und wird es geben?...

In den Geowissenschaften hat man also schon lange exakte Methoden der angewandten Physik, Chemie und Mathematik verwendet. Dadurch kann man viele Eigenschaften von Gesteinen und Reliefformen ermitteln und bewerten, aber diese Daten sind oft nur punktbezogene Hilfsdaten und haben mit der Ermittlung der Gesetze und Prozesse der Gestein- und Georelieffentwicklung ziemlich wenig zu tun. Für das ganze Geosystem ist im Prinzip unwesentlich, ob 1,0 mm Gesteinschicht pro Jahr oder 1,1 mm abgetragen oder akkumuliert wird. Es wäre viel wichtiger, einzelne Punkte oder Profile, die für die Datenermittlung von einer ausgesonderten Relief- oder Gesteineinheit (flächen- / volumenbezogen) genügend exakt repräsentativ sind, formal exakt bestimmen zu können und zu untersuchen. Dafür muss man die elementaren, möglichst größten gleichartigen Teile ermitteln, die die Eigenschaften, Beziehungen und Entwicklungsgesetze eines Natursystems erkennen lassen.

Man versucht immer wieder spezielle angewandte Probleme zu klären, aber das wichtigste Problem (**Entdeckung allgemeiner Gesetze, die vieles im Geosystem regeln und steuern**) bleibt ungelöst. Dieses Problem ist nicht leicht zu lösen, aber wenn es gelingt, dann sind wahre wissenschaftliche Kenntnisse praktisch ziemlich leicht und einfach zu nutzen. „Die Vorfront der Wissenschaft lässt immer die Technologie, Routine, mechanisch und formal erfüllbare Operationen hinter sich. Um die Newtonschen Gesetze zu entdecken, waren Newtons Schöpferkräfte vonnöten, aber um diese Gesetze anzuwenden, ist eine unbeeendete Schulbildung ausreichend. In der Geologie aber gibt es bisher nichts mechanisch Erfüllbares, alle vorhandenen Methoden müssen schöpferisch, sich hinein-denkend und vorsichtig angewandt werden. Man muss den geologischen Aufbau der Gegend gut kennen, ein hoch qualifizierter Spezialist sein und noch vieles mehr wissen und können“ (SALIN 1989, S. 201-202). Dabei läuft jetzt die Entwicklung der Geowissenschaften in eine schmale angewandte Richtung, d.h. in Richtung Ingenieurgeologie, Geoökologie, Geoinformatik, Naturschutz usw. Eigene geowissenschaftliche, fundamental theoretische Probleme rührt man dabei kaum an. Das ist methodologisch falsch und kann in die wissenschaftlichen Sackgassen führen.

Es gibt noch einen wichtigen Aspekt, der auch erläutern sollte. In den Geowissenschaften fehlt eine deutliche Einteilung in theoretische und angewandte Abteilungen. Hier gibt es wenig Wissenschaftler, die sich nur im Bereich der „reinen“ Theorie und Methodologie spezialisieren, wie z. B. in der Physik oder Chemie. Fast alle Geowissenschaftler beschäftigen sich mit spezifischen wissenschaftlichen Richtungen (z.B. Magmatismus, Stratigraphie, Landschaftskunde, Tektonik usw.), und sind gleichzeitig Theoretiker, Experimentatoren und Praktiker. Die exakten Naturwissenschaften dagegen werden auf einander kontrollierende Bereiche geteilt (Theorie, Experiment, Praxis). Diese Einteilung ist dem System der Machteinteilung in einem idealen, effizient verwaltbaren Staat ähnlich. Dabei kann man die Theorie mit einer gesetzgebenden Gewalt vergleichen, das Experiment - mit einer Gerichtsgewalt, und die Praxis - mit einer Vollzugsgewalt. In dieser Situation werden die günstigeren Bedingungen für die Entwicklung der Wissenschaft erschaffen, und zwar: es kann eine gegenseitige Kontrolle durchgeführt und eine effektive Konkurrenz geschaffen werden, es werden ungünstigere Bedingungen für die Usurpation wissenschaftlicher Richtungen, für den Parasitismus oder Betrug gegeben, es wird die Aufteilung der Arbeit durchgeführt, und der Erfolg von jedem ist für alle anderen (theoretisch gesehen) vorteilhaft. Die Ideenrealisierung findet schnell statt; Theorien, Modelle und Technologien werden fortgehend verbessert. Daraus resultieren die Erfolge dieser Wissenschaften. Und danach muss man in den Geowissenschaften streben.

Aus dem obig Dargelegten bildet sich eine ziemlich düstere Darstellung über den Sachenzustand in den Geowissenschaften heraus. Von der Seite heutiger Realität und Tendenzen ist es wirklich so, von der Seite wissenschaftlicher Möglichkeiten - ganz anders. Auch die Physiker und Mathematiker können Fehler machen und machen sie auch. „Die Fehler von KELVIN und TEFFREYS geben den Geologen eine zusätzliche Sicherheit in ihren eigenen Ergebnissen, und sie füllen im weiteren keine Notwendigkeit, eine Erlaubnis von den Physikern zu bekommen, um geologische Theorien zu liefern“ (OLLIER 1984, S. 373). Die Geowissenschaften haben ein kolossales theoretisches und angewandtes Potential. Hier ist eine riesige Menge von Ideen und Fakten gespeichert, die ein zusätzliches Nachdenken fordert. Für die Geowissenschaften gibt es alle Voraussetzungen, formal exakt zu werden. Als erste brauchen sie eine mathematisch ähnliche Formalisierung und einen Umbau ihrer Struktur und Ansatzmethodik. Dafür ist nicht nur eine große Menge an Arbeit und intellektuellen Erleuchtungen notwendig, sondern auch eine spezielle Forschungsförderung.

Warum aber läuft die Erarbeitung geowissenschaftlicher Theorien so langsam? Viele Ursachen dafür liegen außerhalb der Geowissenschaften. Keiner fordert von den Geologen, Theorien auszuarbeiten, sondern praktisch bezogene Lösungen (SCHARAPOW 1989). Nur Einzelgänger und Enthusiasten versuchen theoretische Probleme zu lösen. Es gibt auch Schwierigkeiten psychologischer Eigenart. Den Menschen fällt es wirklich schwer, auf ihre Stereotypen zu verzichten und vom Anfang zu beginnen. Aber das sind keine Hauptursachen. Die Hauptursache ist das jetzige gesellschaftliche System. Gerade für dieses sind exakte Geowissenschaften oft uneffizient und unerwünscht. Der monopolisierten Macht des Geldes ist in der Realität kaum wirtschaftliche, gesellschaftliche und moralische Einschränkung entgegengesetzt. Die Menschenverhältnisse tendieren zu den Kunden- oder Konkurrenzverhältnissen. Man schafft für die Kunden durch die Medien eine künstliche „Irrealität“, um Gewinn sogar aus „Nichts“ herauszuholen; und das zählt als das effizienteste Verfahren. Die Qualität ist den manipulierbaren Kundenanforderungen untergeordnet und durch sie definiert (DIN EN ISO 9000:2000). In dieser Situation wird die wissenschaftliche Tätigkeit immer mehr zu dem sogenannten „Job“ umgewandelt, bei dem die Werbung im Vordergrund steht. So eine Tendenz ist jetzt auch den „exakten“ Wissenschaften zu Eigen.

Die allgemeine Wertung der heutigen Entwicklungstendenz wissenschaftlicher Tätigkeit, die von A.A. SINOWJEW (1994, S. 253 - 254) ehrlich und mutig gegeben wurde, ist voll angemessen. „Die moderne Wissenschaft ist kein Bereich der Tätigkeit, wo man sich nur mit der Suche nach der Wahrheit beschäftigt“. Sie enthält in sich sowohl die Wissenschaftlichkeit, als auch die Wissenschaftswidrigkeit. „Die Wissenschaftlichkeit erzeugt Abstraktionen, aber die Wissenschaftswidrigkeit zerstört sie unter dem Scheingrund, dass dies und das nicht beachtet wurden. Die Wissenschaftlichkeit bestimmt die Begriffe exakt, die Wissenschaftswidrigkeit macht sie unter dem Scheingrund der

Erfassung der realen Vielfalt uneindeutig. Die Wissenschaftlichkeit vermeidet es, die Mittel zu benutzen, die man nicht unbedingt braucht. Die Wissenschaftswidrigkeit strebt danach, alles einzubeziehen, was man unter dem einen oder anderen Scheingrund einbeziehen kann. Die Wissenschaftlichkeit strebt danach, das Einfache und Klare in dem Komplizierten und Verwickelten zu finden. Die Wissenschaftswidrigkeit strebt danach, das Einfache zu verwickeln und das Offensichtliche schwer verständlich zu machen... Zuerst betrachtet man die Wissenschaftlichkeit und die Wissenschaftswidrigkeit als zwei gleichberechtigte Seiten einer Wissenschaft, doch dann gewinnt die Wissenschaftswidrigkeit die Oberhand. Die Wissenschaftlichkeit erhält im Rahmen der Wissenschaft nur eine jämmerliche Rolle als etwas von schlechter Qualität. Sie wird nur in dem Maß geduldet, in welchem die Wissenschaftswidrigkeit auf ihre Kosten leben kann. In der Tendenz neigt man dazu, die Wissenschaftlichkeit aus der Wissenschaft ganz zu verbannen, denn sie ist ein Vorwurf an ein unsauberes Gewissen“.

So ist es, leider... Diese Tendenz ist, selbstverständlich, nicht in Ordnung und muss mit aller Kraft bekämpft werden, auch in den Geowissenschaften. Anders lassen uns die wissenschaftlichen Ideale, die Leistungen und Lebensschicksale sowohl von größten Geologen aller Zeiten wie Abraham WERNER und Walter PENCK als auch von unzähligen Geologen und Geographen nicht machen.

### 1.3. Über den Forschungsstand und die Hauptprobleme der Geomorphologie

„Durch Kritik (...) ist eigentlich so etwas wie Wissenschaft erst in Gang gekommen (...) Kritisieren ist leicht, man kann natürlich gegen etwas oder gar immer „dagegen“ sein, aber rational durch systematische Argumente zu kritisieren, das ist wirklich eine intellektuelle Erfindung, welche die Logik und die rationale Auseinandersetzung möglich machte“ (LENK 1990, S. 121). „In kritischen Lagen soll man nicht Sündenböcke suchen, sondern einen Ausweg“ (Hanna SUCHOCKA).

Jede Wissenschaft entwickelt sich normalerweise entsprechend den Bedürfnissen der Praxis. Viele dieser Bedürfnisse sind ohne exaktes Wissen nicht realisierbar. Selbstverständlich muss man auch in den Geowissenschaften den Weg zu exaktem Wissen finden. Als Beispiel für die Suche dieses Weges kann vor allem die Geomorphologie dienen, **weil die Geomorphologie im Unterschied zu anderen geowissenschaftlichen Teilgebieten exakte quantitative Daten zu ihren Objekten besitzt, praxisrelevant sein kann und alle Voraussetzungen hat, eine exakte Wissenschaft zu werden.**

Wie sehr Informationen über das Georelief benötigt werden, zeigen vergleichsmäßig große Investitionen, die in die Vermessung des Georeliefs flossen. Aber warum sind die Investitionen in die Untersuchungen des Georeliefs hinsichtlich seiner Morphographie, Struktur, Genesis, Dynamik, Alter so gering? Warum hat sich das Interesse an der Geomorphologie in den letzten 15-20 Jahren stark verringert, und warum sind in vielen Ländern die Projekte der staatlichen regionalen geomorphologischen Erforschung eingestellt worden? Laut geowissenschaftlichen Publikationen glaubt man jedoch fest, dass die Georelieferkenntnis sehr gute Anwendung in der Praxis haben kann und hat. Die Anwendungsbereiche der Geomorphologie bezeichnet man dabei als äußerst mannigfaltig, und zwar: Geologie, Klimatologie, Ingenieurgeologie, Biologie, Hydrologie, Land- und Forstwirtschaft, Bauwesen, Bodenkunde, Ökologie, Landschaftskunde, Planung, Lagerstättenuche, Landschaftsschutz usw. (SWONKOWA 1962, BÜDEL 1963, KUGLER 1965, MICHANKOW 1973, TRICARD 1972, DEMEK 1976, BARSCH & LIEDKE 1980, MÄUSBACHER 1985, FJODOROW 1989, LASTOTSCHKIN 1991, UFIMZEW 1994, LESER 1995, AHNERT 1997, u.a.). Das gilt auch für die geomorphologischen Karten: „Der Nutzen der Geomorphologischen Karte... ist leicht einzusehen und braucht hier wohl nicht ausführlicher erläutert zu werden... Eng mit dem Nutzen der Geomorphologischen Karte für die geomorphologische Grundlagenforschung verbunden sind auch die von ihr ausgehenden positiven Auswirkungen auf die Grundlagenforschungen der geowissenschaftlichen Nachbarfächer“ (WERNER 1977, S. 23) usw.

Die Geomorphologie kann tatsächlich sehr viele Anwendungsmöglichkeiten aufweisen. Aber warum findet sie nicht ihre gebührende Anerkennung und Verwendung? Warum benutzt man fast ausschließlich nur die topographischen Daten vom Georelief? Ob man will oder nicht, aber die Praxis gibt eindeutige Antwort hierfür, und zwar: viele Anwendungsmöglichkeiten der Geomorphologie sind nicht theoretisch bewiesen, nicht effektiv umgesetzt und angeboten. So eine Situation besteht jetzt in der Geomorphologie, was vorsichtig, aber jedoch geäußert wird. „Der Vorsitzende des Deutschen Arbeitskreises für Geomorphologie hat... kritische Anmerkungen zur Situation der deutschen Geomorphologie gemacht, die es sicher verdienen, Gegenstand einer intensiveren Diskussion zu werden (...) Es ist also hier nicht nötig, nach neuen Fragestellungen für die Geomorphologie zu suchen, sondern allenfalls zu fragen, **wie die derzeitige Forschung methodisch verbessert werden kann**“ (SEMMELE 1996, S. 99). „Die historisch-genetischen Forschungen leiden in der Geomorphologie gegenwärtig darunter, dass sie in der Geographie... als nicht praxisrelevant gelten“ (SEMMELE 1996, S. 100). Oder „...unseren geomorphologischen Karten wird bei der wissenschaftlichen und praktischen Arbeit auch nicht die Bedeutung zugemessen, die andere geowissenschaftliche Kartenwerke haben“ (GÖBEL 1978, S. 8).

Eine Ursache dafür liegt in der Unvollkommenheit der theoretischen Geomorphologie. Bis heute haben Geomorphologen einen unvollkommenen Begriffsapparat, widerspruchsvolle Modelle der Georeliefentwicklung und -entstehung, uneinheitliche geomorphologische Forschungsmethoden. Trotz der Probleme muss man immer wieder versuchen, optimierte theoretische Grundlagen und Forschungsmethoden zu erarbeiten, weil dies für die Geomorphologie am wichtigsten ist, **und noch niemand bewiesen hat, dass dies unmöglich ist**. Dabei sollten aber einige prinzipielle Neuheiten und Änderungen in die theoretische Geomorphologie eingebracht und ihre Methoden wesentlich umgestaltet werden. Sonst sind, wie BERNAL (1965, S. 660): „...in der Wissenschaft, wie in der Gesellschaft, alle Versuche gleich fruchtlos, einen kritischen Zustand mit den Präzisierungen und Nachträgen der alten Formen zu überwinden“.

In diesem Buch wird ein originales System geomorphologischer Begriffe, Definitionen, Axiome, Gesetze, Modelle und Methoden präsentiert, das einen effektiven Weg zur mathematischen Formalisierung der Georeliefanalyse und -synthese durchbrechen kann. Die vorgeschlagenen Axiome, Gesetze und Modelle sind rein theoretische Auffassungen, die die geomorphologische Realität stark idealisieren und abstrahieren. Aber **ohne solch einen Ansatz ist es unmöglich die Wissenschaft zu entwickeln und ihren praktischen Wert zu steigern**, was schon lange von allgemeinen wissenschaftlichen Erfahrungen bewiesen wurde.

#### 1.4. Ziel und Problemstellung

Mein grundlegendes Ziel war also die Erarbeitung der Theorie der Geomorphologie und der optimierten Methoden der geomorphologischen Kartierung, weil vor allem die Karte das beste Mittel für die Darstellung und Auswertung geowissenschaftlicher Ergebnisse ist. Eine Theorie ohne Anwendung kann am Anfang niemanden davon überzeugen, dass sie wirklich nützlich ist. Deswegen sollte man gleichzeitig an den theoretischen und angewandten Problemen arbeiten und so Nutzen und Wert der Geomorphologie und vor allem der geomorphologischen Kartierung beweisen. Dabei sollen Probleme gelöst werden, welche die folgenden Bereiche betreffen:

1. **Primärbegriffe und Forschungsgegenstand**
2. **Elemente des Georeliefs, Axiome und Gesetze seiner Entstehung und Entwicklung**
3. **Theorien der Geomorphogenese und der Morphostratigraphie**
4. **Klassifikationen der Reliefelemente und -einheiten**
5. **Forschungsmethoden (Analyse und Synthese) und Datengewinnung (Kartierung)**
6. **Interpretation geomorphologischer Daten und ihre angewandte Nutzung.**

Informationsquellen für diese Erarbeitung waren allgemeine Fachliteratur (PENCK 1924, BÜDEL 1963 u.a., KUGLER 1964 u. a., TROIJKIJ 1967, FLORENSOW 1978, LESER & STÄBLEIN 1980, BARSCH & LIEDKE 1980, RICE 1980, MÄUSBACHER 1985, BORISEWITSCH 1993, UFIMZEW 1994, LASTOTSCHKIN 1991, 1998; LESER 1995, AHNERT 1997, und viele andere) und Ergebnisse meiner vieljährigen Geländearbeiten im Altaigebirge und in Sibirien.

Diese Erforschung hat mehrere Ziele verfolgt, aber ich konnte natürlich nicht alle geologisch-geomorphologischen Probleme erarbeiten. In diesem Buch werden nur die einfachsten Ideen, Methoden und Problemlösungen (zu den Bereichen 1-4) vorgeschlagen, die den Nachfolgern und Interessenten zum Erlernen, Verstehen und Anwenden empfohlen werden. Man darf von den vorgeschlagenen Theorien und Methoden keine einfache Verwendbarkeit verlangen, obwohl ich mich bemüht habe, sie möglichst einfach zu gestalten. Jede Arbeit erfordert nicht nur Sachverstand und Wissen, was richtig zu tun ist, sondern auch die Fähigkeit, diese Arbeit kunstgerecht auszuführen. Sogar das Schaufeln einer Grube muss man lernen. Man kann zeigen, wie man gräbt oder ein Fahrzeug fährt, aber ob ein Lehrling zu einem guten Fahrer wird, hängt von ihm selbst ab. Allgemeines Ziel ist aber, das „Auto“ (Methoden) möglichst einfach nutzbar zu machen, effektive Regeln für den „Straßenverkehr“ (Axiome, Gesetze, Theorien) zu erlassen, die die Ordnung auf den „Straßen“ (in der Wissenschaft) ermöglichen.

Jede Sache braucht Verständnis. „Ohne Bemühungen erlangt man kein Verständnis. Ohne Bemühungen kommen nur Irrtümer“ (SINOWJEW 1994, S. 11). Ich wünsche mir, dass sowohl die Opponenten als auch die Nachfolger die im Buch dargestellten Ideen und Problemlösungen vor allem zu verstehen versuchen. Schon H. HELMHOLZ sagte: „Autoren neuer Konzeptionen überzeugen sich in der Regel, dass es leichter ist, die Wahrheit zu entdecken, als herauszufinden, warum die Kollegen diese Wahrheit nicht begreifen wollen“ (zitiert nach KLINE 1972, S. 41). „Erwarten Sie nicht, dass Sie als Held gelobt werden, wenn Sie eine interessante Entdeckung gemacht haben. Eher werden die Kollegen Ihnen Abneigung und Verachtung entgegenbringen und Sie vielleicht bei Prüfungen durchfallen lassen. Ihre Daten oder statistischen Berechnungen, Ihre Beobachtungen oder **Analyse wissenschaftlicher Literatur, oder irgendetwas anderes werden sowieso als unvollkommene und unvollständige Daten und Theorien eingeschätzt**. Haben Sie keine Zweifel, dass in unserem gebildeten Jahrhundert tatsächlich wichtige Errungenschaften öfter abgelehnt werden als Billigung bekommen (...) Sollten wir in diesem Falle jedem naiven, enthusiastischen und störrischen Ketzer und Rebellen vertrauen, der die existierende Ordnung herausfordert?

Natürlich nicht! In den meisten Fällen sind ketzerische Hypothesen falsch, aber im Haufen der Irrtümer können die Perlen des Jahrhunderts versteckt sein (CAREY 1991, S. 399).

Eine Ursache der schwachen Forschungsaktivität im Bereich geowissenschaftlicher Theorien ist auch ein gewisser Widerstand konservativer Ideen, „deren Vertreter meinen, dass für die Bestätigung alter Ansichten ein paar Beweise ausreichend sind, oder glauben, dass diese Ideen schon keine Beweise brauchen, aber für eine neue Idee fordern sie zahlreiche Beweise und die 100% Übereinstimmung mit Tatsachen, was teilweise gerecht ist“ (SHEMITSCHUSHNIKOW 1963, S. 10). Es ist klar, dass die 100% Übereinstimmung mit Tatsachen kaum erreichbar ist, auch in exakten Wissenschaften (Physik). Natürlich sind meine Ideenentwürfe auch noch weit vom Ideal entfernt. Sie brauchen aber wie andere das Erlernen und Verstehen und dann eine Verbesserung, wenn eine solche zweckmäßig und notwendig ist, weil „die Funken neuer Ideen nur beim Aneinanderstoßen der entgegen gesetzten Ansichten herausfliegen... Dabei hat eine neue Wahrheit oft die scheinbare Gestalt einer ketzerischen falschen Idee; diese Wahrheit kann nicht sofort in einer vollkommenen Art erscheinen, sondern kommt immer in einer Schale von Irrtümern (...) Wenn der Eingang für die Irrtümer geschlossen wird, wie kommt dann die Wahrheit in die Welt, da es keinen anderen Eingang gibt! Alle Forscher in allen Ländern sollten das gleiche Recht haben, ihre Forschungsergebnisse darzustellen... Es sollten nur solche Publikationen verboten werden, in denen die Gesetze der Logik verletzt werden (SCHARAPOW 1989, S. 134), und ich ergänze, - die Publikationen, die sich nicht auf Fakten, sondern auf Fiktionen stützen.

## 2. Einführung in die Geomorphologie

Der Begriff „Geomorphologie“ ist aus den altgriechischen Bestandteilen **ge**= Erde, **morphe**= Gestalt/Form und **logos**= Wort/Rede/Inhalt/Wesen einer Sache zusammengesetzt und bezeichnet die Wissenschaft von den Oberflächenformen der Erde (LESER 1997). Als Wissenschaft wird die Geomorphologie unterschiedlich definiert (Terminologie... 1977, LESER 1997, u.a.). Aber **eines ist sicher** und darüber sind sich alle einig, dass sich Geomorphologen mit der Erkenntnis der Erdoberflächenformen (Georelief) beschäftigen. Um alles andere klar stellen zu können, muss man zuerst geomorphologische Primär- und Hauptbegriffe erklären.

### 2.1. Geomorphologische Primärbegriffe: Erdoberfläche und Georelief.

Nach G.F. UFIMZEW (1994, u.a.) sollte der Begriffsapparat der Geomorphologie mittels zwei Primärbegriffen aufgebaut werden: dem „**Relief**“ und den „**korrelativen Ablagerungen**“; der nächste Schritt wäre die Ermittlung und Bestimmung des Hauptbegriffes für die geomorphologischen Klassifikationen (eine **elementare Reliefeinheit**). A.N. LASTOTSCHKIN meint aber, dass...“nur auf der morphologischen Basis die Erschaffung eines einheitlichen Begriffsapparats möglich ist, mit deren Hilfe alle Relieftypen formalisiert, genau beschrieben, kartiert und miteinander verglichen werden können“ (Probleme..., 1988, S. 53). Er betont auch, dass „wenn die geomorphologischen Begriffe weiter nur auf die für eine Formalisierung unnachgiebigen (...) **genetischen** Vorstellungen basiert werden, dann erreicht die Geomorphologie niemals das moderne Niveau der Chemie und die Qualität geomorphologischer Klassifikationen bleibt immer auf ihrem heutigen unzulässig niedrigen Stand“ (LASTOTSCHKIN 1991, S. 95).

Beim Aufbau des Begriffsapparates der Geomorphologie wäre es richtiger, von der Definition des Forschungsgegenstandes der Geomorphologie auszugehen (siehe Kapitel 2.2). Dieser Gegenstand ist das Relief der Erdoberfläche (Georelief). Deswegen muss man zuerst die Begriffe „Erdoberfläche“ und „Georelief“ definieren (erklären).

#### 2.1.1. Oberfläche, Erdoberfläche

Der Begriff „Erdoberfläche“ kann und muss von dem geometrischen Begriff „**Oberfläche**“ abgeleitet werden. Was ist eigentlich eine „Oberfläche“?

Es gibt Meinungen unter Geomorphologen, dass die „Oberfläche“ ein gemeinsamer Teil von zwei benachbarten Raumbereichen ist (Enzyklopädisches Wörterbuch 1982; LASTOTSCHKIN 1991, u.a.). Logischerweise heißt das, dass jeder von diesen unterschiedlichen Bereichen dieselbe Oberfläche hat. Dies bedeutet z.B., dass das Wasser, das einen Stein umgibt, dieselbe Oberfläche hat wie dieser Stein; andersrum - ein Teil des Wassers ist auch gleichzeitig ein Teil des Steins. Das ist eine absurde Schlussfolgerung, die dem gesunden Menschenverstand und den Grundgesetzen der Logik (Gesetze von ARISTOTELES) widerspricht. Die Existenz solch einer Vorstellung über den scheinbar einfachen Begriff „Oberfläche“ zeugt deutlich davon, dass dieser Begriff eindeutig und **für die Geomorphologie zweckmäßig definiert werden soll**.

Er ist vor allem ein geometrischer Begriff, auf den Begriff „Fläche“ bezogen. Die Fläche definiert man als ein zweidimensionales ebenes oder beliebig gekrümmtes Gebilde (Gesamtheit von Punkten) im Raum (Grosses Universal

Lexikon 1998). Eine ebene Fläche nennt man „Ebene“. Sie hat keine Krümmung, d.h., dass jede Gerade, die zwei beliebige Punkte dieser Fläche verbindet, ganz genau mit dieser Fläche zusammenfällt (Enzyklopädisches Wörterbuch 1982, S. 1026). Ihre durch Geraden oder Kurven begrenzten Teile nennt man „**planimetrische Figuren**“ (z.B. Dreieck, Vieleck, Kreis, Segment usw.). Sie besitzen nur Länge und Breite, aber keine Dicke. Ähnlich wie eine Kurve von mehreren geraden Strecken zusammengesetzt wird, kann man auch eine beliebige Fläche aus mehreren ebenen Figuren exakt genug zusammensetzen, dabei können einzelne Figuren in dieser Gesamtheit, dreidimensional gesehen, horizontal oder geneigt liegen.

In der Realität gehören die Flächen den dreidimensionalen Gebilden bzw. den „**Körpern**“ an. „Ein Körper im Sinne der Stereometrie ist die Menge aller Punkte, Geraden und Ebenen des dreidimensionalen Raumes, die innerhalb eines vollständig abgeschlossenen Teiles dieses Raumes liegen, d.h. innerhalb der Begrenzungsflächen des Körpers (...) Die Summe der Begrenzungsflächen heißt Oberfläche“ (Mathematik 1965, S. 218). Die **Oberfläche** definiert man als „Gesamtheit der Randpunkte eines Körpers“ (dtv-Lexikon 1997, B. 13, S. 151), oder als „Summe der Flächen eines Körpers, die ihn begrenzen“ (Grosses Universal Lexikon 1998, S. 604). Sie ist also ein abgeschlossenes zweidimensionales Gebilde von materiellen Punkten, die den Körper vom äußeren Raum abgrenzen und zu diesem Körper angehören.

Man sollte unbedingt betonen, dass eine konkrete Oberfläche immer nur einem konkreten Körper angehört, und wenn die Körper sich berühren, dann berühren sich auch ihre Oberflächen, die die Eigenschaften ihrer zugehörigen Körper besitzen. Wenn eine Oberfläche keine Eigenschaften des zugehörigen Körpers besitzt, so ist sie nichts. Sie kann nicht zwei Körpern gehören. Das ist logisch. In der Physik gibt es z. B. keine Diskussion, ob die Oberfläche materiell oder nichtmateriell ist. Physiker haben sich schon lange davon überzeugt, dass die Körperoberflächen besondere materielle Eigenschaften (z.B. Adhäsionskräfte) besitzen, und haben Theorien über das Verhalten der Oberflächen geschaffen (in der Hydraulik, Mechanik usw.).

Die **Erdkruste** und einzelne **Gesteine** stellen auch geometrische Körper dar (sie sind „**geologische Körper**“) und haben auch ihre Oberflächen. Die Oberfläche der Erdkruste nennt man „**Erdoberfläche**“. Im neuen „Wörterbuch Allgemeine Geographie“ (1997, S. 180) wird die Erdoberfläche als „die Außenhülle (oder Reliefhülle) der Erdkruste, die teilweise mit Wasser bedeckt ist“ definiert. Diese Definition ist formal falsch, weil die Oberfläche und die Hülle im geometrischen Sinne ganz verschiedene Dinge sind. „Die Hülle ist ein Körper von zwei Oberflächen begrenzt und hat immer eine (relativ kleine) Dicke“ (Mächtigkeit) (Enzyklopädisches Wörterbuch 1982, S. 919). Sie ist auf keinen Fall gleich der Oberfläche dieses Körpers. **Die Erdoberfläche besitzt also keine Dicke**. Wenn sie eine Dicke hätte, so würde sie selbst ein geologischer Körper sein. In diesem Fall wäre sie als Begriff überflüssig.

Die Oberfläche jedes Körpers hat eine wahrnehmbare und messbare **Gestalt**, d.h. eine Figur, ein Äußeres, Vorbild, Muster (einschließlich geometrische Eigenschaften, Farbe, Größe, physikalischen Zustand des Körpers), auch als Form bezeichnet. Man kann die Form als wahrgenommene (messbare) Gestalt eines Körpers, die dessen Eigenschaften und den zugehörigen Raum äußert, definieren. Folglich ist die Form eine untrennbare Eigenschaft des Körpers und auch seiner Oberfläche.

Man muss aber den Begriff „Oberflächenform“ vom Begriff „Körperform“ unterscheiden (LASTOTSCHKIN 1991). Die Oberflächenform ist immer zweidimensional, die Körperform - dreidimensional. Die Körperform hat eine Volumenfigur (z.B. Prisma, Kegel, Pyramide und ihre Kombinationen) und kann auch aus verschiedenen Volumenfiguren vollständig zusammengesetzt werden. Vor allem die Form sondert ein Körper von anderen ab. Sie ist ein höchst leicht und exakt erkennbares Merkmal des Körpers, das viele Körpereigenschaften äußert. Wenn man einen geologischen Körper erkennen will, muss man vor allem seine Form und sein Ausmaß erkennen.

Die geometrische Form der Oberfläche kommt als die Gesamtheit zweidimensionaler geometrischer Figuren, die diese Oberfläche zusammenstellen, vor. Sie besteht aus gestreckten (ebenen), konvexen und konkaven Abschnitten. Auch ihre konkaven und konvexen Abschnitte kann man aus unterschiedlich orientierten geneigten ebenen Figuren vollständig zusammenstellen. Die Menge, Größe, Form und die Kombinationen dieser Figuren mit einander bilden die „**Konfiguration**“ der Oberfläche. Das gilt auch für die Erdoberfläche. Die Konfiguration der Oberfläche kann also eine Gesamtheit der unterschiedlich orientierten geneigten ebenen Figuren sein, die diese Oberfläche vollständig zusammenstellen. Sie kann sehr mannigfaltig sein und wird in Bezug zu einem Punkt oder zu einem Koordinatensystem bestimmt. Die Oberfläche äußert sich immer durch eine Form (geometrisch-physikalische Gestalt) und Konfiguration, die insgesamt als „Relief“ bezeichnet werden.

### 2.1.2. Relief, Georelief

Unter dem Begriff „Relief“ verstehen die meisten Geomorphologen

- den Aufbau der Erdoberfläche (OSHEGOW, 1972);

- die Gesamtheit aller Formen der Erdoberfläche (EDELSTEIN, 1947; PANOW, 1966; BASCHENINA, 1967; FLORENSOW, 1971; ROSHDESTWENSKIJ, 1988);
- den Höhenunterschied zwischen Abschnitten der Erdoberfläche (MOOPE, 1961);
- „die Grenzfläche der festen Erdkruste (und somit der Geodermis) gegen die Hydro- bzw. Atmosphäre“ (Wörterbuch Allgemeine Geographie 1997, S. 264);
- die Gesamtheit der Unebenheiten der Erdoberfläche (der oberen Beschränkung der Lithosphäre);
- die Eigenschaft der kompliziert aufgebauten Oberfläche;
- die Maßeinheit der Krümmung der Erdoberfläche und ihrer Abweichung von einer idealen Figur, z.B. vom Ellipsoid“ (UFIMZEW, 1994, S. 17).

G.F. UFIMZEW (1991) definiert das Georelief auch „als Gesamtheit der Unebenheiten der Oberfläche der Lithosphäre; (...) es ist materiell, aber es ist nicht der Stoff“ (S. 30). Mit dieser Definition sind O.G. TOKARSKIJ & W.P. FILOSOFOW (1985), und auch W.W. BRONGULEEW (1992) nicht einverstanden. Sie bestehen darauf, dass das Georelief ein Volumen hat und mit dem geologischen Stoff ausgefüllt ist (im Prinzip ist es die Erdkruste bis zur Tiefe von einigen km). A.N. LASTOTSCHKIN (1991, S. 44) meint aber, dass es richtiger wäre, „den Gegenstand der Geomorphologie von der Mächtigkeit und von dem Stoff zu entziehen“, und das wäre „...der erste Schritt auf dem Weg zur exakten Erkenntnis von Zusammenhang des Georeliefs mit der Struktur und mit dem Stoff der Lithosphäre“. Das ist richtig. Man muss aber betonen, dass obwohl die Erdoberfläche (und ihr Georelief) keine **geologische** Dicke hat, gehört sie trotzdem zur Erdkruste und besitzt auch viele geometrische und materielle Eigenschaften der Erdkruste. Das Fehlen der geologischen „Dicke“ im Georelief bedeutet nicht, dass bei der geomorphologischen Erforschung der Erdoberfläche die Kenntnisse über die geologischen Körper nicht genutzt und verwendet werden. Gerade mit Hilfe des Wissens über die Gesteine werden die Formen, Prozesse und die Entwicklungsgeschichte des Georeliefs erkannt und interpretiert, sowie die Lage der vom Georelief bedingten Lagerstätten und seine anderen nutzbaren Eigenschaften.

Man behauptet, dass die ideal flache, mit dem Geoid übereinstimmende (horizontale) Oberfläche kein Relief hat (ASEEW ET.AL. 1990), weil angeblich seine Entwicklung aufhört. Warum glaubt man, dass die Oberfläche ihr Relief verliert? Wegen seiner Definition. Wenn man annimmt, dass das Relief die Gesamtheit der „**Unebenheiten**“ der Oberfläche ist, so folgt logisch daraus, dass die „Ebenheiten“ nicht dem Relief zugehören und etwa die Hälfte der Erdoberfläche kein Relief hat. Der Absurd dieser Schlussfolgerung wird auch dadurch bewiesen, dass jede Unebenheit immer aus kleineren, einschließlich horizontalen Ebenheiten besteht. Wenn das Relief die Gestalt und geometrische Konfiguration der Oberfläche des Körpers ist, so existiert es immer, solange der Körper existiert, egal welche Form es hat. Wenn beispielsweise die Teile des Reliefs sogar ihre ideale horizontale Ebenheit erreichen, setzen sie ihre Entwicklung trotzdem fort (durch die Kompaktion, Akkumulation usw.).

Also, nehmen wir an, dass **das Georelief die Gestalt und Konfiguration der Erdoberfläche ist**. Der Begriff „Georelief“ ist einer der wichtigsten Primärbegriffe der Geomorphologie. Seine Erklärung wird durch drei Ergänzungsdefinitionen präzisiert:

1. Das „Georelief“ ist eine Gestalt und Konfiguration der Erdoberfläche, derer Punkte quantitativ durch drei Koordinaten bestimmt werden.
2. Die Gestalt ist die wahrgenommenen geometrischen (morphologischen) und physikalischen (geologischen) Eigenschaften der Erdoberfläche.
3. Die „Konfiguration“ ist die Gesamtheit der unterschiedlich orientierten geneigten ebenen geometrischen Figuren, die die Erdoberfläche zusammenstellen.

Das Relief ist zweidimensional, gehört aber dem dreidimensionalen Raum (Körper) an und kann durch Koordinaten des dreidimensionalen Raums beschrieben und dargestellt werden. Es ist die Gesamtheit der unterschiedlich geneigten Ebenen, die die Erdoberfläche und ihre Konfiguration zusammenstellen. Das heißt, dass **die Erdoberfläche kompliziert und heterogen sein kann**. Sie sollte auch die Gemeinsamkeit miteinander verbundener verschiedener Ebenen sein, die sich nicht aufeinander vertikal projizieren. Das „Überhängen“ (Neigung ins Innere, Gegenneigung) eines Teiles der Erdoberfläche ist ein „verbotenes“ Verhältnis im Georelief. Dieses Verhältnis entsteht in der Realität sehr selten, und dadurch entstandene Flächen sind dabei relativ klein. Es wird auch sehr schnell vernichtet, wenn es irgendwo entsteht (Abb. 2.1). Außerdem ist es schwierig, dieses „Überhängen“ auf der Karte mit kartographischen Mitteln (Isohypsen) darzustellen. Die Neigungen der Oberfläche ins Innere sind zweckmäßig der **Rauheit** der Oberfläche zuzuordnen und sie sind bei der kartographischen Darstellung des Georeliefs zu vernachlässigen. Bei Notwendigkeit kann man das „Überhängen“ durch eine spezielle Signatur bezeichnen.

Es ist auch klar, dass die Gesteine und nichts anderes viele Eigenschaften der Erdoberfläche und des Georeliefs bedingen. Geologie und Geomorphologie haben deswegen denselben gemeinsamen materiellen Teil ihrer Forschungsobjekte: den Inhalt und das Wesen der Gesteine. Aber sie erforschen und erkennen verschiedene Aus-



drucksformen dieses Inhaltes. Die Geologie erkennt den Inhalt, die Oberflächen und Formen geologischer Körper (Gesteine) als Volumenfiguren. Die Geomorphologie erkennt die Konfigurationen der Gesteinsoberflächen, die die Bestandteile der Erdoberfläche sind. Dabei muss man noch mal betonen, dass die Erdoberfläche und ihr Relief keine Dicke haben. Zur Erdoberfläche kann nur die von dem Georelief abhängige Verwitterungsschicht dazugehören, die sich in ständiger Bewegung befindet und noch kein Gestein (kein geologischer Körper) im geologischen Sinne ist („bewegliche Schicht“). Dies widerspricht den geometrisch bezogenen Definitionen geomorphologischer Begriffe nicht. Aber die Versuche, das Georelief als eine Schicht von im Vergleich mit seiner Fläche verschwindend geringen Dicke darzustellen [die sogenannte „Geodermis“ nach H. KUGLER (1980, u.a.)] (Abb. 2.2), scheinen nicht effektiv zu sein, weil dabei keine logisch und tatsächlich begründeten Kriterien für die Bestimmung dieser Dicke vorgeschlagen wurden.

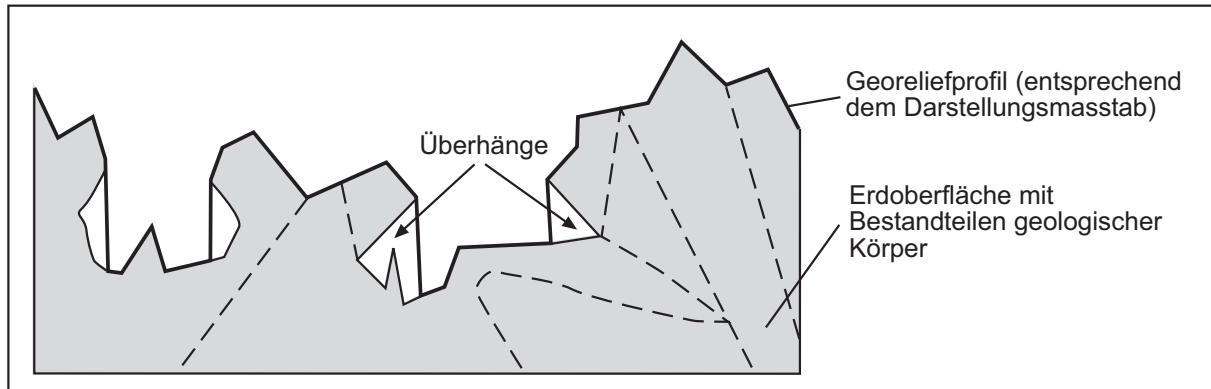


Abb. 2.1: Beispiele der Auszeichnung des Georeliefprofils auf einem realen Erdoberflächenprofil

Das Georelief ist also ein kompliziertes Gebilde, das die festen Stoffe der Erdoberfläche (geologischen Körper) ausgestaltet. Aber man muss diese Stoffe irgendwie von flüssigartigen Stoffen unterscheiden, sonst wird es formal schwierig, die Oberfläche der Erdkruste zu bestimmen. Ein „fester“ (nicht flüssiger und nicht gasförmiger) Stoff der Erdkruste ist ein solcher Stoff (Gestein), der fähig ist, die räumliche Lage seiner Punkte in gleichen geometrischen Verhältnissen im Laufe eines Tageszyklus zu erhalten (zulässige Abweichung bestimmt die Genauigkeit der Messinstrumente). Zusammen bilden solche Abschnitte der Erdoberfläche das Georelief. Die beweglicheren, plastischeren Stoffe kann man als „Treibmedien“ („Transportmedien“) bezeichnen, mittels denen Gesteinteilchen abgetragen und das Georelief geändert wird. Zu den **Treibmedien** gehört auch die „bewegliche Schicht“.

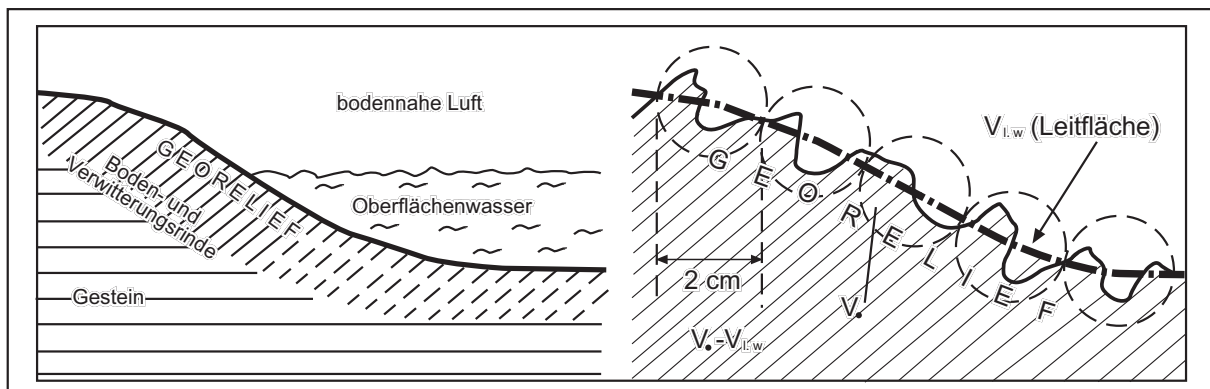


Abb. 2.2: Auszeichnung des Georeliefprofils auf einem realen Erdoberflächenprofil nach H.Kugler u.a., 1980

## 2.2. Geomorphologie als Lehre über das Relief der Erdoberfläche

„Geomorphologie ist das Teilgebiet der Physiogeographie, das sich mit der Geomorphogenese, also der Reliefbildung der Erde, d.h. deren Gestalt, Anordnung und Entwicklung beschäftigt“ (LESER 1997, S. 259). G.F. UFIMZEW (1994) behauptet, dass „die Geomorphologie das Relief der Erdoberfläche und seine korrelativen Ablagerungen erforscht, um seine räumlich-zeitliche Struktur, Genesis und Entwicklung festzustellen und Empfehlungen zu seiner Nutzung zu erarbeiten“ (S. 8). Ju. G. SIMONOW (Problemy...1988, S. 7) definiert Geomorphologie als „Wissenschaft über die Form der Erde und über das Relief ihrer Oberfläche (über das existierende, vernichtete und begabene Relief)“. Diese Definitionen sind noch nicht vollkommen, und die meisten Forscher geben zu, dass „die Geomorphologie bis heute nicht klar bestimmt ist. Es ist nur ungefähr bekannt, was ihr Gegenstand ist“ (FLORENSOW 1978, S. 6). A.N. LASTOTSCHKIN (1991, S. 40) behauptet sogar: „Es ist eine paradoxe Situation entstanden, bei der

die Wissenschaft (Geomorphologie) ihren Gegenstand nicht klar und eindeutig bezeichnen kann und dies bis auf wenige Ausnahmen nicht versucht“. Der letztere Vorwurf von LASTOTSCHKIN ist ungerecht. Die Geomorphologen versuchen immer wieder den Gegenstand ihrer Wissenschaft zu bestimmen. Allein in Russland sind z. B. etwa 25 Definitionen des Gegenstandes der Geomorphologie publiziert worden. Diese Definitionen kann man in folgenden Gruppen zusammenfassen. Der Gegenstand der Geomorphologie ist:

1. das Relief der festen Erde, die Morphologie, die Genesis und das Alter des Reliefs (LOSKUTOW, in Problemy... 1988).
2. die Erdoberfläche. Ihr Relief kann aber nicht der Gegenstand der Geomorphologie sein, weil eine Vorstellung über das Relief nur in Modellen von verschiedener Genauigkeit besteht (LASTOTSCHKIN, 1998).
3. „das Relief der Erdoberfläche, das erforscht wird, wenn es notwendig ist, zusammen mit dem Relief bilden Substrat, aber der Gegenstand der Geomorphologie ist nicht das geologische Substrat und nicht die tektonischen Bewegungen“ (Probleme..., 1989, S. 14);
4. die Struktur, Genesis und die Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung der gegenwärtigen Erdoberfläche und ihres gegenwärtigen Reliefs (ROSHDESTWENSKIJ, 1970);
5. die Reliefformen der Erdoberfläche, ihre Genesis, Entwicklung und korrelativen Ablagerungen (SELIWERSTOW, 1963, NIKOLAEW, 1970, UFIMZEW, 1994 );
6. das gegenwärtige Relief der Erdoberfläche (EPSTEIN, 1970);
7. die Ermittlung der Entwicklungsgeschichte des gegenwärtigen Reliefs der Erde (GERASIMOW, 1946).

Für die Auffassung des Gegenstandes der Geomorphologie sind die Vorstellungen von S.L. TROJZKIJ und W.W. ERMOLOW sehr nützlich. Sie behaupten, dass „das Hauptziel der Geomorphologie in der allseitigen Erforschung der Dynamik und Kinematik der Erdkrustenoberfläche besteht, welche in der Struktur der Erdkruste eine Äußerung erhalten haben. **Die Geomorphologie ist eigentlich die dynamische Geologie**, die für die Problemlösung der Entwicklung und der Genesis von Erdkrustenoberfläche zuständig ist (...) Der Hauptgegenstand der Geomorphologie können die Gesetze der Entwicklung der Oberfläche der Erdkruste sein sowie die Erdoberfläche selbst (...) Dementsprechend sollte die Geomorphologie nicht die Volumina und stoffliche Zusammensetzung geologischer Körper erkennen, sondern nur ihre äußere Oberfläche, sich für geologische Körper nur dann interessierend, wenn diese Körper zusätzliche Daten für die Lösung eigener geomorphologischer Probleme geben können. Volumenhaltige „Reliefformen“, die von Gesteinen ausgefüllt sind, sind unter Geologen schon lange eine traditionelle, aber „im geomorphologischen Sinne irrtümliche Vorstellung“ (TROJZKIJ, 1967, S. 56; ERMOLOW, 1964).

N.A. FLORENSOW (1978) ist der Meinung, dass diese Gedanken deshalb anziehend sind, weil sie direkte Beziehungen der Geomorphologie zur Geologie abschlagen und der Geomorphologie dabei einen autonomen Status geben. Er betont aber auch, dass es nicht richtig wäre, die Beziehung zwischen den Oberflächenformen und dem geologischen Aufbau zu ignorieren, weil jede Änderung der Erdoberfläche eine Folge der Substratbewegung ist. Deshalb kann man, so FLORENSOW, die Konzeption von ERMOLOW und TROJZKIJ als einen bequemen Ansatz zur Formalisierung der Geomorphologie betrachten, aber nicht als ein Fundament für den Aufbau der allgemeinen Theorie dieser Wissenschaft. Ich glaube, dass TROJZKIJ und ERMOLOW in vielem Recht haben. Sie ignorieren nicht die engen Verbindungen zwischen Geomorphologie und Geologie, sondern präzisieren diese richtig.

Einige Forscher meinen also, dass die Geomorphologie eine besondere selbständige Wissenschaft ist (PENCK 1924, EDELSTEIN 1947, GERASIMOW 1959, FLORENSOW 1971, SCHEIDEGGER 1967, SPIRIDONOW 1979, SIMONOW 1988, LASTOTSCHKIN 1991, u.a.), andere betrachten sie als eine der Abteilungen der Geologie (USOW 1934, ARMAND 1950, TROJZKIJ 1967, HUDJAKOW 1988) oder Geographie (STSCHUKIN 1954, ROSU 1962, HILTON 1963, MACHATSCHKEK 1951, LESER 1997, u.a.). Sogar auf der internationalen Konferenz in Mantschester (1985) konnten Geowissenschaftler sich nicht einigen, zu welchem Verein, dem geologischen oder dem geographischen, die Geomorphologie angehören sollte.

Aus meiner Sicht ist die Lösung dieses Problems ziemlich einfach. Wenn man der Logik folgt, dann ist die Geomorphologie eine Abteilung der Geologie, weil die Geomorphologie die Oberfläche der Erdkruste (Erdoberfläche) erforscht, und die Erdkruste der Forschungsgegenstand der Geologie ist. Wenn die Geomorphologen auch die Oberflächen der Flüsse, Seen und Ozeane, der Pflanzen-, Schnee- und Eisdecken sowie die Form der Luftmassen untersuchen würden, dann dürfte man allerdings die Geomorphologie nicht als geologische Wissenschaft definieren, sondern ihren besonderen Status anerkennen oder sie als einen Zweig der Geographie betrachten (als Morphologie der Landschaften). Für mich gibt es also keinen Zweifel, dass **die Geomorphologie ein Teilgebiet der Geologie ist**.

Geologen erforschen die Formen und die Zusammensetzung geologischer Körpervolumina meistens auch durch die Erkenntnis der Erdoberfläche; Geomorphologen erforschen die Konfigurationsformen der Erdoberfläche. Sie alle erkennen die äußere Oberfläche vieler und derselben geologischen Körper (deren Schichtungstextur zu dieser

Oberfläche konkordant ist). Durch diese Objekte sind Geologie und Geomorphologie untrennbar mit einander verbunden. Aber Geomorphologen erforschen auch das Relief der Erdoberfläche, das der inneren Schichtungstextur geologischer Körper diskordant ist. Die Geologen erforschen diese Oberflächen nicht als Form der geologischen Körper. Sie abstrahieren diese Gesteinsoberflächen, weil diese Oberflächen keine Informationen über den inneren Aufbau und die Struktur der Erdkruste geben. Aber diese Oberflächen geben auch viele Informationen über geologische Prozesse und über die Entstehungs- und Entwicklungsabfolge der Erdoberfläche und der Erdkruste. Es ist nicht möglich, diese Informationen aus den Daten über den inneren Aufbau der Erdkruste zu gewinnen. Dadurch gibt die Geomorphologie der Geologie unersetzbare und sehr wichtige Informationen, was zusätzlich ihre untrennbare Verbindung beweist.

Daraus kann man die Geomorphologie und ihren wissenschaftlichen Gegenstand folgendermaßen definieren: **Die Geomorphologie ist eine Abteilung der Geologie, die das Georelief erkennt und die gewonnenen Informationen räumlich und zeitlich interpretiert.** Anders gesagt, **sie erkennt alles, was dem Begriff „Georelief“ und der theoretischen Interpretation von Eigenschaften des Georeliefs zugehört ohne weitere Präzisierung, weil alles, was das Georelief charakterisiert und ihm eigen ist** (Konfiguration, Struktur, Stoffeigenschaften, Dynamik, Genesis, Alter, Geschichte der Entwicklung usw.), **absolut gleichberechtigt ist. Die Erkenntnis dieses Ganzen ist Ziel, Problem und Aufgabe der Geomorphologie.** Von der Geometrie unterscheidet sich die Geomorphologie dadurch, dass die Geomorphologie, die Geometrie der Erdoberfläche erforschend, zusätzliche Fragen beantworten muss: wie, wann und in welcher Abfolge diese „Geometrie“ entstanden ist, wie sie existiert und existieren wird, und wie man das Ganze durch wirtschaftliche Tätigkeit nutzen kann.

Die Hauptziele theoretischer und angewandter geomorphologischer Forschungen sind:

- **Erarbeitung der Theorie der Geomorphologie;**
- **die Erkenntnis des Georeliefs mittels allgemein wissenschaftlicher und geomorphologischer Methoden (geomorphologischer Kartierung) und des Monitorings;**
- **die vollständige Darstellung des Georeliefs sowie die richtige theoretische und angewandte Interpretation geomorphologischer Daten (Fakten);**
- **die Suche nach den durch die Georeliefentwicklung entstandenen Bodenschätzen;**
- **die ingenieur-geomorphologische Bewertung der Landschaften und der rezenten geologischen Prozesse;**
- **die Schaffung der Grundlage für Geoinformationssysteme (GIS).**

Im Bestand der allgemeinen Geomorphologie sondert man ebenso wie in der Geologie die Strukturelle Geomorphologie (**Geomorphographie**), die Dynamische Geomorphologie (**Geomorphogenese**) und die Historische (**Geomorphostratigraphie**) ab. Diese Einteilung gründet sich auf das Verhältnis der Eigenschaften des Georeliefs zu den Eigenschaften der Zeitabfolge. In der Geomorphographie kann man die Zeit nicht berücksichtigen. In der Geomorphostratigraphie ist die Zeit eine wichtige Eigenschaft der Reliefelemente. Sie wird als **geomorphologisches Alter** bewertet. In der Geomorphogenese muss man für die Einschätzung der Dynamik geologischer Prozesse die „physikalische“ („absolute“) Zeit verwenden. Es wäre aber richtiger, diese Einteilung als mit einander gebundene wissenschaftliche Bereiche der theoretischen Geomorphologie zu betrachten. Man sollte in der allgemeinen Geomorphologie **die theoretischen, die experimentellen und die angewandten Abteilungen** absondern, welche einander kontrollieren und **die Wahrheit von Kenntnissen prüfen können**, wie z. B. in den exakten Wissenschaften.

Den Bereich in der Geomorphologie, der die Reliefelemente in geometrischen Aspekten darstellt, nennt man „Morphographie“, „Morphologie“, „Morphometrie“. Lassen wir uns sie in einem Begriff **„Geomorphographie“** vereinigen. Ihre Ziele und Aufgaben sind folgende: Ermittlung der Daten über die Zusammensetzung und Struktur (Gefüge) des Georeliefs, Bestimmung und Vermessung der Eigenschaften von Fazetten und Reliefformen für verschiedene Forschungs- und Darstellungsmaßstäbe, Schaffung ihrer Klassifikationen und damit auch der Grundlage für die geomorphologischen Karten und Profile. Die Forschungsmethoden sind Vermessung, Analyse, Diagnostik, Kartierung, Klassifizierung, Vergleich usw. Die wichtigsten Begriffe der Geomorphographie sind Maßstab, Punkt, Wasserscheide, Oberfläche, Grenze, Fazette, Neigungsstärke, Exposition, Figur, Reliefform, Mikrorelief, Mesorelief, Makrorelief u. a.

Die **„Geomorphogenese“** als Bereich des Wissens über die Art und Weise, Faktoren und Bedingungen der Entstehung und der Entwicklungsprozesse von Hängen und Reliefformen hat als Ziele und Aufgaben, diese Verfahren, Bedingungen und Prozesse festzustellen, sie zu bewerten, die Genesis von Reliefeinheiten zu ermitteln und die Reliefeinheiten zu benennen. Ihre Methoden entsprechen den Methoden der Physik und Chemie, die auf Naturobjekte anwendbar sind. Die wichtigsten Begriffe der Geomorphogenese sind Hang, Reliefform, Genesis, Paragenese, Lithogenese, Hypergenese, Kompaktion, Dekompaktion, Denudation, Akkumulation, Geschwindigkeit usw.

Die „**Geomorphostratigraphie**“ als Bereich des Wissens über die Abfolge der Entstehung und Entwicklung der Reliefeinheiten stützt sich auf folgende Begriffe: morphologische Abfolge (Verhältnis „früher-später“), geomorphologische Grenze, Lage, Stufe, Neigungsgürtel, Reliefkomplex, Geomorphostruktur, geomorphologisches Alter u. a. Ihre Ziele und Aufgaben sind die Ermittlung früherer geomorphologischer Situationen, Bedingungen und Verhältnisse, die Feststellung der Abfolge von Ereignissen der Georeliefbildung in Raum und Zeit, die Rekonstruktionen der Zustände des Georeliefs, ihre Zusammenhänge und Ursachen. Ihre Methoden sind die Synchronisierung, Synthese, Korrelation, Klassifizierung und Analogie.

Die Informationen von vielen Untersuchungspunkten lassen uns den gegenwärtigen Zustand der Geomorphostruktur vorstellen, die im Vergleich zur ursprünglichen Form sehr stark verändert werden kann; anders gesagt, sie kann durch die Denudationsprozesse und tektonischen Prozesse deformiert werden, weil sich viele Deformationen in der Erdkruste gleichzeitig auch als Deformationen der Erdoberfläche äußern. Die tektonischen Deformationen des Georeliefs erkennt die „**Geomorphotektonik**“, - ein Bereich der Geomorphologie, der die Deformationen (die Verkrümmung und Störung) der primär gebildeten Struktur der Georeliefs erforscht. Im Prinzip ist die Methode der Ermittlung dieser Deformationen nur eine: es wird eine Fläche im Georelief oder in Sedimenten ermittelt, die ursprünglich subhorizontal und sehr ausgedehnt gewesen war. Mit Hilfe von Vermessungen werden ihre Deformationen eingeschätzt, d. h. - ihr heutiges Abweichen von der horizontalen Lage oder die Verschiebung ihrer Teile von einander.

Kenntnisse der Geomorphographie und Geomorphogenese müssen sich auf Untersuchungen und Vermessungen der Reliefelemente stützen und können durch Beobachtungen und Vermessungen (oder Experimente) sowie durch die Praxis der Naturnutzung kontrolliert werden. Sie sind ein fundamentaler Teil der Geomorphologie und eine Grundlage für die Geomorphostratigraphie. Die Geomorphostratigraphie ist der „**Interpretationsaufsatz**“ über die Geomorphographie und Geomorphogenese.

Die Methoden dieser geologischen und geomorphologischen Untersuchungen und Beprobungen sollten den Anforderungen einer nachfolgenden Bearbeitung mit mathematischen Methoden genügen. Bei der Darstellung der theoretischen Geomorphologie wäre es am besten mit ihren einfacheren Bereichen zu beginnen, die unmittelbar mit der Geometrie (Punkt, Linie, Neigungsstärke, Exposition, Fazette, Figur), mit der Physik (mechanische Prozesse, Kinematik, Dynamik) und mit der Chemie (Geochemie, Verwitterung usw.) verbunden sind. Wenn dabei gewissenhaft und fleißig vorgegangen wird, dann könnten alle Geologen und Geomorphologen exakt genug und gleich diese Parameter bzw. Eigenschaften ermitteln und vermessen, die Grenzen von Reliefelementen bzw. Gesteinen feststellen, die Verhältnisse „höher-niedriger“ zwischen ihnen und ihre Konkordanz zu einander ermitteln. Anders gesagt, **man kann exakte und wiederholbare (reproduzierbare) Erkundungen und Vermessungen anstellen, die sicher als tatsächlich wahre wissenschaftliche Fakten (Daten) gelten.**

Die Hauptbegriffe der Geomorphologie können sich also aus physikalischen und geometrischen Begriffen ergeben oder sie stammen vom Primärbegriff - „höher-älter“-, etwas, was man zwischen den Hängen unter Nutzung ihrer räumlichen Lage, des Verhältnisses ihrer Grenzen und der Richtung der Schwerkraftwirkung exakt feststellen kann. Da die geometrischen und physikalischen Begriffe und Fakten exakt genug sind und die Prüfung durch die Praxis sehr gut „bestanden“ haben, darf man behaupten, dass **die von ihnen abgeleiteten geomorphologischen Begriffe und Fakten genauso exakt und richtig definiert und ermittelt werden können. Gerade damit wird die Möglichkeit der Schaffung der exakten Wissenschaft „Geomorphologie“ formal bewiesen.**

### 3. Geomorphographie (Bestandteile des Georeliefs)

Allgemeine Bemerkungen

Die geomorphologischen Beobachtungen und Messungen können zuerst in einem Punkt (auf einem kleinen Abschnitt der Erdoberfläche, einige Meter groß) durchgeführt werden, dann genauso in einem anderen Punkt usw. Einen solchen Abschnitt, dessen Größe man bei der Erstellung geomorphologischer Karten in irgendeinem Maßstab vernachlässigen darf, weil dieser Abschnitt auf der Karte nur als Punkt bezeichnet werden kann, ist ein „**Untersuchungspunkt**“, ein Begriff, der von dem geometrischen Begriff „Punkt“ abgeleitet ist. In einem geomorphologischen Untersuchungspunkt verallgemeinert man alle Informationen über die Eigenschaften der Reliefelemente, die diesem Abschnitt der Erdoberfläche angehören, dessen Größe man vernachlässigen kann. Er kann einer Reliefeinheit oder ihrer Grenze mit anderen Einheiten angehören.

Allerdings sollten die geomorphologischen Beobachtungen wie alle anderen nach dem Prinzip des geringstmöglichen materiellen und zeitlichen Aufwandes und mit der für die Lösung der gestellten Aufgabe genügenden Genauigkeit durchgeführt werden. Sie sollten auch mit den für die Geomorphologie notwendigen geologischen Beobachtungen vereinigt werden. Die Lage von Untersuchungspunkten muss man bestimmen und günstig auswählen, z.B.

im Bereich geomorphologischer Grenzen. Man muss betonen, dass die geomorphologischen Untersuchungen im Vergleich zu anderen Geowissenschaften einfacher auszuführen sind, weil das Georelief fast überall bereits exakt genug vermessen und auf den Karten bezeichnet ist. Deswegen kann man die geomorphologischen Erforschungen meistens als Ermittlung spezieller geomorphologischer Informationen im Untersuchungspunkt durchführen sowie einige notwendige geologische Informationen ermitteln. Andere Informationen bieten die topographischen Karten an.

### **3.1. Fazette (Hang) als elementare Einheit des Georeliefs und ihre Parameter**

Um das Georelief zu analysieren, seine Struktur, Genesis und Abfolge zu ermitteln, braucht man eine gleichartige geomorphologische Ausgangseinheit (Element), welche die Reliefanalyse und Reliefsynthese einfach, exakt und formal streng verwirklichen lässt. Für jede Wissenschaft ist es überaus wichtig, solch eine Ausgangseinheit zu entdecken und zu definieren. Das Element ist ein möglichst großer Teil, dessen Eigenschaften innerhalb seines Selbst überall gleich (homogen) sind (diese Definition ist im Prinzip der Definition des chemischen Elements ähnlich). Die Elemente setzen das Ganze zusammen.

**Man muss also definieren, was ein einfachstes gleichartiges Element des Georeliefs ist, das alle Typen seiner Eigenschaften hat, das im gegebenen Maßstab nicht sinnvoll in kleinere Teile gespalten werden und die ganze Vielfalt des Georeliefs zusammensetzen kann. Das „Element“ der Oberfläche darf nur ihre Teilfläche sein.** Ein Punkt oder eine Linie haben nicht alle Eigenschaften der Oberfläche, deswegen können sie die Oberfläche nicht vollständig repräsentieren. Ein einzelner Punkt z.B. hat keine Neigung und Exposition, sowie kein Ausmaß. Eine Linie besitzt keine Fläche, ihre Neigung und Exposition sind oft nicht einheitlich (ungerade und unterschiedlich stark geneigt).

Die Rolle dieses „Elements“ beanspruchen in der Geomorphologie „Reliefform“, „Reliefelement“, „Reliefkante“, „genetisch homogene Oberfläche“, „elementare morphologische Einheit“ (EFREMOV, 1949; ERMOLOV, 1964; BASHENINA, 1967; TIMOFEEV, 1984; UFIMZEV, 1994; LASTOTSCHKIN, 1991; LOSKUTOV, 1996; KUGLER, 1964; u.a.). Aber ihre Definitionen zeigen, dass es dabei um die komplizierten, teilbaren Teile des Georeliefs geht. Z.B. A.N. LASTOTSCHKIN (1991) definiert ein Reliefelement (bzw. Reliefform) als „ein territorial unteilbares Teil, das sich von benachbarten Abschnitten mit seinem Ausmaß und Grundriss im Plan, Quer- und Längsprofilen unterscheidet“ (S. 100). Dabei ist es nicht eindeutig, durch welche konkreten Parameter sich so ein Teil von anderen Teilen unterscheiden soll und warum es unteilbar ist.

Auch in der Klassifikation von H. KUGLER (1964) sind die meisten Georeliefeinheiten („Reliefelemente“, „Reliefformen“, „Formengesellschaften“ und „Reliefregionen“) die komplizierten Gebilde. Z.B. „Georeliefform ist die natürliche Kombination benachbarter Reliefelemente (...) Das „Reliefelement“ ist ein Teil der Oberfläche, der sich aus Fazetten aufbaut und der kleinste, in sich homogene Baustein des Georeliefs ist, deren Homogenität auf einer einheitlichen Tendenz der Wölbung (konvex oder konkav im Profil oder im Plan) beruht (KUGLER u.a., 1980, S. 81). Es gibt in diesem Fall eine Homogenität nur für die Wölbung. KUGLERS Georeliefelement ist kein homogenes geomorphologisches Element, es ist kompliziert aufgebaut, besteht aus mehreren unterschiedlichen Teilen von unterschiedlicher Neigungsstärke und Exposition, die die unterschiedliche Menge der Energie bekommen und sich durch unterschiedliche geologische Prozesse entwickeln.

Nur eine ideal verebnete Fläche, d.h. ohne Krümmung (Wölbung), kann so einer Einheit entsprechen und das ist die sogenannte „Fazette“ (Geofazette). Obwohl H. KUGLER die Wichtigkeit von Fazetten für die Geomorphologie nicht genug beachtet hat, können nur die Fazetten im Sinne der Definition von KUGLER einer elementaren homogenen Einheit des Georeliefs entsprechen, und zwar: „Die Fazetten sind die Teilflächen mit einheitlicher Neigung und Exposition des Reliefs“ (KUGLER u.a., 1980, S. 81). Das ist eine exakte und richtige Definition, die der Weiterentwicklung bedarf. Aber sie war nicht richtig entwickelt worden und hat sogar einen anderen Sinn bekommen. Z.B. nach dem Wörterbuch der allgemeinen Geographie von H. LESER u.a. (1997, S. 198) ist eine Fazette „die einfachste geomorphologische Reliefeinheit, die nach Wölbung, Hangneigungsstärke und Exposition homogen ist“. So eine Definition ist widerspruchsvoll, weil die Einheitlichkeit der Wölbung und der Neigungsstärke für ein und denselben Teil des Georeliefs unmöglich ist. Auch die Einheitlichkeit der Wölbung und der Exposition schließen einander aus.

**Die Geofazette ist also ein Teil des Georeliefs, der keine Krümmung (Wölbung) hat.** Anders gesagt, sie ist der Teil des Georeliefs, der in jedem seinen Bereich die gleiche Exposition und Neigung hat, d.h. er ist eine geometrische gestreckte Ebene (geneigt oder horizontal) (BUTWILOWSKI & PRECHTEL, 2004).

Die „Fazette“ ist ein geometrisch-geomorphologischer Begriff, eine spezielle theoretische topographische Auffassung, welche die geomorphologische Realität abstrahiert. So eine Abstraktion ist in der Geomorphologie absolut

notwendig, um diese Wissenschaft, ähnlich wie die Physik und Chemie weiterzuentwickeln. Jede Fazette muss also eine ideale ebene, flächenhafte Form haben. Man braucht dies, um eine bestimmte und immer reproduzierbare Genauigkeit bei der (kartographischen) Georeliefteilerung und -analyse zu erzielen. Nur auf den topographischen Karten kann man solche Teile der Erdoberfläche mit Hilfe von Isohypsen exakt auszeichnen. Innerhalb einer Fazette sind ihre zugehörigen Isohypsen geradlinig und parallel zu einander (gleiche Exposition) und haben zwischen einander die gleiche horizontale Entfernung (gleiche Neigungsstärke) (Abb. 3.1) (BUTWIŁOWSKI, 1995; BUTWIŁOWSKI & PRECHTEL, 2004). In der Natur existieren solche idealen Flächen kaum. Die realen Teile des Georeliefs, die den auf der Karte in einem bestimmten Maßstab exakt bezeichneten Fazetten entsprechen, sind einigermaßen immer uneben und rau. Man kann eine solche **naturelle** Fläche als „Hang“ oder als „Geofazette“ bezeichnen.

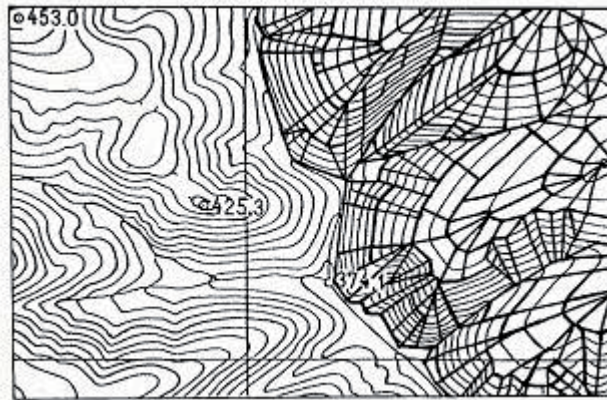


Abb. 3.1: Beispiel der Aussonderung der Hänge (Geofazetten) auf einem fiktiven Kartenausschnitt (die Fazetten sind mit dicken Linien begrenzt). Maßstab 1:20 000

In der Realität ist jeder Hang durch viele kleine Unebenheiten kompliziert aufgebaut. Diese kleinen Unebenheiten können im topographischen Darstellungsmaßstab der Hänge in der Regel nicht bezeichnet werden, deswegen **sollten den Hang** diejenigen **Eigenschaften repräsentieren**, welche **den Parametern seiner Fazette** (Abbildung auf der Karte) **genau entsprechen**. Anders geht es nicht, weil es im Gelände sehr schwierig ist, richtige Beobachtungspunkte, die die Eigenschaften des ganzen Hanges repräsentieren, zu bestimmen, ohne zu wissen, was für allgemeine geometrische Parameter dieser Hang haben soll. Die Daten über seine idealen geometrischen Parameter kann man durch die dementsprechende Fazette gewinnen.

Den Begriff „Hang“ definiert man als Teil der Oberfläche, der eine Neigung oder eine bestimmte Steilheit hat (JAHN, 1954; SAVIGEAR, 1960; OSHEGOW, 1972; GORGE, 1974; u. a.); oder als geneigte Fläche, die von einer anderen Fläche durch einen konvexen bzw. konkaven Knick getrennt ist (SIMONOW, 1972); oder als Abschnitt der Erdoberfläche, der nur in eine Seite geneigt ist (EMELJANOWA, 1972); oder als Oberfläche, auf der das Lockermaterial überwiegend unter der Wirkung der Schwerkraft verschoben wird (WOSKRESENSKIJ, 1969; SIMONOW, 1971; u. a.); oder als Bestandteil (Element) der Gebirge, Täler, Reliefformen (SCHEIDEGGER, 1964; BOWEN, 1972; u. a.). Im „Glossar der Geomorphologie“ (MANNSFELD, KAULFUß, GRUNEWALD, 1996) ist der „Hang“ als „jede geneigte Fläche des Reliefs, die zu einer Hohlform wie auch zu einer Vollform gehören kann“ (S. 43), definiert und kann sich aus verschiedenen Hangteilen zusammensetzen, „die in Unstetigkeiten der Profilinie (Hangknick, Hangkanten) aneinander stoßen“. Im „Wörterbuch Allgemeine Geographie“ (1997) ist der Hang „allgemein eine geneigte Fläche, an der sich geomorphologische Prozesse abgespielt haben oder noch abspielen... Ein Hang wird repräsentiert von einer oder mehreren geneigten Flächen des Georeliefs, weist eine gewisse Hangneigungsstärke, Hangneigungsrichtung und/oder Wölbung auf. **So definiert, ist der Begriff Hang in der Größenordnung nicht festgelegt**. Es kann sich bei ihm demnach sowohl um eine Fazette des Georeliefs, im Sinne der Gliederung der Formen in Georeliefelemente handeln, als auch um eine zusammengesetzte größere Form“ (S. 304). Diese Definitionen sind leider nicht effektiv, weil bei ihnen keine logisch begründeten Kriterien und keine exakten Merkmale gegeben sind, um die Hänge im Gelände oder auf der Karte exakt auszusondern und ihre Grenzen feststellen zu können. Deswegen wäre es richtiger, den Begriff „Hang“ im Sinne einer Fazette zu verwenden.

Jeder Hang (Fazette) besteht aus einer gestreckten Fläche und ihren Grenzlinien und Grenzpunkten, hat seinen Platz im Georelief, seine Exposition, Neigungsstärke, Höhe, Figur und seinen Ausmaß, wird exakt auf der topographischen Karte oder mit Hilfe von einer Karte im Gelände abgesondert. Selbstverständlich ist jeder Hang von anderen durch die Grenzen getrennt. Die **geomorphologischen Grenzen sind Linien, die die benachbarten Hänge** (Fazetten) von einander absondern. Der Raum im Inneren der Kontur, die von diesen Grenzen bezeichnet ist, gehört nur einem Hang an. Der Raum außerhalb dieser Grenzen gehört anderen Hängen.

Unter den quantitativen geomorphographischen Hauptparameter des Georeliefs werden üblicherweise die absoluten und relativen Höhen, die Tiefe und Dichte der Georeliefgliederung, die Neigungen und Gradienten, die Form von Elementen der Orographie u.a. verstanden. A.N. LASTOTSCHKIN (1991) meint richtig, dass viele von diesen Kennzeichen einander dublieren. Er bestimmt die folgenden Hauptparameter: absolute Höhe, erste Ableitung der Funktion der Höhe (Neigung), ihre zweite Ableitung (konkave und konvexe Krümmungen). Die Analyse dieser drei Parameter gibt, seiner Meinung nach, die Möglichkeit, das Problem der Reliefanalyse zu lösen. Diese Parameter lassen dieses Problem doch nicht lösen, weil z.B. **die konvexen und konkaven Teile des Reliefs immer einen gemeinsamen Teil haben**, und es unmöglich ist, die Grenze zwischen ihnen logisch begründet zu bestimmen (siehe Kapitel 3.2).

Man muss die Begriffe bestimmen, die die geomorphographischen Parameter der Hänge bezeichnen. Die Größen der Hangkonturen, die auf den topographischen Karten bezeichnet werden, sind nichts anderes als die Größen der vertikalen Projektion des Hanges auf die horizontale Ebene, aber nicht die Größen der Hangebene selbst. Deshalb muss man einige quantitative Parameter der Hänge einführen, die im Gelände gemessen werden oder aus den topographischen Karten berechnet werden können. **Der Karte muss man allerdings den Vorzug geben.** Die Vermessungen auf der Karte sind einfacher, exakter und schneller.

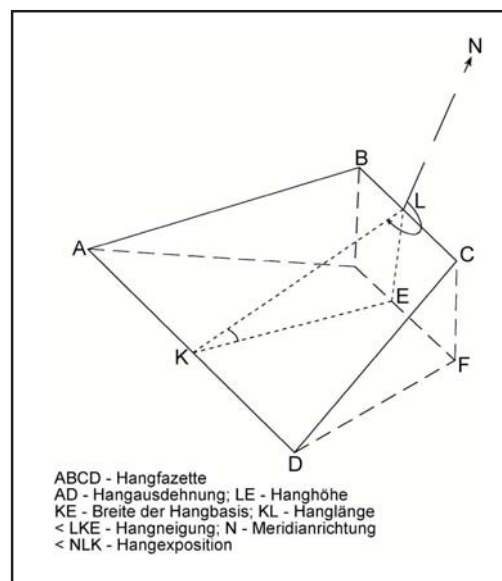


Abb. 3.2: Geomorphografische Parameter und Kennzeichen des Hanges

Die „**Hangfigur**“ (Grundriss) ist eine flächenhafte geometrische Figur, die von den Grenzlinien des Hanges gebildet wird. Die Aussonderung des Hanges auf der Karte erfolgt mit Hilfe von Isohypsen, deshalb können die Figuren von Hängen (Fazetten) auf den Karten nur dreieckige Formen haben oder Formen von vieleckigen Figuren mit zwei parallelen gegenüberliegenden Grenzlinien, die den Isohypsen entlang folgen (Trapez, Rechteck, Rhombus, Vieleck). Außer anderen Grenzlinien muss **jede Fazette zwei parallele Grenzlinien** (Basislinien, AD und BC) **haben oder nur eine** (AD), **wenn sie ein Dreieck ist**. Die Basislinien sollen mit den bestimmten Isohypsen zusammenfallen. Beispiele ihrer Aussonderung sind auf der Karte gezeigt (Abb. 3.1.). Die „**Hangausdehnung**“ ist die größte laterale Ausdehnung des Hanges entlang eines Teiles der ihm angehörenden Isohypsen; sie wird aus seiner Projektion auf der Karte gemessen (Abb. 3.2). Die „**Hanghöhe**“ ist der vertikale Abstand zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Punkt des Hanges; sie wird als Differenz der absoluten Höhen zwischen den höchsten und niedrigsten Isohypsen (Punkte), die zum Hang gehören, berechnet. Die „**Breite der Hangbasis**“ ist der kürzeste laterale Abstand zwischen den höchsten und niedrigsten Punkten des Hanges; sie wird aus seiner Projektion auf der Karte gemessen. Die „Hanglänge“ ist der Abstand auf der Hangebene zwischen den höchsten und niedrigsten Punkten des Hanges; sie wird im Gelände vermessen oder auf der Karte durch die Division der „Breite der Hangbasis“ durch den Kosinus des Hangneigungswinkels ausgerechnet. Die „Hangneigung“ (Neigungsstärke) ist der größte Winkel zwischen der Hangebene und der horizontalen Ebene. Die „Hangexposition“ ist der Winkel zwischen der Falllinie (Neigungsrichtung) auf der Hangebene und der Nordrichtung. Dieser Winkel wird von der Nordrichtung im Uhrzeigersinn abgelesen. Der Wert der Hangneigung oder der Hangexposition wird in Winkelgrad gemessen (die Neigungsstärke von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$ , die Exposition von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ ).

Die minimal mögliche (auf der Karte darstellbare) Größe des Hanges bestimmt der Darstellungsmaßstab. Das minimale Ausmaß des Hanges muss so sein, dass es auf der Karte eine Größe von nicht weniger als 4-5 mm<sup>2</sup> einnimmt. Dieselben Kriterien werden z. B. bei der geologischen Kartierung angenommen und es ist praktisch,

diesen zu folgen. Die Aufgabe der Aussonderung des kleinsten homogenen Teils im Georelief hat keine Lösung und sollte nicht gestellt werden, weil es kein logisches Kriterium gibt, um zu bestimmen, welcher Teil des Georeliefs der kleinste ist. **Zweckmäßig ist die Aussonderung der größtmöglichen Georeliefteile (Fazetten), die homogen im gegebenen Maßstab sind.** Dafür gibt es exakte Kriterien, und das ist die richtige und vorteilhafte Lösung der praktischen Aufgabe der Inventarisierung und Bewertung des Georeliefs.

Die flächenhaften Georeliefelemente (Hänge), die im gegebenen Maßstab nicht abgebildet werden können, werden Teile größerer flächenhafter Georeliefelemente (Hänge) oder verwandeln sich in linienförmige und punktförmige Grenzen des Georeliefs: in die Grenzlinien, in die Punkte der Gipfel oder Niederungen. Die Auszeichnung der Grenzlinien und Grenzpunkte im Georelief ist auch sehr wichtig und nötig. Erstens sind sie immer die Bestandteile größerer Hänge und ihrer untrennbaren Eigenschaften, und zweitens haben einige von ihnen eine besondere Bedeutung als Anfangspunkte und Anfangslinien bei der Analyse der räumlich-zeitlichen Struktur des Georeliefs oder seiner Dynamik (in nächsten Kapiteln). Solche besonders wichtigen Punkte und Linien sind:

- der „**Gipfel**“ - ein Punkt des Georeliefs, der höher liegt als alle ihn umringenden Punkte;
- die „**Niederung**“ - ein Punkt im Georelief, der niedriger als alle ihn umringenden Punkte ist;
- die „**Wasserscheide**“ - eine Linie im Georelief, für die gilt: jeder Punkt der Linie liegt höher als alle benachbarten Punkte des Reliefprofils, welches durch diesen Punkt verläuft;
- der „**Talweg**“ - eine Linie im Georelief, für die gilt: jeder Punkt der Linie sei niedriger als alle benachbarten Punkte des Reliefprofils, das durch diesen Punkt verläuft (Abb. 3.3).

Das „**Reliefprofil**“ ist eine Linie, die auf dem Reliefabschnitt in Richtung der maximalen Neigung seiner Hänge verläuft. Einen besonderen Status haben die Profile der Wasserscheiden. In Schnittpunkten mit den übrigen Reliefprofilen sind die Richtungen der Wasserscheidenlinien immer senkrecht zu den Richtungen der übrigen Reliefprofile.

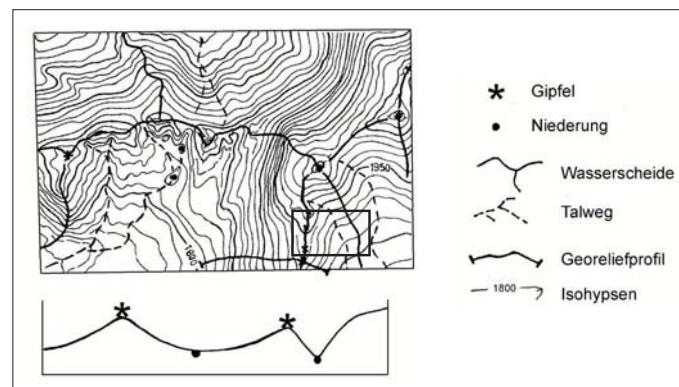


Abb. 3.3: Beispiele der Auszeichnung der linearen und punktierten Bestandteile von Reliefelementen in einem Kartenabschnitt und Georeliefprofil

Das Georelief kann man als Kombination der Hänge betrachten (SPIRIDONOW, 1971). Seine Bestandteile (die Hänge) sind im Raum verschiedenartig angeordnet und bilden eine Struktur (Gefüge, Zusammensetzung) **oder den geomorphologischen Aufbau**. Man kann die Struktur als Form der Anordnung der Elemente und Teile des Ganzen definieren. Die „**Geomorphostruktur**“ ist eine Form der Anordnung der Hänge im Verhältnis zu einander, die durch ihre Lage, Gestalt und Abfolge im Georelief geäußert wird.

Die Aussonderung der Hänge (Fazetten) auf topographischen Karten ist exakt durchführbar und reproduzierbar (Abb. 3.1). Die Genauigkeit der Aussonderung der Hänge hängt vor allem von der Genauigkeit der topographischen Karten ab. **Das Verfahren der Aussonderung der Hänge entspricht völlig den Anforderungen exakter Wissenschaften. Damit ist in der Geomorphologie die Genauigkeit und Wahrheit der Datengewinnung und der Forschungsdurchführung am Anfang gesichert.** Darin besteht ihr riesiger Vorteil gegenüber allen anderen Geowissenschaften.

### 3.1.1. Geofazette (Hang) als „energetische“ Homogenität

Es ist bekannt, dass die Erdoberfläche unter äußerer energetischer Einwirkung steht. Diese Energie besteht aus der Sonnenstrahlungsenergie, Energie der Schwerkraft und der Einwirkung von Umweltmedien (Regen, Wind, Gletscher, Meer usw.). Die aufgenommene Energie bedingt die chemischen und physikalischen Zustände und Änderungen des erdoberflächlichen Stoffes und damit die Änderung (**Entwicklung**) des Georeliefs.



Es ist logisch anzunehmen, dass die Einteilung der Erdoberfläche auf verschiedene Hänge auch eine Einteilung der Erdoberfläche auf verschiedene Abschnitte ist, welche auf einer ihrer Flächeneinheit (z.B. 1 m<sup>2</sup>) eine bestimmte Menge von Energie bekommen. Diesen Energiezufluss (z.B. die Sonnenstrahlung) kann man als **energetischer Strom** bezeichnen, der von einer Region zur anderen Region wesentlich unterschiedlich sein kann (außer Schwerkraft). Die Ausdehnung homogener energetischer Ströme ist um ein Vielfaches größer als die Fläche der Geofazetten, die im Maßstab des Untersuchungspunktes abgesondert werden. Sogar die Regenströme oder Windströme umfassen Flächen, die immer hundertmal größer sind als die Flächen der im Maßstab 1: 25 000 abgesonderten Geofazetten, deren Neigungsstärke der realen Erdoberfläche noch ziemlich exakt korrespondiert. Deshalb ist die theoretische Annahme möglich und nötig, dass der energetische Strom, der auf die Geofazette (Hang) und auf die benachbarten Geofazetten (Hänge) zuläuft (aber noch nicht von ihnen eingenommen ist), für alle diesen Geofazetten **gleich** ist.

Da der auf einen Georeliefabschnitt zulaufende Energiestrom homogen genug ist, ist es logisch zu behaupten, dass auf jeden Punkt einer Fazette die gleiche Menge von Energie zukommt und dadurch die gleiche energetische Einwirkung entsteht. Infolge dessen, dass die Fazette keine Änderungen ihrer Neigungsstärke und Exposition hat, werden deswegen die gleiche energetische Belastung innerhalb ihrer ganzen Fläche und die gleichen Bedingungen (energetische Basis) für ihre nachfolgende Entwicklung erschaffen. D.h., dass alle ihre Punkte sich gleich entwickeln müssen.

Von dem Obengesagten ausgehend, ist es logisch ein entgegen gesetztes Theorem zu formulieren: **es gibt niemals benachbarte Geofazetten, die auf ihre Flächeneinheit (Punkt) die gleiche energetische Einwirkung** haben. Wenn diese Einwirkung immer unterschiedlich ist, so werden auch die Eigenschaften und Zustände der Erdoberflächenteile **unterschiedlich**, die diesen Fazetten entsprechen, sowie die Entwicklung dieser Geofazetten im Vergleich zu einander.

Der Beweis dieses Theorems ist sehr einfach. Wenn die Geofazetten miteinander benachbart sind, so heißt das logischerweise, dass sie sich von einander entweder durch die Neigungsstärke oder durch die Exposition, oder durch beides unterscheiden. Wenn sie sich von einander durch die Neigungsstärke unterscheiden, so bedeutet das, dass auf jeden Punkt einer Geofazette eine größere oder kleinere **Schubkraft** wirkt als eine Schubkraft, die auf jeden materiellen Punkt einer benachbarten Geofazette wirkt. Die Schubkraft (**F<sub>s</sub>**) ist das Produkt des Gewichtes vom materiellen Punkt (Gesteinteilchen) (**m • g**) und des Sinus vom Neigungswinkel (**α**) der Geofazette (**sin α**) (Abb. 3.4):

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Das heißt, dass je größer der Neigungswinkel der Geofazette ist, desto größer ist die Schubkraft, die auf jeden ihren materiellen Punkt wirkt. Die Schubkraft auf der steileren Geofazette ist immer größer als die Schubkraft auf der flacheren Geofazette.

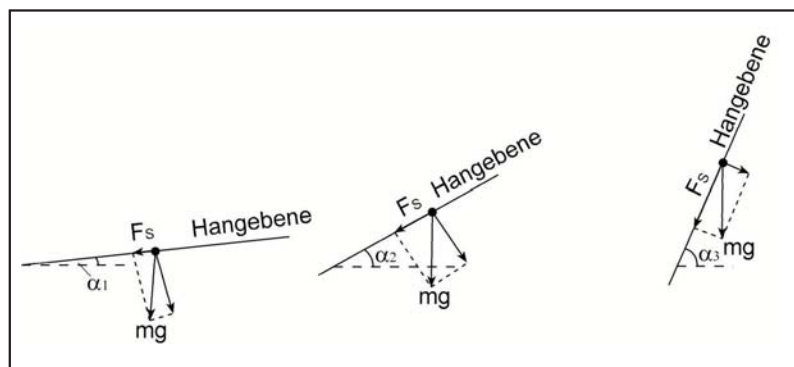


Abb. 3.4: Geometrische Darstellung der Größe der Schubkraft (F<sub>s</sub>) bei den verschiedenen Hangneigungen ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ) (Erklärungen im Text)

Es ist leicht zu beweisen, dass die Punkte unterschiedlich steiler benachbarter Geofazetten auch eine ungleiche Menge der Sonnenenergie und ungleiche Einwirkung von bewegenden Umweltmedien bekommen, wobei die Menge von Energie auch von der Hangneigung und von der Richtung des auftretenden Energiestromes abhängt. Bei einer Richtung erhalten die steileren Geofazetten mehr Energie, bei einer anderen - die flacheren Geofazetten. Im Bereich des Äquators bekommen z. B. die subhorizontalen Geofazetten mehr Sonnenenergie. Weniger Energie erhalten hier die subvertikalen Geofazetten südlicher und nördlicher Exposition. Auf der Nordhalbkugel bekommen die steileren Geofazetten südlicher Exposition mehr Sonnenenergie. Am wenigsten Energie erhalten hier die subvertikalen Geofazetten nördlicher Exposition. Noch kompliziertere energetische Verhältnisse ergeben sich aus den

richtungsändernden Strömen beweglicher Umweltmedien. Ihre Wirkungen kann man nur als **ungleiche** Wirkungen für benachbarte Geofazetten bei derselben Naturerscheinung (Ereignis) (z.B. beim Regen) einschätzen. Bei unterschiedlichen Erscheinungen kann ihre Einwirkung bald für die eine, bald für die andere Geofazette größer sein. **Nur die Schwerkraft (Schubkraft) wirkt eindeutig und ist immer größer für die steileren Geofazetten. Gerade sie ist die stabil wirkende Hauptkraft bei der Georeliefentwicklung.**

Den Geofazetten von gleicher Steilheit, aber von unterschiedlicher Exposition werden auch unterschiedliche energetische Einwirkungen aufgrund unterschiedlicher Zufuhr der Sonnenenergie und der Wirkung der bewegenden Umweltmedien zugeführt. Das kann man auch leicht beweisen und der Leser kann das selbst tun.

Weit von einander **entfernt liegende Geofazetten** können sogar bei unterschiedlichen Parametern (Neigungsstärke und Exposition) die gleiche energetische Belastung auf ihre Punkte bekommen. Unsere Aufgabe besteht jedoch darin, zu beweisen, dass die **benachbarten Geofazetten immer verschieden von einander sind, nicht nur durch ihre geomorphographischen Parameter, sondern auch durch ihre energetische Belastung.** Gerade aus dieser Belastung folgen viele andere Eigenschaften der Geofazetten, weil sich die natürlichen Prozesse der Hangentwicklung nur bei Erhaltung der Energie von Außen verwirklichen. Deshalb ist es wichtig zu wissen, welche Kräfte auf das Georelief wirken, und welche Wichtigkeit bei der Verteilung und bei der Äußerung dieser Kräfte **gerade die Geofazetten (Hänge) haben.**

Als Bestätigung dieser theoretischen Schlussfolgerungen muss man sich auch empirischen Daten zuwenden. Den größten Unterschied der Luft- und Bodentemperaturen in verschiedener Tiefe/Höhe, Bodenfeuchtigkeit und der Beleuchtung (Bestrahlung) beobachtet man im Gebirge der Nordhalbkugel üblicherweise zwischen nordöstlichen und südwestlichen Hängen. Die Vergrößerung der Neigungsstärke eines südlich exponierten Hanges um nur 1° verursacht eine Zunahme der direkten Sonnenenergie, als ob diese Gegend 100 km näher zum Äquator wäre. G. WALTHER (1982) weist auch darauf hin, dass „bei Absorption der Insolation die Menge von Energie, die der Boden bekommt,... von der Exposition und der Neigungsstärke der Hänge abhängt. Das gilt vor allem für die direkte Sonnenstrahlung... Eine wichtige Rolle spielt dabei die geographische Breite. Am Äquator, am Mittag gibt es keine Unterschiede bei der Aufnahme von der Insolationsenergie zwischen Hängen von verschiedenen Expositionen, aber von gleicher Steilheit. Morgens oder abends bekommen hier die östlichen oder die westlichen Hänge entsprechend mehr Energie. Nördlich vom Äquator bekommen die Hänge südlicher Exposition mehr Energie, südlich vom Äquator - die Hänge nördlicher Exposition. In der Arktis können sehr steile Hänge senkrecht zu den Sonnenstrahlen liegen und die Oberfläche des Bodens kann sich sogar auf bis zu +50°C erhitzen (...) TERNER hat auf einem südwestlichen Hang in den Alpen auf der absoluten Höhe von etwa 2000 m auf dunklem Humusboden die Temperatur von +79,8°C in der Bodentiefe von 1 m gemessen. Eine Stunde lang war die Bodentemperatur höher als +75°C und 4 Stunden lang höher als +55°C... Die höchsten Boden- und Lufttemperaturen werden üblicherweise auf südwestlichen Hängen festgestellt... Die niedrigsten Temperaturen werden immer auf nördlichen Hängen gemessen. SCHADE maß in den Jahren 1910-1917 die Bodentemperaturen im Elbsandsteingebirge auf moosbedeckten Felsen von nordöstlicher Exposition und auf von ihnen nur 50 m entfernten Felsen von südlicher Exposition. Für diese Zeitspanne betrug das durchschnittliche jährliche Temperaturmaximum auf nördlichen Felsen etwa +15,9°C, auf südlichen Felsen - +52,6°C“ (S. 168).

Es ist auch festgestellt worden, dass die benachbarten Hänge unterschiedlicher Höhenlage energetisch einander beeinflussen. Ihre Einwirkung äußert sich besonders stark in der Nacht (WALTHER 1982). Die kühle Luft, die an der Erdoberfläche liegt, ist relativ schwer und strebt deshalb danach, nach unten zu fließen. Auf flachen Hängen bleibt die kühle Luft fast stehen und fließt sehr langsam; auf steilen Hängen bewegt sie sich schneller nach unten. In der Nacht werden deswegen die unten liegenden flachen Hänge fast immer von der relativ kälteren Luft bedeckt. Z.B. „der große „See der Kälte“ bildet sich oft in Baar (700-800 m über dem Meeresspiegel, - eine Senke zwischen Schwarzwald und Jura). Im Jahre 1949 wurden in dieser Senke nur 12 Tage ohne Bodenfrost registriert, aber auf ihren benachbarten Gebirgshängen wurden gleichzeitig sogar 170 Tage ohne Frost gezählt. Beim Vergleich der Bereiche von Wasserscheiden und Talwegen sind letztere, wegen der Luftstagnation in der Nacht kälter, aber am Tag heißer (bei sonnigem Wetter), d.h. den Talwegsbereichen sind größere Temperaturschwankungen zu Eigen“ (WALTHER 1982, S. 169-170). Das Verzeichnis ähnlicher Daten könnte man fortsetzen (MOSOLOV, 1949; SWONKOVA, 1959; SOORER, 1960; u.a.), aber dieses Beispiel reicht jedoch vollkommen, um die Unterschiede der energetischen Belastung und Bilanz für benachbarte Hänge zu bestätigen.

Es ist also immer sinnvoll, die geomorphologischen Primärdaten gerade an die Hänge (Geofazetten) anzuknüpfen, weil bestimmte Hänge immer bestimmte homogene Eigenschaften haben und diese bewahren können, solange diese Hänge existieren. Die Analyse des Georeliefs mittels Geofazetten ist logisch und theoretisch richtig. Sie ist einfach und praktisch exakt anwendbar, universell und kann eine Einsatzbasis für die Geowissenschaften sein. Gerade die geomorphologischen Elemente (Geofazetten) können eine Basis für das GIS und für viele Kartentypen von Objekten der Erdoberfläche zusammenstellen.

**Es gibt aber auch Misserfolge bei der Untersuchung des Georeliefs durch die Geofazetten.** SIGBURG u.a. (1987) haben sich z. B. folgende Aufgaben gestellt: Sie wollten erkennen, wie auf den Geofazetten geomorphologische Prozesse ablaufen und wie sich in jeder Fazette die Umwelteinwirkung und die Faktoren der Reliefentwicklung äußern. Zuerst haben die Verfasser eine topographische Karte vom Maßstab 1:25000 in Quadrate mit der Seitenlänge 1 cm eingeteilt. Dann haben sie ermittelt, ob jedes Quadrat eine Fazette ist oder nicht. Es wurde von ihnen festgestellt, dass die meisten Quadrate ein kompliziertes Relief haben und keine Geofazetten sind. Deshalb begannen die Autoren, die Abweichungen des Reliefs von den Merkmalen von Geofazetten in diesen Quadraten zu vernachlässigen. Die Abweichungen bei den Entfernungen zwischen benachbarten Isohypsen (Neigungsstärke) erreichten dabei bis zu 20% (Abweichungen bei der Exposition - 5 - 10° und mehr). Außerdem haben sie in ihren „Geofazetten“ konkave oder konvexe Teile des Reliefs eingeschlossen. **Dieses Verfahren, welches eingerichtet wurde, um die Bequemlichkeit nächster Forschungsschritte zu erzielen** (das Netz der Quadrate zu bewahren, alle Quadrate als Geofazetten anzunehmen), **war der methodische Hauptfehler dieser Forschungen, weil im Ergebnis die Einheiten, die als Geofazetten betrachtet wurden, meist keine Geofazetten waren. Außerdem haben die Autoren diese „Geofazetten“ nicht in disjunktive und sedimentative Einheiten eingeteilt** (man muss sie unbedingt getrennt analysieren), **was der zweite prinzipielle Fehler war.**

Aus solchen „Geofazetten“ haben die Autoren Reliefprofile zusammengestellt und mit Informationen über Umweltkomponenten (Böden, Gesteine u.a.) und Umweltfaktoren (Klimadaten usw.) verglichen. Als Ergebnis davon kamen sie zu den methodisch falschen Schlussfolgerungen darüber, dass es keine gut ausgeprägten Gesetzmäßigkeiten zwischen „Geofazetten“ und der Exposition, dem Substrat, der Reliefenergie, den Gesteinen gibt. Mittels Faktorenanalyse sind die Autoren zu unverständlichen Schlussfolgerungen gekommen, dass die Neigungsstärke der Geofazetten von der gemeinsamen Wirkung von Tektonik und Klima (Gewicht - 47,7%), von Klima und Exposition (17%), vom Substrat (11%) und von der Entfernung von der Denudationsbasis (10%) bestimmt wird. Zum Schluss betonen die Autoren selbst, dass die Analyse der Geofazetten keine effektiven Möglichkeiten gebracht hat. **Diese gravierende Schlussfolgerung ist aber überhaupt nicht begründet.**

### 3.2. Reliefformen

Es gibt vier Gruppen von Definitionen des Begriffes „Reliefform“ (Terminologie..., 1977, S. 137):

- „Die Reliefformen sind einzelne geometrische Körper, die das Georelief zusammensetzen und das bestimmte Volumen haben (EFREMOV, 1949), d.h. natürliche Körper, die man mit geometrischen Figuren z.B. mit dem Kegel, Prisma, mit der Pyramide oder Fläche usw. vergleichen kann.
- Sie sind relativ kleine Unebenheiten der Erdoberfläche mit bestimmten Grundrissen (Kombination der Kanten) und mit einer bestimmten Genesis (BOTSCH, KRASNOV, 1958).
- Sie sind Elemente des Georeliefs, die einen unteilbaren Aufbau haben. Sie können einfach, elementar und kompliziert sein (Geologisches Wörterbuch, 1978).
- „Reliefform“ ist ein Begriff von freier Benutzung, der sich mit den Unebenheiten der Erdoberfläche von beliebiger Größe und der Genesis bezieht (BRYAN, 1922).

A.N. LASTOTSCHKIN (1991) betont richtig die Unmöglichkeit exakter und reproduzierbarer Absonderung der Reliefformen im Georelief, wenn man diesen Definitionen und Auffassungen folgt. Man muss die Reliefform (Unebenheit) anders definieren.

Ein einzelnes flächenhaftes Georeliefelement (Fazette) ist also immer gestreckt (eben). Die „Unebenheiten“ entstehen nur dann, wenn einige Georeliefelemente in einem Ort einander berühren und eine Gesamtheit bilden. **Die Unebenheit ist die Gesamtheit von zwei oder mehreren Fazetten** (Hängen) (Abb. 3.5).

Einige bestimmte Gesamtheiten von Hängen nennt man „Reliefformen“, „Unebenheiten“ oder „Landformen“. Diese Begriffe werden sehr oft von Geomorphologen für die Bezeichnung der Georeliefabschnitte verwendet, und der passende von ihnen ist die „**Reliefform**“ (LESER, 1995). Man muss dem A.N. LASTOTSCHKIN (1993) Recht geben, dass der Begriff „Reliefform“ etymologisch ungeeignet ist (wörtlich - „Form der Formen“). Trotzdem kann man diesen Begriff dulden, weil alle sich an ihn gewöhnt haben (LASAREWITSCH, 1994). Ich glaube, im Laufe der Zeit erledigt sich dieses Problem von selbst. Dieser Begriff ist bei der geomorphologischen Analyse nicht nötig, aber er kann für die geographischen und geomorphologischen Beschreibungen des Geländes nützlich sein.

Man darf nicht vergessen, dass Reliefformen vor allem bestimmte geometrischartige (morphologische) Gemengen von Hängen sind. Sie können aus genetisch ganz unterschiedlichen Hängen bestehen und stellen sehr oft keine einheitlichen geomorphologischen Komplexe (Gemenge) dar. Damit sind sie für die dynamische und historische Geomorphologie nicht anwendbar und müssen durch die anders definierten Hanggemengen (Neigungsgürtel, Reliefkomplex) ersetzt werden (nächste Kapitel).

Es wird angenommen, dass die Reliefformen positiv oder negativ, konvex oder konkav, groß oder klein sein können. N.A. FLORENSOW (1978) behauptet, dass es nicht nötig und eher schädlich als nützlich ist, die Reliefformen als geschlossene oder halbgeschlossene Volumina zu betrachten. Das gilt auch für die Bezeichnungen „positive und negative Reliefformen“. Das ist richtig. Trotzdem muss man bestimmen, welche geometrischen Eigenschaften die Reliefformen charakterisieren. Aus meiner Sicht, sind die folgenden Eigenschaften wichtig: das **Ausmaß** (Länge, Höhe, Basisbreite), die **Profilform** und die **Grundrissform** (Figur). Diese Formen gibt es bei den Reliefformen nur in zwei Arten: **konvex** und/oder **konkav**. Das „konvexe“ Profil ist das Profil einer Reliefform, deren Bestandteile (Hänge) von einem bestimmten Punkt (z.B. Gipfel) nach unten hin immer steiler werden. Das „konkave“ Profil ist das Profil einer Reliefform, deren Bestandteile (Hänge) von einem bestimmten Punkt (z.B. Niederung) nach oben hin immer steiler werden. Der konvexe Grundriss einer Reliefform ist eine Kontur, für deren Bestandteile sich die Exposition im Uhrzeigersinn in der Folge „N-O-S-W-N“ ändert. Der konkave Grundriss einer Reliefform ist eine Kontur, für deren Bestandteile sich die Exposition auch in der Folge „N-O-S-W-N“ ändert, jedoch um 180° den benachbarten konvexen Reliefformen entgegengesetzt (Abb. 3.6). Diesen Definitionen folgend, kann man die einzelnen Reliefformen im Georelief und auf den topographischen Karten exakt absondern. Man muss betonen, dass die benachbarten konvexen und konkaven Reliefformen immer einen gemeinsamen Hang haben, der beiden angehören kann. Dadurch kann man die Reliefformen formal begründet von einander nicht absondern. Bei der Absonderung einer von ihnen ist man immer gezwungen, in sie einen Hang einzuschließen, der auch der anderen Unebenheit angehört. Die Hänge dagegen kann man immer von einander absondern, darin besteht gerade der Vorteil der Absonderung von Hängen im Georelief anstelle von Reliefformen. Im Georelief ist die exakte Absonderung nur eines Typs von Unebenheiten möglich: entweder nur konvex oder nur konkav.

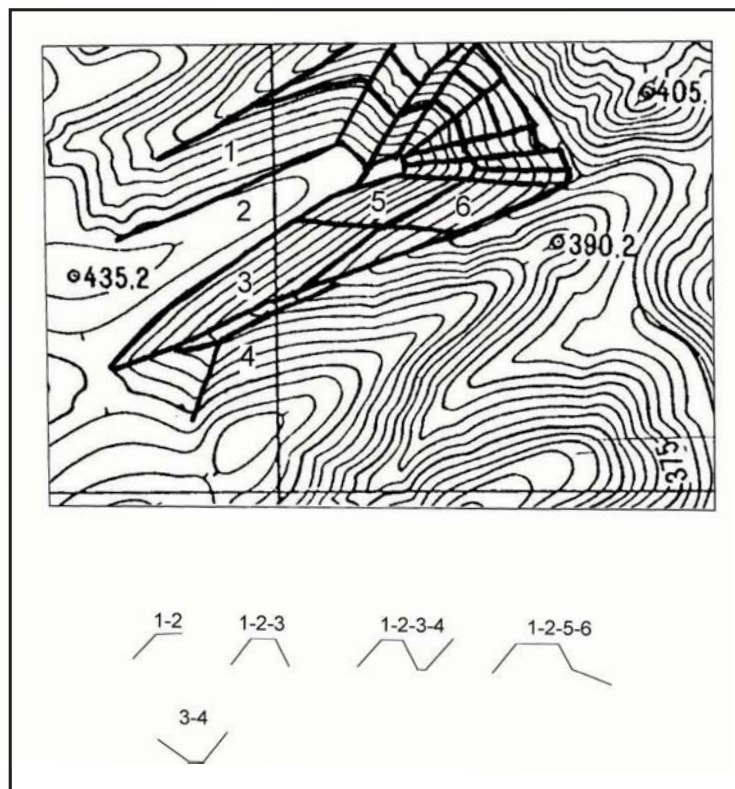


Abb. 3.5: Beispiele der Auszeichnung der Unebenheiten auf topographischen Karten und Gestalt der Reliefprofile einiger Unebenheiten (1-2; 1-2-5-6; usw.)

Das mag nur in speziellen Fällen nötig sein, z.B. bei der Untersuchung der Richtungen des Stoffabtrages von der Erdoberfläche. Man muss auch betonen, dass jede **Hebung** immer konvex und jede **Senkung** immer konkav ist, **von konvexen Unebenheiten immer der Abtrag läuft, und auf konkaven Unebenheiten auch die Akkumulation möglich ist**. Wenn das Georelief zuerst in seine disjunktiven und sedimentativen Teile eingeteilt wird (was möglich ist), dann wird eine eindeutige Absonderung der konvexen von konkaven Reliefformen im Georelief möglich.

Die Kombinationen (zweier oder mehrerer) verschiedener Hänge stellen die Reliefformen zusammen, deren gesamte Vielfalt sich in verschiedene Typen einteilt. Z.B. die Kombinationen von zwei Hängen können 4 Typen von Reliefformen zusammenstellen: konvex im Profil (**die Abstufung**), konkav im Profil (**die Terrasse**), konvex im Grundriss (**der Vorsprung**), konkav im Grundriss (**die Nische**) (Abb. 3.7).

Die Hänge können folgende einfache Typen von konvexen und konkaven Reliefformen zusammenstellen (Abb. 3.8). Z. B. ist die **Kuppe** (Bergkuppe, Spitze, Bergspitze) ein Teil des Georeliefs, der sich über die umgebenden Georeliefteile erhebt und auf der topographischen Karte durch mindestens eine geschlossene Isohypse dargestellt wird. Sie hat auf der Karte einen konvexen Grundriss, dessen Verhältnis der Länge zur Breite nicht größer als zwei zu eins ist. Bei den **Wällen** (Berg Rücken) ist das Verhältnis zwischen Länge und Breite größer als zwei zu eins. Der **Kessel** (Mulde, Trichter) ist ein Relieftteil, der eine geschlossene Senkung ist, die auf einer topographischen Karte mindestens von einer geschlossenen Isohypse begrenzt wird, wobei das Verhältnis der Länge zur Breite dieser konkaven Kontur nicht größer als zwei zu eins ist. Die **Vertiefung** (Wanne) ist das gleiche wie ein Kessel, nur dass das Verhältnis der Länge zur Breite größer als zwei zu eins ist. Das Tal (Delle, Kerbtal usw.) ist ein Senkungsteil im Georelief, in einer Richtung offen, mit einem Verhältnis der Länge zur Breite von mehr als zwei zu eins. Die **Nische** (Kar) ist das gleiche wie ein Tal, nur sein Verhältnis der Länge zur Breite ist nicht größer als zwei zu eins. Der **Bergsporn** ist ein erhöhter Teil im Georelief, der in einer Richtung aus dem allgemeinen Grundriss einer Reliefform hinausragt.

Es wurden auch andere Versuche unternommen, die einfachen Reliefformen zu typisieren und zu definieren. Eine interessante Klassifikation ist von H. FIEDLER, FR. HOFFMAN & H. SCHMIEDEL (1964) entworfen worden. In dieser Klassifikation sind auch teilweise meiner Klassifikation ähnliche Reliefformen (Flachformen, Vollformen, Hohlformen) angegeben, aber leider ohne exakte Definitionen und ohne exakte quantitative Merkmale.

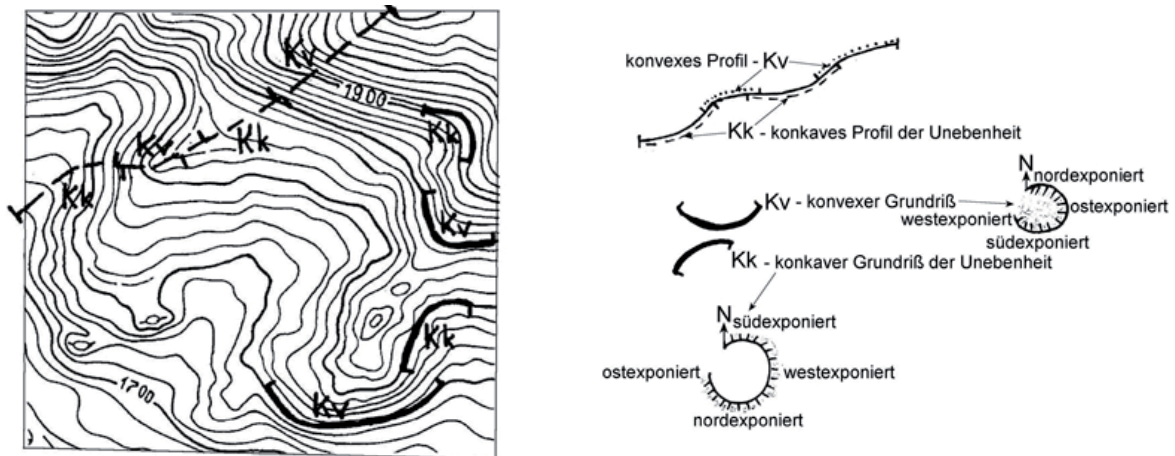


Abb. 3.6: Arten von Profil- und Grundrissformen der Unebenheiten und ihre Auszeichnung auf der Karte

Unter Berücksichtigung der Lage, der Orientierung, der Steilheit, der Größe und der Kombination der Reliefformen kann man komplizierte Morphokomplexe absondern, die sogenannten „Georelieftypen“: kessel-hügelförmige, tal-kettenförmige, alpidische, verebnete usw. Georelieftypen (Hochgebirge, Plateau, Tiefebene, Mittelgebirge). Man kann diese Typen genetisch und morphologisch charakterisieren (glazigene Tiefebene, Karstrelief, Badland, denudatives Plateau). Unter dem „Georelieftyp“ versteht man also eine gesetzmäßige mehrmalige Kombination bestimmter Reliefformen.

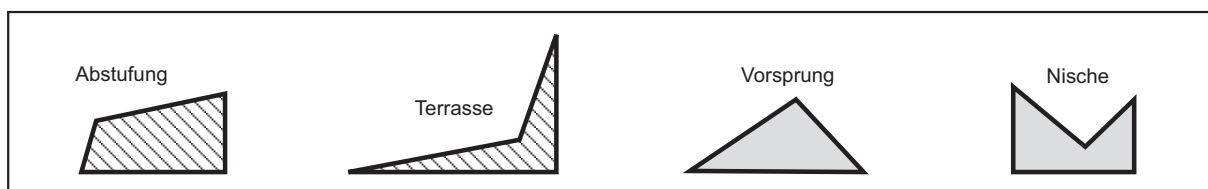


Abb. 3.7: Reliefformtypen aus zwei Hängen

Man muss aber festhalten, dass die Absonderung der Georelieftypen vielleicht für die Rayonierung des Georeliefs und für die Generalisierung der Informationen über das Georelief nützlich sein kann, aber für die theoretisch strenge Analyse und Synthese des Georeliefs nicht geeignet ist. Warum? Weil man sogar die bereits gegebenen, ziemlich exakten Definitionen der Reliefformen benutzend, diese Reliefformen nicht immer exakt und ohne Widersprüche auf den Karten und in der Gegend absondern kann. Wenn die Grenze zwischen dem Tal und der Bergkette oder zwischen der Nische und dem Vorsprung tatsächlich unmöglich zu erkennen und durchzuziehen ist, über welche Reliefanalyse kann man da sprechen?

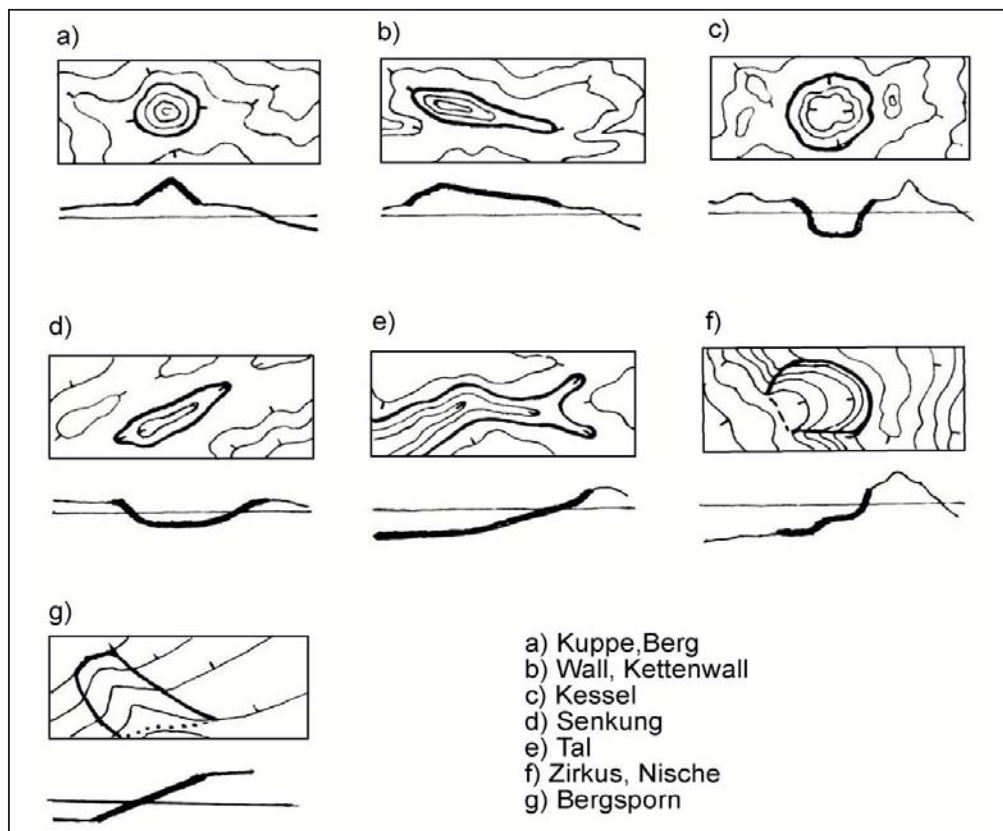


Abb. 3.8: Typen der einfachen Reliefformen und ihre Gestalt in topographischen Karten und Reliefprofilen

### 3.3. Ranggrößen des Georeliefs

Die Hänge unterscheiden sich von einander nicht nur durch die Neigungsstärke, Exposition, Figur, sondern auch durch ihr Ausmaß. Die Größenunterschiede zwischen den Hängen und den Gesteinteilchenoberflächen, die diese Hänge zusammensetzen, sind riesig und können das Millionenfache erreichen. Deshalb muss man die geomorphologischen und geologischen Forschungen mindestens auf drei Maßstabniveaus durchführen:

1. Geomorphologische Erforschung der Erdoberfläche in den Bereichen von Untersuchungspunkten einschließlich petrographische, geophysikalische und geochemische Eigenschaften dieser Bereiche. Im Betrachtungsmaßstab eines Untersuchungspunktes umfasst man die Raumgröße von einigen bis hundert von Metern und untersucht das, was man im Gelände in einem Punkt sehen und genau wahrnehmen kann. Unsere Instrumente sind Hammer, eine großmaßstäbige topographische Karte, Kompass, Winkelmesser, Bandmaß, Lupe, Fotoapparat usw. Bei dieser Betrachtung verallgemeinert man die Oberflächen von Bruchstücken und Vorstößen der Gesteine (Rauheit des Georeliefs) in Hänge und einfache Reliefkomplexe. Man erkennt auf diesem Betrachtungsniveau die Grenzen und Verhältnisse zwischen Hängen und ermittelt die Eigenschaften von Hängen.
2. Erforschung der Struktur des Georeliefs regionaler Bereiche, die auf Grund der Daten von Untersuchungspunkten durch die Methoden der geomorphologischen Kartierung sowie der Analyse und Interpretation geomorphologischer Karten erfolgt. Das Ausmaß der Forschungsobjekte auf dem Niveau der Geomorphographie beträgt von hundert von Metern bis zu mehreren Kilometern. Man kann die Hänge und Reliefformen von so einer Größe nur durch Analyse und Synthese auf regionalen topographischen und geologischen Karten und Profilen erkennen und untersuchen. Die Informationen von Untersuchungspunkten werden dafür generalisiert und auf den Karten mittels Signaturen dargestellt. Durch diese Generalisierung wird die Geomorphostruktur des Georeliefs geäußert. Auf diesem Niveau erkennt man morphostratigraphische und genetische Einheiten des Georeliefs (Neigungsgürtel, Reliefkomplexe) und ihre Störungen.
3. Erforschung der Struktur des Georeliefs globaler Bereiche. Das Ausmaß der Forschungsobjekte auf dem Niveau der Geomorphotektonik beträgt von hundert bis tausenden von Kilometern. Man analysiert die Karten von Festländern und Ozeanen oder die Erdgloben. Auf diesem Niveau erkennt man die Geomorphostruktur von Kontinenten und Ozeanen.

Die Kartierungsmaßstäbe bestimmen die minimale Größe der abgesonderten Georeliefeinheiten. **Jedem Kartierungsmaßstab sollte ein bestimmter und nur ein Rang geomorphologischer Einheiten entsprechen.** Es darf nicht sein, dass auf ein und derselben Karte mal Geofazetten und mal Neigungsgürtel oder Reliefkomplexe dargestellt werden.

Wenn ein Hang, der durch einen oder mehrere Untersuchungspunkte abgesondert ist, eine Größe hat, die im gegebenen Maßstab **nicht dargestellt werden kann**, dann muss ein solcher Hang mit anderen benachbarten Hängen vereinigt werden, wenn er mit diesen anderen Hängen einige gleiche Eigenschaften hat. Wenn er mit ihnen keine durch die Kartierungsziele bestimmten gleichen Eigenschaften hat, so kann er durch ein spezielles Zeichen dargestellt werden oder man kann ihn als Rauheit wahrnehmen (z.B. schmale Flächen, kurze niedrige Wände).

Es ist auch klar, dass die meisten Hänge (Fazetten), die innerhalb des Bereiches von Untersuchungspunkten festgestellt werden, zu klein (unmaßstäbig) für die Darstellung regionaler Geomorphostruktur sind. Die Geomorphostruktur wird durch sie zu „rauh“ und zu chaotisch dargestellt, wenn solch ein großer Maßstab (1:10 000 - 1:25 000) für ihre Darstellung genutzt werden würde. Gewöhnlich haben die Einheiten der Geomorphostruktur eine Ausdehnung von einigen bis zu hunderten von Kilometern. Deswegen muss man die Fazetten in bestimmten Gemeinsamkeiten verallgemeinern: in sogenannten Neigungsgürteln, Stufen, Reliefkomplexe usw. (nächste Kapitel), d.h. das Georelief auf dem generalisierten Größenniveau (in einer anderen **Ranggröße**) analysieren.

Es fehlen noch eindeutige und gut begründete geomorphologische Klassifikationen der **Georeliefränge** und ihrer Einheiten. Bereits entworfene Klassifikationen (Terminologie... 1977) sind leider mangelhaft und oft schlecht anwendbar. In den Klassifikationen der Reliefränge von H. KUGLER u.a. (1980), von D. BARSCH und G. STÄBLEIN (1978) sind zwar die Ausmaße der Georeliefeinheiten exakt angegeben, aber **es fehlt die Begründung, warum die Einheiten des Mikro-, Meso- und Makroreliefs ein solches und kein anderes Ausmaß haben müssen.**

Es ist in der Geomorphologie jedoch möglich, eine solche Begründung zu untermauern, und zwar durch die Maßstäbe topographischer Karten, in denen das Georelief als Kontinuum exakt und entsprechend dem Maßstabsrang dargestellt wird. Der Maßstab des Georeliefs bedeutet auch die Zugehörigkeit des Georeliefs zu einem Rang oder zu dem Typ anderer Naturobjekte, z.B. das Mikrorelief ist auch das Relief der Böden und Landschaften; das Mesorelief ist das Relief, welches die Struktur der Erdoberfläche sowie die Landschaftszonen äußert; das Makrorelief - die Form der Erdkruste usw. Anders gesagt, verschiedene Ränge des Georeliefs sind verschiedenen Naturobjekten zu Eigen, und durch sie realisiert sich die Beziehung zwischen Geomorphologie und anderen Geowissenschaften.

- **Nanorelief** oder **Rauheit** ist die Gesamtheit von realen erdoberflächlichen Gesteinteilen (Bruchstücken, Vorstößen, Nischen, Kanten); (Untersuchungsmaßstab und Kartierungsmaßstab ist 1:500 und größer)
- Mikrorelief ist die Gesamtheit verschiedener Hänge und Reliefformen; (Maßstab 1:1000 - 1:50000)
- Mesorelief ist die Gesamtheit der Neigungsgürtel und Reliefkomplexe der Erdoberfläche; (Maßstab 1:100 000 - 1:500 000)
- Makrorelief äußert die geomorphotektonische Struktur der Gebirge und Tiefländer von Kontinenten und Ozeanen; (Maßstab kleiner als 1:1 000 000- 1:5 000 000)
- Megarelief umfasst die Geosynklinalen, Platten, Gebirge, Inselbogen, Ozeanrücken, Kontinente und Ozeane (Maßstab kleiner als 1: 5 000 000).

Die Erdoberfläche und ihr Relief werden schon lange durch ein universelles quantitatives Kennzeichen gemessen und dargestellt, und zwar durch die Lage ihrer Punkte im dreidimensionalen Koordinatensystem, bezogen auf den bestimmten Ausgangspunkt, dessen Höhe dem gewissen Meeresspiegelniveau entspricht. **Durch dieses Kennzeichen kann man das Georelief auf Karten kontinuierlich (in Art der Isohypsen) und auch diskret (in Art der Geofazetten, Neigungsgürtel, Morphokomplexe) darstellen.**

Dieses Kennzeichen ist mit Hilfe von Messinstrumenten messbar und schafft die Basis für die „Mathematisierung“ des geomorphologischen Raums. Durch dieses Kennzeichen ergibt sich die Möglichkeit, eine nötige Formalisierung der Hänge unabhängig von ihrer Genesis zu schaffen, sie miteinander zu vergleichen und das Georelief als ein Kontinuum durch Isohypsen zu äußern. Die Nützlichkeit dieses Kennzeichens braucht keinen besonderen Beweis. Das Georelief, wie auch die Erdkruste, besteht aus diskreten Teilen (Hängen), aber durch die Isohypsen topographischer Karten erscheint es als Kontinuum. Diese Art und Weise der Darstellung lässt die allgemeine Gestaltung des Georeliefs leicht wahrnehmen, Richtung und Größe seines Gefälles sehen, die Richtungen von der Kraftwirkung im Georelief und der Übertragung des Gesteinstoffes einschätzen. Man kann sich vorstellen, wie es wäre, wenn das Relief nur durch Flächenkanten dargestellt werden würde - solch ein Darstellungsbild wäre kaum erkennbar. Und das wichtigste: **die Isohypsen lassen die Unebenheiten (Rauheit) des Reliefs für jeden Maßstab seiner Darstellung richtig generalisieren.** Anders gesagt, sie lassen richtig die kleinen Unebenheiten vernachlässigen, die im gegebenen Maßstab auf der Karte nicht dargestellt werden können.

## 4. Geomorphogenese

(Kinematik und Dynamik der Georeliefentstehung und -entwicklung)

### Allgemeine Bemerkungen

Geomorphographische Begriffe sind bereits eingeführt und definiert worden. Man muss jedoch auch die Kinematik und Dynamik der Entstehung und Entwicklung verschiedener Hänge feststellen. Dies alles sind Aufgaben der dynamischen Geomorphologie (**Geomorphogenese**). Die Kinematik der Hangentwicklung zu ermitteln bedeutet, die möglichen Änderungen der Hanglage im Raum festzustellen, die „Geometrie“ seines Weges und die Geschwindigkeit seiner Bewegung zu bestimmen. Die Dynamik der Hänge muss man als die Änderung ihrer Raumlage unter der Wirkung von verschiedenen Kräften betrachten, dabei die Ungleichmäßigkeit der Bewegung ermitteln, ihre Geschwindigkeiten, Wege, Beschleunigungen, ihre Energie und Wirkungszeit einschätzen. Diese Aufgaben kann man prinzipiell durch die Beobachtung gegenwärtiger geologischer Prozesse sogar auf kleinen Abschnitten des Georeliefs lösen.

Stellen wir uns einen Erdoberflächenabschnitt vor, der von Gesteinen unterlagert ist und aus Hängen von verschiedener Größe, Neigung und Exposition besteht (Abb. 4.1). Was geschah bisher und was wird mit ihm nach seiner Entstehung geschehen? Werden seine Hänge sich ändern? Ja, sicher, weil die Hänge und Gesteine nach ihrer Entstehung von der Einwirkung verschiedener Kräfte nicht isoliert bleiben. Auf sie wirken ständig und ungleichmäßig Schwerkraft, Sonnenenergie, äußere Medien, Temperatur und der Druck des Erdinneren. Dies wird zahlreich durch die Beobachtungen gegenwärtiger geologischer Erscheinungen, sowie durch die Experimente (Kurs Allgemeiner Geologie 1976; u. a.) bestätigt.

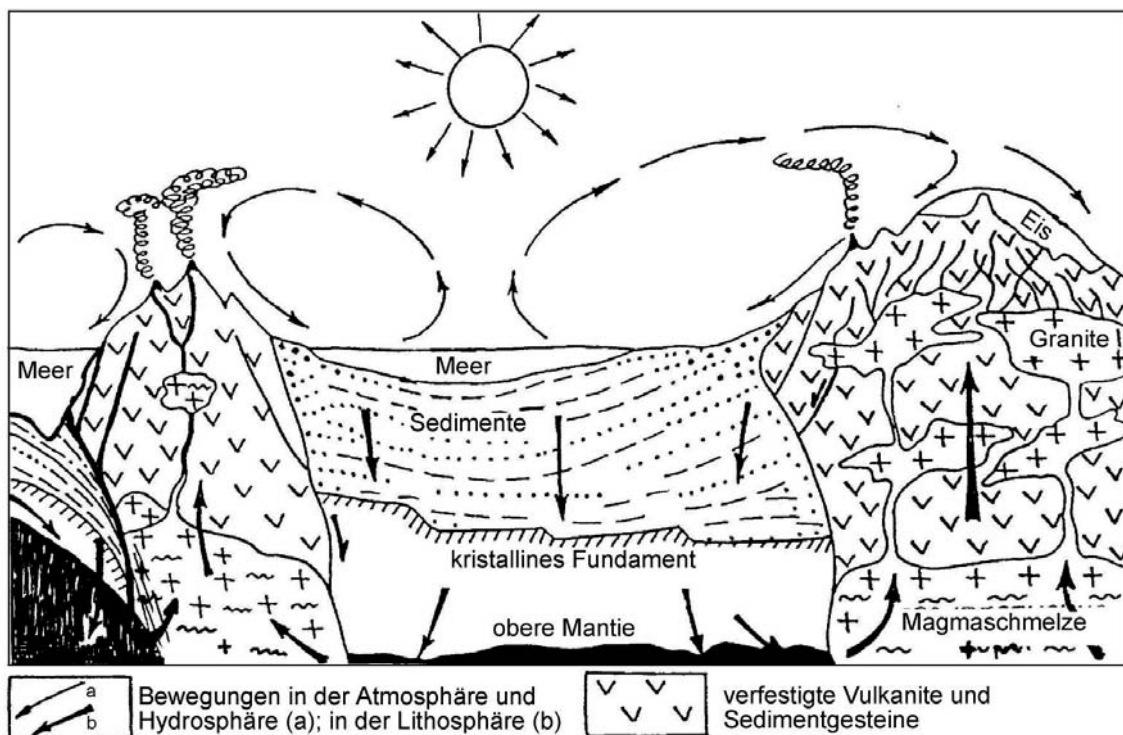


Abb. 4.1: Einfaches Modell des geologisch-geomorphologischen Kreislaufs

Die Hauptkraft ist die Schwerkraft. Mittels dieser Kraft laufen vertikale Stoffbewegungen in der Erdkruste nach oben und nach unten (**Gesteinkreislauf**). Die zweite mächtige Energie, die die Dynamik des Gesteinkreislaufes unterstützt, ist die Sonnenenergie (PENCK, 1924; BLOOM, 1989; u.a.). Sie bewegt die Massen leichter Hüllen der Erde (Atmosphäre, Hydrosphäre), gibt ihnen die Kraft, in die Höhe aufzusteigen und dann durch ihr Fallen (Abfluss, Wegwehen) eine mächtige Arbeit auszuüben, die die oberflächlichen Gesteinteile in laterale Richtungen verschleppt und damit die Erdoberfläche ändert. Wegen der kugelartigen Form der Erde und der Erdrotation bekommen verschiedene Erdoberflächenabschnitte ungleiche Mengen von Sonnenenergie. Dadurch entstehen eine mächtige Zirkulation der Atmosphäre und Hydrosphäre und ihre ungleichmäßige und unterschiedliche Wirkung (Verwitterung der Gesteine und Transport ihrer Teilchen) auf verschiedene Teile der Erdoberfläche.



Es ist schon lange bekannt, dass die Gesteingebilde an der Erdoberfläche durch die Verwitterung (**Dekompaktion**) sehr stark verändert werden und viele andere Eigenschaften haben als primäre Gesteine. Sie sind überwiegend zerstückelt, locker und haben eine große Porosität. **Deshalb werden ihre Teilchen vom Ort ihrer Lage leicht abgerissen und verschleppt, wenn die Erdoberfläche eine Neigung hat, oder wenn sie eine lateral gerichtete Einwirkung der Kraft empfindet.** Das Abreißen und die Abtragung der Gesteinteilchen nennt man „Denudation“, einer der Prozesse der Hangentwicklung. **Durch sie verläuft die Verlagerung der Hänge** (Änderung ihrer Lage im Raum) **bis zu ihrer völligen Vernichtung.** Es ist empirisch bekannt, dass die Geschwindigkeit der Denudation dabei von der Steilheit und Höhe der Hänge sowie von der Festigkeit und Widerstandsfähigkeit der Gesteine abhängt. Felsgesteine werden meistens sehr langsam (0,1-0,001 mm/Jahr), lockerer Sand und Staub - sehr schnell (10-20 cm/Jahr und viel mehr) (BORSUK u.a. 1977; u. a.) denudiert.

Man darf die Denudation der Gesteine mit dem Transport der Gesteinteilchen nicht verwechseln. **Transport bedeutet nur eine Übertragung der Teilchen von einem Ort zum anderen.** Denudation bedeutet vor allem eine Verlagerung der Hangoberfläche mittels Abreißen und Abtragung der Gesteinteilchen vom Muttergestein und schließt in sich auch Transportprozesse ein.

Wenn die Erdoberfläche irgendwo eine große Neigung hat, kann hier die Denudation ständig wirken. Aber dieser Prozess kann nicht überall geschehen. Es gibt auch Bedingungen, bei denen die laterale Bewegung des Treibmediums (Transportmediums) aufhören kann und die Bewegung der Teilchen nur senkrecht nach unten möglich ist (**Kompaktion**). Das ist auf den niedrigsten Abschnitten des Georeliefs (in Kesseln und Senkungen) möglich. Hier bleiben die Teilchen stehen und häufen sich auf (**Akkumulation**). **Dies geschieht, weil es in den niedrigsten Punkten (oder Bereichen) normalerweise keine Möglichkeiten und keine Kräfte gibt, um die Teilchen irgendwohin lateral zu bewegen, weil die Schubkraft hier keine laterale Komponente hat und nur senkrecht gerichtet ist** (hier fehlt die notwendige Neigung der Oberfläche). Dabei läuft auf höher liegenden Abschnitten des Georeliefs die Denudation ständig, und immer wieder kommen neue Mengen von Teilchen zu den niedrigsten Bereichen, wo sich diese Teilchen aufhäufen müssen. Davon zeugen viele Naturbeobachtungen und Messungen (BORSUK u.a. 1977, AHNERT 1996, u.a.). Diese Prozesse kann man auch als „**geologische Prozesse**“ bezeichnen (auch als einen Teil „geologischer Tätigkeit“), weil sie, wie andere geologische Prozesse, auch Arten der Bewegung und Änderung der Gesteine sind.

Den Begriff „**Prozess**“ versteht man unterschiedlich (als Entstehung, Entwicklung, Geschehen, Bewegung der Dinge), obwohl er ursprünglich ganz bestimmt als Entwicklung (Vorgang) der Dinge definiert wurde (Enzyklopädisches Wörterbuch, 1981). Aus der Definition „Prozess“ (Anlage 1) folgt aber logisch, dass der Prozess keine Entstehung eines Objekts ist, sondern eine von bestimmten Kräften gerichtete Zustandabfolge eines bereits entstandenen Objekts, die seine Entwicklung äußert. Die „Entwicklung“ bedeutet alle möglichen Änderungen und Zustände ein und desselben Objekts im Laufe seiner ganzen Existenz. Aber **wenn etwas existiert, so muss es seine Hauptmerkmale bewahren trotz vieler Änderungen während seiner Existenz.** Im Gegensatz stellt etwas (Hang, Gestein) seine Existenz ein, beendet seine Entwicklung und wird zu etwas anderem, das andere Hauptmerkmale hat. Die Entstehung eines neuen Objekts (Hanges) ist eine Schöpfung (Tat) durch einen Faktor (Treibmedium), der das alte Objekt (Hang) oder einen Teil davon dabei vernichtet hat. Ein **Faktor** ist etwas, das etwas schafft (mitwirkende Kraft). Welche Ursache dabei auftrat, ist oft nicht bekannt und kann nur vermutet (interpretiert) werden, weil nicht die Ursache, sondern der Schöpfungsfaktor die Spuren hinterlässt (Ursache - etwas, das irgend was bedingt oder bewirkt). **Bekannt ist immer, dass das Objekt (Hang) in einem Moment entstanden ist, dass es eine Gestalt und andere Eigenschaften bekommen hat und sofort zu existieren und sich zu entwickeln begann.** Jeder Hang hat seine eigene Tendenz der Entwicklung durch den bestimmten Hauptprozess. Andere Prozesse stören seine Entwicklung. Wenn ein Wechsel der Entwicklungsprozesse und Entwicklungstendenz wirklich stattfindet, bedeutet das, dass statt dieses Hanges schon ein anderer Hang entstanden ist, oder sich von diesem Hang ein neuer Hang abgesondert hat. Der Wechsel dieser Prozesse ist blitzschnell und kann durch viele Ursachen bedingt werden.

#### **4.1. Begriffe „Genesis“ des Georeliefs und „geomorphologische Grenze“**

Viele Forscher bemerken, dass die Hänge nach ihren wichtigsten geometrischen Parametern (Neigungsstärke und Exposition) in der Regel keine deutlich abgesonderten Klassen bilden, sondern eine unendlich große Menge von Varietäten. Um eine solche Menge zu klassifizieren, d.h. in wenige Gruppen nach bestimmten Kriterien und Gesetzen optimal zusammenfassen, braucht man irgendwelche andere qualitative und quantitative Parameter von Hängen. Wodurch können sich die Hänge noch von einander unterscheiden?

Empirische Untersuchungen haben schon lange bewiesen, dass die Hänge unterschiedliche geometrische Verhältnisse mit Texturen der von ihnen ausgestalteten geologischen Körper haben (**diskordant / konkordant**), unterschiedlichen geologischen Prozessen unterworfen werden (**Denudation / Akkumulation** mittels Wasser, Wind

usw.) und mittels unterschiedlicher Verfahren und Faktoren (**Genesis**) sowie zeitlich unterschiedlich (**Alter**) entstanden sind. Diese Daten sollen auch berücksichtigt werden, um nicht nur eine effektive geomorphographische Klassifikation erstellen zu können, sondern auch das Georelief als ein dynamisches Natursystem mit seiner Entwicklungsgeschichte erkennen und benutzen zu können. Dafür muss man erst notwendige Begriffe einführen und definieren. Für die Bezeichnung besonderer Eigenschaften des Objekts, die z.B. im Moment seiner Entstehung erschienen, ist es nötig und zweckmäßig den Begriff „**Genesis**“ einzuführen.

Als „**Genese**“ (griech.) bezeichnet man „Entstehung, Entwicklung, Werdegang“; als „**Genesis**“ - Entstehung, Ursprung, Herkunft; als „genetisch“ - 1) die Genese betreffend, **entstehungsgeschichtlich**; 2) Erbanlagen betreffend, **erblich bedingt** (Grosses Universal Lexikon, 1998, S. 302, Deutsches Universal Wörterbuch A-Z 1989, S. 588). Das ist sogar im allgemeinen Sinne sehr unterschiedlich und gilt wohl auch für das Georelief. Unter Genese (Genesis) des Georeliefs (sowie anderer geologischen Objekte) versteht man „dynamische Aspekte seiner Bildung“ (GOLD-FARB, 1998, S. 469), oder „Bedingungen der Bildung, von der Wirkung der geologischen und geomorphologischen Faktoren verursacht...“ (NESTERENKO, 1977, S. 14), oder „Entstehung und langzeitliche Entwicklung...“ (AHNERT, 1996, S. 20), oder „Ursachen und Faktoren der Entstehung...“ (SOKOLOV, 1982), oder „Herkunft, Entstehung durch bestimmte Bedingungen und Prozesse...“ (Geologitscheskij slowar, 1978, S. 141), oder „Genese (Entstehung, Werden) - (...) eine Betrachtungsweise, die auf die Erklärung gegenwärtiger räumlicher Prozesse und Strukturen aus der Vergangenheit abzielt“ (Lexikon der Geographie, 2002, Bd. 2, S. 10) usw.

Wie gesagt, wer die Wahl hat, hat die Qual. Aber es muss entschieden werden, in welchem Sinne dieser Begriff am effektivsten zu verwenden ist und wie er definiert werden soll. Um den Begriff „Genesis“ zu erklären, sollte erst entschieden werden, was er eigentlich bezeichnen muss: eine messbare primäre Eigenschaft des Hanges (**erblich bedingt**), oder eine verbale Schlussfolgerung über seinen Werdegang (**entstehungsgeschichtlich**). Im zweiten Fall wäre es unmöglich ein Objekt individuell zu bezeichnen, weil seine Geschichte immer aus mehreren Ereignissen besteht. D.h. man muss den Begriff „Genesis“ im Sinne der erblich bedingten Entstehung definieren. Aber aus unzähligen geomorphologischen Interpretationen und Erklärungen ist es auch nicht klar, was eigentlich eine **Entstehung** und was eine **Entwicklung** des Georeliefs ist. Eine eindeutige Antwort darauf ist sogar in allgemeinem Sinne schwer zu finden [“Entwicklung ist die Entstehung des fertigen Wesens aus etwas“ (Grosses Universal Lexikon, 1998, S. 231)]. Vielleicht sollte man die Unterschiede dieser Begriffe in der Bedeutung ihres Ursprunges finden: **„entstehen“**: a) zu bestehen, zu sein beginnen, geschaffen...; **entwickeln**: 1). (e. + sich) allmählich entstehen, sich stufenweise herausbilden“ (Deutsches Universal Wörterbuch A-Z 1989, S. 440-441). Die Entstehung kann man also als Schaffung („Geburt“) eines Dinges bezeichnen, seit der es zu einem Bestandteil des Ganzen wurde. Die Entwicklung wiederum sind alle möglichen Änderungen (Bewegungen) im Laufe der Existenz ein und desselben Dinges (nach seiner Entstehung). Erfahrungsgemäß schließt die Entstehung eines Hanges die Art und Weise seiner Schaffung und die Kraft (Treibmedien), die seine Entstehung befördert hat, in sich ein. Die Entwicklung eines Hanges besteht gewöhnlich aus einer Abfolge von Prozessen, die zusammen zu seinem heutigen Zustand geführt haben und zu einem möglichen zukünftigen Zustand (auch zu seiner Vernichtung) führen werden. Die ganze Vielfalt realer Hangzustände wird durch eine Prozessreihe innerhalb variabler geologischer und paläogeographischer Rahmenbedingungen bestimmt (BILIBIN, 1955; NESTERENKO, 1977; AHNERT, 1996, u.a.).

Wenn die Genesis als eine Eigenschaft des Georeliefs angenommen ist, so muss ihre Definition so sein, dass man immer die Möglichkeit hat, diese Eigenschaft einfach und exakt bei der Anfangsbewertung der Hänge festzustellen, durch diese Eigenschaft den Hang zu benennen und als primäre Information auf der Karte zu bezeichnen. Aus obigen kann man den Begriff „Genesis“ folgendermaßen erklären: Die **Genesis ist eine Art und Weise der Entstehung des Objekts mittels Krafftaktor** (Treibmedien). Die Art und Weise (Verfahren) der Entstehung des konkreten Hanges ist immer dieselbe. Diese Art und Weise sowie der Krafftaktor äußern sich in der Menge von stofflichen und geometrischen Eigenschaften, welche ein Objekt (Hang) bei seiner Entstehung erhalten hat, durch welche man seine Genesis ermitteln und es bezeichnen (benennen) kann. Anders gesagt, die Genesis ist die Antwort auf die Fragen: „Mit welcher Art und Weise wurde etwas geschaffen?“, „Was hat etwas geschaffen, wer sind die „Eltern“ des Objekts“?

Jeder Hang wurde mittels des Stoffes durch die Bewegungen von Treibmedien geschaffen und hat seine Formgestaltmerkmale oder „Gene“, die er von den Treibmedien (von Stoff und Kinematik seiner Bewegung) im Moment seiner Entstehung erhalten hat. Der Überträger der „Gene“, nach deren Gestalt ein Körper und seine Form entstanden sind, sind die Richtung, Kinematik und Dynamik eines bewegten Treibmediums. Seine „Gene“ (geäußert in der Neigungsstärke und Exposition, in kleinen Unebenheiten, in Verhältnissen mit Texturen und Zusammensetzungen der Gesteine) bestimmen in vielerlei Hinsicht die nachfolgende Entwicklung des Georeliefs. **Diese Merkmale müssen im Laufe der gesamten nachfolgenden Existenz eines Hanges erhalten bleiben**. Ihre Vernichtung bedeutet gleichzeitig die Vernichtung dieses Hanges.

Der Begriff „Genesis“ sollte als primäres Merkmal eines geologischen Körpers oder einer Reliefeinheit dienen, ge-

nauso wie z.B. Lage, Grenzen, geometrische Parameter. Anders gesagt, die **Genesis sollte solch ein Merkmal (Eigenschaft) sein, das genau festgestellt, quantitativ eingeschätzt (gemessen) und als primäre Information** (z.B. auf der Karte) bezeichnet werden könnte. Es reicht dafür sogar die einfachste genetische Bestimmung, und zwar die Antwort auf die Frage: „zu welchem Reich (Typ) gehört dieser Hang?“ (zu den geometrisch diskordanten Oberflächen der Gesteine oder zu den geometrisch konkordanten), obwohl man natürlich nach einer detaillierten Bestimmung (Diagnostik) der Genesis streben sollte, wenn dies möglich ist. Die Benennung der Reliefeinheit müsste ihre Form und Genesis (Entstehungsfaktor und –weise, z.B. exogene oder endogene Treibmedien und ihre Vielfalt) zusammenschließen: äolische Dünen, fluviatile Terrassen, tektonische Abbrüche usw.

Die Genesis als die Folge einer Ursache oder einiger Ursachen zu definieren, ist meiner Meinung nach uneffektiv, weil es viele Ursachen für die Entstehung eines Objekts gibt und ihre Reihe kann unendlich lang sein. Das bedeutet aber nicht, dass man in der Geomorphologie und Geologie die Ursachen der Erscheinungen nicht ermitteln und erklären darf. Ganz im Gegenteil, aber **die Ermittlung von Ursachen der Erscheinungen und die Erklärung dieser Ursachen sind üblicherweise das Endziel der Erforschung und auf keinen Fall ihr Anfang**. Das hat man schon lange z.B. in der Physik begriffen. Es ist auch nicht richtig, die Genesis als eine Menge von Prozessen, die auf diese Hänge bei ihrer Entwicklung einwirkten, zu definieren, was man z.B. in den „Methodischen Hinweisen“ (1980) vorschlägt. Die Menge von Typen dieser Prozesse kann ziemlich groß sein, sie wirken oft entgegengesetzt und labil, und dadurch kann ein Ding formal streng nicht bezeichnet werden.

#### 4.1.1. Genetische Aufteilung des Georeliefs

Für die richtige Klassifizierung und Erkenntnis des Georeliefs muss man also vor allem die wichtigsten Eigenschaften der Hänge benutzen: Form, Genesis und Verhältnisse mit einander und mit Texturen geologischer Körper. Das wird aber nur dann möglich, wenn eine richtige theoretische Grundlage der Kinematik und Dynamik der Georelieftwicklung ausgearbeitet worden ist. Die Erschaffung dieser Grundlage kann man nur mit abstrakten, noch unklassifizierten Georeliefeinheiten beginnen, und das wäre wohl genug.

Um ein Natursystem zu erkennen und effektiv zu modellieren ist es nötig, seine dynamischen Gegensätze zu ermitteln, durch wessen Zusammenwirken dieses System entstand. Die Erforschung verschiedener Hangarten und der von ihnen ausgestalteten Gesteinarten hat gezeigt, dass die Hänge von Gesteinsbruchstücken oder von dichten festen Gesteinsmassen unterlegt werden. D.h., dass sie, genauso wie die Gesteine, die Folgen physikalisch-chemischen Zusammenwirkens sind. **Einige Hänge entstehen und/oder ändern ihre Lage durch die Zerstörung des Gesteins** (Zerreißen, Auflösung, Schmelzen) **und durch die Abtragung** (Denudation) **seiner Bruchstücke. Andere Hänge entstehen oder ändern ihre Lage durch die physikalische und/oder chemische Verbindung der Gesteinsteilchen** (Bruchstücke, Moleküle, Kolloiden). Anders gesagt, sie entstehen und/oder entwickeln sich durch die Anhäufung (Akkumulation) des Stoffes auf der Erdoberfläche.

Im Prinzip wird das Georelief also auf zweierlei Art und Weise entwickelt: 1. durch den Abbruch und Abtrag der Gesteinsteilchen von einigen Reliefeinheiten; 2. durch die Anhäufung dieser Teilchen auf anderen Reliefeinheiten. Diese Prozesse sind immer räumlich getrennt, weil **dort, wo Abtragung erfolgt, gleichzeitig keine Anhäufung stattfinden kann**. Das ist eines der wichtigsten Axiome der Geomorphologie. Es führt uns zur Zulassung der Aufteilung des Georeliefs und seiner Entwicklungsprozesse in zwei entgegen gesetzte Kategorien: die Hänge des Abbruchs und Abtrags (**Disjunktivhänge, Denudationsprozesse**) und die Hänge der Anhäufung (**Sedimenthänge, Akkumulationsprozesse**). Daraus folgt eine logisch begründete genetische Einteilung der Hänge auf zwei Typen: die **Disjunktivhänge**, die die Folge der Zerreißen-Dekompaktion und des Abtrages des Gesteinstoffes sind; und die **Sedimenthänge**, die die Folge der Verbindung-Kompaktion und der Anhäufung des Gesteinstoffes sind. Diese Hangtypen sind immer „diskret“ zueinander, aber sie stehen funktional und proportional im Zusammenhang: **die Verstärkung der Stoffabtragung (Denudation) von Disjunktivhängen führt zur gleich großen Stoffanhäufung (Akkumulation) auf den Sedimenthängen in geschlossenen Niederungsbereichen des Georeliefs**. Bei der Abschwächung der Abtragung ist es umgekehrt. Das ist auch ein Axiom der Geomorphologie, das sich auf das „Gesetz der Erhaltung der Masse und Energie“ stützt. Diese Funktion wird immer wirksam, weil die Erde ein geschlossenes System ist, dessen Stoff verschiedene Umwandlungen und Bewegungen haben kann, aber immer im Rahmen dieses Systems bleibt. Hier läuft die Bewegung ständig, und wenn in einem Teil die Stoffabtragung schwächer wird oder aufhört, beginnt hier sofort die Stoffanhäufung auf Kosten des Zulaufs des Stoffes von anderen Orten.

Solch eine Aufteilung der gesamten Menge von Hängen ist, im Grunde genommen, **genetisch**. Sie geht von Faktoren und Verfahren der Hangentstehung aus und wird aus dem Verhältnis der Erdoberfläche (des Hanges) zu den Texturen der von ihr ausgestalteten Gesteine erkannt. Daraus folgen passende Benennungen dieser einander entgegen gesetzten Hangreiche: „diskordant“ (disjunktiv) und „konkordant“ (**sedimentativ**). Die Bestimmung der Genesis der Oberflächen mit einer Genauigkeit bis zu diesem qualitativen Rang ist immer möglich.

Denudation und Akkumulation bestimmen die Kinematik und Dynamik der Georeliefentwicklung. Der **Übergang vom Zustand der Denudation in den Zustand der Akkumulation und umgekehrt ist logischerweise ein blitz-schneller Sprung**. Man muss vorläufig bemerken, dass die Gesteine und das Georelief durch den Zulauf und die Anhäufung des Stoffes geschaffen werden (durch die Sedimentation). Die Dekompaktion und Abtragung schaffen keine materiellen massenhaltigen Dinge (Gesteine), sie teilen, verkleinern und im Endergebnis vernichten sie. **Das Zerreißen (Abbruch) des Stoffes bildet keinen Stoff, aber bildet seine neue Oberfläche**. Das ist auch sehr wichtig für die Geomorphogenese.

#### 4.1.2. Geomorphologische Grenzen und Verhältnisse zwischen Hängen

Die geomorphologischen Grenzen beinhalten sehr wichtige Informationen über das Georelief und seine Hänge, vor allem Informationen über die räumlich-zeitlichen Verhältnisse der Hänge. Es ist unmöglich, die Typen dieser Grenzen ohne Begründung der Aufteilung der Hänge auf die disjunktiven und sedimentativen Typen und ohne Erklärung ihres genetischen Wesens festzustellen.

Es sind nur vier Typen geomorphologischer Grenzen möglich: konkordante **Nahtlinien** (längskonkordante Grenze auf der Abbildung), konkordante **Seitengrenzen** (querkonkordante Grenze), diskordante **Deckungsgrenzen** (nachdiskordante Grenze) und diskordante **Einschnittlinien** (schnittdiskordante Grenze) (Abb. 4.2). **Die Nahtlinie ist eine Basislinie des Hanges, die parallel zur anderen Basislinie dieses Hanges und zu den Basislinien der benachbarten, höher- oder tiefer liegenden Hänge liegt**. Üblicherweise ist diese Grenze subhorizontal und gehört zu ein und demselben Höhenniveau. Im Moment ihrer Entstehung fixierte sie eine subhorizontale Linie einer Denudationsbasis (Nahtlinie) und hatte eine horizontale Lage (normal zu der Richtung der Schwerkraftwirkung, begründet in dem Kapitel 5).



Geomorphologische Grenzen:



Abb. 4.2: Geomorphologische Grenzen an einem topographischen Beispiel

**Die Seitengrenze ist eine Grenze des Hanges, die diesen von benachbarten Hängen anderer Expositionen absondert** und immer eine Wasserscheide oder ein Talweg ist. Üblicherweise ist diese Grenze „subvertikal“ und folgt in jedem ihrer Punkte der Richtung der größten Neigungsstärke. Diese Grenzen entstehen im Laufe der

ungleichmäßigen Entwicklung (Verlagern) der Georeliefteile von gleichem Höhengniveau nach seiner Entstehung aufgrund unterschiedlicher Lithologie, Klüftigkeit, Widerstandsfähigkeit der Gesteine und (oder) wegen ungleichmäßiger Einwirkung der Umweltmedien auf die Gesteine (ausführlicher in dem Kapitel 5).

**Die Deckungsgrenze ist die Grenze des Sedimenthanges, die auf die Flächen anderer Hänge aufgelegt ist.** Anders gesagt, sie überdeckt die Teile von Flächen und Grenzen benachbarter Hänge und ist zu diesen Hängen diskordant. Dabei kann sie verschiedene planere Formen haben: schief, parallel, gebogen. Dem ihren eigenen Sedimenthang (Reliefform) ist diese Grenze immer konkordant (konform).

**Die Einschnittlinie ist eine Grenze des Disjunktivhanges, die unter einem Winkel alle mit ihr anstoßenden Grenzen von höher oder tiefer liegenden Hängen schneidet.** Solch eine Grenze sondert die Oberflächen verschiedener (meist nachfolgender) Zerreißen, Seitenabbrüche und Seiteneinschnitte ab. Diese Oberflächen können sowohl in der Erdkruste, als auch in der Erdoberfläche entstehen und verschiedene Formen haben. Gerade die Deckungsgrenzen und Einschnittlinien präzisieren die räumlich-zeitlichen Verhältnisse der Hänge, deswegen ist die Feststellung des Typs und der Genesis geomorphologischer Grenzen, die aus der Geometrie und der Genesis der Hänge und Reliefformen folgt, - eine ausgesprochen wichtige Sache in der Geomorphologie.

#### 4.2. Entstehung und Entwicklung des Disjunktivreliefs

##### Allgemeine Bemerkungen

Um qualitativ und quantitativ die Kinematik und Dynamik der Entstehung und Entwicklung der Hänge oder Gesteine einzuschätzen, muss man einige zusätzliche Axiome formulieren. In der Geomorphogenese ist es ebenso wie in der Dynamischen Geologie zweckmäßig, das folgende Axiom anzunehmen: **Unter bestimmten Bedingungen und der Wirkung bestimmter Kräfte verlaufen nur bestimmte Prozesse und werden nur bestimmte Gesteine und Oberflächen geschaffen.** Aus diesem Axiom kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass **jeder Hang von gleicher Neigung und Exposition durch den gleichen energetischen Aufwand bei seiner Entstehung geschaffen worden ist und die gleichen Ausgangsbedingungen für die nachfolgende Entwicklung hat.** Diese Axiome, die aus gesundem Menschenverstand und formaler Logik folgen, begründen die Zulassung der Verwendung der sogenannten Aktualismusmethode in der Geomorphologie und Geologie.

Man muss auch notwendige morphogenetische Hauptbegriffe definieren, Eigenschaften bestimmter Reliefbestandteile festlegen, morphogenetische Axiome einführen, sowie Gesetze der Verhältnisse, Entwicklung und Entstehung genetisch unterschiedlicher Hänge feststellen. Es wurde schon darauf hingewiesen (BUTWIŁOWSKI, 1995, 2002), dass man mit den Begriffen „Denudation“ und „Akkumulation“ **die Entwicklungsprozesse des Georeliefs** (und nicht die Genesis) bezeichnen soll, weil die Denudation auch auf „denudativen“ Hängen sowie auf „akkumulativen“ Hängen wirken kann. Deswegen können diese Begriffe für die Bezeichnung sowohl der Prozesse (im Sinne der Entwicklung) als auch der Hänge (im Sinne der Entstehung) nicht verwendet werden. Wie bereits betont wurde, sind die Entstehung des Hanges und seine Entwicklung unterschiedliche Erscheinungen. Deswegen sollten die entstehungs- und entwicklungsbezogenen Erscheinungen durch unterschiedliche Begriffe bezeichnet werden, sonst bleibt der Begriffsapparat der Geomorphologie verworren und widerspruchsvoll, und verschiedene Eigenschaften werden gleichartig benannt.

##### 4.2.1. Definition und Axiome des Disjunktivreliefs

Nehmen wir an, dass das Disjunktivrelief **ein Abschnitt des Georeliefs ist, der diskordant zu der Gesteinschichtung ist, und wo in jedem Punkt die Denudation der Gesteine abläuft.** Der Begriff „diskordant“ bedeutet, dass die Hangflächen in allen ihren Punkten **nicht parallel** zu den Schichtungstexturen der von diesen Hängen ausgestalteten stratifizierten (sedimentierten) Gesteine sind (Abb. 4.3, a, c).

Der Begriff „**konkordant**“ bedeutet, dass die Hangfläche in allen ihren Punkten parallel zu den Schichtungstexturen der stratifizierten Gesteine ist. In diesem Fall waren die Elemente der Schichtungstextur einige Zeit auch Georeliefelemente gewesen. Dies passiert z.B. bei der Ablagerung einer Gesteinschicht, was in der Natur sehr häufig vorkommt. Daraus ist der folgende Schluss zulässig: **konkordante Verhältnisse der Georeliefelemente können nur mit den Texturen der stratifizierten geologischen Körper** (klastische und vulkanische Sedimente) **aufreten. Mit nichtstratifizierten** (magmatischen, metamorphischen) **geologischen Körpern haben die Georeliefelemente nur diskordante geometrische Verhältnisse.** Die nichtstratifizierten Körper bilden sich immer im Erdinneren, und ihre Grenzen waren niemals Georeliefelemente gewesen. Diese Körper haben immer diskordante Grenzen zu allen benachbarten geologischen Körpern. Sie werden später durch geologische Brüche und Denudation aufgedeckt, deswegen ist das Georelief zu diesen Körpern immer diskordant.

Das Georelief, das zur Schichtungstextur der von ihm ausgestalteten stratifizierten Gesteine diskordant ist, kann nur als die Folge des Zerreißens (Abbruchs) dieser Gesteine und Verschiebung ihrer Teile entstehen. Eine stratifizierte Gesteinschicht kann theoretisch **keine konkordanten Seitengrenzen** haben (SALIN, 1983). Wenn es eine solche Grenze bei der Gesteinschicht gibt, so ist sie immer **diskordant zu ihm** und entstand als Folge des Zerreißens dieses Körpers und seiner Denudation in diesem Teil. **Daraus folgt, dass sich ein Disjunktivrelief nur als Folge des Zerreißens und der Verschiebung der Teile geologischer Körper entsteht und es nur dann existiert, wenn die Abtragung der Gesteinsteilchen in jedem seiner Punkte weitergeht.** Im Gegenfall, entsprechend den Axiomen der Geomorphogenese, beginnt hier eine Akkumulation, und das Disjunktivrelief wandelt sich sofort in ein Sedimentationsrelief um.

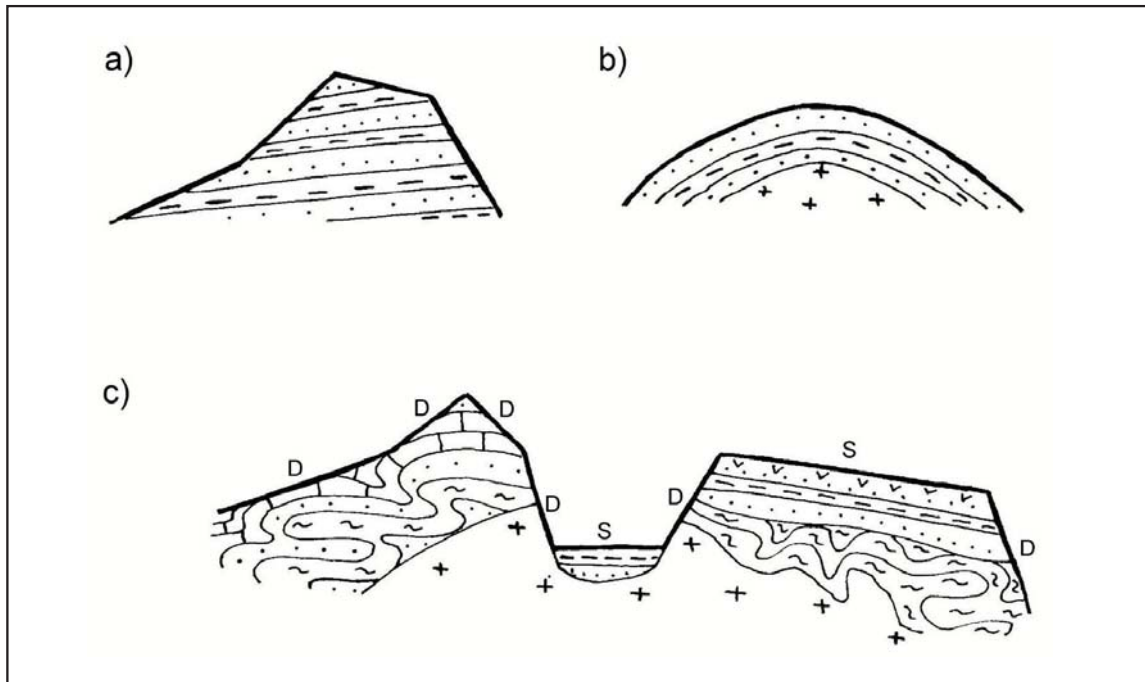


Abb. 4.3: Verhältnisse zwischen Georelief und Gesteinsschichten:

a) diskordant; b) konkordant; c) Kombination von diskordanten (D) und konkordanten (S) Hängen

Aus der Definition „Disjunktivrelief“ (kurz DR) sind formal folgende Axiome, die das Disjunktivrelief betreffen, zulässig:

1. Das DR entsteht nur durch Zerreißen und Verschiebung geologischer Körper voneinander und entwickelt sich nur durch die Denudation der Gesteine von allen seinen Punkten.
2. In jedem Punkt des DR hat die Stoffbilanz immer einen negativen Saldo, d.h. das DR hat innerhalb seiner Grenzen keine Akkumulationsbereiche.
3. In Bereichen der Denudationswirkung werden die Hänge verlagert (ins Gesteininnere). Hier läuft stetig die Dekompaktion (Verwitterung, Auflockerung) der Gesteine.
4. Dekompaktions- und Denudationsprozesse bedingen innerhalb des DR eine mögliche Existenz einer ihm stellenweise konkordanten lockeren Verwitterungsschicht, die sich hangabwärts ununterbrochen bewegt („bewegliche Schicht“).
5. Im DR wirkt die Denudation ununterbrochen; gleich nachdem sie endet, beginnt hier sofort eine Akkumulation und das DR verliert seinen Status.

Diese Definition und auch die Axiome ermöglichen die Disjunktivhänge im Georelief genau zu bestimmen. **Die Hauptmerkmale disjunktiver Hänge sind ihre Diskordanz zur Schichtungstextur der stratifizierten geologischen Körper, dabei darf hier das zu diesen Hängen teilweise konkordante Lockermaterial nur als bewegliche Verwitterungsschicht existieren.** Für die Diagnostik disjunktiver Hänge auf nichtstratifizierten Gesteinen reicht üblicherweise das zweite Merkmal.

#### 4.2.2. „Bewegliche Schicht“ (Verwitterungsschicht) auf den Hängen des DR

**Die bewegliche Schicht ist kein Sediment, sondern eine sich stetig verschiebende lockere Verwitterungsschicht.** Sie bewegt sich unter Einwirkung der Schwerkraft in die Richtung von Gipfeln zu den Hangfüßen; ihre

Teile ändern dabei ihre Lage, Zusammensetzung und Texturform. Sie befinden sich in ständiger Änderung und Bewegung und sind kein Gestein im geologischen Sinne. Deswegen widerspricht die Anwesenheit einer beweglichen Schicht aus Lockermaterial auf dem DR seinem Wesen nicht, sondern hilft, die Typen der Denudationsprozesse hier genauer zu ermitteln (näher in nächsten Kapiteln).

Man muss präzisieren, dass die ganze bewegliche Schicht immer diskordant zu den Hängen des DR ist. Konkordant zu ihnen können nur einige oberflächliche Teile dieser Schicht sein (Abb. 4.4). Wie die geologischen Beobachtungen gezeigt haben (ANANJEW, 1976; Kurs Allgemeiner Geologie, 1976; BUTWILOWSKI, 1993; u.a.), ist die bewegliche Schicht nie ein einheitliches Gestein (geologischer Körper), sondern sie besteht immer aus mehreren Körpern, die in verschiedener Tiefe unter der Erdoberfläche liegen und in einer Schicht nur deswegen verallgemeinert sind, weil sich alle ihre Teile stetig in derselben lateralen Richtung bewegen, obwohl sie verschiedene Geschwindigkeiten haben.

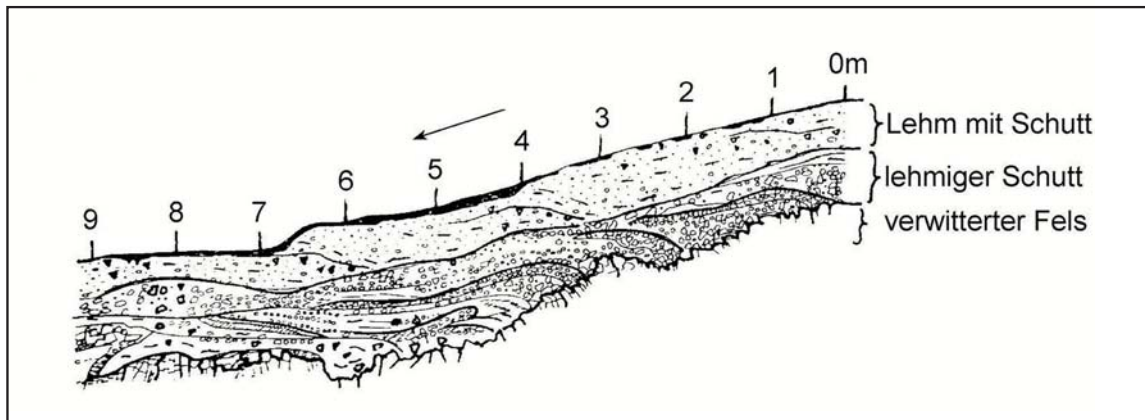


Abb. 4.4: Geologisches Profil der beweglichen Schicht innerhalb disjunktiver Hänge: Beispiel des realen Aufbaus eines Abschnittes nach O.K. LEONTJEW & G.I. RYTSCHAGOW (1979)

Die maximal mögliche vertikale Mächtigkeit der beweglichen Schicht (**Md**) hängt von der Höhe (**H**) und Neigungstärke des Hanges (entsprechend dem Sinus der Neigungstärke  $\alpha$ ) ab und steht mit ihnen in proportionaler Beziehung (Abb. 4.5; 4.6). Sie hängt auch von der mittleren Korngröße des Lockermaterials ab und steht mit ihr in umgekehrt proportionaler Beziehung (die Korngröße bestimmt den Reibungskoeffizient und die Stärke der Reibungskraft, dabei gilt: Je größer die Teilchen sind, desto stärker ist die Reibung zwischen ihnen). Wenn man annimmt, dass auf das Lockermaterial eines Hanges nur die Schwerkraft wirkt, und zwar unter den Bedingungen, dass seine Teilchen gleich und genügend klein sind und die Reibung (Reibungskoeffizient  $\mu$ ) zwischen ihnen überall gleich ist, so ist die vertikale Mächtigkeit der beweglichen Schicht bei horizontaler Hangneigung gleich Null, und bei vertikaler Neigung ist sie der Höhe des Hanges gleich. Bei einem Neigungswinkel von  $0 < \alpha < 90^\circ$  wird sie mit der Formel:

$$Md = (H \cdot \sin \alpha) / \mu$$

bestimmt, wobei **H** - die Höhe des Hanges,  $\alpha$  - der Hangneigungswinkel und  $\mu$  - der Reibungskoeffizient des Lockermaterials ist. Bei  $\mu = 1$ , was dem realen Lockermaterial auf den Hängen meistens zu Eigen ist, vereinfacht sich diese Formel: **Md = H • sin  $\alpha$**  .

Die Beweisführung für die Richtigkeit dieser Formel ist einfach. **Natürlich entspricht diese Formel und ihre Beweisführung den angenommenen idealisierten Bedingungen und ist rein theoretisch.** Das ist für den Anfang wissenschaftlich richtig. Für die realen Hänge und realen beweglichen Schichten erfordert die Bestimmung ihrer vertikalen Mächtigkeit die Beachtung realer Größen der Teilchen, eines realen Reibungskoeffizienten, einer realen Geometrie des Hanges, vieler Eigenschaften der Gesteine und hydrophysikalischer Bedingungen. Diese Bestimmungsaufgabe ist kompliziert und kann nur annähernd gelöst werden (EMELJANOWA, 1972; SERGEEW, 1978; u. a.). Solche Lösungen sind auch wichtig und nützlich, aber man muss dabei betonen, dass viele Forscher versucht haben, diese Aufgabe durch Beobachtungs- und Messdaten, also durch die empirischen quantitativen Beziehungen zu lösen. Eine **einfache theoretische Lösung dieses Problems ist nicht gefunden worden, obwohl so eine idealisierte Lösung den Weg zur exakteren Lösung der komplizierten, für die realen Bedingungen gültigen Aufgaben aufweist.** Genauso wurde und wird es in der Physik gemacht. Wenn man die bekannten physikalischen Gesetze nur aus realen physikalischen Bedingungen ableiten würde, so wäre es niemals gelungen, die wahren Gesetze der Kinematik und Dynamik festzustellen (GOLIN, 1987). In der Physik hat man die für ideale Bedingungen festgestellten Gesetze später für die realen Bedingungen und Medien verwendet und angepasst. Genauso kann man das auch versuchen.

Für die theoretische Lösung dieser Aufgabe (und anderer, hier dargestellter Aufgaben) sind folgende ideale Bedingungen angenommen:

1. Die geometrischen Parameter der Hänge sind genau gemessen und bekannt
2. Die Teilchen des Lockermaterials innerhalb eines Hanges sind gleich und ihre Größe ist klein genug
3. Die Reibung ist klein genug und wird als eine Konstante angenommen
4. Die Umweltbedingungen wirken gleich auf alle Punkte des Hanges und werden speziell nicht beachtet
5. Die Verteilung der Spannungen (des Druckes) im Lockermaterial ist der hydrostatischen Druckverteilung analog, d.h. der vertikal gerichtete Druck in jedem Punkt ist dem horizontal gerichteten Druck gleich.

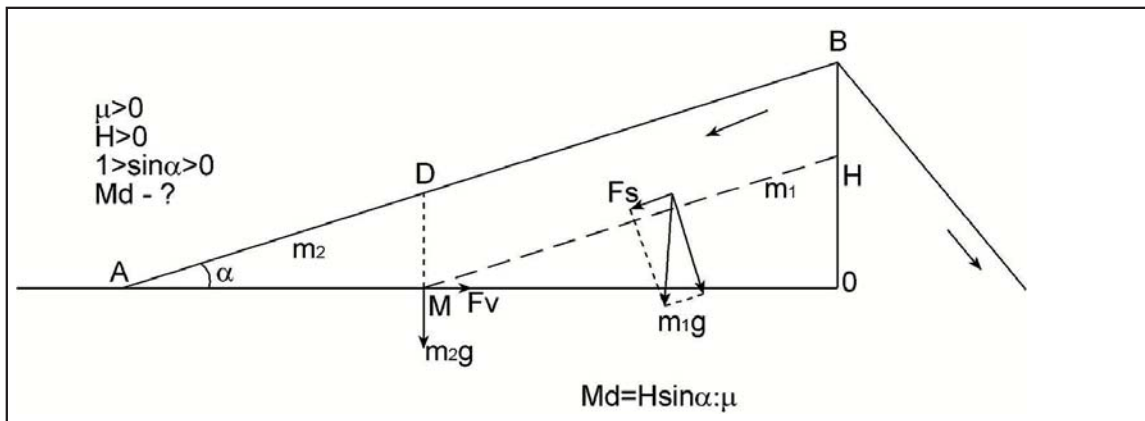


Abb. 4.5: Kinematisches Modell der Wirkung von Kräften innerhalb einer „beweglichen Schicht“ auf einem Hang (Erklärungen im Text)

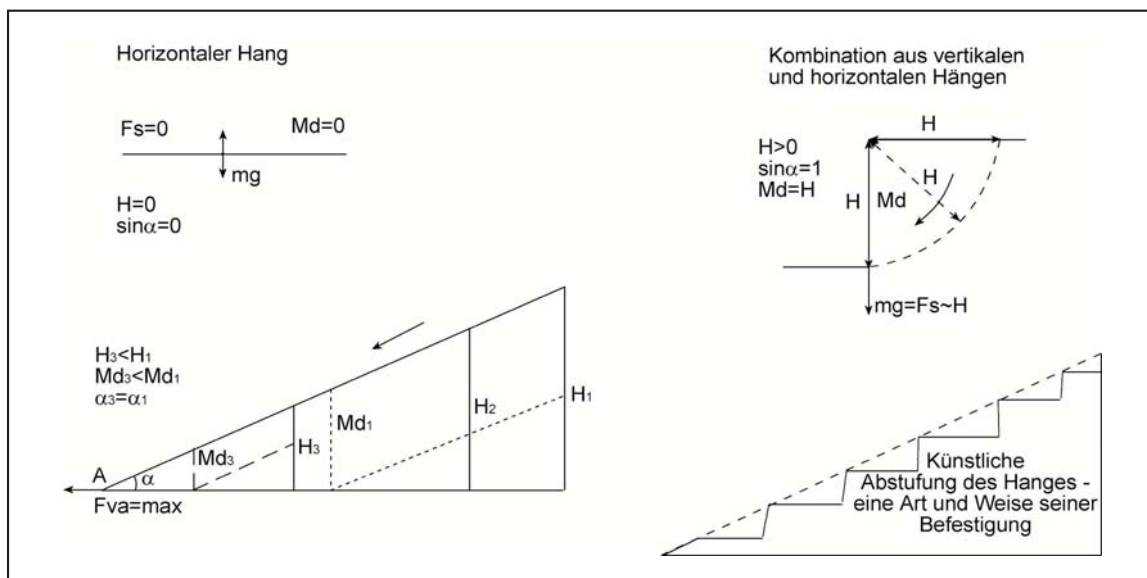


Abb. 4.6: Zusammenhang zwischen vertikaler Mächtigkeit der „beweglichen Schicht“, Höhen und Neigungsstärke der Hänge

Diese idealen Bedingungen und Eigenschaften sind der Realität nicht exakt zu Eigen, aber aus vielen empirischen Beobachtungen und Daten ist es bekannt (PENCK, 1924; OLLIER, 1987; u. a.), **dass das Lockermaterial auf den Hängen im Laufe einer langen Zeitdauer stetig nach ähnlichen Eigenschaften strebt**, d.h.: 1. die Teilchen des Lockermaterials werden ständig verwittert und verkleinert; 2. der Raum zwischen Teilchen wird vom mit ihnen verbundenen Wasser angefüllt und erweitert sich ständig (Dekompaktion); 3. die Reibung zwischen den Teilchen verkleinert sich ständig und strebt nach der Reibungsgröße von Flüssigkeiten; 4. die Verteilung der Druckspannungen strebt nach einer hydrostatischen Druckverteilung. D.h., die obengenannten idealen Bedingungen sind für die theoretische Lösung dieser Aufgabe anwendbar.



Wenn man jedoch annimmt, dass die Reibung klein genug ist und vernachlässigt werden könnte, so kommt man zur theoretisch richtigen Schlussfolgerung, dass die wahre Mächtigkeit der beweglichen Schicht mit der Formel:

$$Md = H / \cos \alpha$$

bestimmt werden kann. Das bedeutet, dass die wahre (und vertikale) Mächtigkeit der beweglichen Schicht in diesem Fall immer größer ist (wird) als die Höhe dieses Hanges, wenn seine Neigungsstärke größer als  $0^\circ$  ist. Das kann man am Beispiel der Wasserbewegung verdeutlichen, dessen Reibung (Viskosität) sehr klein ist. Es ist bekannt, dass sogar sehr kleine Neigung der Wasseroberfläche eine Wasserschicht, deren Mächtigkeit mehrfach größer als der Höhenunterschied dieser Wasseroberfläche ist, in Bewegung setzen kann (z. B. Flüsse) (Hydraulik, 1980). Unter solchen Bedingungen müssten sich bereits alle geeigneten Hangflächen in horizontale Flächen umgewandelt haben. Das entspricht der Realität natürlich nicht, obwohl die Entwicklung des Georeliefes nach diesem rein theoretischen Gesetz zu folgen strebt.

Für die theoretische Lösung dieser Aufgabe unter Bedingungen, die der Realität näher sind, muss man die Wirkung der Schwerkraft auf einen Hang mit Beachtung einer immer existierenden Reibung im Lockermaterial betrachten. **Nehmen wir an, dass die Reibung hier konstant, wesentlich größer als 0 und gleich „ $\mu$ “ ist.** Die anderen Bedingungen entsprechen den obengenannten idealen Bedingungen (1, 2, 4, 5). Stellen wir uns vor, dass eine **bewegliche Schicht existiert und eine vertikale Mächtigkeit „ $Md$ “ hat, die größer als 0 aber nicht bekannt ist und bestimmt werden soll.** Dafür betrachten wir einen Hang, der sich auf einen anderen horizontalen Hang stützt und von oben von einem anderen entgegengesetzt geneigten Hang begrenzt wird. Nehmen wir seine ganze bewegliche Schicht als einheitlichen, sich bewegenden Körper an, der auf einer, um den Winkel  $\alpha$  geneigten Ebene liegt (Abb. 4.5). Die Verschiebung dieses Körpers (von physikalischen Gesetzen ausgehend) ist in dem Fall möglich, wenn die Schubkraft (**Fs**) des Körpers größer als die Reibungskraft (bzw. Widerstandskraft) (**Fv**) an seiner Stütze ist. Die Schubkraft ist umso größer, je größer die Masse (Gewicht) des Körpers und die Neigungsstärke des Hanges sind. Bei einer gleichen vertikalen Dicke (**Md**) und Neigungsstärke ( **$\alpha$** ) des Körpers ist seine Masse umso größer, je größer die Höhe des Hanges (**H**) ist.

Man kann aus diesem Körper seinen unteren Teil (ADM) absondern, der sich auf die horizontale Ebene stützt. Dieser Teil sollte mittels des Druckes (Verteilung des Druckes ist hydrostatisch) des übrigen oberen Teiles des Körpers (DBMH + MHO) verschoben werden. Der obere Teil kann sich dabei passiv auf Kosten der Verschiebung des unteren Teiles bewegen. Die Größe des Druckes (Schubkraft) vom oberen Teil des Körpers kann man mit der Formel

$$Fs = m1 \cdot g \cdot \sin \alpha$$

feststellen. Der untere Teil des Körpers wird im Punkt „M“ mittels seines Gewichtes und seiner Reibungskraft zurückgehalten. Der Druck (Gewicht) des oberen Teils sollte die Widerstandskraft des unteren Teils überwinden. Demzufolge kann man diese beiden Kräfte gleichsetzen und als eine Gleichung darstellen, bei der diese Kräfte gleich sind. Aus dieser Gleichung kann man die für die Erfüllung dieses Gleichgewichtes notwendige vertikale Mächtigkeit des Körpers (der beweglichen Schicht) ermitteln. Diese Mächtigkeit ist die maximal mögliche vertikale Mächtigkeit der beweglichen Schicht. **Bei einer vertikalen Mächtigkeit, die kleiner ist als die Mächtigkeit aus dieser Gleichung, muss dieser Körper (Schicht) sich zu bewegen beginnen, dabei erreicht die Schubkraft gerade im Punkt „A“ des Hanges ihr Maximum** (Abb. 4.5). Man muss beachten, dass die Massen (bzw. Gewichte) dieser Teile proportional zu ihren geometrischen Parametern sind und der untere Teil auch der eigenen Schubkraft unterworfen ist.

Also die Widerstandskraft des unteren Teiles ist  $Fv = \mu \cdot m2 \cdot g \cdot \cos 0^\circ$

Die Schubkraft des oberen und unteren Teils ist  $Fs = (m1+m2) \cdot g \cdot \sin \alpha$

Nehmen wir an, dass diese Kräfte gleich sind  $Fs = Fv$ , oder

$$(m1+m2) \cdot g \cdot \sin \alpha = \mu \cdot m2 \cdot g \cdot \cos 0^\circ, \text{ oder} \quad (m1+m2) \cdot \sin \alpha = \mu \cdot m2 \quad (1)$$

Von der Ähnlichkeit der Dreiecke ADM und ABO und von der Proportionalität der Massen „ $m2$ “ und „ $(m1+m2)$ “ zu den geometrischen Parametern dieser Dreiecke ausgehend, sind die Verhältnisse

$$\text{„}m2 / (m1+m2)\text{“ zu „}AD / AB\text{“ und „}AD / AB\text{“ zu „}Md / H\text{“} \quad (2)$$

gleich. Die Glieder „ $m_2$ “ und „ $(m_1+m_2)$ “ darf man entsprechend durch „ $Md$ “ und „ $H$ “ ersetzen. Die Gleichung (1)  $[(m_1+m_2) \cdot \sin \alpha = \mu \cdot m_2]$  wandelt sich in Gleichung (3) um

$$H \cdot \sin \alpha = \mu \cdot Md \quad (3)$$

Daraus folgend kann die maximal mögliche vertikale Mächtigkeit der beweglichen Schicht nicht größer als

$$Md = (H \cdot \sin \alpha) / \mu \quad (4)$$

sein. Bei  $\mu=1$ , was für das Lockermaterial der Hänge als typisch gilt, ist  $Md = H \cdot \sin \alpha$  (5), (was zu beweisen war).

Aus diesem Beweis kommen viele interessante Folgen und Erklärungen hervor, z. B. die bogenförmige Fläche des Gleitens von Rutschungen auf sehr steilen Hängen (Abb. 4.6); die Wälle des Auspressens des Lockermaterials an den Füßen der Hänge (in diesen Punkten erreicht die Schubkraft ihr Maximum); die Möglichkeit, das Lockermaterial auf den Hängen zu befestigen (seine Oberfläche stufenartig anlegen lassen) usw.

#### 4.2.3. Gesetze der Denudation (Entwicklung des DR) und ihre Beweisführung

Aus der Anerkennung der obengenannten formalen Eigenschaften des DR ergibt sich die Möglichkeit, einige **Gesetze** über die Kinematik der denudativen Entwicklung des Georeliefs vorzuschlagen (BUTWIŁOWSKI 1995, 1998).

1. Erstes Gesetz: **Unter einer ununterbrochenen Wirkung der Denudation werden alle Punkte eines Hanges um die gleichen horizontalen Strecken (S) verlagert.** Anders gesagt, die Entwicklung des DR unter der Bedingung der Erhaltung seines Status ist nur bei gleicher horizontaler Verlagerung aller seiner Punkte möglich:

$$S_1 = S_2 = S_3 \dots = S_n ,$$

wobei  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  - die Größe der horizontalen Verlagerung der Hangpunkte ist. Dabei müssen die Hänge parallel zu sich selbst verlagert werden (Abb. 4.7).

Wenn dieses Gesetz nicht erfüllt wird, d.h. ein Punkt des Hanges wird um eine kleinere Strecke als andere Punkte verlagert, so entsteht über diesem Punkt sofort eine von Sedimenten bedeckte Nische (Abb. 4.8). Auf diesem Hangteil beginnt also sofort eine Akkumulation, entsteht ein Sedimenthang und dieser Teil des Georeliefs verliert sofort seinen axiomatisch bestimmten Status als DR. **Das darf nicht geschehen, weil bezüglich des Status des DR angenommen wurde, dass auf diesem Hang überall die Denudation der Gesteine abläuft.** Damit auf den Hängen nur die Denudation wirken kann, muss die Verlagerung aller Punkte dieser Hänge genau gleich sein, damit zwischen diesen Punkten kein Unterschied des Betrages ihrer horizontalen Verlagerung entsteht. So ist der einfachste formal-logische Beweis dieses Gesetzes, das auch mathematisch (geometrisch und arithmetisch) durch den Vergleich der Größen der von diesen Punkten verlagerten Strecken leicht bewiesen (Abb. 4.7).

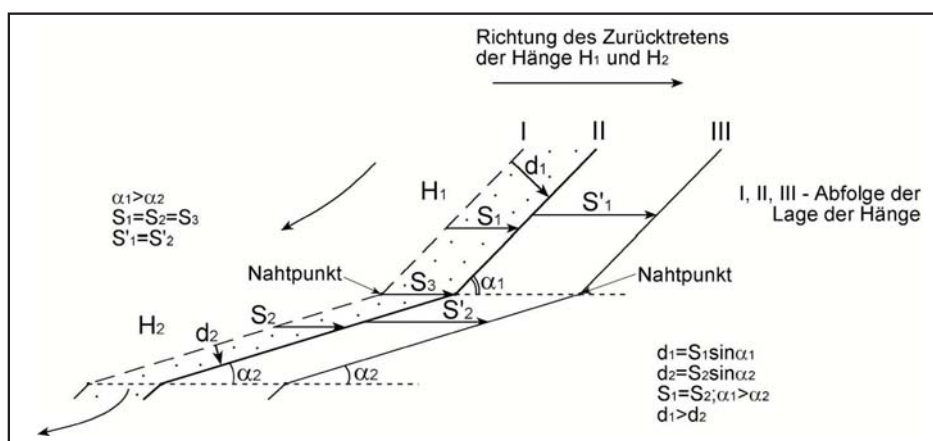


Abb.4.7: Profilmodell der Kinematik der parallelen horizontalen Verlagerung der Disjunktivhängen H1 und H2 (Erklärung im Text)

Warum wird die Erdoberfläche bei der Abtragung des Gesteins immer verlagert? Wenn also von einem Hangprofil der Erdoberfläche eine Schicht (Teil) des Gesteins abgetragen ist, so verlagert sich die Erdoberfläche dorthin, wo das Gestein geblieben ist, und erhält sofort eine neue Lage im Raum. Die Strecke der Verlagerung der Erdober-

fläche ist der Größe der abgetragenen (**denudierten**) Gesteinschicht gleich (Abb. 4.7). Das kann man an dem geometrischen Profil eines Hanges darstellen. Die Analyse dieses Modells reicht aus, um sich die Kinematik des ganzen Hanges als flächenhafte geometrische Figur vorzustellen, weil die Fläche des Hanges aus unendlich vielen Hangprofilen besteht und die festgestellten Eigenschaften und Gesetze von Hangprofilen auch für die ganze Hangfläche gelten. Außerdem ist es leichter und verständlicher, die Kinematik des Georeliefs mittels Profilmodelle zu analysieren.

Man muss ergänzen, dass der Punkt, der die Profile zweier vertikal benachbarter (höher- und niedriger liegenden) Hänge verbindet („Knick“ der Profillinie), ein „**Nahtpunkt**“ ist (Abb. 4.7). Die Flächen dieser Hänge kann man als Gesamtheit von Hangprofilen darstellen. Auch der Knick der Flächen dieser Hänge besteht aus Nahtpunkten, die sich zu einer „**Nahtlinie**“ verbinden (konkordante Grenze-Basislinie des Hanges). Die Nahtlinie hat dieselben kinematischen und physikalischen Eigenschaften wie ihre Nahtpunkte.

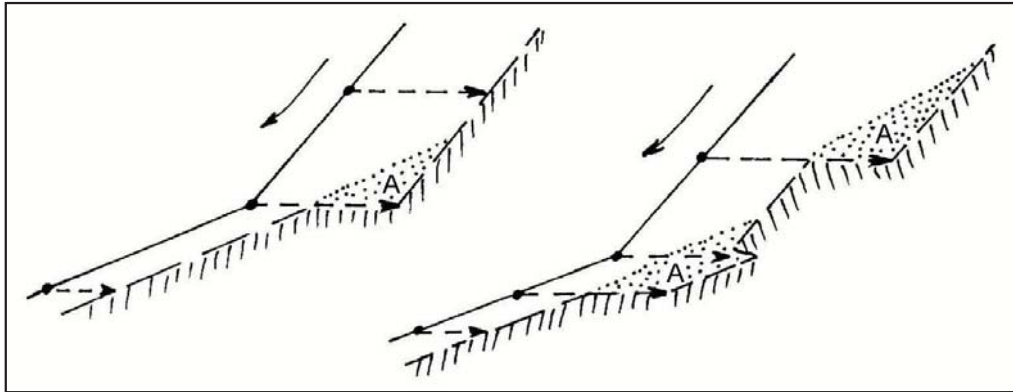


Abb.4.8: Entstehung der Akkumulationsbereiche (A) bei ungleicher Verlagerung der Punkte disjunktiver Hänge

Die quantitative Beweisführung des ersten Gesetzes wird für ideale Bedingungen aus dem geometrischen Profilmodell des DR ermittelt (Abb. 4.9). Lassen wir uns dieses Gesetz auch durch die Methode des apagogischen Beweises nachweisen. Betrachten wir die Fälle 1, 2 und 3, bei denen die parallele Hangverlagerung durch den gleichen Typ der Denudationsprozesse angenommen wird.

**Fall 1:** Nehmen wir im Gegenteil an, dass  $S_1$  nicht gleich  $S_2$  ist. Wenn der steilere obere Hang in jedem Moment um einen größeren Abstand als der untere flachere Hang verlagert wird (Abb. 4.9, Fall 1, 1a;  $S_1 > S_2$ ), so entsteht im Laufe der Denudation unvermeidlich die Akkumulation auf dem flachen Hang, sogar wenn die Verlagerung der Punkte (Differenziale  $dS_1$  und  $dS_2$ ) sehr klein ist. Dies geschieht, weil das Stoffvolumen, das von einer Flächeneinheit des steileren höher liegenden Hanges abgetragen wird, in jedem Moment größer ist als das abgetragene Stoffvolumen von der gleichen, benachbarten Fläche des flacheren niedrig liegenden Hanges ( $dS_1 > dS_2$ ). Auf den flacheren Hang werden viel mehr Gesteinsteilchen zulaufen als die Anzahl von Gesteinsteilchen, die hier abgetragen werden kann (Saldo der Stoffbilanz wäre positiv). D.h. die Denudation hört hier auf und sofort beginnt die Akkumulation. Der flachere niedrig liegende Hang beginnt in diesem Fall (zuerst im Nahtpunktbereich, dann überall) sedimentativ zu sein, was den Bedingungen unserer Aufgabestellung entsprechend (Status des DR soll immer erhalten bleiben) überhaupt nicht zulässig ist. Damit es nicht geschieht, müssen alle Punkte des DR um die gleiche horizontale Strecke im Laufe der Entwicklung des DR verlagert werden.

Betrachten wir den **Fall 2** (Abb. 4.9.): **Der untere flache Hang wird um eine größere Strecke verlagert als der obere steile Hang.** Unter der Bedingung der ständigen Wirkung der Denudation ist dieser Fall physikalisch nicht möglich, weil aus der Physik bekannt ist, dass auf geneigten Flächen die Schubkraft ( $F_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha$ ) proportional zur Neigungsstärke der Fläche ist. D.h. die Schubkraft ist auf den steileren Hängen immer größer als auf den flacheren Hängen. **Deswegen ist die für den Fall 2 notwendige Verschiebung der größeren Stoffmasse (Schicht) von dem flacheren Hang bei sonst gleichen Bedingungen nicht möglich.** Dementsprechend kann die schnellere Verlagerung des flachen unteren Hanges auch unmöglich sein.

Nehmen wir auch an, dass bei gleichem Typ des Denudationsprozesses die Verlagerung der Hänge **nicht parallel** abläuft. Die Lage unserer beiden disjunktiven Hänge kann sich geometrisch nach 3 Varianten verändern (Abb. 4.9, die **Fälle 3, 4 und 5**). Sind diese Veränderungen bei der stetigen denudativen Entwicklung möglich? Nein. Im Fall 3 und 4 ist für die **Transformation** (Umwandlung) des oberen steilen Hanges in einen flachen Hang die Entstehung der Akkumulation notwendig (aber dies ist entsprechend dem Status des DR nicht zulässig). Außerdem ist die notwendige Transformation des unteren flacheren Hanges in einen steileren Hang physikalisch nicht möglich (siehe

den Fall 2). Im Fall 5 ist eine Transformation des oberen steilen Hanges in einen noch steileren Hang unter anderen gleichen Bedingungen physikalisch nicht möglich, und die Umwandlung des unteren flachen Hanges in einen noch flacheren Hang erfordert die Entstehung der Akkumulation.

Man muss bemerken, dass der **Fall 5** beim Wechsel des Typs des Denudationsprozesses zu einem intensiveren Prozesstyp möglich ist, z.B. beim Wechsel der gravitativen Prozesse zum dynamisch stärksten glazialen Prozess. Wenn, umgekehrt, ein intensiver Denudationsprozess durch einen schwächeren Prozess ersetzt wird, dann ist der **Fall 6** möglich: die Verkleinerung der Neigungsstärke beider Hänge. Das sind komplizierte Varianten der Entwicklung des DR, die für die Periode der Änderungen der Naturbedingungen (Treibmedien) seiner Entwicklung zulässig sind (Abb. 4.10). Sie widersprechen dem festgestellten Gesetz nicht, sondern präzisieren seinen Verlauf unter den realen Naturbedingungen.

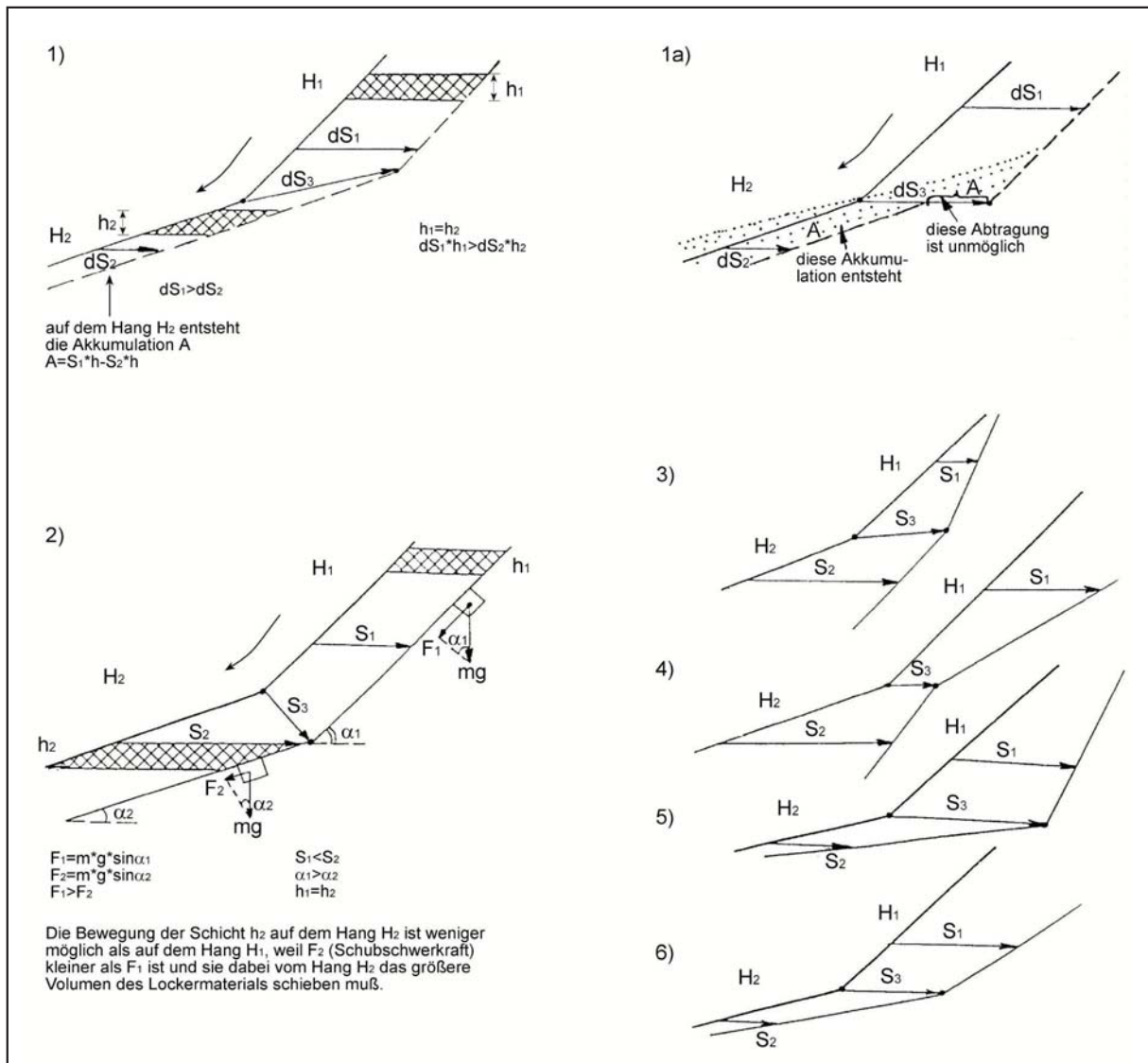


Abb. 4.9: Profilmodelle der Kinematik unmöglicher Varianten der Entwicklung des Disjunktivreliefs (1-6) (Erklärung im Text)

Alle geometrisch möglichen Varianten der Kinematik der Verlagerung des DR betrachtet, kann man theoretisch nur zu einer richtigen Variante kommen: **die denudative Verlagerung der Hänge des DR ist nur bei gleicher horizontaler Verschiebung jedes ihrer Punkte möglich**. Nur eine solche Kinematik entspricht dem angenommenen axiomatischen Status des DR sowie den allgemeinen Gesetzen der Erhaltung von Energie und Masse, der Kinematik und Dynamik. Dieses Gesetz führt zur Fähigkeit der Hänge des DR, **im Laufe der Entwicklung ihre ursprüngliche Form** (Neigungsstärke, Exposition und dadurch die Struktur des DR) **zu bewahren. Das DR ändert seine Lage im Raum und bleibt dabei sich selber ähnlich**. Dieses Gesetz ist im Prinzip dem 1-en NEWTONSCHEN Gesetz der Mechanik (gleichmäßige Bewegung der Körper) analog.



und **D** (wahre Mächtigkeit der abgetragenen Gesteinschicht) ausbauen, und zwar unter dem Neigungswinkel  $\alpha$  zwischen den Strecken S und H und unter dem rechten Winkel ( $90^\circ$ ) zwischen den Strecken H und D, ist eindeutig zu sehen, dass das quantitative Verhältnis zwischen D/S dem Sinus  $\alpha$  gleich ist:

$$\sin \alpha = D/S$$

Daraus folgt, dass die Sichtdicke das Produkt von Sinus der Neigungsstärke des Hanges ( $\alpha$ ) und von der Länge der verlagerten Strecke (**S**) ist, also:

$$D = S \cdot \sin \alpha$$

Bei der Neigungsstärke  $90^\circ$  ist  $D=S$ , weil  $\sin 90^\circ=1$  ist. Bei der Neigungsstärke  $\sim 0^\circ$  ist D immer sehr klein (fast 0), obwohl S sehr groß sein kann (mehrere hundert Meter), weil  $\sin \sim 0^\circ = \sim 0$  ist. Um einen Hang um die Strecke von 100 m zu verlagern, ist es z. B. notwendig, die 100 m starke Gesteinschicht abzutragen, wenn seine Neigungsstärke  $90^\circ$  ist; bei der Neigungsstärke von  $30^\circ$  wären dafür schon 50 m ausreichend, aber bei der Neigungsstärke von  $0,1^\circ$  nur etwa **16 cm**.

Zwei unter einander liegende, unterschiedlich geneigte benachbarte Disjunktivhänge vergleichend, kann man eindeutig feststellen, dass bei ihren gleichen, wegen Denudation verlagerten Strecken ( $S_1=S_2$ , was das erste Gesetz der Denudation unter Erhaltung des Status des DR erfordert) doch unterschiedlich starke Gesteinschichten abgetragen werden müssen, weil ihre Neigungsstärken unterschiedlich sind. Bei  $\alpha_1 > \alpha_2$  muss  $D_1 > D_2$  sein, und zwar entsprechend dem Verhältnis von Sinussen ihrer Neigungsstärken, was bereits erklärt wurde.

Die Beweisführung der Formel kann auch durch die Beweisführung der Formel der Bestimmung der vertikalen Mächtigkeit der beweglichen Schicht physikalisch begründet werden (Kapitel 4.2.2).

Das zweite Gesetz ergänzt das erste Gesetz. Es präzisiert es und schafft beim Wechsel des Typs des Denudationsprozesses die Möglichkeit für die schnellere Verlagerung der niedriger liegenden, aber stärker geneigten Hänge. Dabei werden die „Diskordanzen“ im DR geschaffen (Abb. 4.10). **Die Diskordanz im DR („Verschnitt, Beschnitt“) ist eine Verschneidung der oberen flachen Hänge durch die schneller verlagerten unteren steileren Hänge.** Anders gesagt, der **Verschnitt** ist ein Disjunktivhang, der mit allen höher liegenden und seitlich (lateral) liegenden benachbarten Hängen immer nur diskordante Grenzen hat und immer steiler als diese Hänge ist. In der Regel kann der Verschnitt von einer benachbarten, niedriger liegenden flacheren Fläche (Hang) begleitet werden („diskordante Fläche“)

Dieses Gesetz ist im Prinzip dem 2 NEWTONSCHEN Gesetz der Mechanik (unterschiedliche Bewegung der Körper unter verschiedener Krafteinwirkung) analog.

**3. Drittes Gesetz: Auf einem Denudationsbereich (Profil) dürfen seine höher liegenden Disjunktivhänge (Profile) nicht schneller verlagert werden als seine niedriger liegenden Disjunktivhänge (Profile).** Anders gesagt, die Denudation (Verlagerung des Hanges) der höher liegenden Hänge darf nicht größer als die Denudation der unten liegenden Hänge sein. Sonst entsteht Akkumulation an ihren Grenzen, was dem Status des DR und den Bedingungen unserer Aufgabe widerspricht (die Beweisführung dieses Gesetzes ist der Beweisführung des ersten Gesetzes der Denudation analog). Das dritte Gesetz präzisiert die Wirkung der beiden ersten Gesetze der Denudation. Es neutralisiert die Ungleichheiten der Wirkung der äußeren Umweltfaktoren im DR. Dieses Gesetz ist im Prinzip dem 3 NEWTONSCHEN Gesetz der Mechanik (der Wirkung ist die gleiche Gegenwirkung entgegengesetzt) analog.

Man muss dabei betonen, dass die Denudation auf niedrigeren Hängen größer sein kann als auf höher liegenden Hängen (die Folge des Zweiten Gesetzes). Diese wesentliche Ergänzung lässt eine im Laufe der Zeit mögliche Zunahme der Denudation auf unten liegenden benachbarten Hängen ohne Verletzung der ersten beiden Gesetze erklären und die Wirkung dieser Gesetze im Laufe der Entwicklung des DR präzisieren. Wenn wegen z. B. einer Klimaänderung die Denudation auf höher liegenden Hängen wesentlich zunimmt, dann muss sie auch auf niedrigeren Hängen dementsprechend zunehmen.

Es ist offensichtlich, dass auf den Abschnitten des DR, wo diese Gesetze verletzt werden, sofort Sedimentationshänge entstehen und eine Akkumulation beginnt (Abb. 4.8; 4.10). Die Entstehung der Sedimentationshänge wird von der Vielfalt der Geomorphostruktur, von der Verkleinerung der Steilheit der Hänge und von der ungleichmäßigen Dynamik der Denudation vorherbestimmt, was von der ungleichmäßigen Einwirkung der Treibkräfte und von der Vielfalt des geologischen Aufbaues hervorgerufen wird.

#### **4.2.4. Realer Verlauf und empirische Beweise der Gesetze der Entwicklung des DR**

Es ist schon lange festgestellt (PENCK, 1924) worden, dass die Denudationsprozesse bei sonst gleichen Bedin-

gungen von den Prozessen der Verwitterung (Dekompaktion, Desintegration) der Gesteine abhängen. Je stärker die Gesteine zerstückelt sind, je kleiner ihre Bestandteile und je schwächer die physikalischen und chemischen Verbindungen zwischen ihnen sind, desto leichter ist es, diese Teilchen von anderen Teilchen und von festen Gesteinen abzureißen und zu verlagern. Gerade die Verwitterung (Dekompaktion) der Gesteine an der Erdoberfläche geht der Denudation (Abtragung) dieser Gesteine voran. Die **Dekompaktion** stellt im Prinzip verschiedene Verfahren der Trennung der Gesteinteilchen voneinander mit Hilfe von Veränderungen des Druckes, der Temperatur, Feuchtigkeit und der chemischen Zusammensetzung innerhalb des Gesteins dar. Durch diese Prozesse zerstückelt sich das feste monolithische Gestein, zwischen seine Teilchen dringt Wasser und Luft und es wandelt sich in lockeres Gesteinsgebilde um.

Das geschieht besonders intensiv dort, wo die obengenannten Veränderungen des Zustandes der Gesteine sehr groß und häufig sind. Sehr schnelle Denudation, Schmelzen der Gletscher, Entwässerung der Seen führen z. B. zur drastischen gravitativen Entlastung eines Abschnittes der Erdkruste vom Gewicht der abgetragenen Massen. Dabei entsteht eine Dekompaktion, Deformation und Zerstückelung der Gesteine an der Erdoberfläche und im Erdinneren. Es ist auch bekannt, dass diese Deformation und Rissbildung in Gesteinen oft sehr schnell (im Laufe einiger Jahre oder sogar momentan) passieren und sich oft in Bergschläge umwandeln können (KEGEL u.a. 1950, OLLIER, 1987, BLOOM, 1989; u.a.). Es wurde auch festgestellt (ANANJEW, 1976), dass sich die „exogenen“ Risse (Klüfte) in Gesteinen üblich **parallel zur Erdoberfläche** (zu den Hängen) **erstrecken**. Viele Experimente haben gezeigt, dass in vielen Mineralien in 3-25 Stunden nach der Druckentlastung eine spontane Erscheinung von Rissen auftritt (SCHUMILOV, 1981). Genauso geschieht es mit den Gesteinen an der Erdoberfläche und in unterirdischen Gruben und Stollen (SCHUMILOV, 1981). Das Abbrechen von Steinblöcken von auf Fels aufliegenden riesigen Steinblöcken geschieht in erster Linie **an den Füßen dieser Blöcke** (an ihren **Nahtpunkten**) (OLLIER, 1987), weil der Druck auf das Gestein des Blockes **an seinem Fuß am größten ist** und der Kontrast zwischen diesem Druck und dem Druck der äußeren Umwelt (Atmosphäre) auch **hier** am größten ist.

Es ist schon lange festgestellt, dass **die größten Oberflächendruckspannungen in Gesteinen den vertikalen Hängen mit Maximum an ihren Füßen** (Nahtpunkten) (Abb. 4.11; 4.12) (SERGEEV, 1978; EMELJANOWA, 1972) **zu Eigen sind. Bei der Verkleinerung der Hangneigungsstärke werden diese Spannungen immer schwächer**, aber „...an den Füßen der Hänge sind die horizontal gerichteten Spannungen (Tangentenspannungen) immer stärker als die vertikal gerichteten, was oft zur Entstehung der Wälle des Auspressens beiträgt“ (EMELJANOWA, 1972, S. 18).

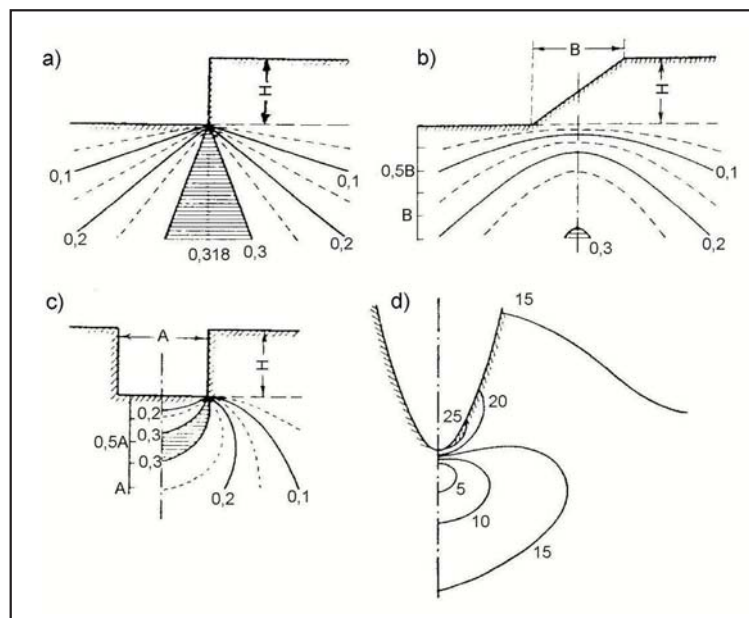


Abb. 4.11: Theoretische Isolinien maximaler gravitativer Tangentenspannung an den Hangbereichen (a, b) und Taleinschnitten (c, d), (nach E. P. EMELJANOWA, 1972)

N. S. BLAGOWOLIN und G.N. PSCHENIN (1985) haben empirisch bewiesen, dass die gravitative Belastung gerade an den Hangfüßen stellenweise so groß ist, dass hier große Überspannungen geschaffen werden. Solche Überspannungen sind nach außen und nach oben gerichtet und bewirken die Zerstückelung der Felsgesteine und das Auspressen des Grottschuttes nach außen. Diese Forscher behaupten, **dass die Schutthalden an den Hangfüßen meistens nicht nur durch das Aufschütten der Bruchstücke von oberen Hangteilen gebildet wurden,**

sondern dass sie vor allem durch die Zerstückelung der Gesteine direkt an den Hangfüßen entstanden. Das hat man beim Straßenbau und in Steinbrüchen bestätigt. Es wird folgender Fall beschrieben: man musste einen Hangfuß von Lockermaterial (Grobschutt) säubern, aber die Beseitigung des Grobschuttes mit Hilfe von Bulldozern brachte keinen Erfolg. Statt des beseitigten Schuttes floss neuer Schutt von der Spannungszone des Hangfußes zu. Der Bereich des Hangfußes war eine Zone der verschlossenen Dekompaktion der Gesteine, die bei der Beseitigung ihrer oberflächlichen Schichten (Gewichtentlastung) immer wieder durch den Druck der oben liegenden Gesteinmassen des Gebirgsrückens zerstückelt und herausgepresst werden. Genau dieser Faktor bedingt die Erscheinung von „Gebirgsschlägen“, die sich in unterirdischen Ausbauen als plötzliche Salvenwürfe von Steinblöcken“ (BLAGOWOLIN & PSCHENIN, 1985, S. 11) oder als Auspressen der plastischen Gesteine äußern.

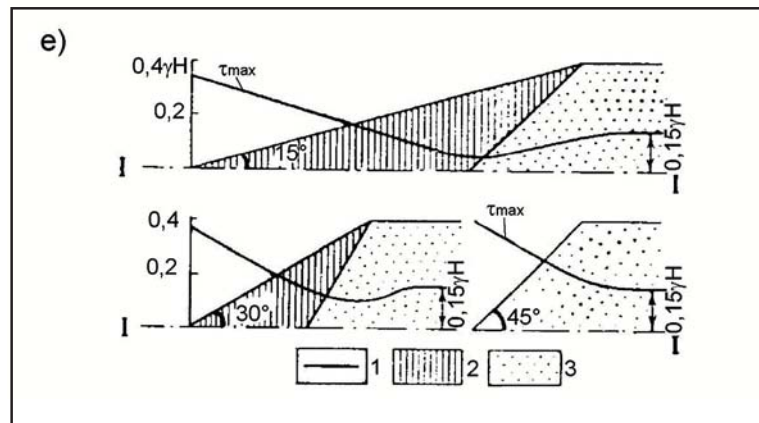


Abb. 4.12: e)- Theoretische Kurven ( $\tau_{max}$ ) maximaler Tangentenspannungen an Hängen verschiedener Neigung (1. – Kurve maximaler Tangentenspannungen; 2. – Bereich, wo die Tangentenspannung größer als die vertikale Kraftspannung ist; 3. – Bereich, wo die Tangentenspannung kleiner als die vertikale Kraftspannung ist) (nach E. P. EMELJANOWA, 1972)

Steile Hänge sind also immer Bereiche der Dekompaktion der Gesteine. S.A. TRESKINSKIJ (1971) behauptet, dass die Schubkraft, die unter einem Reibungswinkel auf den Hängen wirkt, die Verbindungen zwischen Gesteinteilchen zerreißt und zuerst sehr feine, dann große offene Risse bildet. Durch diese Risse läuft der Abbruch der Gesteinsblöcke von subvertikalen Hängen. In den Gesteinen, deren Diagenese noch nicht abgeschlossen ist (Ton, Mergel usw.) und in denen eingeschlossene Gase und Wasser aufgrund nicht ausreichender Belastungen noch erhalten sind, führt die Druckentlastung zur Gesteinsauflockerung und zum Ausfluss der Gase und des Wassers. S.A. TRESKINSKIJ (1971) betont auch, dass die Gesteine an den Füßen der steilen Hänge oft überspannt und einem starken horizontalen Schub nach außen unterworfen sind, was zur Dekompaktion, Zerstückelung und danach zu ihrer chemischen Verwitterung führt.

Dass die Gesteine am stärksten gerade **an den Hangfüßen** der zerstörenden Einwirkung von Umweltmedien unterworfen werden, ist besonders deutlich bei künstlichen Objekten (Mauern, Hauswänden, Säulen, welche mit vertikalen natürlichen Hängen vergleichbar sind) zu sehen (Abb. 4.13). Gerade hier sind die Gesteine im Vergleich zu anderen Bereichen vielfach stärker verwittert und denudiert. Dabei entstehen sogar Nischen und kleine Überhänge. Oft sind die Gesteine hier besonders feucht, stark bewachsen, und den größten Schwerkraftspannungen, sowie Temperatur- und Feuchtigkeitskontrasten unterworfen. Den Bauingenieuren ist schon lange bekannt, wo schwächsten Stellen beim Bau sind (KEGEL u.a. 1950, u.a.). Sie wissen genau, dass das Fundament und insbesondere die Ecksteine besonders fest und belastbar sein müssen, um den Bau stabil zu halten. Warum die Geomorphologen diese Kenntnisse bei der Erarbeitung von Theorien der Hangprozesse wenig einbeziehen, ist für mich ein Rätsel.

Die Veränderungen des Druckes, der Temperatur und Feuchtigkeit an der Erdoberfläche bedingen also die Entstehung der **Spannungen** in Gesteinen, die diese lockern. Ihr Maximum an den Hangfüßen (besonders stark in den Nahtpunkten von konkaven Knicken) wurde bei der Beweisführung der Formel für die „bewegliche Schicht“ theoretisch vorausgesagt und in diesem Kapitel empirisch bestätigt. **Das Spannungmaximum ist eine der Hauptursachen des aktiven „Verhaltens“ der Nahtpunkte** (Nahtlinien). **Gerade an den Nahtlinien werden die Gesteine am schnellsten zerstückelt und denudiert. Hier beginnt die Verlagerung des Hanges und zieht den ganzen Rest des höher liegenden Hangteils hinter sich mit.** Diesem Teil wird also ständig ein „Stück seiner Stütze entzogen“, er verliert sein Gleichgewicht und wird deswegen zeitlich ungleichmäßig (durch „Sturzereignisse“) denudiert (Abb. 4.14). So eine Erscheinung bezeichnet man als „**regressive**“ Denudation oder „regressive“ Erosion.



Die Wirkung der Schwerkraft wird bei der Dekompaktion der Gesteine durch die Schwankungen ihrer Temperatur und Feuchtigkeit, durch Bildung und Schmelzen des Eises, Eindringen von Pflanzenwurzeln, durch chemische Einwirkung von unterschiedlichen wässrigen Lösungen und aktiven organischen Stoffen und Mikroorganismen usw. unterstützt. **Im Prinzip wirken alle diesen Erscheinungen gleich. Sie verstärken oder schwächen drastisch den Druck auf die Teile der Gesteine, lockern Bindungen zwischen den Teilchen und damit reißen und trennen sich diese Teilchen voneinander ab.** Man bezeichnet sie als „Verwitterung“. Die Verwitterungsprozesse (Lösung, Hydratation, Hydrolyse, Oxidation, Neutralisation, Temperatur- und Frostverwitterung, Insulationsverwitterung, biogene Verwitterung usw.) sind in der Regel in der wissenschaftlichen Literatur ausreichend charakterisiert und brauchen hier keine ausführliche Darstellung.



Abb. 4.13: Verwitterungs- und Denudationsspuren an alten Steinmauern in Dresden (es ist deutlich zu sehen, dass die Mauern besonders stark ganz unten davon betroffen wurden)

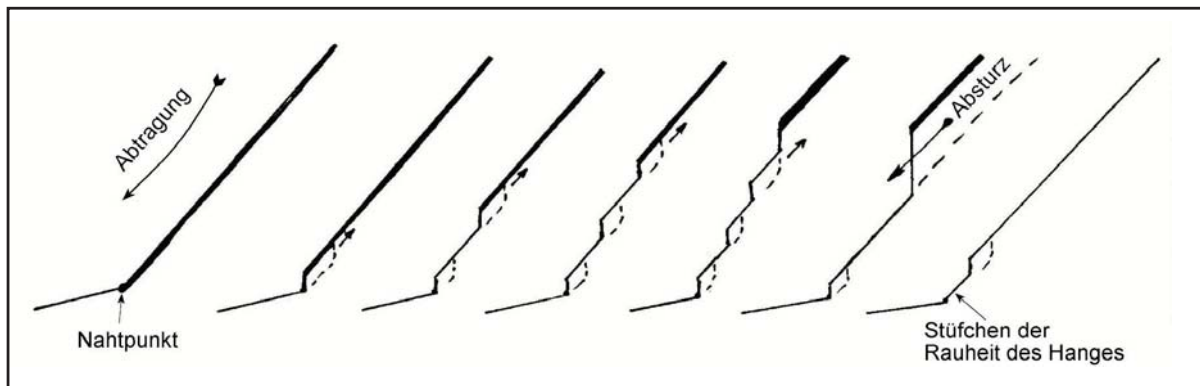


Abb. 4.14: Modell der Kinematik der „regressiven“ Denudation auf dem disjunktiven Hang durch die im Nahtpunkt entstehende Auflockerung und Rauheit (Zeitpfeil von links nach rechts)

Es ist wichtig zu betonen, dass die Verwitterung zur physikalisch-chemischen Umwandlung der festen Gesteine in die möglichst kleinsten Teilchen führt, die im Endeffekt eine kolloidähnliche Mischung darstellen. **Diese Teilchen streben danach, die größte Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen und physikalischen Einwirkungen auf der Erdoberfläche zu gewinnen und dem Zerfall zu entfliehen.** Im Prinzip bleiben vom Gestein nur seine, gegen die äußeren Umweltbedingungen widerstandsfähigen veränderten Bestandteile übrig, z. B. Kaolinton oder feiner Quarzsand. Alle anderen werden gelöst und wegtransportiert.

Im Laufe der Verwitterungsprozesse verlieren die Bestandteile des Gesteins ihre physikalisch-chemischen Verbindungen zueinander und können unter entsprechenden Bedingungen den lateralen Verlagerungen (Denudation) unterworfen werden. Es gibt zwei Hauptvoraussetzungen für die Denudation: **die Neigung und die Bewegbarkeit der Massen der Gesteine.** Bei der Zunahme der Neigungsstärke der Hänge können immer wieder neue Massen der gelockerten Gesteine in laterale Bewegung kommen, die bei kleineren Neigungen unbeweglich sind (PENCK, 1924). Damit ihre Bewegung beginnen kann, muss die auf das Lockermaterial ausgeübte Schubkraft größer sein als seine Widerstandskraft.

Empirische Beobachtungen haben gezeigt, dass je eckiger die Bruchstücke sind, desto unbeweglicher ist das Lockermaterial (PENCK, 1924). „Bei Vergrößerung der Neigungsstärke der Hänge verkleinert sich die Reibungskraft“ (PENCK, 1961, S. 122). Auf vertikalen Hängen gibt es keine Reibung, die die Massenbewegung wesentlich stören kann. **Die Bewegbarkeit des Lockermaterials nimmt bei Zunahme des Gehaltes von feinen Fraktionen und Kolloiden sowie bei Zunahme seiner Feuchtigkeit immer mehr zu. Im feuchten Lockermaterial sind alle Teilchen, die kleiner als Sandteilchen sind, von Hüllen aus Wasser umfasst und „schwimmen“ dort, als ob sie sich auf Wasserkissen befänden** (PENCK, 1924). Dies alles verkleinert die Reibungskraft.

Aufgrund der Messdaten behaupten G. KONKE und A. BERTRAN (1962), dass mit doppelter Zunahme der Hangneigungsstärke die Dicke der abgetragenen Gesteinschicht (Denudation) pro Zeiteinheit von einer Flächeneinheit sich auch etwa verdoppelt, wenn andere Bedingungen (Hangexposition, Klima, Gesteinarten) gleich bleiben. Das lässt sich auch theoretisch bestätigen. Die Neigungsstärke von  $45^\circ$  ist zwei Mal größer als die Neigungsstärke von  $22,5^\circ$  und der Quotient „ $\sin 45^\circ / \sin 22,5^\circ$ “ ist gleich  $0,7071 / 0,3887 = 1,85$ ; oder der Quotient „ $\sin 30^\circ / \sin 15^\circ$ “ ist gleich  $0,5 / 0,2588 = 1,93$ . Diese Quotienten, welche die Verhältnisse von Mächtigkeiten der abgetragenen Gesteinschichten von Hängen verschiedener Neigungsstärke theoretisch bestimmen (entsprechend dem zweiten Gesetz der Denudation), sind auch also rund 2.

W. PENCK (1924) meint, dass je größer die Masse (Dicke und Länge) der lockeren Verwitterungsschicht ist, desto kleiner kann die Hangneigungsstärke sein, damit diese Schicht sich zu bewegen beginnen kann. Der Zufluss von Schlammmassen oder Wasser in diese Schicht regt zusätzlich ihre Bewegung an. Es ist logisch, dass die Mächtigkeit der Verwitterungsprodukte und ihre Eigenschaften von der Hangneigungsstärke abhängen. „Die Mächtigkeit der Verwitterungsschicht nimmt bei der Verkleinerung der Hangneigungsstärke ständig zu“ (PENCK, 1961, S. 110). Eine bestimmte Neigung des Hanges erfordert eine entsprechende Fähigkeit (Wassergehalt, Korngröße, Masse und Mächtigkeit) der Verwitterungsprodukte zur Bewegung - einen bestimmten **Verwitterungsgrad**. Die Überschreitung dieses Grades bringt die Verwitterungsprodukte zur spontanen lateralen Bewegung (Abtragung unter Einwirkung der Schwerkraft). Dabei werden unten liegende, wenig verwitterte Gesteinschichten entblößt und die Verwitterungsprozesse beginnen wieder von vorn. **Je flacher der Hang ist, desto stärker müssen die Verwitterungsprodukte zerkleinert werden, desto mächtiger muss ihre Schicht sein, um ein Teil davon in den Bewegungszustand zu geraten** (PENCK, 1924).

Man beobachtet üblich, dass der Grobtschutt, der die monolithischen felsigen Gesteine bedeckt, auf den unteren Teilen der Hänge von lehmigem Lockermaterial überdeckt ist. An den Gipfeln aber treten meistens klüftige felsige Gesteine an die Oberfläche. Daraus wird die Schlussfolgerung gezogen, dass sich das Lockermaterial in den Gipfeln- und Wasserscheidenbereichen schneller abwärts bewegt, und „die Denudation auf den oberen Teilen der Hänge intensiver verläuft“ (PENCK, 1961, S. 122). Diese Schlussfolgerung widerspricht sicher den empirischen Daten, dem physikalischen Mechanismus der Denudation und dem kinematischen Modell der Entwicklung des DR sowie dem Modell der Denudation, welches Walter PENCK selbst erarbeitet hat. Wenn sich die Hänge auf solche Art und Weise entwickeln würden, so würden im Georelief kaum steile, spitzförmige Gipfel existieren, aber solche Gipfel beobachtet man an vielen Orten. Außerdem würden etwas unterhalb aller denudierenden Wasserscheiden Sedimentationshänge existieren, aber das entspricht der Realität und der Theorie nicht. Die Hänge könnten nicht parallel zu sich selbst verlagert werden, sondern sie müssten „von oben“ ständig eingeebnet werden. **Doch in der Realität werden die Hänge oft parallel zu sich verlagert, und dies wird nicht nur durch theoretische Modelle bestätigt, sondern auch durch gleiche Neigungsstärken der sehr weit voneinander entfernten Hänge von ein und demselben Höhenniveau.**

Bei der Beweisführung des ersten Gesetzes der Denudation wurde rein theoretisch eine Schlussfolgerung gezogen, dass unter der Bedingung der Statuserhaltung des DR das Lockermaterial auf den unteren Teilen der Hänge schneller und in größeren Mengen abtransportiert werden muss als auf den oberen Teilen, wobei der Geschwindigkeitssprung der beweglichen Schicht gerade in den Nahtpunkten (bzw. Nahtlinien) der Hänge geschehen muss. Das geschieht aufgrund der Zunahme von gravitativen Spannungen in der lockeren beweglichen Schicht in Richtung Hangfuß (in Nahtpunkten erreichen diese Spannungen ihr Maximum). Auch die Zunahme an der Masse und Geschwindigkeit (kinetischen Energie) von Treibmedien in Richtung Hangfuß trägt sicher dazu bei.

Betrachten wir diesen Prozess rein theoretisch am Beispiel der möglichen Wirkung des Niederschlagswassers auf Disjunktivhängen. Stellen wir uns einen Abschnitt der Erdoberfläche vor, der aus mehreren Hängen (Fazetten) besteht, die gleichmäßig Niederschlägen unterworfen sind. Auf eine Flächeneinheit des obersten Teils des höher liegenden Hanges läuft eine bestimmte Menge Wasser zu, das hangabwärts fließt, auf die Gesteinteilchen einwirkt und einige von ihnen mitschleppt. Etwas unterhalb dieses Hangteils läuft auf die gleiche Flächeneinheit auch die gleiche Menge von Niederschlägen zu, aber hierher läuft zusätzlich noch ein Teil des Wassers (zusammen mit Gesteinteilchen) vom höher liegenden Hangteil zu usw. Also, auf die Hangteile, die hangabwärts (niedriger) liegen, kommt immer wieder eine größere Menge des Wassers hinzu und die Einwirkung des Wassers auf diese Erdo-

berflächen wird immer stärker. Gleichzeitig kommt hier auch eine größere Menge des von den oberen Hangteilen abgetragenen Lockermaterials hinzu, das auch von diesen niedrig liegenden Hangteilen unbedingt abgetragen werden muss, sonst wandeln diese Hangteile in die sedimentativen Teile um (entsteht eine Akkumulation). Das passiert üblicherweise nicht, weil die Zunahme des Wasserabflusses hangabwärts bei gleicher Hangneigung auch zur Zunahme seiner Geschwindigkeit, der kinetischen Energie führt und im Endergebnis - zur Verstärkung des Materialtransportes und Denudation der Gesteine. Dies alles bedingt eine gleichmäßige Denudation innerhalb des ganzen Hanges.

Entfernung von der Wasserscheide, m (L)	R = 100 mm/Jahr		R = 80 mm/Jahr		R = 60 mm/Jahr	
	M	P	M	P	M	P
142	14,2	35	11,4	30	8,5	20
248	24,8	100	19,9	67	14,9	43
301	30,1	170	24,1	95	18,1	57
353	35,3	610	28,2	138	21,2	74
381	38,1	745	30,5	175	22,8	84
408	40,8	1100	32,7	260	24,5	95
439	43,9	1450	35,1	430	26,3	110

Tabelle 4.1. Mengen des Wasserabflusses und abgetragenen Lockermaterials von einer Flächeneinheit in verschiedenen Entfernungen von der Wasserscheide eines Ackerhanges (nach M.J. LWOWITSCH, 1958)

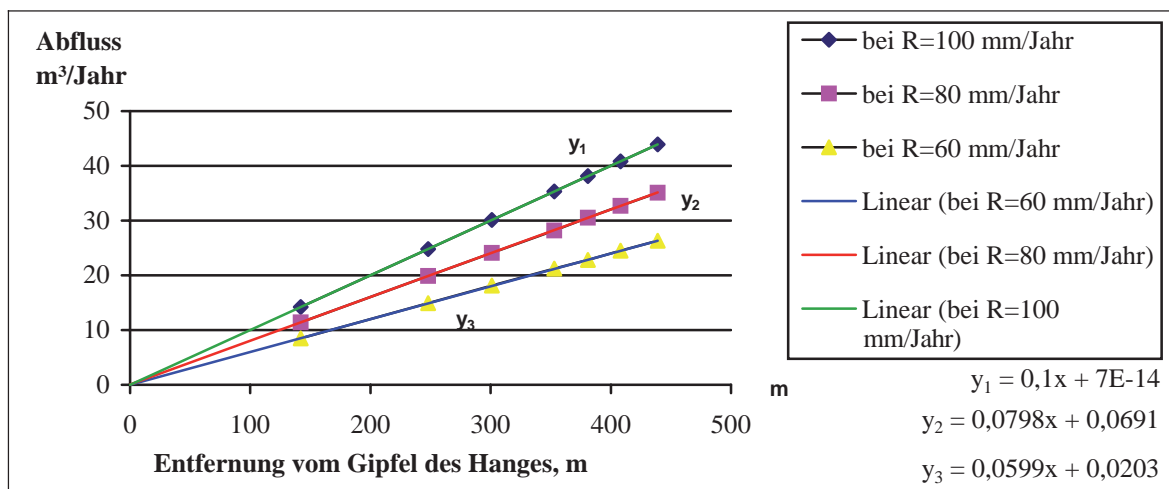


Abb. 4.15: Beziehung zwischen Wasserabfluss (m³/Jahr) und Entfernung von der Wasserscheide (vom Gipfel) des Hanges (m) bei verschiedener jährlicher Abflussniederschlagsmenge (R, mm/Jahr)

Diese Darstellung bestätigen empirische Daten. Die Messdaten lassen G. KONKE und A. BERTRAN (1962) behaupten, dass bei doppelter Vergrößerung der **Hanglänge** die Menge des transportierten Lockermaterials von einer Flächeneinheit am Ende des Hanges auch um 1,5 vergrößert wird. Eine ähnliche Gesetzmäßigkeit bestätigen die Messdaten von M.J. LWOWITSCH (1958) (Tab. 2.1, Abb. 4.15; 4.16), wobei **R** - die Größe der Schichtdicke der jährlichen Abflussniederschläge (mm/Jahr), **M** - der jährliche oberflächliche Abfluss des Wassers (m³/m²), **L** - Entfernung von der Wasserscheide, m (in diesem Fall auch die Hanglänge) und **P** - die Menge des abgetragenen und abtransportierten Lockermaterials (Tonnen/ha) ist.

**Diese Daten zeigen, dass hangabwärts eine sprunghafte Verstärkung der Transportmenge von denudiertem Lockermaterial tatsächlich passiert sowie ein Wechsel der flächenhaften Abspülung zur linearen Erosion** (lokal entstehen Bäche). Bei der Abflussmenge von R = 100 mm/Jahr passiert dies bereits in 300 m vom Gipfel entfernt, bei R=80 mm/Jahr – in 400m. Es kommt zu einem drastischen Übergang eines steilen Hanges zu einem flacheren, gewöhnlich sehr schmalen Hang, genauer gesagt, zu einer flacheren Hangprofilinie (Talweg), welche üblicherweise als konkordante Seitengrenze dargestellt werden kann. Dieser flache **Talweg** wird aber einem viel mächtigeren Denudationsprozess unterworfen. Er „transportiert“ durch den schmalen Raum das ganze Lockerma-

terial, das von allen höher liegenden benachbarten Hängen hier zukommt, dabei führt er auf diesem flachen, schmalen Talweg eine zusätzliche, für das Erhalten des Status des DR notwendige Denudation aus. Dadurch können sich die Hänge weiter entwickeln und sich teilen (ausführlicher im Kapitel 5).

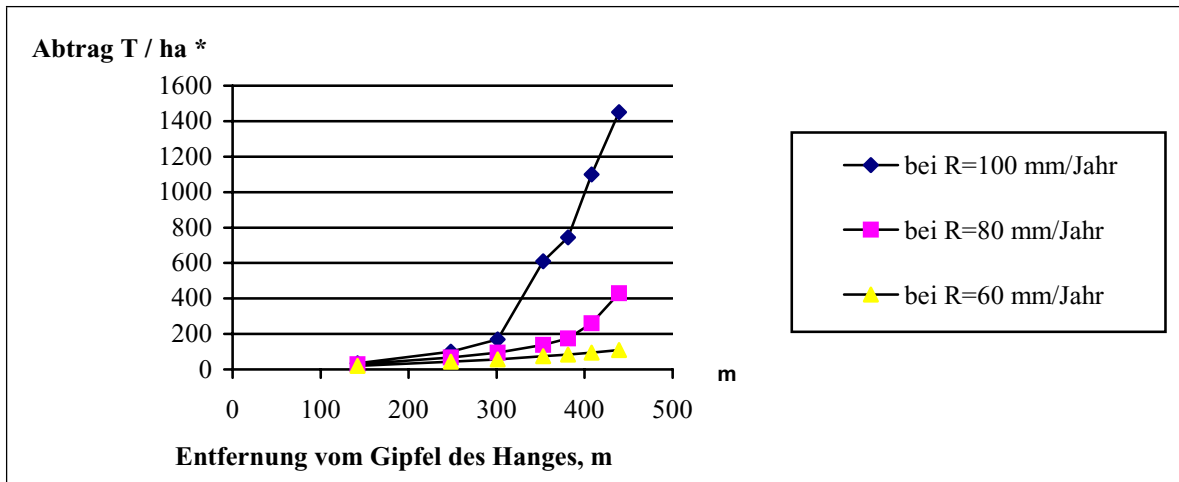


Abb. 4.16: Beziehung zwischen dem Stoffabtrag ( $T/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ ) und der Entfernung von der Wasserscheide (vom Gipfel) des Hanges (m) bei verschiedener jährlicher Abflussniederschlagsmenge (R, mm/Jahr)

Empirische Daten von K.L. HOLUPJAK und H. K. SCHIKULE (1963) zeigen, dass der Wechsel der Flächenabspülung zur intensiven linearen Bodenerosion (Entwicklung der Talwege) bei einer Hangneigung der Äcker von etwa  $1^\circ$  nur dann geschieht, wenn die Hanglänge etwa 500-700 m erreicht. Bei einer Hangneigungsstärke von etwa  $3^\circ$  geschieht dieser Wechsel, wenn die Hanglänge 200-250 m übertrifft; bei  $6^\circ$  - 100 m. **Das bedeutet, dass die Hanglänge unter bestimmter Neigungsstärke, klimatischer und lithologischer Bedingung auch eine bestimmte Größe haben muss und diese Größe nicht überschreiten darf.** Interessant ist auch, dass **die Hanghöhen dieser in ihren Längen und Neigungen verschiedenen Hänge fast gleich sind.** Ihre Höhen kann man durch die Formel:  $H = L \cdot \sin \alpha$  berechnen. Der um  $1^\circ$  geneigter Hang hat eine Hanghöhe von:  $(600 \text{ m} \cdot 0,018) = 10,8 \text{ m}$ ; der um  $3^\circ$  geneigter Hang hat eine Hanghöhe von:  $(220 \text{ m} \cdot 0,052) = 11,5 \text{ m}$ ; der um  $6^\circ$  geneigter Hang hat eine Hanghöhe von:  $(100 \text{ m} \cdot 0,11) = 11,0 \text{ m}$ . D.h. die Höhen aller dieser Hänge sind wirklich fast gleich, was sicher nicht zufällig ist.

Ähnliche empirische Gesetzmäßigkeiten wurden nicht nur für die Wirkung des Regen- und Schmelzwassers auf den Hängen, sondern auch für die Massenbewegung des Lockermaterials auf diesen Hängen ermittelt. Das ist sehr wichtig, weil sich die Abspülungsprozesse unter natürlichen Bedingungen nicht überall deutlich genug äußern. S.S. WOSKRESENSKIJ (1971) behauptet, dass die Bodenabspülung auf berasteten Hängen üblicherweise schwach ist, nur in den Halbwüsten wirkt sie sehr effektiv. Er bestätigt, dass auf den 90-95% der Hangflächen der Erde **die Massenbewegung (Erdkriechen) die vorherrschende Form der Denudation ist“ (S. 17), wobei an den Füßen der Hänge (W.B. - Nahtlinien) das Lockermaterial gewöhnlich relativ feucht ist und sprunghaft die Geschwindigkeit seiner Kriechbewegung vergrößert** (WOSKRESENSKIJ, 1971). Die Geschwindigkeit des Erdkriechens auf relativ steilen ( $25\text{-}35^\circ$ ) und trockenen Hängen in Sibirien ist sehr klein (0,5-5 mm/Jahr). Hier bleiben Schürfe und Gruben viele Jahre erhalten. Die flachen Hänge ( $3\text{-}6^\circ$ ) neben diesen steilen Hängen sind wiederum Hänge von feuchtem, ton- und schluffhaltigem Lockermaterial, das die Erdfließgeschwindigkeit von bis zu 50-200 und 500 mm/Jahr hat. Die Schürfe und Gruben bleiben hier nur ein paar Monate erhalten und werden schnell durch Massenbewegung vom Lockermaterial aufgefüllt. S.S. WOSKRESENSKIJ betont, dass es in der Natur kaum Hänge steiler als  $10\text{-}12^\circ$  gibt, wenn sie aus ton- und schluffhaltigen (von 40-60% Ton oder Schluff), sehr feuchten Sedimenten bestehen; steile Hänge sind immer felsig oder sehr gut entwässert. A.J. MORDWINOW (1940) bestätigt mittels Messungen auch, dass **die Massenbewegung auf allen Abschnitten der Hänge geschieht, aber in Bereichen ihrer konkaven Knicke (W.B. - Nahtlinien) die Geschwindigkeit der Massenbewegung drastisch zunimmt und das Lockermaterial sich dabei schneller auf niedriger liegenden flacheren Hängen bewegt.** Damit wird die Möglichkeit der parallelen Verlagerung der Disjunkтивhänge auch bestätigt.

Man kann vermuten, dass wegen einer drastischen Vergrößerung des Transports von Lockermaterial an der Nahtlinie auch die Denudation größer wird und dadurch in diesem Bereich eine Nische entstehen kann. Einige Zeit kann so was wirklich passieren (Abb. 4.14). Aber diese relativ steilere Nische, deren Höhe im Vergleich mit der ganzen Hanghöhe sehr klein und vernachlässigbar ist, ist immer (besonders im Lockermaterial) weniger widerstandsfähig

als der übrige Teil des Hanges. **Unter der Wirkung der Denudation wird diese kleine Stufe sehr schnell nach oben, am Hang entlang verlagert. Dabei wird eine neue, dem Hang parallele Oberfläche hinter dieser Stufe geschaffen** (regressive Denudation), oder diese Stufe begünstigt das Abstürzen oder Abrutschen der ganzen Schicht des Lockermaterials des Hanges (diese Schicht wird durch diese Kleinstufe verschnitten und damit von ihrer Stütze entzogen). Dabei schafft dieses Rutschen des Lockermaterials, dessen vertikale Mächtigkeit entsprechend dem Gesetz der beweglichen Schicht auch der Höhe dieser vertikalen Kleinstufe gleich sein muss, hinter sich eine neue verlagerte, dem Hang parallele Oberfläche (neue Lage der Hangfläche). **Dieser Vorgang kann sich mehrmals wiederholen.** Die Kleinstufen entstehen immer wieder in den Nahtlinien und „bewegen sich“ wie ein Fließband nach oben, den Hang entlang. Im Endergebnis wird der ganze Hang parallel zu sich selbst in lateraler Richtung verschoben. Natürlich sollte am oberen Teil des Hanges dieser Vorgang langsamer werden (hier sind die Druckspannungen in den Gesteinen und die Einwirkung der Triebmedien schwächer), aber dabei sollte die Höhe der diesen Hangteil beschneidenden Stufe aufgrund der schneller laufenden Prozesse auf den tiefer liegenden Teilen des Hanges immer größer werden (Abb. 4.14) und im Endergebnis werden Spannungen geschaffen, die für das Abrutschen des ganzen oberen Teils des Hanges ausreichend sind. Durch dieses einmalige, relativ große Abrutschen holt der obere Teil des Hanges den schon weiter verlagerten unteren Teil nach. Dann kann sich dieser Vorgang in derselben Reihenfolge wiederholen. Diese detailliert vorgestellte Kinematik der Denudation präzisiert den Denudationsmechanismus und erklärt dabei die unvermeidbare Entstehung der kleinen Abstufung und Rauheit der Hänge (**Fraktale** im Georelief).

Schließlich haben die Gesetze der Denudation auch direkte quantitative empirische Bestätigungen. Als Beispiel dafür dienen die Angaben von stationären Messungen der jährlichen Denudationsschichten von Hängen verschiedener Neigungsstärken in den Kordilleren Nordamerikas, die durch W. EARDLY bekannt wurden (RASTWOROWA, 1973) (Tab. 4.2). Aus der Tabelle 4.2 sieht man, dass je steiler der Hang ist, desto größer ist die Abtragung des Gesteins. Damit wird das zweite Gesetz bestätigt. Wenn das erste Gesetz auch richtig ist (alle Disjunktivhänge werden um die gleichen horizontalen Entfernungen verlagert), so muss das Verhältnis

$$D / \sin \alpha = S$$

eine konstante Größe für alle diese Hänge sein (Tab. 4.3). Wie zu sehen ist, schwankt die Größe S um nicht mehr als ±0,01 mm. Das ist weniger als 1% von der Größe S (1,34 mm) und kann als eine sehr kleine Abweichung eingeschätzt werden. **Die Größe S ist also tatsächlich konstant. Diese Daten bestätigen das erste Gesetz und auch das dritte Gesetz,** welches eine Folge des ersten Gesetzes ist, sicher genug. Verletzungen dieser Gesetze führen gewöhnlich zur Erscheinung lokaler steiler Disjunktivhänge im DR oder Sedimentationshänge.

Hangneigungsstärke, $\alpha$	Dedunation (D), mm/Jahr	Hangneigungsstärke, $\alpha$	Dedunation (D), mm/Jahr
5°	0,116	20°	0,462
10°	0,234	25°	0,571
15°	0,348	30°	0,673

Tabelle 4.2. Durchschnittlicher jährlicher Abtrag des Gesteinmaterials (Denudationsschicht, D) von Hängen verschiedener Neigungsstärke in Kordilleren Nordamerikas (nach EARDLY, 1967)

Hangneigungsstärke, $\alpha$	Sin $\alpha$	Größe der Verlagerung (S), mm (S= D/sin $\alpha$ )	Hangneigungsstärke, $\alpha$	Sin $\alpha$	Größe der Verlagerung (S), mm (S= D/sin $\alpha$ )
5°	0,087	<b>1,33</b>	20°	0,342	<b>1,35</b>
10°	0,174	<b>1,34</b>	25°	0,423	<b>1,34</b>
15°	0,259	<b>1,34</b>	30°	0,5	<b>1,34</b>

Tabelle 4.3. Berechnung der horizontalen Verlagerung (S) verschiedener Hängen mittels Denudationsprozesse in den Kordilleren Nordamerikas

#### 4.2.5. Einwirkung der Umwelt und die Gesetze der Entwicklung des DR

Man muss etwas ausführlicher die Einwirkung der Umwelt auf das Georelief betrachten und präzisieren, wie sie die Erfüllung der Gesetze der Denudation beeinflusst. Gerade die Umweltmedien verwittern Gesteine, transportieren Lockermaterial und ändern dabei die Lage der Teile der Erdoberfläche. Betrachten wir diese Einwirkung am Beispiel des Einzugsgebietes Aktru (Altai) (diese Analyse habe ich zusammen mit Dr. A. D. OBYSKALOW durchgeführt).

Es wurde bereits erwähnt, dass die Schwerkraft und die Sonnenenergie die Entwicklung des Georeliefs bedingen. Man muss aber betonen, dass nicht alle energetischen Quellen die gleiche Einwirkung für die Entwicklung des Georeliefs leisten. Man darf solche Energiequellen absondern und vernachlässigen, die keine wesentlichen Änderungen in den Entwicklungsgang eines Denudationssystems in der Zeitspanne unserer Beobachtungen (einige Jahrzehnte oder Jahrhunderte) ausüben können. **Der führende Faktor der Entwicklung wird vor allem nur derjenige sein, der sich auch in dieser Zeit mehrmals ändern kann.** Z. B. das Potential der Schwerkraft und die Widerstandsfähigkeit der Gesteine können sich im Laufe von hunderten von Jahren kaum wesentlich ändern. Sie sind ein konstanter „Hintergrund“ für die Wirkung der Denudationsprozesse. Aber der Zufluss der Sonnenenergie und die von dieser Energie erregte Dynamik der Treibmedien ändern sich sehr oft im geomorphologischen System. Sie ändern sich nicht nur im Laufe des Jahres, sondern im Laufe des Tages. Dieser **klimatisch bedingte Faktor ist offensichtlich der Hauptfaktor der Georeliefentwicklung für die bestimmte (relativ kurze) Zeitspanne „t“.**

Klimatische Unbeständigkeit hat verschiedene Rhythmen: mehrjährige, jährliche und tägliche Rhythmen sowie zufällige Schwankungen. Die Frequenz und Amplitude von Änderungen physikalischer Parameter der Umwelt bestimmt die Intensität der Verwitterungsprozesse und die Bewegung des Lockermaterials auf den Hängen. Diese Vorgänge darf man sich als harmonischen Schwankungsprozess vorstellen. Die volle Energie (**E**) der täglichen oder jahreszeitlichen Zyklen (wärmer-kälter) ist der effektiven Wärmekapazität (**CE**) des Gesteins sowie dem Quadrat der Amplitude von Temperaturschwankungen in Gesteinen (**a<sup>2</sup>**) und dem Quadrat der Frequenz von Temperaturschwankungen (**V<sup>2</sup>**) direkt proportional (SCHWEZOW, 1971). Diese Energie wird mit der Formel beschrieben:

$$E = 2 \pi \cdot C_E \cdot a^2 \cdot V^2$$

Wenn man annimmt, dass die jährliche Amplitude der Temperaturschwankungen in der oberflächlichen Gesteinschicht sogar 100° C erreicht [das ist größer als die tatsächlich registrierte jährliche Amplitude der Temperatur im Aktru-Tal (70-75°C)], dann beträgt die volle Energie der Temperaturamplitude eines Jahreszyklus nur 0,5% von der gesamten Energie aller Tageszyklen des Jahres. In einem Jahr gibt es nur einen Jahreszyklus, aber 365 **Tageszyklen**, deswegen ist ihr gesamter Einwirkungseffekt auf die Gesteine mindestens hundertfach größer als die Einwirkung eines Jahreszyklus. **Dies bestätigt sicher die führende Rolle der Tagestemperaturen für die Verwitterung und Abtragung der Gesteine und für die „kurzfristige“ Entwicklung des Georeliefsystems.** Die Temperaturamplituden der Tageszyklen erreichen mehrmals im Jahr 20-40°C (LUPINA, 1974) und haben viele Übergänge (etwa 50-100 Mal im Jahr) über den Gefrierpunkt. Deshalb stimmt die Meinung von W. PENCK (1961) nicht ganz, dass „die kleinste Zeiteinheit für die Einschätzung des Verlaufs geologischer Prozesse, die wir beachten sollten, ein Jahr ist“ (S. 134).

Meteorologische Daten und Analyse klimatischer Bedingungen im Einzugsgebiet Aktru zeigen, dass sich die Schwankungen der Wetterparameter im Laufe des Tages ganz deutlich in Abhängigkeit von Höhe, Lage, Neigung und Exposition der Hänge äußern, dabei nicht nur in der Luftschicht an der Erdoberfläche, sondern auch in den Gesteinen. Die durchschnittliche Tagesamplitude der Bodentemperatur an der Oberfläche beträgt im Sommer am steilen Gipfel (absolute Höhe von 3050 m) etwa 12°C, aber am flachen Talweg (absolute Höhe von 2150 m) erreicht sie schon 20°C. Die Amplituden der Lufttemperatur sind durchschnittlich 6,8°C am Gipfel und 11,8°C am Talweg, d.h. sie sind auf niedriger Höhe und flacheren Hängen deutlich größer als auf steilen Hängen am Gipfel.

Als Kennwert der Einwirkungsintensität der Wärmeenergie auf Gesteine kann auch der gemessene Temperaturgradient dienen. Auf Hängen östlicher Exposition sind seine Werte folgendermaßen verteilt (OBYSKALOW 1990): auf einem Hang mit der Neigungsstärke von 18° und der absoluten Höhenlage zwischen 2150 und 2280 m ist der Temperaturgradient etwa 2,17; auf dem Hang von 30° und Höhenlage zwischen 2280 und 2600 m ist er etwa 0,63; auf dem Hang von 35° und der Höhenlage zwischen 2600 und 3000 m - 0,40. D.h., dass die Temperaturunterschiede (als Einwirkungsfaktor) auf dem niedrigsten und flachsten Hang östlicher Exposition immer größer sind als auf den höher liegenden und steileren Hängen derselben Exposition.

Die jährliche Menge von Niederschlägen (auch ein mächtiger Treibfaktor der Denudation) ist auf diesen Hängen anders verteilt: Die höher liegenden Hänge erhalten hier bis zu 2 Mal mehr Niederschläge als die am niedrigsten liegenden Hänge (LUPINA, 1974). Damit kann der „Mangel“ der Temperatureinwirkung auf höher liegenden Hängen im Vergleich zu niedriger liegenden Hängen kompensiert werden. Bei sonst gleichen Bedingungen erhält eine Flächeneinheit der steileren Hänge immer weniger Niederschläge als die gleiche Flächeneinheit der flacheren Hänge. Aber an steileren Hängen sind die gravitativen Spannungen in den Gesteinen immer größer als an flacheren Hängen. Die größere Einwirkung der Schwerkraft an steileren Hängen kann den Mangel der Einwirkung von Temperatur und Niederschlägen für die Denudationsprozesse auch kompensieren.

Flachere Hänge werden also immer von schwächeren Schwerkraftspannungen belastet, aber sie sind stärker befeuchtet und stärkeren Temperaturschwankungen unterworfen. Dabei werden die relativ höher liegenden Hänge von schwächerer Temperatureinwirkung belastet, aber immer stärker befeuchtet. Daraus kann man den Schluss

ziehen, dass **die Flächeneinheiten verschiedener benachbarter Disjunktivhänge derselben Exposition fast die gleiche Menge Energie bekommen sollen und für die Gesteinverwitterung und -abtragung verbrauchen. Damit sollte die Wirkung von Denudationsprozessen auf diesen Hängen ausgeglichen sein** (einander gleich sein), oder sie muss nach einem Ausgleich streben. Deswegen kann die Entwicklung (Verlagerung) dieser Hänge im Raum unter Erhaltung der früher „gegebenen“ geometrischen Parameter (parallel zu sich selbst) verlaufen. Dieser Kinematik widerspricht die Einwirkung der äußeren physikalischen Medien nicht, was das Beispiel von geophysikalischen Daten aus dem Einzugsgebiet Aktru bestätigt. Man kann auch die Schlussfolgerung ziehen, dass **die Hänge selbst für ihre geometrischen Parameter die Einwirkung geophysikalischer Medien so brechen und anpassen, dass sie die Möglichkeit haben, sich nach den festgestellten Gesetzen der Denudation zu entwickeln**. Man muss auch betonen, dass diese Schlussfolgerung trotz ihrer theoretischen Richtigkeit spezielle Messungen und Experimente erfordert, um genauer die tatsächliche Verteilung der energetischen Einwirkungen auf verschiedenen benachbarten Hängen in der Realität festzustellen und in der Praxis zu benutzen.

Die Entwicklung des DR strebt also danach, den festgestellten Gesetzen der Denudation zu folgen und benutzt dafür die bereits charakterisierten Verfahren. Es ist aber auch die Verletzung oder Verkomplizierung der Wirkung dieser Gesetze möglich. Sie sind mit Änderungen und Ungleichartigkeiten des geologischen Substrates oder der Treibmedien verbunden, und führen zur Entstehung lokaler Diskordanzen oder Sedimentationshänge und im Endergebnis zu Verzerrungen der idealen Ähnlichkeit des DR zu sich selbst im Laufe seiner Entwicklung. Diese Verzerrungen sind für die Erhaltung des Status des DR und seiner Topologie (**der steilere Hang bleibt immer steiler als die benachbarten Hänge**) nötig, wenn z.B. ein Wechsel der Typen und der Intensität von Denudationsprozessen geschieht (Abb. 4.10).

Die Schlussfolgerung über mögliche Verzerrungen des DR bestätigen empirische Daten, z.B. die Messungen der transportierten Mengen des Lockermaterials von Flüssen verschiedener Größe und verschiedener Klimazonen (Tab. 4.4). Diese Daten zeigen, dass sich die durchschnittlichen Mengen der Abtragung in untersuchten Einzugsgebieten kleiner und großer Flüsse einer klimatischen Zone voneinander nicht um mehr als um den Faktor von 2 bis 3,5 unterscheiden. Aber die Abtragungsmengen in verschiedenen Klimazonen unterscheiden sich voneinander etwa um 7-70 Mal, egal ob der Fluss klein oder groß ist.

Diese Gesetzmäßigkeit kann nur von den schon lange bekannten klimatischen Unterschieden dieser Zonen verursacht werden. **Obwohl der geologische Aufbau und das Georelief der Einzugsgebiete innerhalb einer Zone immer unterschiedlich sind** (z.B. zwischen Altai, Kaukasus, Pamir), **spielt dieser Unterschied für die kurze Zeit des Verlaufes von Denudationsprozessen keine wesentliche Rolle**. Ihre Intensität innerhalb einer Zone ist nicht sehr unterschiedlich sowohl für die kleinen als auch für die großen Flüsse. Für eine kurze Zeitspanne der Georeliefentwicklung ist der klimatische Faktor der wichtigste. Eine ähnliche Gesetzmäßigkeit der Denudationsintensität unter verschiedenen Klimabedingungen zeigen auch die Daten von J. CORBEL (1964) (Tab. 4.5).

Wirkungswinkel der Sonnenenergie und der Schwerkraft (a°)	Gebirgsflüsse (im Altai, Kaukasus, Pamir)						
	Einzugsgebiete größer 10 000 km <sup>2</sup>		Verhältnisse zwischen Denudationsmengen von Einzugsgebieten				
Klimazonen	Anzahl der Flüsse	Abtrag t/km <sup>2</sup> Jahr	Anzahl der Flüsse	Abtrag t/km <sup>2</sup> Jahr	Innerhalb einer Zone	Zwischen Zonen: a-glazial/periglazial b-glazial/gemäßig c-periglazial/gemäßig	
					Kleine/große Flüsse	innerhalb kleiner Flüsse	innerhalb großer Flüsse
glaziale Zone	60	3400	16	1400	bis 2,4 mal	10 (a) 65 (b)	14,5 (a) 70,0 (b)
perglaziale zone	182	340	38	98	bis 3,5 mal	7 (c)	5 (c)
gemäßigte Waldzone	199	51	266	20	bis 2,5 mal		

Tab. 4.4. Mengen des abtransportierten Materials (Tonnen /km<sup>2</sup> Jahr) innerhalb der glazialen, periglazialen Zonen und der gemäßigten Waldzone der Gebirge (nach A.P. DEDKOW, 1992)

Es ist klar, dass **an den Grenzen der Klimazonen, wo sich die Einwirkungskraft von Treibmedien ändert, ein Sedimentationsrelief (SR) entstehen kann** (IWANOWSKIJ, 1989) **oder eine Diskordanz im DR**. Das SR entsteht dabei nur dann, wenn ein dynamisch stärkeres Medium (z.B. ein Gletscher) im Georelief hypsometrisch höher liegt als ein dynamisch schwächeres Medium (ein Fluss von diesem Gletscher). Die Diskordanz bildet sich nur dann, wenn ein dynamisch stärkeres Medium hypsometrisch niedriger liegt. Aus den Daten der Tabelle 4.5 ist ersichtlich, dass im Gebirgsreliefs zur Ebene auch eine Sedimentation entstehen muss und etwa 50-90% vom Volumen des von den Gebirgen denudierten Lockermaterials auf den Ebenen akkumuliert werden.

Klimatyp nach Temperaturbedingungen	Klima nach Feuchtigkeitsbedingungen, mm/Jahr					
	Arid, 200 mm/Jahr		Normal, 200-1500 mm/a		Humid, > 1500 mm/Jahr	
	Denudationsintensität (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> Jahr)		Denudationsintensität (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> Jahr)		Denudationsintensität (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> Jahr)	
	Ebenen	Gebirge	Ebenen	Gebirge	Ebenen	Gebirge
Heißes Klima	0,5	1,0	10,0	25,0	15,0	30,0
Tropisches Klima	0,5	1,0	15,0	30,0	20,0	40,0
Subtropisches Klima	1,0	4,0	20,0	100,0	30,0	100,0
Gemäßigtes Klima	10,0	50,0	30,0	100,0	40,0	150,0
Kaltes Klima	15,0	50,0	30,0	100,0	—	180,0
Polarklima	15,0	50,0	30,0	100,0	—	150,0
Glaziales Polarklima	—	50,0	1000,0	1000,0	1000,0	2000,0
durchschnittliche Denudationsintensität (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> Jahr)	Ebene- 22,0 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> Jahr oder 0,022 mm/ Jahr			Gebirge- 206,0 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> Jahr oder 0,206 mm/ Jahr		

Tab.4.5. Denudationsintensität (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> Jahr) für die verschiedenen klimatischen Bedingungen der Ebenen und Gebirge der Erde (nach J. CORBEL, 1964)

Die obigen empirischen Daten, deren Reihe man um vieles ergänzen kann, zeigen also, dass diese Daten die Wirkung der theoretisch festgestellten Gesetze der Entwicklung des DR unter realen Bedingungen sicher bestätigen, und zwar als eine deutlich erkennbare Annäherung zum theoretisch beschriebenen Verhalten der Disjunktivhänge. Genauso äußern sich die physikalischen Gesetze in der Natur (GOLIN, 1989).

#### 4.2.6. Gesetze und Mechanismus der Entstehung der Disjunktivhänge

##### 4.2.6.1. Entstehung der Disjunktivhänge (Abbruchwand und ihre Transformation)

Die angenommene Definition des DR weist darauf hin, dass das DR durch die Bewegungen, die die geologischen Körper zerreißen, entsteht und sich durch die Stoffabtragung (Denudation) von allen seinen Punkten entwickelt. Es muss in die Erdkruste „eingeschnitten“ werden, seine Hänge müssen zur Gesteinschichtung (Textur) diskordant (nicht parallel) sein.

Wie kann eine solche disjunktive Oberfläche in Gesteinen entstehen? - **Nur durch die Zerreißung der Gesteine.** Die Oberfläche dieser Zerreißung im Inneren der Erdkruste nennt man „Bruchdeformation“ oder „tektonische Störung“ - Objekte, die von Geologen untersucht werden. Der an der Erdoberfläche sichtbare Teil der Zerreißung ist der Anfang, sozusagen der „Embryo“ eines Disjunktivhanges. Nennen wir ihn „**Abbruchwand**“. Die Abbruchwände sind meistens sehr steile Hänge (steiler als 40-45°).

Diese Hänge nennt man gewöhnlich tektonische Stufen (Abstufungen), aber sie können nicht nur durch tektonische Bewegungen (Erdbeben), sondern auch durch Bergstürze, Rutschungen, Flusserosion usw. entstehen, d.h. verschiedene Genesis haben. Sehr oft ist es aber nicht möglich, ihre Genesis konkret festzustellen, sondern nur als „disjunktive“ Genesis allgemein (**als Diskordanz zu den Gesteinen**). Deswegen wäre es richtiger, diese Hänge neutral, entsprechend ihrer Form als Abbruchwände zu bezeichnen; und wenn es möglich ist, kann man diese Benennung durch eine exaktere genetische Bezeichnung ergänzen (z.B. tektonische Abbruchwand, erosive Abbruchwand usw.). Nach der Entstehung werden die Abbruchwände sofort der Denudation unterworfen, weil sie sehr steil sind und von ihnen mittels Schwerkraft und Verwitterungsprozesse die Abtragung und Bewegung der Stoffteilchen sofort möglich ist. Durch die Treibmedien (Wasser, Gletscher, Wind) ist die Abtragung von subhorizontalen Hängen auch möglich, aber intensiv verläuft sie nur lokal, in schmalen Bereichen, die in den meisten geomorphologischen Karten nicht bezeichnet werden können. Deswegen ist es für die Theorie der Geomorphologie repräsentativer, das Modell der Hangentstehung für relativ steile Hänge zu erarbeiten, auf denen das Lockermaterial (bewegliche Schicht) wesentlich durch die Schwerkraft (eigenes Gewicht) getrieben wird. Diese Hänge nehmen über 90% der Fläche des DR ein. Man muss auch betonen, dass die Denudation nur eine Art und Weise der Georeliefentwicklung ist. Sie ist keine Art der Hangentstehung. **Es gibt nur zwei Arten der Hangentstehung: durch die Sedimentation**, die in den nächsten Kapiteln analysiert wird, **und durch die Zerreißung (Bruchdeformation) der Gesteine**, deren Abbruchwand mittels der Denudation zu einem bestimmten Disjunktivhang wird.

Aber wie wandelt sich eine Abbruchwand in einen bestimmten Disjunktivhang um? Wie ist der Weg des „Embryos“ zu seiner „Geburt“? Lassen wir uns das auf einem Modell (auf einem geometrischen Profil des Georeliefs) nachverfolgen. Nehmen wir an, dass die Bewegung (Hebung) eines Erdblockes die subhorizontale Erdoberfläche zerrissen und einen ihren Teil gehoben hat (Abb. 4.17, a); dabei entstand im Georelief ein vertikaler Abschnitt der



Erdoberfläche - eine **vertikale Abbruchwand** aus lithifizierten Gesteinen. Diese Abbruchwand wird sofort von der Denudation angegriffen und verlagert. An ihrem Fuß werden die von ihr abgetragenen Gesteinteilchen akkumuliert. Die Kinematik ihres Abreißens (Abtragung) und ihrer Akkumulation wird auf Abbildung 4.17,b. dargestellt.

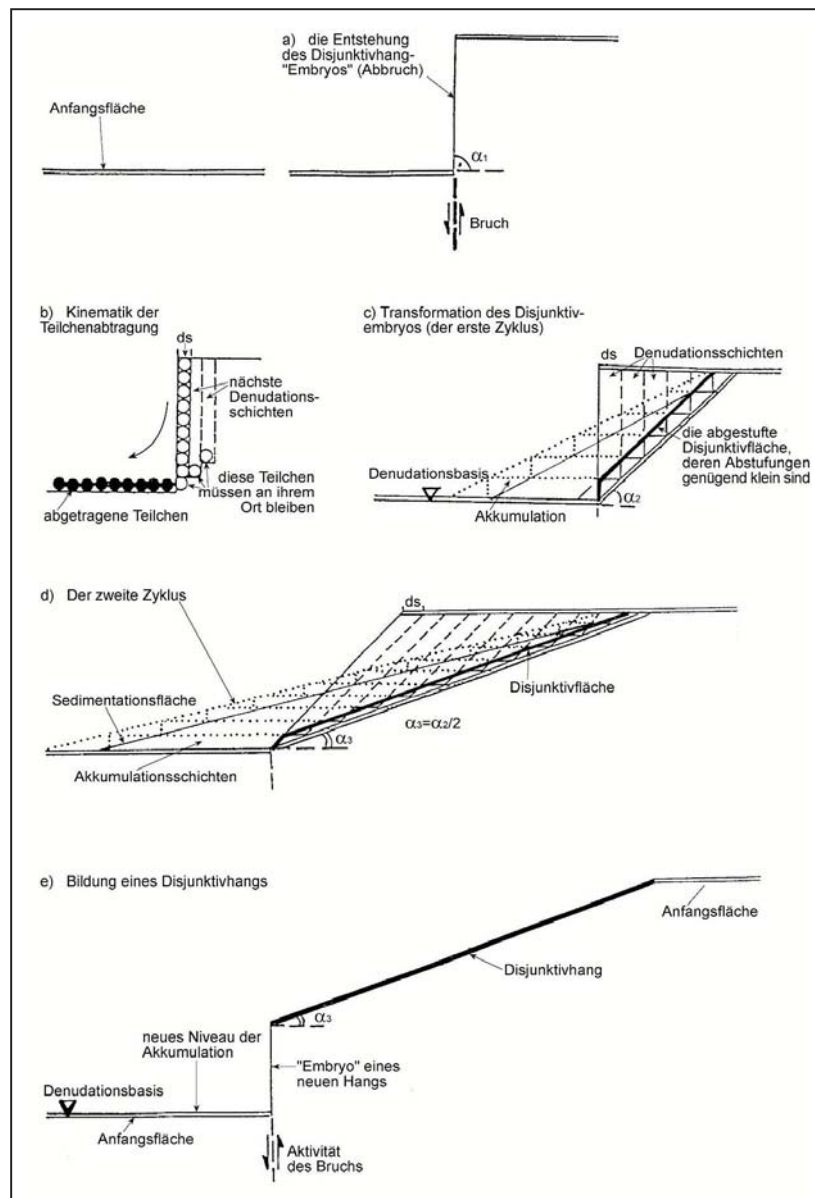


Abb. 4.17: Modell der Entstehung des disjunktiven Hangs (Erklärungen in Text)

Entsprechend den Gesetzen der Entwicklung des DR sollte die Denudation und Verlagerung dieser Abbruchwand mit genauer Erhaltung ihrer primären Neigungsstärke (parallel zu sich selbst) verlaufen. Aber wie kann dies geschehen, wenn die abgetragenen Teilchen hier nicht wegtransportiert (wegen der subhorizontalen Lage der zur Abbruchwand angrenzenden niedriger liegenden Hangebene), sondern, umgekehrt, diese Teilchen hier akkumuliert werden? **Bei der Beweisführung der Gesetze der Denudation wurde vorausgesetzt, dass die abtragenden Teilchen ganz aus dem System von zwei geneigten Hängen wegtransportiert werden (Abb. 4.7), aber bei diesem System, das aus einer Abbruchwand und einer niedrig liegenden subhorizontalen Ebene besteht (Abb. 4.17 a), geht das nicht. Man muss die Anhäufung dieser Teilchen mitbeachten, und ein anderes Modell der Hangbildung ausarbeiten.**

Betrachten wir diese Denudations- und Akkumulationsprozesse differenzierend. Ich schlage ein rein theoretisches Modell vor, das sich auf die Annahmen stützt, welche bereits im Kapitel 4.2.2 (1-5) formuliert wurden sowie auf die Annahme, dass es genügend Zeit für die Realisierung aller Prozesse gibt. Stellen wir uns vor, dass die Dicke (Stärke) der denudierten Schichten dem Ausmaß der abgetragenen Teilchen gleich ist, und die Größe der Teilchen gleich und klein genug ist. Jede Schicht der Teilchen wird am Fuß dieser Abbruchwand akkumuliert. Jedes neue

„Stück“ lateraler Verlagerung der Abbruchwand, das der horizontalen Komponente der Dicke (Mächtigkeit) einer Schicht von abgetragenen Teilchen gleich ist ( $dS$ ), verläuft mit der gleichzeitigen Verkleinerung der Schichtlänge (Abbruchwandhöhe) um ein, das unten liegende, Teilchen (Abb. 4.17, c). Dies geschieht deswegen, da die am Abbruchwandfuß akkumulierte Teilchenschicht dem am niedrigsten liegenden Teilchen der Abbruchwand keine Möglichkeit zur Bewegung gibt, weil es auf gleichem Höhenniveau wie die bereits akkumulierte Teilchenschicht liegt. Einfacher gesagt, **die nebenher als Folge der Denudation verlaufenden Akkumulationsprozesse lassen die Abbruchwand nicht in ihrer gesamten, primär entstandenen Höhe parallel zu sich selbst „rückverlagern“**. Sie wird parallel zu sich selbst in jedem seiner Punkte verlagert, **außer den unten liegenden Punkten**, die ihrem niedrigsten Teil (Teilchen) angehören.

Dieser Teil der Abbruchwand bleibt infolge der Akkumulation „stehen“ und wird von der nächsten akkumulierenden Teilchenschicht (Sedimentschicht) überdeckt. Der Bereich des stehen gebliebenen Teils der Abbruchwand liegt unmittelbar am Nahtpunkt (bzw. Nahtlinie) der aktuellen Oberfläche der Abbruchwand (etwas tiefer) (Abb. 4.17, c). Der Nahtpunkt, der hier die Bereiche der Denudation und Akkumulation (Hänge des DR und SR) voneinander trennt, wird mit der Abtragung jeder neuen Schicht von der Abbruchwand um die Größe der horizontalen Komponente des niedrigsten Teilchens ( $dS$ ) verlagert und gleichzeitig nach oben um die Höhe (vertikale Komponente) dieses Teilchens gehoben, anders gesagt, er wird im Raum stufenartig (diagonal) „verschoben“.

So wandelt sich (**transformiert sich**) die vertikale Abbruchwand in einen geneigten und sehr fein gestuften Disjunktivhang um. **Die Neigungsstärke des transformierten Disjunktivhanges verkleinert sich dabei im Vergleich mit der Neigungsstärke der primären Abbruchwand auf genau die Hälfte** (Abb. 4.17, c). Die dabei entstandenen Kleinstufen haben die Größe der abgetragenen Teilchen und sind klein genug, besonders im Vergleich mit der Höhe und Länge des Hanges, deswegen kann man diese Abstufung (Rauheit des Hanges) vernachlässigen, auch deswegen, weil die kleinen Unebenheiten (Rauheit) bei der Darstellung des Georeliefs auf topographischen Karten ohnehin nicht beachtet werden. So eine winzige stufenförmige Rauheit der Hänge darf man also in diesem Fall abstrahieren.

Nach der Vollendung des ersten Zyklus der Transformation der Abbruchwand kann der Nächste folgen, und die Kinematik der Abtragungsprozesse wiederholt sich in gleicher Reihenfolge wie beim ersten Zyklus, aber die Neigungsstärke des Hanges, der als ein Ausgangshang für den zweiten Zyklus dienen soll, ist jetzt anders, und zwar genau  $45^\circ$ . Am Ende des zweiten Zyklus transformiert sich dieser Hang in einen Disjunktivhang, dessen Neigungsstärke genau  $22,5^\circ$  betragen muss. Das kann man mit einem geometrischen Profilmodell leicht beweisen (Abb. 4.17). Das gilt auch, wenn man annimmt, dass die Größe der abgerissenen und abgetragenen Teilchen unterschiedlich ist. Dies ist auch mittels Profilmodelle leicht zu ersehen (Abb. 4.18).

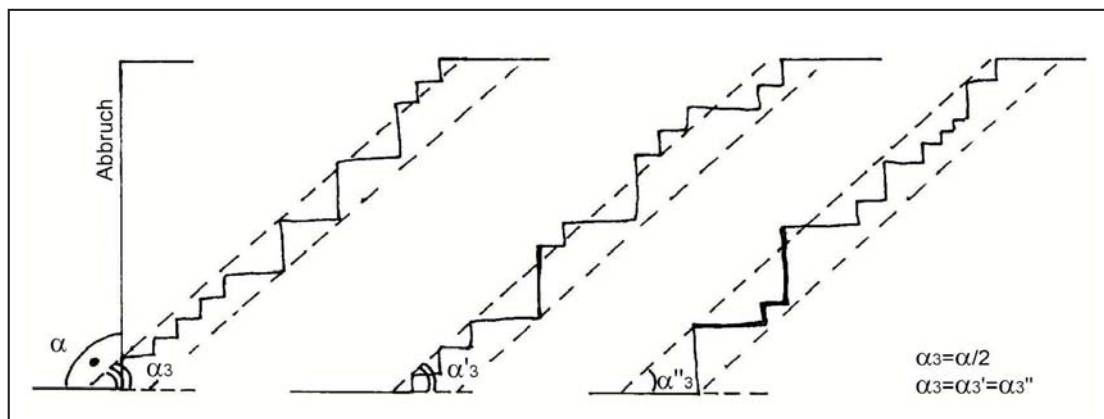


Abb. 4.18: Transformation der Abbruchwand bei ungleicher Größe der abgetragenen Gesteinsteilchen

Diese Transformationszyklen können theoretisch mehrmals passieren. Praktisch aber kann sich der Zyklus der Hangtransformation **nur bis zu 5 mal wiederholen, wobei sich die Neigungsstärke des Hanges immer halbiert** und bei  $1,4^\circ$  ihre Grenze erreicht, weil bei geringerer Neigungsstärke die Denudation unter alleiniger Wirkung der Schwerkraft kaum möglich ist. Das Verhältnis zwischen den Neigungsstärken jedes nachfolgenden transformierten Hanges ( $A_i$ ) und des vorhergehenden Hanges ( $A_{i-1}$ ) kann man mit folgender Formel beschreiben:

$$A_i = A_{i-1} / 2.$$

Diese Formel stellt das Gesetz der Kinematik der Umwandlung (Transformation) eines geschlossenen geomorpho-

logischen Systems bei gemeinsamer Wirkung der Denudation und Akkumulation dar. Man kann dieses Gesetz als „Gesetz der Transformation“ des Georeliefs bezeichnen. Theoretisch werden die folgenden Bereiche der Neigungsstärken von „primären“, „transformierten“ und „vollendeten“ Hängen des DR abgesondert:

1. > 45 bis 90° - die primären Abbruchwände;
2. > 22,5 bis 45° (sehr steil) - Hänge des ersten Transformationsstadiums (Zyklus);
3. >11,2 bis 22,5° (steil) - Hänge des zweiten Transformationsstadiums (Zyklus);
4. >5,6 bis 11,2° (stark geneigt) - Hänge des dritten Transformationsstadiums (Zyklus);
5. >2,8 bis 5,6° (mäßig geneigt) - Hänge des vierten Transformationsstadiums (Zyklus);
6. >1,4 bis 2,8° (flach geneigt) - Hänge des fünften Transformationsstadiums (Zyklus);
7. 0 bis 1,4° (eben) - Hänge des endgültigen Transformationsstadiums (Zyklus).

Das letzte Stadium ist für das DR unter alleiniger Wirkung der Schwerkraft kaum zu erreichen. Nur bei zusätzlicher ständiger Wirkung von glazialen, fluviatilen oder äolischen Treibmedien ist es möglich, dass die Disjunktivhänge zu horizontalen Ebenen transformiert werden können. **Das geringe Abweichen der realen Steilheit der Hänge von der Steilheit ihrer theoretisch angegebenen Bereiche ist zulässig, aber nehmen wir an, dass dieses Abweichen 5% nicht überschreiten soll** (ein Fehler, der in der statistischen Analyse empirisch festgestellter Daten zulässig ist).

Die Analyse dieses Modells führt, so könnte es scheinen, zum Widerspruch, der aus den Neignungsverhältnissen der disjunktiven und sedimentativen Oberflächen der sich transformierenden Abbruchwände resultiert. Die Neigungsstärke der sedimentativen Oberfläche ist primär immer kleiner als die Neigung des von diesen Sedimenten überdeckten transformierten Disjunktivhanges (Abb. 4.17, c, d). Entsprechend den Gesetzen der Denudation sollte, so könnte es scheinen, die Neigungsstärke des „Ausgangshanges“ für das nächste Transformationsstadium von der Neigungsstärke der sedimentativen Oberfläche bestimmt werden und gleich der Neigungsstärke des Sedimenthanges sein. Wenn es so wäre, hätte dies bedeutet, dass das Gesetz der Transformation falsch ist. Aber dieser Sedimenthang und seine Neigungsstärke kann nicht als „Ausgangshang“ für das nächste Transformationsstadium dienen, weil die Sedimentschicht nach ihrer Akkumulation, die sofort nach der Vollendung des vorigen Stadiums aufhört, auch sofort (**aber nicht früher**) der schnellen Denudation sogar bei einer kleinen Neigungsstärke unterworfen wird, weil diese Schicht locker und relativ sehr leicht abtragbar ist. D.h., dass dieser Sedimenthang seine Lage und Neigungsstärke ständig ändern wird, sehr instabil ist und im Endeffekt vergleichsweise schnell fast vollständig abgetragen wird. Deshalb kann er keine feste Grundlage für die Entwicklung des nächsten Transformationszyklus bieten.

Im Laufe der Denudation dieses Sedimenthanges wird also die disjunktive, von seinen Sedimenten überdeckte, klein gestufte, festere Oberfläche der früheren denudativen Transformation, ohne ihre Neigungsstärke zu ändern, von den Teilchen dieser Sedimente sehr schnell befreit, außer der niedrigsten (tiefsten) Schicht der Teilchen, und außer den Teilchen, die in den Nischen der Kleinstufen liegen. Im Endergebnis bekommt das auf dem Hang gebliebene Lockermaterial die Gestalt einer Hülle, deren Mächtigkeit der Stärke eines Teilchens gleich oder nicht größer als die Mächtigkeit der hier möglichen beweglichen Schicht ist. Nur diese Schicht überdeckt (oft nur stellenweise) diese disjunktive transformierte Oberfläche, erhält die Neigungsstärke genau von dieser disjunktiven Oberfläche und gleicht sogar ihre gestufte Rauheit aus. Gerade die entsprechende Neigungsstärke wird als Ausgangsneigung für das nächste Transformationsstadium dienen.

Die Möglichkeit der geologisch blitzschnellen Vernichtung der Sedimenthänge ist deswegen zulässig, weil die Geschwindigkeit der Denudation des Lockermaterials üblicherweise um 1000 - 100000 mal schneller ist als die Geschwindigkeit der Denudation der für diese Situationen typischen felsigen Gesteine. Das Lockermaterial wird so schnell abgetragen, dass dabei die disjunktive felsige Oberfläche ihre geometrische Form nicht wesentlich ändern kann. Damit darf man im Modell der Hangtransformation die Lage der Oberfläche der Sedimentschicht im Endeffekt nicht beachten. Deswegen können sich die Disjunktivhänge nur entsprechend dem Gesetz der Transformation ändern, weil **das Lockermaterial die Wirkung der Denudation überhaupt nicht wesentlich „verzerrt“**.

Der Unterschied des Modells der Entstehung (Abbruchwand und ihre denudative Transformation) eines disjunktiven Hanges von dem Modell der Denudationsentwicklung dieses Hanges besteht in der Kinematik der Verlagerung der Nahtpunkte. Im ersten Modell wird der Nahtpunkt (bzw. Nahtlinie) **horizontal und gleichzeitig nach oben** (diagonal) um die Größe der horizontalen und vertikalen Komponente der abgetragenen Teilchenschicht verlagert (Abb. 4.17). Im zweiten Modell wird der Nahtpunkt **nur horizontal** verlagert (Abb. 4.7). Das erste Modell ist im Prinzip schon Anfang des 20. Jahrhunderts von W. PENCK ausgearbeitet worden (PENCK, 1924). Vieles in diesem Modell ist richtig und seine Idee ist genial, aber es gibt in diesem Modell Fehler, welche, da bin ich mir sicher, Walter PENCK selbst korrigiert hätte, wenn das Schicksal ihm ein bisschen mehr Zeit geschenkt hätte. Diese Fehler muss man feststellen und korrigieren.

#### 4.2.6.2. Kurze Analyse der Fehler des Modells von W. PENCK

W. PENCK hat, meiner Meinung nach, nur zwei wesentliche Fehler gemacht.

**Erster Fehler:** W. PENCK hat die Wichtigkeit der Verhältnisse der Neigungsstärken von Anfangshängen (Abbruchwänden) und transformierten Hängen nicht erkannt und diese Verhältnisse nicht analysiert. **In seinem Modell haben die Neigungsstärken keine bestimmten quantitativen Verhältnisse. Er hat festgestellt, dass die Neigungsstärke  $A_{i-1}$  immer kleiner sein sollte als die Neigungsstärke  $A_i$ , aber um wie viel kleiner - das blieb unbekannt. Wenn diese Verhältnisse nicht festzustellen sind, dann hat dieses Modell keinen praktisch effektiven Sinn.** Obwohl die Neigungsstärke und andere geometrische Parameter jedes sich in gegenwärtigem Zustand befindenden Disjunktivhanges bekannt oder exakt zu messen sind, kann man laut Penckschen Modell z. B. nicht feststellen, bei welchem Stadium der Transformation dieser Hang endgültig entstanden (gebildet) ist oder aus welcher Abbruchwand er transformiert wurde. D.h., man kann fast nichts über sein Entstehungsverfahren und über viele andere wichtige Eigenschaften in Erkenntnis bringen und kaum etwas darstellen. Entsprechend dem Penckschen Modell ist auch eine große Menge (mehr als 15, Abb. 4.19) der Transformationszyklen der Hänge möglich. Diese Menge ist aber nicht zu bestimmen, und die Unbestimmtheit ist immer ein großer Mangel jedes Modells. Im Unterschied zu dem Penckschen Modell sind in dem neu entwickelten Modell die Verhältnisse zwischen den Hangneigungsstärken verschiedener Transformationszyklen und ihre mögliche Anzahl usw. exakt bestimmt worden.

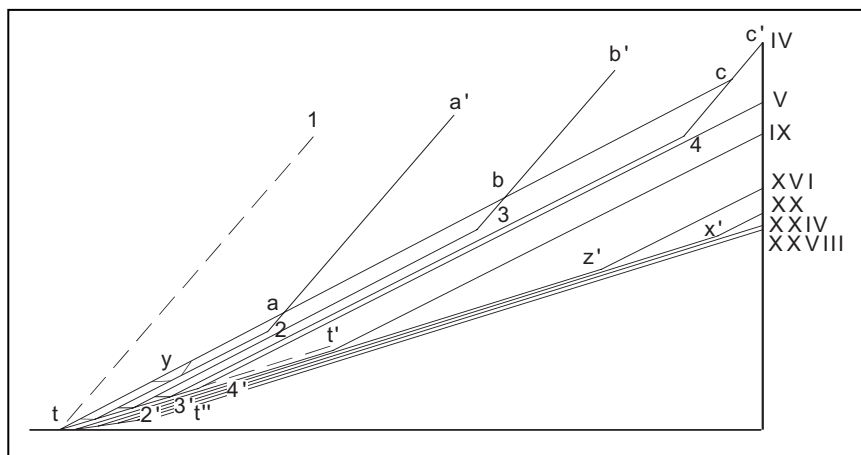


Abb. 4.19: Profilmodell der Hangentwicklung (nach W. PENCK, 1960): Kinematik der Umgestaltung des steilen Hanges in flache Hänge bei unveränderter Lage der Denudationsbasis (1 – primäre Abbruchwand; t, t', t'' - Zeitabfolge; Abfolgen der Lage der Hänge: a, b, c, d...y, z; a', b', c', d'...; 1, 2, 3, 4...; IV, V, VI, IX, XXIV...)

**Zweiter Fehler:** die nicht richtige Analyse der Verhältnisse der Denudations- und Akkumulationsprozesse sowie der Verhältnisse und der Entwicklung entstandener sedimentativer und disjunktiver Hänge. Leider hat W. PENCK **keinen besonderen Status jedem dieser nach ihrer Entstehung und Entwicklung prinzipiell verschiedenen Hänge angeeignet.** Im Penckschen Modell wurden die Hänge nur nach ihrer Neigungsstärke und nach der Abfolge ihrer Entstehung unterschieden. Entsprechend dem Penckschen Modell entstehen im Laufe der denudativen Transformation mehrere flachere Hänge aus einer Abbruchwand. Sie entstehen nicht gleichzeitig, aber sie existieren und entwickeln sich einige Zeit nebeneinander, wobei jeder niedriger liegende Hang im Laufe seiner Entwicklung den höher liegenden Hang ersetzt (Abb. 4.19). So eine Entwicklung ist in einem „geschlossenen“ System formal-logisch widersprüchlich und physikalisch nicht möglich.

Zuerst muss man den formal-logischen Widerspruch erklären. Damit alle Hänge, einschließlich den untersten und flachsten Hang, wie es im Penckschen Modell gezeigt ist, verlagert werden können, ist es nötig, dass auf allen diesen Hängen die Denudation erfolgt und das Lockermaterial aus diesem System wegtransportiert wird. Aber es wurde vorausgesetzt, dass dieses System geschlossen ist (Denudationsbasis bleibt unverändert) und das Lockermaterial daraus nicht wegtransportiert werden kann; es muss vielmehr am Fuß der Abbruchwand akkumuliert werden und hier muss ein Sedimenthang entstehen. Darüber schreibt W. PENCK selbst und betont, dass am Fuß der Abbruchwand eine Schutthalde entsteht, die eine kleinere Neigungsstärke als die Abbruchwand hat und bei der Verlagerung der Abbruchwand nach oben wächst. Aber W. PENCK (1924) meint, dass diese Schutthalde auch der Denudation unterworfen und gemeinsam mit der Abbruchwand verlagert wird. Das ist meiner Meinung nach nicht richtig, weil dies physikalisch nicht möglich ist. **Diese Schutthalde (Sedimenthang) kann nicht der Denudation**

**unterworfen werden, so lange über dieser Schutthalde die benachbarte Abbruchwand existiert und die Produkte ihrer Denudation auf diese Schutthalde anliefert**, weil dieser Abbruch stets mehr als doppelt so steil wie diese Schutthalde ist, viel schneller als die Schutthalde denudiert wird (so behauptet W. PENCK auch) und entsprechend dem zweiten Gesetz der Denudation viel mehr Lockermaterial auf diese Schutthalde anliefert als von dieser Schutthalde abgetragen werden kann (sonst kann hier keine Schutthalde entstehen).

Schließlich gibt es auch dafür sichere empirische Beweise: Am Fuß fast jeder Abbruchwand akkumuliert sich das Lockermaterial und es wächst ein Sedimenthang (Schutthalde). Anders gesagt, bei der denudativen Transformation einer Abbruchwand in einem geschlossenen System existieren zu jedem Zeitpunkt **nur zwei prinzipiell verschiedene Hänge**: ein Disjunktivhang, der der verlagerte Teil der Abbruchwand ist, und ein wachsender Sedimenthang, der aus den von der Abbruchwand abgetragenen Gesteinteilchen gebildet wird. Aus der primären Abbruchwand **werden auf keinen Fall zwei oder mehrere Disjunktivhänge gebildet, sondern immer nur einer**. Der Sedimenthang ist ein genetischer Gegensatz zu dem Disjunktivhang und ererbt keine genetischen und geometrischen Merkmale vom Disjunktivhang. Es ist bekannt, dass der Sedimenthang immer eine flachere Neigungsstärke hat als der zu ihm angrenzende Disjunktivhang, und auch, dass diese Hänge miteinander funktional verbunden sind. Die Akkumulation auf dem Sedimenthang beschleunigt sich nur dann, wenn sich die Denudation von dem Disjunktivhang auch beschleunigt. Im Prinzip ist der Sedimenthang in diesem geschlossenen System eine vorübergehende Erscheinung und **er verschwindet sehr schnell, wenn das System „offen“ wird** (wenn auf allen Hängen die Denudation laufen würde, z.B. wegen tektonischer Senkung der Denudationsbasis für diesen Abschnitt des Georeliefs).

Wenn man das Pencksche Modell ohne wesentliche Korrektur angenehmen würde, so hätten die Begriffe „geomorphologischer Raum“ und „geomorphologische Zeit“ Sinn und Nutzen verloren. Vieles wird unklar, verwirrend und unbestimmt. Tatsächlich, entsprechend dem Penckschen Modell, entstehen aus einer räumlich-zeitlichen Georeliefeinheit (Abbruchwand) **mehrere verschiedene einzelne Einheiten, deren Alter und morphostratigraphische Angehörigkeit unmöglich zu bestimmen sind**. Formal sollte das Alter für alle diese Hänge gleich sein, weil sie aus einer Abbruchwand (Embryo) entstanden sind. Aber diese Hänge liegen über- und untereinander, und von räumlich-zeitlichen Gesetzen der Geomorphologie ausgehend, müssten sie ein völlig unterschiedliches Alter haben (nach dem Prinzip „niedriger - jünger“, siehe Kapitel 5). So entsteht ein formal-logischer Widerspruch, der keine Lösung hat. Zum Glück ist eine solche Situation (ein Hang geht in zwei oder mehrere unterschiedlich geneigte Disjunktivhänge über) unmöglich, was bereits bewiesen wurde. Im Laufe ihrer Transformation und Entwicklung kann sich dieselbe Abbruchwand in zwei und mehrere Disjunktivhänge nur **„seitlich“** teilen. Diese Hänge müssen zueinander lateral benachbart sein, ähnliche Neigungsstärken haben und sich auf dem gleichen Höhenniveau befinden. Sie sollten miteinander nur konkordante seitliche „vertikale“ Grenzen haben. Aber die Abbruchwand selbst kann sich nicht während ihrer Transformation in höher und niedriger liegende disjunktive Hänge unterschiedlicher Neigungsstärken teilen. Grob gesagt, es ist genauso unmöglich, wie wenn z. B. eine Kuh gleichzeitig Fohlen und Ferkel geboren hätte.

Die Modelle von W. PENCK haben also wesentliche Fehler, aber sie enthalten notwendige Voraussetzungen zur Berichtigung dieser Fehler und bringen viele interessante Ideen für die Geomorphologie. Deswegen haben diese Modelle trotzdem eine fundamentale wissenschaftliche Bedeutung.

#### **4.2.7. Übergang zur denudativen Entwicklung der Disjunktivhänge**

Es ist klar, dass der Prozess der Transformation der Disjunktivhänge nicht unendlich läuft und enden kann. Das geschieht bei bestimmten Bedingungen. Die Analyse meines Modells zeigt, dass der Prozess der Transformation des Abbruchs nur dann aufhört, wenn alle abgetragenen Gesteinteilchen vom ganzen transformierenden Hang wegtransportiert werden. **Das wird in dem Fall möglich, wenn dieselbe tektonische Störung in der Erdkruste, die diese Abbruchwand geschaffen hat, wieder aktiviert wird und im Georeliefe eine neue Abbruchwand entsteht** (Abb. 4.17, e) als vertikale Fortsetzung der alten Abbruchwand. Diese neue Abbruchwand gibt dem über ihr liegenden, aus der alten Abbruchwand transformierten Disjunktivhang die Möglichkeit, sich ganz schnell von überdeckenden Sedimenten zu befreien und sich entsprechend den Gesetzen der Denudation zu entwickeln, parallel zu sich selbst zu verlagern. **Der Moment der Entstehung der neuen Abbruchwand ist auch der Moment der Vollendung der Transformation des Disjunktivhanges aus der früheren Abbruchwand. Dieser Moment, und nicht der Moment der Entstehung der früheren Abbruchwand, bestimmt das Alter der früheren Abbruchwand, weil im Laufe ihrer Transformation in einen Disjunktivhang die Unbestimmtheit erhalten bleibt, ob hier ein Disjunktivhang gebildet wird oder nicht, und welche Gestalt** (Neigung, Rauheit, Exposition, bewegliche Schicht usw.) **er haben wird**.

Das Höhenniveau (bzw. Höhenlinie, Höhenpunkt) im Georeliefe, auf dem im „geschlossenen“ System immer die Akkumulation läuft, ist das niedrigste Niveau der Transformation des zu ihm angrenzenden Disjunktivhanges oder

seine „**Denudationsbasis**“. Unterhalb der Denudationsbasis erfolgt bei gewöhnlichen Bedingungen keine Denudation. Das ganze Georelief ist ein „geschlossenes“ geomorphologisches System, folglich gibt es in diesem System immer eine Denudationsbasis. Die globale Denudationsbasis des Georeliefs ist der Boden von ozeanischen Tiefseebecken oder der Meeresspiegel, die örtlichen Denudationsbasen können ein „Boden“ oder Wasserspiegel von Seen, eine subhorizontale Terrasse am Fuß eines steilen Hanges, eine Stufe stark widerstandsfähiger Gesteine usw. sein. Im Prinzip kann jeder Punkt des Georeliefs die Denudationsbasis für alle auf seinem Abtragungsprofil höher liegenden Punkte sein. Solange dieser Punkt nicht verlagert wird, kann neben ihm die Akkumulation laufen und ein Sedimenthang erhalten bleiben. Das hat schon lange W. PENCK (1924) festgestellt.

Die Abtragung der oben liegenden Teilchen ist üblicherweise nach der Abtragung der unten liegenden Teilchen möglich (regressive Denudation). Anders gesagt, es ist nötig, dass die Gesteinteilchen des Hanges zuerst unten (vor allem im Nahtpunkt) zerstückelt und abgetragen werden, dann stürzt der Oberteil des Hanges selbst ein. Warum das gerade so und gerade im Nahtpunkt geschieht, wurde bereits im Kapitel 4.2.4. begründet.

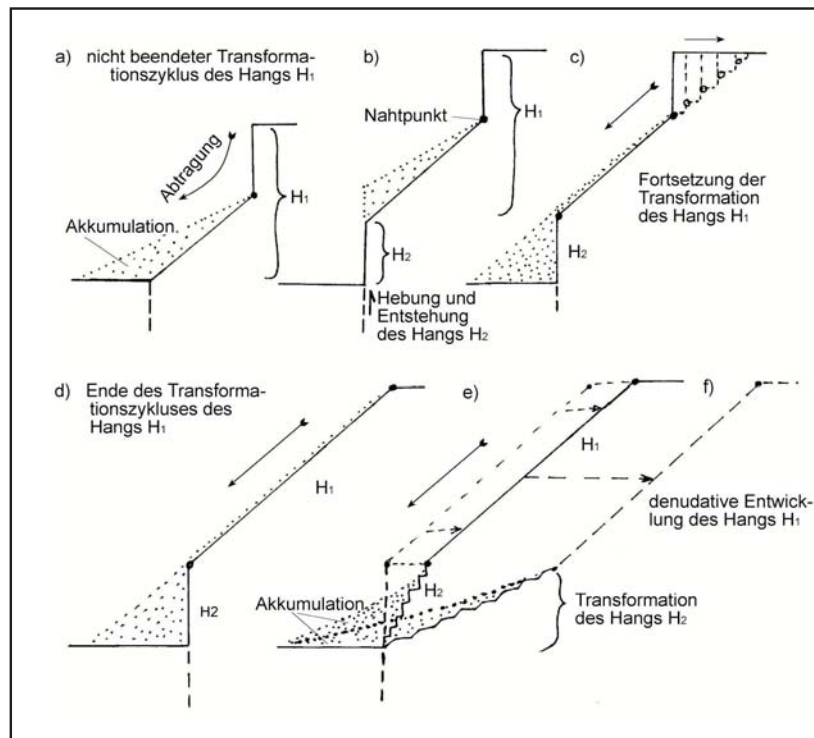


Abb. 4.20: Modell der Kinematik der Hangentwicklung bei der Entstehung eines neuen Disjunktivhangs (H2) und bei dem unvollendeten Transformationszyklus des früher entstandenen Hangs (H1)(a-f – Abfolge der Änderungen der Hänge (Erklärungen im Text))

Aber wenn jeder Punkt im Georelief als „örtliche“ Denudationsbasis betrachtet wird, so verliert dieser Begriff den praktischen Sinn und wird unzweckmäßig. Deswegen wäre es richtiger, **als Denudationsbasis nur einen solchen Punkt (bzw. Linie) auf dem Abtragungsprofil (Abtragungsfläche) zu betrachten, oberhalb dessen die denudative Transformation eines Disjunktivhangs läuft** (Abb. 4.17). Das ist eine wesentliche Präzisierung. Nur die Senkung der Denudationsbasis des Disjunktivhangs, die mit dem tektonischen oder anderen Zerreißen (Hebung oder Senkung) in der Erdkruste verbunden ist, gibt die Möglichkeit für die endgültige Entstehung (Geburt) dieses Hanges und für seine Entwicklung nach den Gesetzen der Denudation. Man muss betonen, dass zur Zeit der Transformation des Disjunktivhangs die Denudation und Akkumulation gemeinsam auf diesem Hang wirken. Nach seiner „endgültigen“ Entstehung wirkt auf diesem Hang nur die Denudation, wenn sein Status erhalten bleibt.

Wenn die Bewegung in der Erdkruste und das mit ihr verbundene Erscheinen einer neuen Abbruchwand einen Disjunktivhang „ertappt“, der sein Transformationsstadium noch nicht vollendet hat, so entsteht doch keine Verletzung der festgestellten Gesetze der Denudation und Transformation. Nehmen wir an, dass die neue Hebung (Entstehung einer neuen Abbruchwand) geschah, als ein Disjunktivhang nur die Hälfte des ersten Transformationsstadiums geschafft hatte (Abb. 4.20). Das bedeutet, dass in diesem Moment die obere Hälfte des transformierten Abschnittes noch eine Abbruchwand mit der Neigungsstärke von  $90^\circ$  ist. Seine untere Hälfte sollte schon die Neigung von  $45^\circ$  haben, aber sie sollte mit noch flacher geneigten Sedimenten überdeckt und tatsächlich ein Sedimenthang mit der Neigungsstärke kleiner als  $45^\circ$  sein. Es könnte scheinen, dass die Denudationsprozesse nun schnell den Sedi-

menthang vernichten und im Georelief statt eines Hanges zwei Disjunktivhänge (die Wand und der Hang von 45°) entstehen müssten, die parallel zu sich verlagert werden. Anders gesagt, müsste das passieren, was ich für unmöglich halte; das, was in der Geomorphologie Chaos schafft und damit die richtige Erkenntnis und Interpretation der chronologischen und genetischen Eigenschaften der Struktur des DR unmöglich macht.

Dieses Paradoxon wird theoretisch einfach gelöst. Der Sedimenthang kann in diesem Fall nicht vernichtet (denudiert) werden, weil die Denudation von der oberen vertikalen Abbruchwand auf den niedriger liegenden Sedimenthang sehr viel Lockermaterial anliefert. Die ganze Menge dieses Lockermaterials kann aufgrund seiner kleinen Neigungsstärke nicht sofort vom Sedimenthang wegtransportiert werden. Entsprechend dem geometrischen Modell (Abb. 4.17.) kann seine Neigung nicht steiler als 30-40° sein. Entsprechend den Gesetzen der Denudation sollte dieser Hang seine relativ geringe Steilheit erhalten, solange er nicht vernichtet ist. **Aber es ist unmöglich, diesen Hang unter gewöhnlichen Bedingungen** (unter der Wirkung der Schwerkraft und eines gleichartigen Mediums) **zu vernichten, solange über diesem Hang ein steiler Disjunktivhang existiert**, der zuviel grobsteiniges, schwer transportierbares Material auf den unten liegenden Sedimenthang anliefert. Warum ist das unmöglich? **Weil der Unterschied der Neigungsstärken dieser benachbarten Hänge zu groß ist und weil das Lockermaterial auf beiden Hängen** (auf jeden Fall am Nahtpunkt bzw. Nahtlinie) **gleich grob ist und für seinen Transport die gleichen Kräfte fordert**. Im Nahtpunkt und oberhalb dieses Punktes bekommt es die notwendigen Kräfte, unterhalb des Nahtpunktes bekommt es sie nicht, weil die Neigung hier zu klein ist. **Deswegen läuft unterhalb des Nahtpunktes die zeitweilige Akkumulation, solange der obere, sehr steile Hang** (Abbruchwand) **existiert und bis zu seiner Vernichtung verlagert wird**. Erst dann wird dieses (erste) Transformationsstadium vollendet, erst dann wird die Sedimentschicht, welche die disjunktive, 45° geneigte Oberfläche überdeckt, völlig abgetragen werden, erst dann beginnt der ganze, bereits endgültig transformierte, jetzt 45° geneigte Disjunktivhang seine denudative Entwicklung als eine Einheit im Georelief, die parallel zu sich selbst verlagert wird (Abb. 4.20). Man kann noch mehr komplizierte Modelle der Georeliefentwicklung analysieren, aber sie haben im Prinzip ähnliche Lösungen. Sie als Leser können selbst solche Aufgaben formulieren und lösen.

#### 4.2.8. Empirische Bestätigungen des Modells der Entstehung von Disjunktivhängen: theoretischen Folgen

Das Modell der Transformation der Abbruchwände findet auch empirische Bestätigungen. Im DR des Gebirges kann man sehr oft lokale Sedimentationshänge an den Füßen anomal steiler lokaler Disjunktivhänge neben örtlichen Denudationsbasen beobachten. Diese Disjunktivhänge sind die Reste der unvollendeten ersten Stadien der Transformation.

Daraus folgt noch eine mögliche Gesetzmäßigkeit der Struktur des DR: **wenn ein Abschnitt des Georeliefs den Status des DR hat, so kann sein höher liegender steilerer Hang eines bestimmten Transformationsstadiums mit einem niedriger liegenden flacheren Hang nur vom nächsten Transformationsstadium in unmittelbarer Verbindung stehen**. Z.B. kann ein Disjunktivhang mit der Neigungsstärke von 45° (erstes Stadium) in Verbindung mit niedriger liegendem benachbartem, unter 22,5° geneigtem Disjunktivhang (zweites Stadium) stehen. Aber ein 11,2° geneigter, niedriger liegender Disjunktivhang kann mit dem 45° geneigten, höher liegenden Disjunktivhang in keiner unmittelbaren Verbindung stehen, weil zwischen ihnen sofort ein Sedimenthang entstehen muss. Ein 5,6° geneigter Disjunktivhang kann mit Disjunktivhängen von 11,2° und von 2,8° in Verbindung stehen usw. Diese Gesetzmäßigkeit ist theoretisch und praktisch sehr interessant und hat viele empirische Bestätigungen.

Eine riesige Datenmenge (Messungen, Schürfung an Hängen) ließ A.J. MORDWINOW (1940) im Gebirge des Fernen Ostens Russlands eine typische Abfolge der **Disjunktivhänge** (von Wasserscheiden zu Talwegen) feststellen, die die obig genannte Gesetzmäßigkeit exakt bestätigt:

1. Die um 26-28° geneigten Hänge an den Gebirgsgipfeln; die Zone der Verwitterung und Denudation der Gesteine; die Verwitterungsprodukte sind grobsteinig; man beobachtet hier die Aufschlüsse der Felsgesteine.
2. Die um 12-15° geneigten Hänge (unterhalb der ersten); die Zone der Denudation und nachlassenden physikalischen Verwitterung; die Mächtigkeit des verwitterten Lockermaterials ist meist etwa 2-3 m, stellenweise bis zu 4-5 m.
3. Die um 6-10° geneigten Hänge; das Lockermaterial hat deutliche Spuren der Massenbewegung (Solifluktion); die Mächtigkeit des Lockermaterials, das einen hohen Anteil an Lehm enthält, ist nicht weniger als 4-7m.
4. Die um 3-6° geneigten Hänge; ihr lehmiges Lockermaterial hat die Spuren des Erdfließens; die Mächtigkeit der lockeren Schicht ist nicht weniger als 8-10m.
5. Die um 1,5-3° geneigten Hänge; die Zone der chemischen Verwitterung des Lockermaterials; es läuft hier die Bodenabspülung; die Mächtigkeit der lockeren Schicht ist mehr als 10 m.
6. Die 0-1° geneigten Sedimenthänge; Sedimente der Auenterrassen.

Die Hänge der Gruppe 1 sind nach dem ersten Transformationsstadium entstanden, die Hänge der Gruppe 2 - nach dem zweiten Transformationsstadium, die Gruppe 3 – nach dem dritten, die Gruppe 4 – nach dem vierten und die Gruppe 5 – nach dem fünften. Wie zu ersehen ist, verhalten sich die Neigungsstärken von benachbarten Gruppen zu einander immer etwa 2:1.

Ein ähnlicher Aufbau des Lockermaterials auf den Hängen und ähnliche Kombinationen der Hänge wurden auch von D.A. TIMOFFEEV (1979) im Baikal-Gebirge ermittelt. E.A. TOLSTYCH und A.A. KLUKIN (1976) haben festgestellt, dass sich die Mächtigkeit der Verwitterungsschicht bei der Zunahme der Hangneigungsstärke nicht nur allmählich verkleinert, sondern dass es auch einen qualitativ unterschiedlichen Aufbau und eine bestimmte Mächtigkeit der Verwitterungsschicht (beweglicher Schicht) gibt, die nur mit bestimmten Neigungsstärken der Disjunktivhänge verbunden sind. Dabei sind diese Hänge durch deutliche scharfe Knicke (Nahtlinien) voneinander getrennt. Viele Schürfe haben gezeigt, dass die Verwitterungsschicht innerhalb bestimmter Hangneigungen gleichartig ist und sich in einer bestimmten Art und Weise bewegt, was sich auch auf der Erdoberfläche in Teilchengröße und Bedeckungsgrad äußert. Auf mesozoischen Schiefen des Krym-Gebirges werden durch diese Merkmale drei Typen der Disjunktivhänge abgesondert (TOLSTYCH, KLUKIN, 1976):

1. die Hänge mit einer Neigungsstärke kleiner 20-22°; sie sind der Abspülung und Rutschung (Defluktion) unterworfen, haben eine Verwitterungsschicht von 10-12 m Mächtigkeit, deren oberer Teil aus Lehm mit Grusbeimischung aufgebaut ist und einen Bedeckungsgrad etwa 70-100% hat.
2. die Hänge mit einer Neigungsstärke von 22 bis 40°; sie sind der Abspülung, linearen Erosion, Abrollen, Desertion unterworfen, haben eine grusig-steinige, oben lehmig-grusig-steinige Verwitterungsschicht, 3-4 m stark, mit einem Bedeckungsgrad von etwa 10-30%.
3. die Abbruchwände (steiler 40-45°); sie sind stellenweise grobsteinig (bis 1-2m von Mächtigkeit), der Sturzdenudation und Erosion unterworfen, stellenweise felsig, ohne lockere Verwitterungsschicht; der Bedeckungsgrad ist hier weniger als 10%.

Auch die Daten von Ju. S. BUDILIN (1968) bestätigen die dargestellte Theorie. Er teilt mit, dass in den Gebirgen Sibiriens auf den hohen Terrassen (über 150 m) keine fluviatilen Sedimente erhalten blieben. Sie sind schon denudiert worden. Auf Terrassen mit relativen Höhen von 150 - 65 m sind fluviatile Sedimente nur in Senkungen des Banksteins erhalten. Auf den Terrassen von relativen Höhen von 60 - 50 m und von 15 - 20 m sind fluviatile Sedimente nur dort gut erhalten geblieben, wo die Neigungsstärke des Terrassensockels zum Fluss weniger als 3° ist und mit steilen (>10°) Talhängen durch den fließenden konkaven Übergang (Sedimentationshänge) in Verbindung steht. Wenn der konkave Übergang scharf ist [d.h. in unmittelbarer Verbindung nur zwei Hänge (die um 3-4° geneigte Terrasse und der 8-10° geneigte Talhang) steht], dann gibt es keine fluviatilen Sedimente auf diesen Terrassen, sie sind schon lange abgetragen worden.

Diese Daten bestätigen auch die doppelte Verkleinerung der Neigung von benachbarten niedriger liegenden flacheren Hängen, was das Gesetz der Transformation aussagt. Im Altai habe ich selbst gerade solche Kombinationen der Disjunktivhänge und den Aufbau ihrer Verwitterungsschicht (beweglicher Schicht), welche die Theorie voraussagt, ermittelt. **Aber als eine Bestätigung dieser Theorie verwende ich bewusst ziemlich alte empirische Daten von anderen Forschern. Diese Daten, rein psychologisch gesehen, überzeugen von der Wahrheit der Theorie viel besser als meine empirischen Daten, weil die alten Kollegen für diese Theorie damals kein persönliches Interesse hatten und ihre Daten für den Leser glaubwürdiger erscheinen müssten.**

Man muss, wenn das möglich ist, die Dauer der Transformationsstadien des DR einzuschätzen versuchen. Dabei hilft uns das zweite Gesetz der Denudation: Von steileren Hängen wird die Gesteinschicht von immer größerer Mächtigkeit als gleichzeitig von flacheren Hängen denudiert, wobei diese umso größer, je steiler der Disjunktivhang ist (Kapitel 4.2.3). Das bedeutet, dass **das erste Transformationsstadium am schnellsten abläuft (abgeschlossen wird), dass das Zweite langsamer abläuft, das Dritte - noch langsamer usw. Das Letzte braucht eine gewaltige Zeitspanne, vielleicht hunderte Millionen Jahre, und kann vollständig nur stellenweise realisiert werden.**

Empirische Daten zeigen, dass der erste Transformationszyklus auf Abbruchwänden aus lockeren Sedimenten unterschiedlich schnell absolviert wird, und zwar im Laufe einiger Minuten oder Stunden, oder Jahrzehnte und Jahrhunderte. **Das hängt auch von der Korngröße der Teilchen, der Feuchtigkeit und Widerstandsfähigkeit der Sedimente ab.** Die Abbruchwände der grobsteinigen Sedimente (Grobgeröll, Grobschutt) werden üblicherweise viel langsamer transformiert als die Abbruchwände der ton-sandigen Sedimente.

Der erste Transformationszyklus der Abbruchwände aus Felsgesteinen wird selten sehr schnell realisiert und braucht üblicherweise dafür mehrere hunderte, tausende, hunderttausende Jahre. Z.B. haben die fast vertikalen Hänge der Trogtäler in Norwegen in vielen Bereichen ihre Form noch unverändert erhalten, obwohl sie durch die



glaziale Exaration vor 10-15 tausend Jahren vollendet wurden. Man muss bemerken, dass die Denudation auf solchen riesigen Hängen im Endergebnis dynamisch sehr stark und schnell durch riesige Bergstürze und Bergrutsche erfolgt. Aber die Vorbereitung dieser extremen Ereignisse mittels Verwitterung und Dekompaktion der Gesteine braucht relativ viel Zeit. Natürlich, in Gebieten mit sehr hoher Seismizität läuft die Zerstörung (Transformation) solcher Abbruchwände viel schneller. Als Beispiel dafür dient das Gebiet Lituja in Alaska. Im Laufe der letzten 150 Jahre fanden hier 7 gewaltige seismogene Bergstürze statt, welche von riesigen Wasserschlagwellen und anderen extremen Erscheinungen begleitet wurden (DAISON, 1966; MOLNIA, 1985). Deswegen hatten hier die Denudationsprozesse einen riesigen Effekt.

Das vorgeschlagene theoretische Modell der Entstehung der Disjunktivhänge ist formal logisch genug streng und widerspruchsfrei. Es hält das Gesetz der Erhaltung der Masse und Energie ein, stützt sich auf die bekannten physikalischen Gesetze und mathematischen Theoreme. Das Modell hält die Gesetze der Denudation ein und löst das Paradoxon: „wie kann sich eine vertikale Oberfläche in eine subhorizontale Oberfläche umwandeln ohne Verletzung der Gesetze der Denudation“. Es erklärt die Fraktalen (Rauheit des Georeliefes in verschiedenen Maßstäben) im Georelief, die Ereignisse der Entstehung und Entwicklung des Georeliefes. Dieses Modell lässt das Gesetz der Transformation und ihre Stadien ableiten. Es ist interessant, dass der Akt der Erzeugung, der „embryonalen“ Entwicklung (Transformation, Erwerbung der Form) und endlich der Geburt der Disjunktivhänge im Prinzip der Empfängnis, der embryonalen Entwicklung und der Geburt der lebendigen Wesen analog ist. Diese Ähnlichkeit ist kein Zufall, sondern die Folge von universellen Gesetzen.

Das Modell hat viele interessante Folgen. Die Geschwindigkeit der Verlagerung eines Hanges ( $V_d$ ) und die Neigungsstärke ( $A$ ) dieses Disjunktivhanges wissend, kann man z. B. das Stadium und die Zeit ( $t$ ) der Transformation dieses Hanges bestimmen (ausrechnen). Bei gegebenem Transformationsstadium und ebenfalls bekannter Neigungsstärke des Hanges, kann man die Neigungsstärke der primären Abbruchwand ( $A_0$ ) berechnen;  $A$  und  $t$  wissend, kann man  $V_d$  berechnen. Aus diesem Modell folgt, dass die Neigungsstärken der Disjunktivhänge in der Realität nicht zufällig sein können, sondern bestimmte Werte haben und bestimmte Abfolgen miteinander bilden müssen, wobei sich die benachbarten Hänge voneinander um Neigungsfaktor 2 unterscheiden und insgesamt 7 mögliche Gradationen der Neigungsstärken bilden. Die konkreten Werte der Neigungsstärken in den Hangreihenfolgen hängen von den Neigungsstärken der primären Abbruchwände ab. Diese Abbruchwände, in der Erdkruste entstehend, haben üblicherweise verschiedene Neigungen, sich in Gesteinen von verschiedener Festigkeit unterschiedlich brechend [je fester das Gestein ist, desto steiler ist der Bruch (tektonische Störung)]. In der Regel sind sie alle, ausschließlich der Überschiebungen, steiler als  $45^\circ$ . In den oberen Teilen der Erdkruste streben sie danach, subvertikal zu sein, besonders dort, wo die Erdkruste eine Hebung und als Folge der Hebung - eine Expansion aufweist (OLLIER, 1984).

Durch die Neigungsstärken der Disjunktivhänge kann man mit Hilfe von diesen Modellen die Neigungen und die Orientierung der tektonischen Störungen innerhalb der Erdkruste einschätzen. Z.B. sei die Neigungsstärke eines Disjunktivhanges  $7^\circ$ . Das bedeutet, dass dieser Hang schon drei Transformationsstadien durchgelaufen hat, wobei er nach dem zweiten Stadium eine Neigungsstärke von etwa  $14^\circ$  haben musste, nach dem ersten -  $28^\circ$ , und die Neigungsstärke seiner primären Abbruchwand  $56^\circ$  war. Genau diese Steilheit ( $56^\circ$ ) sollte die tektonische Störung, durch welche diese Abbruchwand entstanden ist, in der Erdkruste haben. Dabei müsste diese Störung eine **Abschiebung** oder eine Abschiebung-Verschiebung sein. Die **Aufschiebungen schaffen immer nur subvertikale Abbruchwände**. Deswegen sollten die Neigungen der Disjunktivhänge, die von Aufschiebungen geschaffen sind, nach dem ersten Transformationsstadium etwa  $45^\circ$  betragen, nach zweitem Transformationsstadium -  $22,5^\circ$  usw. Die Abhängigkeit der Neigungsstärken der Disjunktivhänge von der Geometrie der disjunktiven tektonischen Struktur der Erdkruste bemerkte auch W. PENCK (1961): „in Bereichen, wo die Einheit und Gleichartigkeit der tektonischen Struktur und Bewegungen festgestellt ist, beherrschen üblicherweise fast gleiche Hangneigungen der Erdoberfläche, und das ist ein charakteristisches Landschaftsmerkmal dieser Gegend“ (S. 170).

Geologische und geophysikalische Daten zeigen, dass sich in der Erdkruste von oben nach unten die vertikalen tektonischen Störungen zu unter  $58^\circ$  geneigten und dann zu flach geneigten Störungen sowie zum horizontalen Gesteinfließen übergehen (CAREY, 1991). Im oberen Teil der Erdkruste entstehen Abschiebungen, Aufschiebungen, Verschiebungen (Kurs Allgemeiner Geologie 1976; u.a.), deren Charakteristik ausreichend in Lehrbüchern dargestellt ist. Man muss dabei bemerken, dass sich steile tektonische Störungen üblicherweise in festen lithifizierten Gesteinen bei allgemeiner Hebung (bei Gebirgsbildung) der Erdkruste bilden. Die Faltung und Überschiebungen werden vor allem in noch plastischen Gesteinen beim Senken der Erdkruste und bei der Sedimentation gebildet. Sie schaffen kein DR. Deswegen sind Epochen der Faltungsbildung der Erdkruste oft keine Epochen der Gebirgsbildung (PENCK, 1961). Die Gebirgsbildung (auch Entstehung des DR) und Bildung tektonischer Störungen sind die Folgen vor allem des intensiven Magmatismus und Vulkanismus, die intensive vertikale (tektonische) Bewegungen der Erdkruste verursachen.

Die regionale und globale Struktur des DR wird also nur durch die sogenannten „tektonischen“ Bewegungen (Hebungen und Senkungen) der Erdkruste geschaffen, die mit Änderungen des isostatischen Zustandes der Erdkruste (Dichte und Gewicht ihrer Blöcke) verbunden sind. Diese Prozesse kann man sich in einem einfachsten Modell so vorstellen. **Bei der endogenen Dekompaktion** (Erhitzung, Injektion der „leichten“ Intrusionen der Granite) **eines Blockes der Erdkruste verkleinert sich seine Dichte, wird sein isostatisches Gleichgewicht verletzt, und deswegen erfolgt seine isostatische Hebung, die zur Entstehung tektonischer Störungen der Gesteine überwiegend am Rande dieses Blocks führt.** An der Erdoberfläche entstehen dabei die Fortsetzungen tektonischer Störungen - die Abbruchwände, die später in Disjunktivhänge transformiert werden. **Jede neue Injektion einer Portion des leichten geschmolzenen Stoffes (Magma) setzt den Prozess der Hebung und die Entstehung der Abbruchwände fort, wobei die Höhe der Blockhebung (und die Höhe eines neuen Abschnittes der Abbruchwand) dem Wert der „Erleichterung“ des Blockes proportional ist.** Wie die zeitliche Abfolge der Injektionen relativ leichter Gesteinmassen und ihr Volumen waren, genau so wurde die regionale Struktur des DR geschaffen. Bei großer Sättigung des Blockes an „leichten“ Intrusionen (bis 80-90%) werden die nachfolgenden Injektionen durch ihre neuen Portionen die Dichte dieses Blockes sehr wenig ändern sowie auch, als Folge dessen, seine relative Höhenlage. Im Endergebnis kommt es hier zum sogenannten „Plattform-Zustand“ (geodynamisches und isostatisches Gleichgewicht). Bei diesem Zustand des Blockes können hier auch allgemeine tektonische Schwingungsbewegungen (epirogenetische Bewegungen) geschehen.

Aber das DR kann nicht nur durch die Hebungen, sondern auch durch Senkungen der Erdkrustenblöcke bei der Kompaktion der Sedimente, durch Einstürzen „leerer“ magmatischer Kammern, der Höhlen, durch gewaltige Schläge von Außen (Asteroide) und horizontale Verschiebung der Blöcke voneinander in Rift-Zonen geschaffen werden. Aber tektonische Schwingungsbewegungen, Geoid-Undulationen und Änderungen der Höhenlage des Meeresspiegels schaffen die Struktur des DR nicht. Auch horizontale tektonische Bewegungen sind nur fähig, die Grundrisskonturen seiner Struktur zu verzerren.

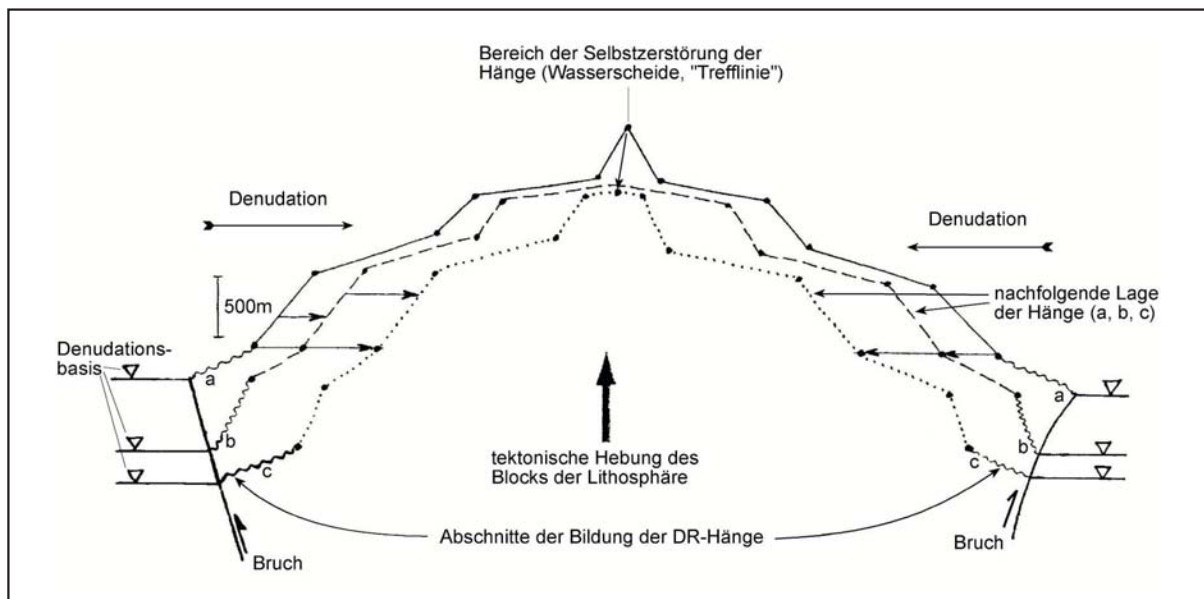


Abb.4.21: Profilgestalt des DR und Modell seiner Entwicklung und Neubildung; a, b, c – Abfolge der Hebung – Neubildung und Lage der Disjunktivhänge (a ist älter als b, b älter als c)

Empirisch wurde festgestellt, dass die Morphologie des DR verschiedenartig ist, meist stufenförmig (Abb. 4.21), am häufigsten beobachtet man steile Hänge, die die Berge, Täler und andere Reliefformen aufbauen. Im Laufe der Entwicklung strebt das DR insgesamt nach einer Verringerung seiner Steilheit. **Es strebt zur, aber erreicht niemals die ideale horizontale Lage.** Die Denudation der felsigen Gesteine, aus welchen das DR gewöhnlich aufgebaut ist, verläuft sehr langsam und gesetzmäßig. Deshalb kann sich die Grundstruktur des DR nicht umgestalten, oder es sind nur lokale Variationen möglich. Sie kann sich selbst durch langsame Verlagerung der gegenüber liegenden anstoßenden Hänge auf den höchsten Niveaus vernichten, (Abb. 4.21).

Den Aufbau und die relativen Höhen der Terrassen in den Gebirgen Sibiriens vergleichend, hat Ju. S. BUDILIN (1968) festgestellt, dass die Mächtigkeit der denudierten Gesteinschicht von flachen (3-4°) Terrassen, die am Ende des Neogens auf kristallinen Schiefen des Proterozoikums gebildet wurden, im Laufe des Pleistozäns die Mächtigkeit von 3-6 m (0,003-0,006 mm/Jahr) nicht überschritten hat. Von den miozänen Terrassen wurde eine Gestein-

schicht von etwa 12-20 m (0,002-0,004 mm/Jahr) abgetragen. Es ist leicht, die Größe der lateralen Verlagerung der Terrassenfläche für diese Zeitspannen zu berechnen. Man muss dafür die Mächtigkeit der denudierten Schicht durch  $\sin 3-4^\circ$  dividieren. **Im Laufe des Pleistozäns (etwa 1 Mio. Jahren) sind also die Terrassen und Talhänge um 43 - 87 m verlagert worden, im Laufe des Pliozäns-Pleistozäns (5-4 Mio. Jahren) um etwa 178 - 290 m. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Verlagerung der Hänge waren entsprechend 0,04-0,09 mm/Jahr und 0,03-0,06 mm/Jahr.** A.F. GRATSCHOW und DANG (1981) stellten fest, dass die Mächtigkeit des Jura-Kalksteins im Bereich „Baklinski Kuesta“, wo er eine subhorizontale disjunktive Oberfläche bildet, um 5 m kleiner ist als in seinem vollständigen Aufschluss nicht weit von dieser disjunktiven Oberfläche. Das bedeutet, dass im Laufe von 37 Mio. Jahren (seit dem Eozän, nach der Aufdeckung des Gesteins) die Mächtigkeit der denudierten Gesteinschicht von dieser subhorizontalen Oberfläche nur einige Meter erreicht, was eine durchschnittliche Geschwindigkeit der Denudation hier von etwa 0,0001 mm/Jahr ausdrückt. „Daraus folgt, dass die in der Literatur angegebenen Einschätzungen über die Denudation der Gesteinschichten mit Mächtigkeiten von einigen Kilometern im Laufe von 20-30 Mio. Jahren in höchstem Grad falsch sind“ (GRATSCHOW & DANG, 1981, S. 46). Man kann das noch mit vielen Daten belegen.

Die Neigungsstärke und die Höhe der Disjunktivhänge lassen, wenigstens relativ, ihre Dynamik der Entstehung einschätzen. Die Höhe des Hanges ist der Amplitude der tektonischen Zerreißung (Verschiebung), die diesen Hang geschaffen hat, gleich. Die Intensität tektonischer Bewegungen und ihre Änderung können durch die Gesamtheit der Hänge, die einem Georeliefprofil angehören, eingeschätzt werden (Abb. 4.22). Die Neigung der Hänge und ihr durch diese Neigung bestimmtes Transformationsstadium sind Folgen der Dauer der Transformation und der Dauer der Pause zwischen den Phasen der Aktivität tektonischer Bewegungen. **Je größer die Hanghöhe ist, desto größer war die Amplitude tektonischer Bewegungen** (üblicherweise betragen diese Amplituden viele Meter oder hunderte Meter, und sind durch mehrere seismische Ereignisse, große Abschiebungen oder Verschiebungen der Blöcke in Rift-Zonen entstanden). **Je flacher der Hang (bei sonst gleichen Bedingungen) ist, desto länger hat seine Transformation gedauert und desto größer war die Pause zwischen den tektonischen Aktivitäten.** Man muss auch beachten, dass eine wesentliche Einwirkung auf die Geschwindigkeit der Denudationsprozesse die Widerstandsfähigkeit der Gesteine und der Typ der wirkenden Triebmedien sind. Das Georelief und den geologischen Aufbau untersuchend und sie untereinander vergleichend, kann man den Einfluss dieser Faktoren einschätzen und formal begründete Schlussfolgerungen über die Dauer der Transformation verschiedener Hänge des DR und über den Ablauf und die Intensität der tektonischen Bewegungen und der Entstehung des Georeliefs ziehen.

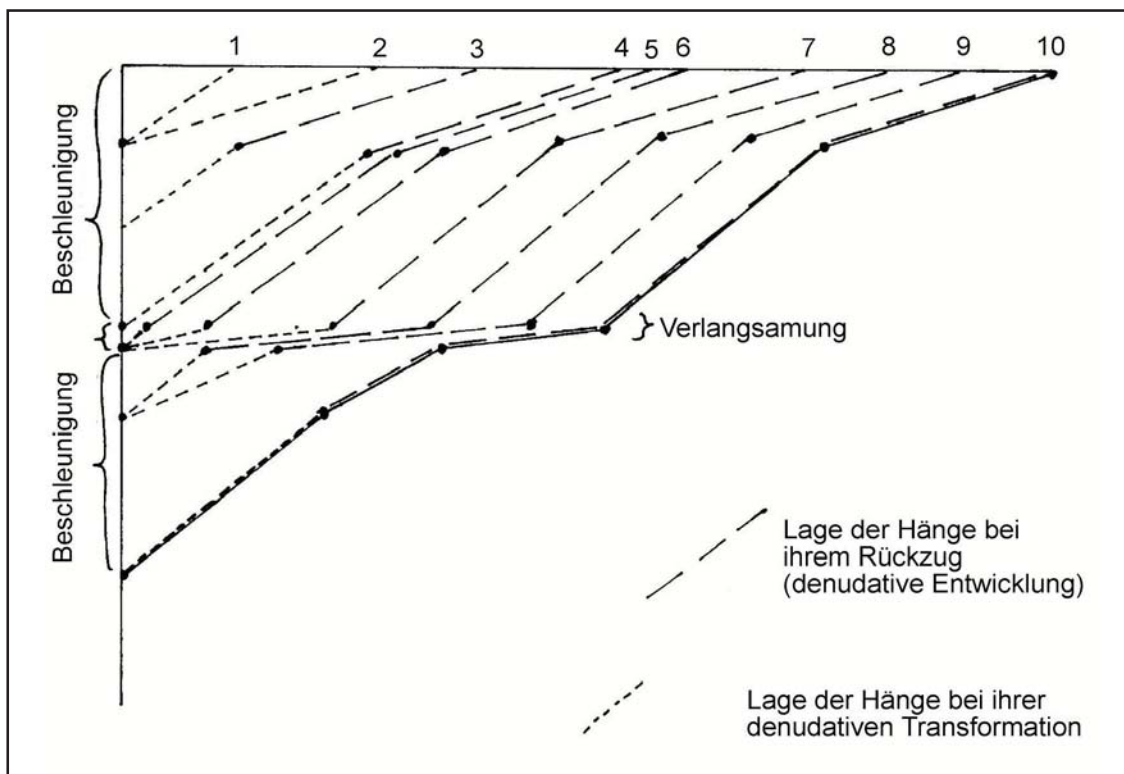


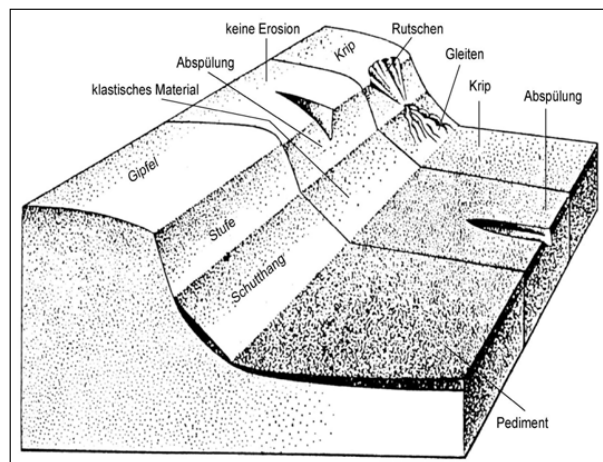
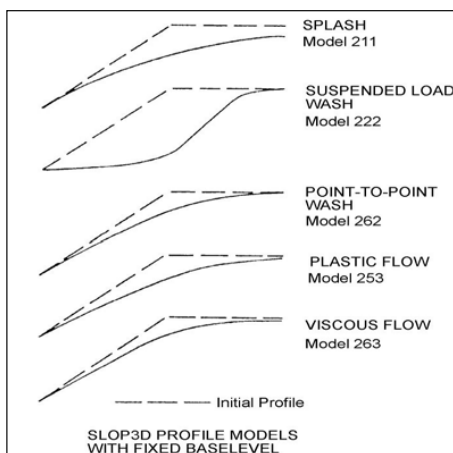
Abb.4.22: Modell der Entstehung und Entwicklung der Disjunktivhänge bei Beschleunigung, Verlangsamung und erneuter beschleunigung tektonischer Hebung eines Blockes: 1-10 - Abfolge der Entwicklung und Entstehung (Erklärung im Text)

Die Diskussion über Kinematik und Mechanismus der Hangentstehung und –entwicklung ist schon mehr als hundert Jahre im Gange. Das ist kein Zufall. Von der Lösung dieses Problem hängt eine weitere Entwicklung der Geomorphologie ab. Es wurden bereits mehrere Modelle der Bildung und Entwicklung der Hänge vorgeschlagen.

Entsprechend den Entwicklungsverfahren der Hänge verallgemeinert man (JOUNG, 1970; TIMOFFEEW, 1979) diese Modelle in 4 Gruppen:

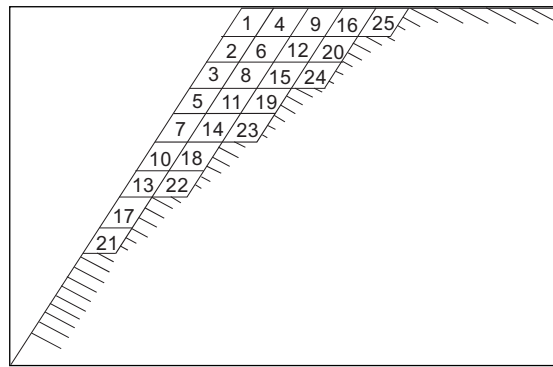
1. die Hänge werden verebnet (DAWIS, 1898; TIMOFFEEW, 1979; AGAFONOW, 1989);
2. die Hänge werden teilweise oder vollständig verlagert (PENCK, 1924; KING, 1962; LUIS & FISCHER, 1979; BÜDEL, 1981; SELIWERSTOW, 1989; UFIMZEW, 1994);
3. die Hangformen bleiben unverändert (konkav oder konvex), obwohl die Hänge sich absenken, verebnen und „zurücktreten“ können (SCHANZER, 1966; TIMOFFEEW, 1979);
4. die Hangform kann ganz unterschiedlich verändert werden (AHNERT, 1976, 1996; Treskinskij, 1977; u.a) (Abb. 4.23).

Diese Modelle sind im Prinzip Modifikationen der Modelle von W. DAWIS und W. PENCK und enthalten dieselben Fehler und Widersprüche. Die Modelle von F. AHNERT (1976, 1996) sind ausgedachte Computersimulationen, die ziemlich schwache Beziehungen zu den naturwissenschaftlichen Gesetzen und zu den empirischen Daten über das Georelief haben. Die meisten von ihnen sind überhaupt nicht realisierbar, einige stellen einzelne Fälle dar, es fehlen Gesetzmäßigkeiten in den Hangabfolgen und –entwicklungen (derselbe Hang kann mehrmals flacher und steiler, oder konkav und konvex werden) sowie Interpretationsmöglichkeiten bei der Analyse der Hangmenge (keine eindeutige, sondern viele mögliche Varianten). Solche Modelle schaffen nur Chaos in der Geomorphologie. Das Pencksche Modell der Hangbildung und –entwicklung präsentiert eine parallele Verlagerung der Hänge und dadurch eine Verebnung des Georeliefs bei unveränderter Lage der Denudationsbasis. Die Fehler dieses Modells wurden bereits analysiert. Das Dawissche Modell präsentiert „eine Verebnung des Georeliefs mittels Abtragung der Gesteine von steilen und hoch liegenden Abschnitten und mittels Akkumulation der Gesteine auf niedrig liegenden Abschnitten“ (Terminologie... 1978, S. 24; DAWIS, 1962). Dieses Modell beansprucht auch die Rolle des Modells der Hangbildung und –entwicklung, ist aber eher ein Modell der Hangtransformation. Als Modell der Hangentstehung und –transformation ist es zu allgemein und zu abstrakt (Abb. 2.24). Es schlägt keine exakte Kinematik und auch keinen genauen Mechanismus der Hangumwandlung vor, formuliert keine formal strengen geomorphologischen Gesetze. Es gibt sogar Meinungen, dass das Dawissche Modell nicht nur fehlerhaft ist, sondern die Entwicklung der Geomorphologie stark gehemmt hat (KING, 1962; SKOMOROCHOW, 1995).

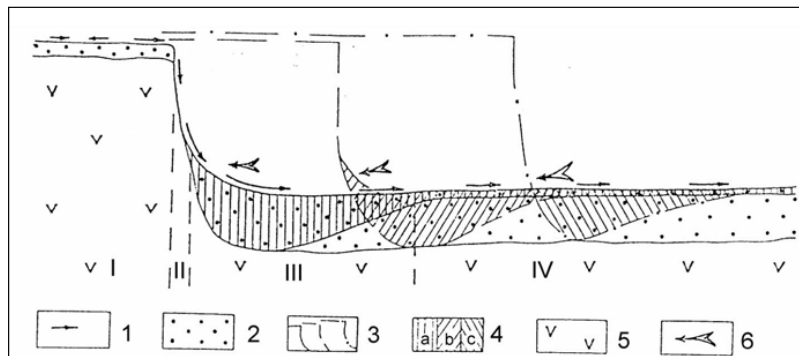


- Schema der Hangentwicklung nach L. KING, 1962

Beispielmodelle der Entwicklung der Hänge: - Umgestaltung der Hangprofile unter verschiedenen Bedingungen. Aus AHNERT 1976



- Schema der Denudationsentwicklung des Hanges, mit Ziffern ist die Reihenfolge der Abtragung der Teilchen bezeichnet (nach AGAFONOW, 1989)



- Schema der Verlagerung des steilen Hanges und die Pedimentbildung (nach Ju.P. SELIWERSTOW, 1989); Zeichenerklärung: 1. Richtung und Dynamik der Prozesse der Hangabspülung; 2. Verwitterungsschicht; 3. Abfolge der Lagen von Reliefelementen; 4. Abfolge der Lagen der Bereiche starker Verwitterung; 5. Unverwitterte Gesteine; 6. Richtung der Wirkung der regressiven Denudation. Reliefelemente: I – Pediplain; II – steiler Hang; III – IV – Pedimente.

Abb. 4.23: Beispielmmodelle der Entwicklung der Hänge: - Aus KING 1962, AHNERT 1976, AGAFONW 1989, SELIWERSTOW 1989

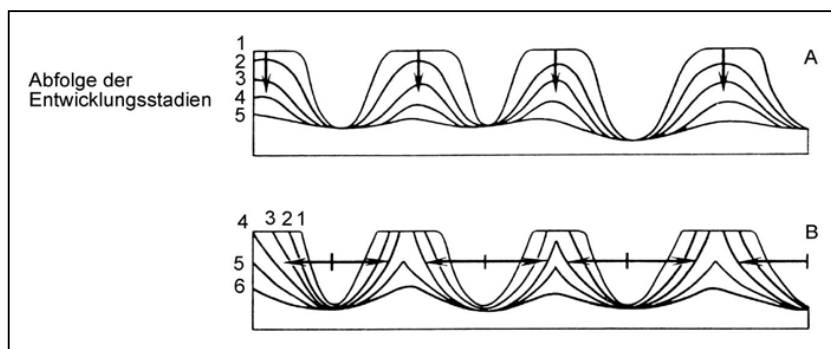


Abb. 4.24: Hangbildung bei der Peneplenisation nach W. DAWIS (A) und bei der Pediplanisation nach W. PENCK (B) in der Interpretation russischer Geomorphologen (STSCHUKIN 1964; LEONTJEW & RYTSCHAGOW 1980; u.a.)

Meiner Meinung nach, bestehen die Fehler der Modelle von W. DAWIS und W. PENCK vor allem darin, dass die Entstehung und Entwicklung der Disjunktivhänge durch nur ein Modell erfasst und dargestellt wurden. Die Entstehung und die Entwicklung der Hänge sind aber ganz unterschiedlich, weil sie und ihre Modelle von ganz unterschiedlichen Bedingungen (und theoretischen Annahmen) bestimmt werden. Das Modell der Entstehung (Transformation) der Hänge basiert auf der Annahme der unveränderten Lage der Denudationsbasis; das Modell der Entwicklung der Hänge basiert auf der Annahme des Ausschlusses der Einwirkung der Denudationsbasis auf den Verlauf der Denudationsprozesse (Absinken der Denudationsbasis).

### 4.3. Entstehung und Entwicklung des Sedimentationsrelief (SR)

#### 4.3.1. Definition und Axiome des Sedimentationsreliefs

Die zweite Hauptgruppe der Hänge (Reliefformen) entsteht durch die Sedimentation mittels Akkumulationsprozesse. Dabei bilden sich Sedimentgesteine, deren äußere Oberflächen ein eigenes Relief (Sedimentationsrelief) haben. Nehmen wir an, dass **das Sedimentationsrelief ein Abschnitt des Georeliefs ist, welcher durch die Anhäufung der Gesteinteilchen entsteht und konkordant zu der Gesteinsschichtung ist.** Der Begriff „konkordant“ bedeutet, dass die Hangfläche in allen ihren Punkten parallel zu der Schichtungstextur der von diesen Hängen ausgestalteten Gesteine ist (Abb. 4.3, b, c). Tatsächlich konkordant zu den Gesteinen können die Hänge nur dann sein, **wenn die Elemente der Schichtungstextur einige Zeit auch Georeliefelemente waren.** Z. B.: die Oberfläche einer Sedimentschicht ist gleichzeitig ein Element der Sedimenttextur (Schichtung) und ein (ehemaliges oder aktuelles) Element des Georeliefs.

Daraus folgt logischerweise, dass das Sedimentationsrelief unmittelbar durch die Entstehung (Akkumulation) eines stratifizierten geologischen Körpers (Sediment) geschaffen wird und immer konkordant zu diesem Körper ist, mit seinem Teil zusammenfallend, der auf der Erdoberfläche auftritt. D.h. auch, dass **die Genesis und viele andere Eigenschaften geologischer Körper auch für die zu diesen Körpern konkordanten Georeliefelemente dieselben sind.**

Aus der Definition „Sedimentationsrelief“ (kurz SR) sind folgende Axiome, die das Sedimentationsrelief betreffen, formal zulässig:

1. **Das SR entsteht durch die Sedimentation** (physikalische und/oder chemische Verbindung und Anhäufung) der Gesteinteilchen auf der Erdoberfläche bei einem positiven Saldo der Stoffbilanz in jedem seiner Punkte.
2. Das SR ist eine äußere konkordante Grenzfläche des Sedimentes.
3. In Bereichen der Akkumulationswirkung **werden die Hänge stetig erhöht.** Hier läuft auch stetig die **Kompaktion** (Verdichtung, Lithifikation) der Gesteine.
4. Das SR entsteht im Moment des Anfangs der Akkumulationswirkung. Sein Alter ist gleich dem Alter des **ältesten, zum SR konkordanten Sediments.**
5. Wenn die Akkumulation auf dem Sedimenthang endet, dann beginnt sofort auf ihm die Denudation der Sedimentgesteine, aber **dieser Sedimenthang bleibt erhalten, solange die letzte zu ihm konkordante Gesteinsschicht nicht abgetragen ist.**

Da der Zeitpunkt der Entstehung eines Sediments gleichzeitig der Zeitpunkt der Entstehung eines Sedimenthanges ist, sind damit der Akkumulationsbeginn und dieser Sedimenthang **geologisch exakt datierbar.** Aber der Zeitpunkt der Beendigung des „Wachstums“ des Sedimenthanges kann nicht festgestellt werden, weil nach ihm hier sofort die Denudation beginnt. Deshalb gibt es kein Sediment, welches das Ende der Akkumulation fixieren könnte. Obwohl **am Ende der Akkumulation sofort die Denudation den Sedimenthang angreift, bleibt dieser Hang (als eine Kopie zu sich selbst) trotzdem erhalten, solange die letzte zu ihm konkordante Schicht nicht abgetragen ist.** Dabei ändert sich die Morphologie seiner Hänge nicht, da die Denudation und die Verdichtung (Kompaktion) der Sedimente die Ähnlichkeit zu den ursprünglichen Hängen bewahren (BUTWILOWSKI, 1995).

Es scheint, als ob das SR, welches bereits in einen denudativen Zustand übergegangen ist, als das DR zu betrachten wäre. Doch das wäre falsch. Die Prozesse schaffen die Genesis des Georeliefs nicht. Seine Genesis kommt von Ereignissen in Umweltmedien (Zerreißen in der Erdkruste, Sedimentationsfaktoren). Geologische Prozesse entwickeln bereits entstandene Georeliefabschnitte. Z.B. können auf dem DR zeitweilig auch Akkumulationsprozesse (Staubauflegen, Schlammaufschleppen, Steinstürzen usw.) mitlaufen. Aber wenn sie die diskordanten Verhältnisse des Disjunktivhangs mit den geologischen Körpern nicht stören und die Akkumulationsprodukte zu einem Bestandteil der beweglichen Schicht werden, **dann behält der Disjunktivhang seinen Status bei. Genau so muss man die Genesis des SR bestimmen: nicht durch die auf ihm laufenden Prozesse, sondern durch seine primären Eigenschaften und Verhältnisse mit geologischen Körpern.** Obwohl die Denudation dem SR „fremd“ ist, behält das SR im denudativen Zustand bis zu seiner Vernichtung gerade mit Hilfe der Denudation die Konkordanz zu Gesteinen und die Ähnlichkeit zu seiner primären Form bei, d.h. sein Status bleibt erhalten.

Diese Definition und die Axiome ermöglichen also die Sedimenthänge im Georelief genau zu bestimmen und zu erkennen. **Das Hauptmerkmal der Sedimentationshänge ist ihre Konkordanz zur Schichtung geologischer Körper.** Die meisten dieser Hänge sind aus den noch lockeren Sedimentgesteinen aufgebaut. **Die Mächtigkeit dieser Sedimente muss dabei die der Hangneigungsstärke entsprechende Mächtigkeit von der beweglichen Schicht überschreiten.** Je flacher der Hang ist, desto dünner ist die lockere Schicht, die sich unter Einwirkung der Schwerkraft und Umweltmedien hier bewegen kann (Kapitel 4.2.2).

**4.3.2. Gesetze der Entwicklung des SR und ihre Beweisführung**

Aus der Anerkennung der obigen formalen Eigenschaften des SR und der Sedimente ergeben sich die Möglichkeit und die Notwendigkeit, einige **Gesetze** der Kinematik der Entstehung und Entwicklung des SR und der Sedimente vorzuschlagen (BUTWILOWSKI, 1995).

Erstes Gesetz: **unter einer ununterbrochenen Wirkung der Akkumulation werden alle Punkte eines Sedimenthanges um die gleichen vertikalen Strecken (H) angehoben**. Anders gesagt, das „Wachstum“ des SR ist unter ständiger Wirkung der Akkumulation nur durch die gleiche vertikale Erhöhung (H) jeden seiner Punkte möglich (Abb. 4.25).

$$H_1 = H_2 = H_3,$$

wobei H<sub>1-3</sub> - die Größe der vertikalen Erhöhung der Punkte des SR ist. Dabei erhöht sich das SR oben nach außen parallel zu sich selbst.

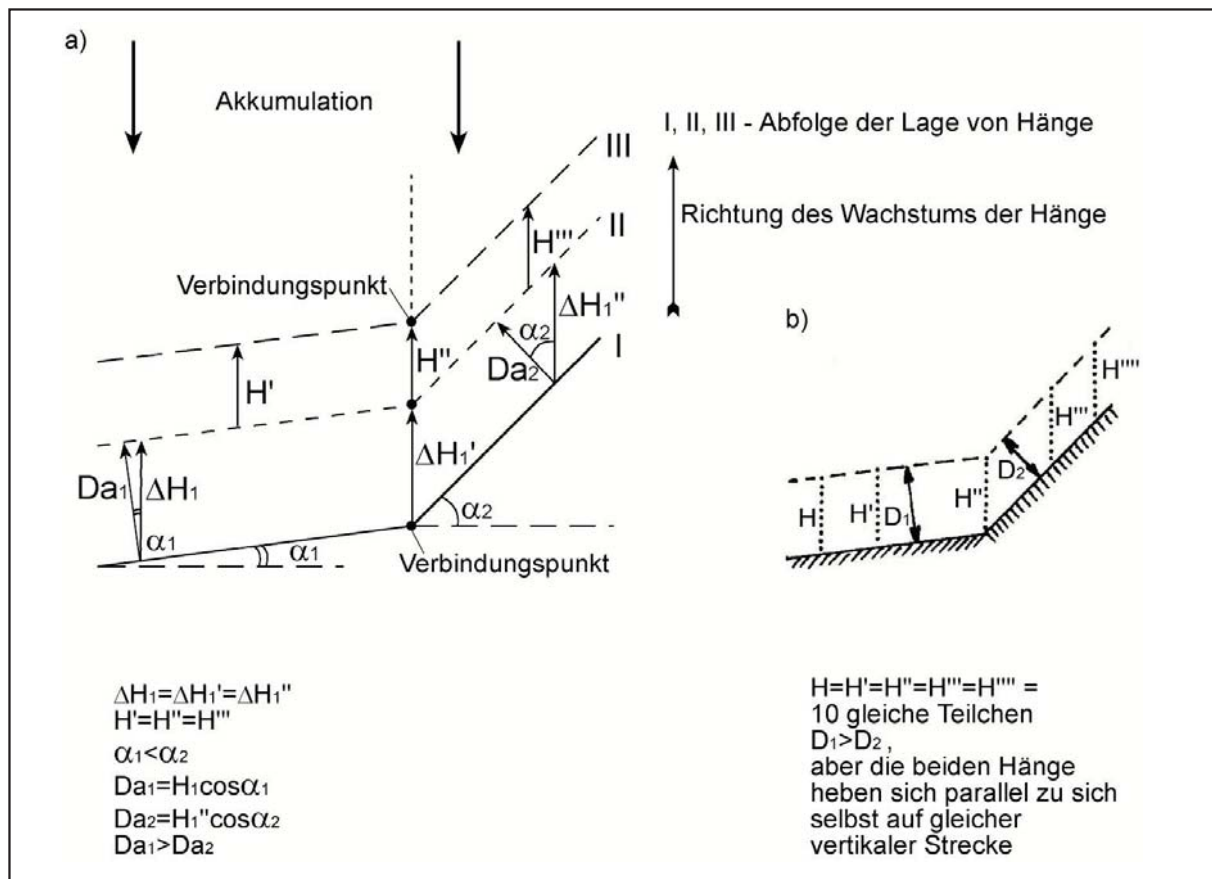


Abb. 4.25: a – Geometrisches Modell der Kinematik der Entwicklung von Sedimenthängen unter Bedingungen ununterbrochenes Akkumulationsprozess (Erklärung im Text); b – Geometrischer Beweis des 1. und 2. Gesetzes der Akkumulation durch die gleiche Menge der auf unterschiedlich geneigten Hängen akkumulierten gleichen Stoffteilchen

Wenn dieses Gesetz nicht erfüllt wird, d. h. ein Punkt des Hanges erhöht sich um eine kleinere Strecke als andere Punkte, so entsteht über diesem Punkt sofort ein vertikaler Hang, der sofort der Zerreißen und Denudation unterworfen wird (Abb. 4. 26). Dadurch entsteht ein Disjunktivhang, und in diesem Bereich verliert das SR seinen Status. **Das darf nicht geschehen, weil es bezüglich des Status des SR angenommen wurde, dass auf diesem Bereich überall die Akkumulation der Gesteinteilchen abläuft.** Damit auf den Hängen nur die Akkumulation wirken kann, muss die Erhöhung (Erhebung) aller Hangpunkte genau gleich sein, damit zwischen diesen Punkten kein Unterschied des Betrages ihrer vertikalen Verlagerung entstehen kann. Nur bei dieser Kinematik kann der angenommene Status des SR erhalten bleiben. Das ist der einfachste formal-logische Beweis dieses Gesetzes, das auch mathematisch (geometrisch und arithmetisch) durch den Vergleich der Größen der von diesen Punkten nach oben verlegten Strecken leicht zu beweisen ist (Abb. 4.26).

Warum wird die Erdoberfläche bei der Akkumulation der Gesteinsteilchen immer angehoben? Wenn also auf einem Hangprofil der Erdoberfläche eine Gesteinsschicht angelagert (**akkumuliert**) wurde, so verlagert sich die Erdoberfläche dorthin, wo das Gestein hingelegt wurde, und erhält sofort eine neue Lage im Raum. Die Strecke der Verlagerung der Erdoberfläche ist der Größe der angelagerten Gesteinsschicht gleich (Abb. 4.25). Das kann man an dem geometrischen Profil eines Hanges einfach und anschaulich darstellen. Die Analyse dieses Profilmodells reicht aus, um sich die Kinematik des ganzen Hanges als flächenhafte geometrische Figur vorzustellen. Man muss ergänzen, dass der Punkt, der die Profile zweier vertikal benachbarter (höher- und niedriger liegenden) Sedimenthänge verbindet („Knick“ der Profillinie), ein „**Verbindungspunkt**“ (ähnlich wie Nahtpunkt) ist (Abb. 4.25). Die Flächen dieser Hänge kann man als Gesamtheit von Hangprofilen darstellen. Der Knick der Hangflächen besteht aus Verbindungspunkten, die sich zu einer „**Verbindungsline**“ (im Prinzip, zu einer Nahtlinie) verbinden (konkordante Grenze-Basislinie des Hanges). Die Verbindungsline hat genau dieselben kinematischen und physikalischen Eigenschaften wie ihre Verbindungspunkte.

Die quantitative Beweisführung des ersten Gesetzes wird für ideale Bedingungen aus dem geometrischen Profilmodell des SR ermittelt (Abb. 4. 25). Lassen wir uns dieses Gesetz auch durch die Methode des apagogischen Beweises nachweisen. Betrachten wir die Fälle 1, 2 und 3, bei denen die parallele Hangerhöhung durch den gleichen Typ der Akkumulationsprozesse angenommen wird.

Fall 1: Nehmen wir im Gegenteil an, dass  $H_1$  nicht gleich  $H_2$  ist. Wenn der steilere obere Sedimenthang in jedem Moment um einen größeren Abstand als der untere flachere Sedimenthang erhöht wird (Abb. 4.26, Fall 1, 1a;  $H_1 < H_2$ ), so entsteht im Laufe der Akkumulation unvermeidlich ein vertikaler Hang, wenn sogar die Erhöhung der Punkte ( $dH_1$  und  $dH_2$ ) sehr klein ist. Dieser vertikale Hang wird sofort der Zerreißung und Denudation unterworfen, weil schon bei der Neigungsstärke von  $45^\circ$  und größer die Gesteine immer der Denudation unterworfen werden, solange ein solcher Hang existiert. Anders gesagt, die Akkumulation der lockeren Sedimente auf solchen Hängen ist wegen der Schwerkraft physikalisch unmöglich. Ein steiler (vertikaler) Hang wird in diesem Fall immer in einen Disjunktivhang transformiert (geschlossenes System, Kapitel 4.2.6), was den Bedingungen unserer Aufgabe entsprechend, (Georelief soll immer dem Status des SR entsprechen) nicht zulässig ist. Damit es nicht geschieht, müssen alle Punkte des SR um die gleiche vertikale Strecke im Laufe der Akkumulation erhöht werden. **Das ist sogar bei ungleicher Menge des auf eine Hangflächeneinheit zuführenden Stoffes möglich.** Wenn auf einem steileren Hang mehr lockeres Material dazukommt, so wird ein Teil dessen, welcher der Höhe des vertikalen Hanges entspricht, vom steileren Hang auf den unteren flacheren Hang sofort abgetragen werden und damit den Mangel der Stoffmenge auf dem flacheren Hang kompensieren. Deswegen kann dieser Hang sich auf die gleiche Höhe wie der steile Hang erheben.

Fall 2: Der untere flache Hang erhebt sich um eine größere Höhe als der obere steile Hang. Unter der Bedingung der ständigen Wirkung der Akkumulation ist dieser Fall auch nicht möglich. Bei der Realisierung dieses Prozesses entsteht eine größere Hebung des flachen Hanges. Zwischen ihm und dem steileren Hang entsteht ein vertikaler Hang, der sofort der Denudation unterworfen wird und sich in einen Disjunktivhang (oben) und in einen Sedimentationshang (unten) (etwa  $45^\circ$  Neigung) transformiert. Mit dem Zuwachs dieses Sedimentationshanges wird sein niedrigster Punkt (Verbindungspunkt) auf die niedrigsten Punkte des steilen Hanges „zumarschieren“ und sie „überdecken“ (Abb. 4.26, Fall 2b). Im Endergebnis geschieht die Abtrennung der steilen und flachen Hänge durch eine steile Hanghalde. Die ehemaligen benachbarten Hänge werden zueinander entgegengesetzt liegende Hänge. Dabei wird im Bereich der Verbindung des flachen Hanges und der Hanghalde die Denudation weiter laufen usw., und dies alles widerspricht den Bedingungen unserer Aufgabe. **Eine größere Erhöhung der Punkte des flacheren Hanges als des steileren ist also unmöglich, wenn die Akkumulation in jedem Punkt dieses Reliefschnittes läuft.**

Fall 3: Beide Hänge erhöhen sich parallel zu sich selbst, aber ihr Verbindungspunkt „schreitet“ dabei auf die niedrigsten Punkte des flacheren Hanges zu. Beim gleichartigen Prozess der Akkumulation (gleichmäßiger Zufluss gleicher Teilchen von einer Volumeneinheit des Treibmediums) ist dieser Fall physikalisch nicht möglich (Abb. 4.26, Fall 3), weil eine solche Kinematik voraussetzt, dass die Menge von Teilchen, die jedem Punkt des steilen Hanges zufließen, viel größer wäre als für die Punkte des flachen Hanges, weil die Höhe der Teilchenschicht des steilen Hanges in diesem Fall größer sein sollte als die Höhe der Teilchenschicht des flachen Hanges ( $H_1 > H_2$ ). D.h., dass die Menge von Teilchen in der vertikalen „Säule“ der Schicht des steileren Hanges auch größer sein sollte als in der Schicht des flacheren Hanges. Aber woher kommt dieser Überfluss der Teilchen, wenn angenommen wurde, dass die Akkumulation in jedem Punkt gleich ist (jedem Punkt kommt die gleiche Menge von gleichen Teilchen zu)? Er kann überhaupt nicht entstehen. Es ist klar, dass Fall 3 nicht möglich ist.

Nehmen wir an, dass bei gleichem Typ der Akkumulationsprozesse die Hanghebung nicht parallel läuft. Die Lage unserer beiden Sedimenthänge kann sich geometrisch nach 3 Varianten verändern (Abb. 4.26, die Fälle 4, 5 und 6). Sind diese Veränderungen bei der gegebenen Akkumulation möglich? Nein.



Im Fall 4 ist für die Transformation des oberen steilen Hanges in einen noch steileren Hang und des unteren flacheren Hanges in einen noch flacheren Hang die Entstehung der Denudation notwendig (aber man darf das nicht zulassen). Außerdem ist auch der größere Zufluss der Teilchen auf beide Hänge als im Bereich ihrer Verbindung notwendig, was unter den angenommenen Bedingungen auch unmöglich ist.

Im Fall 5 ist eine Transformation des oberen steileren Hanges und des unteren flachen Hanges in noch steilere Hänge nicht zulässig, sonst entsteht die Denudation auf ihren höher liegenden Teilen. Dabei wird ein Zufluss der größeren Menge der Teilchen für jeden höher liegenden Punkt notwendig, was nicht zulässig ist.

Im Fall 6 ist eine Umwandlung des oberen steileren Hanges in noch flachere Hänge unmöglich, wenn angenommen wird, dass die Akkumulation in jedem Punkt des SR gleich ist. Aber wenn sie nicht gleich ist, so ist die ähnliche Transformation der Hänge möglich und sie verletzt die Gesetze der Akkumulation nicht. Man muss bemerken, dass der Fall 6 beim Wechsel des Typs des Akkumulationsprozesses zu einem intensiveren Prozesstyp zulässig ist, z.B. beim Wechsel der limnischen Akkumulation zur dynamisch stärkeren fluviatilen Akkumulation. Dasselbe kann man von dem Fall 6a behaupten, der unter verschiedenen Bedingungen realisiert werden kann, z.B. bei unterschiedlicher Größe der Teilchen (die größten akkumulieren sich im Bereich der Verbindungspunkte), bei drastischer Verkleinerung der Geschwindigkeit des Treibmediums, bei großem Unterschied der Steilheit der benachbarten Hänge usw. Das sind komplizierte Varianten der Wirkung der Akkumulation, die dem festgestellten Gesetz nicht widersprechen, sondern seinen Verlauf in realen Naturbedingungen präzisieren.

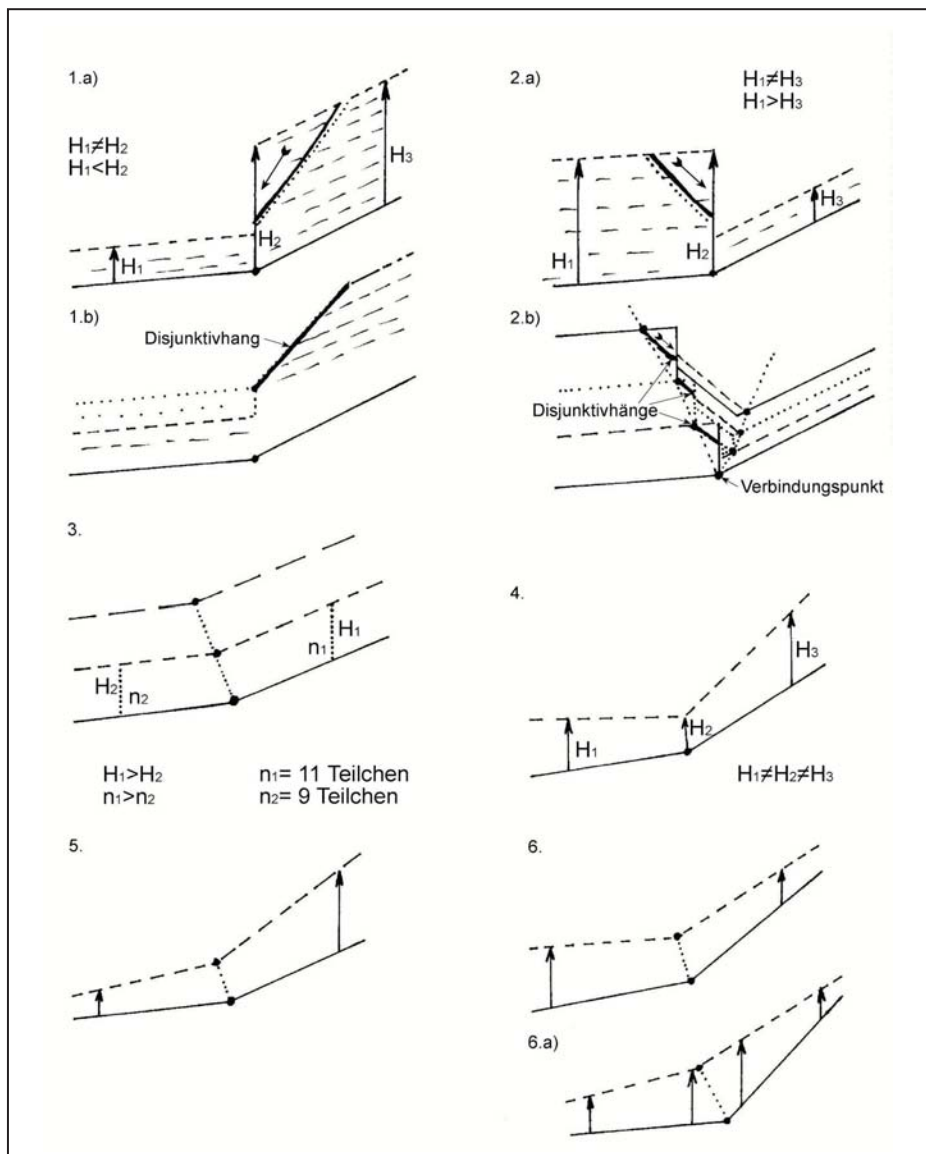


Abb. 4.26: Profilmodelle unmöglicher Varianten der Entwicklung von Sedimenthängen unter Bedingungen ununterbrochener Akkumulationsprozesse (Erklärung im Text)

Alle geometrischen Varianten der Kinematik des SR unter der Bedingung gleichartiger Akkumulation betrachtet, kann man theoretisch nur zu einer richtigen Variante kommen: die **Hangverlagerung des SR geschieht nur als gleiche vertikale Erhöhung aller seiner Punkte**. Nur eine solche Kinematik entspricht dem angenommenen axiomatischen Status des SR und der Akkumulationsprozesse sowie den allgemeinen Gesetzen der Erhaltung von Energie und Masse, der Statik und Kinematik.

Dieses Gesetz ist, im Prinzip, dem 1-en Newtonschen Gesetz der Mechanik (gleichmäßige Bewegung der Körper) analog und führt zur Fähigkeit der Sedimenthänge im Laufe der Entwicklung ihre ursprüngliche Form (Neigung, Exposition und dadurch die Struktur des SR) zu erhalten. Das SR ändert seine Lage im Raum und bleibt dabei sich selbst ähnlich (aber nicht gleich). Dabei müssen die „Verbindungspunkte“ (Linien) von Sedimenthängen unter Bedingung einer stetigen Akkumulation nur vertikal nach oben verlagert werden. Die Verbindungspunkte und Nahtpunkte sind nach ihrem kinematischen und physikalischen Verhalten prinzipiell unterschiedlich, aber sie können sich in einander umwandeln, wenn sich die Prozesse der Hangentwicklung austauschen. Wenn die Akkumulation z.B. aufhört und die Hänge von der Denudation angegriffen werden, dann müssen ihre Verbindungspunkte sich wie Nahtpunkte verhalten (siehe Kapitel 4.2.6). Auch die Nahtpunkte müssen sich wie Verbindungspunkte verhalten, wenn auf Disjunktivhängen eine Akkumulation beginnt (z.B. Entstehung eines Stausees im Gebirge).

Unter realen Bedingungen sind die Akkumulationsprozesse verschiedenartig und verlaufen unterschiedlich intensiv. Deswegen können sie auf jedem Profil des Georeliefs mit verschiedener Geschwindigkeit laufen, was eine unvermeidliche Erscheinung der „plikativen“ (ohne Beschnitte), im Grundriss gebogenen „Deformationen“ der Verbindungslinien und die Entstehung der Morphokomplexe (Gemenge von Sedimenthängen gleicher Genesis) des SR im Laufe seiner Entwicklung erklärt. **Im Vergleich zum DR ist die Entwicklung des SR bei der Wirkung der Akkumulation entgegengesetzt gerichtet und zwar: statt der Verlagerung der Hänge ins Gesteinsinnere läuft die Hangerhöhung und deswegen der laterale Vorstoß (Überdeckung) des SR auf das DR (Abb. 4.27).**

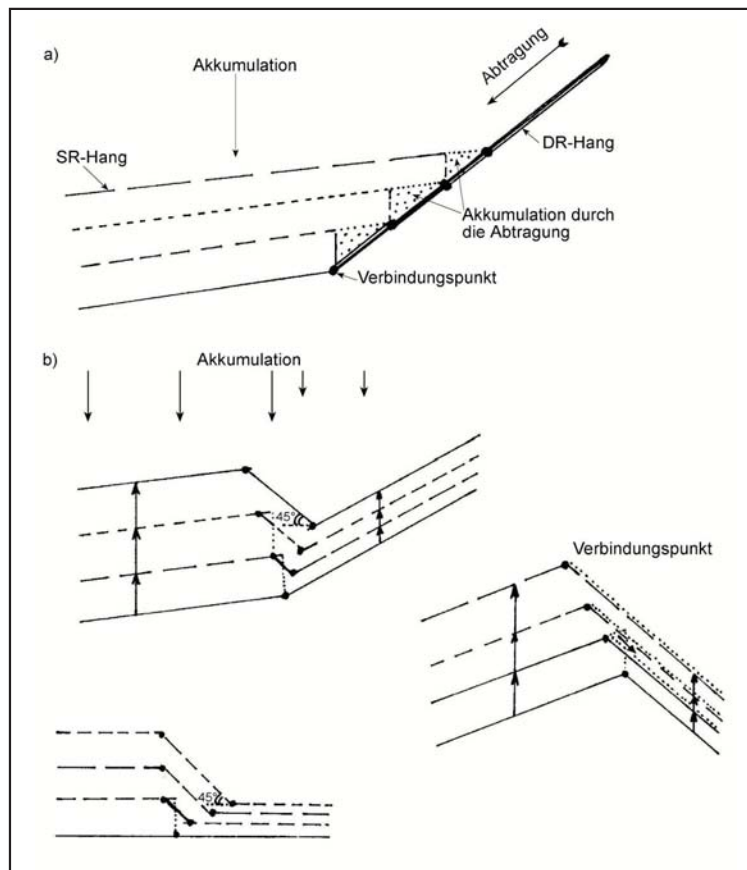


Abb. 4.27: Profilmmodelle der räumlichen lateralen Verschiebung der Verbindungspunkte von Sedimenthängen bei unterschiedlicher Geschwindigkeit der Akkumulationsprozesse (b), oder beim Kontakt mit einem Disjunktivhang (a)

Man muss aber präzisieren, dass die vertikale Verlagerung (Erhöhung) der Sedimenthänge überhaupt nicht zur gleichzeitigen horizontalen Verschiebung der Punkte dieser Hänge führt, wie es scheinen könnte. Diese Verla-

gerung ist keine laterale Verschiebung der Punkte, sondern eine Verlagerung der Deckungsgrenzen oder Verbindungslinien der Sedimenthänge, wenn sie mit den Hängen des DR verbunden sind oder unter Bedingungen der ungleichen Akkumulation stehen (Abb. 4.27, a, b). Ebenso ist die laterale horizontale Verlagerung der Punkte der Hänge des DR keine gleichzeitige vertikale Verlagerung, wie es scheinen könnte. Sie ist auch nur eine Verlagerung der Grenzen (Nahtlinien, Einschnittlinien) der Disjunktivhänge, wenn sie mit Hängen des SR verbunden sind oder unter Bedingungen der ungleichen Denudation stehen.

2. Zweites Gesetz: **Auf steileren Hängen wird immer eine kleinere Dicke (Da) des Gesteinmaterials akkumuliert als gleichzeitig auf flacheren Hängen, wobei die Dicke proportional dem Kosinus der Hangneigungstärke ist.** Anders gesagt, je steiler der Hang ist, desto kleinere Schichtdicke von Sedimenten bei sonst gleichen Bedingungen wird akkumuliert. Dieses Verhältnis kann mit der Formel

$$D_a = H \cdot \cos \alpha$$

beschrieben werden, wobei H - die Größe der vertikalen Erhebung bei der Akkumulation,  $\alpha$  - der Winkel der Hangneigung und  $D_a$  - die wahre Mächtigkeit der Sedimentschicht ist (**sie ist der Abstand zwischen der oberen und unteren Grenzfläche der Schicht, senkrecht zur oberen Grenze**). Dieses Gesetz ist die logische und geometrische Folge des ersten Gesetzes. Die Beweisführung der Formel ist einfach, der Formel des zweiten Gesetzes der Denudation analog und wird leicht mit dem Profilmodell als reine geometrische Lösung erbracht (Abb. 4.25).

Auf dem rechtwinkligen Dreieck **LHD**, welches die Strecken **H** (vertikale Hangerhöhung), **L** (Hangsoberfläche am Ende) und **Da** (wahre Mächtigkeit der akkumulierten Gesteinsschicht) ausbauen, und zwar unter dem Neigungswinkel  $\alpha$  zwischen den Strecken D und H und unter dem rechten Winkel ( $90^\circ$ ) zwischen den Strecken L und  $D_a$ , ist eindeutig zu sehen, dass das quantitative Verhältnis zwischen D/H dem Kosinus  $\alpha$  gleich ist:

Daraus folgt, dass die Schichtdicke das Produkt von Kosinus des Neigungswinkels des Hanges  $\alpha$  und von der Größe der vertikalen Hangerhöhung (**H**) ist:

$$D = H \cdot \cos \alpha$$

Bei der Neigungsstärke  $0^\circ$  ist **D = H**, weil  $\cos 0^\circ = 1$  ist. Bei der Neigungsstärke  $\sim 90^\circ$  ist D immer sehr klein (fast 0), obwohl H sehr groß sein kann (mehrere hundert Meter), weil  $\cos \sim 90^\circ = \sim 0$  ist. Um einen Hang um die Strecke von 100 m zu erhöhen, ist es z. B. notwendig, die 100 m starke Gesteinsschicht zu akkumulieren, wenn sein Hangwinkel etwa  $0^\circ$  ist; beim Hangwinkel von  $60^\circ$  sind dafür schon 50 m ausreichend, aber beim Hangwinkel von  $89^\circ$  nur etwa **17 cm**.

Zwei unter einander liegende, unterschiedlich geneigte benachbarte Sedimenthänge vergleichend, kann man eindeutig feststellen, dass bei ihren gleichen, wegen Akkumulation erhöhten Strecken ( $H_1 = H_2$ , was das erste Gesetz der Akkumulation unter Erhaltung des Status des SR erfordert) doch unterschiedlich starke Gesteinsschichten akkumuliert werden müssen, weil ihre Neigungsstärken unterschiedlich sind. Bei  $\alpha_1 > \alpha_2$  muss  $D_1 < D_2$  sein, und zwar entsprechend dem Verhältnis von Kosinussen ihrer Neigungsstärken, was bereits erklärt wurde.

Das zweite Gesetz ergänzt das erste Gesetz. Es präzisiert das erste und schafft beim Wechsel des Typs der Akkumulation die Möglichkeit für die schnellere Erhöhung (Voranschreiten) der oben liegenden flacheren Hänge ohne Verletzung des Status des SR. Dabei werden üblicherweise die „deckenden Diskordanzen“ geschaffen. **Die Diskordanz im SR (Überdeckung) ist der Abschnitt des lokalen Voranschreitens (Vorstoß) der oberen, schneller wachsenden Sedimenthänge auf niedriger liegende Hänge.**

Dabei wird das Voranschreiten (Überdeckung) der schneller wachsenden Sedimenthänge auf benachbarte Hänge durch die Entstehung eines Sedimenthanges mit einer Steilheit von etwa  $45^\circ$  (natürliche Haldenneigung) an ihren Grenzen verwirklicht, der den benachbarten Hängen entgegengesetzt ist. Die Hanghalde wächst und erweitert ihre Grenzen auf Kosten beider benachbarter Hänge und verschiebt ihre Verbindungspunkte in entgegengesetzte Richtungen (Abb. 4.27, b). Wenn ein Sedimenthang wächst und in Verbindung mit einem höher liegenden Disjunktivhang steht, so schreitet der Sedimenthang auf den Disjunktivhang parallel zu sich vor. Dieser Sedimenthang vergrößert seine Höhenlage, Länge und Breite. Eine detaillierte Kinematik dieses Prozesses wird auf dem Profilmodell veranschaulicht (Abb. 4.27, a), wo die geometrischen Beweise dieses Prozesses deutlich erkennbar sind. Genau solche geometrischen Verhältnisse der Hänge des SR und DR werden vielfach durch geologische Beobachtungen der stratigraphischen Diskordanzen geologischer Körper bewiesen (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976; u.a.).

3. Drittes Gesetz: **Auf einem Akkumulationsbereich (Profil) dürfen seine höher liegenden Sedimenthänge (Profile) im Akkumulationsverlauf nicht schneller erhöht werden als die darunter liegenden.**

Anders gesagt, die Größe der Akkumulation auf höher liegenden Hängen darf nicht größer als auf unten liegenden Hängen sein. Sonst entsteht ein vertikaler Hang und seine Denudation an ihren Grenzen, was dem Status des SR und den Bedingungen unserer Aufgabe widerspricht (die Beweisführung dieses Gesetzes ist der Beweisführung des ersten Gesetzes der Akkumulation analog). Das dritte Gesetz präzisiert die Wirkung der beiden ersten Gesetze der Akkumulation. Es neutralisiert die Ungleichheiten der Wirkung der äußeren Umweltfaktoren im SR.

Es ist offensichtlich, dass auf den Abschnitten des SR, wo diese Gesetze verletzt werden, sofort Disjunktivhänge entstehen und die Denudation beginnt (Abb. 4.26). Die Entstehung der Disjunktivhänge wird von der Vielfalt der Morphostruktur, von der Vergrößerung der Steilheit der Hänge und von der ungleichmäßigen Dynamik der Akkumulation vorherbestimmt, was von der ungleichmäßigen Einwirkung der Triebkräfte und von ungleicher Größe der Stoffteilchen hervorgerufen wird. Aber was passiert mit dem SR, wenn die Akkumulation aufhört? Die Antwort ist einfach und klar: sofort beginnt hier die Denudation und wird die Kompaktion der Sedimente fortgesetzt. Sollen sie, theoretisch gesehen, auch gesetzmäßig laufen? Ja, ohne Zweifel! Die Gesetze der Denudation und Transformation, die im Kapitel 4.2.3. formuliert und bewiesen wurden, gelten genauso für die denudative Entwicklung des SR, deswegen braucht man diese Gesetze nicht zu wiederholen. In Bezug auf das SR muss man die Gesetze der Verdichtung der Sedimente (**Kompaktion**) und des Verhaltens der Sedimenthänge unter Einwirkung der Kompaktion der Sedimente formulieren.

Im Kapitel 4, „Allgemeine Bemerkungen“ wurde bereits betont, dass jeder Abschnitt der Erdoberfläche und Erdkruste von der verschiedenen Einwirkung der Schwerkraft und der Umweltmedien nicht verschont bleibt. Das gilt wohl auch für die Sedimente und ihr Relief. Sie müssen diese Kräfte an sich anpassen und sich ändern. Dies wird zahlreich durch die Beobachtungen gegenwärtiger geologischer Erscheinungen bestätigt sowie durch Experimente (Kurs Allgemeiner Geologie 1976; u. a.). Allgemein ist schon lange bekannt, dass die oberen Sedimentschichten locker, luft- und wasserhaltig und sehr porös sind. Die Porosität beträgt in lockerem Sand etwa 48-17% des Sedimentvolumens, im Löß – 59-35%, im Schluff – 90-23%, im Ton – 55-28%, in einigen Effusivgesteinen – bis 50-60% (SORIN, 1977; SERGEEW, 1978). So eine große Porosität wird durch die unterschiedliche Form der Gesteinsteilchen bedingt sowie durch den relativ kleinen Druck und die niedrige Temperatur, welche auf Sedimente an der Erdoberfläche ausgeübt werden. In Akkumulationsbereichen werden tiefer liegende Sedimentschichten wegen zunehmender Belastung von oben immer größerem Druck eingesetzt und dadurch werden immer mehr Poren zwischen den Teilchen zugeedrückt, sowie Gase und Grundgewässer ausgepresst. Als Folge dessen wird die Dicke der Schichten immer kleiner und die Verdichtung der Sedimente läuft ab (Gesteinteilchen bewegen sich zusammen nach unten). Deswegen nimmt die Porosität in unten liegenden Schichten ab, wobei je tiefer sie sich befinden, desto dichter und fester werden die Sedimente. D.h. also, dass die Sedimente nach ihrer Entstehung ständig dem Prozess der Verdichtung (Kompaktion) unterworfen werden.

Es gibt zwei Hauptarten von Poren in Sedimenten:

1. Poren zwischen Mineral- und Gesteinbruchstückchen unterschiedlicher Form. Bei gleichen kugelförmigen Teilchen beträgt ein minimales Porenvolumen etwa 25,9% des Sediments. Bei maximal undichter „Verpackung“ erreicht ihr Volumen 47,6% (SERGEEW, 1978).
2. Poren als Hüllen aus dem hygroskopisch gebundenen Wasser um jedes Gesteinteilchen (PENCK, 1924, SERGEEW, 1978). Die Dicke dieser Wasserhülle beträgt etwa 1 µm (SERGEEW, 1978). Ihr Volumenanteil im Sediment hängt von Korngröße der Gesteinteilchen ab. Je feiner die Teilchen sind, desto größer ist der Volumenanteil des hygroskopisch gebundenen Wassers im Sediment (bis 15-60%).

Die Kompaktion der Sedimente wird von vielen empirischen Daten bestätigt (BADJUKOWA & LUKJANOWA, 1976; SERGEEW, 1978; u.a). Leider schenkt man diesem Prozess in der Geomorphologie noch zu wenig Beachtung, obwohl alle Sedimente der Kompaktion unterworfen sind oder werden, und zwar unterschiedlich. Das hängt von der Belastungsstärke und von der Lithologie der Sedimente ab. Das Geröll und Schotter werden ziemlich wenig verdichtet, Sande dagegen viel mehr, sehr stark betrifft dieser Prozess den Ton und am stärksten den Torf. Die Geschwindigkeit der Kompaktion von Sedimenten beträgt durchschnittlich etwa 0,1 - 2 mm/Jahr und erreicht unter bestimmten Voraussetzungen bis 10 - 30 cm/Jahr. Schwach verdichtbare Sedimente (Grobgeröll) haben unter dem Druck von 0,3 Mpa (etwa 3 Atmosphären) einen **Kompaktionsmodul** weniger als 1-2 mm/m, stark verdichtbare Sedimente (Schluff, Lehm, Ton) – mehr als 60-80 mm/m (SERGEEW, 1978). Das heißt z.B., dass eine Schluffschicht etwa 10 m stark, überlagert von Sedimenten von 15 m stark, innerhalb einer Zeit um 60 cm verdichtet wird. Das ist ziemlich viel und kann eine beachtliche Auswirkung in der Natur haben.

Die Kompaktion ist also ein ständig wirkender Prozess im Erdinneren. Wenn hier nur dieser Prozess gewirkt hätte, dann hätte die Erde das Streben, sich zu einem Punkt zu verdichten. Dagegen wirkt ein gegensätzlicher Prozess, der zur Ausdehnung und Auflockerung des Erdinneren (**Dekompaktion**) führt. Das geschieht durch die Gesteinschmelzen, Gesteinverwitterung, tektonische Kataklyse und Hebungen usw. Z.B. ist in Hebungsbereichen das

Volumen der Klüftung in Gesteinen manchmal größer als Gesteinvolumen dicht (RESANOW, 1975). Diese Lockerung der Gesteine entsteht durch ihre Entlastung von oben liegenden Gesteinsschichten (SERGEEW, 1978; SCHUMILOV, 1981) und auch durch ihre Verwitterung an der Erdoberfläche. Aufgrund von Verwitterung nimmt das Gesteinvolumen durchschnittlich um 51% zu (WOJTKEWITSCH & SAKRUTKIN, 1976).

Im Prinzip wird das Erdinnere also auf zweierlei Art und Weise entwickelt: 1. durch die Auflockerung (Dekompaktion) der Gesteine in einigen Bereichen; 2. durch die Verdichtung (**Kompaktion**) der Gesteine in anderen Bereichen. Diese Prozesse sind immer räumlich getrennt, weil **dort, wo Dekompaktion erfolgt, gleichzeitig keine Kompaktion sein kann**. Das ist eines der wichtigsten Axiome der Geologie. Es führt uns zur Zulassung der Aufteilung des Erdinneren in zwei gegensätzliche Bereiche (Dekompaktion bei vulkanisch-magmatischen Hebungsprozessen und Kompaktion bei sediment-metamorphischen Senkungsprozessen). Diese Bereiche sind immer voneinander getrennt, aber sie stehen funktional und proportional im Zusammenhang, und zwar: **die Verstärkung der Kompaktion in den Senkungsbereichen des Erdinneren führt zur gleich großen Dekompaktion in den Hebungsbereichen und umgekehrt**. Das ist auch ein wichtiges Axiom der Geologie, das sich auf das „Gesetz der Erhaltung der Masse und Energie“ stützt. Diese Funktion wird immer wirksam, weil die Erde ein geschlossenes System ist, dessen Stoff verschiedene Umwandlungen und Bewegungen haben kann, aber immer im Rahmen dieses Systems bleibt (Abb. 4.1). Obige Prozesse haben natürlich eine Auswirkung auf die Entstehung und Entwicklung des Georeliefs. Dabei sind die Sedimenthänge vor allem der Kompaktion unterworfen, die auch gesetzmäßig abläuft.

Durch die Kompaktion der Sedimentschichten geschieht das Absinken der Erdoberfläche im Bereich der Sedimenthänge. Warum muss die Erdoberfläche bei der Kompaktion der Sedimentschichten immer sinken? Wenn also die Poren innerhalb von Gesteinteilchen einer Sedimentschicht zugeschlossen werden, dann verschwindet auch der vertikale Abstand zwischen den Teilchen (jedes Teilchen „fällt“ auf benachbartes, unten liegendes Teilchen) und dadurch verringert sich die vertikale Schichtdicke insgesamt. Somit verlagert sich die Erdoberfläche dorthin, wohin die obersten Gesteinsteilchen absinken, und erhält damit eine neue Lage im Raum. Die Strecke der Verlagerung der Erdoberfläche ist der Größe der verringerten Gesteinsschichtdicken gleich (Abb. 4.28). Die Kinematik der Änderung der Lage von Sedimenthängen wird ausreichend mittels zweier Gesetze beschrieben.

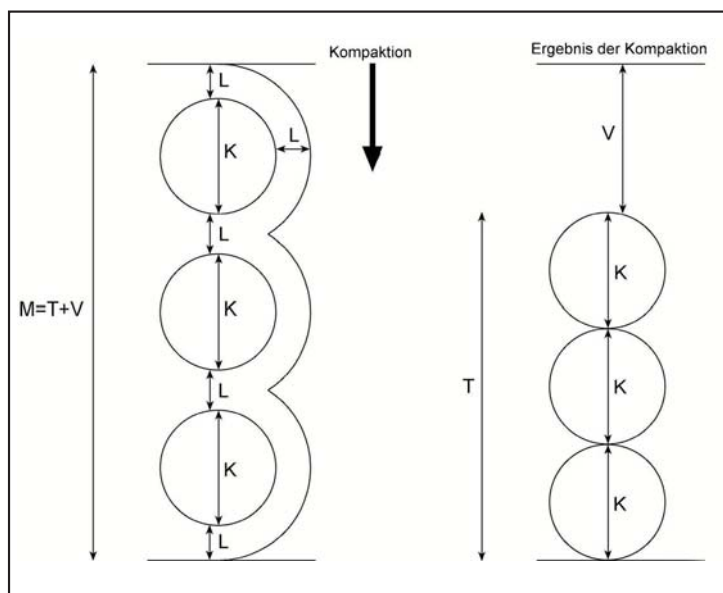


Abb. 4.28: Einfaches Modell der Kompaktion einer Säule von Gesteinsteilchen (K) (Erklärung in Text)

#### 4. Viertes Gesetz: **Das vertikale Absinken des SR bei der Kompaktion seiner Sedimente ohne Verletzung des Status als SR ist nur bei gleichem vertikalen Senkungsbetrag an jedem Punkt möglich.**

Wenn dieses Gesetz nicht erfüllt wird, d. h. ein Punkt des Sedimenthanges senkt sich um eine kleinere Strecke als andere Punkte, so entsteht an diesem Punkt ein vertikaler Hang, der sofort der Zerreiung und Denudation unterworfen wird (Abb. 4.29). Dadurch entstehen ein Disjunktivhang und eine Diskordanz zu den Sedimentschichten, und in diesem Bereich verliert das SR sofort seinen axiomatisch bestimmten Status. **Das darf nicht geschehen, weil bezüglich des Status des SR angenommen wurde, dass die Sedimenthänge überall konkordant zu den Sedimentschichten bleiben müssen**. Damit die Hänge ihre Konkordanz zu den Sedimentschichten erhalten können, muss das Absinken aller Hangpunkte genau gleich sein, damit zwischen diesen Punkten kein Unterschied des Betrages ihrer vertikalen Verlagerung entstehen kann. Nur bei dieser Kinematik kann der angenommene Status

des SR erhalten bleiben. So ist der einfachste formal-logische Beweis dieses Gesetzes, das auch mathematisch (geometrisch und arithmetisch) durch den Vergleich der Größen der von diesen Punkten nach unten verlegten Strecken leicht zu beweisen ist (Abb. 4.27).

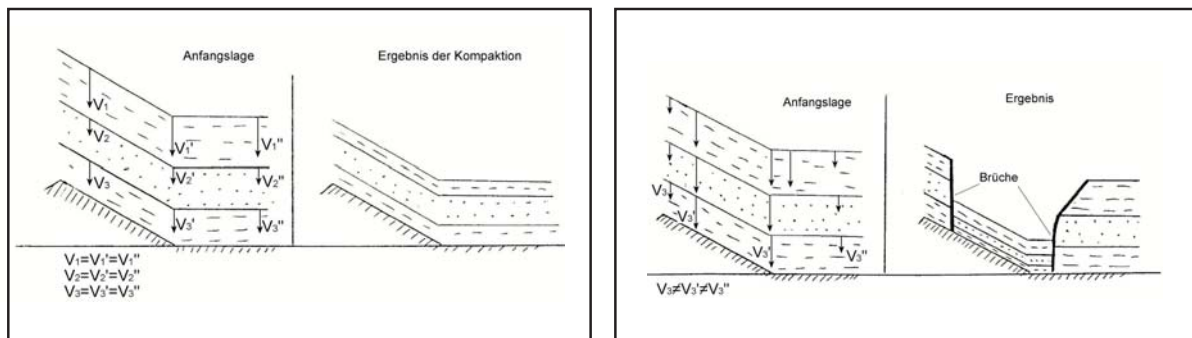


Abb. 4.29: Profilmodelle der Kinematik der Kompaktion: A). Kinematik der Kompaktion nach 1. und 2. Gesetz; B). Ungleiche Kompaktion und Entstehung der Abbruchswände

Dieses Gesetz ist auch im Prinzip dem 1-en NEWTONSCHEN Gesetz der Mechanik (gleichmäßige Bewegung der Körper) analog und **führt zur Fähigkeit der Sedimenthänge im Laufe der Entwicklung ihre ursprüngliche Form** (Neigungsstärke, Exposition und dadurch die Struktur des SR) **zu erhalten. Das SR ändert seine Lage im Raum und bleibt dabei ähnlich** (aber nicht gleich) **zu sich selbst**. Unter realen Bedingungen sind die Kompaktionsprozesse verschiedenartig und verlaufen entsprechend den Gesteinstypen unterschiedlich intensiv. Deswegen können sie in Gemengen von Sedimentschichten mit verschiedener Geschwindigkeit ablaufen, was die lokale Erscheinung der „plikativen“ (ohne Störung) „Deformationen“ der Schichtenoberflächen und der Morphokomplexe des SR im Laufe seiner Entwicklung erklärt.

5. Fünftes Gesetz: **Die Größe des vertikalen Absinkens ( $V_p$ ) der Punkte des SR hängt von der mittleren Korngröße ( $K$ ) der Gesteinsteilchen und von der vertikalen Mächtigkeit ( $M$ ) aller zu diesem SR konkordanten lockeren Schichten ab** und ist für die einzelne Schicht mit der Formel:

$$V_p = M \left( \frac{L}{K + L} + \frac{N}{100\%} \right)$$

allgemein definiert, wobei  $L$  die Dicke des mit den Teilchen verbundenen Wassers (ungefähr 1 Mikrometer) ist und  $N$  - die Porosität (von 0,4 bis 90%) der Sedimente. Die theoretische Beweisführung dieses Gesetzes geht von dem Aufbau der Sedimentschicht (als Gemeinde vertikaler Säulen aufeinander liegender Teilchen mit Wasserhüllen dazwischen) und von der bereits belegten Kinematik der Kompaktion aus (Abb. 4.28). Die Verringerung der vertikalen Schichtmächtigkeit ( $V_p$ ) ist die Summe ihrer Verringerungen wegen Verdichtung der Poren ( $V_n$ ) und wegen Auspressens des hygroscopischen Wassers ( $V_w$ ):  $V_p = V_n + V_w$

Die Verringerung der vertikalen Schichtmächtigkeit wegen Auspressens des hygroscopischen Wassers ist proportional zur Mächtigkeit der Wasserhülle um die Teilchen herum ( $L$ ) und zur Teilchenanzahl, die die vertikale Mächtigkeit der Schicht zusammensetzt. Die Teilchenanzahl ( $n$ ) kann mittels Daten von der vertikalen Mächtigkeit der lockeren Schicht und von der mittleren Korngröße der Teilchen ( $K$ ) berechnet werden:

$$n = \frac{M}{K + L}$$

Die Verringerung der vertikalen Schichtmächtigkeit ist das Produkt von der Teilchenanzahl und der Dicke der Wasserhülle um die Teilchen herum, also:

$$V_w = n \cdot L; \text{ oder } V_w = \frac{L \cdot M}{K + L}$$

Die Verringerung der vertikalen Schichtmächtigkeit wegen Verdichtung der Poren ist als Produkt von der vertikalen Mächtigkeit der Schicht und von dem Verhältnis der Porosität (%) zu der vertikalen Mächtigkeit der Schicht (angenommen als 100%) zu berechnen. Dieses Verhältnis ist ein Maß für den Anteil (Quotient) des (möglichen) Verdich-

tungsbetrages, bezogen auf die ganze vertikale Mächtigkeit der Schicht. Damit ist

$$V_n = \frac{M \cdot N}{100}$$

Die Größe des vertikalen Absinkens ( $H_p$ ) der Schichtoberfläche ist die Summe beider Arten des Verdichtungsbeitrages des Sedimentes:

$$V_p = V_n + V_w, \quad \text{oder} \quad V_p = \frac{L \cdot M}{K + L} + \frac{M \cdot N}{100} = M \left( \frac{L}{K + L} + \frac{N}{100} \right), \quad \text{was zu beweisen war.}$$

Üblicherweise sind Sedimenthänge von mehreren Sedimentschichten unterlagert, deswegen müssen die Absenkungsbeträge aller Sedimentschichten (1, 2, 3, ... i) in Betracht und Berechnung kommen:

$$V_p \text{ gesamt} = V_{p1} + V_{p2} + V_{p3} \dots + V_{pi}$$

Diese Formeln lassen das theoretisch mögliche Absinken des SR, die Kompaktion der Sedimente und eine theoretisch mögliche Mächtigkeit der Sedimente in „absolut“ dichtem Zustand berechnen. Das vierte und das fünfte Gesetz gelten auch für die Sedimente.

Die Entwicklung des SR verläuft also nach diesen Gesetzen und auch nach Gesetzen des DR, wenn die Sedimenthänge der Denudation unterworfen werden, z.B. wegen Hebung der Gelände.

Es ist offensichtlich, dass in Bereichen des Erdinneren, wo die Gesetze der Kompaktion der Sedimentgesteine wegen unterschiedlicher geologischer Struktur, Druckbelastung usw. verletzt werden, sofort eine Dekompaktion entsteht. Die Ausdehnungen in Gesteinen (Poren, Höhlen, Störungen) müssen dabei von Gasen, Lösungen und Schmelzen aufgefüllt werden. Dadurch entstehen Gesteine anderer Arttypen (Magmatite, Migmatite, Metasomatite, Gänge, Subvulkanite usw.), die immer junger als diese Sedimente und immer diskordant zu ihnen sind (Abb. 4.1). Theoretisch ist es möglich, dass in einer bestimmten Tiefe die Einwirkung der Kompaktion die Haltbarkeit der Gesteine überschreitet. Durch diese Zerstörung bekommen sie eine neue (flexible) Struktur und einen neuen Zustand (Schmelzen), was im Prinzip der Dekompaktion entspricht. So einen Zustand besitzt die sogenannte Astenosphäre, die im Erdinneren tiefer als 40-50 km liegt (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976). Bei der zeitlich und räumlich ungleichmäßigen Einwirkung von den Gravitationskräften ist der halbgeschmolzene und relativ leichte Stoff der Astenosphäre fähig, sich nach oben zu drängen und damit regionale Hebungen der Erdoberfläche zu schaffen. Dies verursacht eine drastische Verstärkung der Denudation von Hebungsbereichen und gleichzeitig eine gleichwertige Zunahme der Akkumulation in benachbarten Senkungen, was wieder in diesen benachbarten Bereichen die Kompaktion und die Dekompaktion im Erdinneren fördert. Damit wird ein geschlossener Gesteinskreislauf geschaffen (Abb. 4.1), dessen Intensität von Gravitationskräften gesteuert wird.

#### 4.3.3. Empirische Beweise der Gesetze der Akkumulation

Die Akkumulation der Gesteinsteilchen geschieht vor allem in Punkten der Niederungen, in Verbindungspunkten, an den Denudationsbasen. Unmittelbare Beobachtungen zeugen davon, dass sie bei verschiedenen Bedingungen und Medien unterschiedlich abläuft. Es ist bekannt (Kurs Allgemeiner Geologie 1976; u. a.), dass der Ablauf der Akkumulation bei sonst gleichen Bedingungen von der Steilheit der Hänge und von der Menge und Größe der zukommenden Gesteinsteilchen abhängt. Je flacher der Hang ist, desto mächtiger ist die Sedimentschicht, die sich in einer Zeiteinheit anhäufen kann, wobei sich die lockeren Sedimente auf Hängen steiler als eine „natürliche“ Halde (>40-45°) nicht akkumulieren können. Die Akkumulation auf sehr steilen Hängen ist nur durch besondere physikalisch-chemische und biochemische Prozesse (Kristallisation des Stoffes aus einer Lösung oder Schmelze, z.B. Travertin, Lawadecke, Bioherm) möglich.

Je größer die Gesteinsteilchen und je stärker die chemisch-physikalischen Verbindungen zwischen ihnen sind, desto schneller fallen sie aus dem Treibmedium aus. Auf steileren Hängen bleiben eher auch größere Teilchen liegen, kleinere aber können vom Treibmedium weiter transportiert werden. Je schneller sich das auf die Erdoberfläche einwirkende Treibmedium bewegt und je dichter es ist, desto größere Teilchen kann es von der Erdoberfläche abreißen und transportieren, desto größere Mengen von Teilchen kann es in seiner Volumeneinheit übertragen. D.h. auch, dass bei der drastischen Verringerung der Geschwindigkeit und Leistung des beweglichen Mediums eine größere Teilchenmenge und auch mit größerer Geschwindigkeit akkumuliert werden kann.

Das Verhalten der festen Teilchen in flüssigen, gasförmigen und, vielleicht, in plastischen (glazialen und schlammartigen) Medien folgt dem Gesetz von ARCHIMEDES (Gesetz des Auspressens der Teilchen aus dem Medium;

„Schwimmfähigkeit“ der Teilchen) und dem Gesetz von STOCKES (Gesetz des Ausfallens der Teilchen im Medium; „hydraulische Größe“ der Teilchen). Diese Gesetze kennt man aus der Schule. Man muss nur bemerken, dass die Geschwindigkeit des Ausfallens, oder, umgekehrt, des Auftauchens der Teilchen von ihrer Dichte, Größe, Form und von der Dichte und Geschwindigkeit des Mediums abhängt. **Die Geschwindigkeit des Ausfallens ist umso größer, je dichter (schwerer), runder, größer die Teilchen sind (wenn sie dichter sind als das Medium) und je langsamer sich das Medium bewegt. Die Geschwindigkeit des Auftauchens ist um so größer, je leichter, flacher und größer die Teilchen sind und je schneller sich das Medium bewegt.** Je schneller sich das Medium in laterale Richtung bewegt, desto größer wird seine Turbulenz (Wirbelbildung; Bewegungen, die in verschiedene Richtungen, vor allem nach oben gerichtet sind). Auf Kosten der Verstärkung der Turbulenz läuft die Hebung der Teilchen, bis hin zum Hinauswurf zu der Oberfläche des bewegenden Mediums oder aus dem Medium, z.B. ein Hinauswurf der Steinblöcke in die Luft aus Muren (WINOGRADOW, 1980).

Gerade die Bewegung (Transport) der Stoffteilchen geht ihrer Akkumulation an irgendeinem Ort voran. Die Form und Kinematik (Verfahren) der Bewegung des Mediums und der Bewegung der Teilchen mit diesem Medium bestimmen die Gestalt und Genesis des Sedimentreliefs. **Im Prinzip vereint die Akkumulation die Art und Weise der Bindungen der Gesteinsteilchen und die geometrischen Formen der Teilchengemenge miteinander.** Die Art und Weise der Teilchenbewegung während der Akkumulation und die Teilchenzusammensetzung bestimmen also die Struktur des Sediments und sein SR.

Diese Bindungen entstehen mit Hilfe der Schwerkraft, der Bewegung der Medien, der Änderung der Temperatur und des physikalischen Zustands der Medien, der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Teilchen. Die Teilchen verbinden sich miteinander und bilden die Gesteine, deren Form (Textur) und Zusammensetzung von den Teilchen selbst sowie von der Form und von den Verfahren ihrer Akkumulation bestimmt werden.

Es ist erstaunlich, aber es gibt ziemlich wenige Angaben von Messungen des Ablaufes und der Geschwindigkeit der Akkumulation bei unterschiedlichen Gemengen des SR, vor allem Angaben für verschiedene benachbarte Sedimenthänge fehlen. Die Geologen beschäftigen sich vor allem mit alten lithifizierten Gesteinen, die Geomorphologen und Bodenkundler schätzen vor allem die Denudation der Böden ein. Mehrjährige stationäre Beobachtungen der Akkumulationsprozesse wurden grundsätzlich nur für einige Seen und Meeresabschnitte durchgeführt. Für diese Bereiche wurden viele quantitative Daten von den Geschwindigkeiten und Besonderheiten der Akkumulation gewonnen (NALIWKIN, 1956; LISIZYN, 1974; REINEK & SINGCH, 1980; ROMANOWSKIJ, 1985; u.a.). Es gibt auch viele Daten über die Größe der Akkumulation im Laufe geologisch blitzschneller extremer Erscheinungen (Bergstürze, Muren, Überschwemmungen, vulkanische Ausbrüche usw.). Die Differenz festgestellter Geschwindigkeiten der Akkumulationsprozesse ist also sehr groß, aber diese Daten gelten oft für die Einschätzung der normalen Akkumulation nicht. Die Angaben der stationären Beobachtungen in den Seen charakterisieren Prozesse nur in Beobachtungspunkten des SR, aber nicht bezüglich den Flächen seiner unterschiedlich geneigten Hänge. Mir sind leider keine Daten aus unmittelbaren Messungen der Akkumulation bekannt, die für die empirische Bestätigung oder Widerlegung der obigen Gesetze der Akkumulation verwendbar sein könnten. Man muss die dafür notwendigen Beobachtungen und Messungen noch durchführen. Im Bereich der Festländer sind diese Untersuchungen nicht leicht zu verwirklichen wegen der Beherrschung der Denudation. Es wäre einfacher, eine Menge von Laborexperimenten über den Ablauf der Akkumulation durchzuführen. Aber das ist ein Thema für sich.

Es sind jedoch empirische Daten gewonnen worden, die die theoretisch festgestellten Gesetze der Akkumulation bestätigen. Als Beispiel dafür dienen Angaben aus einem Experiment über den Ablauf der Akkumulation auf unterschiedlich geneigten Hängen eines künstlichen Schwemmkegels. Dieses Experiment wurde beim Waschen einer Goldseife im Fernen Osten der UdSSR durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass sich **nach der Entstehung einer stabilen Form des Schwemmkegels die Gestalt der Profile seiner Hänge im Laufe der Akkumulation der lockeren Sedimentschichten nicht änderte.** „Im Ergebnis erweitern sich langsam die Hänge, die ganze Reliefform wächst in die Höhe und in die Breite, aber sie bleibt morphologisch (geometrisch) ähnlich zu sich selbst“ (POSDNJAKOW & TSCHERWANEW, 1990, S. 81).

A.W. POSDNJAKOW und J.G. TSCHERWANEW (1990) bemerken, dass der Mechanismus (Kinematik) der Akkumulation der vulkanischen (effusiven) Kegel entsprechend geologischen Daten genauso war. Es geht um einen oligozänen Vulkan auf der Insel Sachalin, der gegenwärtig einen Bergrest von etwa 120 m Höhe und 22-25° Hangneigung darstellt. Mit Hilfe geologischer Daten hat man festgestellt, dass dieser vulkanische Kegel trotz der intensiven Denudation die Ähnlichkeit seiner primären Form gut erhalten hat. **Dabei wurden die effusiven Sedimenthänge des Vulkans um etwa 1 - 2 km ins Gesteinsinnere verlagert und auch gekürzt, aber die geometrische Ähnlichkeit der Hänge ihrer primären Gestalt ist erhalten geblieben** (die primäre Gestalt der Hänge wird in Aufschlüssen der von Denudation unberührt gebliebenen Kontakte der Effusivgesteine mit anderen Gesteinen festgestellt) (POSDNJAKOW & TSCHERWANEW, 1990).



Die Einwirkung der Umweltmedien auf das SR werde ich nicht ausführlich analysieren. Man muss hier betonen: wenn die Akkumulation aufhört und das SR in den Zustand der denudativen Entwicklung übergeht, so wirkt die Umwelt auf das SR im Prinzip genauso wie auf das DR (Kapitel 4.2.5). Man kann auch eine theoretische Schlussfolgerung ziehen, dass die Hänge des SR selbst die Umwelteinwirkung für ihre geometrische Parameter so anpassen, dass sich die Möglichkeit ergibt, entsprechend den Gesetzen der Akkumulation zu wachsen und sich zu erhöhen oder entsprechend den Gesetzen der Denudation zu verlagern und sich zu kürzen. Man muss aber betonen, dass diese Schlussfolgerungen trotz ihrer Klarheit spezielle Beobachtungen und Experimente erfordern, um genauer die Akkumulationsprozesse auf verschiedenen Hängen zu ermitteln und einzuschätzen.

Die Entwicklung des SR strebt also danach, den festgestellten Gesetzen der Akkumulation zu folgen und benutzt dafür die bereits charakterisierten Verfahren. Aber es ist auch eine Verletzung oder Verkomplizierung der Wirkung dieser Gesetze möglich. Sie sind mit Änderungen und Ungleichartigkeit des Gesteinssubstrates oder der Medien, die das Georelief umringen, verbunden. Dies führt zum Erscheinen lokal deckenden Diskordanzen oder Disjunktivhänge im SR und im Endergebnis zu Verzerrungen der idealen Ähnlichkeit des SR zu sich selbst im Laufe seines Wachstums und seiner Erhebung, oder zum Erscheinen ganz neuer, nämlich steiler Hänge (Hanghalden) im SR. Diese Verzerrungen sind für die Erhaltung des Status des SR und seiner Topologie (**steilerer Hang bleibt immer steiler als die benachbarten Hänge**) nötig, wenn z.B. ein Wechsel der Typen und der Intensität von Akkumulationsprozessen auftritt.

**Beim Wechsel des Treibmediums oder der Dynamik seiner Wirkung ändert sich auch die Intensität der Akkumulation.** Diese Schlussfolgerung bestätigen empirische Daten, z.B. die Messungen der Geschwindigkeit der Akkumulation der Sedimente in verschiedenen Klimazonen.

Z.B. ist die Geschwindigkeit der Akkumulation in Eisstauseen gewöhnlich um 10-30 Mal größer als in gleich großen Seen der gemäßigten Waldzone und um 100-200 Mal größer als in gleich großen Seen der Zonen der Steppe und Halbwüste (BUTWILOWSKI, 1993; u.a.). Diese Schlussfolgerung bestätigen die Daten der Tabelle 4.4, die zeigen, dass sich die durchschnittliche Menge der Abtragung (zukünftige Akkumulation) von Einzugsgebieten der kleinen und großen Flüsse einer klimatischen Zone von einander um nicht mehr als 2-4 Mal unterscheidet. Aber die Abtragungsmengen in verschiedenen Klimazonen unterscheiden sich von einander um 10-70 Mal, wobei solche großen Unterschiede sowohl für kleine als auch für große Flüsse gelten. Das bestätigen auch die Daten der Tabelle 4.5.

#### **4.3.4. Theoretische Folgen der Gesetze der Akkumulation**

Die Akkumulation an einem Ort bedeutet auch die Einstellung der Denudation an diesem Ort. Entsprechend dem Gesetz von der Erhaltung der Masse und Energie ist das Verschwinden von etwas gleichzeitig das Erscheinen von etwas anderem. In diesem Fall, bei der Einstellung der lateralen Bewegung der Gesteinteilchen, entsteht ein neuer Stoff, dessen Inhalt und Form direkt damit verbunden ist, wofür ein Stoff und auf welche Art und Weise sich bewegt hat. Die Art und Weise der Verschiebung und die Richtung des „Teilchenstromes“ bis zum Halten dieser Teilchen ist auch die „embryonale“ Transformation dieser bewegten Teilchen und der von ihnen gebildeten Sedimente. **Es gibt nur 5 Arten davon und jede löst eine andere bei Verringerung der Energie und Dynamik der Treibmedien ab. Ihre Reihenfolge beginnt mit der lateralen Massenbewegung (Schleppen), geht dann in verschiedene Arten der lateralen Bewegung einzelner Teilchen (Saltation, Abrollen) über und endet mit Aufschütten und Auflegen der Teilchen (vertikalem Ausfallen) bei fast unbeweglichen Treibmedien.**

Ihre Charakteristik wird im nächsten Kapitel gegeben, hier aber muss man betonen, dass die Prozesse der Denudation und Akkumulation im Laufe der Transformation der Gesteinsteilchen (Sedimente) zusammen wirken, nach einem Ziel strebend: die Sedimente und ihr Sedimentrelief zu schaffen. Sie wirken auch bei der Transformation der Disjunktivhänge gemeinsam.

Bei der Transformation des Georeliefs entsteht eine unbestimmte Paradoxsituation. Gemeinsam existieren hier disjunktive und sedimentative Hänge (Kapitel 4.2.6.), die ständig ihre Form und ihre Grenzen ändern. Genauso groß (hoch) bleibt dabei nur der Raum, in dem diese Änderungen geometrischer Parameter der Hänge ablaufen. Diese unbestimmte Situation kann unterschiedlich enden. **Auf einem sich transformierenden Abschnitt des Georeliefes kann letztendlich entweder ein Sedimenthang oder ein Disjunktivhang entstehen** (d.h. nur ein Hang nimmt den ganzen Raum des Abschnittes ein). **Was aber entsteht, bestimmen tektonische Bewegungen** (Dekompression oder Kompaktion in der Erdkruste), **die die Höhenlage der Denudationsbasis für diesen Georeliefabschnitt ändern.** Wenn dieser Abschnitt tektonisch erhöht wird und seine Denudationsbasis relativ niedriger wird, so wandelt sich der gesamte Abschnitt zu einem Disjunktivhang um. Wenn sich dieser Abschnitt senkt und seine Denudationsbasis relativ höher wird, dann entsteht hier ein Sedimenthang. Wenn keine relative Höhenverschiebung des Abschnittes stattfindet, so setzt sich der Prozess der Transformation des Abschnittes fort.

Empirisch ist festgestellt (PENCK, 1924; u.a.), dass die Morphologie des SR verschiedenartig ist. Meistens ist es flach. **Aber im Laufe der stetigen Akkumulation tendiert es dazu, die Steilheit seiner Hänge zu vergrößern** (durch die Entstehung der Hanghalden). Fast vertikale Steilheit wird z.B. bei der vulkanischen Akkumulation erreicht. **Die Anwesenheit des Lockermaterials an seiner Oberfläche führt dazu, dass sich das SR geologisch schnell (blitzschnell) umbauen und seine Art und Struktur ändern, oder an einem Ort verschwinden und an einem anderen blitzschnell entstehen kann.** Die Textur der von ihm gestalteten Sedimente und die Morphologie des SR lassen die Dynamik der Akkumulation einschätzen. **Je größer und steiler die Hänge sind, je vielfältiger die Sedimenttextur und die Morphostruktur des SR sind, desto intensiver sind hier die Akkumulationsprozesse verlaufen.** Es ist bekannt, dass die subhorizontalen tonhaltigen Seeebenen, z. B. sehr viel langsamer und dynamisch schwächer akkumuliert werden als die hügelartigen steinigen Moränenebenen oder Bergstürze.

#### 4.4. Geologische Prozesse und Erscheinungen

Empirische Beobachtungen zeigen, dass sehr viele Faktoren und Medien auf das Georelief wirken. Es ist wichtig, die Vielfalt von Verfahren, Mechanismen und Prozesstypen der Georeliefentwicklung festzustellen. Wie bereits begründet wurde, gibt es zwei prinzipiell unterschiedliche Verfahrenstypen der Hangentstehung: Abbruch-Zerreißen der Gesteine (Disjunktion) und Verbindung-Anhäufung der Gesteinsteilchen (Sedimentation). Jeden Typ muss man einzeln darstellen.

##### 4.4.1. Disjunktive geologische Erscheinungen (Prozesse)

Die Kinematik der Entstehung und Transformation der Disjunktivhänge wurde bereits dargelegt. Man muss zusätzlich die genetische Vielfalt der Zerreißen-Verschiebung der Gesteine ermitteln und systematisieren. Entsprechend geologischen Daten erfolgen das Zerreißen (Störung) der geologischen Körper und die Entstehung neuer Abbruchwände im Georelief mittels Phasen-Übergängen der Stoffe im Erdinneren (z.B. Schmelzen-Erstarren, Auflösung-Kristallisation, Verdunstung-Kristallisation). Anders gesagt, sie erfolgen im

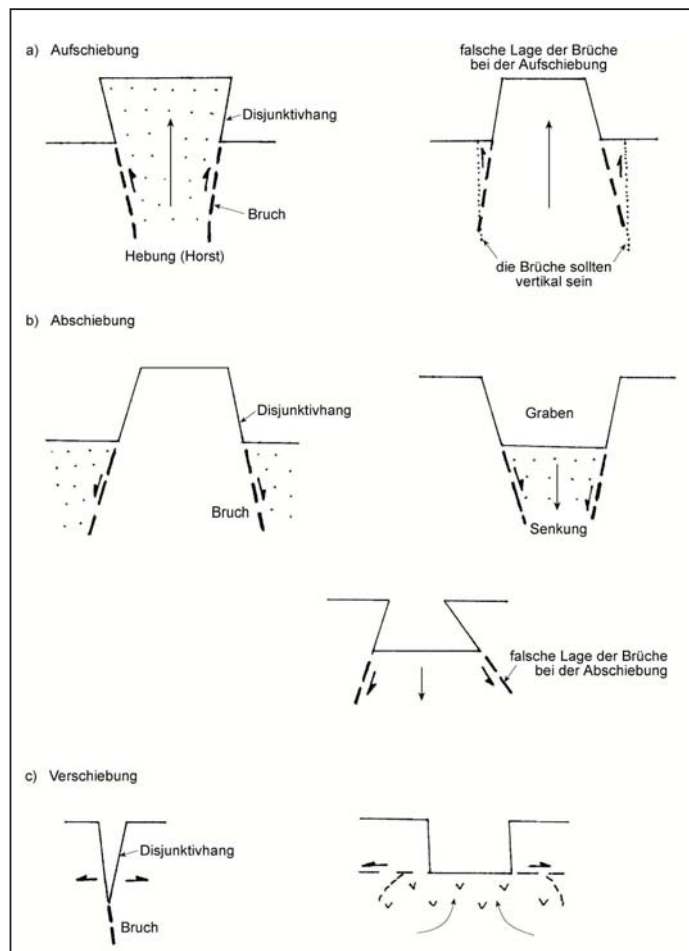


Abb. 4.30: Modelle der Kinematik der Entstehung disjunktiver Abbruchwände

Laufe der Wirkung von zwei entgegengesetzten Prozessen: Kompaktion und Dekompaktion im Erdinneren (endogen). Die Wirkung beider Prozesse ist vertikal gerichtet, deswegen sind die Neigungen der entstehenden Abbruchwände üblicherweise steiler als 40-45°, meistens sind sie subvertikal. **Die Störung entsteht dabei an den Grenzen der Abschnitte der Kompaktion und Dekompaktion.** Innerhalb des Bereiches der Kompaktion kann eine geologische Störung nicht geschaffen werden. Auch die Dekompaktion allein kann keine Störung schaffen. Hier können die Gesteine nur zerstückelt werden ohne Entstehung einer Abbruchwand im Georelief.

Die Entstehung neuer Abbruchwände (Embryos der Disjunktivhänge) an Grenzen (Randen) der Kompaktions- und Dekompaktionsblöcke wird gewöhnlich von langsamen Änderungen des physikalischen Zustandes der Gesteine verursacht. Diese Änderungen führen zu den blitzschnellen Zerreißen und Verschiebungen (**Störungen, Erdstöße**) der Gesteinsblöcke nach oben (Hebung) oder nach unten (Senkung). Solche Störungen nennen Geologen „**Aufschiebung**“ oder „**Abschiebung**“ und die ganzen Blöcke - „**Horst**“ oder „**Graben**“ (Abb. 4.30). Die Umwandlungen des Stoffzustandes, die diese Störungen hervorrufen, können **kryogen** (Eis - Wasser), **lithogen** (Salz - Ton u.a.), **pneumatogen** (Gas - Gestein), **fluviogen** (Flüssigkeit - Gestein), **magmatogen** (flüssige Magma-Lava - Gestein) sein. Dabei bleibt der Stoff, der diese Erscheinungen verursacht hat, im Erdinneren. Die vier ersten Arten dieser Erscheinungen sind auf der Erde relativ selten und klein. Die meisten Aufschiebungen, Abschiebungen, Verschiebungen sind von magmatogenen Änderungen des Stoffes im Erdinneren geschaffen. Die Verschiebungen der Gesteine im Erdinneren nennt man allgemein tektonische (**tektogene**) Störungen, jedes Mal, wenn das möglich ist, ihre Genesis präzisierend (das ist überwiegend nur für die noch nicht transformierten Abbruchwände möglich). Durch die Aufschiebungen und Abschiebungen entstehen im Georelief einzelne, sehr lange Hebungen oder Senkungen (Horste und Graben). Die Hänge dieser Hebungen und Senkungen sind nach ihrer Form und ihrem Alter unterschiedlich.

**Die Bewegungen der Gesteinmassen aufgrund der Änderung ihres Zustandes können auch sehr schnell ablaufen.** Es ist eine Explosion oder eine Höhlenbildung in der Erdkruste möglich und deswegen eine extrem schnelle Bewegung eines Erdblockes, z.B. beim Vulkanismus. Diese Erscheinungen nennt man „**Explosion**“ und „**Einsturz**“. Dabei entstandene Abbruchwände kann man als „**explosive**“ und „**eingestürzte**“ Hänge bezeichnen. Als Folge der Explosion oder des Einsturzes wird üblich ein Abschnitt des DR geschaffen, der einen einzelnen isometrischen „**Krater**“ oder eine „**Kaldere**“ und ein geschlossenes geomorphologisches System darstellt. Die Explosionen und Einstürze können auch bei kryogenen, lithogenen, pneumatogenen, fluviogenen, magmatogenen Änderungen der Erdstoffe passieren. Dabei sind die vier ersten Arten auf der Erde relativ seltene und kleine Erscheinungen. Die meisten Explosionen und Einstürze sind von magmatogenen Änderungen des Stoffes der Erdkruste geschaffen. Solche Verschiebungen der Gesteine im Erdinneren nennt man allgemein vulkanische (**vulkanogene**) Störungen, jedes Mal, wenn das möglich ist, ihre Genesis präzisierend.

Disjunktive geologische Erscheinungen (**tektogene Ereignisse**) schaffen Abbruchwände und bedingen die Entstehung der Disjunktivhänge. Tektogene Erscheinungen sind vor allem endogene Prozesse. Die disjunktiven geologischen Prozesse werden von verschiedenen Treibmedien und Faktoren (Magma, Vulkanismus, Wasser, Eis, Gas, Menschentätigkeit usw.) verursacht, aber sie geschehen immer im Erdinneren, d.h. sie sind immer **endogen**.

#### 4.4.2. Denudative geologische Prozesse und ihre geomorphologische Äußerung

Die Denudationsprozesse dagegen laufen auf bereits entstandenen Abbruchwänden und Disjunktivhängen ab, transformieren oder entwickeln sie. Man muss betonen, dass **die tektogenen Störungen geologischer Körper von allen bekannten Arten der Denudationsprozesse begleitet werden können.** Z.B. die Explosion kann von Korrosion, Korrusion, Evorsion und Kavitation begleitet werden, aber nicht diese Prozesse bestimmen die Reliefgestalt im Moment der Explosion, sondern die Explosion selbst. Es ist klar, dass tektogene Ereignisse (Prozesse) auch klassifiziert und kartiert werden sollten. Sie können aber genetisch vollständig und korrekt meistens nur für die jüngsten Abbruchwände bestimmt werden. Deswegen ist es zweckmäßig, diese Ereignisse durch die Bezeichnung der diskordanten geomorphologischen Grenzen darzustellen.

##### 4.4.2.1. Denudation durch die äußeren beweglichen Medien

Die Denudationsprozesse sind vor allem **exogene Prozesse**. Solange die Teilchen sich im Georelief in lateraler Richtung bewegen, nehmen sie an den Denudationsprozessen teil. Die Verschiebung der Gesteinsteilchen auf der Erdoberfläche läuft allgemein mittels zwei Verfahren ab: **durch Abreißen einzelner Gesteinsteilchen von beweglichen Treibmedien** (Gletscher, Wasser, Luft) und **durch die gemeinsame Bewegung einer Gesteinsteilchenmenge als bewegliches Medium** („Teilchenstrom“). Im ersten Fall werden die Teilchen von äußeren Treibmedien übertragen und werden für eine Weile ihr Bestandteil. Im zweiten Fall verlieren die Teilchen ihre Verbindung mit der Erdkruste nicht und sind immer ihr besonderer Bestandteil, der bereits als „**bewegliche Schicht**“ bezeichnet wurde.

Die Bewegung in der Art der beweglichen Schicht läuft üblich auf steilen Hängen bei Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Lockermaterials ab (bei Temperaturschwankungen, Veränderungen der Feuchtigkeit, bei seismischen Stößen). Durch diese Veränderungen verliert die bewegliche Schicht kurzfristig das Gleichgewicht und verschiebt sich nach unten um kleine oder große Strecken unter Wirkung der Schwerkraft entlang der Hangoberfläche. Dabei werden Gesteinsteilchen voneinander oder vom unbeweglichen festen Grund abgerissen. So eine Bewegung ist im Prinzip der Bewegung der Flüssigkeit analog. Sie läuft **laminar** oder **turbulent** ab und ist selbst fähig, als bewegliches Medium das Abreißen der Teilchen und die Denudation der Gesteine durchzuführen.

Beide Verfahren des Abreißens und des Transports der Teilchen können gleichzeitig auf ein und demselben Hang laufen. Das gilt vor allem für die steilen Hänge. Das Abreißen der Teilchen von Gesteinen durch die äußeren Treibmedien verläuft durch 4 Arten:

1. durch die Reibung der anderen bewegten Teilchen und durch die Reibung des Treibmediums (entsprechend den Gesetzen von NEWTON);
2. durch die Entstehung drastischer Unterschiede des Druckes um Unebenheiten des Georeliefs bei der Bewegung der Treibmedien (entsprechend dem Gesetz von BERNOULLI);
3. durch das chemisch-physikalische Abreißen (Lösung, Schmelzen, Verdunstung) der Teilchen mittels Treibmedien;
4. durch die Schläge (Kollision) anderer fallender Körper.

Empirische Beobachtungen haben gezeigt, dass die erste Art der Denudation („**Korrasion**“) die Unebenheiten der Erdoberfläche schleift, glättet und verebnet. Die zweite Art („**Kavitation**“), hingegen, reißt die Gesteinsteilchen von der Erdoberfläche ab, erhält und vergrößert sogar ihre Rauheit und Unebenheiten, genauso wie die vierte Art „**Kollision**“. Die dritte Art der Denudationsprozesse kann durch den bekannten Begriff „**Korrosion**“ bezeichnet werden. Die Korrosion wirkt auswählend, entsprechend den Eigenschaften der Gesteine (Auflösbarkeit) und ihrem Zustand (Erwärmung oder Abkühlung). Der dritte Typ begünstigt die Entstehung einzelner Gruben, Senkungen, Kessel, Restlinge usw. (Abb. 4.31).

Die Prozesse der Korrosion (Lösung und Schmelzen) sind ausreichend in geologischen Lehrbüchern beschrieben (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976). Den Mechanismus der Wirkung der Korrasion und Kavitation muss man ausführlicher aufklären, weil ihre Charakteristik in Lehrbüchern und in der speziellen geologischen Literatur nicht ausreichend dargestellt ist.

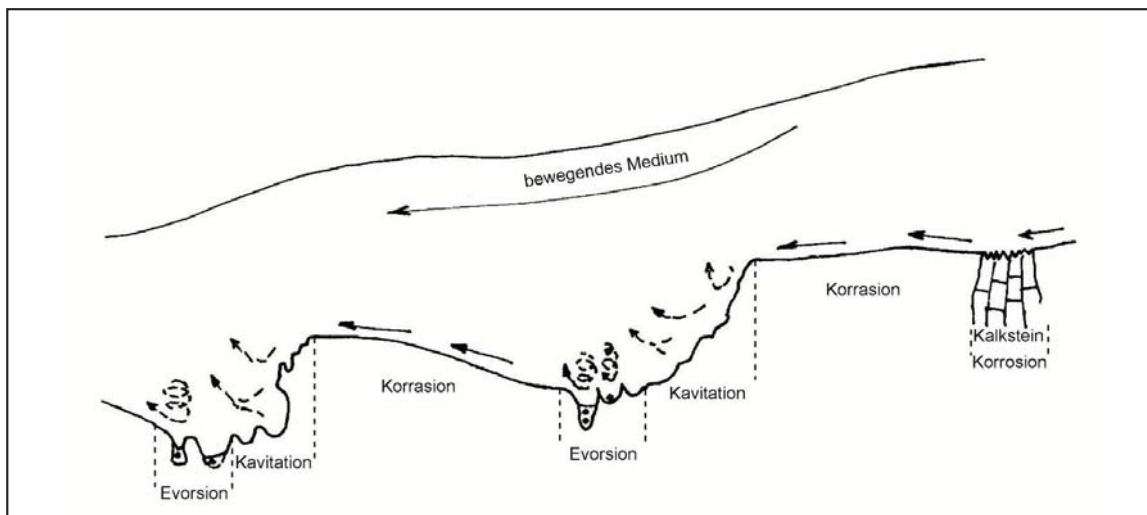


Abb. 4.31: Bewegungsformen und Wirkungsbereiche des Treibmediums an den Unebenheiten

Was geschieht an den Grenzen zwischen beweglichem Treibmedium und unebener Erdoberfläche? Ein gegen eine Unebenheit anlaufender Mediumsstrom stößt sich an der Unebenheit, gleitet an ihr entlang, weicht ihrem dem zur Bewegungsrichtung konvexen Teil aus (Abb. 4.31), gibt dabei seine Energie für die Überwältigung der Reibung um diesen Teil ab und erzeugt einen Frontaldruck (**Frontalkraft**) auf ihm. Diese Kraft besteht aus dem statischen Druck des Mediums (der der Dicke und Masse des Mediums proportional ist -  $mgh$ ) und aus der Druckkraft des Mediumsstroms gegen den Unebenheitsteil (die der Geschwindigkeit des Stromes proportional ist -  $mv^2/2$ ). In dieser Situation stehen das Treibmedium und der Unebenheitsteil in unmittelbarer physikalischer Verbindung. Sich auf der Oberfläche der Unebenheit verlagernd, kann das Treibmedium diese Bewegung ohne Reibung nicht vollziehen,

weil es ständig in starken physikalischen Verbindungen mit dem Stoff der Unebenheit kommt (Adhäsionskräfte) und sofort, genauso oft, zerreißen seine Verbindungen zu ihm, weil es sich bewegt. Dieses Verbindungszerreißen führt zum Abreißen kleiner Stoffteilchen der Unebenheit. Die Unebenheit stört die Bewegung des Treibmediums, ruft entsprechend dem BERNOULLISCHEN Gesetz eine Beschleunigung der Bewegung um sich herum hervor und damit die Verstärkung seiner Einwirkung auf die Unebenheit. **Je rauer und größer die Unebenheit ist, desto stärker sind die Geschwindigkeit, Verbindungen und die Reibung des Treibmediums an ihr, desto stärker wirkt es auf diese Unebenheit, sie wird schneller verrieben ( zerkratzt und geschliffen).**

**Im Endergebnis strebt das Treibmedium danach, die Unebenheiten zu vernichten, um bei seiner Bewegung auf der Erdoberfläche eine möglichst kleine Reibung und geringe Energieverluste zu haben.** Dieses Streben nach möglichst minimaler Ausgabe der Energie ist das allgemeine Gesetz der Wirkung von Naturprozessen. Jedes Treibmedium folgt diesem Gesetz und transformiert deswegen und dafür die geometrische Form der Erdoberfläche. Es strebt danach, die Unebenheiten (Rauheit) der Hänge zu vernichten. Die Unebenheiten selber verursachen das, weil durch sie die Bewegungen der Treibmedien immer beschleunigt werden. Diese Art der Denudationsprozesse bezeichnet man als „Korrasion“. Ihre Einwirkung ist aber nur an dem Teil der Unebenheit möglich, der entgegen der allgemeinen Bewegungsrichtung des Mediumstroms liegt (die sogenannte Windseite, „Luvhang“ der Unebenheit oder proximaler Hang) (Abb. 4.31).

Aber jede Unebenheit hat immer einen anderen Teil der Oberfläche, der von ständigem frontalem „Einfließen“ des Treibmediums verborgen ist (die so genannte Windschattenseite, „Leehang“ oder distaler Hang). Anders gesagt, **das ist ein Oberflächenteil, an den sich das Treibmedium bei seiner Bewegung nicht drückt, sondern, umgekehrt, es strebt die Verbindung mit ihm abzurechnen.** Dies geschieht im Bereich der Änderung der Neigung und Exposition der Hänge der Unebenheit, auf ihren konvexen Krümmungen (Abb. 4.31, 4.32). Gerade hier beginnt das Treibmedium sich vom Leehang der Unebenheit zu trennen (von ihm „loszulaufen“) und mit ihm die physikalischen Verbindungen loszureißen. Dafür braucht es die Aufwendung einer sehr großen Kraft. Diese Kraft wird von der Bewegung des Treibmediums erzeugt. **Zwischen dem Leehang der Unebenheit und dem beweglichen Treibmedium kann ein „leerer“ Raum, beinahe ein Vakuum entstehen.** Der Druck in diesem Raum ist zuerst sehr klein (fast Null). Das Treibmedium selbst und die Gesteine an der Unebenheit bleiben dabei einem sehr starken Druck unterworfen. Und **wenn neben ihnen ein Raum mit sehr kleinem Druck entsteht, so richten die Gesteine und das Treibmedium die Kräfte ihres inneren Druckes in diesen Raum und erzeugen auf ihn einen explosivartigen, gewaltigen Schlag.** Seine Schlagwellen verbreiten sich in alle Richtungen und in der Nähe des Schlages (an dem „leeren“ Raum) zerstückeln Gesteine (das Wasser dabei z.B. wandelt sich teilweise in den Wasserdampf um). Nach meinen vorläufigen Berechnungen kann ein Wasserstrom mit einer Tiefe von 10 m, der Länge von 10 m, der Breite von 1 m und einer Beschleunigung von  $1 \text{ m/s}^2$  die Abrisskraft von mehr als  $110 \text{ kg/cm}^2$  ( $>1 \text{ MPa}$ ) auf dem Leehang der Unebenheit erzeugen, wenn dieser Hang etwa 1 m hoch ist und eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$  hat. Entsprechend den Daten von Ingenieurgeologen (SERGEEV, 1978) reicht diese Kraft für den Bruch der lithifizierten Gesteine aus, um so mehr, da sie fast immer geklüftet sind, was wesentlich die Abrissprozesse erleichtert.

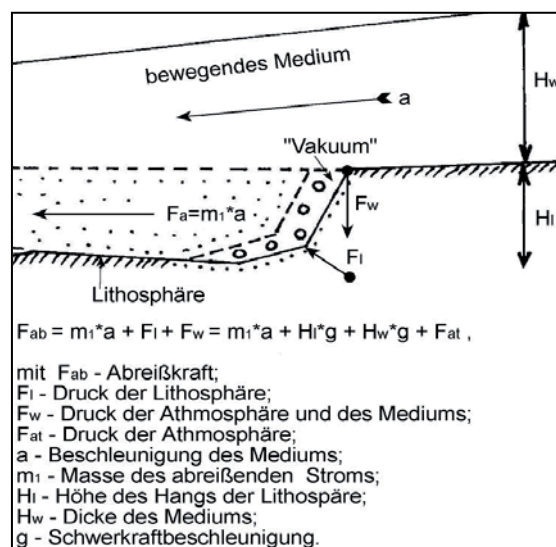


Abb. 4.32: Kinematik und Dynamikwirkung der Abrisskraft von einem beweglichen Medium am distalen Hang

Das Losreißen des Treibmediums von Leehängen der Erdoberfläche und dabei entstehende Druckschläge zerstückeln also die Gesteine und erzeugen ihre Denudation. Dieses Erscheinen nennt man in der Hydraulik „**Kavitation**“. Im Wassermedium zeigt sie sich durch Entstehung vieler kleiner Luftbläschen, die Mikroschläge produzieren. Die Kavitation verstärkt sich bei der Vergrößerung der Geschwindigkeit des Treibmediums, weil die Geschwindigkeitszunahme auch die Verstärkung der Abrisskräfte bedeutet. Als Beispiel der Kavitationswirkung dient die Zerstörung metallischer Schiffschrauben, die wegen ihres schnellen Drehens in einigen Monaten verschleifen. In der Natur ist die Wirkung der Kavitation verschiedenartiger, die Treibmedien können sehr mächtig (Wasserfälle) und dicht (Gletscher) sein und wirken auf viel größere Teile der Erdoberfläche. In mächtigen, schnellen oder in dichten, klebrigen Treibmedienströmen äußert sich die Kavitation schon nicht in Form kleiner Bläschen, sondern in Form großer Höhlen von 1-10 m Größe, die über kolossale Abrisskräfte und Schlagkräfte verfügen. So eine Kavitation reißt aus den Gesteinen schon nicht kleine Teilchen, sondern bis einige Meter große Gesteinsblöcke, nach meinen Daten 20-30 m groß, heraus (BUTWILOWSKI, 1993). Diese Erscheinung im glazialen Medium nennt man „**plaking**“ (RICE, 1980). Sie ist auch der „Explosion“ ähnlich, wird aber von äußeren Medien verursacht.

Im Bereich der Leehänge entstehen auch Wirbelbewegungen mit unterschiedlich orientierten Drehachsen („Kolke“) (Hydraulik, 1980). **Diese Wirbel nehmen entsprechend ihrer Geschwindigkeit verschiedene Gesteinteilchen mit, drehen diese Teilchen an den Leeseiten der Unebenheiten, verreiben mit diesen Teilchen die Gesteine und erzeugen runde Vertiefungen in der Erdoberfläche** (Kessel und Rinnen). Diese Erscheinung ist üblicherweise den wenig dichten und sehr beweglichen Treibmedien (Wasser, Luft) zu Eigen und man nennt sie „Evorsion“. Theoretisch ist Evorsion auch in plastischen Treibmedien (Gletscher, Lava, bewegliche Schicht) möglich.

Man muss betonen, dass die Kavitation und Evorsion auf Leehänge der Unebenheiten gerichtet sind. Ihre Wirkung auf Gesteine ist dabei in Gegenrichtung der Bewegung der Treibmedien gerichtet und verlagert Leehänge entgegengesetzt der Bewegungsrichtung der Medien. Das ist die sogenannte „**regressive Denudation**“ (oder „regressive Erosion“, falls ein Wasserstrom wirkt).

**Mit der Zunahme der Dynamik von Treibmedien beginnen immer mächtigere Arten von Denudationsprozessen zusätzlich zu wirken.** Es gibt eine Reihenfolge ihrer Dynamikstärke, wobei **jede nachfolgende Art von Prozessen in sich alle Vorangegangenen einschließt**. Die Korrosion und ihre Abart „Suffosion“ äußern sich besonders deutlich bei sehr kleiner Dynamik des Treibmediums und in besonderen geologischen Körpern, die leicht lösbare, schmelzbare und verdampfbare Komponenten haben. Sie wirkt überall und immer, aber äußert sich durch ihre spezifischen Reliefformen (Karst, Thermokarst, Hydrothermokarst) nur lokal, wenn die Dynamik des Treibmediums sehr schwach ist, und andere Denudationsprozesse schwächer als die Korrosion wirken. Äußere Merkmale der Korrosion sind grübchenartige, rinnenartige Vertiefungen in der Gesteinsoberfläche. Die **Korrasion** läuft bei größerer Dynamik des Treibmediums ab (bei seiner laminaren und turbulenten Bewegung) und äußert sich durch geschliffene, zerkratzte, glatte, felsige Gesteinsoberflächen, die keine scharfen Kanten haben (Abb. 4.33). Die **Evorsion** wirkt bei noch stärkerer Dynamik des Treibmediums (nur bei turbulenter Bewegung in Wirbelbereichen) und äußert sich durch runde oder ovale, geschliffene Vertiefungen (Kessel, Rinnen u.a.).



Abb. 4.33: Morphologische Spuren der Korrasion im Altaigebirge: vom Gletscher abgeschliffene Felsen an einem Trogtalhang im Tschulyschman-Tal; rechts unten eine Schutthalde (helleres Dreieck). Foto: W. B. 1985

Wenn Dynamik und Bewegung des Treibmediums so stark werden, dass es fähig wird, sein Gewicht und den äußeren Druck zu überwinden und sich von der Erdoberfläche loszureißen und zu „fliegen“ ohne seine kompakte Masse zu verlieren, so ist dann die Entstehung der **Kavitation** (plaking) möglich. Dabei wirken die Korrosion, Korrusion, Evorsion auch, aber ihre Einwirkung auf die Gesteine ist viel kleiner als die Einwirkung der Kavitation. Die Kavitation äußert sich durch kantige Gruben, vertiefte Stufen, Nischen, Grundrisse. Diese Unebenheiten entstehen auf Leehängen des Georeliefs und an den Nahtlinien von Leehängen (Abb. 4.31).

Die Kavitation und Evorsion streben nicht an, die Unebenheiten des Georeliefs zu verebnen, sondern sie können die Rauheit der Hänge vergrößern. Diese Prozesstypen erzeugen den Hauptanteil der Denudation. Doch die Bedingungen für die kräftige Wirkung der Kavitation werden relativ selten und meistens nur lokal geschaffen. Aber ihre Einwirkung im Georelief ist so stark, dass ihre Spuren (morphologische Merkmale) sehr lange im Georelief als eine spezifische Rauheit erhalten bleiben (**als Relikte**), trotz der Einwirkung von gegenwärtigen (rezent) Denudationsprozessen.

Es ist klar, je intensiver und mächtiger die Dynamik der Medien ist, desto mehr Gesteinsmaterial können sie abreißen und mittransportieren, desto größer können die transportierten Teilchen sein, desto schneller können also die Denudationsprozesse verlaufen. **Je stärker ein Prozess war, desto größer war seine morphologische Äußerung und desto länger bleibt sie im Georelief erhalten.** Deswegen sind die Spuren von Paläoprozessen in der Regel die Spuren von mächtigen, extremen (katastrophalen) Naturerscheinungen (BUTWILOWSKI, 1993). Das Wissen über die Zeit und den Ort der ehemaligen Wirkung extremer Prozesse ist sehr wichtig für die menschliche Existenz und Tätigkeit. Deswegen ist es zweckmäßig, eine Ermittlung der Spuren von „**Rezentprozessen**“ und „**Paläoprozessen**“ im Georelief durchzuführen und sie zu kartieren.

Ein besonderer Typ der Denudation ist die „**Kollision**“, die von Schlägen verschiedener äußerer Körper auf die Erdoberfläche verursacht wird (Regen, Lawinen, Bergstürze, Meteoriten u.a.). Dieser Prozess wirkt azonal und fast ständig (die Schläge von Regentropfen, Steinen). Sein Denudationseffekt ist groß, aber die morphologische Äußerung übertrifft kaum die kleine Rauheit im Georelief. Eine besondere geomorphologische Bedeutung haben die Schläge von großen, blitzschnell fallenden Körpern, welche geschlossene, große Krater blitzschnell erschaffen. Dadurch entstandene Hänge im Krater **können verschiedene Formen haben, aber ihr Alter ist gleich und sie sollten als anomale Beschnitte im Georelief bezeichnet werden.** Die Schlagkrater können auch beim Fallen der Eis-Schnee-Lawinen, Bergstürze, Wasserfälle, Meteoriten entstehen. Dabei sind die ersten drei Arten auf der Erde relativ seltene und kleine Erscheinungen und können in einigen besonderen Bereichen nur auf großmaßstäbigen Karten bezeichnet werden. Die Meteoritenkrater sind auch selten, aber ihr Ausmaß kann sehr groß und sogar auf kleinmaßstäbigen Karten darstellbar sein. Den Traditionen folgend, nennen wir alle diese Abbruchhänge und Prozesse „impakte“, jedes Mal, wenn das möglich ist, ihre Genesis präzisierend.

Man darf nicht vergessen, dass die Abbruchwände in Gesteinen auch durch die wirtschaftliche Tätigkeit der Menschen erschaffen werden können. Das können Aufschiebungen und Abschiebungen der Erdkruste, Explosionen, Einstürze und Schläge (z.B. Explosionen von Bomben) sein. Nennen wir sie „**technogene**“ Hänge. Sie alle haben ein geologisch gegenwärtiges Alter, aber sie können nach ihrem Alter detaillierter klassifiziert werden. Ihre Verbreitung und Größe sind groß genug und haben die Tendenz zur Vergrößerung. Deswegen sind die Beachtung und Kartierung technogener disjunktiver Hänge auch wichtig.

Man muss auch den **Transport des Lockermaterials** mittels Treibmedien berücksichtigen. Auf einzeln liegende, von monolithischen Gesteinen abgetrennte Teilchen (Sand, Steine, Steinblöcke) wirkt das Treibmedium genauso wie auf Unebenheiten der Monolithgesteine, d.h. es wirkt unterschiedlich auf ihre proximalen und distalen Teile. Für das Abreißen eines Teils von einem monolithischen geologischen Körper ist eine gewaltige Kraft notwendig. Ein einzelnes Bruchstück hat keine solchen starken physikalischen Verbindungen mit dem Untergrund, deswegen braucht man für sein Abreißen von der Erdoberfläche viel weniger Kraft.

Dafür reicht die Kraft, die etwas größer ist als das eigene Gewicht des Bruchstückes. Sie ist oft viel kleiner als für das Abreißen eines Teils von diesem Bruchstück notwendige Kraft. Deswegen werden die Bruchstücke von lockeren Sedimenten nur im Ganzen abgerissen (am leichtesten geht es mit kleinen Sandteilchen). Nur das Gewicht sehr großer Steinblöcke (2-3 m und größer) kann die Kräfte, die für das Abreißen ihrer Teile ausreichend sind, überwältigen. Solche Steinblöcke werden üblich von Treibmedien nicht verschoben, sondern sie werden an ihrem Ort bis zu einem solchen Ausmaß und Gewicht zerstört, sodass sie sich für das Abreißen und den Transport im Ganzen eignen. Für das glaziale Treibmedium überschreitet dieses Blockausmaß 20 m, für das Wassermedium - 2 m, für das Luftmedium - 0,02m.

Man muss betonen, dass Form und Ausmaß der Bruchstücke eine effektivere Bewegungsform für die Verschiebung dieser Bruchstücke verursachen. Je größer die Bruchstücke sind, desto dynamischer bewegt sich um dieser

Bruchstücke des Treibmediums (bei sonst gleichen Bedingungen). Das Treibmedium strebt danach, Form und Größe der Bruchstücke zu ändern (kleiner, runder, glatter zu machen, kompakt und dicht zu legen), um möglichst wenig Energie bei seiner Bewegung an den Bruchstücken zu verlieren. Die Abrisskräfte, die an distalen Teilen der Bruchstücke entstehen, schleppen die Bruchstücke hinter sich her. Anders gesagt, das Treibmedium verschiebt die Bruchstücke nicht nur vor sich stoßend, sondern auch hinter sich ziehend. Das geschieht deswegen, weil die Abrisskräfte, die vom Treibmedium in distalen Teilen der Bruchstücke geschaffen werden, oft viel größer sein können als die frontalen Stoßkräfte an proximalen Teilen (Abb. 4.34, 4.32).

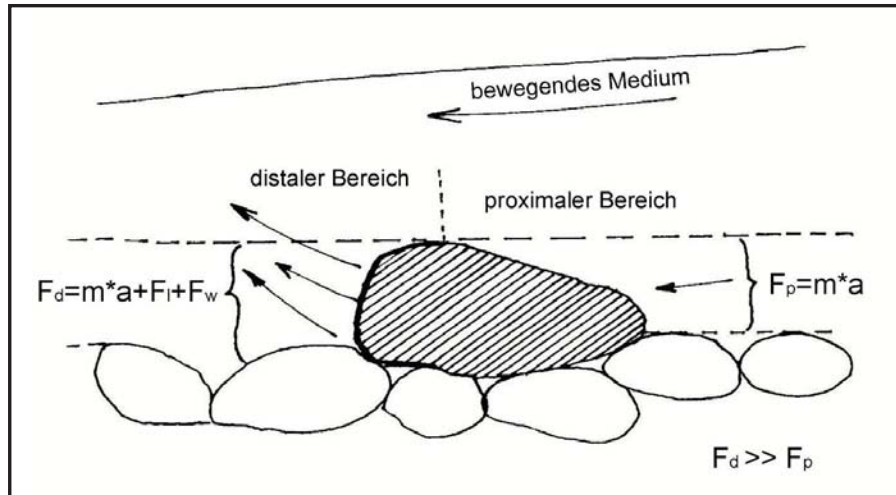


Abb. 4.34: Größe der Wirkung der Schubkraft des bewegenden Mediums auf einen einzelnen Steinblock in seinem proximalen ( $F_p$ ) und distalen ( $F_d$ ) Bereich (weitere Zeichenerklärungen siehe Abb. 4.32)

Das ist leicht zu beweisen und der Leser kann das selbst tun. Die Kräfte, die auf distalen und proximalen Teilen des Bruchstückes wirken, wirken nicht gegen einander, sondern sie wirken gemeinsam und verstärken einander. Man muss aber betonen, dass die „distalen“ Kräfte oft größer als die „proximalen“ Kräfte sind. Als einfaches Beispiel dafür kann die Bewegung eines Autos auf einer staubigen Straße dienen. Es ist deutlich zu sehen, dass das Auto den Staub hinter sich herschleppt und nicht vor sich. Ähnlich wirken die natürlichen Treibmedien. Und nur an der frontalen Grenze des Treibmediums ist die Wirkung der proximalen Stoßkräfte am deutlichsten. Z.B. die Front des Gletschers stößt das Lockermaterial wie ein Bulldozer vor sich her, aber unter dem Gletscher geschieht so was üblicherweise nicht (LAWRUSCHIN, 1976).

Die denudative Einwirkung verschiedener Treibmedien und Bedingungen ist in der wissenschaftlichen Literatur von speziellen Begriffen bezeichnet. Man sondert die „**Erosion**“ ab - Abreißen und Abtragung durch das fließende Wasser; die „**Exaration**“ - durch den Gletscher; die „**Deflation**“ - durch die Luft; die „**Abrasion**“ - durch die Brandung, die „**Denudation**“ - durch gravitative Prozesse; den „**Karst**“ - durch die Lösung der Gesteine; die „**Suffosion**“ - durch das Grundwasser; den „**Thermokarst**“ - durch das Schmelzen des Grundeises. Alle diese Begriffe sind durch den Begriff „Denudation“ ersetzbar.

Sie dienen dem Präzisieren der Abarten von Denudationsprozessen, wenn das möglich ist. Die Typen von Denudationsprozessen sind schon benannt worden (Korrosion, Korrasion, Evorsion, Kavitation, Kollision). Es wäre praktisch, auch die traditionellen Begriffe für die Bezeichnung der Gruppen von Denudationsprozessen zu verwenden, die nur unter bestimmten Bedingungen oder durch ein bestimmtes Treibmedium laufen, besonders wenn man die Prozesstypen im gegebenen Maßstab einzeln nicht darstellen kann. Damit macht man eine notwendige Generalisierung für die kleineren Maßstäbe.

#### 4.4.2.2. Gravitative geologische Denudationsprozesse und Verwitterung der Gesteine

Unter dem Begriff „Denudation“ versteht man üblicherweise die gravitativen Denudationsprozesse, die auf steilen Hängen laufen. Das schafft eine terminologische Verwirrung, weil die Typen dieser Prozesse schon lange benannt sind (Defluktion, Solifluktion, Rutschung usw.). Deswegen wäre es richtiger, **der Begriff „Denudation“ als Hauptbegriff für alle Abtragungsprozesse zu verwenden.**

Die Denudationsprozesse äußern sich deutlich vor allem dort, wo die Treibmedien kaum oder schwächer wirken. Solche Bereiche sind in der Regel relativ steile Hänge (steiler als  $1,4^\circ$ ). Nur ein kleiner Teil von ihnen auf dem Festland (bis 5%, selten bis 20-30%) sind Untergründe für Wasserströme oder Gletscher. Die meisten Hänge des



Festlandes werden vom Luftmedium umfasst. Aber die Wirkung der Luftströme (Winde) ist effektiv und morphologisch meistens nur in sandigen ariden Gebieten und in pflanzenfreien Küstenbereichen sichtbar. Auf steilen Hängen wirken auch andere Denudationsprozesse effektiv. Diese Prozesse sind von der Wirkung der Schwerkraft und den Schwankungen der Temperatur und Feuchtigkeit des Lockermaterials bedingt. Man nennt sie „**gravitative Prozesse**“. Ihr treibender Hauptfaktor ist das Gewicht des Lockermaterials selbst und die Änderungen seiner eigenen Eigenschaften (Temperatur, Feuchtigkeit, Korngröße), bei denen das Lockermaterial ab und zu sein Gleichgewicht auf dem Hang verliert und sich verschiebt.

Den gravitativen Prozessen voran und mit ihnen gleichzeitig laufen die **Verwitterungsprozesse** der Gesteine („**Hypergenese**“) ab. Auf der Erdoberfläche wirken diese Prozesse immer und überall, aber sie sind keine Denudationsprozesse. Die Verwitterung als „Vorbereitung der Gesteine ändert ihre Stoffzusammensetzung und ihre Struktur. Sie schafft aber keine Denudationsformen. Letztere entstehen nur nach der Abtragung der vorbereiteten Massen“ (PENCK, 1961, S. 52). Die Verwitterungsprozesse sind korrekter als eine der Gruppen von Dekompaktionsprozessen zu betrachten. Man kann die **Verwitterung** (Hypergenese) als **Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Gesteins bei seiner Entwicklung an der Erdoberfläche definieren**.

Das Gestein oder sein Teil wird dabei nicht vernichtet, anderes Gestein entsteht dabei auch nicht, das Gesteinteil ändert dabei viele seiner primären Eigenschaften, aber seine Haupteigenschaft - seine Raumlage in der Abfolge der Gesteine - bleibt erhalten. Deswegen bezeichnen die Geologen die verwitterten Teile der Gesteine noch als primäre Gesteine (auf bereits entstandene Veränderungen wird nur hingewiesen). Diese Lösung ist ganz richtig und zweckmäßig.

In ihrer reinsten Art bereitet die Verwitterung das Gesteinssubstrat zur Verschiebung vor, die Gesteine ohne ihre laterale Verschiebung an Ort und Stelle locker machend. Im Endergebnis bildet sich hier eine Verwitterungsschicht, die ein maximal möglich zerstückeltes, physikalisch-chemisch umgestaltetes Gesteinssubstrat ist, dessen oberen Teil man üblicherweise als „**Boden**“ bezeichnet.

Wenn die Denudation der Verwitterungsschichten nicht ablaufen würde, so würde die Verwitterung (Dekompaktion) ein Volumen von 1 m<sup>3</sup> Granit um 20-30 Mal vergrößern (OLLIER, 1987), von Kalkstein - um einige Male, des Quarzkonglomerates - um einige Prozente. Durchschnittlich vergrößert sich das Volumen der Gesteine bei ihrer Verwitterung um etwa 51% (WOJTKEWITSCH & SAKRUTKIN, 1976).

Es werden **bio-chemische** und **physikalische** Verwitterungsprozesse ausgegliedert. Ju. W. SCHUMILOV (1981) meint richtig, dass die physikalischen Mechanismen der Verwitterungswirkung im Verhältnis den chemischen Mechanismen voran gehen. Chemische Verwitterung wird von der physikalischen Zerstückelung der Gesteine begünstigt und braucht viel Energie. Physikalische Verwitterung fordert einen kleineren energetischen Aufwand, sie ist effektiver als die chemische Verwitterung und erzeugt eine viel größere Menge Lockermaterial. **Beide Verwitterungstypen wirken gemeinsam und man braucht sie einander nicht entgegenstellen: mit Verstärkung der physikalischen Verwitterung kann sich auch die chemische Verwitterung verstärken**. Ihre Wirkung äußert sich unter verschiedenen physisch-geographischen und geomorphologischen Bedingungen unterschiedlich. Deswegen sollte man für jeden Hang den stärksten Prozessstyp der Hypergenese ermitteln, der hier Gestalt und Eigenschaften der verwitterten Gesteine bestimmt.

**Physikalische Verwitterungsprozesse** werden von Veränderungen der Temperatur und Feuchtigkeit der Gesteine verursacht. Man kann drei ganz unterschiedliche Prozessstypen absondern, die ausreichend in Lehrbüchern charakterisiert sind:

1. **Frostverwitterung**, die von niedrigen Temperaturen der Gesteine durch Volumenänderungen aufgrund Kristallisation und Schmelzen des Eises verursacht wird. Sie wirkt besonders effektiv auf relativ flachen Hängen und äußert sich durch polygonale Böden, Grundflecken, Steinringe, Frostkeile.
2. **Salzverwitterung** wird von höheren Temperaturen und von häufigeren Veränderungen der Feuchtigkeit der Gesteine auch durch Volumenänderungen aufgrund von Kristallisation und Auflösung der Salze verursacht und äußert sich auf flachen Hängen durch Klüfte und polygonale Böden (Takyr).
3. **Insolationsverwitterung** (Temperaturverwitterung) läuft mittels Temperaturschwankungen und Volumenschwankungen der Gesteinteile ohne wesentliche Beteiligung des Wassers ab und äußert sich in Klüftigkeit der Gesteine meistens auf steilen Hängen.

Es ist bekannt, dass „die klüftigen Gesteine bei sonst gleichen Bedingungen stärker und schneller zerstückelt werden als weniger klüftige Gesteine“ (PENCK, 1961, S. 93). Das haben auch Laborexperimente bestätigt (ETLICHER u.a. 1986). Allerdings spielt die Klüftigkeit der Gesteine eine große Rolle bei ihrer Zerstückelung, aber bei sonst gleichen Bedingungen sind auch Zusammensetzung und Texturen der Gesteine sehr wichtig, weil gerade

sie oft die Klüftigkeit der Gesteine bestimmen. Laborexperimente haben gezeigt, dass bei Einfrieren-Auftauen und Befeuchtung - Austrocknung ein Sandstein um 11 Mal schneller zerstört wird als ein Granit, und das Einfrieren-Auftauen 10-100 mal effektiver ist als die Befeuchtung-Austrocknung (SWANTESSON, 1985).

**Bio-chemische Verwitterungsprozesse** sind von Temperatur, Feuchtigkeit, lebendigen Organismen, verschiedenen Stoffen der Umwelt bedingt. Sie laufen mit Hilfe chemischer Reaktionen (Oxidation-Reduktion, Hydratation, Hydrolyse, Austauschreaktionen, säure-alkalischen Reaktionen usw.) ab und äußern sich durch die Umwandlung der Gesteine in verschiedene ton-schluffige Böden unter Beimischung organischer Stoffe. **Deswegen wäre es richtiger, diese Prozesse durch die Gestalt der Böden zu erkennen, zu identifizieren und zu benennen** (entsprechend den Klassifikationen von Böden nach „Bodenkunde“, 1994).

Entsprechend den Daten aus der Bodenkunde kann man die folgenden bio-chemischen Verwitterungsprozesse absondern: **Verrosten, Vergleyen, Podsolierung, Lateritisierung, Humusbildung, Verkalkung, Versalzung**, die ausreichend in Lehrbüchern dargestellt sind (Kurs Allgemeiner Geologie 1976; Bodenkunde 1994; u.a.).

Diese Prozesse äußern sich meistens auf flachen Hängen unter Bedingungen der gemäßigten und warmen, humiden und semiariden Klimata. Besonders wichtig sind dabei Temperatur und Feuchtigkeit der Böden. Die Zunahme der Temperatur beschleunigt die chemischen Reaktionen in Böden (die Laterite entstehen bei regelmäßiger Erwärmung der Böden von +35 - +45°C) (SCHUMLOW, 1981). Deswegen wirkt die bio-chemische Verwitterung effektiver bei warmen Klimabedingungen.

„Die Produkte der chemischen Verwitterung sind meistens Kolloide“ (PENCK, 1961, S. 88). In ihrem trockenen Zustand verhalten sich die Kolloide wie feste Sand- und Staubteilchen, aber beim feuchten Zustand schwellen sie an, werden sehr bewegbar und bei sehr großer Feuchtigkeit können sie sogar den lösungsähnlichen Zustand bekommen. „Deswegen ist es sehr wichtig, ob es in der Verwitterungsschicht Teilchen von Kolloiden (Ton, Humus, Eisen- und Aluminiumoxiden) gibt oder nicht und wie viel“ (PENCK, 1961, S. 89), und ihr Gehalt begünstigt das „Abfließen“ des Lockermaterials (POSDNJAKOW & TSCHERWANEW, 1990). **Das bedeutet, dass die laterale Bewegung des Lockermaterials unter der Schwerkraftwirkung sogar bei einer kleinen Hangneigungsstärke möglich ist, wenn die Feuchtigkeit und der Gehalt von Kolloiden in der Schicht ausreichend sind.**

Aber es ist nicht klar, wie viel Zeit dafür notwendig ist, um einen solchen Stoffzustand zu erreichen, sowie mit welcher Geschwindigkeit die Bewegung dieses Lockermaterials verlaufen wird und wie sie im Georelief geäußert wird. Dieser Kolloid-Zustand (Flüssigkeitszustand) ist praktisch nicht erreichbar wegen der allgemeinen und effektiveren Wirkung der anderen Treibmedien (Wasser, Wind, Organismen) auf subhorizontalen Hängen.

**Deshalb ist es wichtig, die Grenze festzustellen, bei der die Bewegung des Lockermaterials unter alleiniger Wirkung der Schwerkraft eine eigene Äußerung im Georelief und den wesentlichen Teil im Transport des Lockermaterials hat.** Es ist bekannt, dass das Erdfließen in realen Bedingungen noch bei der Neigung von 2% (1,0-1,4°) (BOUL u.a. 1977) oder von 1,5° (PENCK, 1924) möglich wäre. Theoretisch habe ich festgestellt, dass **diese Neigung etwa 1,4° sein muss.** Diese Größe kann man als minimale Neigung annehmen, bei der die Bewegung des Lockermaterials unter Wirkung seines Gewichtes in realen Bedingungen möglich ist. Gletscher, Winde und Gewässer können die Denudation bei allen Hangneigungen durchführen.

Die gravitativen Denudationsprozesse bilden auf dem Festland eine dynamische Reihenfolge mit zunehmenden Geschwindigkeiten der beweglichen Schichten. Diese Reihenfolge besteht aus folgenden Prozessstypen:

1. Die langsame ungleichmäßige Verschiebung des grobsteinigen Materials durch die Temperaturschwankungen („**Deserption**“); Geschwindigkeit von 0,1-0,001 mm/Jahr.
2. Die Verschiebung des lehmig-grobsteinigen Materials durch die Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen („**Defluktion**“); - 1-0,01 mm/Jahr.
3. Das Verschieben-Fließen des ständig überfeuchten stein-lehmigen Materials unter humiden und permafrost-humiden Bedingungen („**Solifluktion**“); - 100-1 mm/Jahr.
4. Das Gleiten-Rutschen der Gesteinblöcke durch die Schwerkraft und den Verlust des Gleichgewichtes bei der Zunahme ihres Gewichtes oder bei dem Verlust ihrer Stütze („**Rutschen**“); - 10-0,1 m/Jahr.
5. Das schnelle, klebrige Fließen des überfeuchten lehmigen Materials („**Erdfließen**“, Schlammlawine) - 1 - 0,001 m/s.
6. Das Herabrollen und Stürzen der Bruchstücke und Gesteinblöcke von steilen Hängen beim Verlust des Gleichgewichtes durch seismische Stöße, Temperaturschwankungen, Regen, Schneelawinen (**Sturzdenudation**, Steinfälle, Bergstürze); - 100-1m/s.

Die ersten drei Prozesse wirken auf den Hängen überall und geologisch ununterbrochen, alle anderen äußern sich lokal und kurzfristig. Alle diese Prozesse können auch von Korrosion und Korrasion begleitet werden und besonders schnelle und mächtige Prozesse - von Evorsion und Kavitation (Bergstürze, Schlammlawinen).

Wirkung und Typ der gravitativen Prozesse hängt vor allem von der Steilheit der Hänge ab. Die empirischen Daten zeugen davon, dass die Hänge bestimmter Neigungsstärke der Wirkung überwiegend einer dieser Prozesse unterworfen sind. Das Abstürzen und das Herabfallen (**Sturzdenudation**) sind auf flachen Hängen unmöglich, aber das Erdfließen und Rutschen können nicht nur auf flachen, sondern auch auf sehr steilen Hängen passieren, wo die Sturzdenudation herrscht. Man kann behaupten, dass **jeder zusätzliche Typ gravitativer Prozesse, der bei der Zunahme der Neigungsstärke auftritt, von allen anderen gravitativen Prozessen begleitet werden kann, die für die flacheren Hänge auftreten.**

Es wäre richtiger die geologische und geomorphologische Äußerung der gravitativen Denudationsprozesse entsprechend der Reihenfolge der Hangneigungen darzustellen, welche von Transformationsstadien bedingt sind (7 Gruppen der Neigungsstärke, Kapitel 4.2.6.1). Dadurch werden Entstehung und Entwicklung der Hänge miteinander verbunden. Empirische Daten (BUTWILOWSKI, 1993) bestätigen eine gesetzmäßige Beziehung zwischen den Hangneigungen bestimmter Transformationsstadien und den bestimmten Typen gravitativer Denudationsprozesse, welche die folgende Reihenfolge darstellt:

1. Auf Hängen flacher als  $1,4^\circ$  werden die gravitativen Denudationsprozesse kaum geäußert. Hier wirken stärker die anderen Denudationsprozesse (Korrosion, Korrasion und vor allem die „Suffosion“ usw.).
2. Auf Hängen von  $1,4 - 2,8^\circ$  wird die Wirkung der äußeren Treibmedien um die Wirkung der „Tropfenerosion“ und des „Erdschwimmens“ ergänzt.
3. Auf Hängen von  $2,8-5,6^\circ$  kommt zusätzlich die Wirkung des „Erdfließens“ von überfeuchtem ton-schluffigem Material (üblich an den Grundwasserquellen und an den Nahtlinien) hinzu, die sich als kleine Dellen und ton-schluffige Flecke äußert.
4. Auf Hängen von  $5,6-11,2^\circ$  kommt zusätzlich zu den bereits genannten Prozessen die Wirkung der Solifluktion - klebriges langsames Fließen von feuchtem steinig-lehmigem Material hinzu, das sich in Form der bogenförmigen gestuften Rauheit äußert. Die Solifluktion herrscht über den anderen Prozessen auf Hängen dieser Steilheit.
5. Auf Hängen von  $11,2-22,5^\circ$  beginnt zusätzlich die Defluktion zu wirken als Gleiten-Verschieben des steinig-lehmigen Materials durch seine periodische Befeuchtung und Temperaturunterschiede. Die Defluktion äußert sich in Form der hügelförmigen gestuften Rauheit, deren Stufchen im Unterschied zur Solifluktion hangaufwärts gebogen sind. Andere gravitative Prozesse können hier auch ablaufen, aber nur lokal und bei besonderen Bedingungen, weil die Hänge solcher Steilheit fast überall gut entwässert sind und üblicherweise steinig sind.
6. Auf den Hängen von  $22,5-45^\circ$  beginnt die Wirkung der Deserption, die den Prozess des langsamen Verschiebens des steinigen Materials durch Temperaturschwankungen darstellt und sich im Georelief als steinig-blockige Rauheit der Erdoberfläche äußert.
7. Auf Hängen steiler als  $45^\circ$  beginnt die Wirkung der Sturzdenudation, die sich im Georelief als steile und subvertikale klüftig-gestufte Rauheit in meist felsigen Gesteinen äußert.

Wirkungswinkel der Sonnenenergie und der Schwerkraft ( $\alpha$ )	$\sin \alpha$	Relative Menge der Energieeinnahme $E = 1 * \sin \alpha$	Verhältnisse der Energiemenge benachbarter Gradationen der Hangneigungen ( $E_n / E_{n+1}$ )	Änderung der Energiemenge (%) mit der Änderung der Neigung um	
				$0,5^\circ$	$1,0^\circ$
$90^\circ$	1	1	-	0,01	0,05
$45^\circ$	0,707	0,7	1,41	0,7	1,4
$22,5^\circ$	0,382	0,38	1,85	0,8	1,6
$11,25^\circ$	0,195	0,19	1,95	0,8	1,7
$5,6^\circ$	0,098	0,09	1,98	0,8	1,7
$2,8^\circ$	0,049	0,05	2,0	0,8	1,7
$1,4^\circ$	0,024	0,02	2,04	0,9	1,8

Tabelle 4.6. Menge und Verhältnisse der energetischen Belastung auf Hängen verschiedener Neigung

Die obige Einteilung der Hänge auf sieben Neigungsgradationen bedingt auch eine gesetzmäßige Zunahme der potentiellen und kinetischen energetischen Belastung auf das Georelief. Diese Energien bedingen die Wirkung der gravitativen Denudationsprozesse und bestehen aus Sonnenenergie und Schwerkraft, deren Leistung zur Verschiebung des Lockermaterials sehr unterschiedlich ist und vor allem von der Neigung und Exposition der Hänge abhängt. Einfache Rechnungen zeigen, dass in den festgelegten Gradationen der Neigungsstärke (entsprechend den denudativen Transformationsstadien) der mögliche Einfluss der Sonnenenergie und die Wirkung der Schwerkraft etwa um zwei Mal nach jedem Transformationszyklus (ausschließlich 90-45°) verkleinert werden (Tab. 4.6).

Auch die Verhältnisse zwischen Schub- und Reibungskräften vergleichend (Tab. 4.7), kann man theoretisch die Möglichkeit und den Typ von gravitativen Denudationsprozessen auf Hängen verschiedener Steilheit voraussagen. Z.B. ist die Bewegung des lockeren Materials in Art der Solifluktion nur dann möglich, wenn der Reibungskoeffizient dieses Materials zwischen 0,2 - 0,1 liegt, was nur halbflüssigem Material wirklich zu Eigen ist. Gewöhnliches steinig-sandiges trockenes Material hat einen Reibungskoeffizient ( $\mu$ ) von etwa 0,6-0,5 (Sprawotschnik..., 1975). Das bedeutet, dass seine Bewegung auf Hängen unter der Wirkung der eigenen Schwerkraft nur in Art der Deserption auf Hängen steiler als 22-23° möglich ist.

Neigungsstärke ( $\alpha^\circ$ )	Relative Größe der Schubkraft $F_s = 1 * \sin \alpha$	Verhältnisse der Schubkräfte benachbarter Neigungsbereiche ( $F_n / F_{n+1}$ )	Relative Reibungskraft des Substrates $F_r = \mu * 1 * \cos \alpha$ (Zähler) und Verhältnisse der Reibungskräfte zu den Schubkräften $F_r / F_s$ (Nenner) bei den Reibungskoeffizienten $\mu$ von:					
			<b>1,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,05</b>	<b>0,025</b>
90	1	-	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
45	0,7	1,41	0,7/ <b>1,0</b>	0,35 / 0,5	0,14 / 0,19	0,07 / 0,09	0,03 / 0,04	0,01 / 0,02
22,5	0,38	1,85	0,92/ 2,4	0,46 / <b>1,2</b>	0,18 / 0,48	0,09 / 0,23	0,04 / 0,1	0,02 / 0,06
11,25	0,19	1,95	0,98/ 5,1	0,49 / 2,5	0,19 / <b>1,0</b>	0,09 / 0,46	0,05 / 0,25	0,02 / 0,12
5,62	0,09	1,98	0,99/ 10	0,49 / 5,0	0,2 / 2,0	0,1 / <b>1,0</b>	0,05 / 0,5	0,02 / 0,25
2,81	0,05	2,0	0,998/ 20	0,5 / 10,2	0,2 / 4,1	0,1 / 2,0	0,05 / <b>1,0</b>	0,02 / 0,5
1,4	0,02	2,04	0,999/ 50	0,5 / 20,8	0,2 / 8,3	0,1 / 4,1	0,05 / 2,1	0,02 / <b>1,0</b>

Tabelle 4.7. Schubkraft und ihre Verhältnisse zur Reibungskraft auf Hängen verschiedener Neigungen und bei verschiedenen Reibungskoeffizienten

Alle Denudationsprozesse haben eigene physikalische Besonderheiten und können mathematisch beschrieben werden. Aber das ist ein spezielles Thema.

#### 4.4.2.3. Empirische Daten zu den gravitativen Denudationsprozessen

Man muss betonen, dass dargelegte Wirkung von gravitativen Denudationsprozessen nur für Disjunkthänge dargestellt ist. Das gilt auch für die Sedimenthänge, wenn sie der Denudation mittels dieser Prozesse unterworfen werden. Die Sedimenthänge können stellenweise auch mit Hilfe dieser Prozesse akkumuliert werden. Sie haben ähnliche Gestalt und Rauheit wie die Disjunkthänge, welche denselben gravitativen Denudationsprozessen unterworfen werden, aber ihre Neigungsstärke muss allgemein immer etwas kleiner sein als die Neigungsstärke von benachbarten Disjunkthängen.

Z.B. wirkt die Sturzdenudation auf Hängen steiler als 45°, aber die auf ihre Kosten wachsenden sedimentativen Schutthalden haben üblicherweise eine kleinere Steilheit (etwa 35-40° und sogar weniger). Das Rutschen (Defluktion) äußert sich als Denudationsprozess am deutlichsten auf Hängen von 11-22°, aber die sedimentativen Rutschungshänge können eine Neigung kleiner als 11° haben. Deswegen sollte man immer die Hänge des DR und SR exakt ermitteln und voneinander absondern und nur danach sie und ihre Entwicklungsprozesse analysieren. **Deshalb ist es schwierig, empirische Daten von anderen Forschern zu finden, die dargelegte Vorstellungen deutlich bestätigen.** Trotzdem gibt es Daten, die die theoretischen Vorstellungen begründen. Z.B. hat W.W. SKOTARENKO (1976) die Beziehungen zwischen Hangneigungsstärken und Typen der angehörigen Denudationsprozesse im Einzugsgebiet Aldan (Ost-Sibirien) statistisch analysiert. Sie hat festgestellt, dass bestimmte Typen der Denudationsprozesse den bestimmten Hangneigungen angehören, die Hänge mit Sturzdenudation sind immer steiler als 25°, die Hänge mit Deserption liegen zwischen 25-20°, mit Defluktion - 20-12°, mit Solifluktion - 12-4°, mit Erdfließen - 4-1°. Diese empirisch festgestellten Gradationen entsprechen den theoretischen ganz gut, obwohl sie immer eine Abweichung der unteren Grenzen der Steilheit von den theoretisch vorausgesagten Werten haben. Das ist die Folge der nicht durchgeführten Einteilung der Hänge in disjunktive und sedimentative Hänge.

Empirische Daten zeigen, dass die Widerstandsfähigkeit der Gesteine gegen Verwitterung und Denudation von Sedimentgesteinen gegenüber metamorphischen und magmatischen Gesteinen zunimmt und den größten Wert bei Vulkaniten erreicht (ANANJEW, 1976).

Nach A.F. GRATSCHEW und W.B. DANG (1981) besteht eine empirische Skala der Widerstandsfähigkeit der Gesteine aus folgenden Gruppen (von schwach bis sehr stark widerstandsfähigen Gesteinen): **1. Lehm, Aleurit; 2. Ton; 3. Mergel, Gips, Steinkohle; 4. Sandstein, Dolomit, Kalkstein, Anhydrit, Tonschiefer; 5. großkristalliner Dolomit und Kalkstein, poröser Basalt; 6. Granit, Granitoide, Diorit, Marmor, Silikat-Sandstein; 7. dichter Gabbro; 8. dichter Basalt, Quarzit, Diabas.** Es ist empirisch bekannt, dass die Verwitterung der felsigen, geklüfteten Gesteine durchschnittlich etwa 0,8-5 mm/Jahr beträgt, aber in festen monolithischen Gesteinen verlangsamt sie sich bis 0,0004 mm/Jahr (Ismeneniya..., 1985). Die von der physikalischen Verwitterung bedingte Denudation unterscheidet sich in verschiedenen Klima- und Reliefbedingungen bis zu 500 Mal (von 3,9 bis 2000 Tonnen/km<sup>2</sup> Jahr), die von der chemischen Verwitterung bedingte Denudation (Korrosion) - bis zu 70 Mal (von 3,9 bis 290 t/km<sup>2</sup> Jahr) (SCHUMILOW, 1981).

Sehr starken Einfluss auf Verwitterung und Denudation hat das Klima. Die kleinste Verwitterungsgeschwindigkeit ist unter ariden Bedingungen festgestellt worden, die größte - unter tropischen humiden Bedingungen (ANANJEW, 1976). Unter humidem tropischem Klima erreicht die durchschnittliche Geschwindigkeit der Hangverlagerung bei festen Gesteinen von etwa 2 mm/Jahr, unter humidem gemäßigten Klima - etwa 1 mm/Jahr, unter semiaridem Klima - 0,2 mm/Jahr und unter aridem Klima - weniger als 0,001 mm/Jahr (OLLIER, 1987). Von empirischen Daten ausgehend, behaupten A.P. DEDKOW und W.J. MOSSHERIN (1981), dass die Denudation in Permafrostgebieten der Gebirge um 5 Mal intensiver ist als in Waldgebieten. D.W. BORISEWITSCH (1982) behauptet, dass die Geschwindigkeit der Denudation der Rumpfflächen um 10000 Mal kleiner ist als die Geschwindigkeit der Erosion in Flusstälern. Nach Einschätzungen von Ju.P. SELIWERSTOW (1989) betragen die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Denudation von Rumpfflächen von etwa 0,01-0,1 mm/Jahr, der Erosion in Flusstälern - von 0,7-7 mm/Jahr. Er betont dabei, dass **sich der Grundriss der Reliefformen mehr als hundert mal schneller ändern kann als ihre hypsometrischen Lagen und vertikalen Verhältnisse** (SELIWERSTOW, 1989).

#### 4.4.3. Akkumulative geologische Prozesse und ihre geomorphologische Äußerung

Wie bereits definiert wurde, entsteht das Sedimentationsrelief durch die Anhäufung von Gesteinsteilchen und ist konkordant zur Textur der Gesteine. Die Akkumulationsprozesse sind Prozesse des Wachsens (Erhöhung) des SR aufgrund der Anhäufung von Gesteinsteilchen. Daraus folgt axiomatisch, dass **das Verfahren der Akkumulation des Gesteinstoffes gleichzeitig auch das selbe Verfahren der Ausgestaltung der Oberfläche dieses Stoffes** (sein Sedimentationsrelief) ist. In diesem Fall sind der Gesteinstoff und das Relief seiner Oberfläche genetisch einig und bilden miteinander untrennbare „**Morpholithokomplexe**“, welche aus bestimmten Sedimenthängen und von ihnen ausgestalteten Gesteinsschichten bestehen. Es wurde schon darauf hingewiesen (Kapitel 4.3.), dass die Entstehung des SR ausschließlich mit der Bewegung des Gesteinstoffes verbunden ist. Die transportierenden Teilchen sind üblicherweise ein Bestandteil der Treibmedien. Bei der Abschwächung der Dynamik von Treibmedien fallen sie aus diesen Medien aus und stoppen ihre laterale Bewegung entlang der Erdoberfläche, damit entsteht ihre Akkumulation und ein Sediment, dessen Zusammensetzung und Gestalt (SR) direkt damit verbunden sind, welche Stoffteilchen sich bewegt haben und auf welche Art und Weise. Die Art und Weise der Bewegung des „Teilchenstromes“ bis zum Halten dieser Teilchen ist auch die „embryonale“ Transformation dieser Teilchen und der von ihnen gebildeten Sedimente. Dadurch entstehen geometrische Formen der Verbindungen und „Einpacken“ von Gesteinsteilchen mit einander unter der Wirkung der Schwerkraft, der Bewegung der Medien und der Änderungen des physikalisch-chemischen Zustands der Medien und der Teilchen.

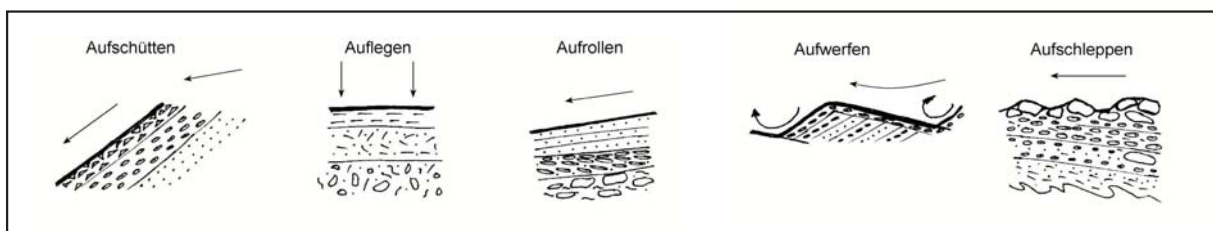


Abb. 4.35: Äußerung verschiedener Typen der Akkumulation im Georelief und in Sedimenten

Die Art und Weise der Bewegung der Gesteinsteilchen bestimmt die Textur der Sedimente und das Relief ihrer Oberfläche. Es gibt nur fünf Typen dieser Bewegung und jeder löst einen anderen bei der Abschwächung der Treibmediendynamik ab. Ihre Reihenfolge beginnt als laterale Bewegung der Schichtmassen (**Schleppen**), geht dann in verschiedene Arten der lateralen Bewegung einzelner Teilchen (**Saltation, Rollen**) über und endet mit **Auflegen** und **Aufschütten** der Teilchen bei fast unbeweglichen Treibmedien. Die Akkumulationsprozesse erben und schließen in sich alle diese Verfahren der Bewegung und des Anhaltens der Gesteinsteilchen ein. Diese Prozesse sind von fünf kinematisch verschiedenen Typen dargestellt (Abb. 4.35):

1. Die Anhäufung einzelner Gesteinsteilchen unter Haldenwinkel durch das Herabrollen wegen der Wirkung der Schwerkraft, d. h. „**Aufschütten**“ (Abb. 4.33).
2. Die Anhäufung einzelner Gesteinsteilchen durch das vertikale Ausfallen aus plastischen, flüssigen, gasförmigen Medien unter der Wirkung der Schwerkraft, d. h. „**Auflegen**“.
3. Die Anhäufung einzelner Gesteinsteilchen bei ihrem subhorizontalen Verschieben durch das Rollen, d. h. „**Aufrollen**“.
4. Die Anhäufung einzelner Gesteinsteilchen bei ihrem subhorizontalen Verschieben durch die Quantumssaltation (Werfen in die Höhe) und das Abfallen, d. h. „**Aufwerfen**“.
5. Die Anhäufung einer mächtigen Teilchenschicht bei ihrem lateralen Fließen und Schleppen mit Erhaltung ihrer Berührung mit der Erdoberfläche, d. h. „**Aufschleppen**“.

Als Beispiele der Wirkung dieser Verfahren dient die Akkumulation von Ton oder Mergel in einem See (2. Typ), die Akkumulation einer Rutschung oder Mure (5. Typ), sandiger Barchan durch Wind, sandige Flusssdünen durch Wasser, Rippenmoränen durch Gletscher (4. Typ), die Akkumulation von Deltahänge, Schutthalden oder Endmoränen (1. Typ), die Akkumulation von Landzungen im Fluss oder Fluttingmoränen (3. Typ) usw.

Das Sedimentationsrelief, das durch die Wirkung der verschiedenen Akkumulationsverfahren entsteht, kann man sich deutlich am Beispiel der Wirkung des Wassermediums vorstellen. Die Typen des Wasserzustandes und seiner Bewegung sowie dadurch entstehende Akkumulationsprozesse und Sedimente sind folgende:

1. Kontakt zwischen beweglichen und „unbeweglichen“ Bereichen in Gewässern – das Ausfallen und Aufschütten der Gesteinsteilchen unter Haldenwinkel (Deltaschichtung);
2. Stratifikation (unbeweglicher, schwachbeweglicher Zustand) - das Ausfallen und die Akkumulation der Trübung (Ton, Schluff, Salz) (**Auflegen**, Auflagern);
3. Bewegung in Form der glatten „Phase“ (laminare Strömung, Übergang zur turbulenten Strömung) - das Rollen der Gesteinsteilchen (**Aufrollen**);
4. Bewegung in Form der welligen „Phase“ (ruhige turbulente Strömung, Frud-Zahl < 1) - das Rollen und die Saltation der Gesteinsteilchen (**Aufwerfen**);
5. Bewegung in Form der Schichtenbewegung (Schleppen der mächtigen Schichten der Gesteinsteilchen bei starker turbulenter Strömung, Frud-Zahl > 1) - das Schleppen der Teilchenschichten mit einer Mächtigkeit von mehr als 2 Teilchen mittlerer Größe (**Aufschleppen**).

Jeder dynamische Zustand der Wassermassen schafft während der Akkumulation eine besondere Textur der akkumulierenden Stoffe und als Folge davon - ein besonderes Relief ihrer Oberfläche (Abb. 4. 35; 4.36). Alle diese Verfahren unterscheiden sich ganz deutlich voneinander und bilden in der Reihenfolge von 1 bis 5 eine diskrete morphologische, dynamische und stoff-strukturelle Abfolge, wobei jeder nachfolgende Typ von Prozessen in sich alle vorangegangenen einschließt. Prozesse der Stoffbewegung, außer „Auflegen“ und „Aufschütten“ kann man auch als denudative Prozesse betrachten, wenn die Stoffbilanzen dabei einen negativen Saldo aufweisen.

Das Auflegen und Aufschütten äußern sich ganz deutlich unter Bedingungen sehr schwacher Dynamik der Treibmedien, dort, wo die anderen Akkumulationsprozesse nicht wirken oder schwächer wirken als sie. Das **Auflegen** wirkt überall, hat aber auf dem Festland nur lokal eine deutlich ausgeprägte Erscheinungsform. Dieses Verfahren schafft überwiegend subhorizontale Hänge des SR, ist dynamisch schwach und bedingt massive Textur überwiegend ton-schluffiger Sedimente oft ohne deutliche Schichtung. Die Sedimentation von Gesteinsteilchen unterliegt in diesem Fall dem Stockschen Gesetz, welches das Fallen von Teilchen in flüssigen Medien beschreibt. Die Fallgeschwindigkeit ( $W$ ) wird dabei durch die empirische Formel

$$W = 600 \cdot k^2 \text{ oder } W = 4,2 \cdot \sqrt{k} \text{ definiert, wo } k \text{ ein Durchmesser (mm) des Teilchens ist.}$$

Chemisches Fällens des Stoffes aus Gasen, Lösungen, Schmelzen scheint, einerseits, ein besonderer Prozess zu sein, aber andererseits, ist es in vielem dem zweiten Verfahren des physikalischen Fällens (Auflegens) ähnlich. Es ist auch ein Bestandteil aller Prozesse der Akkumulation und findet seine deutlich ausgeprägte Äußerung im Georelief nur unter Bedingungen einer sehr schwachen Dynamik der Treibmedien und bei einem besonderen

geochemischen Zustand der Medien. Die Akkumulation durch ein chemisches Verfahren läuft nicht nur mit Hilfe von chemischen Reaktionen und Anschlüssen der Ionen von Lösungen oder Schmelzen an die feste kristalline Oberfläche, sondern auch durch die Kristallisation der festen Teilchen in den Lösungen und Schmelzen und durch nachfolgendes gravitatives Fällen dieser Teilchen und ihren chemischen Anschluss an die feste Oberfläche. Dieses Verfahren ist kinematisch identisch mit physikalischem Auflegen der Teilchen. Ähnliches geschieht bei der Verdunstung der Lösungen oder bei der Kristallisation der Schmelzen. **Deswegen ist es richtig, das physikalische und chemische Auflegen als ein und dasselbe Verfahren der Akkumulation zu betrachten, und die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden zeigt die Bezeichnung der Stoffzusammensetzung der Sedimente.** Z.B. entsprechen dem physikalischen Auflegen die Schluff,- Ton,- Aschensedimente, dem chemischen Auflegen - Salz, Travertin, Lava. Als Bestätigung, dass diese Sedimente von ein und demselben Verfahren gebildet werden, gilt die Existenz vieler ihrer Zwischenarten, z.B. Mergel, tonhaltige Salze, karbonathaltige Tuff-Aleurolite, Tuff-Lavas usw.

Das **Aufschütten** äußert sich in Form von steilen sedimentativen Hanghalden. Die von diesen Hängen ausgestalten, überwiegend sandigen Sedimente haben eine diagonal (30 - 45°) geschichtete Textur. Im Prinzip sind diese Hänge gravitative Sedimentationshänge und entstehen unter Wirkung der Schwerkraft an den Grenzen der Treibmedien, welche unterschiedliche Akkumulationskapazitäten besitzen und unterschiedliche Geschwindigkeiten der Akkumulation haben.

Das **Aufrollen** äußert sich im Georelief bei laminarer Bewegung der Treibmedien sowie beim Übergang zur turbulenten Strömung. Dabei entstehen flach geneigte Hänge, die der Richtung der Bewegung von Treibmedien entlang geneigt sind. Ihre Sedimente haben subhorizontale oder flach geneigte psammit-psephitische Texturschichtungen. Bei diesem Prozess können auch Auflegen und Aufschütten gleichzeitig ablaufen, aber ihre Spuren bleiben nur lokal und nicht deutlich erhalten.

Transport und Sedimentation von Gesteinsteilchen unterliegen beim Aufrollen dem Bernoullischen Gesetz und werden mittels empirischer Formel beschrieben (Hydraulik 1978). Dabei bestimmt man die Mediumsgeschwindigkeit (**Va**), bei der der Transport der Teilchen nicht möglich ist (entsteht ihre Akkumulation) sowie die Mediumsgeschwindigkeit (**Vt**), bei der der Transport der Teilchen schon möglich ist.

$$Va = g \frac{8,8 \cdot H}{k} \cdot 4\sqrt{k} \quad ; \quad die \quad Vt = 1,41 \cdot Va \quad , \quad wo \quad g \quad die \quad Fallbeschleunigung, \quad k \quad ein$$

durchschnittlicher Durchmesser (m) der Sedimentteilchen und H eine Tiefe (Stärke) (m) des Stromes ist.

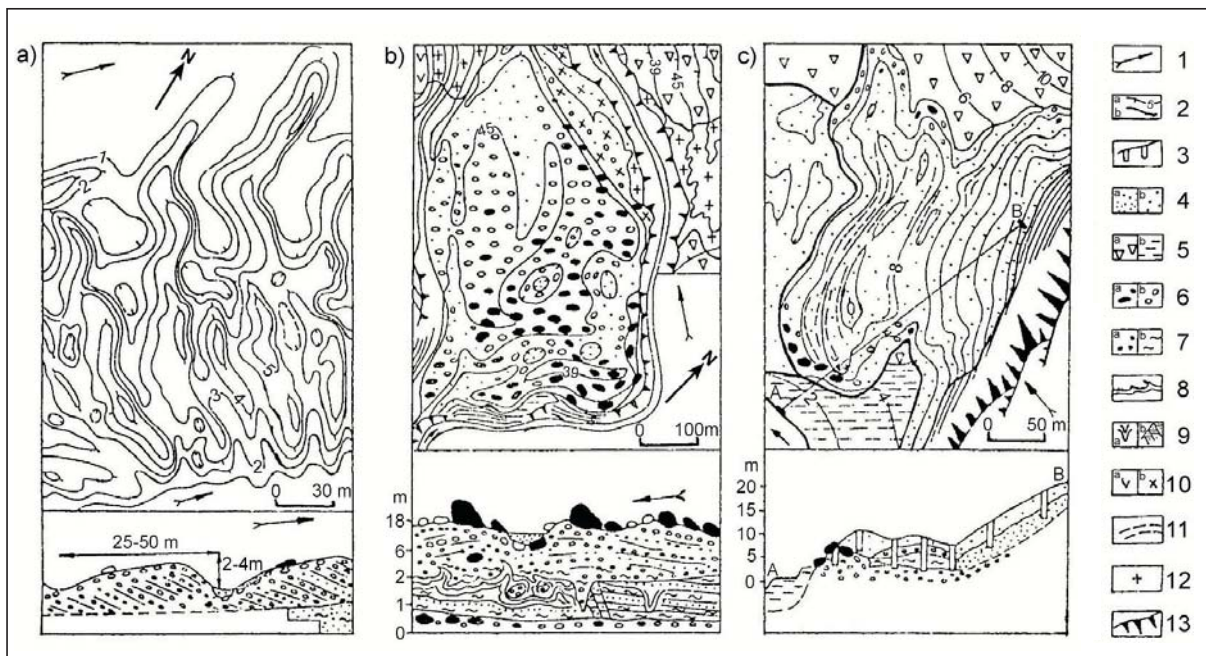


Abb. 4.36: Beispiele der realen sedimentativen Reliefformen (topographische Grundrisse und geologischer Aufbau):

a). Riffeldünen (Aufwerfen), b). Schollenwälle (Aufschleppen), c). Nehrung (Aufrollen), Auenterrassen (Auflegen) und Delta (Schwemmkegel) (Aufschütten). Zeichenerklärung: 1.- Richtung der Strombewegung; 2. - Isohypsen (a), Grenzen von Reliefformen (b); 3. -Schürflinie; 4.- Sand feinkörnig (a), grobkörnig (b); 5.- Schwemmkegel (a),

Auenterrassen (b); 6.- Steinblöcke und Schollen (a), Grobgeröll (b); 7.- Kies und Geröll (a), Schluff und Ton (b); 8.- kleinfaltige Texturen; 9.- kleine Störungen; 10.- hochgelegene Terrassen: erosive (a), sedimentative (b); 11. kleine Brandungswälle; 12.- erosive Felshänge; 13.- sehr steile Felswände

Das **Aufwerfen** beginnt unter den Bedingungen noch größerer Dynamik der Treibmedien zu wirken, wenn ihre Bewegung turbulent wird (mit der Frud-Zahl – Verhältnis vertikal gerichteter Stromgeschwindigkeit zu den horizontal gerichteten Stromgeschwindigkeiten - kleiner 1) und wenn dabei ständige Wirbel entstehen. An den Orten der Wirkung dieser Wirbel entstehen Vertiefungen, wo die Gesteinteilchen aufgeschüttet und woraus sie durch die Wirbel nach vorne und nach oben hinausgeworfen werden. Dabei entstehen entgegengesetzt geneigte, üblich zu einander asymmetrische Hänge, die quer zur Bewegungsrichtung des Treibmediums orientiert sind. Die Sedimente bekommen dadurch diagonal geschichtete psammit-psephitische Texturen, sind üblicherweise gut und sehr gut sortiert. Die Mediumsgeschwindigkeit ( $V_R$ ), welche für die Entstehung dieser Akkumulation notwendig ist, wird mit empirischer Formel bestimmt:

$$V_R = 2,5 \cdot \left( \frac{k}{H} \right)^{\frac{1}{12}} \cdot Va \quad , \text{ (Bezeichnungen siehe oben).}$$

Wenn die Dynamik des Mediums so mächtig wird (kritische Turbulenz mit der Frud-Zahl größer 1), dass sie das Gewicht des Lockermaterials überwinden und eine mächtige Gesteinteilchenschicht in eine gleichzeitige Bewegung versetzen kann, so entsteht bei der Akkumulation unter solchen Bedingungen das Aufschleppen der Schichten auf einander. Bei diesem Prozess können gleichzeitig auch das Auflegen, Aufwerfen und Aufschütten laufen, aber ihre Einwirkung ist unbedeutend im Vergleich mit der Wirkung des Aufschleppens. Die Merkmale des Aufschleppens sind verschiedenartig orientierte und geneigte Hänge sowie unterschiedlich geneigte, aber immer der Gradation entgegengesetzt sortierte (größere Gesteinteilchen liegen üblich in oberen Teilen der Schicht) psammit-psephitische Texturen. Die Mediumsgeschwindigkeit ( $V_S$ ), welche für die Entstehung dieser Akkumulation notwendig ist, wird mit empirischer Formel bestimmt:

$$V_S = 1,41 \cdot Va \cdot \sqrt{\frac{k_5}{k}}$$

wo  $k_5$  ein Durchmesser (m) der größten Teilchen, welche etwa 5% der Sedimentschicht betragen, ist (andere Bezeichnungen siehe oben). In der gegebenen Abfolge nimmt üblich die Steilheit der Hänge, die mittlere Größe der Teilchen, die Dynamik der Treibmedien zu, so ändert sich sprunghaft die Texturart der Sedimente, die Neigung und die Exposition der Hänge des SR. Alle diese Verfahren der Akkumulation sind nicht nur dem Wassermedium und Wasserströmen zu Eigen, sondern auch der glazialen und äolischen Morpholithogenese.

Es ist klar, je intensiver und mächtiger die Dynamik der Medien ist, desto mehr Lockermaterial schleppen sie mit, desto größer können die transportierten Teilchen sein, desto schneller fallen sie aus dem Medium bei Abnahme seiner Dynamik aus und desto schneller können die Akkumulationsprozesse verlaufen. Das heißt auch, dass bei dieser Tendenz dynamisch stärkere Prozesse (Aufwerfen und Aufschleppen) zu überwiegen beginnen. Die Geschwindigkeit des Fallens eines Tonteilchens in kaltem dichten Wasser beträgt etwa einige Zentimeter pro Tag, Sandteilchen fallen mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Sekunde, aber Geröll oder Steinblöcke fallen mit einer Geschwindigkeit von einigen Meter pro Sekunde aus (ROMANOWSKIJ, 1985; u.a.). Deswegen betragen die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Akkumulation (Ausfallen) ton-schluffiger Sedimente, das für diese Teilchengröße physikalisch nur durch das Auflegen möglich ist, etwa einige Millimeter und Zentimeter pro Jahr (ROMANOWSKIJ, 1985; u.a.). Sandige Dünen oder Barchane von einigen Metern Höhe bilden sich üblicherweise im Laufe von nur ein paar Tagen oder Stunden (Aufwerfen) und die steinigen Wälle von Muren (Aufschleppen) bilden sich sogar im Laufe von einigen Minuten oder Sekunden.

Aufwerfen und Aufschleppen leisten eine gewaltige Arbeit bei der Akkumulation der Sedimente in sehr kurzer Zeit, aber üblicherweise nur lokal und episodisch. Besonders das Aufschleppen ist eine sehr seltene und lokale Erscheinung, aber seine akkumulative Einwirkung auf das Georelief ist so gewaltig und deutlich ausgeprägt, dass seine Merkmale und Spuren (Morphokomplexe) sehr lange im Georelief erhalten bleiben, obwohl das SR hier schon lange anderen Akkumulationsprozessen bzw. Denudationsprozessen unterworfen ist.

Man muss aber betonen, dass die Akkumulationsprozesse auf dem Festland oft nur lokal zu beobachten sind. In der Regel existieren hier die meisten Sedimentationshänge in einem „relikten“ Zustand und werden der Denudation unterworfen. Daraus folgt, dass im Georelief eine Absonderung der Spuren von „Rezentprozessen“ und „Paläoprozessen“ der Akkumulation und ihre Kartierung notwendig und möglich sind. Je stärker ein Prozess war, desto größer sind seine Spuren (morphologische Äußerung) und desto länger bleiben diese Spuren im Georelief (als seine Rauheit) erhalten. Deswegen sind die Spuren von Paläoprozessen in der Regel die Spuren mächtiger, extremer (katastrophaler) Naturerscheinungen (BUTWILOWSKI, 1993). Dabei könnten die paläo- Akkumulationsprozesse



durch die Genesis des SR erkannt werden, weil seine Genesis die primären Akkumulationsprozesse äußert, die die Entstehung des SR begleitet haben. Deshalb ist es ausreichend, auf den Karten nur die rezenten Akkumulationsprozesse zu bezeichnen. Die Akkumulationsprozesse werden von verschiedenen Treibmedien und Faktoren (Wasser, Gletscher, Wind, Meteoriten, Menschentätigkeit, Vulkanismus usw.) verursacht, aber sie geschehen immer an der Erdoberfläche, d.h. sie sind immer **exogen**.

Ein besonderer Typ des SR entsteht durch die „**impakten**“ Akkumulationsprozesse, welche von mächtigen Schlägen verschiedener äußerer Körper auf die Erdoberfläche verursacht werden (Meteoriten, Lawinen, Bergstürze usw.). Als Folge eines Schlages wird üblich ein Abschnitt des SR geschaffen, der aus einem „Schlagwall“, Schlagkegel und einer flachen Sturzdecke bestehen kann. Seine Hänge können verschiedene Formen haben, aber ihr Alter ist gleich, wenn sie durch ein Ereignis in einem Punkt entstanden sind. Die Schlagkegel und Schlagwälle können auch bei Eis-Schnee-Lawinen, Bergstürzen, Wasserfällen, Meteoriteneinschlägen entstehen. Dabei sind die ersten drei Arten auf der Erde auch relativ seltene und kleine Erscheinungen. Die Schlagkegel und Schlagwälle durch Meteoriten sind zwar auch selten, aber ihr Ausmaß kann sehr groß sein und sogar auf kleimaßstäbigen Karten kartierbar. Den Traditionen folgend, kann man alle diese Reliefformen und Prozesse als „impakte“ bezeichnen, jedes Mal, wenn das möglich ist, ihre Genesis präzisierend.

Man darf nicht vergessen, dass die Entstehung der Sedimenthänge von der wirtschaftlichen Tätigkeit der Menschen oder von lebendigen Organismen geschaffen werden können, und zwar durch Aufschütten und Auflegen (z.B. künstliche Dämme, Halden usw.) oder durch Explosionen (z.B. Bombenexplosionen). Sie können als „**technogen**“ oder als „**biogen**“ bezeichnet werden. Die meisten von ihnen haben ein geologisch gegenwärtiges Alter, aber sie können nach ihrem Alter detaillierter klassifiziert werden. Das Ausmaß dieser Hänge ist groß genug und sie haben heutzutage eine Tendenz zur Expansion. Deswegen ist ihre Kartierung auch wichtig.

Das SR wird nicht nur durch die Bewegung der äußeren Treibmedien geschaffen, sondern auch mittels der Bewegung des Stoffes des Erdinneren. Durch Auspressen der Stoffe aus der Erdkruste und sein Zerfließen auf die Erdoberfläche (Schlamm, Asphalt, Salz, Lava) entstehen spezifische Sedimente mit eigenem Sedimentationsrelief. Diese Erscheinungen bezeichnet man beim Vulkanismus als „**effusive**“ Erscheinungen. Den Begriff „effusiv“ kann man allgemein für die Bezeichnung von Prozessen und Sedimenthängen dieser Art. Das Auspressen und Zerfließen der Erdstoffe können mehrmals aus einem Punkt (Krater) oder aus mehreren Punkten (aus einer Kluft) ablaufen. Dadurch entstehen effusive, steil geneigte Kegel oder effusive, weit gestreckte flache Decken, deren Hänge in der Regel verschiedene Form und Neigung sowie unterschiedliches Alter haben können (je höher desto jünger - nach dem Gesetz von STENO). Die **Effusionen** können auch bei kryogenen, lithogenen, pneumatogenen, fluvio-genen, magmatogenen Änderungen und Bewegungen der Erdstoffe entstehen. Dabei sind die vier ersten Arten auf der Erde relativ seltene und kleine Erscheinungen (Eistal, Salzgletscher, Salse, Travertin usw.).

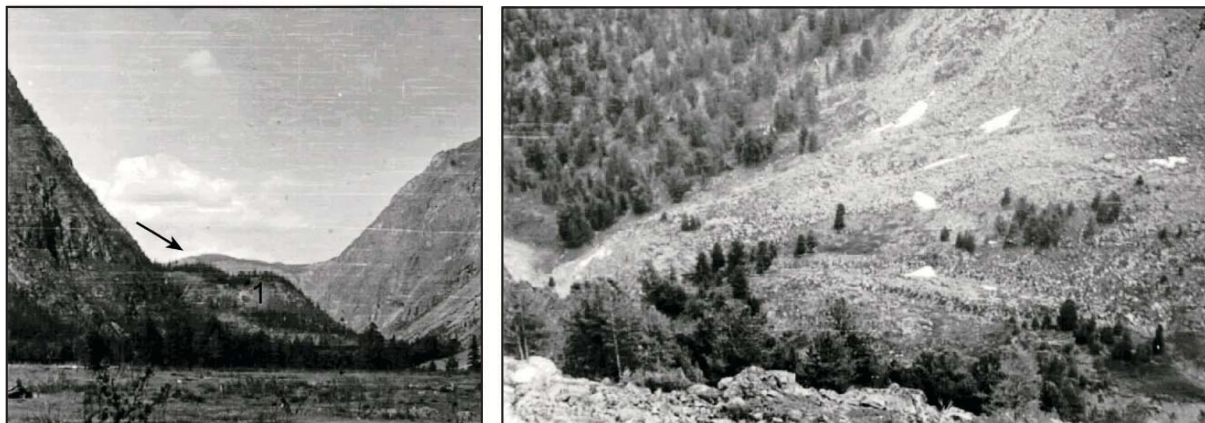


Abb. 4.37: Links: riesiger Bergsturz (1) im Tschulyschman-Tal, rechts: Rutschung (Steingletscher) im Hochgebirge. Foto: W. Butwilowski, 2000

Die Bewegungen und der Auswurf des Stoffes können auch sehr schnell verlaufen, z. B. durch eine Explosion in der Erdkruste beim Vulkanismus. Die Explosion schafft nicht nur disjunktive Hänge, sondern wirft auch eine große Menge des Stoffes nach oben in die Luft oder ins Wasser, die danach herunter fällt und dabei die Sedimentationshänge durch Aufschütten und Auflegen schafft. Diese Erscheinungen können mehrmals an verschiedenen Orten, mit unterschiedlichem Effekt passieren. Dabei wachsen nach Form und Alter unterschiedliche Sedimenthänge. Diese Hänge kann man als „**explosive**“ Hänge bezeichnen. Als Folge der Explosion wird üblicherweise ein Abschnitt des SR geschaffen, der einen einzelnen isometrischen „**Kegel**“ oder eine „**flache Decke**“ darstellt. Die

Explosionen können auch bei kryogenen, lithogenen, pneumatogenen, fluviogenen, magmatogenen Änderungen der Erdstoffe passieren. Dabei sind auch die vier ersten Arten auf der Erde relativ seltene und kleine Erscheinungen (Schlammkegel, Schlackkegel und Decken, Geisire usw.). Man muss betonen, dass diese Erscheinungen von allen bekannten Arten der Akkumulationsprozesse begleitet werden können. Z.B. kann die Explosion von Aufschütten, Auflegen, Aufrollen, Aufwerfen und Aufschleppen begleitet werden, aber nicht nur diese Prozesse bestimmen die Reliefgestalt und die Zusammensetzung des Stoffes bei dieser Erscheinung, sondern vor allem die Explosion selber.

Das SR kann auch durch die Bewegung der beweglichen Schicht des Lockermaterials entstehen. Seine Hänge sind die Folge von denudativen gravitativen Prozessen (Sturzdenudation, Deserption, Defluktion, Solifluktion usw.). Die gravitativen Sedimenthänge entstehen im Prinzip durch zwei Verfahren: durch das Aufschütten (**Bergstürze und Schutthalden**) (Abb. 4.37) und durch das Aufschleppen (**Rutschungen** von verschiedenen Typen).

Die Akkumulationsprozesse haben viele physikalische Besonderheiten und können mathematisch beschrieben werden. Aber das ist ein spezielles Thema, das zu diesem Buch nicht direkt angehört.

## 5. Historische Geomorphologie (Geomorphostratigraphie)

### 5.1. Raum und Zeit (Struktur und Alter) in der Geomorphologie

Die Erkenntnis des Georeliefs besteht nicht nur aus exakter Ermittlung seiner Elemente, Genesis und Entwicklungsprozesse, sondern fordert eine formal exakte räumlich-zeitliche Interpretation der gewonnenen Daten (Kapitel 2). Die räumliche Anordnung der Georeliefelemente (Hänge) stellt die Geomorphostruktur dar, die zeitliche – das geomorphologische Alter der Georeliefelemente. Beide Anordnungen bilden eine Grundlage zur Feststellung der Entwicklungsgeschichte des Georeliefs. Die Struktur ist die Form der Anordnung der Elemente und Teile des Ganzen in Bezug auf andere Elemente und das Ganze. Sie ist eine wichtige Eigenschaft vom Ganzen, dessen Teile zueinander immer in einer zeitlichen Abfolge und (oder) in einer dynamischen und paragenetischen Abfolge gelegen sind.

Das Georelief gehört dem Raum der Erdoberfläche an. Man kann diesen Raum auch als „**geomorphologischen**“ Raum bezeichnen. Seine Konfiguration wird mittels Isohypsen auf der topographischen Karte dargestellt. Die Struktur des Georeliefs (**Geomorphostruktur**) wird durch seine Hänge zusammengesetzt, die sich voneinander durch die Genesis ihrer Entstehung und durch die Prozesse ihrer Entwicklung unterscheiden. Aber der wichtigste Unterschied zwischen den Hängen untereinander ist ihre Gestalt (Form), und gerade ihre Gestalt äußert die Besonderheiten der Entstehung und Entwicklung der Hänge. Die Struktur des Georeliefs kann sich im Laufe seiner Entwicklung ändern. Ihre Elemente (Hänge) entstehen auf den einen Abschnitten des Georeliefs und werden auf den anderen vernichtet.

Die Geschichte der Entstehung und Entwicklung jedes Gegenstandes (Georelief) stellt eine zeitliche Abfolge seiner verschiedenen Elemente und Einheiten (Hänge, Neigungsgürtel, Morphokomplexe) dar. Im Prinzip ist jeder Hang ein Träger der chronologischen und genetischen Informationen. Für die Festlegung dieser Informationen ist die Einführung der Begriffe „**Alter**“ und „**Genesis**“ notwendig. In der Geomorphologie, wie auch in der Geologie, sollte die Zeit sowohl absolut als auch relativ betrachtet und für die vergangenen Ereignisse als Zeitdauer einzeln eingeschätzt werden. **Eine wichtige Aufgabe der Geomorphologie ist die Zeit und den Raum für jeden Hang** (seine „Lebensdauer“, Entstehungsmoment und Grenzen) **zu ermitteln und dies in der exakten und tatsächlichen räumlich-zeitlichen Abfolge einzuordnen**. Durch die richtige Lösung dieser Aufgabe wird die räumlich-zeitliche Struktur des Georeliefs (Geomorphostruktur) erkannt.

Die Begriffe „Raum“ und „Zeit“ sind schwer zu erklären. Auf jeden Fall sollten sie so definiert werden, dass man sie effizient benutzen kann, und zwar der **Raum** ist etwas, ausgedrückt durch Lage und Struktur mittels gewisser Quantitäten und Qualitäten (z.B. Ausmaß, Lage, Dichte, Zustand). Die **Zeit** ist etwas, das eine kontinuierliche Reihenfolge der Ereignisse im Verhältnis früher-später äußert. Dabei ist das Ereignis eine Entstehung von irgendetwas, was immer einem einzigartigen Zeitpunkt (Moment) entspricht. Die **Zeitdauer** ist die Quantität gleicher Ereignisse, welche miteinander im Verhältnis früher-später stehen. **Es gibt keine geomorphologische, geologische, physikalische Zeit, es gibt vor allem die geologischen, geomorphologischen, physikalischen Abfolgen der Ereignisse im allgemeinen Zeitverlauf. Die vergangene Zeit ist etwas, dessen Teile durch existierende Dinge und ihre Abfolgen im Raum geäußert werden**. Die Dauer der Zeit ist für die Vergangenheit entweder nicht bestimmbar oder sie wird mit einer Genauigkeit durch das Aktualismusprinzip für homogene konkordante Gesteins- oder Hangabfolgen bestimmt. Alle diskordante Grenzen fixieren die Unterbrechungen der Gesteinsbildung (Hangbildung), sie fixieren keine geologischen Ereignisse außer dem Ereignis der Entstehung der Diskordanzen

und tragen keine Spuren von vielen Zeitmomenten, obwohl dieses Fehlen der Zeitspuren überhaupt nicht bedeutet, dass innerhalb der Unterbrechung die allgemeine Zeit nicht lief. Im Gegenteil widerspricht dies dem gesunden Menschenverstand und den Daten aus anderen Wissenschaften.

Gesteins- oder Georeliefentstehung ist immer von einer Bewegung bedingt. Jede Bewegungsänderung läuft innerhalb einer Zeit und wird von einer Kraft verursacht. Wenn etwas (Punkt) sich in eine kraftbedingte Richtung bewegt, so wird von ihm immer in einem Zeitabschnitt ein Teil des Raums (Strecke) zurückgelegt. Es ist logisch, dass die gesamte Strecke (Weg), die z.B. ein Punkt zurückgelegt hat, auch eine Menge von Zeitmomenten (Dauer) enthält. Dabei ist die Richtung der Bewegung im Raum gleichzeitig die Richtung des „Fließens“ der Zeit (von früher passierten Momenten zu Momenten, die später geschehen sind). Anders gesagt, die Menge von Zeitmomenten nimmt vom Anfang in die Richtung der Bewegung zu; die Richtung der Bewegung fällt mit der Richtung der Kraftwirkung zusammen. Die Richtung der Kraftwirkung kann also auch eine räumlich-zeitliche Richtung sein, d.h. sie ist nicht nur geometrisch (räumlich), sondern auch zeitlich.

Dadurch kann man die räumlich-zeitliche Abfolge ermitteln und einordnen, und zwar mittels bestimmter und stabiler kraftbedingter Richtung im Raum. Solch eine Kraft ist für das geologische System die Schwerkraft, die zum Erdmassenzentrum (**nach unten**) gerichtet ist. Diese Kraft bewirkt die Gesteinsbildung und die Verbindung der Gesteinsteilchen miteinander. So eine Kraft wirkt natürlich im Georelief und führt zur Bildung und Entwicklung des SR. Für die Entwicklung des DR **ist vor allem eine Höhendifferenz notwendig**. Diese Höhendifferenz (herausragende, von allen Seiten offene Hebung) muss aber zuerst geschaffen werden. Sie kann durch eine Kraft, die von der Schwerkraft erzeugt wird, geschaffen werden, und diese Kraft (Hebungskraft, „Tragkraft“) ist immer nach oben gerichtet. Gerade diese Kraft schafft die echten Hebungen im Georelief (Hebungen der Erdkrustenblöcke) und ihre Hänge. Die echten Senkungen schaffen geschlossene geomorphologische Teilräume, welche im Laufe der Zeit nur transformiert und im Endeffekt durch Akkumulation begraben werden.

Aus obigen ist es logisch anzunehmen, dass **die Richtung „nach oben“ im Georelief auch die Richtung der Zunahme der Zeit (höher = älter, bzw. niedriger = jünger)** ist. Die einfachste und genügend exakte Feststellung dieser Richtung ist durch das Lot möglich. Die Richtung „nach oben“ (vom Massenzentrum des Lotes zum Befestigungspunkt der Lotschnur) ist die Richtung der Wirkung der Hebungskraft, die der Wirkung der Schwerkraft entgegengesetzt ist. Sie ist auch die Richtung der Zunahme der Zeit im Georelief (im Unterschied zur Geologie) und ist die „Hauptrichtung“ des geomorphologischen Raums, die räumlich-zeitliche Richtung. Aus der Lage von Spuren geomorphologischer Ereignisse kann man exakt schlussfolgern, **welches dieser Ereignisse früher und welches im Vergleich zu anderen später geschah**.

Der Zeitpfeil des geologischen Systems ist also vertikal und läuft nach unten. Der Zeitpfeil des geomorphologischen Systems ist auch vertikal, aber läuft nach oben. **Dabei kann die Geomorphologie die beiden parallelen Zeitrichtungen benutzen und zwar: die erste als sekundäre - nur innerhalb des Sedimentationsreliefs; und die zweite als primäre - für das ganze geomorphologische System und vor allem für das Disjunktivrelief**. Das ist ein Vorteil der Geomorphologie gegenüber der Geologie bei der Datengewinnung und Datenanalyse.

Es ist bekannt, dass die Richtung der Bewegung des Stoffes auf der Erdoberfläche unter der Wirkung der Schwerkraft oft auch eine horizontale Komponente haben kann, wobei innerhalb eines flach geneigten Oberflächenteils der Transport der Gesteinsteilchen unendlich viele mögliche Richtungen haben kann. Bei dieser Situation entstehen viele Richtungen, die als Zeitrichtungen angenommen werden könnten, im Sinne „ferner-älter“ oder „ferner-jünger“. So eine Situation schafft für die Geologie das unlösbare Problem der Altersbestimmung, weil der Anfangspunkt für die Zählung („Nullpunkt“) nicht bestimmt werden kann (BUTWILOWSKI, 2001, Kapitel 2.2.). Im Unterschied zur Geologie kann man **im geomorphologischen System immer die „Nullpunkte“ bestimmen, von denen in alle subhorizontalen Richtungen die räumlich-zeitliche Abfolge ganz gesetzmäßig angeordnet ist**, und zwar nicht nur „niedriger-jünger“, sondern auch „ferner-jünger“ oder „ferner-älter“. Diese Punkte sind die „Gipfel“ der Hügel oder Berge und die „Niederungen“ der Senkungen und Kessel. Es gibt hier keinen Widerspruch zum bereits charakterisierten geomorphologischen Alter. **„Ferner-jünger“ im Georelief ist auch gleichzeitig „niedriger-jünger“, weil je ferner vom Gipfel einer Hebung, desto niedriger liegen die Punkte der Erdoberfläche, d.h. das Prinzip „niedriger-jünger“ bleibt ganz genau erhalten** (Abb. 3.3). Diese „Nullpunkte“ sind für die Analyse des Georeliefs notwendig, gerade in diesen Punkten muss man seine Analyse beginnen. Gerade in diesen Punkten beginnt oder endet die Abtragung des Stoffes (Denudation). Gerade diese Punkte sind im DR die ältesten (Gipfel) oder die jüngsten (Niederung), und von ihnen ausgehend muss man das geomorphologische Alter der Hänge abzählen. Gerade in der Anwesenheit solcher Punkte besteht auch der Vorteil der Geomorphologie gegenüber der Geologie. In der Geologie muss man zuerst feststellen und beweisen, wo sich in der Lithosphäre der Punkt des Aufschlusses der ältesten Gesteine befindet. Im Georelief werden solche Punkte sofort und ohne Schwierigkeiten erkannt, z.B. die Gipfel auf der topographischen Karte.

In der Geomorphologie, wie in der Geologie auch, ist es möglich und zweckmäßig, zwei Arten der Zeitbestimmung einzuführen:

1. „**Absolute**“ **Zeit (Alter)**, die durch ein geomorphologisches oder physikalisches (äußeres) Eichmaß gemessen wird, wenn ein solches Eichmaß zur Verfügung steht oder vereinbart wird;
2. „**Relative**“ **Zeit (Alter)**, wenn nur der Platz (Zeitpunkt) eines Hanges in der Abfolge der Entstehung anderer Hänge im Sinne „früher-später“ zu bestimmen ist.

Alle anderen Zeitbestimmungen sind in der Geomorphologie nicht nötig. Aber wozu braucht man in der Geomorphologie die zwei Arten der Zeitbestimmung? **Das Problem besteht darin, dass man beide Zeitarten nicht für alle genetischen Typen der Hänge exakt ermitteln kann.** Das Alter der Sedimenthänge wird durch die erste Art der Zeitbestimmung (aus dem geologischen oder physikalischen Alter und durch den Vergleich dieses Alters mit dem geomorphologischen Alter) **relativ genau** festgestellt. Das Alter der Disjunktivhänge wird durch die zweite Art der Zeitbestimmung (aus der geomorphologischen Altersabfolge und aus dem Vergleich mit dem geologischen Alter) **ganz genau** festgestellt. Deswegen muss man in der Geomorphostratigraphie (aber nicht in der Geomorphogenese) auf den Begriff „Zeitdauer“ verzichten und Begriffe „**geomorphologische Abfolge**“ bzw. „**geomorphologische Chronologie**“ und „geomorphologisches Alter“ einführen. Dabei ist „...die „Chronologie“ als eine Reihenfolge „früher-später“, ohne quantitativer Bestimmung um wie viel früher oder später etwas geschah“, zu betrachten (MEIEN, 1989, S. 56). Beide Arten der Altersbestimmung benutzend und ihre Genauigkeit für bestimmte Typen der Hänge beachtend, kann man richtig und effektiv das Alter voneinander getrennter Hänge vergleichen, ihre Gleichzeitigkeit oder Ungleichzeitigkeit feststellen und damit die räumlich-zeitliche Struktur des Georeliefs richtig und tatsächlich wahr erkennen und darstellen (kartieren). Aber was ist eigentlich das geomorphologische Alter?

Die Analyse vieler Definitionen dieses Begriffes wurde bereits gegeben (BUTWILOWSKI, 2001). **Das geomorphologische Alter ist der Zeitpunkt der Entstehung eines Hanges (Reliefeinheit) in der Abfolge von Zeitpunkten der Entstehung anderer Hänge.** Methodologisch ist dieser Begriff zum Alter der Gesteinsfolgen analog. Der Entstehungsmoment eines Hanges ist ein Momentanereignis, bei dem dieser Hang seinen Platz (sowie seine Gestalt und Genesis) in der Abfolge der Entstehung anderer Hänge (Reliefeinheiten) bekommen hat. **Das geomorphologische Alter einer Reliefeinheit wird durch die Menge von später passierten geomorphologischen Ereignissen (Zeitpunkten), deren Spuren (auch als Hänge) im Georelief existieren, gemessen und mit dem Alter anderer Reliefeinheiten im Sinne des Verhältnisses „früher-später“ verglichen und abgeschätzt.** Gerade die geomorphologischen Ereignisse schaffen die Struktur und die Geschichte des Georeliefs.

Allerdings ändern sich einige Eigenschaften eines Hanges im Laufe seiner Existenz. Aber auf **sein Alter können diese Änderungen keine Einwirkung haben; sein Alter nimmt entsprechend der Entstehung neuer Hänge zu, solange der Hang existiert.** Was bedeutet „Existenz des Hanges“? Das bedeutet vor allem, dass **der Hang durch sein räumliches Ausmaß immer einen bestimmten Platz in der räumlich-zeitlichen Abfolge der Hänge hat.** Der Verlust des eigenen Platzes in der Hangabfolge ist gleichzeitig die Vernichtung des Hanges. Seine Existenz bedeutet auch die Erhaltung der Ähnlichkeit zu sich selbst. Diese Möglichkeit bestätigen bereits festgestellte Gesetze der Denudation und Akkumulation (Kapitel 4.2.3. und 4.3.2.). **Die Erhaltung der Ähnlichkeit des Hanges zu sich selbst und die Erhaltung seines Platzes in der Abfolge von Hängen sind die Hauptbedingungen für die Existenz des Hanges. Es können alle Verzerrungen der Hangeigenschaften auftreten, außer der Übertretung seines Platzes unter den Hängen und seiner relativen Steilheit** [d.h. der Hang muss immer steiler oder flacher als seine vertikal (nicht lateral) benachbarten Hänge sein]. Wenn ein Hang verschwunden ist, so können wir nicht wissen, ob er existierte oder nicht. **Das „Datum“ der Vernichtung eines Hanges kann nicht ermittelt werden.**

Die Entstehung eines Hanges (Dinges) ist ein „Ereignis“ (etwas Geschehenes innerhalb eines Zeitmoments). **Ein Ereignis bedeutet auch die Vollendung oder den Anfang von etwas. Man kann das Ereignis als unteilbare Einheit (Zeitpunkt) der Zeit annehmen.** Die Abfolge von Ereignissen äußert die Abfolge der Zeit. Der Zeitpunkt, zu dem man genau behaupten kann, dass etwas endlich gebildet oder geschehen ist, ist in der Regel überhaupt nicht wahrnehmbar. Deswegen hat es keinen Sinn zu versuchen, ein Ereignis durch eine Zeitdauer zu bestimmen, vor allem in der Geomorphologie, wo eine genügend exakte quantitative Feststellung der Dauer oft überhaupt nicht möglich ist. Ein Ereignis ist z.B. die Schöpfung des „Embryos“ eines Disjunktivhanges, das durch das blitzschnelle Zerreißen der Gesteine hervorgerufen wird. Dieses Element des Georeliefs wird in dem Zeitablauf durch ein Momentanereignis repräsentiert, dessen Dauer man nicht beachten darf.

## **5.2. Chronologische Verhältnisse zwischen Disjunktivhängen**

Ein Hang, wie auch ein Gestein, kann also als Momentanereignis (räumlich-zeitlicher Punkt) wahrgenommen werden. **Er ist ein Individuum, das innerhalb seiner selbst auch zeitlich gleich (homogen) ist. Verschiedene (be-**

nachbarte) **Hänge können zueinander entweder nicht gleichzeitig (älter oder jünger) oder bedingt gleichzeitig sein** (ungefähr synchron zueinander).

Ein Individuum ist zu sich selbst logischerweise immer gleichzeitig. Niemand behauptet, dass die Hand eines Menschen älter oder jünger ist als sein Bein oder Kopf. Das Alter aller Teile des Individuums ist dasselbe (aber Änderungen, Wachstum der Teile können nicht unbedingt gleichzeitig sein).

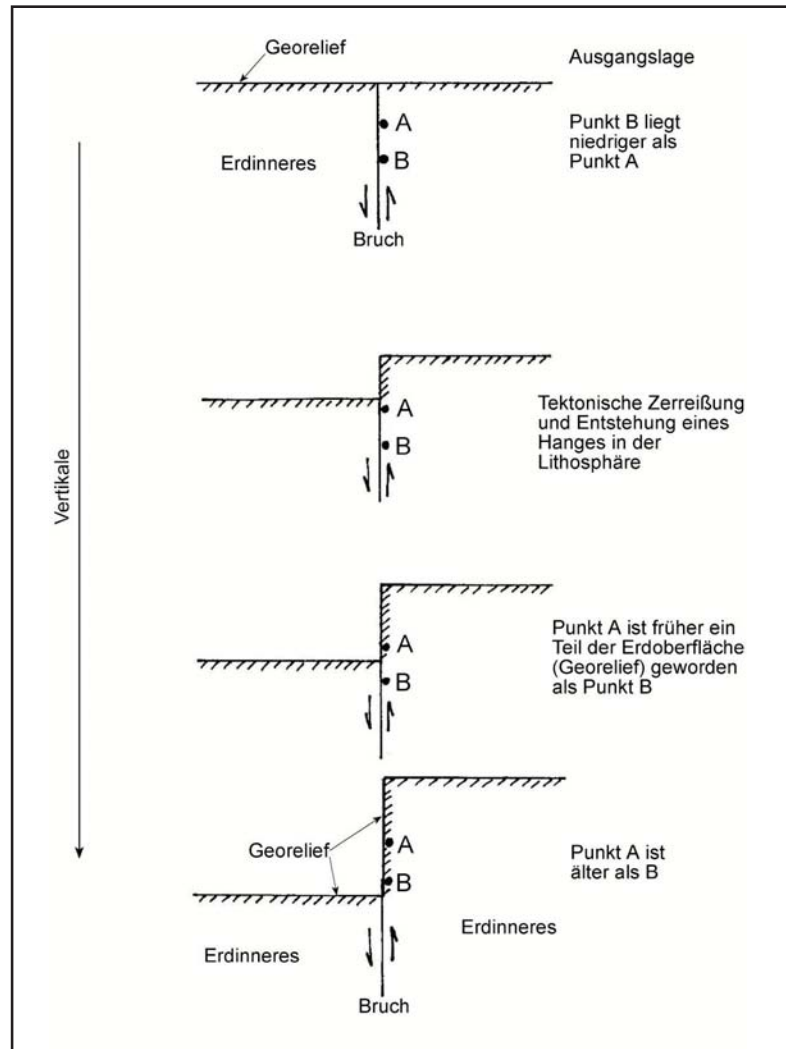


Abb. 5.1: Geometrischer Beweis des chronologischen Verhältnisses „Punkt A (Hang A) ist älter als Punkt B (Hang B)“ im Georelief, wenn Punkt B und Punkt A einer Vertikalen angehören und Punkt B niedriger als Punkt A liegt

Wie entstehen die Hänge im Sinne zeitlicher Betrachtung? Die Disjunktivhänge entstehen durch die subvertikale Verschiebung von Gesteinsblöcken (Kapitel 4.2). Bei der Hebung eines Blockes tritt ein Teil seiner Grenzfläche (Bruchfläche) auf bertag. Damit wird sie zu einem Bestandteil der Erdoberfläche, als Abbruchwand bezeichnet. Entsprechend der relativen Bewegung „nach oben“ erreichen einige Punkte dieser Bruchfläche den bertag früher (zuerst) als ihre anderen Punkte. Wie kann man erfahren, welche ihrer Punkte früher und welche später die Erdoberfläche erreicht haben und sichtbar wurden? Der gesunde Menschenverstand lässt sich nur eine Lösung vorschlagen (Abb. 5.1): **Wenn ein Punkt der Abbruchwand, der sich mit einem anderen Punkt auf ein demselben vertikalen Profil der Abbruchwand befindet, aber niedriger als dieser Punkt liegt, dann ist der niedriger liegende Punkt nur nach dem höher liegenden Punkt (später) ber Tage getreten.** Der später über Tage getretene Punkt (Teil der Abbruchwandflche) kann niemals höher als der früher hinausgetretene Punkt (Teil) liegen. Dazu müsste er den früher hinausgetretenen Teil der festen Oberfläche durchschreiten und dadurch müsste der früher hinausgetretene Teil zerstört werden. Wenn es aber festgestellt ist (dies ist sichtbar und sicher messbar), dass diese zwei Punkte (Teile) existieren und der eine Punkt (Teil) unter dem anderen Punkt (Teil) liegt, dann gab es keinen Durchdrang zwischen ihnen und keine Zerstörung. D.h. **der oben liegende Punkt (Teil) ist wirklich, um ein Zeitmoment oder mehr immer früher über Tage getreten und ist immer älter.** Dieses räumlich-zeitliche Verhältnis kann man genauso für mehrere übereinander liegende Punkte bzw. Disjunktivhänge beweisen.

Daraus ist ein Axiom zulässig: **in der vertikalen Abfolge von zueinander benachbarten Disjunktivhängen ist jeder niedriger liegende Hang später entstanden (ist jünger) als sein benachbarter höher liegender Hang** (Beziehung „niedriger-jünger“). Das ist eines der wichtigsten Axiome für die Geomorphostratigraphie. Ich schlage vor, es als „Prinzip von DOKUTSCHAEW“ zu bezeichnen. Dieses Prinzip wurde von W. W. DOKUTSCHAEW bereits im Jahre 1891 entworfen (Terminologie..., 1977), aber es war nicht ganz richtig formuliert und wurde von mir präzisiert.

Man muss auch betonen, dass dieses Axiom für die Abfolge von Sedimenthängen nicht anwendbar ist. Für diese Hänge ist die Anwendung des Axioms von STENO (höher-jünger) möglich, aber nur für den Fall, dass diese Hänge nicht durch Disjunktivhänge getrennt sind.

Die Hänge, auf welche dieses Axiom anwendbar ist, kann man als „stratifizierte“ Hänge (wie die Gesteine in der Geologie) bezeichnen. Man muss auch bemerken, dass **benachbarte Hänge, die auf ein und demselben Höhenniveau liegen, verschiedene zeitliche Verhältnisse haben können. Sie können zueinander synchron oder ungleichzeitig sein, was unbedingt festzustellen und zu beweisen ist.** Diese Aufgabe ist die Hauptaufgabe in der Geomorphostratigraphie und gerade durch ihre Lösung wird die räumlich-zeitliche Struktur des Georeliefs erkannt.

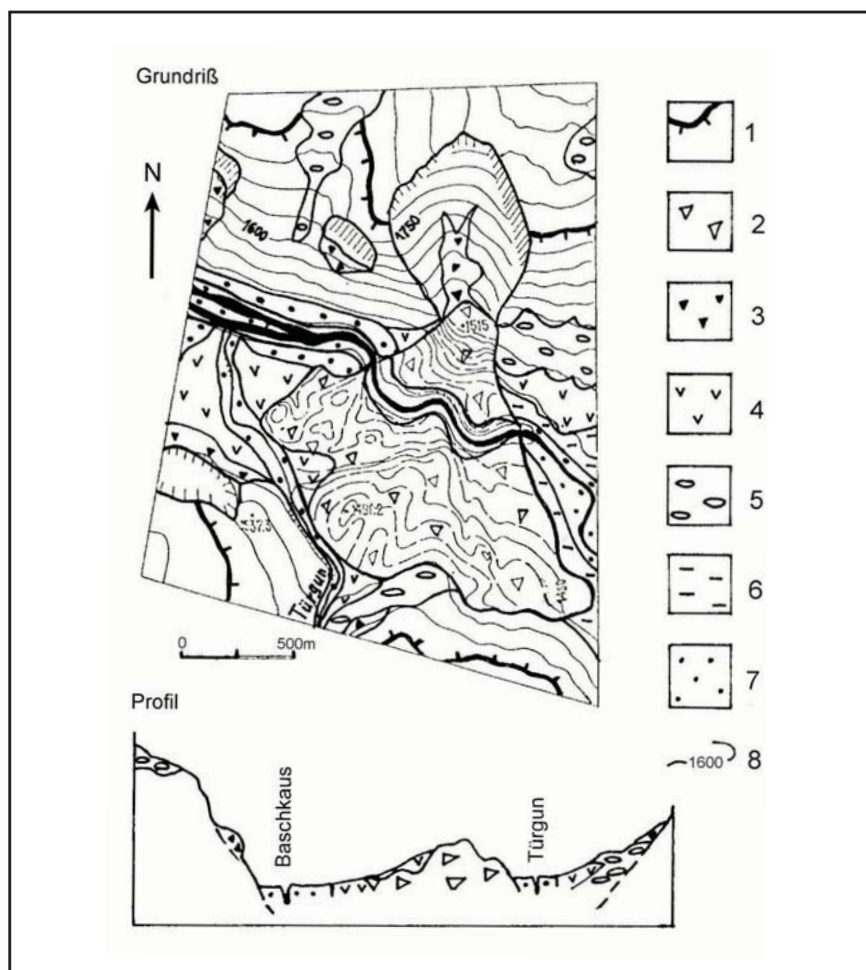


Abb. 5.2: Räumlich-zeitliche Verhältnisse der Sedimenthängen zwischen einander und zu Disjunktivhängen am Beispiel des Reliefabschnitts „Bergsturz Saratan“ im Altai-Gebirge:

Zeichenerklärung: 1. – Disjunktivhängen mit Nahtlinien; Sedimenthängen: 2. – Bergsturz (altersgleiche Teile auf unterschiedlicher Höhenlage); 3. – Schutthalde (zu einander altersgleiche Teile auf unterschiedlicher Höhenlage); 4. – Schwemmkegel (zu einander altersgleiche Teile auf unterschiedlicher Höhenlage); 5. – Grundmoräne (altersgleiche Teile auf unterschiedlicher Höhenlage); 6. – Seedecke (altersgleiche Teile auf unterschiedlicher Höhenlage); 7. – Auenterrassen (zu einander altersgleiche Teile auf unterschiedlicher Höhenlage); 8. – Isohypsen

Wenn ein Hang mit allen benachbarten Hängen nur diskordante Grenzen hat, so bedeutet das, dass dieser Hang alle benachbarten Hänge „verschnitten“ oder „überdeckt“ hat (Abb. 4.2). Das kann nur dann passieren, wenn alle

anderen Hänge bereits existierten und ihre Lage in der geomorphologischen Abfolge hatten. Der Einschnitt oder die „Deckung“ dieser Hänge kann nur nach der Bildung aller dieser Hänge passieren. Daraus folgt, **dass der eingeschnittene oder „überdeckende“ Hang immer jünger ist als die von ihm verschnittenen oder überdeckten Hänge**. Dieses zeitliche Verhältnis gilt insbesondere für die „überdeckenden“ Sedimenthänge. Ihr geomorphologisches Alter ist immer jünger als alle benachbarten Hänge, außer Disjunktivhängen, die in diese Sedimenthänge eingeschnitten sind. Das geomorphologische Alter der Sedimenthänge hängt von ihrer Orts- und Höhenlage nicht ab (Abb. 5.2). Man kann sie in der Geomorphostratigraphie als „nichtstratifizierte“ Hänge bezeichnen.

### 5.2.1. Chronologische Eigenschaften des SR

Die Geologen haben schon lange bewiesen (Kurs Allgemeiner Geologie,.. 1976; u.a.), dass eine strenge räumlich-zeitliche Abfolge von Sedimentschichten (Hänge) nur bei ihrer Akkumulation auf subhorizontalen Oberflächen in geschlossenen Senkungen realisiert werden kann. Auf geneigten Oberflächen und oberhalb der Denudationsbasen läuft die Akkumulation dynamisch schneller, aber oft nur episodisch, räumlich ungleichmäßig, ungleichzeitig, ungleichartig und dabei auf unterschiedlichen Höhenlagen (Abb. 5.2). Unter solchen Bedingungen entsteht keine gesetzmäßige (nach Prinzip von STENO) Raumabfolge von Sedimenthängen. Das Alter der Sedimenthänge kann sehr unterschiedlich sein und wird mithilfe des geologischen Alters der zu den Hängen konkordanten Gesteine bestimmt sowie aus Verhältnissen zwischen DR- und SR-Hängen. Daraus folgt, dass **durch das SR die chronologische geomorphologische Skala (Abfolge) nicht aufgebaut werden kann**, und die Informationskapazität des SR bezüglich des geomorphologischen Alters nicht genügend exakt und repräsentativ ist, um es als eine der wichtigsten Eigenschaften des SR wahrzunehmen. Aber das geologische oder physikalische Alter des SR muss man immer möglichst exakt bestimmen und mit der geomorphologischen Altersskala synchronisieren, um damit zu ermöglichen, die geomorphologische Altersskala mit den Altersskalen anderer Natursysteme zu korrelieren und richtige Verbindungen zwischen diesen Systemen zu knüpfen.

Die Notwendigkeit des Vergleiches der geomorphologischen, geologischen, astronomischen, physikalischen, archäologischen u.a. Altersskalen miteinander entsteht bei der Begründung **paläogeographischer Rekonstruktionen**. Die geomorphologische Abfolge (Altersskala) kann man mit der geologischen und anderen Ereignisabfolgen nur durch das SR vergleichen und einen Informationsaustausch durchführen, weil das SR gleichzeitig der Bestandteil des Georeliefes und der Erdkruste und ein „Kettenglied“ zwischen der Geologie und der Geomorphologie ist. Durch das DR wird dabei die geomorphologische Chronologie ermittelt, und das SR lässt diese Chronologie sowie geomorphologische Objekte und Ereignisse mit den Chronologien und Ereignissen von anderen Natursystemen vergleichen.

Man muss auch in Kenntnis nehmen, dass **wenn ein Sedimenthang eine Deckungsgrenze mit einem Disjunktivhang hat** (überdeckt den Disjunktivhang), **dann ist dieser Sedimenthang immer jünger als dieser Disjunktivhang. Ein Disjunktivhang, der in Sedimenten entstanden ist, ist immer jünger als diese Sedimente und ihre Sedimenthänge**. Diese einfache axiomatische Regel lässt die Altersverhältnisse zwischen den Hängen des DR und des SR immer ganz genau bestimmen.

## 5.3. Geomorphostratigraphie und morphostratigraphische Modellierung

### 5.3.1. Morphostratigraphische Einheiten des DR und Prinzipien der Geomorphostratigraphie

Die Feststellung der Gleichzeitigkeit benachbarter Disjunktivhängen lässt diese Hänge in einzelnen, möglichst lang gestreckten morphostratigraphischen Einheiten zusammenfassen. Diese Einheiten kann man allgemein als „**Neigungsgürtel**“ („Band“, „Treppe“, „Stufe“) usw. bezeichnen. Die abgesonderten morphostratigraphischen Einheiten sollen die Gestalt und Form der Geomorphostruktur, ihr **Hauptstreichen** äußern. Das wird nur dann möglich, wenn **die Länge (Ausstrecken) einer Einheit vielmals größer ist als ihre Höhe und Breite**; d.h. diese Einheit soll wie eine lang gestreckte geneigte „Höhenschicht“ (**Neigungsgürtel**) aussehen. **Der Neigungsgürtel ist eine Relief-einheit, die sich auf einer Nahtlinie stützt und aus mehreren lateral benachbarten Hängen besteht, welche miteinander konkordanten Grenzen haben**. Seine Länge sollte mindestens fünf Mal größer sein als die Breite seiner kartographischen Darstellung, welche von der Höhe und Neigung der Hänge abhängt. Bei obigen Größenverhältnissen wird ein Neigungsgürtel als ein Band wahrgenommen, welches wie Isohypsen die Relief-formen vom größeren Rang äußert. Bei kleineren Größenverhältnissen wird diese Einheit die Gestalt einer Linse oder eines Keils haben. Eine Geomorphostruktur, welche aus keilartigen und linsenartigen Figuren besteht (wie Fazetten, Abb. 3.1), sieht sehr chaotisch aus. Die Ordnung (Maß der Entropie), welche dem Georelief, wie den anderen Natursystemen, zu Eigen ist, wird dadurch nicht geäußert, sondern vertuscht. Deswegen ist die Absonderung einer möglichst kleinen morphostratigraphischen Einheit oft sinnlos, weil so eine Prozedur unendlich sein kann (bis zur Korngröße der Gesteine) und im Endeffekt das Forschungsziel - die räumlich-zeitliche Struktur-Ordnung des Georeliefes zu erkennen und darzustellen - nicht erfüllen kann.

Die Synchronisation der Hänge und die Absonderung der morphostratigraphischen Einheiten werden von folgenden geologischen und geomorphologischen Prinzipien unterstützt (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976, u.a.):

1. Aktualismusprinzip;
2. Prinzip der „Lückenhaftigkeit“ der morphostratigraphischen Skala (einige Teile des Zeitablaufes sind nicht in der Geomorphostruktur geäußert und gehören zu den morphostratigraphischen Unterbrechungen);
3. Prinzip der Unumkehrbarkeit der geomorphologischen Entwicklung und der Einmaligkeit morphostratigraphischer Einheiten (noch einmal entsteht dasselbe niemals);
4. Prinzip der geordneten Entstehungsabfolge der Hänge und Gesteine (Prinzipien von DOKUTSCHAEW und STENO);
5. Prinzip der fazialen Differentiation (Fazien) - ein Neigungsgürtel kann z.B. aus mehreren einander synchronen Hängen von verschiedenen Expositionen bestehen.
6. Prinzip der Aufgliederung und Korrelation der morphostratigraphischen Einheiten mittels leitender Hang- und Gesteinsmerkmale (Prinzip von SMITH).

Wie in der Geologie, auch in der Geomorphologie kann man folgendes Axiom annehmen: **zu einem beliebigen Zeitpunkt existieren auf der Erdoberfläche verschiedene Umweltbedingungen (Fazien) und dadurch entstehen fazial verschiedene Hänge, die miteinander synchron sein können.** Dieses Axiom (bezeichnet als Gesetz von LOMONOSOW & GRESLY) lässt verschiedene Hänge synchronisieren. Die Zulassung dieses Axioms beweisen die Beobachtungen der rezenten Reliefbildung in verschiedenen Naturzonen.

Die Grundlage der Geomorphostratigraphie stellen die folgenden drei Hauptprinzipien zusammen: Prinzip von DOKUTSCHAEW, Prinzip von HACKSLEY & SMITH und Prinzip von WERNER. Das Prinzip von DOKUTSCHAEW lässt zwischen Hängen auf einem Profil die Verhältnisse „früher-später“ feststellen, ausgehend von der Höhenlage der unmittelbar benachbarten Hänge auf ein und demselben Georeliefprofil. Das Prinzip von HACKSLEY & SMITH ermöglicht es die Verhältnisse „früher-später“ zwischen räumlich getrennten Hängen (Profilen) durch die Ähnlichkeit ihrer geometrischen Formen und Abfolgen festzustellen. Das Prinzip von WERNER verallgemeinert die leitenden Merkmale und bestimmt die chronologischen Verhältnisse der Hänge durch viele Merkmale bei Abwesenheit einiger dieser Merkmale auf einigen Reliefabschnitten. Mit Hilfe dieses Prinzips kann man aus mehreren möglichen (richtigen) Abfolgen eine allgemeine Abfolge mit vielen unterschiedlichen leitenden Merkmalen aufbauen, die einander ersetzen können, wenn eines auf einem Profil fehlt aber ein anderes existiert, und auf einem anderen Profil umgekehrt. Die logische Begründung dieser Prinzipien erfolgen aus unten angegebene Verhältnissen zwischen „A“, „B“ und „C“.

Die „Geomorphostratigraphie“ erforscht also die räumlich-zeitlichen Verhältnisse der Reliefelemente. Ihr Ziel ist die Feststellung und Beweisführung der „Gleichzeitigkeit“ (Synchronismus) der Reliefeinheiten zueinander und zu den Reliefeinheiten einer Abfolge-Skala sowie der „Größe“ der „Ungleichzeitigkeit“ (Asynchronismus) der Reliefeinheiten zueinander, um daraus die räumlich-zeitliche Struktur der Georeliefs und seine Entwicklungsgeschichte im Sinne „früher-später“ zu erkennen. Für die Geomorphostratigraphie, wie auch für die geologische Stratigraphie, „ist die Einführung der „absoluten“ Zeit ein großer Fehler“ (MEJEN, 1989, S. 111). Es ist kein Prozess, Zustand, Ereignis bekannt, der/das überall auf der Erde gleichzeitig passiert wäre (Stepanow & MESESCHNIKOW, 1979). Das ist richtig. Entsprechend den Axiomen der Geologie und Geomorphologie müssen in der Erdkruste oder auf der Erdoberfläche stellenweise Kompaktion-Akkumulation und gleichzeitig Dekompaktion-Denudation laufen. Die allgemeine gleichzeitige Akkumulation ist nur dann möglich, wenn von allen Seiten des Alls riesige Stoffmengen auf die Erde zu fallen beginnen (die Erde beginnt eine andere Entwicklung). Die allgemeine gleichzeitige Denudation ist nur beim allgemeinen Auswurf des Erdstoffes in den Kosmos möglich (das bedeutet die Explosion und Vernichtung des Planeten). Außerdem, **entsprechend dem Prinzip von DOKUTSCHAEW ist ganz exakt nur eine Feststellung der „Ungleichzeitigkeit“ der benachbarten Hänge möglich**, d.h. diese Hänge können niemals absolut gleichzeitig sein. **Die „Gleichzeitigkeit“ ist nur zulässig für voneinander entfernte Hänge, welche in keinem Verhältnis „höher-niedriger“ zu einander stehen; oder sie ist zulässig für die benachbarten Hänge von demselben Höhenniveau, die keine gemeinsamen diskordanten Grenzen besitzen.**

Tatsächlich kann die „absolute“ Gleichzeitigkeit überhaupt nicht ermittelt werden. **Verschiedene Ereignisse können nicht absolut gleichzeitig sein. Über eine Zeitspanne kann die Koexistenz einiger Dinge absolut gleichzeitig sein, aber nicht ihre Entstehung.** Die Gleichzeitigkeit muss auch in der Geomorphologie vereinbart angenommen werden und muss aus den räumlichen Verhältnissen der Hänge festgestellt und bewiesen werden. **Die geomorphologische Gleichzeitigkeit ist die Gleichheit der Reliefeinheiten (Hänge) in ihren „leitenden“ geomorphologischen Merkmalen und die Gleichheit ihrer räumlich-zeitlichen Verhältnisse mit ein und derselben Reliefeinheit, die zu diesen Reliefeinheiten konkordant ist und höher bzw. niedriger als diese gelegen ist** (Abb. 5.3). Von der Abfolge der leitenden geomorphologischen Merkmale ausgehend, kann man die



chronologische Skala der morphologischen Abfolge der Georeliefeinheiten (die Skala des geomorphologischen Alters) aufbauen. „Als die nützlichste Abfolge (Altersskala) muss man die Altersskala mit der größten Auflösung anerkennen“ (SALIN, 1989, S. 193), die bei gegebenem Maßstab die Absonderung der kleinsten Altersabteilungen und ihre Identifizierung und Zuordnung (Ausstreichen) auf möglichst großen Flächen zulässt.

Man kann ein „**leitendes geomorphologisches Merkmal**“ als eine besondere geomorphologische Eigenschaft, die einmalig für eine größtmögliche Menge von Hängen gegeben (geschaffen) ist, die miteinander keine unmittelbaren Verhältnisse „höher-niedriger“ haben, definieren. Diese Eigenschaft soll den auf einem Reliefprofil höher und niedriger liegenden benachbarten Hängen nicht zu Eigen sein. Eine solche Eigenschaft kann z.B. irgendein Stadium der Transformation des DR oder eine Kombination der Stadien sein sowie die Angehörigkeit der Hänge des DR zu einem Komplex der stratifizierten geologischen Körper, oder eine besondere Verwitterungsschicht auf Hängen von einem Höhenniveau usw. Jedes leitende Merkmal hat seinen beschränkten Bereich der Verwendung im Reliefraum und ist nur für eine Altersabteilung vorbestimmt (gültig), z.B. die Verwitterungsschicht oder die Gesteine. **Die Altersverhältnisse zwischen Punkten (Hängen) mit gleichen leitenden Merkmalen sind die Verhältnisse der Äquivalenz (Gleichzeitigkeit). Diese Verhältnisse sind reflexiv (ein beliebiger Punkt A (Hang A) ist gleichzeitig bzw. synchron zu sich selbst); sie sind symmetrisch (wenn „A“ mit „B“ synchron ist, so ist „B“ mit „A“ auch synchron); sie sind transitiv (übertragbar) (wenn „A“ mit „B“ synchron ist und „B“ mit „C“ synchron ist, so ist „A“ mit „C“ auch synchron).** Das lässt die Möglichkeit zu, voneinander entfernte Punkte (Hänge), die keine unmittelbaren Verhältnisse „höher-niedriger“ haben, mit einander zu vergleichen und zu synchronisieren. **In einer richtigen Altersabfolge ist es nötig, dass jedes ihrer leitenden Merkmale „niedriger“ (jünger) als das unmittelbare vorhergehende Merkmal ist und keine anderen Verhältnisse mit anderen vorhergehenden Merkmalen hat.**

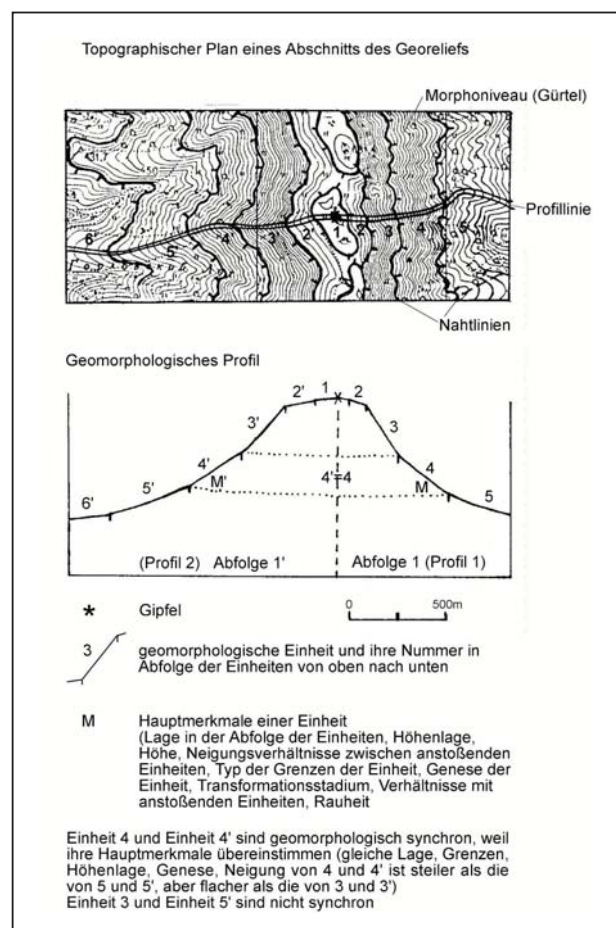


Abb. 5.3: Synchronisation der Georeliefeinheiten am Beispiel eines realen Kartenausschnitts des Altaigebirges (Einzugsgebiet des Katun); Biegungen der Nahtlinien sind geomorphologische Deformationen des DR

In der Geologie und in der Geomorphologie kann die Bestimmung des Alters und die Synchronisation voneinander entfernter Einheiten auch mithilfe von Merkmalen, welche von anderen Natursystemen (biologisches, geochemisches, geophysisches System u.a.) stammen, durchgeführt werden. Andere Natursysteme hinterlassen die Spuren ihrer eigenen Entwicklung in den Gesteinen oder auf der Erdoberfläche (Reste von Organismen, radioak-

tive Isotope, chemische Besonderheiten und Umgestaltungen, Magnetismus usw.). Diese Spuren werden zu Eigenschaften der Gesteine und ihrer Oberflächen und können als Merkmale für die Synchronisation der geomorphologischen bzw. geologischen Einheiten dienen. Einige Forscher meinen, dass die Benutzung nur rein geologischer (geomorphologischer) Merkmale für den Aufbau der geochronologischen Skala „...in sich die Gefahr der falschen Bestimmung nach einem „logischen Kreis“ birgt“ (Stepanow & MESESCHNIKOW, 1979, S. 65). Ich meine, dass **diese Gefahr nur dann entsteht, wenn die abgesonderten Einheiten des Systems nicht genau verfolgt werden können**, wenn ihre Lage im Raum stellenweise nicht genau festgestellt ist (z.B. das Gestein ist von anderem Gestein überdeckt). Solch eine Situation ist für die Geologie oft zu Eigen. **Für die Geomorphologie aber entsteht diese Gefahr kaum, weil die Reliefeinheiten immer für unsere Beobachtung zugänglich sind; das Georelief ist schon fast überall genau vermessen und auf den topographischen Karten dargestellt.** Deswegen darf und muss man bei ihrer Analyse und Synchronisation vor allem rein geomorphologische Merkmale benutzen.

Es ist zweckmäßig, alle Hangmerkmale zu benutzen. **Alle Merkmale sind gleichberechtigt; die Hauptsache besteht darin, dass diese Merkmale wirklich die tatsächlich leitenden Merkmale sein müssen.** In der Geomorphologie können viele morphostratigraphische Lösungen einfacher und richtiger sein als in der Geologie (Stratigraphie), weil das Georelief schon exakt vermessen ist und die Absonderung seiner Einheiten leicht und exakt durchzuführen ist. Das ist ein großer Vorteil der Geomorphologie.

### 5.3.2. Denudationsbasis als Grundlage morphostratigraphischer Modelle

Die horizontale Verlagerung der Disjunktivhänge und ihrer Elemente (z.B. Nahtlinien) ist eine theoretische und praktische Realität. Aber es entsteht die Frage, welche primäre Lage eine Nahtlinie des Hanges (Neigungsgürtels) im Moment der Vollendung der Transformation und am Anfang der Denudationsentwicklung hatte? Die Lösung dieses Problems ist sehr wichtig. Dazu muss man feststellen, wo und wie die Nahtlinie (Nahtpunkt) entsteht. Es ist definiert, dass der Nahtpunkt der Verbindungspunkt zwischen den Abtragungslinien (Profilen) von zwei vertikal benachbarten Hängen des DR ist (Kapitel 4.2). Er ist auch der niedrigste Punkt des höher liegenden Hanges. Aber was bestimmt die Höhenlage des niedrigsten Punktes eines Disjunktivhanges? Sie wird von der Denudationsbasis bestimmt, weil die Denudationsbasis ein Punkt (oder Linie) ist, in dem die Denudation von der Akkumulation abgelöst wird.

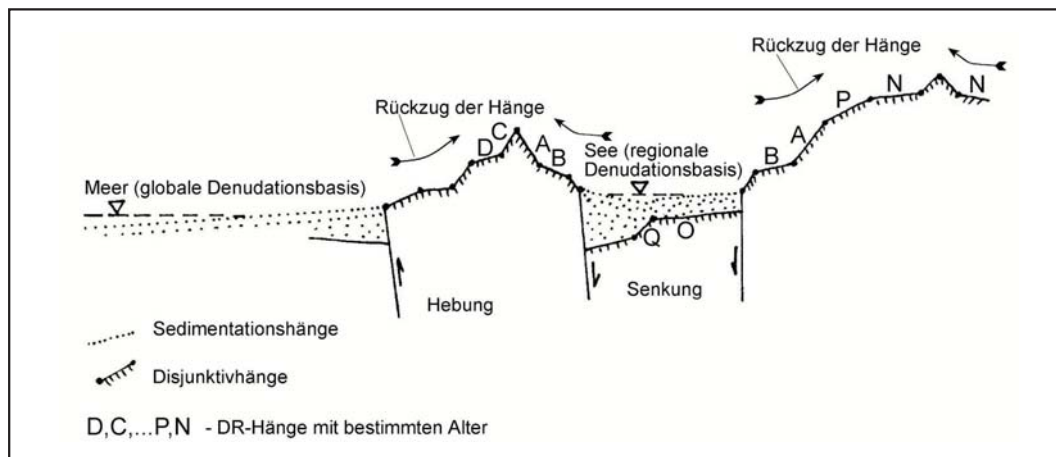


Abb. 5.4: Globale und regionale Denudationsbasis und ihre möglichen Verhältnisse mit der Abfolge der Disjunktivhänge

Der Nahtpunkt (Linie) ist der ehemalige Punkt (Linie) der Denudationsbasis, und er bildete sich zur Zeit der Transformation des Disjunktivhanges (Kapitel 4.2.6 - 4.2.7), d.h. damals, als die Denudationsbasis ihre Höhenlage im Verhältnis zu dem gegebenen Hang des DR nicht änderte. **Wenn eine Nahtlinie die Linie der Denudationsbasis zur Zeit der Transformation der Hänge ist, so muss ihre Lage mit der Lage von Linie der Denudationsbasis identisch sein.** Das ist logisch. Aber wie ist die Lage der Denudationsbasislinie? Es ist leicht zu beweisen, dass sie horizontal ist (und immer nach der horizontalen Lage strebt).

Dafür gibt es vor allem empirische Beweise. Am leichtesten kann man sie sich am Beispiel des Meeresspiegels oder des Seeniveaus vorstellen. Jedes Seeniveau ist die Grenze zwischen ganz unterschiedlichen Medien der Georeliefentwicklung. Es hat immer eine horizontale Lage und eine Ausdehnung von dutzenden, hunderten und

tausenden Kilometern und ist in der Regel die Linie des Wechsels der Denudation zur Akkumulation. Die Entwicklung des Georeliefs auf der Erde begann schon vor Milliarden Jahren, als die sich hebenden Blöcke der Erdkruste erstmals aus dem Meer oder aus den Lavaseen herausragten. Seit dem wurden seine Abschnitte von allen Seiten von der Küstenlinie umrahmt; anders gesagt, auch von der horizontalen Denudationsbasislinie.

Auch jetzt sind alle Festländer und Inseln von ein und derselben horizontalen Linie der Denudationsbasis - zukünftige Nahtlinien - umrahmt. **Gerade diese global gleiche Lage der Denudationsbasis beweist die Möglichkeit der globalen Synchronisation der Neigungsgürtel des Georeliefs aller Festländer und Inseln sowie die Möglichkeit des Aufbaus der weltweiten chronologischen geomorphologischen Skala.**

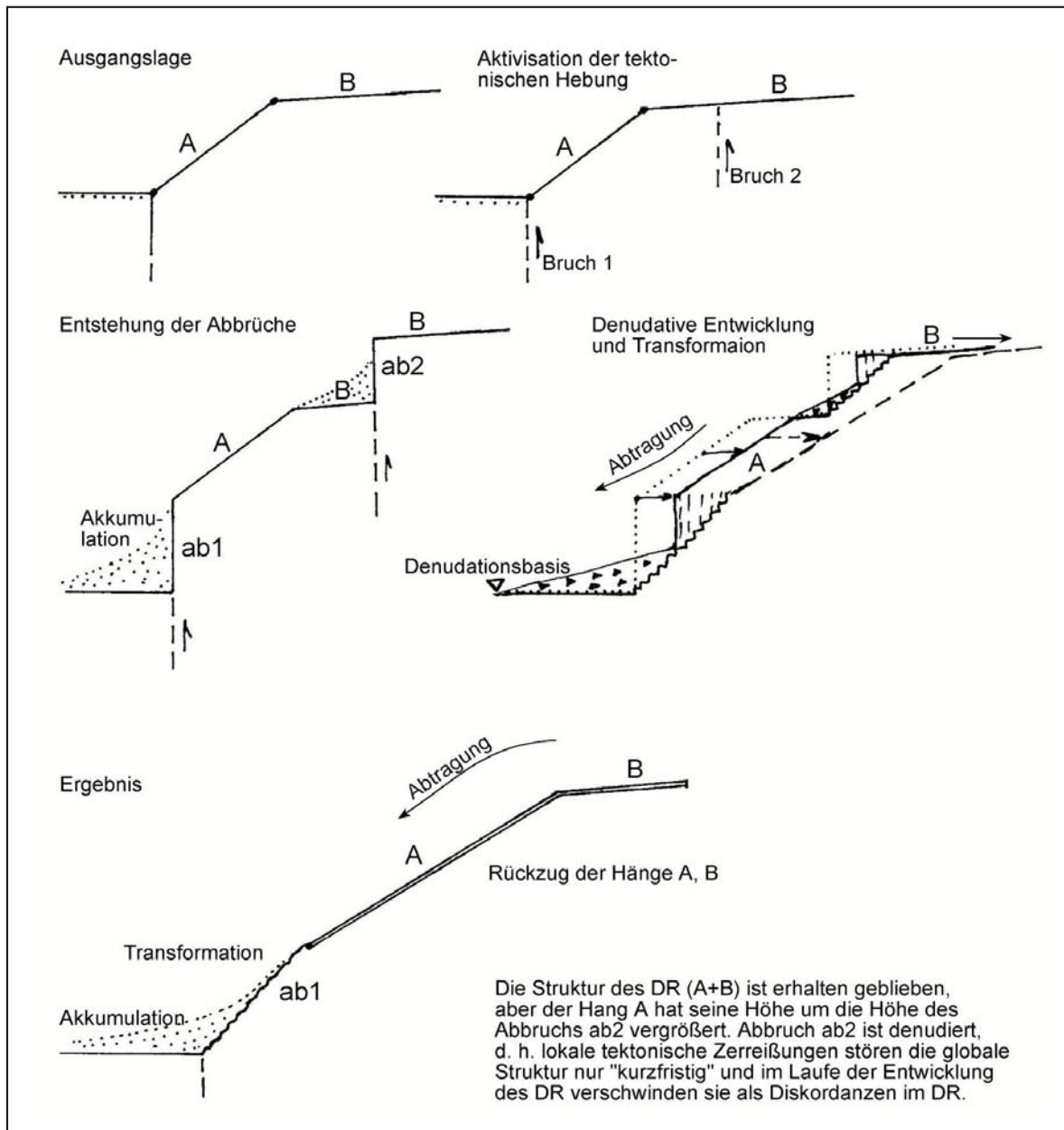


Abb. 5.5: Vernichtung lokaler tektonischer Störungen der DR-Struktur im Laufe ihrer denudativen Entwicklung

Diese Situation ist dem größten Teil des Georeliefs zu Eigen, aber es gibt auch besondere Abschnitte, wo sich die Lage der Denudationsbasis von der Lage der globalen Denudationsbasis unterscheiden kann, z.B. in geschlossenen Senkungsseen des Inlands, wo die Lage der Denudationsbasis höher (Balchasch-See) oder niedriger (Kaspisches Meer) als die globale ist. Aber auch hier haben Küstenlinien (Denudationsbasen) sowieso eine horizontale Lage, und die laterale Verfolgung der Neigungsgürtel lässt die lokalen und globalen Nahtlinien miteinander vergleichen, ihre Unterschiede ermitteln und diese Linien (und Neigungsgürtel) miteinander synchronisieren. Es wird noch komplizierter, wenn die Hebung eines Blocks innerhalb des Festlandes auftritt. Seine Disjunktivhänge werden hier

in der Regel von flachen Sedimenthängen umrahmt (Abb. 5.4), deren Höhenlage (als SR) auch von der Lage der globalen oder lokalen Denudationsbasis bestimmt wird. Als Beispiel dafür dienen riesige subhorizontale kontinentale Sedimentebenen (West-Sibirische Ebene, Kaspische Ebene usw.). Aufgrund der allgemeinen Denudationsbasen (Meeresspiegel) streben die Sedimentationshänge dieser Ebenen auch danach, die subhorizontale Lage ihrer oberen Grenzen (ihres Kontaktes mit den sich transformierenden Disjunktivhängen) zu erhalten, und sie bewahren diese Lage. Tatsächlich werden alle möglichen Abweichungen des Kontaktes der Sediment- und Disjunktivhänge von der horizontalen Lage sofort oder sehr schnell durch die Prozesse der Denudation (bei relativen Hebungen der Nahtlinien) oder der Akkumulation (bei relativen Absenkungen der Nahtlinien) vernichtet. Diese Prozesse verlaufen sehr schnell, weil alle Unebenheiten der Denudationsbasislinien vor allem auf Sedimenthängen entstehen, die in der Regel aus lockerem, leicht transportierbarem Material aufgebaut sind.

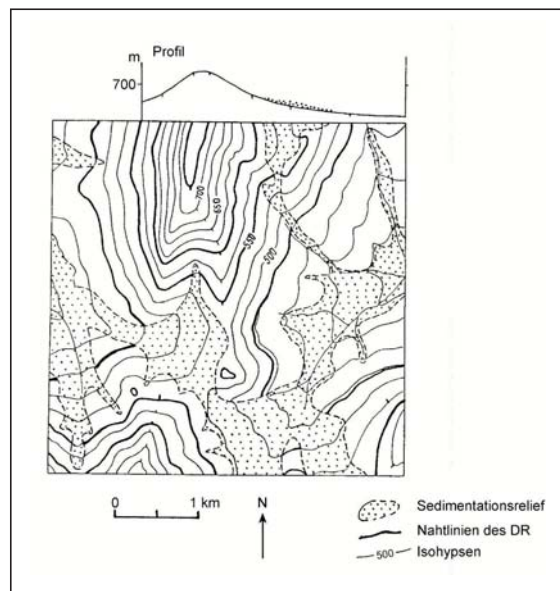


Abb. 5.6: Morphostruktur des DR des Mittelgebirges im Einzugsgebiet des Flusses Karakoxcha im Altai (Die Lage der Nahtlinien ist horizontal und unverändert auch in durch die Sedimentation getrennten Bereichen.)

Alle anderen, höher liegenden örtlichen (lokalen) Denudationsbasen, die durch tektonische Hebungen oder Senkungen innerhalb des Blockes entstanden oder entstehen, haben keine wesentliche Bedeutung für die Bildung der Nahtlinien, weil alle diesen Denudationsbasen relativ höher als die globalen und regionalen Denudationsbasen liegen und im Endeffekt von diesen abhängen. Alle Störungen der Geomorphostruktur, die oberhalb der Hauptbasen entstehen, können ausgeglichen oder vernichtet werden, weil unter den lokalen Störungen und Denudationsbasen ebenfalls Disjunktivhänge liegen, die sich weiter entwickeln (Abb. 5.5). Wenn durch eine lokale tektonische Hebung ein Hang (ab2) und die zu ihm angehörige **lokale** Denudationsbasis (im Bereich der Einheit B) entstehen, dann werden sie sich selber im Laufe der eigenen Transformation und durch die Entwicklung des benachbarten tiefer liegenden Disjunktivhanges vernichten. Im Endeffekt bekommt dieser „Störungshang“-ab2 die Form des untenliegenden Disjunktivhanges A und wird zu seinem untrennbaren Teil. Dabei wird die Höhe des untenliegenden Disjunktivhanges um die Höhe der erfolgten tektonischen Hebung (ab2) vergrößert.

Aber bis zum Ende seiner Transformation wird dieser Störungsbereich im Georelief als lokale disjunktive Diskordanz (Verschnitt) und als lokaler Sedimenthang (Überdeckung) geäußert. Diese Diskordanzen können leicht in der Georeliefstruktur ermittelt und kartiert werden und sie „behindern“ die Erkenntnis der allgemeinen Geomorphostruktur nicht.

Dass die Nahtlinien primär horizontal waren und ihre subhorizontale Lage unter unterschiedlichen geologischen und tektonischen Bedingungen in dutzenden und hunderten Millionen Jahren bewahren können, beweisen schließlich die regionalen empirischen Daten z.B. aus dem Altai, Kusnezki Alatau, Harz u.a. Auf den topographischen Karten dieser Gebiete werden auf relativen Höhen bis 1000 m und höher die subhorizontalen Nahtlinien von mesozoischem und sogar von paläozoischem Alter sehr gut erkannt und durchgezogen (Abb. 5.6; 5.7; 5.3).

Die primäre horizontale Lage und horizontale Verlagerung der Nahtlinien im Laufe der Entwicklung des DR bedingt die Fixierung und Erhaltung von Spuren aller **nachfolgenden vertikalen tektonischen Deformationen (auch**

**lateral unterschiedliche Deformationen) ab dem Moment der endgültigen Bildung eines Neigungsgürtels und seiner Nahtlinie.** Das erhöht die Informationskapazität des DR für die Ermittlung der Georeliefgeschichte sehr drastisch. Am sichersten werden tektonische Deformationen durch die Höhenlage von Nahtlinien der konkaven Knicke des DR fixiert (ausführlicher in nächsten Kapiteln).

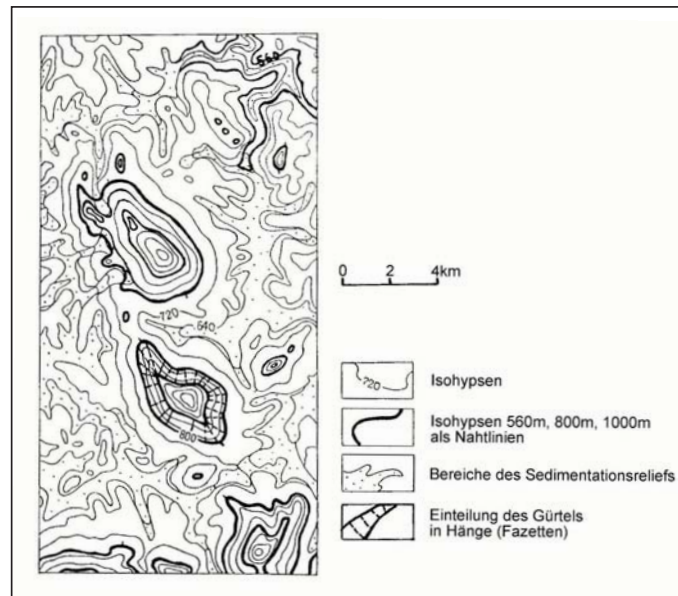


Abb. 5.7: Horizontale Lage der mesozoischen Nahtlinien im DR am Beispiel des realen Kartenausschnitts im Kuznezki-Alatau-Gebirge

Man muss ergänzen, dass der Neigungsgürtel eine Gesamtheit der Hänge des DR ist, die sich auf eine Nahtlinie stützt, die lateral abgeschnitten oder geschlossen sein kann und sich von benachbarten Neigungsgürteln durch die Neigung eindeutig unterscheiden muss. D. h. jede Abtragslinie des Neigungsgürtels muss immer steiler (oder immer flacher) geneigt sein als die benachbarten Abtragungslinien der oben liegenden und untenliegenden benachbarten anderen Neigungsgürtel. Der Neigungsgürtel hat die Bedeutung, die im Prinzip dem geologischen Begriff „Schicht“ oder „Horizont“ identisch ist.

### 5.3.3. Erstellung eines morphostratigraphischen Modells des Georeliefs

Zwei Typen geologisch-geomorphologischer Situationen (Kompaktion-Senkung-Akkumulation und Dekompaktion-Hebung-Denudation) bedingen also zwei Typen der Hangentstehung und schaffen zwei Typen der Geomorphostruktur. In Bereichen relativer Senkungen entstehen Sedimenthänge, welche, wie bereits erklärt (Kapitel 5.2), zwischen einander verschiedene räumlich-zeitliche Verhältnisse (Überdeckung, Verschnitt, Durchkreuzung, Anliegung usw.) haben können und deren Alter oft keine gesetzmäßigen Verhältnisse im Bezug zur Höhenlage und -abfolge hat (Abb. 5.2.). Sie sind **nichtstratifizierte** Hänge. In Bereichen relativer Hebungen entstehen **stratifizierte** Disjunkтивhänge. Diese Hänge tragen Informationen über ihre geometrische Form, Abfolge der Entstehung, Stadium der Transformation, Prozesse der Entwicklung und bilden die Grundlage der chronologischen Skala des Georeliefs, welche für die Rekonstruktion der Georeliefgeschichte benutzt wird. Die Untersuchungen der nichtstratifizierten Hänge und der von ihnen ausgestalteten geologischen Körper lassen nicht nur diese Geschichte ergänzen, sondern auch die Informationen von der Genesis dieser Hänge, von den Bedingungen und Verfahren ihrer Entstehung und Entwicklung gewinnen und damit das morphostratigraphische Modell des Georeliefs ergänzen.

Die Anfangsbegriffe für das morphostratigraphische Modell sind das „**vertikale Profil**“ (eine Profillinie im Georelief in Richtung der größten Neigungen von Gipfel bis zur Niederung) und das „**Merkmal**“ (eine unterscheidende Eigenschaft von etwas, die gestattet, dieses etwas genau aufzudecken und auszuzeichnen). Die Profillinie ist die „**geomorphologische Vertikale**“, auf der die räumlich-zeitlichen Verhältnisse (niedriger - höher, jünger - älter) zwischen Punkten und Teilen des Georeliefs bestimmt werden können. Als Merkmale können die Neigungsstärke des Hanges, seine Exposition, Rauheit, die Verhältnisse mit Gesteinen und Verwitterungsschichten, die Gesteine selber und ihre Eigenschaften usw. dienen. Viele dieser Merkmale sind messbar oder können messbar sein. Die Merkmale, die die Hänge stratifizieren (zeitlich einordnen) lassen, sind „leitende“ Merkmale.

Geomorphologische Vertikalen und leitende Merkmale werden durch die Beobachtung und Vermessung an Georeliefpunkten bestimmt sowie die räumliche Lage (Verteilung) dieser Punkte auf den konkreten geomorphologischen

Vertikalen (Profilen). Dann werden die „morphostratigraphischen Verhältnisse“ zuerst für diese Punkte, danach für ihre Merkmale ermittelt. Die Regeln dafür sind im Prinzip genau die gleichen wie in der Geologie - einfach und klar. Wenn die zwei Punkte „M“ und „H“ sich auf einem Vertikalprofil befinden, so haben sie immer ein bestimmtes Lagerverhältnis „niedriger-höher“ und damit ein bestimmtes morphostratigraphisches Verhältnis („später-früher“ oder „jünger-älter“). **Dabei ist der Punkt „M“ nur dann niedriger (jünger) als der Punkt „H“, wenn der Punkt „M“ dem Punkt „H“ in Richtung vom Gipfel zur Niederung höhengemäß nachfolgt.** Die gleichen Regeln gelten für die Merkmale „A“, „B“, „C“, „D“, die auch einem Vertikalprofil zu Eigen sind und auch als dessen „Punkte“ dargestellt werden können.

Die Merkmale können stratifizierbar oder nicht stratifizierbar sein. Um das zu ermitteln, ist es die Einführung des Begriffes „**stratifizierte Abfolge**“ notwendig. **Die stratifizierte Abfolge ist eine Abfolge, in der jedes ermittelte Merkmal niedriger als sein unmittelbar vorangegangenes Merkmal liegt und keine weiteren Verhältnisse zu den anderen vorangegangenen Merkmalen hat.** Anders gesagt, diesem Merkmal ist „verboten“, das Verhältnis „höher“ (d.h. das unmögliche Verhältnis: „A“ ist niedriger als „B“, und „B“ ist niedriger als „A“) zu haben und „nichtstratifizierbar“ zu sein. **Es ist ihm „erlaubt“, nur „niedriger“ zu sein und (oder) „keine unmittelbaren Verhältnisse zu haben“** (d.h. nicht auf demselben Vertikalprofil zu liegen). In der auf diese Art und Weise aufgebauten stratifizierten Abfolge (Skala) darf man einzigartig und ohne Widersprüche die transitiven Verhältnisse der Altersabfolge (wenn „A“ niedriger als „B“ ist, und „B“ niedriger als „C“, so ist „A“ auch niedriger als „C“), sowie die Verhältnisse der Äquivalenz auf der Grundlage der Prinzipien von DOKUTSCHAIEW, von HACKSLY und von WERNER einführen. Der Begriff „stratifizierte Abfolge“ präzisiert wesentlich die Verwendung des Prinzips von DOKUTSCHAIEW: **auf einem Profil ist „niedriger“ auch „jünger“ nur für die Punkte, die unterschiedliche Merkmale besitzen.** Das Verhältnis „jünger“ oder „älter“ kann auch für Punkte der verschiedenen Profile ermittelt werden, sogar wenn diese Punkte nicht niedriger zueinander liegen. **Dafür genügt es, dass diese Punkte bestimmte (unterschiedliche) Merkmale einer schon aufgebauten morphostratigraphischen Abfolge (Skala) haben** (Abb. 5.8). Das sind sehr wichtige Präzisierungen, die für die Beseitigung der Widersprüche notwendig sind.

Aus mehreren synchronisierten Abfolgen kann man die beste Abfolge auswählen und als chronologische Skala annehmen, die die deutlichsten, einfachsten, weit verbreitesten zeitleitenden Merkmale hat. Diese Merkmale lassen eine möglichst große Menge vom Neigungsgürtel des Georeliefs absondern und am weitesten im geomorphologischen Raum „durchziehen“ und verfolgen. Dabei muss man betonen, dass die ausgegliederten Neigungsgürtel einander **nicht überkreuzen dürfen.**

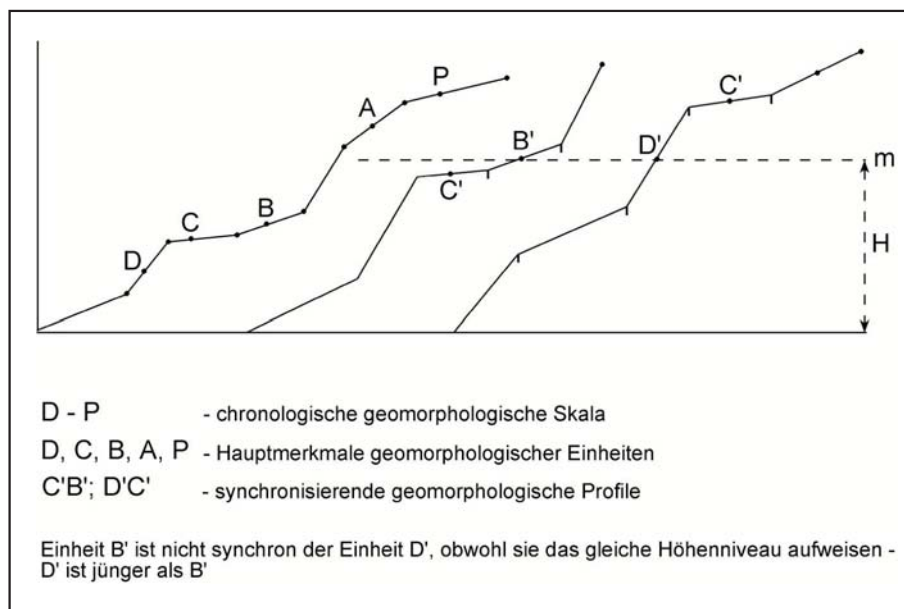


Abb. 5.8: Chronologischer Vergleich der Einheiten getrennter geomorphologischer Profile durch ihre Hauptmerkmale und geomorphologische Chronoskala

Auf diese Begriffe und Regeln stützt sich also die morphostratigraphische Synchronisation der Hänge (Feststellung ihrer Gleichzeitigkeit) und ihre Identifikation (Feststellung der Zugehörigkeit der Hänge zu einem Neigungsgürtel). Der geomorphologische Neigungsgürtel ist auch ein Teil des Georeliefs, dessen Punkte einige bestimmte, gleiche und stratifizierbare Merkmale haben. Die laterale Absonderung und Verfolgung dieser Neigungsgürtel ist die Aufgabe der morphostratigraphischen Synchronisation. Ohne bestimmte Beschränkungen hat diese Aufgabe viele

mögliche Lösungen, **aber man braucht nur die richtige Lösung und sie kann nur eine sein.** Um diese Lösung zu finden, sind einige, logisch richtige Vereinbarungen notwendig. Man muss annehmen: **1. alle Neigungsgürtel sind innerhalb ihrer selbst kontinuierlich** (ununterbrochen, ohne Lücken); **2. der untersuchte Neigungsgürtel ist auch kontinuierlich, er ist von Hängen restlos ausgefüllt;** **3. den Hang 2 von Profil 1, der niedriger als die morphostratigraphische Einheit 1 (Hang 1 mit der leitenden Merkmale des Alters 1) liegt, darf man in einen ununterbrochenen Neigungsgürtel nur mit einem Hang 2' des Profils 2 verallgemeinern, der auch niedriger als die morphostratigraphische Einheit 1 liegt** (Abb. 5.3, Beispiele mit Einheiten 4, - 4' und 5 - 5'); **4. in ein und denselben ununterbrochenen Neigungsgürtel können synchrone Hänge von verschiedenen Profilen zusammengefasst werden.**

Der Sinn der ersten beiden Bedingungen besteht auch darin, dass man, wenn die verfolgten synchronisierten Neigungsgürtel irgendwelche Einschlüsse aus andersartigen Hängen (lokaler Verschnitt, lokale Überdeckung) enthalten, diese unwesentlichen „Störungen“ nicht beachten darf. Bei Beachtung aller 4 Bedingungen und Regeln kann die Lösung der Aufgabe der Synchronisation eindeutig sein. Dabei muss man die Definition des Begriffes „Neigungsgürtel“ noch mal präzisieren. **Der Neigungsgürtel ist ein Teil des Georeliefs, dessen Punkte einige bestimmte stratifizierte leitende Merkmale haben, aber nicht immer die gleichen, sondern Merkmale, die den obigen Bedingungen 1-4 entsprechen.**

Die Hänge, die verschiedene, aber synchrone und durch einander ersetzbare Merkmale haben, sind auch „Fazien“ eines Neigungsgürtels. Sie können sich voneinander durch Neigung, Exposition, Gesteine und im Endeffekt durch Entwicklungsdynamik und -prozesse unterscheiden. Diesen Fazien sind auch unterschiedliche paläo- und rezente landschaftliche Bedingungen zu Eigen. Dadurch kann die Geomorphologie mit der Geographie und Paläogeographie effektiv verbunden werden (durch die Landschaftsfazien).

Die Aufgabenlösung der Synchronisation und Identifikation wird einfacher, zugleich aber ungenauer, wenn ein Teil des Neigungsgürtels auf einem oder einigen Profilen fehlt. Das passiert, wenn die räumlichen Verhältnisse zwischen benachbarten Hängen diskordant sind. „**Diskordantes Verhältnis**“ ist das Verhältnis, bei dem eine morphostratigraphische Einheit (Neigungsgürtel) nicht mit den Einheiten in Berührung kommt, die in der morphostratigraphischen Skala unmittelbar jünger und älter sind als diese Einheit (zwischen ihnen existieren diskordante Grenzen: Brüche, Verschnitte, Sedimentüberdeckungen). „**Konkordantes Verhältnis**“ ist das Verhältnis, bei dem eine morphostratigraphische Einheit in Berührung mit zwei benachbarten Einheiten kommt, von denen die eine in der morphostratigraphischen Skala unmittelbar jünger und die andere unmittelbar älter als diese Einheit ist (zwischen ihnen sind konkordante Grenzen). **Ein Neigungsgürtel kann eine konkordante Begrenzung (Beschränkung) nur oben und unten haben. Von den Seiten gibt es für ihn keine konkordante Begrenzung (nur die diskordanten Begrenzungen sind möglich).** D.h., ein Neigungsgürtel kann sich, wenn keine Störungen auftreten, unendlich weit ausstrecken. Deswegen gibt es entweder die in sich geschlossenen Neigungsgürtel (ohne lateralen Anfang und laterales Ende) in Grundrissform ringartiger Streifen, oder abgeschnittene Teile von Neigungsgürteln (in Form der Halbringe, Segmente, Streifenstrecken) (Abb. 4.2, 5.6, 5.7). Die geschlossenen Neigungsgürtel umrahmen die einzelnen Hebungen und Gebirge.

Am besten werden die Geomorphostruktur und ihre nachfolgende tektonische Deformationen durch morphostratigraphische Einheiten geäußert, die miteinander konkordante Grenzen haben. Die konkordanten Grenzen sind primäre Grenzen, sie wurden zusammen mit den Hängen gleichzeitig gebildet. Die diskordanten Hanggrenzen sind oft sekundäre Grenzen, sie bilden sich während der Entwicklung der Hänge oder wegen der Entstehung anderer (jüngerer) Hänge.

Bei der Kartierung und bei dem Aufbau eines morphostratigraphischen Modells ist es sehr wichtig, zuerst alle Hänge (Fazien) abzusondern, wobei die disjunktiven und sedimentativen Hänge genau und richtig zu erkennen und voneinander abzusondern sind. Das ist äußerst wichtig. Ähnlich wie in der Geologie **gibt es keine Möglichkeit für die Morphostratigraphie und für andere Abteilungen der Geomorphologie wissenschaftlich effektiv zu werden, solange die Sedimenthänge nicht exakt und richtig von Disjunktivhängen abgesondert sind.** Dabei muss man die konkordanten und diskordanten Grenzen dieser Hänge erkennen und bezeichnen, darunter konkordante Nahtlinien, Seitengrenzen und diskordante Deckungsgrenzen, Einschnittlinien und tektonischen Störungen. Diese Daten sind die Grunddaten für den Aufbau des morphostratigraphischen Modells einer Region.

In der Praxis ist der Aufbau morphostratigraphischer Modelle eines Georeliefabschnittes oft nicht so kompliziert, wenn man den ausgearbeiteten Regeln genau folgt. Im Unterschied zu den Geologen haben die Geomorphologen ein genau vermessenes und überall geometrisch bestimmtes Forschungsobjekt, und die Lage aller seiner Teile ist relativ leicht zu bestimmen. Deswegen braucht man für die Synchronisierung der Hänge und Reliefkomplexe in der Regel keine besonderen Methoden und Merkmale, die man z. B. in der Geologie braucht. Wenn die Georeliefheiten miteinander kontaktieren und lateral ununterbrochen verfolgt werden können, dann braucht man für die Be-

stimmung ihres relativen Alters und gegenseitige Synchronisierung keine „Paläontologie“ (Abb. 5.3, 5.6; 5.7). Deswegen sollte man für die Erschaffung einer allgemeinen geomorphologischen Chronoskala solche Reliefabschnitte auswählen, wo alle Neigungsgürtel exakt zu verfolgen sind und wo sie mit Gesteinen möglichst verschiedenen Alters konfrontieren (dies lässt die Neigungsgürtel mit der geologischen Skala genauer synchronisieren).

Komplizierter wird es, wenn die Neigungsgürtel zerrissen und getrennt sind, oder wenn man zu bewerten hat, welcher Unterteilung der geologischen chronologischen Skala eine Georeliefseinheit ungefähr entspricht. In der Geologie ermöglichen die paläontologischen Daten den Vergleich und die Synchronisierung voneinander getrennter geologischer Körper und lassen das relative geologische mit dem paläontologischen Alter (mit der biologischen Evolutionsabfolge) synchronisieren. Für die Synchronisierung lateral getrennter Neigungsgürtel schlagen LOSKUTOW & FILATOW (1989) vor, die folgenden Daten zu benutzen:

- geomorphologische (absolute Höhen, Charakter des Mesoreliefs, Landschaftsformen, Verhältnisse zu anderen Reliefseinheiten) und
- geologische Daten (Vorhandensein geologischer Störungen an geomorphologischen Diskordanzen, Verhältnis der Reliefseinheiten zum geologischen Substrat).

Es scheint aber oft nicht möglich, getrennte Teile der Neigungsgürtel nur durch diese Daten überall und in allen Fällen richtig und sicher zu synchronisieren. Dafür sollten die Methoden der Synchronisierung der lateral getrennten Neigungsgürtel präzisiert und konkret der geomorphologischen Situation anpassend angewendet werden.

Sicher genug können die Neigungsgürtel voneinander getrennter Georeliefabschnitte synchronisiert werden, wenn diese Abschnitte nicht durch tektonische, von Sedimenten ausgefüllte Senkungen, sondern durch exogene Sedimentationsbereiche getrennt sind (Abb. 5.6). Diese Georeliefabschnitte sind immer mit ein und derselben Denudationsbasis verbunden, die das gleiche Verhalten und Verhältnis zu den beiden Abschnitten hat. Deswegen entsteht auf beiden die gleiche Geomorphostruktur, weil die Änderungen der relativen Lage der Denudationsbasis (durch die Aktivierung oder Abschwächung allgemeiner tektonischer Bewegungen) und dementsprechend die Entstehung von Neigungsgürteln auf diesen Abschnitten ausreichend synchron zueinander erfolgt. Im Gegenteil (bei einer unterschiedlichen Geomorphostruktur) würde eine tektonische Senkung diese Abschnitte voneinander trennen, deren Grenzen geologische Störungen sind. Entlang dieser Störungen können unterschiedliche tektonische Bewegungen verlaufen, die auch eine unterschiedliche Geomorphostruktur in getrennten Blöcken bedingen können. Deswegen ist es wichtig, den Typ der Trennung der Georeliefabschnitte festzustellen:

- entweder trennen sie sich voneinander durch Flächen gering mächtiger Sedimente (SR) (Flusstal, Trogtal u.a.), die nicht von aktiven tektonischen Strukturen verursacht sind,
- oder sie sind durch eine aktive geologische Störung (Störungen) getrennt, die diskordant zum DR ist, von geologischen Daten bestätigt wird und die Georeliefabschnitte und ihre früher gebildete Geomorphostruktur gewöhnlich gerade oder bogenförmig spaltet.

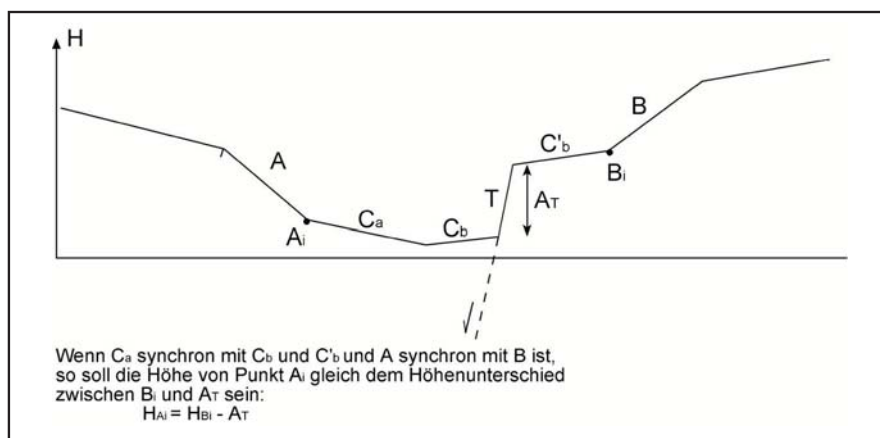


Abb. 5.9: Synchronisation der Morphoniveaus einer tektonisch zerrissenen Morphostruktur des DR

Im ersten Falle sollte man die Synchronisierung der Neigungsgürtel durch den Vergleich von absoluten Höhen ihrer Nahtlinien und durch die Ähnlichkeit der Abfolgen von Georeliefseinheiten beider Georeliefabschnitte durchführen, und zwar nach dem Prinzip: gleiche Höhen und gleiche Lage in der Abfolge – gleiche Neigungsgürtel vom gleichen Alter. Im zweiten Falle sollte man diese Synchronisierung unter Berücksichtigung des Verhältnisses der disjunktiven



Diskordanzen des DR zu den von ihnen zerrissenen Neigungsgürteln und unter Berücksichtigung der Amplitude der vertikalen tektonischen Deformation (Hebung oder Senkung) der Blöcke durchführen. Diese Amplitude (Höhe AT der Diskordanz T) kann man durch die Formel:

$$A_T \sim H_{Bi} - H_{Ai}$$

bestimmen, und zwar: die Höhe (AT) der Diskordanz T (des Disjunktivhanges „T“) sollte ungefähr gleich der Höhe der Nahtlinie Bi des Blocks B (H<sub>Bi</sub>) minus die Höhe der Nahtlinie Ai des Neigungsgürtels auf dem Block A (H<sub>Ai</sub>) sein, aber unter der Bedingung, dass der Hang T jünger als die Neigungsgürtel B und C ist (Abb. 5.9). Es ist immer bekannt, welche Höhen die Nahtlinien Ai und Bi sowie die Diskordanz T haben, und man kann ihre Werte miteinander vergleichen. Wenn der tatsächliche Unterschied der verglichenen Teile der Formel nicht die Höhen der unmittelbar niedriger liegenden Neigungsgürtel C<sub>b</sub> und C<sub>a</sub> überschreitet, dann müssen die Neigungsgürtel A und B als synchron zueinander gelten. Wenn dieser Unterschied größer als die Höhe von C<sub>b</sub> bzw. C<sub>a</sub> ist, dann bedeutet das, dass die Höhe der Diskordanz T in sich die Höhe **eines unbekanntes Hanges**, der jünger als die Neigungsgürtel B und C<sub>b</sub> und älter als C<sub>b</sub> und C<sub>a</sub> war, einschließt, und dass die Neigungsgürtel C<sub>b</sub> und C<sub>a</sub>, ebenso wie die Neigungsgürtel B und A, nicht synchron zueinander sind. Wenn also C<sub>a</sub> synchron mit C<sub>b</sub> und C<sub>b</sub>, und A synchron mit B ist, so muss die Höhe von Punkt Ai gleich dem Höhenunterschied zwischen Bi und AT sein (Abb. 5.9):

$$H_{Ai} = H_{Bi} - A_T$$

Man kann auch bezweifeln, dass die Abfolge der Neigungsgürtel immer eine Reihenfolge von Neigungsgürteln unterschiedlichen Alters darstellt. Vielleicht kann sie als Ergebnis von mehreren gleichzeitigen Zerreißen ein und desselben Hanges (Oberfläche) entstehen? Wenn das so wäre, dann müssten die steilen Stufen (ehemalige Zerreißenabbrüche) dieser Treppe synchron zueinander sein, und die relativ flachen Terrassen dieser Treppe müssten die Reste ein und desselben Hanges oder verschiedener Hänge sein (können synchron oder nicht synchron zueinander sein). Theoretisch und praktisch ist diese Situation möglich und zulässig. Aber in diesem Fall braucht man Beweise, dass dies genauso und nicht anders ist. Als Beweis gelten das Vorhandensein von geologisch nachgewiesenen Störungen an jedem Stufenfuß und die entsprechenden Verschiebungen (Zerreißen) der geologischen Körper. Als ein zusätzlicher Beweis gilt, wenn die zerrissene, relativ flache Oberfläche eine sedimentative Oberfläche von ein und demselben geologischen Alter ist (das Vorhandensein von Verwitterungsdecken ein und desselben Typs und Alters auf flachen, unterschiedlich hoch liegenden Hängen ist kein Beweis des gleichen Alters dieser Hänge).

So eine Situation entsteht relativ selten und ist fast immer vorübergehend, weil im Laufe der Zeit diese komplizierte gestufte Geomorphostruktur durch die Denudation in eine einfache Morphostruktur umgestaltet (in einen Hang) wird. Das passiert auch in den Fällen, wenn die Ausgangsoberfläche von nach ihrer Höhe und Alter gleichen oder unterschiedlichen Abbrüchen zerrissen wird (Abb. 5.10). **Im Endergebnis transformieren sich alle Abbruchwände in einen Disjunktivhang, und alle ihren Höhen summieren sich zur Gesamthöhe dieses transformierten Disjunktivhanges.** Wenn die **tektonischen** Abbrüche auf einem bereits gebildeten Disjunktivhang entstehen, dann werden sie im Laufe der Zeit durch die Denudation auch vernichtet, die gesamte Höhe dieses Hanges nimmt nur dementsprechend zu (Abb. 5.5).

Man kann also behaupten, dass **wenn eine Abfolge der Neigungsgürtel keine diskordanten Störungen hat** (sie sind immer leicht und exakt erkennbar), **dann stellt sie immer eine Abfolge von Neigungsgürteln entsprechend dem Axiom „niedriger- jünger“ dar.** Das ist eine wesentliche Ergänzung zur Erstellung der morphostratigraphischen Modelle. Sie bestätigt auch, dass die Ermittlung und Synchronisierung der Georeliefeinheiten theoretisch eindeutige und genaue Lösungen hat.

Zusätzlich kann man noch eine Regel für die Bestimmung und Synchronisierung des geomorphologischen Alters der Neigungsgürtel einführen: **wenn sich in den Vorbergen eines Gebirges über den flachen Disjunktivhängen einer Rumpffläche die steileren Disjunktivhänge eines älteren Neigungsgürtels mit einer Höhe „H“ erheben, dann darf seine Höhe im Gebirgsinneren nirgendwo kleiner als „H“ sein** (Abb. 5.11). Im Gegenteil muss das Gebirgsgelände eine Neigung und Höhenabnahme in Richtung zum Gebirgsinneren (zu den Hauptwasserscheiden) aufweisen und sich eine Senkung darstellen, wo statt Denudation eine Akkumulation ablaufen muss. Das ist aber Unsinn, weil sich dieser real existierende Neigungsgürtel auch innerhalb des Gebirgslandes entstehen und sich entwickeln müsste, was unter Akkumulationsbedingungen nicht möglich wäre. Deswegen ist die oben vorgeschlagene Regel richtig.

Daraus kann man auch folgende Schlussfolgerung ziehen: ein höher und näher zur zentralen Wasserscheide liegender Abschnitt einer Rumpffläche kann nur dann einer anderen, **älteren Rumpffläche** angehören, wenn sich dieser Abschnitt auf einen steilen Neigungsgürtel stützt, dessen Höhe hier nicht kleiner als die Höhe des steileren

Neigungsgürtel ist, welcher sich über der Rumpffläche an den Rändern des Gebirgslandes erhebt. Dabei sollen am gegebenen Abschnitt der Rumpffläche keine Merkmale von tektonischen Verschiebungen auftreten (Abb. 5.11, oben B). Es ist logisch und richtig, die Rumpfflächenabschnitte, die eine nach der anderen in Richtung Gebirgsinneres folgen und sich auf Stufen mit einer Höhe viel kleiner als „H“ stützen (z.B. H1), als zueinander synchrone Abschnitte ein und derselben, durch tektonische Bewegungen zerrissenen Rumpffläche anzuerkennen (Abb. 5.11, unten A=A1), wenn diese Schlussfolgerung im Widerspruch zu anderen (z. B. geologischen) Daten nicht steht.

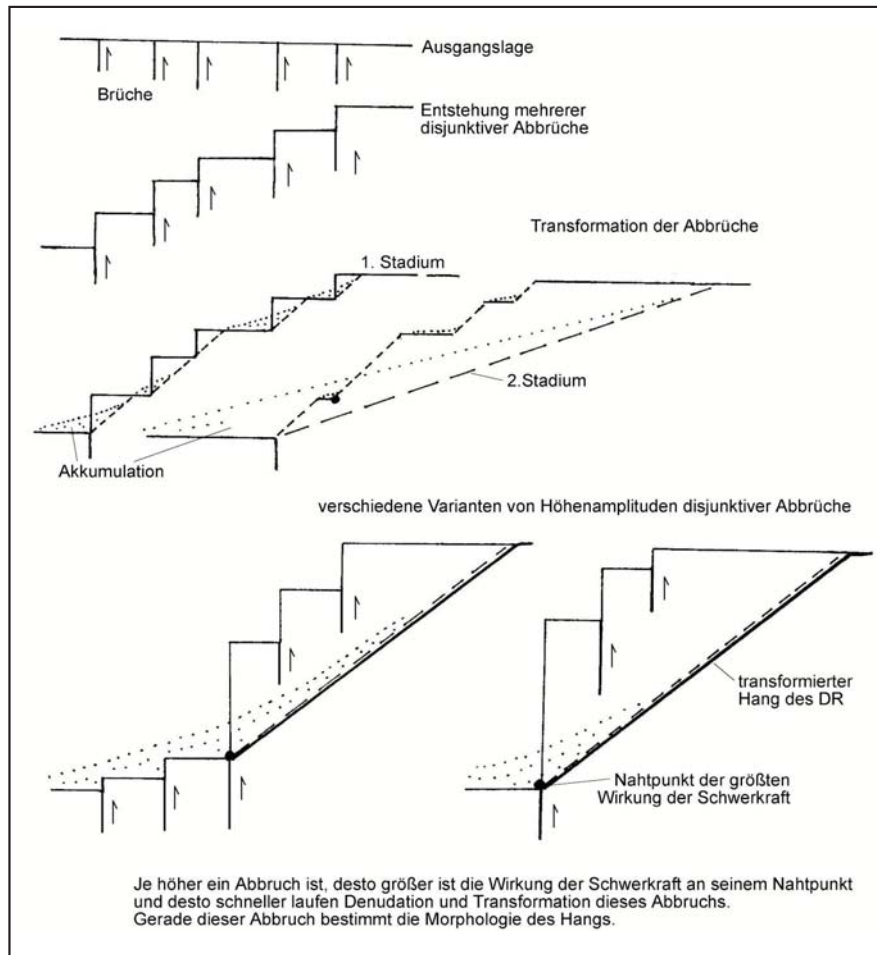


Abb. 5.10: Entstehung und Transformation eines disjunktiven Hangs bei mehreren gleichzeitigen tektonischen Zerreißen verschiedener Lage und Höhenamplituden (weitere Erklärungen im Text)

Bei der Synchronisierung des geomorphologischen Alters der Neigungsgürtel mit der geologischen Altersskala kann man zwei Methoden benutzen:

1. Vergleich der Abfolgen der Neigungsgürtel mit den Abfolgen der Sedimentkomplexe in den angrenzenden tektonischen Senkungen oder Sedimentationsgebieten (im Sinne „ungefähr gleich zueinander“);
2. Bestimmung der Verhältnisse der Neigungsgürtel mit den geologischen Körpern von bekanntem geologischen Alter [nur mit den stratifizierten Gesteinen (Sedimenten)] oder mit datierten Verwitterungsdecken (im Sinne der Altersbestimmung „jünger - älter“).

Die Anwendung der zweiten Methode ist einfach. **Ein Neigungsgürtel ist immer jünger als die jüngsten stratifizierten sedimentativen und vulkanisch-sedimentativen Gesteine, in welche dieser Neigungsgürtel eingeschnitten ist.** Man muss aber betonen, dass die intrusiven, tektogenen, hydrothermalen Gesteine **keine Bedeutung** für die Bestimmung des geologischen Alters der Neigungsgürtel haben, weil sie im Erdinneren entstehen. **Ein Neigungsgürtel ist immer älter als die ältesten Sedimentgesteine, welche diesen Neigungsgürtel lückenlos oder lokal überdecken.** Z.B. ist ein Neigungsgürtel in Sedimente des Juras, Karbons und Devons eingeschnitten und lokal von Sedimenten der Oberkreide überdeckt. D. h., dass er ein Alter jünger als Jura aber älter als Kreide hat und etwa mit der Unterkreide synchron ist. Leider sind die Neigungsgürtel meistens nur stellenweise in so einen „schmalen“ geologischen Zeitabschnitt „eingeklemmt“. Solche Bereiche sind Schlüssel zu Erkenntnis und zu chro-

nologischen Aufbau einer regionalen Geomorphostruktur, sie sind ihre „Stützgebiete“ (**Morphostratotype**). Von diesen Stützgebieten aus sollte man die Neigungsgürtel lateral verfolgen.

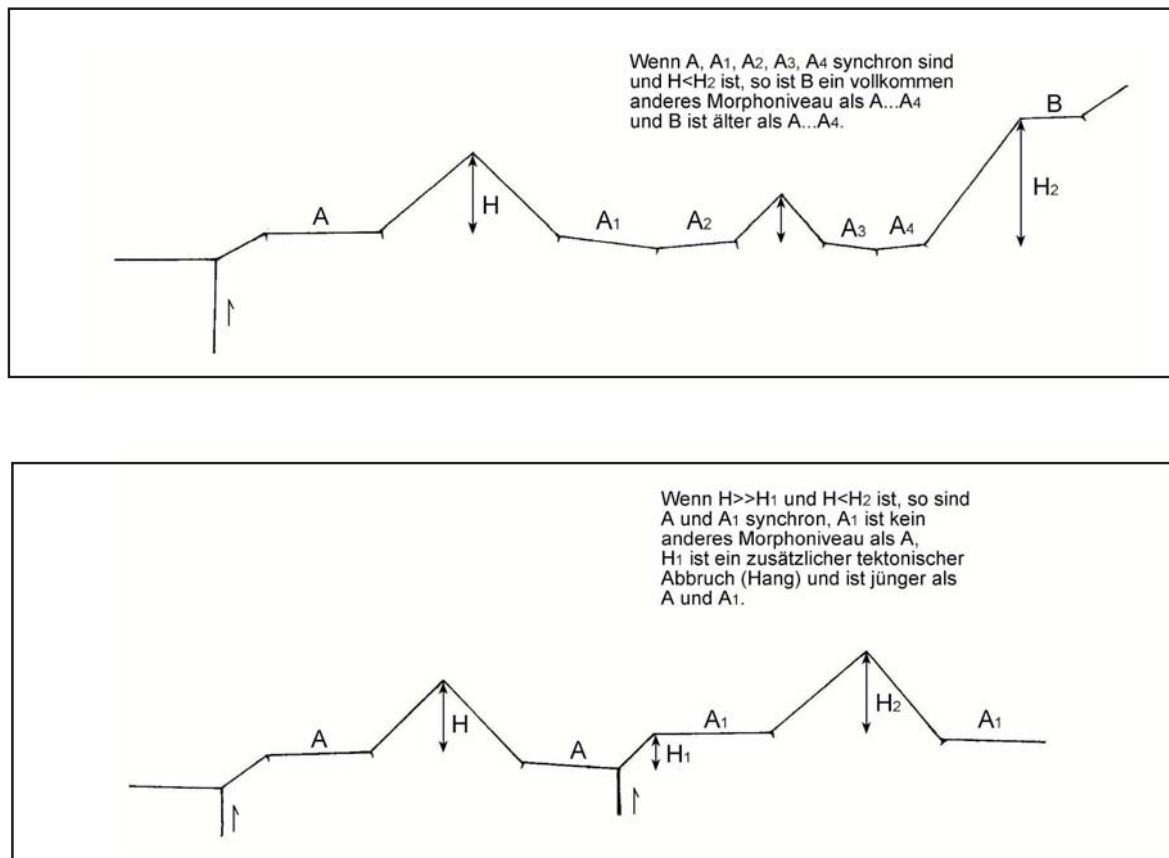


Abb. 5.11: Synchronisation getrennter Neigungsgürtel (Morphoneive) (A...A<sub>4</sub>; B) bei verschiedenen Strukturen des Georeliefs (Erklärung im Text)

Man kann das geomorphologische Alter der Neigungsgürtel mit der geologischen Altersskala durch den Vergleich ihrer Neigungsstärke und Abfolge im Gebirge mit der Abfolge und Lithologie der Sedimentformationen und Verwitterungsdecken von angrenzenden tektonischen Senkungen synchronisieren (Methode 1). Am besten wäre es diese Methode durch ein Beispiel zu verfolgen. Das disjunktive Altai-Sajan-Gebirgsland ist hauptsächlich von vulkanogen-sedimentativen Gesteinen des Devon-Kambriums und des Proterozoikums aufgebaut. Tektonische Becken neben diesem Gebirge (Kusnezki-Becken, Kulunda-Senkung und Saisan-Senkung) sind Folgen der lateralen Aufchiebung von Gebirgsblöcken und wurden von folgenden Sedimentformationen aufgefüllt (von oben nach unten) (EROFEEV, ZECHOWSKI, 1982; ADAMENKO 1974; u.a.):

1. Oligozän-quartäre, grobklastische, kohlehaltige, graufarbige, polymikte, kontinentale Formation mit einer Mächtigkeit bis zu 800 - 1000 m (Alpidische Epoche tektonischer Aktivierung, relativ kalte und feuchte Klimabedingungen);
2. Kreide-eozäne, überwiegend tonige, buntfarbige, göthit-kaoline, kieselige, kontinentale Formation mit einer Mächtigkeit bis zu 300 - 500 m. Sie enthält stellenweise gut entwickelte Verwitterungsschichten, ist teilweise marin und wurde in der sehr lang andauernden Spätmesozoischen Epoche bei drastischer Abschwächung tektonischer Bewegungen unter den Bedingungen subtropisch warmen, periodisch trockenen oder feuchten Klimas akkumuliert;
3. Kontinentale (teilweise marine), grobklastische, kohlehaltige, graufarbige, polymikte Formation des Jura, mit einer Mächtigkeit bis zu 2000 m (Frühmesozoische Epoche tektonischer Aktivierung, relativ kalte und feuchte Klimabedingungen);
4. Kontinentale, überwiegend tonige, buntfarbige, göthit-kaoline Formation der Sedimente des Oberperm-Trias, mit einer Mächtigkeit bis zu 100 - 600 m. Sie enthält stellenweise mächtige laterite Verwitterungsschichten, ist teilweise marin und wurde in der lang andauernden Spätvariszischen Epoche bei drastischer Abschwächung tektonischer Bewegungen unter den Bedingungen subtropisch warmen, periodisch trockenen oder feuchten Klimas akkumuliert;

5. Kontinentale, marine, vulkanogene, überwiegend grobklastische, kohlehaltige, graufarbige, polymikte Formationen der Sedimente des Karbon-Unterperms, mit einer Mächtigkeit bis zu 4000 - 6000 m (Frühvariszische Epoche der tektonischen und vulkanischen Aktivierung, relativ kalte und feuchte Klimabedingungen).

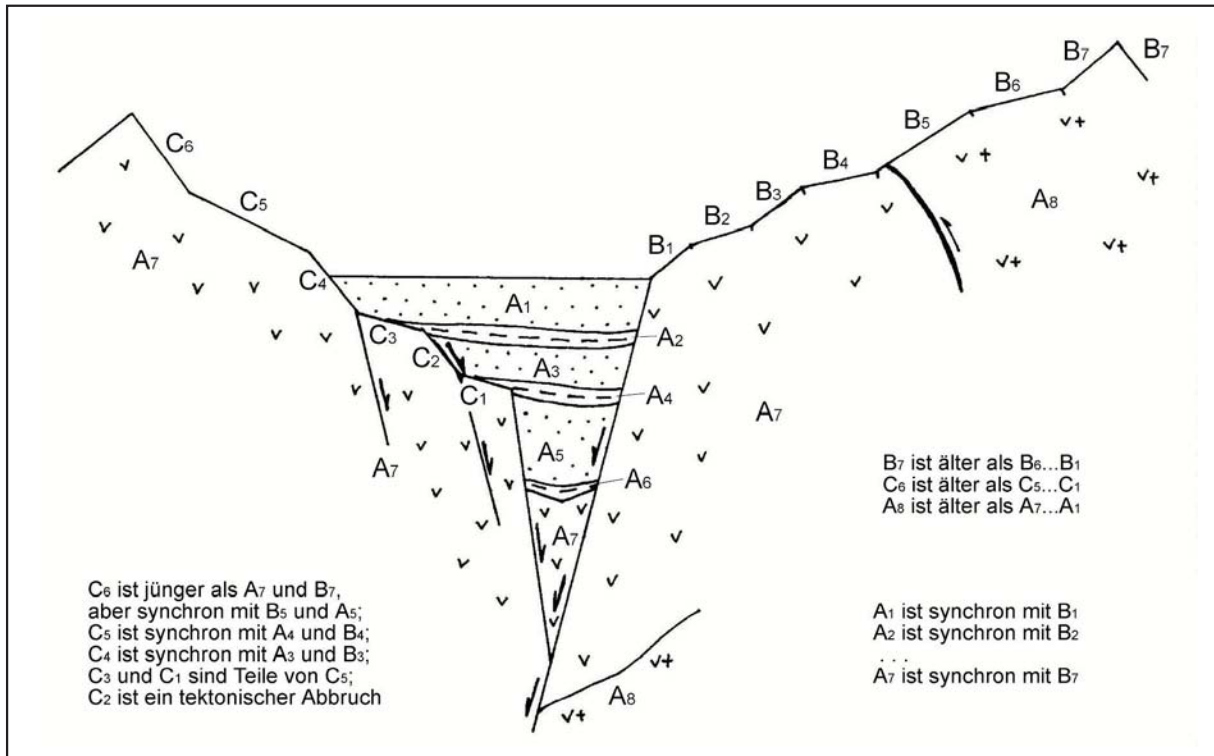


Abb. 5.12: Synchronisation der Neigungsgürtel ( $B_1...B_7$ ;  $C_1...C_6$ ) und der Sedimentformationen ( $A_1...A_8$ ) miteinander

Man kann logischerweise vermuten, dass jeder dieser Sedimentformationen ein bestimmter Neigungsgürtel im Gebirge entspricht, weil vor allem die differenzierten tektonischen Bewegungen (Hebung des Gebirges und Sinken der Senkung) die Sedimentation und die Entstehung der Disjunktivhänge verursachen (Abb. 5.12). Wenn eine Hebungsbewegung (Aufschiebung) des Gebirgsblockes auftritt, dann beginnt auch ein Sinken der benachbarten Senkungen (vor allem infolge der zusätzlichen gravitativen Auflast vom übergeschobenen Teil des Gebirgsblockes auf die Senkungsblöcke). D. h., dass bei der Aktivierung tektonischer Bewegungen im Gebirge eine disjunktive Abbruchwand und in der Senkung ein neues Sediment (etwas später) gleichzeitig entstehen. **Diese Abbruchwand (Neigungsgürtel) und dieses Sediment darf man als miteinander synchrone Gebilde annehmen.** Dieses Prinzip lässt die Sedimentkomplexe der Senkungen und die Neigungsgürtel benachbarter Gebirge miteinander synchronisieren. Man sollte dabei auch geologische Daten beachten, welche auch das Alter des Neigungsgürtels innerhalb der geologischen Altersskala zu bewerten ermöglichen (z.B. Verwitterungsschichten, lokale Überdeckungen mit alten Sedimenten und Vulkaniten). Alle vorhandenen Altersdaten sollen selbstverständlich einander nicht widersprechen.

Das morphostratigraphische Modell soll auch von der Abfolge der sedimentativen Reliefeinheiten ergänzt werden. Diese Reliefkomplexe müssen entsprechend ihrer Lage, Gestalt, Genesis und ihres Alters mit Hilfe von geologischen Daten über ihre konkordanten Sedimente eingeordnet werden. Das sind überwiegend quartäre- und tertiäre-Sedimente, die auf einigen Abschnitten bereits gebildeten Disjunktivreliefs akkumuliert wurden. Einerseits sind sie stratifizierte Gebilde und innerhalb ihrer selbst folgen deren Bestandteile dem Gesetz von STENO („höher - jünger“). Andererseits können einzelne Körper dieser Sedimente miteinander verschiedene räumlich-zeitliche Verhältnisse haben, und zwar: „höher - jünger“, „niedriger - jünger“, „weiter - jünger“; sie können einander durchqueren sowie irgendwo eingeschnitten oder aufgelegt sein (BUTWILOWSKI u.a., 1995). Außerdem haben z. B. die meisten quartäre-Sedimente eine geringe Mächtigkeit, sind genetisch sehr mannigfaltig, tektonisch kaum deformiert, überwiegend sehr flach geneigt und haben eine unterbrochene (lokale) Verbreitung.

Die Kenntnisse über den Aufbau der Sedimente sind oft nichts anderes **als eine Interpretation der geologischen Untersuchungen der Erdoberfläche** und nur stellenweise eine Interpretation von zusätzlichen Daten aus Boh-

rungen, Schachten und Stollen. Wenn man nur den geologischen „Ausfüllungen“ der Erdoberfläche folgt und andere geologische und geomorphologische Eigenschaften dieser Oberfläche nicht ermittelt und nicht anwendet, dann kann man in „kontinentalen“, üblich subhorizontal liegenden Sedimentkomplexen nur ihre jüngsten oberen Schichten darstellen, und sehr wichtige Informationen über tiefer liegende Bestandteile bleiben außer Acht. Das geht aber nicht. Dieses Problem kann man mit Hilfe der geomorphologischen Eigenschaften sedimentativer Reliefkomplexe (SR) lösen (BUTWILOWSKI, 1994, 1995), weil die Morphologie der Hänge des SR und ihrer Kombinationen Genesis, stoffliche Zusammensetzung und inneren Aufbau der zu diesen Hängen konkordanten Sedimente äußern und **die meisten Eigenschaften der Sedimenthänge durch die Eigenschaften** (Genesis, Alter usw.) **ihrer am tiefsten liegenden und ältesten konkordanten Sedimente bestimmt werden** (Kapitel 4). Gemeinsam mit Disjunktivhängen stellen sie die komplette Geomorphostruktur dar (Abb. 5.13).

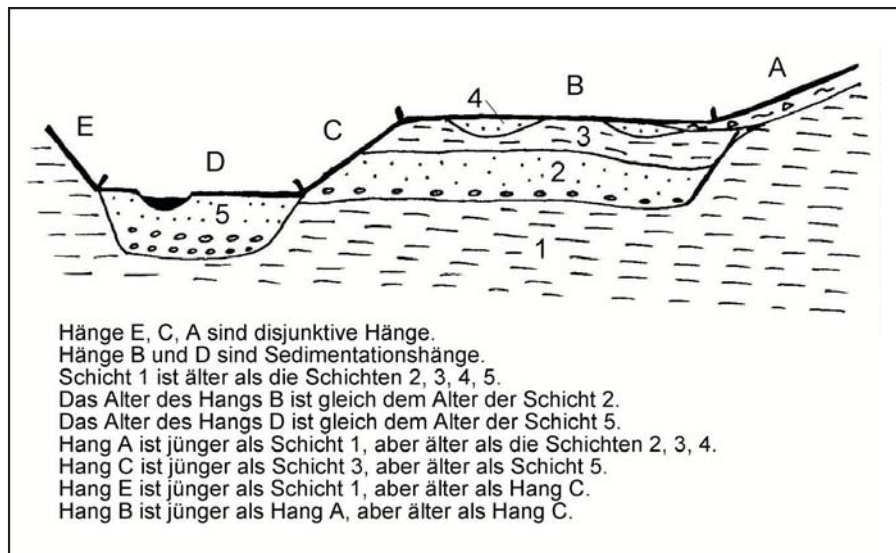


Abb. 5.13: Chronologische Verhältnisse zwischen Hängen des SR und DR und geologischen Sedimentschichten; Ermittlung des Alters der Sedimenthänge durch das Alter zu ihnen konformer Schichten

Durch das Georelief können nicht nur einzelne Sedimentschichten, sondern auch mehrere, die geologische Zyklen der Sedimentation (tektonische, klimatische Zyklen, katastrophale Ereignisse usw.) zusammenstellen, geäußert werden. Dabei gilt, **je kleiner der Betrachtungsmaßstab ist, desto größere und ältere Reliefkomplexe des SR können in das morphostratigraphische Georeliefmodell einbezogen werden.**

Im Maßstab 1: 50 000 gelingt es in der Regel nicht, Reliefkomplexe von größeren tektonisch-klimatischen Zyklen als vom im Range „Glazial-Interglazial“ auszusondern; üblicherweise können in diesem Maßstab die sedimentativen Reliefeinheiten von noch kürzeren Zyklen oder von extremen Ereignissen dargestellt werden (z.B. Flussterrassen, Moränen, Rutschungen, Barchane, vulkanische Kegel). Im Maßstab 1: 500 000 und kleiner ist schon die Aussonderung und Darstellung der großen Reliefkomplexe vom Range mehrerer tektonisch-klimatischer Zyklen (quartären, neogen-quartären, kreide-paläogenen Zyklen) möglich und notwendig. Die abgesonderten Morphokomplexe haben dabei sehr große Ausdehnungen (fluviale, glazigene Ebenen, proluviale Vorbergsdeltas, limnische Senkungen usw.). Ihre konkordanten Sedimente haben auch eine sehr große Ausdehnung, große Mächtigkeit und sind geologisch viel älter als die Sedimente kleinerer Reliefkomplexe, welche hier im größeren Maßstab ausgegliedert werden. Im Maßstab 1: 500 000 und kleiner sollte man diese Reliefkomplexe sowie ihre linsenförmig liegenden, „oberflächlichen“, relativ jungen Sedimente abstrahieren (Abb. 5.14). Das morphostratigraphische Modell gewinnt dabei viel mehr geologische „Tiefe“, nutzt alle bekannten Informationen über den Aufbau des geologischen Inneren, verliert aber an Details.

Für den Aufbau der morphostratigraphischen Modelle und einer geomorphologischen Altersskala ist es notwendig, die chronologischen Abteilungen (Ären, Epochen, Phasen usw.) auszusondern und zu benennen. Ähnliche Altersabteilungen sind z. B. in der Geologie gegeben (Paläozoikum, Mesozoikum, Känozoikum usw.). Sie sind entsprechend den **Entwicklungsstadien der Lebensformen**, aber nicht entsprechend der geologischen Entwicklungsgeschichte ausgesondert. **Damit haben die Geologen in ihre chronologische Skala eine von der geologischen Entwicklung „unabhängige“ Entwicklungsabfolge eines anderen Natursystems eingeführt, und das ist richtig und effektiv.** Die Spuren der Entwicklung dieses Systems sind in verschiedenen Gesteinen

vorhanden, und dadurch kann man Sedimente miteinander vergleichen und synchronisieren. Die Geomorphologen müssen auch etwas methodisch Ähnliches tun. Man kann als Hauptbestandteile (Ären) der geomorphologischen Altersskala die Hauptetappen der tektonischen Entwicklung der Erdkruste zu Grunde legen, z.B. die baikalische, kaledonische, variszische (herzynische), mesozoische, alpidische Etappe (Ära) (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976; u.a.). Für die Geomorphologie ist das Verhältnis der Hänge zu den Gesteinen von einem bestimmten Alter auch eine Art „der Paläontologie“, durch welche das Alter verschiedener Hänge (Neigungsgürtel, Reliefkomplexe) in einem System bewertet und synchronisiert werden kann. Genauso wie in der Geologie, sollte jeder Neigungsgürtel z.B. nach einem Ortsnamen, wo er am typischsten ausgeprägt ist und am exaktesten mit der geologischen und geomorphologischen Skala synchronisiert ist, benannt werden. Gerade an diesem Ort muss der Neigungsgürtel möglichst viele seiner Leitmerkmale haben, mit deren Hilfe er in anderen Gebieten erkannt werden kann. Solch einen Ort nennt man „**Morphostratotyp**“ des Neigungsgürtels.

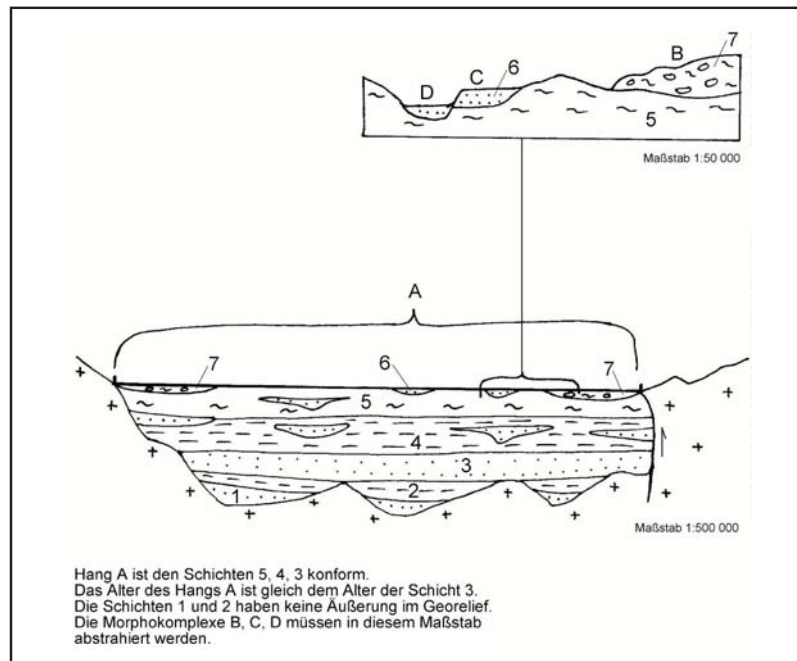


Abb. 5.14: Umwandlung (Generalisierung) der sedimentativen Reliefkomplexe (Morphokomplexe) B, C, D in einen Teil des Reliefkomplexes A bei Betrachtung in einem kleineren Maßstab

Für die Erstellung eines morphostratigraphischen Modells muss man also im Endergebnis im DR Neigungsgürtel und im SR Reliefkomplexe ausgliedern, einordnen, mit einander synchronisieren und darstellen. Diesem einfachen morphostratigraphischen Modell schenkt man in der Geomorphologie viel zu wenig Beachtung, obwohl seine Analogie (Modell von WERNER) in der Geologie sehr aktiv benutzt wird und man tausendfach seine Effektivität bewiesen hat. Das Wesen dieses morphostratigraphischen Modells besteht also in der Vorstellung, dass die Neigungsgürtel alle Hebungen der Erdoberfläche ununterbrochen umrahmen, eine bestimmte geordnete Abfolge haben, obwohl sich ihre Höhenlagen und Höhen wegen tektonischen Deformationen lateral ändern können. Es ist allerdings, wie WERNERS Modell, ein theoretisches Modell und hat viele Äußerungsverzerrungen auf dem realen Georelief. **Dieses Modell kann sich im Georelief ideal exakt nur bei ideal passenden Naturbedingungen äußern.** In der Realität treten solche Bedingungen jedoch selten auf. Deswegen gibt es in der Struktur des Georeliefs immer einige Verzerrungen, die diesem Modell nicht entsprechen. Das sind Diskordanzen in der Geomorphostruktur. Man muss diese Diskordanzen beachten und auch als Bestandteile des Georeliefs wahrnehmen, damit wird die Geomorphostruktur nur präziser und vollständiger dargestellt. Dies mindert die Effektivität dieses Modells kaum, und es kann für die Reliefanalyse und -synthese eingesetzt werden; andere Alternativen hat man in der Geomorphologie nicht.

Um dieses Modell verwenden zu dürfen, muss man sicher sein, dass seine elementaren Bestandteile (Hänge) wirklich die exakten und wahren Informationen besitzen, welche für den Modellaufbau notwendig sind. Bei ihrer Entstehung erhalten die Hänge viele Eigenschaften. Fraglich ist aber, ob diese Eigenschaften, die sich vor allem in den geometrischen Parametern der Hänge äußern, im Laufe der Entwicklung der Hänge erhalten bleiben können oder nicht? Ja, sie können erhalten bleiben, weil sie, wie bereits bewiesen (Kapitel 4 und 5), bei der denudativen oder akkumulativen Entwicklung der Hänge ihre Ähnlichkeit zu ihrer primären Gestalt und ihre relative Lage zu den anderen Hängen bewahren, obwohl der Stoff auf den Hängen ständig abgetragen oder akkumuliert wird. Der Stoffwechsel ist dabei nicht so wichtig, sondern die Erhaltung der Ähnlichkeit der primären Eigenschaften eines Dinges.

Genau so ist es in der Geologie. Alle geologischen Körper erhalten im Laufe ihrer Entwicklung nur die Ähnlichkeit ihrer primären Formen (Grenzen, Textur, relative Lage), obwohl sie sich stofflich und räumlich (in ihrer Ausdehnung und absoluten Lage) ständig (z.B. durch Hypergenese, Diagenese, Metamorphismus usw.) ändern. Sie sind alle, wie die Hänge, **nur die Kopien ihres primären Zustands, der Lage und Form; aber eine Kopie, wenn sie wirklich eine Kopie ist, bewahrt immer die Information vom Original.**

Man muss auch sicher sein, dass z.B. langfristige tektonische Bewegungen mit sich wechselnden Richtungen („Epeirogenese“) eine früher gebildete Geomorphostruktur nicht umgestalten. Mit Hilfe von Profilmodellen ist zu sehen, dass auch bei solchen tektonischen Bewegungen eines Blocks (1, 2, 3) seine Geomorphostruktur und die Altersabfolge von Neigungsgürteln ungestört bleibt. Dabei wird sein jüngster unterster Neigungsgürtel in einen immer weniger geneigten Neigungsgürtel (4) transformiert (Abb. 5.15). Auch beim allgemeinen Sinken erhält das DR fast überall seine früher gebildete Abfolge und Morphologie der Neigungsgürtel. Bei der neuen Hebung wird diese Geomorphostruktur wieder ausgegraben (aufgrund des riesigen Unterschiedes zwischen den Widerstandsfähigkeiten von Sockelgesteinen und überdeckenden Sedimenten gegen die Denudation), und die Ähnlichkeit zum primären Georelief bleibt bewahrt. **Damit kann man sicher sein, dass das Georelief (DR) sogar in verschiedensten Situationen seine Geomorphostruktur bewahrt, und unsere Erkenntnisse und Rekonstruktionen, wenn alles methodisch richtig erfolgen wird, keine Fiktionen sind.**

#### 5.3.4. Deformationen der Geomorphostruktur

Wie bereits gezeigt wurde (Kapitel 4), erhalten Disjunktivhänge bei ihrer denudativen Entwicklung ihre Ähnlichkeit zu ihren primären geometrischen Formen, vor allem der Neigungsstärke und der Exposition. Alle Punkte ihrer Hangprofile werden dabei verlagert, und zwar horizontal und um eine gleiche horizontale Strecke. Das ist rein theoretisch. In der Realität sind die Einwirkung der äußeren Faktoren und die Widerstandsfähigkeit der Gesteine nicht nur in der Zeit, sondern auch im Raum sehr unterschiedlich. Deswegen können im DR auch die Verzerrungen (Deformationen) der primären Grundrissformen seiner Neigungsgürtel entstehen, weil einige Reliefprofile (**Abtragslinien**) relativ schneller oder langsamer verlagert werden können. Die räumlich-zeitliche (vertikale Abfolge der Hänge) Struktur des DR wird dabei nicht geändert und bleibt erhalten, oder wird durch Diskordanzen nur lokal verzerrt.

Aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Verlagerung der Abtragungslinien der Hänge entsteht die „horizontale Zergliederung“ des Georeliefs, und zwar **durch die Bildung neuer Reliefformen im Grundriss (Täler, Bergsporne, Nischen). Das erfolgt durch das Wachstum neuer Hänge zwischen lateral benachbarten Hängen, oder aus einem Profil (Abtragslinie) eines Hanges (Abb. 5.16; 5.3). Es könnte scheinen, dass damit die ganze Theorie der Morphostratigraphie widerlegt wird, weil die Bildung (Wachstum) eines „neuen“ Hanges zwischen „alten“ Hängen (oder in einem „alten“ Hang) „jünger“ als diese Hänge erscheint und er im Georelief als wahrnehmbarer und „kartierbarer“ Teil wirklich später in Erscheinung getreten ist.** Die Lösung dieses Paradoxes ist einfach. Der „neue“ Hang hat sich wirklich später als die lateral benachbarten Hänge **entwickelt** (gewachsen, verbreitet), aber er ist auf keinen Fall später als diese Hänge **entstanden, sondern ist diesen Hängen synchron.** Jeder primäre, bei der Zerreißung der geologischen Körper entstandene Disjunktivhang hat **unendlich viele Punkte und Abtragslinien** (Profile), die diesen Hang zusammensetzen. Natürlich sind das Alter des Hanges und aller seiner Punkte und Linien gleich (dies wurde bereits begründet). Aber aus jeder Abtragslinie können sich bei bestimmten Bedingungen „neue“ Hänge lateral entwickeln, wenn z.B. die Geschwindigkeit der Denudation in dieser Linie (Profil) größer ist als in lateral benachbarten Abtragungslinien. **Jeder „neue“ Hang hat sich also aus einer Abtragungslinie entwickelt, die dem primären Hang angehörte und deren Alter selbstverständlich dem Alter des primären Hanges gleich ist.** Anders gesagt, die „Embryos“ der „neuen“ Hänge (in der Regel immer zwei Hänge) sind in jeder Abtragslinie (Profil) des Hanges **versteckt** und diese „Embryos“ haben genau dasselbe Alter, wie der primäre Hang. Ob sich das „Embryo“ in einen Hang entwickeln wird oder nicht - das hat keinen Einfluss auf sein Alter.

Natürlich erfordert die Entwicklung der Hänge viel Zeit. Man kann behaupten (und das wird empirisch bestätigt), dass je relativ älter ein Neigungsgürtel und **je kleiner die Widerstandsfähigkeit der Gesteine ist, desto zahlreicher sind die aus den Abtragungslinien sich entwickelnden Hänge und desto komplizierter kann die horizontale Zergliederung des Neigungsgürtels sein.** Diese horizontale Zergliederung (Verkomplizierung) der Georeliefstruktur kann man als laterale „**Deformation**“ des Georeliefs bezeichnen, die sich überwiegend mittels gravitativer Denudationsprozesse und exogener Treibmedien bildet (Abb. 5.16).

Diese Deformation ist im Prinzip der Faltung der Gesteine analog, die im Laufe der Entwicklung (Kompaktion) der Gesteine entsteht. Je mächtiger und feinkörniger die Gesteine sind, je länger der Prozess der Kompaktion verlief, desto komplizierter und intensiver ist die Gesteinsfaltung (Deformation der Gesteinschichten) und desto mehr wurde der geologische Raum zusammengedrückt. **Der geomorphologische Raum wird bei der Entstehung**

des DR und bei seiner Entwicklung hingegen immer weiter vergrößert. Es ist leicht zu berechnen, dass die Vergrößerung der Fläche des realen Gebirgsreliefs im Vergleich zur Flächengröße seiner Projektion auf die horizontale Ebene etwa 40-60% und mehr erreichen kann. Es steht uns bevor, die Deformationen („Faltung“) des Georeliefs zu beschreiben und zu klassifizieren. Die Daten dafür kann uns die geomorphologische Kartierung geben.

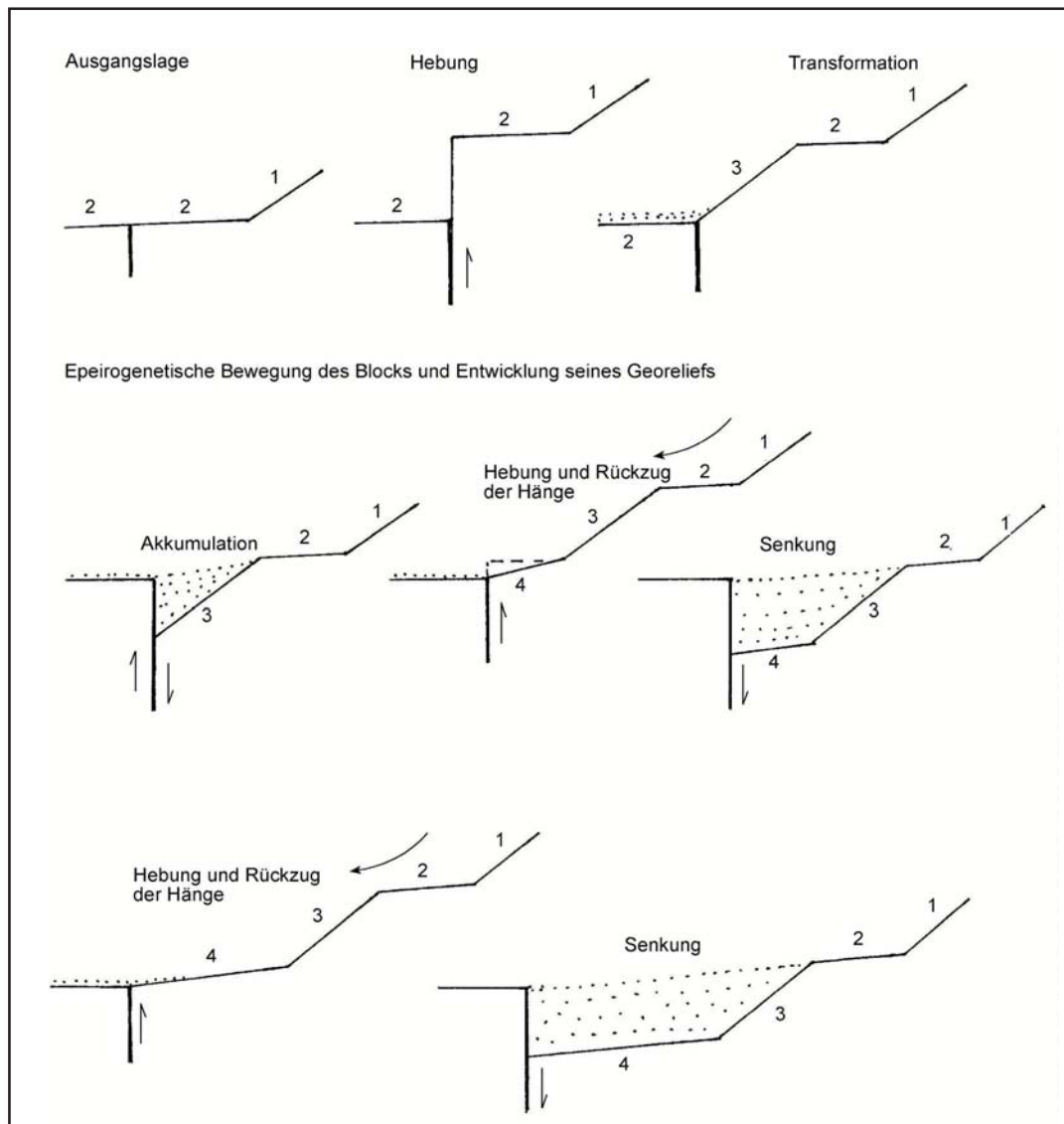


Abb. 5.15: Modell der Reliefontwicklung bei epirogenetischen Bewegungen

Das entstandene Georelief kann auch **tektonisch** deformiert werden (zerrissen, gebogen, geneigt). Man erkennt das durch die Lage von Nahtlinien der konkaven Knicke. Wenn nach der Entstehung der Neigungsgürtel keine vertikal unterschiedlichen tektonischen Bewegungen stattgefunden haben, dann bewahren die Nahtlinien ihre primäre subhorizontale Lage und bestimmte, innerhalb einer Nahtlinie gleiche absolute Höhe. Im Gegenfall werden die Nahtlinien (Neigungsgürtel) deformiert, also geneigt, gebogen oder stufenartig in Teile zerrissen und unterschiedlich gehoben.

Richtig ermittelte Neigungsgürtel (Nahtlinien) an den Gipfeln (an den ältesten Teilen des Georeliefs) lassen sofort die vorhandene Deformationsform und ihre maximale Größe feststellen. Diese Daten müssen auch als Kontroll-daten bei der Ausgliederung der jüngeren, niedriger liegenden Neigungsgürtel und ihrer Deformationen dienen. **Es ist klar, dass die Deformationen der jüngeren, niedriger liegenden Neigungsgürtel üblicherweise kleiner als bei den Älteren sein müssen. Die jüngeren Neigungsgürtel können dabei nicht in eine entgegen gesetzte Richtung geneigt werden** (Abb. 5.17). Das ist eine sehr wichtige Ergänzung. Man muss immer beachten, dass die geometrischen Parameter der Lage niedriger liegender Neigungsgürtel der Lage höher liegender Neigungsgürtel nicht widersprechen.



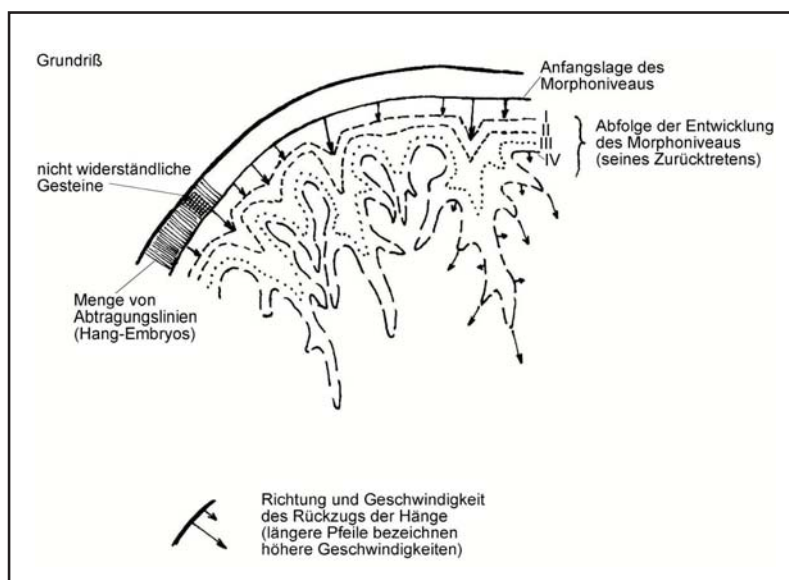


Abb. 5.16: Entwicklung disjunktiver Hänge und einige, durch ungleichmäßige denudative Verlagerung entstehende laterale „Deformationen“ eines Neigungsgürtels:

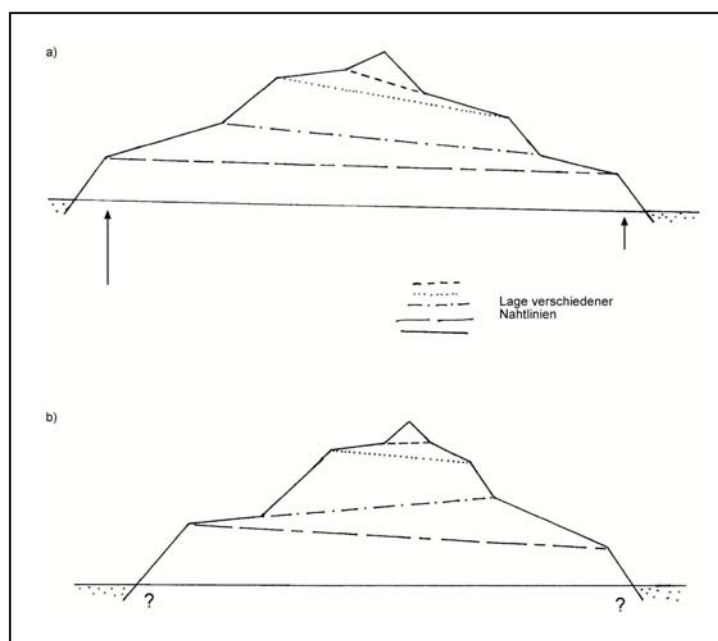


Abb. 5.17: Mögliche (a) und unmögliche (b) Lage der Nahtlinien von Neigungsgürteln verschiedenen Alters, die durch tektonische plikative Deformationen versetzt wurden

### 5.3.5. Empirische Bestätigung der Anwendbarkeit des morphostratigraphischen Modells

Es ist wichtig auch empirisch zu beweisen, dass sich unter sehr unterschiedlichen Bedingungen die Geomorphostruktur und die Abfolge der Neigungsgürtel zu erhalten streben und erhalten bleiben; wenn das nicht überall möglich ist, so bleiben sie doch lokal erhalten. Die theoretischen Beweise dafür sind bereits gegeben (Kapitel 4, 5) und ich verfüge auch über viele ihrer empirischen Bestätigungen (Abb. 5.6; 5.7). Doch es wäre viel überzeugender, die empirischen Daten anderer Forscher dazu zusammenzutragen.

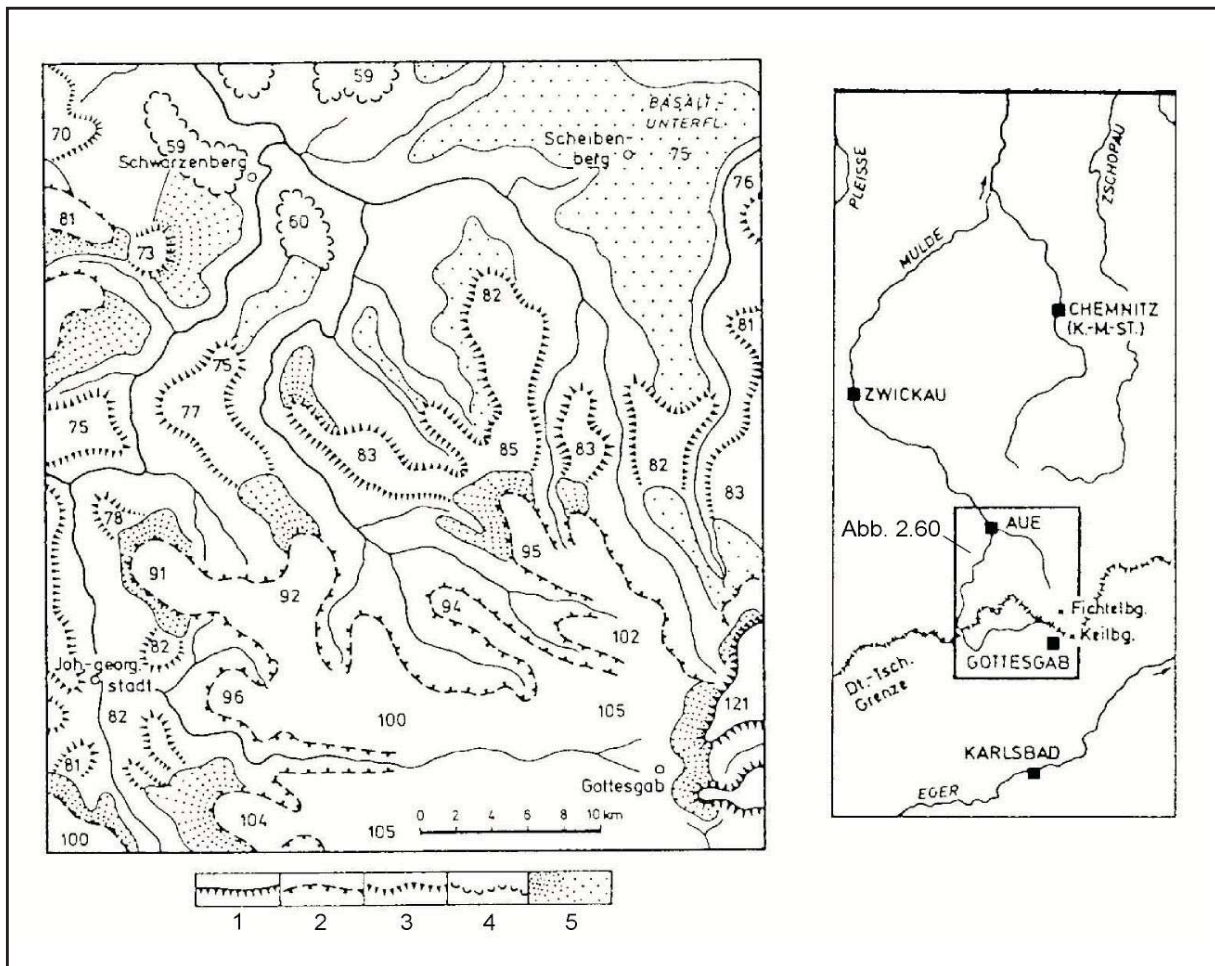


Abb. 5.18: Die Rumpftreppe des westlichen Erzgebirges (BÜDEL, 1935, Lage des Kärtchens siehe rechts, Äquidistanz 10m). (1 – Zentrales Bergland der Fichtelberggruppe; 2 – Fläche von Gottesgab, präoberoligozän; 3 – Fläche von Schöneck, oberoligozän bis mittelmiozän; 4 – Vogtländisch-nordwestsächsische Rumpffläche, obermiozän bis oberpliozän; 5 – Rumpfstufenränder bzw. stark abgetragene und überformte Flächenteile. Längs der Flüsse ist das Steilrelief der pleistozänen Zertalung weiß gelassen)

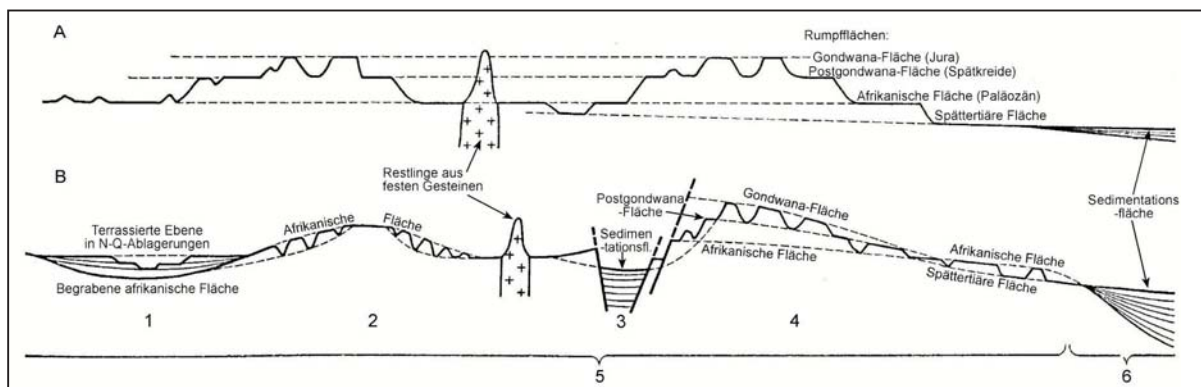


Abb. 5.19: Schemata der Verhältnisse zwischen disjunktiven Rumpfflächen verschiedenen Alters in Ostafrika (nach BELOUSOW u.a. 1974): A – ohne Berücksichtigung der nachfolgenden tektonischen Vertikalbewegungen; B – mit Berücksichtigung tektonischer Bewegungen/Deformationen im Mesozoikum und Känozoikum. Zonen: 1 – jüngste Senkung, die vor dem Quartär aufgehört hat; 2 – Hebung, die im Neogen begonnen hat; 3 – jüngste und rezente Senkung; 4 – Hebung, die im Mesozoikum begonnen hat; Gebiete: 5 – allgemeiner Hebung im Känozoikum; 6 – allgemeiner Senkung im Känozoikum

Diese "unabhängigen" Daten gibt es genügend. Das Georelief des Harzes analysierend, kommt W. PENCK (1961) zum Schluss, dass hier die geologische Struktur und Zusammensetzung der Gesteine keinen wesentlichen Einfluss

auf die Abfolge von Elementen der Morphostruktur ausüben. Er betont auch, dass hier die Sohlen der Flusstäler eine stufenartige Form haben und diese Stufen zum Oberlauf der Flüsse verlagert werden. Mit steilen Abschnitten der Stufen sind die Engungen der Täler verbunden, mit flachen Abschnitten - die Ausbreitungen der Talsohlen und die flachen Fußhänge. „Jede restliche Rumpffläche der Vorbergstreppe setzt sich in Form der Talsohlen in den Bereichen des umrahmenden Hochlandes fort... Jede niedrigere restliche Rumpffläche muss entsprechend ihrer Entstehung jünger sein als die benachbarte höher liegende Rumpffläche, und **die höchsten Teile der Gegend sind die ältesten Bereiche der Abtragung**“ (PENCK, 1961, S. 241). Die restlichen Rumpfflächen trennen die steilen Hänge von einander, die in ihrem oberen Teil konvex und am Hangfuß konkav sind. „Jede restliche Rumpffläche... verbreitet sich in Richtung der höheren älteren Reliefabschnitte (W.B. - sie werden zurückverlegt) und wird gleichzeitig von der Seite der niedriger liegenden Stufe verengt, zergliedert und im Endergebnis vernichtet“ (PENCK, 1961, S. 241). Das entspricht meinem theoretischen Modell der Georeliefentwicklung ganz gut. Ein Beispiel einer ähnlichen Geomorphostruktur („Rumpftreppe“) legt J. BÜDEL (1935, Fig. 58, 59) für das Erzgebirge bei (Abb. 5.18). Ähnliche Daten präsentieren auch N.W. MAKAROWA u.a. (1980); L. KING (1962) u.a. **Dabei erhalten die Rumpftreppen ihre Struktur und die Höhenlage einzelner Rumpfflächen sogar beim Wechsel ihrer Gestalt durch verschiedene Entwicklungsprozesse** (Erosion zur Exaration und umgekehrt) (MAKAROWA u.a., 1980). Die Neigungsgürtel (z.B. Rumpfflächen) können tektonisch sehr stark deformiert werden, aber ihre früher gebildete Abfolge bleibt trotzdem erhalten, was das Beispiel aus Ostafrika bestätigt (BELOUSOW u.a. 1974) (Abb. 5.19).

#### 5.4. Genetische Eigenschaften, Dynamik und Entwicklung des Georeliefs

Für die Bezeichnung besonderer Eigenschaften des Dinges, die im Moment der Entstehung dieses Dinges erschienen, wurde der Begriff „**Genesis**“ eingeführt (Kapitel 4.1). Die Genesis ist also eine Art und Weise der Entstehung des Dinges mittels Kraftfaktoren (Treibmedien). Diese Art und Weise sowie der Kraftfaktor äußern sich in der Menge von stofflichen und geometrischen Eigenschaften des Dinges. Jeder Hang ist auch durch die Stoffbewegungen von Treibmedien geschaffen und hat seine Formgestaltmerkmale oder „Gene“, die er von den Treibmedien (von Stoff und Kinematik seiner Bewegung) im Moment seiner Entstehung geerbt hat. Der Überträger der „Gene“, nach deren Gestalt ein Körper und seine Form entstanden sind, sind die Richtung, Kinematik und Dynamik eines bewegten Treibmediums. Diese „Gene“ (Merkmale, geäußert in der Neigungsstärke und Exposition, in der Rauheit, in Verhältnissen mit Texturen und Zusammensetzungen der Gesteine) bestimmen in vielerlei Hinsicht die nachfolgende Entwicklung des Hanges. Sie müssen im Laufe seiner gesamten Existenz erhalten bleiben. Ihre Vernichtung bedeutet gleichzeitig die Vernichtung des Hanges.

Die Genesis als eine Entstehungsursache oder -ursachen zu ermitteln und zu bezeichnen, ist meiner Meinung nach nicht effektiv, weil es viele Ursachen für die Entstehung eines Dinges gibt und ihre Reihe kann unendlich lang sein. Das bedeutet aber nicht, dass man in der Geomorphologie und Geologie die Ursachen der Erscheinungen nicht analysieren und erklären darf. Ganz im Gegenteil, aber **die Ermittlung der Ursachen der Erscheinungen und die Erklärung dieser Ursachen sind üblich das Endziel der Wissenschaft und auf keinen Fall der Anfang der wissenschaftlichen Analyse und der Definierung wissenschaftlicher Begriffe**. Das hat man schon lange z. B. in der Physik und Mathematik begriffen.

Wenn man die Genesis als eine Eigenschaft des Georeliefs annimmt, so muss ihre Definition so sein, dass man immer die Möglichkeit hat, diese Eigenschaft einfach und exakt bei der Anfangsbewertung der Hänge festzustellen, durch diese Eigenschaft den Hang zu benennen und als primäre Information auf der Karte zu bezeichnen. Es reicht sogar die einfachste genetische Bestimmung, und zwar: ist der Hang disjunktiv oder sedimentativ, obwohl man natürlich nach einer möglichst ausführlichen genetischen Bestimmung streben sollte. Es ist auch nicht effektiv, die Genesis der Hänge als eine Menge von Prozessen, die auf diese Hänge bei ihrer Bildung einwirkten, anzunehmen, was man z.B. in „Methodischen Hinweisen“ (1980) vorschlägt. Die Menge dieser, oft entgegen gesetzter Prozesse kann ziemlich groß sein, und es ist oft nicht möglich, sie exakt zu ermitteln. Die Art und Weise der Entstehung eines konkreten Hanges ist immer nur eine, und dies sollte für die Bezeichnung der Genesis des Hanges angewendet werden. Komplizierte gemischte Bezeichnung der Hanggenesis, wie z.B. fluvial-proluvial, limnisch-fluvial, kolluvial-deluvial-proluvial ist nicht richtig, weil ein Hang nicht gleichzeitig fluvial und proluvial oder limnisch sein kann (Gesetze der Logik).

Die Art und Weise der Entstehung eines Dinges hat also immer ihre stoffliche und geometrische Äußerung. Eigentlich ist so eine Art und Weise die geometrische Form der Bewegung der Stoffteilchen und der Treibmedien. Dieselbe Bewegungsart kann durch verschiedene Faktoren und Kräfte innerhalb unterschiedlicher Treibmedien entstehen. Deswegen schaffen verschiedene Treibmedien oft ähnliche („**konvergente**“) Reliefformen und Sedimente. **Die Konvergenz ist eine morphologische und strukturelle Ähnlichkeit (Übereinstimmung) der durch verschiedene Faktoren und Treibmedien gebildeten Dinge**. Die Beispiele der konvergenten Reliefformen und Sedimente sind äolische und fluviale Riffeln und Dünen, Rutschungen und Endmoränen, Meteoriten- und Vul-

kankrater usw. Sie sollen auch von einander unterschieden werden, und zwar durch ihre Genesis. Dabei läuft die Feststellung der Genesis über zwei „Stufen“:

1. das Erkennen des **Verfahrens** (Art und Weise) der Entstehung der Hänge mittels ihrer geometrischen Äußerung (**das ist immer möglich**);
2. das Erkennen der **Treibmedien und Bedingungen** der Entstehung der Hänge aus ihrer stofflichen Zusammensetzung (aus den zu den Reliefformen konkordanten Gesteinen) und ihrer geometrischen Äußerung (**das ist nicht für alle Hänge möglich**).

Aber für welche Hänge ist eine genügend exakte Feststellung aller Genesismerkmale möglich? Die Verfahren und Dynamik der physikalischen Bewegungen und der Einfluss der Treibmedien können deutlich nur durch entstandene stoffliche Produkte ihrer Wirkung (Stoffzusammensetzung, Textur, Form) fixiert werden. Es ist logisch und richtig anzunehmen (Kapitel 4.3.1), dass die äußere Oberfläche der entstehenden geologischen Sedimentkörper gleichzeitig das zu diesen Körpern konkordante Relief ist. D.h. **die Genesis und viele andere Eigenschaften der geologischen Körper sind auch die gleichen Eigenschaften für das zu diesen Körpern konkordante Georelief**. Da der Stoff der Hauptträger der exakten genetischen Information ist, so ist das Sedimentationsrelief bezüglich seiner Genesis sehr informativ. **Die Genesis ist also die Haupteigenschaft des SR**.

Die genetische Informationskapazität der Disjunktivhänge kann in den meisten Fällen nicht als genügend repräsentativ und exakt ermittelt werden. Diese Hänge sind in Gesteine eingeschnitten und ausgerissen, üblich schon weit von ihrem „Geburtsort“ verlagert, und oft fehlt der stoffliche und morphologische Nachweis (wegen der Denudation) über Besonderheiten der Art und Weise ihrer Entstehung. Nur auf rezenten oder sehr jungen Abbruchswänden des DR kann man die Spuren der Bewegung und Einwirkung der Treibmedien feststellen, die dem Entstehungsmoment dieser Hänge angehören können. **Sicher kann man einige Prozessarten der rezenten und auch alten Entwicklung des DR durch seine Morphologie, Rauheit und den stofflichen Aufbau seiner beweglichen Schicht feststellen**. Aber in diesem Fall kann man vor allem nur den Hauptprozess, der die Rauheit dieser Hänge erschaffen hat, ermitteln, trotz gleichzeitiger Einwirkung vieler Prozesse auf die Hänge. Alle dieser Prozesse kann man ohnehin nicht exakt ermitteln, weil sie kaum Spuren hinterlassen. Die Einwirkung vieler von ihnen kann man nur vermuten. Deswegen wäre es richtiger und effektiver, nur rezente und alte Hauptprozesse der Georeliefentwicklung zu ermitteln und darzustellen. **In der Regel, hat jede Reliefeinheit die Spuren von beiden**, wobei der alte Prozess üblicherweise seine Spuren als eine grobe Rauheit hinterlässt und sich der rezente Hauptprozess durch eine „feinere“ Rauheit äußert. Man muss aber betonen, dass die Entwicklungsprozesse oft keine Beziehung zur Genesis der Entstehung des DR haben. Seine Genesis ist als allgemein disjunktiv anzunehmen (als Folge der Zerreißung der Gesteine).

Die Information über genetische Merkmale sollte in die Benennung des Hanges einfließen, damit der Hang und seine Genesis einfacher wahrnehmbar sind. Wenn die Benennung durch ein unbekanntes Wort gegeben ist (z.B. aus Fremdsprachen: „Barchan“, „Kurum“, „Pingo“ usw.), so muss man diesem Wort (Begriff) eine Definition geben, in der seine morphologischen und genetischen Eigenschaften erklärt werden. **Das ist kompliziert und weniger effektiv als einfache Benutzung schon bekannter allgemeiner Wörter für die Benennung der geomorphologischen Dinge, bei denen auch ihre Genesis und Morphologie betont werden**. Die Benennungen der Treibmedien (exogene oder endogene und ihre Vielfalt), der Art und Weise der Hangentstehung (disjunktiv oder sedimentativ), sowie der Reliefformengestalt sollten die „Namen“ der geomorphologischen Einheiten zusammensetzen, z.B. „äolische Dünen“, „fluviatile Terrassen“, „tektonische Abbruchwände“ usw. (nicht mehr als drei Worte). Einzelne, schon lange bekannte und definierte Begriffe sind auch verwendbar, z.B. „Endmoräne“, „Pingo“ usw.

Diesen Begriffsapparat zu optimieren ist nicht einfach. Man braucht eine effektive Klassifikation, die die traditionellen Benennungen erhalten würde und in die sich neue Benennungen anpassen. Es ist klar, dass sich diese Klassifikation auf eine gesetzmäßige Reihenfolge der Treibmedien und Verfahren ihrer Bewegungen stützen sollte. Eine gesetzmäßige (zonale) Abfolge haben miteinander die exogenen glazigenen, fluviatilen, äolischen Treibmedien (BÜDEL, 1963; BUTWIŁOWSKI, 1995; u.a.). Azonale Auswirkung üben impakte und biogene (technogene) Faktoren aus, welche durch besondere, oft unregelmäßige Bedingungen bestimmt werden. Ein endogener Treibfaktor ist z.B. der gravitative Faktor, der sich nach unten (Kompaktion, Erdkriechen) oder nach oben (Dekompaktion, Injektion und Effusion) auswirkt. Sein Erscheinen bestimmen auch die besonderen Bedingungen der Erdkruste und des Georeliefs.

#### **5.4.1. Genesis des Georeliefs als eine Grundlage paläogeographischer Rekonstruktionen**

Eine Aufgabe der Geomorphologie ist die Rekonstruktion und Bewertung der physisch-geographischen Bedingungen der Vergangenheit (**Paläogeographie**), weil das Georelief zu einem wichtigen Bestandteil dieser Bedingungen (Landschaften) angehört. Das Ziel dieser Rekonstruktion ist der Aufbau eines Fazienmodells (einer

Hypothese über Paläo-Landschaften). Dieses Ziel ist ohne Relieffanalyse nicht zu verwirklichen, **weil die Paläo-landschaft, als eine Einheit der paläogeographischen Bedingungen, vor allem ein Hang mit einem von ihm ausgestalteten stofflichen** (geologischen, pedologischen, biologischen, hydrologischen) Inhalt ist (BUTWILOWSKI u.a. 1996, u.a.). Man kann die Paläolandschaft als eine Hang-Fazies definieren, deren Genesis und andere Eigenschaften die Naturbedingungen während der Hangentstehung oder -entwicklung äußern. Diese Definition ist für alle Geowissenschaften anwendbar, aber das ist schon ein spezielles Thema, das uns zu weit von der Geomorphologie abführt.

Die Klassifikation der Fazien und Hänge soll sich auf die Klassifikationen der Landschaften und der physisch-geographischen Bedingungen beziehen. Durch diese Klassifikationen kann man die Vielfalt der Fazien und Hänge einordnen. Wenn die physisch-geographischen und tektonisch-magmatischen Bedingungen auch Faktoren der Entstehung und Entwicklung der Gesteine und Hänge sind, so sollten die Fazien entsprechend dem Ordnungssystem dieser Faktoren klassifiziert werden. So eine Klassifikation benutzend, kann man die geohistorischen Interpretationen und Rekonstruktionen der Erdkruste und des Georeliefs effektiver durchführen. Bei den Großraumuntersuchungen ist es zweckmäßig, die Fazien als kleine geologische Körper und ihre Hänge in größere „**Formationen**“ zusammenzufassen. Die Formation ist eine Gesamtheit von Fazien, die einige gemeinsame Eigenschaften besitzen und unter den Bedingungen eines Treibmediums entstanden sind (glazigene Formation, fluviale Formation usw.).

Die Gesamtheit der Fazien (auch Formationen) ist oft nicht zufällig; sie bilden die sogenannte „**Paragenesis**“. Die Paragenesis ist die Gesamtheit benachbarter verschiedener Dinge, die unter einigen gesetzmäßigen räumlichen Bedingungsabfolgen, die einer Zeit und physisch-geographischen Situation entsprechen, entstanden sind, z.B. unter glazialen Bedingungen oder aquatischen Bedingungen usw. Die richtig zusammengestellten Klassifikationen der Dinge, die sich auf die Gesetzmäßigkeiten der Entstehung oder Entwicklung der Dinge stützen, zeigen, welche dieser Dinge sich unmittelbar nebeneinander räumlich befinden können und welche nicht, z.B. zwischen einem See und dem Festland liegt immer eine Küste, aber eine Sandwüste kann nicht durch einen Gletscher in einen See übergehen. Das letzte Verhältnis ist ein „verbotenes Verhältnis“. **In „verbotenen“ Verhältnissen befinden sich die Einheiten der Klassifikation, wenn sich zwischen ihnen andere Einheiten befinden müssen.** Wenn diese Einheiten in der Realität unmittelbar beieinander liegen (miteinander kontaktieren), so bedeutet das, dass diese Einheiten nicht gleichzeitig gebildet sind und miteinander durch eine diskordante Grenze (Einschnitt, Verschnitt, Bruch, Störung) kontaktieren. Die Feststellung der Art von Paragenesis ist sehr nützlich für die morphostratigraphischen und paläogeographischen Modelle. Eine Einheit aus der paragenetischen Reihenfolge kennend, kann man die Existenz und Lage von anderen Paläo-Einheiten, die keine Spuren hinterließen, rekonstruieren.

#### 5.4.2. Über Dynamik und Entwicklung des Georeliefs

Eine wichtige Aufgabe der Geomorphologie ist eine qualitative und quantitative Einschätzung der Dynamik der Entwicklungsprozesse des Georeliefs und der Erdkruste. Die Dynamik der Entstehung der Disjunktivhänge wird durch ihre Neigungsstärke und Höhe geäußert. Diese Dynamik ist aber schwierig quantitativ genau einzuschätzen. Man kann doch sicher behaupten, dass **je steiler und dabei höher der Hang ist, desto intensiver (dynamischer) war der Prozess der Hebung und der Dekompaktion, desto größer war die Amplitude der Zerreißung der geologischen Körper und desto kürzer war die Zeit für die Transformation dieses Disjunktivhanges** (Abb. 5.20). Für das SR kann man die Dynamik der Hangentstehung durch die Textur des konkordanten Stoffes bewerten. **Je größer seine Teilchen sind und je steiler seine Schichtung gegen Bewegungsrichtung der Treibmedien geneigt ist, desto intensiver war die Dynamik**, wobei man ihre Größe auch quantitativ mithilfe von bekannten physikalischen Gesetzen des Ausfallens der Teilchen berechnen kann.

Man muss auch beachten, dass die Mächtigkeit der Sedimente, wie auch die Höhe der disjunktiven Neigungsgürtel, dem Betrag der bei der Entstehung dieser Neigungsgürtel oder Sedimente aufgetretenen tektonischen Hebungen oder Absenkungen **nicht immer genau** entspricht. Eine starke Dynamik der nachfolgenden Akkumulation und Denudation (insbesondere extreme Ereignisse) kann einen Überschuss der Mächtigkeit von Sedimenten oder einen diskordanten (erosiven, exarativen) Verschnitt einer anomal größeren Höhe bilden. Es wäre deswegen richtig, die Amplitude und die Dynamik der tektonischen Bewegungen durch den Höhenunterschied zwischen der oberen und unteren **konkordanten Längsgrenze** (Nahtlinie) eines Neigungsgürtels oder Sediments **zu bewerten**.

Die Daten der „absoluten“ Zeit der Wirkung der Prozesse der Denudation oder Akkumulation sind für die Einschätzung der durchschnittlichen Geschwindigkeiten dieser Prozesse sehr nützlich. Die Daten über rezente Geschwindigkeiten der Denudation widersprechen in der Regel den Vorstellungen über das große Alter des Georeliefs (BORSUK u.a. 1977; u.a.). Die Intensität der Denudation ist sehr oft allgemein zu hoch eingeschätzt. Man muss beachten, dass oft zwei Prozesse (Denudation und Akkumulation) an demselben Ort einander abwechseln, und dass der Transport des Stoffes nicht nur von oben nach unten, sondern auch umgekehrt laufen kann (z.B. äolischer

Transport). Man muss auch bemerken, dass **eine intensive Abtragung** (welche meist gemessen wird) **vor allem für die lockeren Gesteine** (Sedimente, bewegliche Schicht) **zu Eigen ist, aber die festen Felsgesteine, die die Sockel der meisten Disjunktivhänge bilden, sehr langsam denudiert werden** (etwa 0,01-0,0001 mm/Jahr). Anders gesagt, von oben nach unten und umgekehrt wird vor allem das Lockermaterial verschoben und seine tatsächlich hohen Bewegungsgeschwindigkeiten werden fälschlicherweise als durchschnittliche Geschwindigkeiten der allgemeinen Denudation wahrgenommen. Das bestätigen auch die geologischen Daten. Es wurde z.B. festgestellt, dass sich seit Anfang des Kambriums die Sedimente vor allem aufgrund der Überlagerung der anderen Sedimente bilden (STEPANOW, MESESCHNIKOW, 1979).

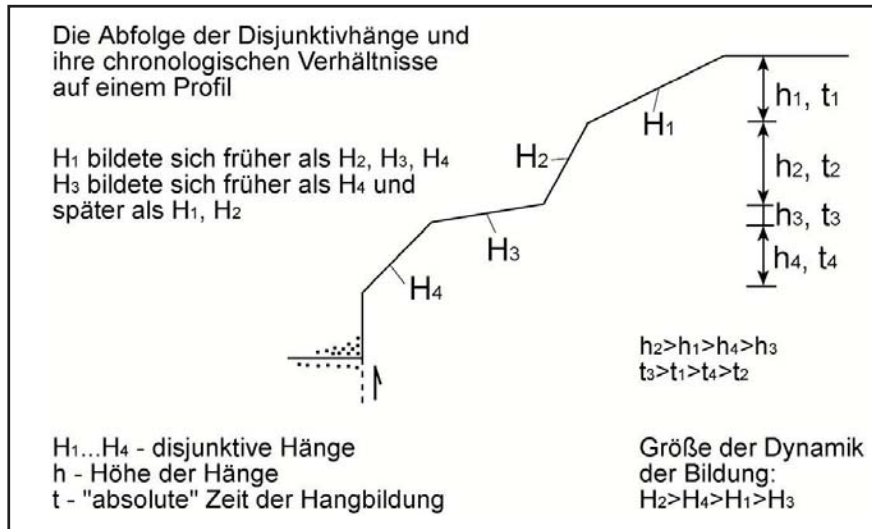


Abb. 5.20: Abschätzung und Vergleich der Dynamik und des geomorphologischen Alters der Entstehung von Disjunktivhängen

Geologische Daten bestätigen also (Kurs Allgemeiner Geologie 1976; u.a.), dass die Denudation auf dem Festland ständig fast überall läuft, aber sehr langsam. Die Akkumulation dagegen läuft hier lokal, kurzfristig, aber sehr intensiv. In Ozeanen, umgekehrt, läuft die Akkumulation ständig fast überall, aber sehr langsam, doch die Denudation läuft hier lokal, kurzfristig, aber sehr intensiv.

Von vielen Daten über die Intensität verschiedener Denudationsarten ausgehend (BORSUK u.a. 1977; u.a.), kann man die Intensität der linearen (glazigenen) Exaration als 100000 Einheiten und die Intensität der flächenhaften kryogenen Denudation als 100 Einheiten annehmen. Die Intensität der linearen Erosion ist etwa 1000 Einheiten, der flächenhaften humiden Denudation - 10 Einheiten. Unter ariden äolischen Bedingungen beträgt die Intensität der linearen Abtragung (Deflation) etwa 10 Einheiten, der flächenhaften Denudation - etwa 1 Einheit. Diese Einschätzungen sind allerdings nur vorläufig gegeben und müssen präzisiert werden, was mithilfe der geomorphologischen Kartierung und mit dem Vergleich der Lage der Neigungsgürtel verschiedenen Alters durchgeführt werden kann. Die Widerstandsfähigkeit der Gesteine gegen die Denudation wird von mir auch durch die bedingten Einheiten relativ eingeschätzt: lockere Psammite - 0,01; Pelite - 0,1; lockere Psephyte - 1; lithifizierte Pelite, Psephyte und Karbonate - 10; Metamorphite und kristalline magmatische Gesteine - 100; Kontaktmetamorphite und Quarzite - 1000 Einheiten. Diese Einschätzungen sind auch vorläufig gegeben und müssen präzisiert werden.

Die Lithosphäre und das Georelief sind miteinander verbundene Systeme. Die wirkenden Hauptprozesse (De-kompaktion, Denudation, Akkumulation und Kompaktion) bilden hier einen geschlossenen Kreislauf, dessen Dynamik von der Größe der wirkenden äußeren Energie (Gravitation, Insolation) abhängig ist (Kapitel 4, Abb. 4.1). Die relativen und absoluten Höhen des Georeliefs bestimmen die Größe der potentiellen Energie der exogenen Prozesse. Wenn der Prozess, der die absolute Höhe der Georeliefabschnitte vergrößert, aufhört, so beginnt sofort die Verminderung dieser Höhe. Wenn der Prozess der Vergrößerung der absoluten Tiefe der Georeliefabschnitte aufhört, so beginnen sofort die Ausfüllung der Senkungen mit Sedimenten und die Erhöhung ihrer Oberfläche. **Die abgesonderten Hebungen und Senkungen im Georelief sind seine Anomalien, die nicht im Laufe der Selbstentwicklung des Georeliefs entstanden, sondern durch andere „äußere“ Kräfte und Faktoren, die von der Entwicklung der Erde als Planet bedingt sind. Die Selbstentwicklung des Georeliefs strebt danach, diese „Anomalien“ zu vernichten und die Erdoberfläche zu verebnen.** Die Entwicklung des Georeliefs strebt auch nach Gleichgewicht, nach dem Maximum eigener Entropie, aber erreicht dieses Maximum niemals.

Der im Prinzip immer ungleichmäßige Ablauf der Dekompaktion (und Zerreißung) schafft die Abfolge (Geomorphostruktur) der Hänge auf den Hebungen, und die Denudation entwickelt und bewahrt diese Geomorphostruktur über sehr lange Zeit. Die Akkumulation (Sedimentation) schafft die Abfolge (Geostruktur) der Sedimente in den Senkungen und die Kompaktion entwickelt und bewahrt diese Geostruktur auch über sehr lange Zeit. Die Lithosphäre und das Georelief einzeln und unabhängig erforschend und dann miteinander vergleichend, kann man vollständig und exakt genug die Geschichte der Entwicklung der geologisch-geographischen Systeme rekonstruieren.

**Am wichtigsten ist dabei, dass die Erkenntnis der Entwicklungsgeschichte aus der Abfolge der Gesteine und aus der Abfolge der Hänge eine gegenseitige Kontrolle verwirklichen und unser Wissen glaubwürdig machen lässt.** Die Daten von der Lithosphäre und vom Georelief ergänzen einander. Die Lithosphäre und das Georelief sind dabei nicht nur die Komponenten und ein Teil des geographischen Raums, nicht nur Komponenten der Landschaften, sondern auch **die einzige mögliche „Chronik“ der Entwicklungsgeschichte der Umwelt.**

Aus dem Obigen ist die Schlussfolgerung offensichtlich, dass die räumlich-zeitliche Struktur des Georeliefs exakt und vollständig vor allem durch das DR fixiert und geäußert wird, seine Dynamik und Genese aber durch das SR, und diese gegensätzlichen Georelieftypen unterschiedliche Verhältnisse im Raum haben (Abb. 5.2, 5.6, 5.13), die durch Kartierung festgestellt werden können.

**Man darf aber nicht vergessen, dass die vorgeschlagenen Axiome, Prinzipien und Gesetze vor allem theoretische Auffassungen und Lösungen sind, die die geomorphologische Realität abstrahieren. Aber ohne solchen Ansatz ist es unmöglich die Wissenschaft zu entwickeln und ihren praktischen Wert zu steigern.** Das bestätigen auch die Beispiele der Physik, Chemie, Biologie usw.

## 6. Hauptklassifikationen der Georeliefeinheiten und geologischen Prozesse

Empirische Beobachtungen zeigen also, dass viele Medienfaktoren auf das Georelief wirken. Man kann sich leicht in dieser Vielfalt verirren und Geomorphologen haben sich wirklich darin „verirrt“. Als Folge dessen erscheinen die Klassifikationen von Reliefeinheiten und geologischen Prozessen ziemlich ungenau und widerspruchsvoll. Das bestätigen viele führende Forscher (HARVEY, 1974; FLORENSOW, 1978; UFIMZEW, 1994; LASTOTSCHKIN, 1995; SEMMEL, 1996; u.a.). Selbstverständlich sollten geomorphologische Klassifikationen verbessert werden.

Was ist aber eigentlich eine Klassifikation? **Die Klassifikation ist eine Darstellungsform der durch exakte Merkmale unterschiedlichen Elementarten eines Gegenstandes entsprechend festgestellten Zusammenhängen, Hierarchien und Reihenfolgen zwischen seinen Elementen.** Die Aufgabe der Klassifizierung ist eine exakte Aufteilung der Elemente eines Gegenstandes entsprechend der obigen Definition. Man braucht dafür eine exakte Definition des Elements allgemein und bezogen auf konkreten Forschungsgegenstand, sowie einen Begriffsapparat zur Bezeichnung der Elemente und exakte Informationen über diese Elemente. Diese Grundlagen wurden bereits in vorherigen Kapiteln dargestellt.

### 6.1. Rangierung des Georeliefs

Geomorphogenese und Geomorphostruktur sind in erster Instanz am leichtesten anhand der kleinsten Reliefeinheiten zu analysieren, welche eine unmittelbare Beobachtung und Wahrnehmung ermöglichen. Die kleinen Hänge setzen bei ferner Mastabsbetrachtung groere Hänge zusammen, diese - noch groere, welche für Subjekte schon nicht mehr wahrnehmbar sind. Man muss sich der Satellitenaufnahmen oder kleinmastbiger topographischer Karten bedienen, auf denen diese riesigen Einheiten millionenfach verkleinerte Kopien (Modelle) sind. Nur dann werden sie für uns anschaulich und wahrnehmbar. Die Erkenntnis der riesigen Relieftteile ist sehr kompliziert. Deswegen darf man nicht „die Kutsche vor das Pferd stellen“, d.h. die Erkenntnis und Darstellung des Georeliefs nicht mit den groten Reliefformen (Festland, Ozeansenken, Gebirge usw.) beginnen, was in den meisten Lehrbüchern der Fall ist, sondern man sollte die Analyse des Georeliefs mit seinen kleinsten und einfachsten Einheiten anfangen.

In geomorphologischen Lexika werden relativ kleine Reliefformen allgemein als „Mikroformen“ und „Mesoformen“ bezeichnet. Diese Begriffe sind folgendermaßen definiert: „Die Mesoformen sind die Reliefformen, welche nach ihrer Groe eine Zwischenlage von Makro- und Mikrorelief einnehmen. Sie sind die Hügel, Dnen, Kessel, kleinen Täler u.a., die ausschließlich durch die Wirkung von exogenen Prozessen entstehen... Die Mikroformen sind die kleinen Reliefformen bis zu einigen Metern Höhe und hunderten Metern Länge, überwiegend von exogener Genesis“ (Terminologie... 1977, S. 64). Diese Definitionen benutzend, kann man die Reliefformen nicht exakt erkennen und absondern. Auch die Genesis der Reliefformen kann ganz unterschiedlich sein, und von Formgroe hängt sie oft überhaupt nicht ab.

Wenn man von der bereits vorgeschlagenen Definition „Hang“ (Fazette) ausgeht (Kapitel 3), sowie von der Notwendigkeit, die Hänge nach ihrem Ausmaß exakt abzusondern und zu generalisieren, so muss man als Grundlage ihrer Ausscheidung die Abbildung dieser Hänge auf topographischen Karten von verschiedenen Maßstäben legen. Der Hang (Fazette) als jener Relieftteil, der keine Krümmung hat, wird vor allem durch Abbildung der Isohypsen topographischer Karten ermittelt und dargestellt (als Ausschnitt, wo die Isohypsen gerade verlaufen und voneinander gleich weit entfernt sind) (Abb. 3.1). **Der Maßstab der Karte bestimmt dabei die notwendige Generalisation des Georeliefs und seiner Hänge. Die Auszeichnung der Hänge auf den topographischen Karten ist exakt genug, weil diese Karten normalerweise ein exaktes Vermessungsprodukt sind.** Im Gelände sind visuelle Bewertungen des Georeliefs nicht exakt genug und die Absonderung der Hänge sehr schwierig und ungenau, dabei können die Hänge nicht richtig generalisiert werden. Visuell nimmt man die Gestalt des Georeliefs im Gelände wegen verschiedener Entfernung, Perspektive, Wetter usw. nur verzerrt wahr. **Deswegen ist es sinnlos, wenn man genügend exakte Vermessungen des Georeliefs und topographische Karten zur Verfügung hat, wieder in das Gelände zu gehen und die Hänge visuell auszuzeichnen. Es wäre richtiger und effektiver, die bereits auf der topographischen Karte abgesonderten Hänge im Gelände zu untersuchen.**

Jeder Maßstab der Karte hat seine intrinsischen Möglichkeiten, genau und ausführlich das Georelief und seine Hänge darzustellen. Es ist sinnvoll, vor allem nach der Absonderung **der größtmöglichen Hänge** zu streben, ihre Höhe, Steilheit und Breite beachtend. Dabei muss man berücksichtigen, dass auf der Karte die Konturen, welche enger als 2-3 mm und kürzer als 4-5 mm sind, nicht anschaulich auszuzeichnen sind. Z. B. sollte im Maßstab 1:5000 die Breite des Hanges nicht geringer als 10-15 m sein, seine minimale Höhe bei einer Neigung von 45° nicht kleiner als 10-15 m und bei der Neigung von 1,4° nicht kleiner als 0,2-0,3 m, um auf der Karte ganz deutlich, ohne besondere technische Probleme und ohne Probleme der Informationsübermittlung bezeichnet zu werden. Die Parameter der kleinstmöglichen Hänge für andere Maßstabsgrößen sind in der Tabelle 6.1. angegeben.

Maßstabsgröße der Darstellungen in Karten	Parameter der kleinstmöglichen kartographischen Hangdarstellung		
	Breite des Hanges, m	minimale Höhe bei einer Neigungsstärke von 45°, m	minimale Höhe bei einer Neigungsstärke von 1,4°, m
1: 5 0000	10 - 15	10 - 15	0,2 - 0,3
1: 50 000	100 - 150	100 - 150	2 - 3
1: 500 000	1000 - 1500	1000 - 1500	20 - 30
1: 5 000 000	10 000 - 15 000	10 000 - 15 000	200 - 300

Tabelle 6.1. Parameter der kleinstmöglichen darstellbaren Hänge in verschiedenen Maßstabsgrößen

Es ist bekannt (SALISTSCHEW, 1982), dass die Darstellungsfehler der Erdoberflächenhöhen durch die Isohypsen im Maßstab 1:10000 bis etwa 1 m für die Ebenen und bis etwa 1 m für das Gebirge beinhalten; im Maßstab 1:25000 dementsprechend bis 1 m für die Ebenen und bis 2 m für das Gebirge; im Maßstab 1:50000 - bis 3 m und 4 m; im Maßstab 1:100000 - 6 m und 9 m. Aber solch große Fehler entstehen üblicherweise nur bei der Darstellung der steilen (>15-20°) Hänge (SALISTSCHEW, 1982). **Bei der Darstellung der Hänge auf der Karte können solche Fehler als Abweichungen von den richtigen Konturen der Hänge nicht mehr als 0,2-0,3 mm in Erscheinung treten. Das ist im Vergleich mit dem Ausmaß der dargestellten Objekte sehr klein und kann vernachlässigt werden.**

Im Kapitel 3 wurde bereits vorgeschlagen, das Georelief wie folgt zu rangieren: **Nanorelief, Mikrorelief, Mesorelief, Makrorelief und Megarelief.** Von den Maßstäben der topographischen Aufnahme sowie von Erfahrungen der geomorphologischen Kartierung ausgehend, kann man die folgenden Maßstabsdifferenzen für die Georeliefstufen vorschlagen (Tab. 6.2): für das Nanorelief (Rauheit) - 1: 500 und größer; Mikrorelief - 1:1 000 -1:50 000; Mesorelief - 1: 100 000 - 1:500 000; Makrorelief - 1:1 000 000 - 1:5 000 000; Megarelief - 1:10 000 000 und kleiner. Z.B. die Hänge des Mikroreliefs sind Hänge, die auf den Karten im Maßstab 1:5 000 - 1:50 000 abgesondert werden können. Die Hänge des Mesoreliefs sind jene Hänge, die auf den Karten im Maßstab 1:100 000 - 1: 500 000 ausgedrückt werden usw. Den Hängen jedes Ranges des Georeliefs ist es sinnvoll Eigennamen zu geben (Tab. 6.2).

Im Maßstab 1:500 und größer wird die Geometrie der Erdoberfläche sehr genau dargestellt und sie, nach meiner Kartierungserfahrung, äußert überwiegend die „Rauheit“ des Georeliefs. Die „Rauheit“ ist üblicherweise die Wirkungsfolge von rezenten und alten (vergangenen) geologischen Prozessen (Kapitel 5). Solch eine Ausführlichkeit der Darstellung des Georeliefs lässt sehr gut die geologischen Prozesse in Karten visualisieren, aber die Struktur des Georeliefs erscheint in diesem Maßstab sehr chaotisch, deswegen ist so ein Maßstab für die Darstellung der Geomorphostruktur nicht geeignet.



In Maßstäben von 1:1000 bis 1:50000 (Mikrorelief) wird die Geometrie der Erdoberfläche auch noch ausreichend exakt dargestellt, dass z.B. die realen Hangneigungen mittels Neigungsmaßstab der Karten genau genug ermittelt werden. So eine Darstellungsausführlichkeit äußert ganz gut die Struktur des Sedimentationsreliefs (Reliefformen) sowie die grobe „Rauheit“ des Georeliefs, die üblicherweise eine Folge von extremen geologischen Prozessen ist (BUTWILOWSKI, 1993). Die Struktur des Disjunktivreliefs erscheint dabei auch in mehr eingeordneter Art, wird aber noch sehr stark von verschiedenen Diskordanzen verzerrt.

In den Maßstäben 1:100 000 - 1:500 000 (Mesorelief) wird die reale Geometrie der Hänge nicht exakt dargestellt und kann nicht durch den Neigungsmaßstab ermittelt werden. Aber diese generalisierte Geometrie visualisiert deutlich und exakt die Gesetzmäßigkeiten der Struktur des DR (Abfolge von Neigungsgürteln) sowie die großen Formenkomplexe des SR (Formationen). Dabei wird die „Rauheit“ beseitigt (nicht „sichtbar“), aber die räumliche Zonalität der geologischen Prozesse kann dargestellt werden.

Auf den üblichen physiogeographischen Karten in Maßstäben 1:1 000 000 - 1:5 000 000 (Makrorelief) wird die Reliefgeometrie sehr ungenau dargestellt und zu grob generalisiert. Die steilen Hänge erscheinen hier immer stark verzerrt (zu breit und zu flach). Z.B., der Einschnitt (Schlucht) des Tals Tschultscha (Altaigebirge) auf dem absoluten Höhengniveau von 2000 m hat im Maßstab 1:500 000 eine Breite von etwa 4 - 5 km, im Maßstab 1:5000000 aber hat der dasselbe Einschnitt eine Breite von 20 km wegen der nicht richtigen Generalisierung (Abb. 6.1). Tatsächlich sollte dieser Einschnitt auf der Karte 1:5000000 als sehr enger Streifen (schmäler als 1 mm) erscheinen, d.h. er ist in diesen Maßstab kaum darstellbar.

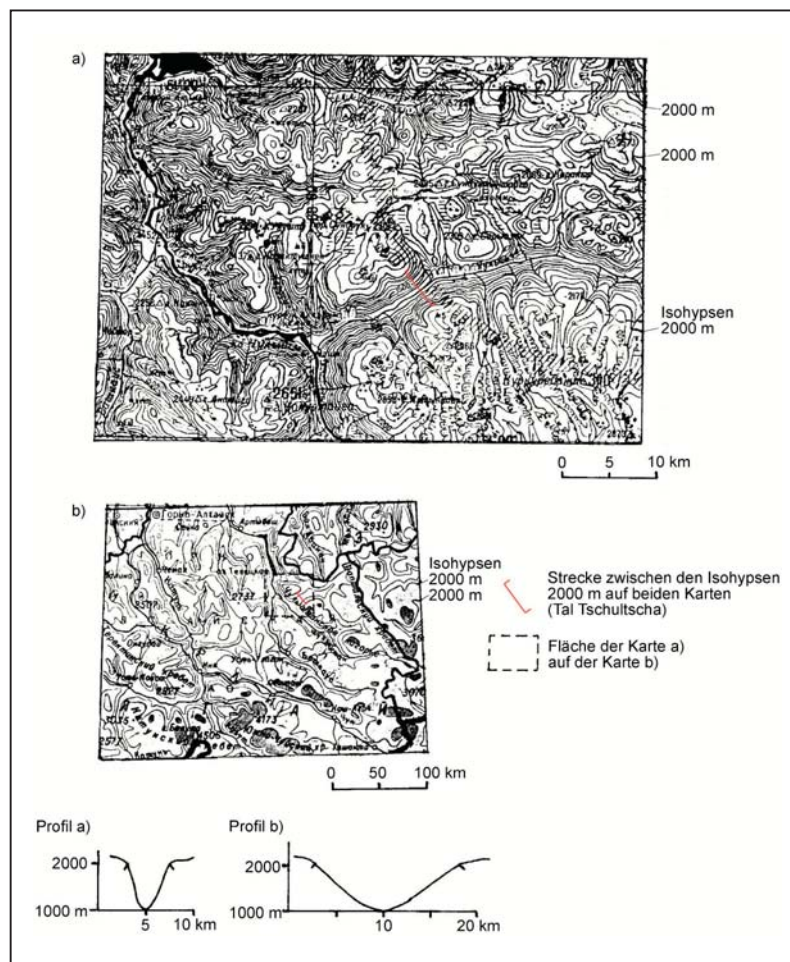


Abb. 6.1: Darstellung desselben Reliefschnitts auf den Karten verschiedener Maßstäbe: Profile a) und b) zeigen deutlich, wie stark die Verzerrung desselben Tales in der kleinmaßstäbigen Karte (b) ist, d.h. eine solche Generalisierung topographischer Grundlagen, wie in dem Fall b, gilt nicht für die Geomorphologie

Um das Makrorelief richtig analysieren und kartieren zu können, muss man zuerst eine spezielle topographische Grundlage erstellen, wo das Georelief „geomorphologisch richtig“ generalisiert und dargestellt ist. Dafür kann man die großmaßstäbigen Karten benutzen, sie verkleinern und „neu“ generalisieren ohne Änderung der Lage von

ausgewählten Isohypsen. Auf dieser Grundlage kann man durch das Makrorelief dann sehr deutlich vor allem die großen Georeliefkompexe, ihre plikativen und disjunktiven Deformationen, die geologische Struktur und die zonale Verteilung geologischer Prozesse darstellen.

Das Megarelief äußert im Georeliefe die geologischen Strukturen durch ihre Höhenlage und kann am besten mittels der Eigenschaften der geologischen Struktur klassifiziert werden. Man muss betonen, dass jeder Maßstabsbereich (Rang des Georeliefs) **die besonderen Eigenschaften des Georeliefs äußert und andere Maßstabsbereiche nicht ersetzen kann. Deswegen sollte die Reliefanalyse und geomorphologische Kartierung in allen vorgegebenen Maßstäben durchgeführt werden.** Es muss erwähnt werden, dass die komplizierten Hangkombinationen des Georeliefs (Reliefkomplexe, Neigungsgürtel) nur aus den Hängen eines Ranges bestehen sollten. Anders gesagt, das Mesoreliefe des Gebirges darf nur aus Mesohängen und auf keinen Fall aus Mikrohängen zusammengestellt werden. Die Mikrohängen setzen nur das Mikrorelief zusammen (Abb. 6.2).

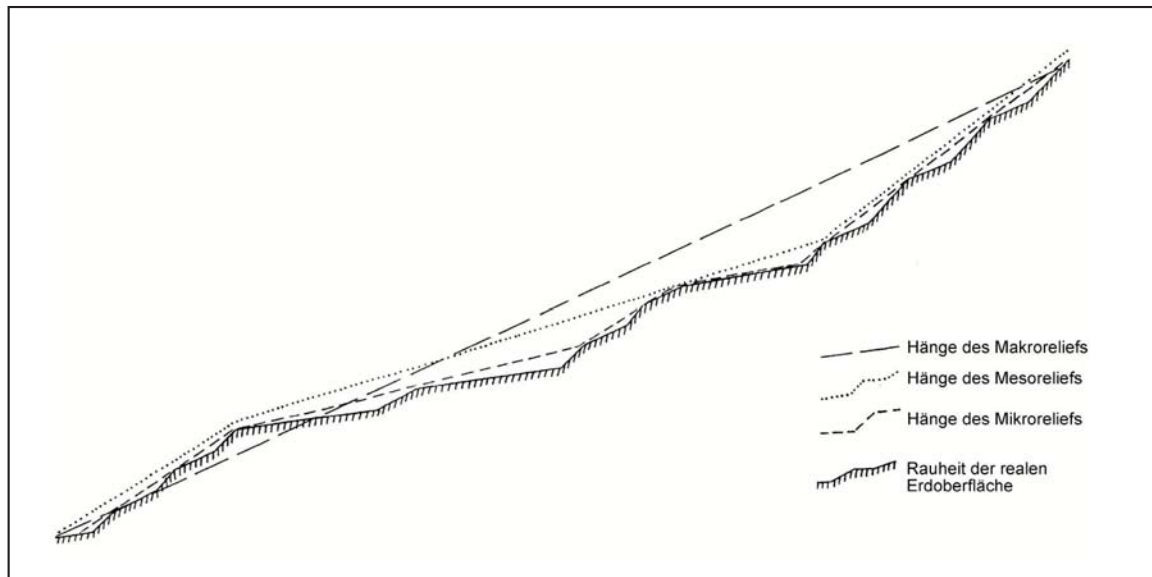


Abb. 6.2: Hänge verschiedener Ränge des Georeliefs auf einem Reliefprofil

## 6.2. Allgemeine morphologische Klassifikation des Georeliefs

Die Theorien über die Geomorphogenese und Morphostratigraphie des Georeliefs liefern fundierte und effektive Voraussetzungen auch für die morphologische Klassifikation seiner Elemente (Hänge). Diese Klassifikation sollte auf logischen Folgen der festgestellten Gesetze des Georeliefs basieren.

Im konträren Fall wird keine logisch begründete und richtige Klassifikation geschaffen, weil die Menge von Hängen in Gradationen der Neigungsstärke von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  formal kontinuierlich und unendlich groß ist. Man wird einfach gezwungen, den Hangarten nur die vereinbarten, nicht logisch begründeten geometrischen Parameter zu geben, z.B. die Neigungsstärke von  $0-2^\circ$ ;  $2-5^\circ$ ,  $5-10^\circ$ ,  $10-15^\circ$ ,  $15-20^\circ$  usw. Genauso wurden die morphologischen Klassifikationen des Georeliefs geschaffen (Beispiele dafür von KUGLER u.a., 1980; SPIRIDONOW, 1988; LESER, 1995; AHNERT, 1996; u.a.).

Von den Kenntnissen der Entstehung und Entwicklung der Hänge ausgehend, kann man eine besser begründete morphologische Klassifikation vorschlagen (Tab. 6.2). Erstens ist die Teilung der Neigungen der Hänge in 2 Gruppen möglich: die subhorizontalen Hänge (die **Ebenen** von  $0$  bis  $1,4^\circ$ ) und die geneigten Hänge (steiler als  $1,4^\circ$ ). Bei ersteren ist die Bewegung des Lockermaterials durch die alleinige Wirkung der Schwerkraft praktisch unmöglich. Bei zweiten verläuft diese Bewegung immer. Die Ebenen kann man auf zwei Gruppen teilen und zwar: Sedimentebenen und Disjunktivebenen; aber das ist keine morphologische, sondern eine genetische Einteilung. Die stark geneigten Hänge des Mikroreliefs kann man generell in zwei Gruppen teilen, und zwar die Hänge, welche steiler als  $45^\circ$  sind (steiler als die natürlichen Halden), und die Hänge, welche flacher als  $45^\circ$  sind. Von ersten läuft ständig die Abtragung des Gesteinstoffes (Sturzdenuation). Die zweite Gruppe kann man in 5 Klassen teilen, ausgehend von Art und Weise der Verschiebung der beweglichen Schicht unter Einwirkung der Schwerkraft.

Die Äußerung der Denudations- und Akkumulationsprozesse im Georeliefe wäre es richtiger entsprechend der Abfolge der Hangsteilheit zu analysieren, welche (Abfolge) von der denudativen Transformation (6 Gradationen der

Neigungsstärke) geschaffen wird (Kapitel 4), und nach dieser Abfolge (von Anfangsstadium bis zum Endstadium) sollte man die morphologische Klassifikation aufbauen. Das wäre geomorphologisch sehr effektiv. Insgesamt kann man z.B. im Mikoreliefs 7 Hangklassen absondern, und zwar:

1. Die **Ebene** ( $< 1,4^\circ$ ) bildet sich bei Akkumulation (Auflegen) oder entwickelt sich unter der Denudation von äußeren Treibmedien sowie unter der Suffosion und Verwitterung (Endstadium der Transformation) (die Bewirtschaftung der Hänge ist sehr mannigfaltig, Hackfruchtbau möglich, oft Grabenentwässerung notwendig).
2. Der **Flachhang** (von  $1,4$  – bis  $2,8^\circ$ ) ist das fünfte Stadium der denudativen Transformation und kann sich zusätzlich mittels äußerer Treibmedien sowie durch die Suffosion, Erdschwimmen und Verwitterung entwickeln; bei der Akkumulation kann er sich durch Auflegen und Aufrollen bilden (die Bewirtschaftung der Hänge ist sehr mannigfaltig, Hackfruchtbau möglich, stellenweise Grabenentwässerung notwendig).
3. Der **Neighang** (von  $2,8$  – bis  $5,6^\circ$ ) ist das vierte Stadium der denudativen Transformation und kann sich zusätzlich mittels äußerer Treibmedien sowie durch das Erdschwimmen und gravitative Erdfließen des tonig-schluffhaltigen Bodengrundes entwickeln; bei der Akkumulation kann er sich durch Auflegen, Aufrollen und Aufschleppen bilden (die Bewirtschaftung der Hänge ist mannigfaltig, Getreide Getreide und Ackerbau möglich, Dränung).
4. Der **Schiefgang** (von  $5,6$  – bis  $11,2^\circ$ ) ist das dritte Stadium der denudativen Transformation und kann sich außer durch äußere Treibmedien zusätzlich gravitativ durch die Solifluktion des tonig-steinigen Bodengrundes entwickeln; bei der Akkumulation kann er sich durch Auflegen, Aufrollen, Aufschleppen und Aufwerfen bilden (eine Bewirtschaftung der Hänge ist mit verschiedenen Maschinen möglich).
5. Der **Steilhang** (von  $11,25$  – bis  $22,5^\circ$ ) ist das zweite Stadium der denudativen Transformation und kann sich zusätzlich durch die Defluktion des tonig-steinigen Bodengrundes entwickeln; bei der Akkumulation kann er sich durch Aufschleppen und Aufwerfen bilden (eine Bewirtschaftung der Hänge ist mit Traktoren und Seilkränen möglich).
6. Der **Schusshang** (von  $22,5$  – bis  $45^\circ$ ) ist das erste Stadium der denudativen Transformation und kann sich zusätzlich durch die Deserption des steinigen Bodengrundes entwickeln; bei der Akkumulation kann er sich durch Aufschleppen, Aufwerfen und Aufschütten bilden (die Bewirtschaftungsmöglichkeit der Hänge ist gering).
7. Der **Übersteilhang** (von  $45$  – bis  $90^\circ$ ) ist das Ausgangsstadium der denudativen Transformation und kann sich zusätzlich durch die Sturzdenudation des felsigen Grundes entwickeln; bei der Akkumulation kann er sich durch chemisch-magmatisches Auflegen bilden (wirtschaftliche Nutzbarkeit ist sehr gering).

Ränge des Georeliefs				
Megarelief	Makrorelief	Mesorelief	Mikrorelief	Nanorelief
Maßstabsgröße der Darstellung				
kleiner 1 : 10 Mio.	1 : 5 Mio. 1 : 1 Mio.	1 : 500 000 bis 1 : 100 000	1 : 50 000 bis 1 : 1000	1 : 500 und größer
Absolute Lage		Taxone morphologischer Klassen		
Hochgebirge, > 1000 m			Übersteilhang ( $90 - 45^\circ$ )	Rauheitshänge verschiedener Neigungsstärke
		Abhänge ( $> 22,5^\circ$ )	Schusshang ( $< 45 - 22,5^\circ$ )	
Mittelgebirge, < 1000 - 300 m	Steilung $> 11,2^\circ$		Steilhang ( $< 22,5 - 11,25^\circ$ )	
Schelfebenen, < 200 --- 300 m		Hänge ( $< 22,5 - 5,6^\circ$ )	Schiefgang ( $< 11,25 - 5,6^\circ$ )	
Ozeanrücken (bis 0 m und höher)			Neighang ( $< 5,6 - 2,8^\circ$ )	
Tiefseeböden ( $< -2000$ --- $6000$ m)	Abdachung ( $> 1,4 - 11,2^\circ$ )	Gefälle ( $< 5,6 - 1,4^\circ$ )	Flachhang ( $< 2,8 - 1,4^\circ$ )	
Tiefseeegräben ( $< - 6000$ m)	Ebene ( $< 1,4^\circ$ )	Ebene ( $< 1,4 - 0^\circ$ )	Ebene ( $< 1,4 - 0^\circ$ )	

Tabelle 6.2. Morphologische Klassifikation des Georeliefs (Klassen, Rang, Höhenlage, Steilheit und Maßstab)

In aquatischen Seebedingungen haben diese Hangklassen genau solche quantitative Parameter, dabei können geologische Prozesse auf diesen Hängen sogar intensiver ablaufen, weil die Wirkung der Schwerkraft und der Druck des Mediums sowie seine Gradienten hier stärker sind als auf dem Festland, und die Verbindung zwischen den Teilchen wegen des reichen Wassergehaltes in Sedimenten viel schwächer ist.

Passt so eine Klassifikation zu den größeren Reliefrängen? Sicher nicht. Jeder größere Rang der Hänge ist eine Generalisierung der realen Erdoberfläche entsprechend dem Maßstab ihrer Darstellung auf den Karten. Bei der zunehmenden Generalisierung „verschwinden“ einfach die meisten steilen Hänge. Jeder Hang, der in einem kleineren Maßstab ausgeschieden wird, hat immer eine geringere Steilheit als einige seine Bestandteile, welche bei den größeren Maßstäben der Darstellung visualisiert werden (Abb. 6.2), wobei die konkordanten Hänge bei größerem Darstellungs- und Untersuchungsmaßstab teilweise in die diskordanten Hänge zerfallen können und diese teilweise wieder in konkordante (Abb. 6.3). So sind z.B. die Hänge des Hochgebirges als Makrorelief konkordant (d. h. sie sind der Struktur der Erdkruste konkordant); die Hänge der Einschnitte in dieses Gebirge (Mesohänge) sind diskordant (disjunktiv); die Mikrohänge der lockeren Hangdecke (Lockermaterial), die diese Mesohänge überdeckt, sind oft wieder konkordant (sedimentativ); die Rauheit der Steinblöcke, die diese Hangdecke zusammensetzen, ist üblicherweise wiederum diskordant.

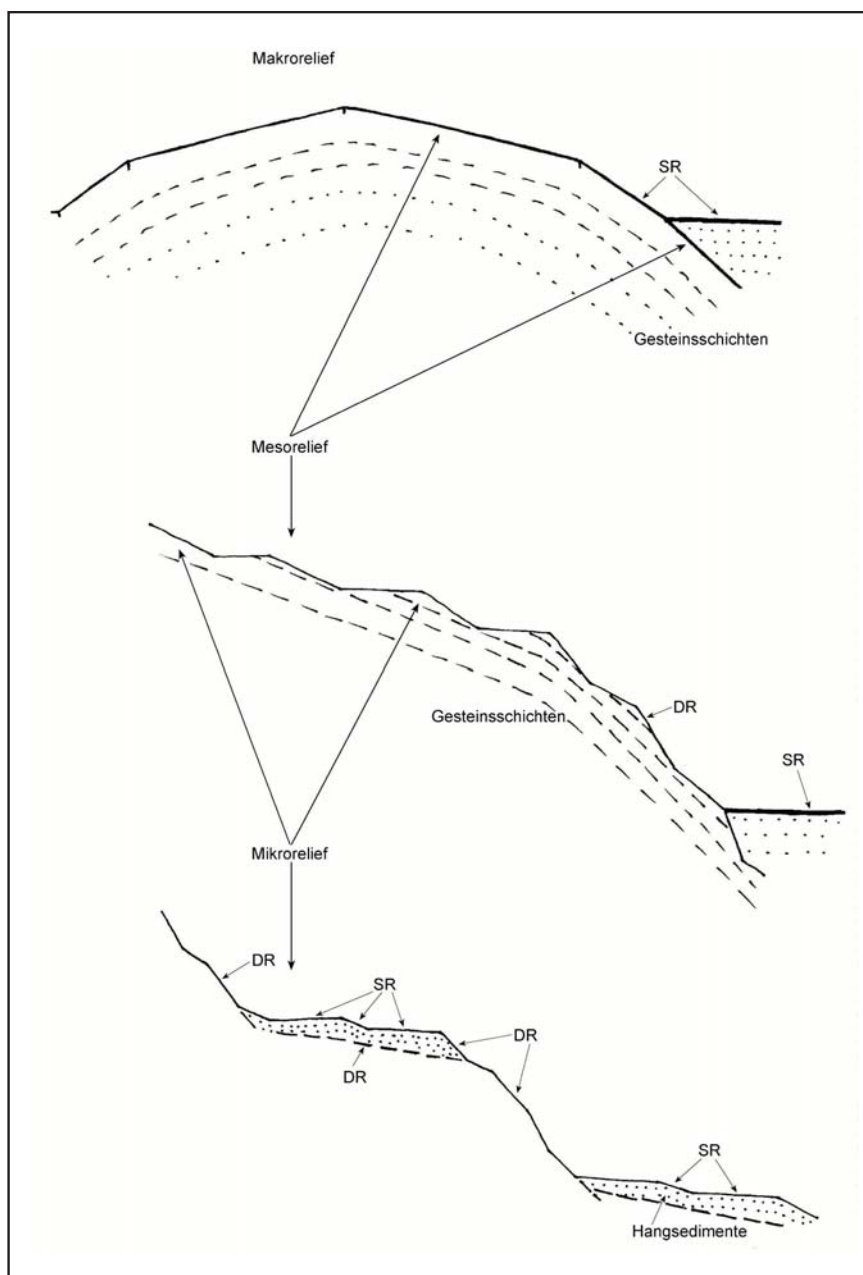


Abb. 6.3: Mögliche Änderungen des Status von Hängen verschiedenen Rangs des Georeliefs

Je größer der Maßstab einer Karte ist, desto mehr steilere und schmalere Hänge kann man darstellen. Deswegen können die Mikroreliefhänge stellenweise sogar fast vertikal sein. Die Mesoreliefhänge dagegen erreichen höchstens etwa über  $30^\circ$ , die Makroreliefhänge können kaum steiler als  $15^\circ$  sein, und die Hänge des Megareliefs sind nicht steiler als  $2-3^\circ$ . Dabei kann die Neigungsstärke der Meso- und Makrohänge nur ungefähr bestimmt werden. Es wäre richtiger, die Neigungsstärken dieser Hänge als vereinbarte Größen anzunehmen und zu visualisieren, die eindeutig zeigen könnten, welcher Hang steiler oder flacher ist. Für die Ermittlung der Struktur des Mesoreliefs reicht so eine Genauigkeit ganz sicher aus, für die exakte Bestimmung einiger anderer seiner Eigenschaften aber nicht. Deswegen ist es offensichtlich, dass **die obige detaillierte morphologische Gliederung zum Meso- und Makrorelief nicht anwendbar ist**. Für jede Hangklasse dieses Ranges sind eigene Bezeichnungen und bestimmte morphologische Parameter notwendig (Tab. 6.2). Die Mesohänge werden also in 4 Klassen eingeteilt. Die steilen „**Abhänge**“ ( $>22,5^\circ$ ) entsprechen den Ausgangsstadien der Transformation des DR oder seinen großen Diskordanzen. Auf mittelmaßstäbigen topographischen Karten werden sie üblicherweise durch die Signatur „Abbruch“ oder „Wand“ bezeichnet. Die „**Hänge**“ (von  $22,5 - bis 5,6^\circ$ ) stellen Etappen der intensiven tektonischen Hebungen der Erdkruste und Erosion (Gürtel der Einschnitte) dar; die „**Gefälle**“ (von  $5,6 - bis 1,4^\circ$ ) manifestieren die schwachen tektonischen Hebungen und die intensive und langfristige denudative Transformation des Georeliefs (Gürtel der Verebnung, Rumpfflächen). Die „**Ebenen**“ ( $<1,4^\circ$ ) des Mesoreliefs sind üblicherweise die Sedimentationsebenen.

Die Makrohänge kann man nur in drei Klassen einteilen: 1. die „**Ebenen**“, welche die Bereiche der Sedimentation oder die Pediplains darstellen; 2. die „**Abdachungen**“, die plikativen, gewölbartigen Deformationen (Hebungen) der Erdkruste („große Faltungen“ nach PENCK, 1961); 3. die „**Steigungen**“, welche die großen disjunktiven Zerreißungen (Abbrüche) der Erdkruste manifestieren. Soweit der geometrisch-geomorphologische Bezug dieser Klassifikation.

Es gibt keinen Sinn, im Megarelief Hänge abzugliedern. Auf den Karten im Maßstab 1:10 Mio. und kleiner kann man die homogenen Flächen auf Basis der Isohypsen auch auszeichnen, aber diese Flächen sind keine Hänge, sondern durch Krümmung der Erde gebogene komplizierte Flächenbereiche. Deswegen ist es richtiger, das Megarelief durch die Höhenlage seiner Teile im Verhältnis zu einem Niveau (Meeresspiegel) zu klassifizieren (Tab. 6.2). Das ist geologisch und geomorphologisch zweckmäßig.

Die „**Hochgebirge**“ (einschließlich die Inselbogen) haben die größte Mächtigkeit der Erdkruste und heben sich am schnellsten (sie sind auch das Anfangsstadium der Bildung der Erdkruste vom kontinentalen Typ). Die Hochgebirge und ihre Höhenlage sind konkordant zu den Unebenheiten der Erdkruste. Je mächtiger die Erdkruste ist, desto höher sind üblicherweise die Hochgebirge (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976).

Die „**Mittelgebirge**“ sind meistens zur Struktur der kontinentalen Erdkruste diskordant und stellen das zweite Stadium der Entwicklung von Erdkruste dar. Für dieses Stadium sind die zeitweisen Aktivphasen der Hebung charakteristisch. Die Erdkruste hat hier eine relativ geringe Mächtigkeit, ist von Granitintrusionen durchzogen („gesättigt“) und hat die Entwicklungstendenz zum denudativen „Abschneiden“. Dabei verkleinern sich die absoluten Höhen der Mittelgebirge.

Die „**Schelfebenen**“ können sedimentativ oder disjunktiv sein und bestehen aus kontinentaler Erdkruste von relativ sehr geringer Mächtigkeit oder aus ozeanischer Erdkruste von relativ sehr großer Mächtigkeit. Die Schelfebenen werden den tektonischen Senkungen oder epeirogenetischen Schwankungsbewegungen mit kleinen Amplituden unterworfen und können entsprechend ihrem geologischen Aufbau entweder als Endstadium der Entwicklung der kontinentalen Erdkruste, oder als Endstadium der Entwicklung der ozeanischen Erdkruste betrachtet werden.

Die „**mittelozeanischen Rücken**“ sind das Anfangsstadium der Entwicklung der ozeanischen Erdkruste und das Ergebnis von Vulkanismus, tektonischen Hebungen und Verschiebungen. Die „**Tiefseeböden**“ entsprechen dem zweiten Stadium der Entwicklung der ozeanischen Erdkruste als Folge langsamer tektonischer Senkungen. Sie sind von mächtigen Seesedimenten bedeckt. Die „**Tiefseegräben**“ stellen die Abschnitte der schnellsten Senkung ozeanischer Erdkruste im Bereich des Kontaktes mit den kontinentalen Megaformen dar.

Alle Einheiten des Megareliefs sind von mir nicht zufällig als „gemischte“ geologisch-geomorphologische Begriffe bezeichnet, weil die Absonderung und die Äußerung dieser Einheiten vor allem durch die globalen geologisch-geophysikalischen Strukturen bedingt werden (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976).

### 6.3. Allgemeine genetische Klassifikation des Mikroreliefs

Es wurden viele genetische Klassifikationen der Reliefformen vorgeschlagen, aber die Geomorphologen sind noch nicht einig, welche der Klassifikationen repräsentativ ist. Als ein interessantes Beispiel der genetischen Klassifikation gilt die Klassifikation von E.A. SCHANZER (1966). „Die Grundlage der logisch aufgebauten genetischen Klassifi-

kation sollte die Gruppierung der dynamischen Formen genetisch unterschiedlicher Sedimentationstypen sein, und zwar entsprechend ihrer Lage in dem allgemeinen System der Glyptogenese (Geomorphogenese)“ (SCHANZER, 1966, S. 52). Diese Lage wird durch die Abfolge des Transports des Lockermaterials von Abtragungs- zu den Sedimentationsbereichen bestimmt. Kompliziertheit, Ungleichmäßigkeit und Vielfalt dieses Transportweges bedingen die genetische Vielfalt der Sedimenthänge und ihre paragenetischen Reihen. Am Anfang dieses Transportweges bildet sich die „eluviale paragenetische Sedimentreihe, dann die Hangsedimente, danach die Reihen aus fluvialen, glazigenen und äolischen Sedimenten, sowie unterirdischen fluvialen Sedimenten und schließlich die Reihe von Meeressedimenten (SCHANZER, 1966, 1980, Tab. 1.1). Man gibt zu, dass sich innerhalb dieser Reihen die marginalen Sedimentklassen nach ihrer Stoffzusammensetzung sehr drastisch voneinander unterscheiden. Aber es wird gemeint, dass diese Sedimente eine ähnliche Lage im Georelief haben, somit muss man sie als denselben genetischen Typ bezeichnen (SCHANZER, 1980). So ein Ansatz ist ungenügend effektiv (BUTWIŁOWSKI, 1995) und muss verbessert werden.

**Ein neuer Ansatz sollte erstens, die Kinematik und Dynamik der Entstehung des Sedimentationsreliefs** (Arten der Akkumulation, Morphologie der Hänge und Reliefformen, Sedimenttexturen) **einbeziehen und zweitens, die Faktoren und Treibmedien der Entstehung des SR sowie die räumliche Einordnung der genetisch unterschiedlichen Reliefkomplexe beachten.** Im Kapitel 4. wurden Akkumulationsprozesse, Morphologie der Reliefkomplexe und Texturen ihrer Sedimente bereits charakterisiert. Dabei wurde festgestellt, dass die Arten von Akkumulationsprozessen eine gesetzmäßige kinematische und morphologische Reihe bilden, die von den physikalischen Eigenschaften und von der Dynamik des transportierten Stoffes bedingt wird. Sie bestimmen die 5 möglichen Gruppen genetischer Klassen (Tab. 6.3). Diese Kenntnisse sind das „Fundament“ der genetischen Klassifikation des SR sowie eine Grundlage für die Klassifizierung der Denudationsprozesse.

Allgemein werden 3 Typen von Treibmedien unterschieden: die fest-plastischen, die flüssigen und die gasförmigen Treibmedien (**glazial, fluvial, äolisch**). Diese Treibmedien bedecken das Georelief in bestimmten Reihenfolgen. Es werden vor allem die Festländer und die Seen bzw. Ozeane (die **subaerischen** und **subaquatischen** Bedingungen) unterschieden. Von oben nach unten oder von den Polen bis zum Äquator geschehen gesetzmäßige Änderungen von Eigenschaften des Wassers, das die Hauptkomponente ist, welche viele physikalische Eigenschaften und Dynamik der Transportmedien bestimmt. Auf dem Festland, „von oben nach unten“ wechselt das Wasser seinen Zustand (Eis, Wasser, Wasserdampf) sowie die durchschnittliche Geschwindigkeit der Bewegung (Geschwindigkeit der Gletscher ist etwa 50-500 m/Jahr; des Wassers - 1-3 m/s; des Windes - 10-30 m/s). Ihre Transportfähigkeit ändert sich umgekehrt: die Gletscher sind fähig die riesigen Steinblöcke bis 10 - 50 m Größe zu transportieren, die Flüsse - Steinblöcke bis 1- 5 m; der Wind – meistens nur Sand. **Die Treibmedien und die Bedingungen, welche die Akkumulations- und Denudationsprozesse bestimmen, sind also geographisch geordnet** (zonal) (Abb. 6.4).

Wie schon erwähnt, wird auf dem Festland deutlich zwischen glazialen und äolischen Zonen der Geomorphogenese unterschieden. Innerhalb jeder von ihnen kann man zusätzlich physikalische Abarten ausweisen („warme“ Gletscher und „kalte“ Gletscher; „heiße“ Wüsten, „kalte“ Wüsten, Sandwüsten, Felswüsten). Ihre Unterschiede sind aber nicht so groß, um wesentlich Gestalt und Zusammensetzung der Sedimente zu ändern. Die Bedingungen der Wirkung des fluvialen Mediums sind aber viel komplizierter und haben wesentliche Auswirkung auf die Gestalt der Sedimente. Hier werden ihre zwei Haupttypen abgeordnet: 1. subaerische Bedingungen (sauerstoffreiche fließende Gewässer, **Oxidationsbedingungen**); 2. subaquatische Bedingungen (stagnierende Gewässer, **Reduktionsbedingungen**).

Die beiden Typen kann man in 5 Arten landschaftsklimatischer Bedingungen einteilen. In Zusammenhang mit Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnissen werden entsprechend der Zunahme der Wärme folgende Naturbedingungen (Zonen) ausgeschieden:

1. die kalte humide periglaziale Zone mit Anwesenheit von Permafrostböden, Schneeflecken, Tundra- und Waldtundralandschaften;
2. die gemäßigt-humide (boreale) Zone mit Saisonfrostbedingungen, Wäldern und Mooren oder Wäldern und Wiesen;
3. die gemäßigt-semiaride Zone mit Saisonfrostbedingungen, Steppen, Waldsteppen und Halbwüsten;
4. die warm-semiaride Zone mit subtropischen Steppen-Savannen und Wüsten;
5. die warm-humide Zone mit tropischen Wäldern und Mooren.

Diese Arten soll man bei dem Aufbau der allgemeinen genetischen Klassifikation der Reliefkomplexe und der Klassifikation geologischer Prozesse beachten; die Beschreibung konkreter Sedimentmerkmale und Reliefkomplexe verschiedener Zonen ist (wegen des großen Umfangs dieser Beschreibung) besser in speziellen Anlagen anzugeben.

Viele Treibmedien und Bedingungen von Transport und Sedimentation sind also gesetzmäßig mit dem Georelief verbunden und wechseln untereinander auch gesetzmäßig. **In den Hochgebirgen und im Bereich der Polarbreiten wirkt überwiegend das glaziale Treibmedium, in niedriger liegenden Regionen und näher zum Äquator wirkt überwiegend das fluviatile Medium und noch niedriger, an Seeküsten, und in Wüsten - das äolische Medium. Diese räumliche Reihenfolge kann nicht gebrochen werden.** Unterhalb (oder „südlicher“) des glazialen Mediums wirkt zuerst immer das fluviatile Medium und nur noch niedriger kann sich im Georelief die Wirkung des äolischen Mediums realisieren. Es ist nie der Fall, dass auf dem Festland oberhalb des glazialen Mediums das fluviatile Medium wirkt, oder sich warme Bedingungen höher und „nördlicher“ als die kalten befinden.

Allgemein werden die Sedimente des Festlandes zu etwa 99% aus klastischen „Mischungen“ gebildet, überwiegend von Sand-Schluff-Geröll-Mischungen. Die Meeressedimente dagegen sind sehr mannigfaltig: klastische, chemogene und biogene Sedimente sowie ihre Abarten (Ton, Sand, Geröll, Salze, Kalkstein, Dolomit, Diatomit usw.). Es wird die Usance übernommen, die Gruppen von Sedimenten und ihre Reliefkomplexe als „genetische Typen“ zu bezeichnen (SCHANZER, 1980). Das ist notwendig. Man muss aber die Definitionen von E. SCHANZER (1980) präzisieren. Eine **genetische Art** (ein Typ) **ist das textur-stoffliche und morphologische Gebilde durch ein bestimmtes Verfahren der Sediment- und Reliefentstehung unter bestimmten chemisch-physikalischen Bedingungen eines Treibmediums.** Die genetische Gruppe (Klasse) ist die Gesamtheit der genetischen Arten, die unter den Bedingungen eines Treibmediums geschaffen wurden (z. B. glaziale Gruppe, fluviatile Gruppe usw.).

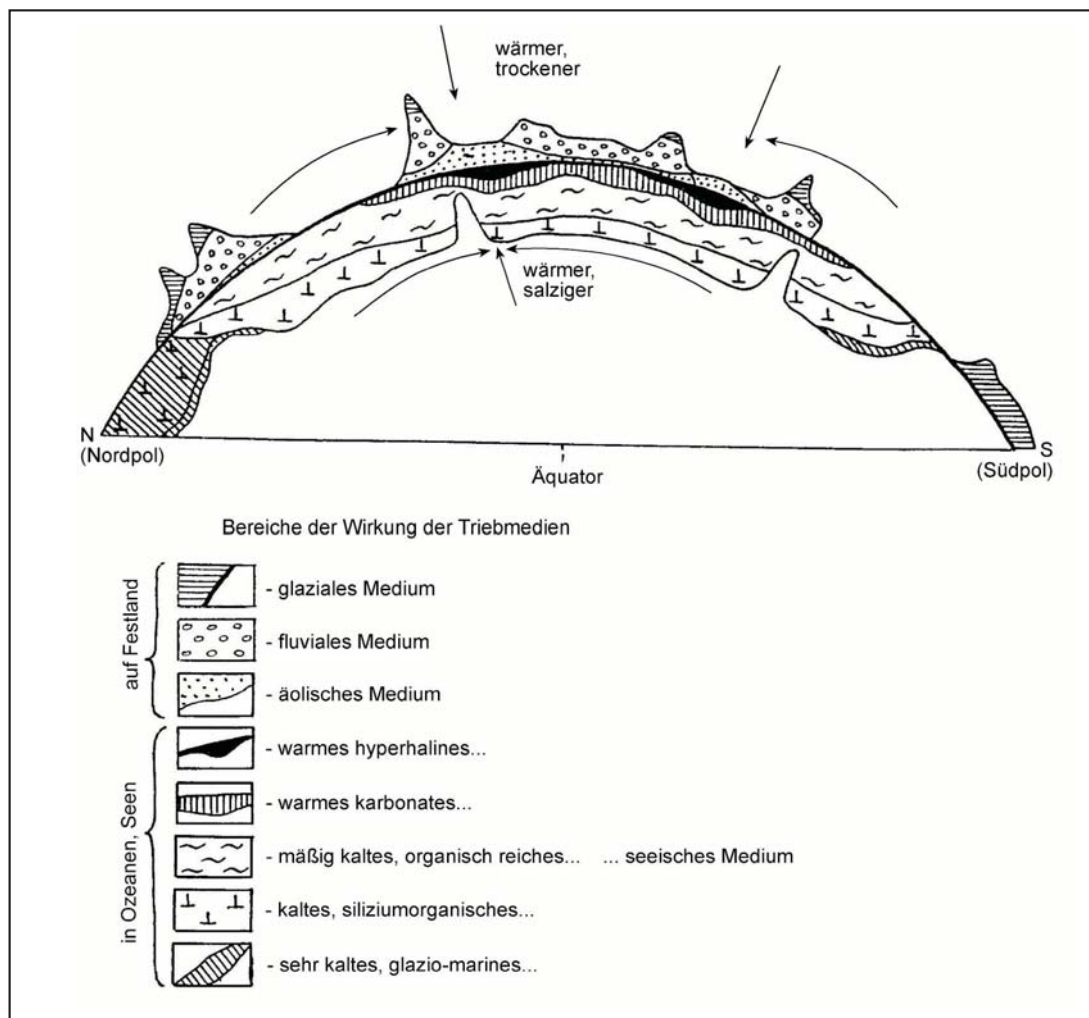


Abb. 6.4: Schema der physisch-geographischen Zonalität der Treibmedien auf der Erdoberfläche

Aus obigen Erkenntnissen wird klar, wie man eine genetische Klassifikation aufbauen und einordnen kann. Erstens, **man sollte die Reliefseinheiten nach 5 Verfahren ihrer Entstehung und 5 ihrer morphologischen Typen unterteilen.** Diese Typen sind für alle Treibmedien gleich, aber die Struktur (Korngröße) ihrer Sedimente, die Reliefrauheit und das Ausmaß der Reliefkomplexe können dabei sehr unterschiedlich sein, obwohl die Sedimenttexturen (z. B. Schichtung) innerhalb eines Typs ähnlich sind. Deswegen braucht man noch ein Merkmal (Kriterium für die Klassifizierung), das die in Form und Textur ähnlichen Reliefkomplexe voneinander trennen lässt. **Solch ein**

**Merkmal ist der Typ des Treibmediums, der, wie bekannt ist, den Reliefkomplexen und Sedimenten besondere Eigenschaften verleiht und immer einen bestimmten Platz in der räumlichen Abfolge der Treibmedien hat**, was zulässt, die Reliefkomplexe als Paragenesen miteinander zu verbinden und ihre fehlenden Glieder bei paläogeographischen Rekonstruktionen zu ermitteln. Die Haupttypen der Treibmedien sind die glazialen, fluvialen, äolischen und seeischen (aquatischen) Treibmedien. **Deswegen gibt es prinzipiell 20** (5x4) genetische Hauptarten der sedimentativen Reliefkomplexe (Tab. 6.3). So eine Klassifikation kann als die Grundlage für die geomorphologische Kartierung und für die Zusammenstellung der Legenden für geomorphologische Karten dienen. Für die genetischen Arten von Reliefkomplexen wurden bestimmte, in der Fachliteratur ausgesuchte, aus meiner Sicht passende Namen vorgeschlagen. Vielleicht sind nicht alle „gut“ und sollten korrigiert werden. Diese Probleme muss man gemeinsam lösen, die Erfahrungen anderer Wissenschaften (z.B. Chemie, IUPAC-Regel) nutzend.

Arten von Prozessen der Akkumulation					Treibmedien und Faktoren der Georeliefentstehung
Aufschleppen	Aufwerfen	Aufrollen	Auflegen	Aufschütten	
Morphologie der Hänge und Reliefkomplexe					
Schleppungswälle mit Hängen bis 45° geneigt	Asymmetrische Querwälle mit Hängen bis 45° geneigt	Längswälle mit Hängen bis 22° geneigt	Ebenen und flache Hänge bis 11° geneigt	Kegel, Halbkegel mit Hängen bis 45° geneigt	
Texturen der Sedimente					
geschichtete inverse Gradierung	entgegen geneigte Schrägschichtung	Flach geneigte geschichtete Gradierung	Subhorizontale Schichtung oder massive Textur	Diagonalschichtung nach Haldenwinkel	<b>Geographisch zonale exogene Treibmedien</b> mit Varietäten
genetische Arten und Varietäten der Reliefkomplexe					
<b>Schuppmoräne</b>	Rogenmoräne <b>Rippenmoräne</b>	Drumlin <b>Flutingmoräne</b>	Toteismoräne <b>Grundmoräne</b>	Esker <b>Schüttendmoräne</b>	- ablatione <b>glazial</b> -
<b>Schollenwall</b>	<b>Riffeldüne</b>	Sandernehrung <b>Nehrung</b>  Wadinehrung	Sander <b>Auenterrasse</b>  Takyr	Sanderdelta <b>Delta</b>  Wadidelta	- fluvioglazial, periglazial <b>fluvial</b> - humid boreal, humid tropisch - semiarid, arid
<b>Schleppdüne</b>	Bogendüne <b>Barchan</b>	<b>Längsdüne</b>	<b>Lößdecke</b>	<b>Sterndüne</b>	- periglazial, - humid <b>äolisch</b> – arid, semiarid
<b>Schollennehrung</b> Trübungsschleppe	<b>Seeriffel</b>	<b>Brandungswall</b>	<b>Seeebene</b>	<b>Seehalde</b>	- limnoglazial <b>lakustrisch</b> – boreal, tropisch, arid <b>marin</b> - polar, boreal, tropisch
					<b>Azonale Faktoren, exogene</b>
<b>Schiebewall</b>	?	?	Biodecke, Biohern <b>Technodecke,</b> <b>Bau</b>	Bioschütt <b>Bauhalde</b>	<b>biotisch</b> - organogen - technogen
Bergsturz <b>Schlagwall</b>	?	?	<b>Sturzdecke</b>	<b>Schlaghalde</b>	<b>impaktes</b> – lawinenartig, bergsturzartig - meteoritenartig
					<b>Endogene Faktoren der Georeliefentstehung</b>
Blockgletscher Salzgletscher <b>Rutschung</b>	?	?	Jedoma Salzdecke <b>Schuttdecke</b>	Kurumhalde Salzhalde <b>Schütthalde</b>	- kryolithogen <b>gravitativ</b> - lithohalogen - lithogen
Ölschlammstrom ? <b>Lavaström</b>	?	?	Bitumen- schlammdecke Travertindecke <b>Lavadecke</b>	Salsen Geisir <b>Lavakegel</b>	- ölschlammig <b>effusiv</b> - hydrothermal - vulkanisch
<b>Ignimbritström</b>			<b>Aschendecke</b>	<b>Schlackkegel</b>	<b>explosiv</b> - ?

Tabelle 6.3: Genetische Klassifikation des Sedimentationsreliefs (Mikrorelief)



Diese Klassifikationen ergänzen die Reliefkomplexe anderer Genesis. Man kann sie als azonale Reliefkomplexe bezeichnen. **Die Entstehung dieser Reliefseinheiten bestimmen besondere Zustände und Eigenschaften von erdinneren Stoffen** (endogene) **und besondere Erscheinungen der äußeren Umwelt** (exogene). Z.B. vulkanische Akkumulationsprozesse wirken nur in Bereichen eines besonderen Zustandes der Erdkruste. Diese Bereiche sind auf der Erde nur lokal verbreitet und dabei unabhängig von einer geographischen Zonalität anderer Treibmedien. Die zonalen geographischen Bedingungen können zwar einen Einfluss auf den Vulkanismus haben, sie bestimmen diesen aber nicht. Auch alle tektonischen Hebungen oder Senkungen sind azonal und bilden das DR zuerst unabhängig von der Zonalität der äußeren Treibmedien. Die Entstehung des DR läuft unabhängig von äußeren Treibmedien ab, seine Transformation und Entwicklung steht aber unter der Wirkung der zonalen äußeren Treibmedien. Die geologisch-geomorphologische Daten zeugen davon, dass die azonalen Akkumulationsprozesse und azonalen Denudationsprozesse durch die Bewegung des Stoffes der Erdkruste in Richtung der Schwerkraft oder entgegen dieser ablaufen. Dadurch entstehen zwei Gruppen von Sedimentationsrelief: **endogene** und **exogene**. Die endogenen Reliefkomplexe werden in folgende Klassen aufgeteilt:

1. **Gravitative** Sedimenthänge entstehen bei der Bewegung der Gesteinsteilchen oder der fest-plastischen Massen nach unten oder nach oben unter Wirkung der Schwerkraft. Die Bewegungen laufen üblicherweise an steilen Hängen bei verschiedenen äußeren Bedingungen ab und schaffen Sedimenthänge durch Aufschleppen (**Rutschungen**), Aufschütten (**Schütthalden**) und durch das vertikale Auflegen (**Schuttdecken**). Die gravitativen Denudationsprozesse äußern sich unter diesen Bedingungen in Form von verschiedenen Verschiebungsarten der beweglichen Schicht (Deserption, Defluktion, Solifluktion usw.) (Kapitel 4), von Dekompaktion (Verwitterung) sowie von Korrosion, Korrasion und Sturzdenudation. Bei der Sturzdenudation der großen Gesteinsblöcke (Bergstürze) können in der Struktur des DR lokale Diskordanzen entstehen, die im Laufe der Entwicklung des DR von anderen Denudationsprozessen beseitigt werden. Die Besonderheiten der stofflichen Zusammensetzung und ihrer physikalischen Eigenschaften lassen drei Unterklassen des gravitativen SR ausscheiden, und zwar: **lithogenes, kryolithogenes und lithohalogenes SR**.

2. **Effusive Sedimenthänge** entstehen bei der Bewegung der flüssigen Schmelzmassen der Gesteine nach unten oder nach oben durch die gemeinsame Wirkung von Temperatur, Druck und Schwerkraft. Solche Massenbewegungen in der Lithosphäre sind mit dem Zustandswechsel der Stoffe (Volumina, Dichte, Viskosität, innerer Druck) in Bereichen von Druckminderung und Temperaturerhöhung verbunden. Entsprechend der Zusammensetzung von Schmelzmassen kann man eine gesetzmäßige stofflich-energetische Reihe zusammenstellen: **öl-schlammige, hydrothermale, vulkanische** (effusive) **Schmelzen**. Die öl-schlammigen Reliefkomplexe des SR beinhalten **Schlammvulkane** (Salsen), **bitumen-schlammige Decken** u.a. Die hydrothermalen Reliefkomplexe stellen **Geyshire** und **Travertine** dar. Die vulkanischen Reliefkomplexe umfassen **Schildvulkane** (Lavakegel), **Lavadecken**, **Lavaströme** u.a. Die Bewegungen der Schmelzmassen laufen im Erdinneren und auch auf der Erdoberfläche ab und schaffen Sedimenthänge durch das Aufschleppen (Lavabrockenfelder), Aufschütten-Zerfließen (Lavakegel, Lavakaskaden) und durch das Auflegen (Lavadecken). Die disjunktiven Prozesse äußern sich beim Vulkanismus in Form von verschiedenen Zerreißen und Verschiebungen der Gesteine (Abschiebungen, Aufschiebungen u.a.). Sie können auch von Denudationsprozessen begleitet werden (Korrasion, Kavitation u.a.).

3. **Explosive** Hänge entstehen bei der Bewegung der gas-klastischen Mischungsmassen nach unten oder nach oben durch Wirkung der Schwerkraft und des Gasdruckes. Solche Bewegungen sind auch mit physikalischen Änderungen der Stoffe verbunden, wobei diese Änderungen so extrem schnell sind, dass dabei Explosionen der Gesteine entstehen und diese sich in gas-klastische Mischungen umwandeln, welche eine gewaltige Geschwindigkeit haben können. Die Bewegung entsteht im Erdinneren, dringt rasch in die Atmosphäre oder Hydrosphäre vor, läuft die Hänge der Erdoberfläche hinab und schafft Sedimenthänge durch das Aufschleppen (**Ignimbritströme**), Aufschütten (**Schlackegel**) und Auflegen (**Aschendecken**). Die disjunktiven Prozesse äußern sich bei Explosionen in Form von verschiedenen Zerreißen und Verschiebungen der Gesteine und werden dabei von Denudationsprozessen begleitet (Korrasion, Kavitation u.a.).

Die exogenen Sedimenthänge werden in folgende Klassen eingeteilt:

1. **Impakt-Hänge** entstehen bei gewaltigen Aufschlägen kosmischer und irdischer Körper auf die Erdkruste. Diese Einschläge verschieben die Gesteinsmassen und schaffen ein eigenartiges Georelief. Die Einwirkung kann dabei so schnell und mächtig sein, dass sie Schmelzen und Explosionen der Gesteine sowie ihre Umwandlung in gas-klastische Mischungen verursachen kann, die gewaltige Bewegungsgeschwindigkeiten haben. Diese Einschläge bilden Sedimenthänge durch Ausschleppen (**Schlagwälle**), Aufschütten (**Schlaghalden**) und Auflegen (**Sturzdecken**). Die disjunktiven Prozesse äußern sich dabei in Form der Zerreißen und Verschiebungen der Gesteine und werden von verschiedenen Denudationsprozessen (Korrosion, Korrasion, Kavitation u.a.) begleitet. Man kann folgende Unterklassen von den schlagartig entstandenen Reliefseinheiten ausscheiden: Lawinen- (Bergstürze, Lawinen) und **Meteoriten-Reliefkomplexe**.

2. **Biogene** Hänge entstehen durch die Lebenstätigkeit von Organismen und Menschen. Etliche Organismen sind in der Lage, sedimentative Reliefkomplexe (Ameisenhaufen, Torflager, Termitenhaufen, Dämme, Halden u.a.) zu bilden. Auf dem Festland sind sie üblicherweise nicht groß, aber sie existieren und sollten kartiert werden. Diese Reliefkomplexe entstehen durch Aufschütten, Auflegen, Aufschleppen. Eine besondere Unterklasse des biogenen azonalen Mikro- und sogar des Mesoreliefs ist bereits durch die menschliche Tätigkeit entstanden. Der Mensch ist fähig, die Treibmedien, neue Stoffe und die Hänge des SR und DR (**Halden, Gebäude, Tagebau** u.a.) durch Aufschütten, Auflegen oder Aufschleppen zu bilden. Die biogenen Denudationsprozesse äußern sich in Form von Korrosion, Korrasion, Kollision, Evorsion und Kavitation.

Man darf nicht vergessen, dass 2/3 der Erdoberfläche von Ozeanwasser bedeckt ist und ein unterseeisches Georelief von verschiedenen Rängen hat, welches auch Gegenstand der Geomorphologie sein sollte. Im Vergleich zu dem Festland gibt es weniger Informationen über das unterseeische Georelief, aber diese Daten lassen sich zu ähnlicher Klassifikation verallgemeinern (Tab. 6.3). Im Verhältnis zum Festland sind die Seen und das Meer azonal, aber in sich schließen sie auch eine zonale Abfolge von Naturbedingungen ab und bilden ein besonderes (marines) Medium für die Bildung der Sedimente und des Georeliefs. Dieses Treibmedium ist vom Festland durch die Gezeiten und Brandungszone abgesondert, die man auch als eine besondere Zone betrachten kann. Es gibt aber noch zu wenige Daten, um Kriterien für die Einteilung der Reliefkomplexe der Brandungszone (Schelf) und der tiefseeischen Zone aufzustellen (besonders für die alten Sedimente). Deswegen werden diese Zonen noch nicht voneinander unterschieden, sondern als eine unterseeische Zone betrachtet. Man muss aber anmerken, dass auch im marinen Medium eine gesetzmäßige Abfolge der Naturbedingungen existiert und zwar: von unten nach oben und von den Polen zum Äquator werden die **kryo-aquatischen** Bedingungen von **aquatischen** Bedingungen und dann von **thermohalin-aquatischen** Bedingungen abgelöst (Abb. 6.4), in denen alle 5 Verfahren der Relief- und Sedimentbildung realisiert werden können. Es werden hier auch azonale Reliefkomplexe gebildet, die den azonalen Reliefkomplexen des Festlandes ähnlich sind: gravitative, effusive, explosive, impakte und biogene Gebilde. Das unterseeische Georelief besteht auch aus DR und SR, wobei das SR hier überwiegend verbreitet ist.

Die obige Klassifikation (Tab. 6.3) wurde deduktiv nach geomorphologischen Gesetzmäßigkeiten aufgebaut und enthält noch leere Stellen (mit Fragezeichen markiert). Für diese Stellen sind noch passende Reliefarten zu entdecken, vielleicht auf anderen Planeten. Diese Klassifikation wird ausreichend von empirischen Daten bestätigt, aber ihre Verwendung für die alten (paläozoischen, proterozoischen) Sedimente und alten geologischen Prozesse weist einige Schwierigkeiten auf. Das gilt vor allem für die Einschätzung der alten physisch-geographischen Bedingungen, weil viele primäre Sedimenteigenschaften wegen nachfolgender Kompaktion, Deformation und Metamorphismus geändert wurden. Deswegen muss man die Kriterien für die genetische Diagnostik der alten Sedimente im Rahmen dieser Klassifikation noch genauer bestimmen sowie den Verwendungsbereich dieser Klassifikation und ihre Genauigkeit. Auch eine ausführliche Beschreibung aller Reliefarten ist notwendig, aber das ist eine Aufgabe für ein spezielles Buch.

#### **6.4. Allgemeine Klassifikationen der geologischen Prozesse**

Die genetische Klassifikation enthält die Vielfalt der Hänge und Reliefkomplexe des SR. Für die Disjunktivhänge kann man ihre rezenten und vergangenen Entwicklungsprozesse durch ihre morphologischen und stofflichen Äußerungen bestimmen. Die Entstehung des DR ist von einer Art und zwar: disjunktiv (überwiegend tektogen), obwohl die Faktoren des Entstehens der Zerreißung verschieden sein können (kryogen, tektogen, vulkanogen u.a.) (Kapitel 4). Die Spuren der Einwirkung dieser Faktoren kann man üblicherweise nur auf relativ jungen Abbruchswänden erkennen, sowie aus dem nah liegenden geologischen Aufbau. Auf den transformierenden und transformierten älteren Hängen hat die Denudation schon lange diese Spuren vernichtet. Daraus folgt, dass für die meisten Hänge des DR ihre genetischen Unterschiede nicht erkennbar sind und ihre Genesis nur als disjunktiv bezeichnet werden kann. **Deswegen muss man für das SR und DR einzelne Klassifikationen schaffen.** Sie stützen sich auf verschiedene Merkmale der Hänge und haben unterschiedliche Ziele, Voraussetzungen und Anwendungsbereiche, wobei für das DR die Klassifikationen der disjunktiven und denudativen Prozesse anwendbar sind, welche die Entstehung und Entwicklung dieser Hänge bedingen. Diese Klassifikationen sind in den Tabellen 6.4, 6.5, 6.6, und 6.7 dargestellt.

Bei dieser Klassifizierung wurden die Typen der geologischen Prozesse, die Bedingungen ihrer Wirkung und Zonalität, die Typen von Treibmedien, die Dynamik der Prozesse in Beziehung zu den Treibmedien und zu der Widerstandsfähigkeit der Gesteine sowie die morphologischen und stofflichen Merkmale von Einwirkung dieser Prozesse berücksichtigt. Die Klassifikationsstruktur lässt die Abfolgen und Gesetzmäßigkeiten dieser Prozesse erkennen. Jede Klassifikation verbindet in der Regel mehrere Prozesse, Faktoren und Merkmale miteinander. Alle unklaren oder unbekanntem Abteilungen der Klassifikationen sind mit Fragezeichen markiert, damit die Probleme und verbesserungswürdigen Stellen der Klassifikationen erkennbar sind.

Endogene Faktoren	Prozesstypen				
	<i>Aufschiebung</i>	<i>Abschiebung</i>	<i>Verschiebung</i>	<i>Einstürzung</i>	<i>Explosion</i>
geographisch azonal	<b>Morphologie der Reliefformen</b>				
<b>kryolithogene</b>	Überhang	Übersteilhang	Frostkeile	Thermokarsttrichter	?
<b>tektogene</b> (lithogene)	Überhang	Übersteilhang	Vertikalhänge	?	?
<b>hydrothermale</b>	?	?	?	Karstkessel	Geisirrohr
<b>vulkanogene</b>	Überhang	Übersteilhang	Vertikalhänge	Kaldera	Maar

Tabelle 6.4: Klassifikation disjunktiver geologischer Prozesse (für das Mikorelief) und ihrer Erscheinungsmerkmale im Georelief

Exogene Treibmedien	Prozesstypen				
	<i>Korrosion</i>	<i>Korrasion</i>	<i>Evorsion</i>	<i>Kavitation</i>	<i>Kollision</i>
geographisch zonal	<b>Morphologie ihrer Rauheit</b>				
<b>glaziales</b>	Schratten	Schrammen	Kessel	Kare	?
<b>fluviales</b>	Karren	Schleifen	Strudeltopfe	Nischen	Wasserfallkessel
<b>äolisches</b>	?	Windkanter	Windlöcher	?	?
<b>seeisches</b>	Karren	Schleifen	Strudelkessel	Nischen	Brandungsnischen
azonale Faktoren					
<b>biogen-technogene</b>	Schratten	Schliffe	Löcher	Trichter	Schlagtrichter
<b>impakte</b> - Lawinnen - Regen - Meteoriten	?	Schrammen ?	?	?	Schlagkessel Regenschläge Meteoritenkrater

Tabelle 6.5. Klassifikation exogener geologischer Denudationsprozesse (für das Mikorelief) und ihrer Erscheinungsmerkmale als Rauheit des Georeliefs

Exogene Umweltbedingungen und Treibmedien	Widerstandsgrad der Gesteine (von schwacher 1 nach starker Resistenz 5)				
	1	2	3	4	5
<b>glaziale</b> sehr intensiv	Lehm, Sand, Asche, Ton, Schluff, Geröll, Schutt	Gips, Kataklasit, Konglomerat, Tuff	Schiefer, Sandstein, Kalkstein, Hyperbasit	Metamorphite, Granitoide, Gabbro, Diorit, Subvulkanite	Basalt, Quarzit, Diabas, Hornfels
<b>fluviale</b> intensiv	Lehm, Sand, Asche, Schluff	Geröll, Ton, Schutt, Gips, Kataklasit, Tuff, Kalkstein	Schiefer, Sandstein, Konglomerat, Hyperbasit	Metamorphite, Granitoide, Gabbro, Diorit, Subvulkanite	Basalt, Quarzit, Diabas, Hornfels
<b>äolische</b> mäßige	Sand, Asche	Lehm, Schluff, Ton, Geröll, Schutt	Gips, Tuff, Kataklasit, Konglomerat, Schiefer, Sandstein, Hyperbasit	Metamorphite, Granitoide, Gabbro, Diorit, Kalkstein, Subvulkanite	Basalt, Quarzit, Diabas, Hornfels
<b>- periglazial</b> <b>Subaerische - humid</b> schwach <b>- arid</b>	Lehm, Sand, Asche, Ton, Schluff	Geröll, Schutt, Gips, Kataklasit, Tuff, Kalkstein	Schiefer, Sandstein, Konglomerat, Hyperbasit	Metamorphite, Granitoide, Gabbro, Diorit, Subvulkanite	Basalt, Quarzit, Diabas, Hornfels

Tabelle 6.6. Klassifikation der möglichen Dynamik der denudativen Prozesse entsprechend dem Widerstand der Gesteine und der wirkenden Treibmedien (für das Mikorelief)

Verwitterungs-Typ und subaerische Zonalität	Neigungsstärke der Hänge						
	< 1,4°	bis 2,8°	bis 5,6°	bis 11,2°	bis 22,5°	bis 45°	bis 90°
Typische Prozesse							
	Suffosion	Erdschwimmen	Erdfließen	Solifluktion	Defluktion	Deserption	Sturzenudation
Morphologie ihrer Rauheit							
Frostsprengungsverwitterung (Frostverwitterung) <b>periglazial-nival</b>	kryoturbater Gley-Boden (klein-hügelartige Tufuren), schluff-kiesig	schluff-steinige Polygonböden	Dellen, kryogene Streifenböden, lehm-steinig	konvexe kryogene Kleinstufen, lehm-steiniger Solifluktionsboden	konkave kryogene Kleinstufen, lehm-steinig, periglazialer Rohboden	periglaziale Steinblockdecke	klüftig-stufige Felsen
Biochemische Verwitterung <b>humid</b>	kleine flache Senken, tonschluffige Gley-Böden (Gleysols, [FAO], Aquoll [ST])	kleine flache Senken, ton-schluffige Podsol, Pelosol (Acrisols, Podsoles [FAO], Spodosol [ST])	Dellen, sand-lehmiger Braunerde, Parabraunerde (Ferrasols [FAO], Aftisol [ST])	konvexe Kleinstufen, lehm-kiesige Rankerböden, Regosol, Rendz (Regosols, Leptosols [FAO], Inceptisol [ST])	konkave Kleinstufen, lehm-steinige Rankerböden, Regosol, (Regosols, Leptosols [FAO], Entisol [ST])	lehm-steiniger Syrosem (Entisol [ST])	klüftig-stufige Felsen
<b>semiarid</b>	kleine flache Senken, tonschluffiger Solonez	kleine flache Senken, lehm-sandiger Tshernosem, (Chernozems [FAO], Mollisol [ST])	Dellen, lehm-sandiger Castanozem (Kastanozems [FAO], kalkhaltiger Aridisol [ST])	lehm-kiesiger Castanozem (Kastanozems [FAO], kalkhaltiger Aridisol [ST])	lehm-steiniger Syrosem (Entisol [ST])		
Salzsprengungsverwitterung (Salzverwitterung) <b>arid</b>	polygonale Takyr, tonschluffiger Solonchak	kleine flache Senken, ton-sandiger Solonez	Dellen, lehm-sandiger, gips-kalkhaltiger Syrosem (Aridisol [ST])	lehm-kiesiger, gips-kalkhaltiger Syrosem (Aridisol [ST])	?	?	?
Insolations-Verwitterung <b>arid</b>	kleine flache Senken, ton-sandiger Syrosem (Aridisol [ST])	kleine flache Senken, lehm-sandiger Syrosem (Aridisol [ST])	Dellen, lehm-kiesiger Syrosem (Aridisol [ST])	sand-steiniger Syrosem (Aridisol [ST])	sand-steiniger Syrosem (Aridisol [ST])	Steinblockdecke	klüftig-stufige Felsen

Tabelle 6.7. Klassifikation azonaler gravitativer lithogener Denudationsprozesse (für das Mikrorelief) und ihrer Erscheinungsmerkmale als Rauheit des Georeliefs.

Bemerkung: [FAO] – Bodenbezeichnung entsprechend der Legenden zur Soil Map of the World (1988), [ST] – entsprechend der Soil Taxonomy (1975).

#### 6.4.1. Klassifizierung der Reliefformen und geologischer Prozesse für das Makro- und Mesorelief

Bei der Kartierung der anderen Ränge des Georeliefs ändern sich die quantitativen Merkmale und die Qualität der geomorphologischen Ausgangseinheiten (Tab. 6.2). Deswegen muss man die Generalisierung einer genetischen Klassifikation entsprechend der vorgeschlagenen morphologischen Klassifikation durchführen. In der genetischen Klassifikation des SR ist es nicht immer möglich, die Reliefkomplexe im Range des Mesoreliefs entsprechend ihren Entstehungsverfahren abzusondern, weil diese Verfahren oft kaum im Mesorelief geäußert werden (Rauheit der

Hänge ist in diesem Maßstab nicht darstellbar). In diesem Fall reicht es aus, die Zugehörigkeit des Reliefkomplexes zu einer von zwei Gruppen der Stoffverschiebung und -ablagerung festzustellen, und zwar: vertikales Auflegen (Auflagerung) und laterale Aufschiebung. Die zonalen und azonalen Medien und Faktoren der Reliefentstehung behalten ihre Bedeutung auch für das Mesorelief. Sie werden sogar die Hauptmerkmale des Sedimentationsreliefs im Range des Makroreliefs sein. Für das Makrorelief ist es oft nicht möglich, die Verfahren seiner Bildung zu präzisieren (mit Ausnahme vulkanischer Reliefkomplexe), weil diese sich im Makrorelief nicht äußern. In diesem Fall genügt es, anzunehmen, dass die Genesis der Reliefkomplexe sedimentativ und durch irgendeinen Faktor der Umwelt bedingt ist (z. B. fluviale oder äolische Formation usw.).

Im Range des Mesoreliefs finden viele exogene Denudationsprozesse auch keine morphologische Äußerung. Deswegen kann man bei der Kartierung in diesen Maßstäben davon ausgehen und es so bezeichnen, dass ein Prozess denudativ ist und von einem bestimmten Treibmedium bedingt wird. Man kann die zonalen und azonalen Prozesstypen absondern. Zu den Ersten gehören die **Exaration** (Denudation mittels Gletscher), die **Erosion** (Denudation mittels fließenden Wassers), die **Deflation** (Denudation mittels Wind) und die **Abrasion** (Denudation mittels Brandung). Zu den Zweiten gehören die **biogenen** und **technogenen** sowie die durch Meteoriten bedingten **Impaktprozesse**. Diese Klassifikation gilt auch für die Kartierung des Makroreliefs.

Die gravitativen Denudationsprozesse im Range des Mesoreliefs erfordern auch eine Generalisierung. Die Prozesstypen, die auf sieben morphologische Hangarten wirken, müssen entsprechend der morphologischen Klassifikation des Mesoreliefs (Tab. 6.2) in vier Klassen verallgemeinert werden. Für die Ebenen sind die Suffosion und Verwitterung charakteristisch, die Gefälle (von 1,4 bis 5,6°) sind dem Abfließen des verwitterten Materials unterworfen, auf den Hängen (von 5,6 bis 22,5°) wirken verschiedene Rutschungen, und auf den Abhängen geschieht üblicherweise die Sturzdenudation. Die Verwitterungsprozesse haben eine zonale Abfolge, die jener des Mikroreliefs ähnlich ist. Um die dynamischen Unterschiede der Entwicklung des Mesoreliefs zu äußern, reicht es, den Typ des wirkenden Mediums zu bezeichnen.

Im Makrorelief äußern sich die geologischen Prozesse anders. Die Hänge dieses Ranges umfassen 3 Klassen, und diese Klassen sind die Folge tektonischer Prozesse sowie durch Tektonik bedingter Denudation und Akkumulation. Die Ebenen als Elemente des Makroreliefs sind die Bereiche der tektonischen Senken und der Akkumulation, deren Vielfalt die sedimentativen Formationen ausweisen. Die Abdachungen sind die Wirkungsbereiche der Denudationsprozesse, welche man durch die Äußerung der zonalen Bedingungen der Denudation und der Verwitterung unterscheiden kann. Die Steigungen (>11,2°) sind die Folge intensiver tektonischer Hebungen, welche die Denudation determinieren. Dadurch werden also die Tendenzen und Dynamik der tektonischen Entwicklung von Makroreliefsabschnitten bezeichnet.

Die disjunktiven geologischen Prozesse werden im Mikrorelief durch die geomorphologischen Grenzen bestimmter Typen bezeichnet, sie benötigen keine spezielle Generalisierung für die kleineren Maßstäbe. In diesen Maßstäben weisen einige Faktoren der Entstehung der disjunktiven Störungen, z. B. kryogene oder hydrothermale Faktoren keine Manifestation aus. Dabei bekommen vor allem die tektonischen und vulkanogenen Faktoren ihre deutliche Äußerung.

Die vorgeschlagenen Klassifikationen basieren also auf bekannten physikalischen Verfahren der Entstehung der Stoffe, beachten verschiedene Bedingungen und Treibmedien, trennen deutlich die Systeme des Disjunktivreliefs und Sedimentationsreliefs. Diese Klassifikationen sind logisch konstruiert, beachten die Gesetze der Entstehung und Entwicklung des Disjunktivreliefs und Sedimentationsreliefs, lassen klare Verbindungen mit exakten Wissenschaften und mit anderen Geowissenschaften herstellen und ihre Taxone können mathematisch beschrieben werden. Sie verallgemeinern die ganze Vielfalt des Georeliefes, haben viele interessante Folgen und neue Anwendungsbereiche. Die ausführliche Analyse dieser Klassifikationen ist ein gesondertes Thema. Es muss betont werden, dass obige Klassifikationen neu in der Geomorphologie sind und auf einem neuen Niveau die Kenntnisse über das Georelief auffassen. Sie müssen nunmehr als methodische Grundlage der geomorphologischen Kartierung eingesetzt werden.

### **6.5. Klassifikation chronologischer Georeliefeinheiten und ihre empirische Grundlage**

Die chronologischen Einheiten des Georeliefes sollen auch benannt und klassifiziert werden. Gerade sie sind eine der Hauptgrundlagen einer Reliefkartierung und der geschichtlichen Reliefdarstellung. Die chronologische Ausgangseinheit ist der Hang (Geofazette). Der Hang kann eine selbständige kartierende chronologische (genetische) Einheit sein. Oft ist es jedoch nicht praktisch und effektiv, im Georelief und auf den Karten nur die einzelnen Hänge abzusondern. In diesen Fällen werden die Karten zu detailliert sein und können die räumlich-zeitliche Struktur des Georeliefes nicht anschaulich visualisieren. Deswegen sollen die chronologisch synchronen Hänge zu bestimmten chronologischgleichen Reliefkomplexen verallgemeinert werden. Im DR sind es die sogenannten Neigungsgürtel,

Morphoniveaus, Segmente, Verschnitte usw. (Kapitel 5). Im SR kann man sie zu Fazien, Reliefkomplexen oder Formationen verallgemeinern. Entsprechend dem Kartierungsmaßstab muss man auch verschiedene Ränge der chronologischen Reliefkomplexe des DR und SR absondern. Außerdem muss man speziell bestimmte Einheiten für die allgemeine chronologische geomorphologische Skala benennen sowie jene Einheiten, welche die regionalen morphostratigraphischen Einheiten bezeichnen. **In diesem Fall wäre es richtig, den Ansatz zu verwenden, welcher seit langem in der Geologie verwendet wird.** Die Klassifikation der morphostratigraphischen Einheiten (Abteilungen) wird verständlicher und anschaulicher, wenn sie zusammen mit der chronologischen Klassifikation von stratigraphischen und magmatischen geologischen Einheiten dargestellt wird, was auch ermöglicht, alle diese Einheiten miteinander zu vergleichen (Tab. 6.8). Die morphologische Manifestation der morphostratigraphischen Einheiten (Abteilungen) ist in Abbildung 6.5 dargestellt.

Es ist klar, dass man die Spuren von **Episoden** und **Ereignissen** der Reliefbildung meistens nur in großmaßstäbigen Karten aufzeichnen kann (1:10000-1:50000). Die geomorphologischen Einheiten, die sich im Laufe einer Ära oder Epoche gebildet haben, können gänzlich meistens auf mittelmaßstäbigen Karten (1:200000 - 1:500000) dargestellt werden. Die geomorphologischen **Treppen** und **Bauten** können überwiegend in kleinmaßstäbigen Karten geäußert werden. Die vorgeschlagene Klassifikation bietet auch die Möglichkeit, die Generalisierung oder Detaillierung der Morphostruktur beim Übergang zu anderen Maßstäben richtig durchzuführen.

Chronologische Einheiten	Allgemeine morphostratigraphische Einheiten des DR	Regionale Morphostratigraphische Einheiten des DR	Allgemeine und regionale stratigraphische geologische Einheiten (zum Vergleich mit DR)			Reliefkomplexe des SR		Nichtstratifizierte magmatische und andere geologische Komplexe (zum Vergleich mit SR)	
<b>Megachron</b> (bis 10 <sup>9</sup> Jahre)	<b>Treppe</b>		<b>Megaära</b>						
<b>Ära</b> (bis 180 Mio. Jahre)	<b>Stufe</b>	Etage (Bund)	<b>Ära</b>			Bau			
<b>Epoche</b> (60- 120 Mio. Jahre)	<b>Gürtel</b>	Neigungsgürtel	<b>System</b>	Serie		Bau	Formation	Intrusionsgürtel	
<b>Phase</b> (12 - 22 Mio. Jahre)	<b>Band</b>	Serie	Segment	<b>Abteilung</b>	Serie	Folge	Formation		Intrusionsgürtel
<b>Zeitalter</b> (0,4 - 4 Mio. Jahre)	<b>Streifen</b>	Folge	Abschnitt	<b>Unterabteilung</b>	Folge, Gefolge		Formation, Reliefkomplex	Intrusionsgürtel	Komplex
<b>Episode</b> (0,01 – 0,1 Mio. Jahre)	<b>Niveau</b>	Gefolge	Verschnitt	<b>Lage</b>	Folge, Gefolge		Reliefkomplex Reliefform	Komplex	Phase
<b>Ereignis</b> (~0)	<b>Naht</b>	Strich	Abbruch	<b>Horizont</b>	Schicht		Fazies	Phase	

Tab. 6.8: Klassifikation der allgemeinen und regionalen morphostratigraphischen Abteilungen (Einheiten) und sedimentativen Reliefkomplexe

Die geologischen-geomorphologischen Daten (Kurs Allgemeiner Geologie, 1976; MONIN, 1977; MALINOWSKI, 1990; SUBAKOW, 1989; u.a.), die die Informationen von vielen gut erforschten Regionen der Welt verallgemeinern, lassen eine vorläufige allgemeine geomorphologische Skala vorschlagen, welche die tektonische und paläogeographische Geschichte, die Dynamik der Hangentwicklung, die Tendenzen der Georeliefentwicklung, die absolute und relative Chronologie, die Geochronologie und die regionalen Daten am Beispiel des Altai und Afrikas berücksichtigt (Tab. 6.9).

Diese allgemeine Skala kann als geochronologische Grundlage für die regionale geomorphologische Kartierung dienen und sollte durch die gewonnenen regionalen Daten präzisiert und verbessert werden. Sie ist nicht aus der „Luft“ entstanden und stützt sich auf bereits gewonnene Daten aus vielen Regionen.

Z.B. teilt W. PENCK (1961) mit, dass im Erzgebirge, östlich von Leipzig die niedrigste Rumpffläche (R4, mit absoluten Höhen von 450-350 m) stellenweise mit Sedimenten des Unteroligozäns überdeckt ist. Er datiert diese Rumpffläche als älter als Unteroligozän, aber jünger als Senoman (Unterkreide) und betont, dass „alle anderen, höher liegenden Rumpfflächen müssen auf jeden Fall älter (früher entstanden) sein, und zwar wesentlich älter“ (S. 243). Daraus folgt, möchte ich betonen, dass das Georelief des Erzgebirges überwiegend das mesozoische Alter (stellenweise vielleicht noch älteres) hat, und dass das alpidische (känozoische) Alter nur den steilen Hängen der schmalen Einschnitte im Unterlauf der Flusstäler und dem Graben des Flusstals der Elbe zu Eigen ist.

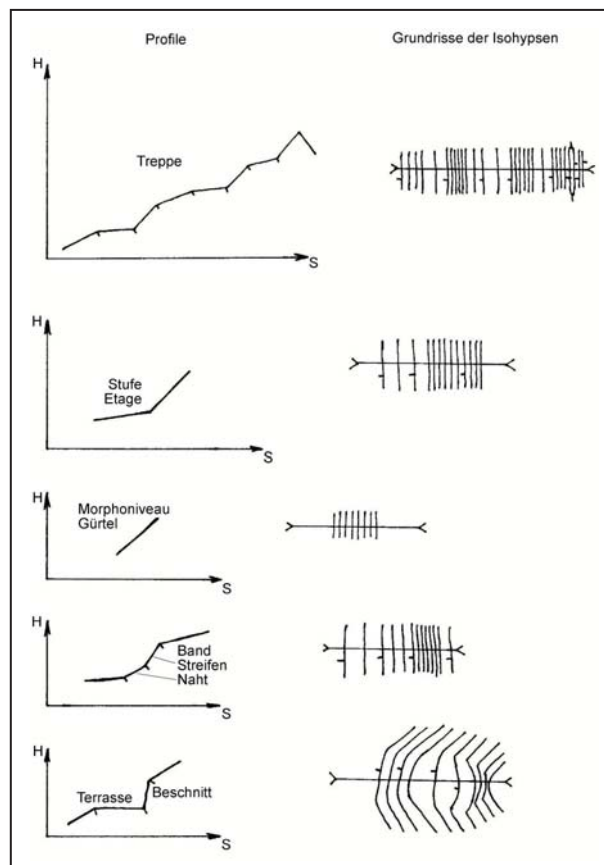


Abb. 6.5: Profil- und Grundrissgestalt morphostratigraphischer Einheiten des DR

Zu interessanten empirischen Schlussfolgerungen über das sehr hohe Alter (Ende des Paläozoikums) einiger Täler und Gebirgsrücken des Tienschans ist der Geomorphologe G.N. PSCHENIN (1992, u.a.) gekommen. Er betont auch, dass früher angenommen wurde, dass das Gebirgsrelief Mittelasiens seit dem Oberoligozän aus einer Plattenebene entstand und das ältere Georelief, welches hier bei der variszischen oder mesozoischen tektonischen Aktivierung entstehen konnte, nicht erhalten blieb. Durch detaillierte Nachforschung hat er aber festgestellt, dass das Gebirgsrelief hier schon im Karbon-Perm gebildet wurde und seine Reste stellenweise bis heute erhalten geblieben sind. Dabei betont G.N. PSCHENIN (1982, S. 87-88), dass „das Gebirgsrelief des Paläozoikums und Mesozoikums selbstverständlich nicht der Fläche und Höhe des gegenwärtigen Georeliefzustands entsprach und die Bildung seiner Hänge und Rumpfflächen nicht ein einmaliger Prozess war, sondern aus mehreren Epochen der Hebung und Verebnung besteht“. G.N. PSCHENIN (1992) stellte auch fest, dass die erosiven Einschnitte im Gebirge Mittelasiens von einigen tektonischen Hebungen verursacht wurden und sehr alt sind (einige älter als Trias-Perm), wobei die Einschnittstiefe für das Mesozoikum und Känozoikum hier relativ gering ist (etwa 1000 m bei Gesamtamplituden der Einschnitte bis zu 5000-7000 m).

Viele geologische Daten weisen darauf hin, dass die Trias eine der Epochen der größten Bildung von Verwitterungsdecken, der größten Verebnung und Transformation der Neigungsgürtel war. Die höchste Rumpffläche des Mittelsibirischen Hochlandes datiert W.F. FILATOW (1976) als Trias, und eine niedriger liegende Rumpffläche, deren flache Senkungen von Sedimenten des Juras stellenweise überdeckt sind, datiert er als Jura (TIMOFEEV, 1979). Obwohl diese Vorstellungen bestätigen, dass die Rumpfflächen in den Hochländern wirklich sehr alt sein können, sind sie in diesem Fall falsch, weil hier die niedriger liegende Rumpffläche älter als Jura sein muss und die höchste noch viel älter.

Auf der Platte Südamerikas sondert A.D. BORISEWITSCH (1983) die folgenden Rumpfflächen aus: Gondwana-Rumpffläche von der Mitteltrias, Postgondwana-Rumpffläche von der Oberjura-Unterkreide, Subamerikanische-Rumpffläche vom Eozän-Miozän und Pliozän-Rumpffläche. Er betont aber, dass von den geologischen Daten ausgehend diese Rumpfflächen älter sind, als von L. KING (1962) angenommen wurde. A.D. BORISEWITSCH (1983) behauptet, dass auch die regional verbreitete alte Rumpffläche in Australien mesozoisches Alter hat und auf keinen Fall känozoisches, wie es L. KING (1959) vermutete. Diese Rumpffläche und sogar noch niedriger liegende Rumpfflächen, deren Alter als Miozän eingeschätzt wurde, werden stellenweise von Basalt-Decken des Eozän-Oligozäns überdeckt, d. h. diese Rumpffläche ist sicher älter als Eozän. Sie lag schon am Ende des Oligozäns fast genau wie

jetzt auf den absoluten Höhen von 600-700 m. Im Tal Scholcheiweins, welches in diese Rumpffläche eingeschnitten ist, liegen Basalte des Eozäns. D. h., dass dieses Tal mit einem tiefen und steilen Einschnitt wie heute schon vor dem Eozän existierte. A.D. BORISEWITSCH (1983) ist der Meinung, dass so eine Rumpffläche das Triasalter hat, weil sie lokal von Basalten des Unter-Mitteljuras und von Verwitterungsdecken der Mitteltrias überdeckt ist. Diese Daten überzeugen mich aber, dass die Australische Rumpffläche viel älter als Trias sein muss. Über der Australischen Rumpffläche liegen viele noch ältere Inselberge und sogar Gebirgsabschnitte, in welchen eine noch ältere Rumpffläche erhalten geblieben ist (Peneplain „Monaro“). Es gibt hier noch 3 schmale Rumpfflächen, welche niedriger als die Australische Rumpffläche liegen und jünger als sie sind (vom Kreide-Eozän mit kieseligen Verwitterungsdecken, sowie vom Miozän und vom Pliozän).

Geologisch-geographische Zyklen			Geomorphologische Skala				
Zeit, in Mio. Jahren vor heute	Tektonik, Magmatismus, Klimabedingungen (überwiegend)	Geologische Skala	Ära (Stufe)	Epochen für Afrika	Epochen für den Altai	Tendenz der Entwicklung	Denudation in mm/Jahr Hangverlagerung im Altai, in km
- 0 - 45	<b>Aktivierung</b> kalt-feucht	Quartär-oberes Eozän	Alpidische	?	Salairski	Hebung, Einschnitt	<b>0,1</b> 2,6
- 45 - 156	<b>Entspannung</b> warm-trocken	Eozän – Unterkreide	Mesozoische	Post-afrikanische	Neninski	Transformation Verebnung	<b>0,01</b> 2,5
- 156 - 200	<b>Aktivierung</b> kalt-feucht	Jura			Sinüchinski	Hebung, Einschnitt	<b>0,1</b> 4,6
- 200 - 290	<b>Entspannung</b> warm-trocken	Trias - Perm	Variszische	Afrikanische	Anuiski	Transformation Verebnung	<b>0,01</b> 2,3
- 290 - 330	<b>Aktivierung</b> kalt-feucht	unteres Perm- Karbon			Katunski	Hebung, Einschnitt	<b>0,1</b> 4,6
- 330 - 445	<b>Entspannung</b> warm-trocken	unteres Karbon -Silur	Kaledonische	Post-gondwanische	Akkemski	Transformation Verebnung	<b>0,01</b> 2,5
- 445 - 490	<b>Aktivierung</b> kalt-feucht	Silur-Ordovizium			Beluchinski	Hebung, Einschnitt	<b>0,1</b> 4,3
- 490 - 620	<b>Entspannung</b> warm-trocken	Kambrium	Baikalische	Gondwanische	?	Transformation Verebnung	
- 620 - ?	<b>Aktivierung</b> kalt-feucht	Wendikum			?		

Tab. 6.9: Vorläufige allgemeine geomorphologische Skala und ihre Synchronisation mit Zyklen der Entwicklung des Geosystems der Erde

Im Uralgebirge werden die folgenden Rumpfflächen abgesondert (BORISEWITSCH 1983): die Rumpffläche vom Trias mit Lateritverwitterungsdecken, die Rumpffläche von der Jura-Kreide mit mächtigen (bis zu 30-50 m), eisenreichen Lateritverwitterungsdecken, die Rumpffläche vom Eozän-Oligozän mit kieseligen Verwitterungsdecken (porreiche Quarzite), die Rumpfflächen vom Miozän und Pliozän. Die letzten zwei sind hier nur den Vorbergbereichen mit jüngeren (Karbon, Perm), weniger metamorphisierten Sedimenten zu Eigen. Diese deutlich ausgeprägte Ähnlichkeit der Geomorphostruktur des Uralgebirges und Australiens ist sicher kein Zufall, sondern die Folge der allgemeinen Zyklen der tektonischen Entwicklung der Erde. Eine ähnliche Morphostruktur hat A.D. BORISEWITSCH (1984) auch in den Gebirgen Nordamerikas ermittelt.

Sehr wichtig ist für die Geomorphologie die empirisch festgestellte Tatsache, dass dem Festland eine nach Menge und Alter einheitliche Serie von Rumpfflächen zu Eigen ist (BORISEWITSCH 1989). A.D. BORISEWITSCH (1989) behauptet, dass die **Gondwana-Rumpffläche** (Mitteltrias) stellenweise in den Restgebirgen Afrikas, Süd- und Nordamerikas, des Urals, Mittelsibiriens, in Australien und Indien auftritt. Der Höhenunterschied zwischen dieser Rumpffläche und der niedriger liegenden Afrika-Rumpffläche (Oberjura-Unterkreide) ist überall fast gleich und beträgt etwa 300-400 m (nur in Skandinavien erreicht er bis zu 650-700 m). „Das Alter der Gondwana-Rumpffläche wird durch das Alter der überdeckenden Basalte als Trias bestimmt“ (BORISEWITSCH 1989, S. 4). Man muss dazu bemerken, dass diese Bestimmung nicht richtig ist. Richtiger wäre es zu behaupten, dass das Alter der Gondwana-Rumpffläche älter als diese Basalte ist. Die **Afrika-Rumpffläche** (Oberjura-Unterkreide) ist weit verbreitet und nimmt den größten Teil der Oberfläche alter Kontinentplattformen ein. Sie liegt auf absoluten Höhen von 200-220 bis 600-760 m (in Afrika stellenweise bis zu 850-950 m) und ist von einer mächtigen (30-60 m) kaolinhaltigen Late-



ritverwitterungsdecke (Kreidealter) und von Basalten (mit Datierungen von 110 - 124 Mio. Jahre) überdeckt. Diese Datierungen lassen das Alter dieser Rumpffläche älter als Unterkreide einschätzen. Die eozäne Una-Rumpffläche (nach einem Ort in Australien benannt) tritt als schmale Streifen entlang den Flusstälern auf und hat eine kieselige Verwitterungsdecke von relativ geringerer Mächtigkeit (bis zu 5-10 m). Sie ist stellenweise von eozän-oligozänen Sedimenten überdeckt und kann auch älter als angenommen sein, weil solche Verwitterungsdecken auch in der Kreide gebildet wurden. Die **miozäne Rumpffläche** (hat keinen eigenen Namen) besitzt große Flächen in Asien, Europa, Nordamerika und Nordafrika, aber **nur in Bereichen mit mesozoischen und känozoischen Sedimenten**, welche kaum metamorphisiert und gewöhnlich gegen Denudation nicht sehr widerstandsfähig sind. Auf den alten, sehr widerstandsfähigen Gesteinen des kristallinen Fundaments der Platten Afrikas, Australiens und Amerikas ist sie kaum ausgeprägt und wurde stellenweise nur als schmale Streifen nahe Meeresküsten gebildet. Diese Rumpffläche ist in die Sedimente des Eozäns eingeschnitten und von Sedimenten des oberen Miozäns stellenweise überdeckt. Die **pliozäne Rumpffläche** stellt schmale (bis zu 10 km) Pedimente dar und tritt deutlich auf den nicht metamorphisierten Sedimenten in den Gebieten der Alpidischen Faltung in Afrika, Indien, Amerika und Europa auf.

A.D. BORISEWITSCH (1993) meint, dass die Bildung jeder dieser globalen Rumpfflächen mit Epochen der ozeanischen Transgressionen verbunden ist und von diesen verursacht wurde, und betont, dass die älteren Rumpfflächen tektonisch stärker deformiert sind. Ihre Neigungsdeformation ist üblicherweise bis zu 2 Mal steiler. Er behauptet, dass die Höhenunterschiede zwischen Rumpfflächen nicht die Folge unterschiedlicher eustatischer Transgressionen war, sondern tektonischer isostatischer Bewegungen. Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung ist auch J. BIRKENHAUER (1991) gekommen.

Diese Daten und Vorstellungen sind interessant, aber brauchen natürlich eine Präzisierung. Auf jeden Fall können sie als vorläufige Grundlage der geomorphologischen Altersskala verwendet werden.

## Schlussteil

Die vorgeschlagenen Begriffe, Axiome, Gesetze der Georelieftentwicklung, Prinzipien der Analyse des Georeliefs und der Ausgliederung seiner Elemente, der Synthese und Synchronisierung von Georeliefeinheiten sowie die genetischen und chronologischen geomorphologischen Klassifikationen ermöglichen es, verschiedene Theoreme und Theorien der Georelieftstehung und -entwicklung zu formulieren und zu beweisen, geomorphologische Kartierung und Datengewinnung durchzuführen, vielfältige geomorphologische Aufgaben (Rekonstruktionen, Einschätzungen, Szenarien, Prognosen) zu entwerfen und bei Vorhandensein bestimmter Ausgangsdaten zu lösen usw. Diese angewandten Themen werden in den nächsten Bänden der „Angewandten Geomorphologie“ konkret und ausführlich dargelegt.

Gewiss sind einige theoretische geomorphologische Probleme in diesem Buch nicht ausreichend erarbeitet worden. Wie gesagt, „aller Anfang ist schwer und auf einen Hieb fällt kein Baum“. Aber das Wissen über die Mängel der Arbeit macht es leichter, sie zu beseitigen.

Gewöhnlich meint man, dass die Theorien und Hypothesen exakt mit den Tatsachen übereinstimmen müssen. Doch diese These ist methodologisch nicht ganz richtig (GREGORI, 1988). Richtig ist die Ansicht, welche die Existenz und Anwendung einer Theorie unter den Bedingungen der Dementierung einiger ihrer Hauptthesen zulässt und innerhalb dieser Theorie auch Widersprüche zu einigen Daten erlaubt, die zu diesem Zeitpunkt als Fakten anerkannt und betrachtet werden. Andernfalls muss man alle Theorien ablehnen und die Erkenntnis einstellen, was natürlich von unserer praktischen Tätigkeit niemals akzeptiert wird.

„Wissenschaftsgeschichte ist der Fortschritt von Irrtum zu Irrtum. Irrtümer werden widerlegt, bis sich die Widerlegungen selbst als Irrtümer erweisen“ (W.E. RICHARTZ). So eine Einstellung würde unsere Bemühungen hoffnungslos machen. Gott sei dank ist sie maßlos übertrieben. Man muss „Irrtum“ durch „Ungenauigkeit“ ersetzen und der Spruch wirkt schon positiv. „Die Wahrheit mach oft den Eindruck des Unmöglichen“ (DOSTOJEWSKIJ, „Der Idiot“) und deswegen „hat ein alter Irrtum mehr Freunde als eine neue Wahrheit“ (Deutsches Sprichwort). „Die Wahrheit kann nicht sofort in einer vollkommenen Art erscheinen, sondern kommt immer in einer Schale von Irrtümern“ (SCHARAPOW, 1989, S. 134) und die „Weisheit besteht darin, zur richtigen Zeit auf Vollkommenheit zu verzichten“ (HOROWITZ' Regel). „Der Raupe wegen muss man den Baum nicht umlegen“ (Deutsches Sprichwort).

Also „genug ist besser als zu viel“. Schluss mit der Selbstrechtfertigung, ich bin sowieso der festen Überzeugung, dass die vorgeschlagenen theoretischen geomorphologischen Grundlagen die neuen Wahrheiten enthalten und meine Arbeit nicht umsonst war, aber was eine konstruktive Kritik und Verbesserungsvorschläge betrifft – da bin ich immer offen und dankbar.

## Literatur

- ADAMENKO, 1974:** (Адаменко О.М. Мезозой и кайнозой Степного Алтая.-Новосибирск: Наука, 1974. - 167 с.) – in Deutsch: Mesozoikum und Känozoikum des Steppentalais. – Nowosibirsk: Nauka, 1974. –167 S.
- AGAFONOW, 1989:** (Агафонов Б.П. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1990. 176 с.) .) – in Deutsch: Exsolithodynamik der Baikal-Riftzone. – Nowosibirsk: Nauka, 1990. –176 S.
- AHNERT, F. (1976):** Brief description of a comprehensive three-dimensional process-response model of landform development.- Zeitschrift Geomorphologie. Suppl. 1976. Bd. 25.
- AHNERT, F. (1979):** Einführung in die Geomorphologie.- Verlag Eugen Ulmer. 440 S. 224 Abb., 23 Tabellen. Stuttgart.
- ANANJEV, 1976:** (Ананьев Г.С. Динамическая геоморфология. Формирование вершинных поверхностей. М.: Изд-во МГУ, 1976. 173 с.) .) – in Deutsch: Dynamische Geomorphologie. Bildung von Rumpfflächen. – Moskau: Verlag Moskauer Universität, 1976. –173 S.
- ARMAND, 1950:** (Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. - М.: Мысль, 1950, 212 с.) - in Deutsch: Wissenschaft über die Landschaft. – Moskau: Verlag „Mysl“, 1950. – 212 S.
- ASEEW, MAKKAWEW, 1988:** (Асеев А.А. , Маккавеев А.Н. Проблема равновесия в геоморфологии.- Экзогенные процессы и окружающая среда: Докл. Всес. совещ. „Экзоген. процессы и окруж. среда“ 19 Пленума Геоморфологической комиссии АН СССР, Казань, сентябрь 1988. - М.: 1990. С. 68-74. ) – in Deutsch: Problem des Gleichgewichtes in der Geomorphologie. – Im Buch: „Exogene Prozesse und die Umwelt“. Vorträge der Konferenz, Kasan, September 1988. – Moskau: Verlag Nauka, 1990. – S. 68-74.
- ARTEMJEV, 1979:** (Артемьев М.Е. Кайнозойские тектонические движения и нарушения изостазии // Геотектоника. -1979, № 3.- С. 52-64.) – in Deutsch: Känozoische tektonische Bewegungen und isostatische Störungen. – In Zeitschrift: „Geotektonika“, 1979, Nr. 3. – S. 52-64.
- ARTSCHIKOW, 1981:** (Арчиков Е.И. Почему возникла дискуссия о содержании геоморфологии? - Геоморфология, 1981, № 4. С. 44-48). – in Deutsch: Warum ist wieder eine Diskussion über den Inhalt der Geomorphologie entstanden? – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1981, Nr. 4. – S. 44-48.
- BARSCHE, D. & LIEDKE, H. (1980):** Geomorphologische Detailkartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Erste Ergebnisse des GMK-Schwerpunktprogrammes der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dargestellt auf der Fachsitzung 21 des 42. Deutschen Geographentages in Göttingen. - Berliner Geogr. Abh., Heft 31. S. 1-33, Berlin.
- BASCHENINA, 1967:** (Башенина Н.В. Формирование современного рельефа земной поверхности. М.: «Высшая школа», 1967. 245 с.) - in Deutsch: Bildung des gegenwärtigen Reliefs der Erdoberfläche. – Moskau: Verlag „Wysshaja schkola“, 1967. – 245 S.
- BELOUSOW et al, 1974:** (Белоусов В.В., Герасимовский В.И., Горячев А.В., Добровольский В.В. и др. Восточно-Африканская рифтовая система. Том 2: Гипергенные образования, геоморфология, неотектоника.- М.: Наука, 1974. 260 с.) – in Deutsch: Ost-Afrikanisches Riftsystem. Band 2: Verwitterungsdecken, Geomorphologie, Neotektonik. - Moskau: Nauka, 1974. –260 S.
- BILIBIN, J.A. /Билибин, Ю.А. Основы геологии россыпей. 3 е изд., перераб. и доп.- М.: Изд-во АН СССР, 1955. 463 с.) - in Deutsch: Grundlagen der Geologie der Seifenlagerstätten. – Moskau: Verlag der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, 1955. – 463 S.**
- BIRKENHAUER Josef.** Einige Beobachtungen zu Rumpfflächen in Australien.- Mitt. Geogr. Ges. München. - 1991. - 76. С. 167-198.
- BLAGOWOLIN & PSCHENIN, 1985:** (Благоволин Н.С., Пшенин Г.Н. Гравитационный фактор в развитии рельефа горных хребтов - Геоморфология, 1985, №4. С. 3-15. ) – in Deutsch: Gravitationsfaktor in der Entwicklung der Gebirgsrücken. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1985, Nr. 4. – S. 3-15.
- BLOOM, A.L. (1989):** Die Oberfläche der Erde.- 2. Aufl.- Stuttgart, Enke-Verl., 202 S.
- Bodenkunde, 1994:** /H. Kuntze, G. Roeschmann, G. Schwerdtfeger; 3. Aufl., neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Ulmer, 1994. 424 S.
- BORISEWITSCH, 1980:** (Борисевич Д.В. Поверхности выравнивания Австралии - Геоморфология, 1980, №3. С. 3-12.) .) – in Deutsch: Rumpfflächen in Australien. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1980, Nr. 3. – S. 3-12.
- BORISEWITSCH, 1982:** (Борисевич Д.В. Поверхности выравнивания Северо-Западной („Низкой“) Африки и Атласа. - Геоморфология, 1982, №1. С. 3-11. ) – in Deutsch: Rumpfflächen in nord-westlichen Afrika und in Atlasgebirge. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1982, Nr. 1. – S. 3-11.
- BORISEWITSCH, 1984:** (Борисевич Д.В. Поверхности выравнивания Урала и Аппалачей - Геоморфология, 1984, №4. С. 3-13.) – in Deutsch: Rumpfflächen des Urals und der Appalachen. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1984, Nr. 4. – S. 3-13.
- BORISEWITSCH, 1983:** (Борисевич Д.В. Поверхности выравнивания Южной Америки - Геоморфология, 1983, № 3, с. 11-21.) – in Deutsch: Rumpfflächen des Südamerikas. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1983, Nr. 3. – S. 11-21.
- BORISEWITSCH, 1989:** (Борисевич Д. В. Корреляция возраста поверхностей выравнивания материков

- северного и южного полушарий - Геоморфология, 1989, №1. С. 17-29. ) – in Deutsch: Korrelation des Alters von Rumpfflächen der Kontinente nördlicher und südlicher Semisphären. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1989, Nr. 1. – S. 17-29.
- BORISEWITSCH, 1989:** (Борисевич Д.В. Еще раз о корреляции возраста поверхностей выравнивания.- Геоморфология, 1989, №4, с. 47-51.) – in Deutsch: Noch einmal über die Korrelation des Alters von Rumpfflächen. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1989, Nr. 4. – S. 47-51.
- BORISEWITSCH, 1993:** (Борисевич Д.В. Взаимозависимость развития рельефа материков и дна океанов. - Геоморфология, 1993, №1. С. 3-15.) – in Deutsch: Zusammenhang der Reliefentwicklung von Kontinenten und Ozeanboden. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1993, Nr. 1. – S. 3-15.
- BORSUK u.a. , 1977:** (Борсук О.А., Спасская И.И., Тимофеев Д.А. Вопросы динамической геоморфологии // Геоморфология, т. 5. Итоги науки и техники М.:ВИНИТИ АН СССР, 1977. -174 с.) – in Deutsch: Grundfragen der Dynamischen Geomorphologie. – „Geomorphologie“, Band 5. Ergebnisse der Wissenschaft und Technik. Moskau: WINITI der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, 1977. – 174 S.
- BOUEN, 1981:** (Боуэн Д. Четвертичная геология. Пер. с англ. - М.:Мир, 1981. - 272 с.) - in Deutsch: Quartärgeologie. – Moskau: Verlag „Mir“, 1981. – 271 S.
- BREMER H. (1985).** Allgemeine Geomorphologie. Methodik - Grundvorstellungen - Ausblick auf die Landschaft. Berlin. Stuttgart, 65 Abb., 8 Tab., 450 S.
- BOWEN D.Q. (ED.) (1972):** A concise physical geography. Abingdon, 1972.
- BRONGULEEW, 1992:** (Бронгулеев В. Вад. - О „материальном, но невещественном“ рельефе - Геоморфология, 1992, № 3. с. 22-24.) – in Deutsch: Über „materielles, aber nicht stoffhaltiges“ Relief. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1992, Nr. 3. – S. 22-24.
- BRYAN K. (1922):** Erosion and sedimentation in the Papago Country, Arizona.- U.S. Geol. Surv. Bull., 1922, N 730-B.
- BÜDEL J. (1963):** Klima-genetische Geomorphologie. Geographische Rundschau 15. S. 269 - 286.
- BÜDEL J. (1981) :** Klima Geomorphologie. 2 veränderte Auflage, Gebrüder Borntraeger. 82 Abb. 3 Tab. 304 S. Berlin. Stuttgart.
- BUDILIN, 1968:** (Будилин Ю.С. О сохранности россыпей высоких террас и глубине денудации склонов долины р. Енашино (Енисейский кряж) за четвертичный период . - Труды ЦНИГРИ, вып. 79. М.: 1968. С. 332-336. ) - in Deutsch: Über die Erhaltungsmöglichkeit der Seifenfelder auf Hochterrassen und über den Denudationsbetrag von Talhängen des Flusses Enaschino (Enisejgebirge) im Quartär. Berichte von ZNIGRI, Band 79. – Moskau: 1968. – S. 332-336.
- BUNGE, M. (1962):** Intuition and science. N.Y.: Prentice Hall, 1962. 142 p.
- BUOL, u.a. 1977:** (Боул С., Хоул Ф., Мак-Крекен Р. Генезис и классификация почв. / Пер. с англ. под ред. И.П. Герасимова.- М.:Прогресс, 1977.- 416 с.) - in Deutsch: Genesis der Böden und Bodenklassifikation./ Übersetzung aus engl., Herausgeber I.P. GERASIMOW. – Moskau: Verlag „Progress“, 1977. – 416 S.
- BUTWILOWSKI, 1985:** (Бутвиловский В.В. Катастрофические сбросы вод ледниково-подпрудных озер Юго-Восточного Алтая и их следы в рельефе // Геоморфология. -1985.- № 1. - С. 65-74.) – in Deutsch: Katastrophale Durchbrüche von Eisstauseen im Südöstlichen Altai und ihre Spuren im Georelief. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1985, Nr. 1. – S. 65-74.
- BUTWILOWSKI, 1990:** (Бутвиловский В.В. Новая легенда для общих геоморфологических карт. Теоретическое обоснование, информативность, способы отображения.// Проблемы моделирования в геоморфологии. Подходы и методы// Тезисы докладов к региональной школе-семинару. Новосибирск, 1990. С. 104—106.) – in Deutsch: Neue Legende für die allgemeinen geomorphologischen Karten. Theoretische Grundlage, Informationskapazität, Darstellungsmittel. Im Buch: Probleme der Modellierung in der Geomorphologie: Ansätze und Methoden // Berichte zu dem regionalen Seminar. – Nowosibirsk: 1990. – S. 104-106.
- BUTWILOWSKI, 1993:** (Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель.// Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 253 с, 69 рис, 62 табл, 1 карта. - in Deutsch: Paläogeographie der letzten Eiszeit und des Holozäns im Altaigebirge: Modelle katastrophaler Naturereignisse. – Tomsk: Verlag Tomsker Universität, 1993. – 463 S., 69 Abb., 62 Tab., 1 Karte.
- BUTWILOWSKI, 1994:** (Бутвиловский В.В. Хронологические и генетические свойства георельефа и принципы геоморфологического картирования.// Новосибирск, Наука, 1994. С. 63-72. – in Deutsch: Chronologische und genetische Eigenschaften des Georeliefs und Prinzipien der geomorphologischen Kartierung. Im Buch: Zeit und Alter des Reliefs. - Nowosibirsk, Nauka, 1994. S. 63-72.
- BUTWILOWSKI, 1995:** (Бутвиловский В.В. Основы устройства и развития литосферы Земли: Курс лекций по общему землеведению. 1 том.- Новокузнецк.: Изд-во Новокузн. пед. ин-та. 1995. 108 с.) – in Deutsch: Grundvorstellungen über den Aufbau und die Entwicklung der Lithosphäre und des Georeliefs. Vorlesungen zur Allgemeinen Erdkunde. Band 1.- Nowokusnezsk, Verlag der Pädagogischen Akademie, 1995. – 108 S.
- BUTWILOWSKI u.a, 1995:** (Бутвиловский В.В., Пономарева Е.А., Бутвиловская Т.В. Картирование четвертичных континентальных отложений - морфостратиграфический подход.// Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской области. Сборник материалов к научно-практической конференции. - Новокузнецк, 1995. С. 128—130.) - in Deutsch: Kartierung der kontinentalen Quartärablage-

- rungen – morphostratigraphischer Ansatz. Im Buch: Neue Angaben von der Geologie und Bodenschätzen des westlichen Teils des Altai-Sajan-Gebietes. – Nowokusnezsk: 1955. – S. 128-130.
- BUTWIŁOWSKI, u.a. 1996:** (Бутвиловский В.В., Бутвиловская Т.В., Аввакумов А.Е. Структура, история развития рельефа, четвертичные отложения и россыпеобразование Горного Алтая. Отчет о работе Региональной партии „Составление геоморфологической карты Горного Алтая в масштабе 1:500000 (Листы М- 45, 44; N- 45), выполненных в период 1989 - 1996 годов“. Новокузнецк, 1996. В 7 томах, 1850 стр., 250 рис., 320 табл., 84 текст. прил., 15 карт, 20 разрезов-профилей.) - in Deutsch: Struktur und Entwicklungsgeschichte des Georeliefs, Quartärlagerungen und Seifenlagerstättenbildung im Altaigebirge. Bericht zum Thema: Geomorphologische Kartierung des Altaigebirges im Maßstab 1:500000 (Blatt M-45, 44, N-45), durchgeführt von 1989 bis 1996. in 7 Bänden. – Nowokusnezsk: 1996. – 1850 S., 250 Abb., 320 Tab. 15 Karten, 20 geol. Einschnitte.
- BUTWIŁOWSKI, W. (1998):** Geomorphologische Kartierung: neuer Ansatz - neue Ergebnisse. Diskussionsbeiträge zur Kartosemiotik und zur Theorie der Kartographie. Dresden. Heft 2. - S. 7 – 22. 4 Abb.
- BUTWIŁOWSKI, W. (2000):** Über kartographischen Ansatz in Geowissenschaften: Überlegung des Kartennutzers. - Diskussionsbeiträge zur Kartosemiotik und zur Theorie der Kartographie. Dresden. Heft 3. - S. 6- 15.
- BUTWIŁOWSKI, W. (2001):** Abschlußbericht zu dem DFG-Forschungsprojekt "Theorie der Geomorphologie und geomorphologischer Kartierung: Neue Ansätze, Lösungen, optimierte Methoden - Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel des Altaigebirges". Technische Universität Dresden, Institut für Geographie. 650 S., 120 Abb., 20 Tab., 18 Karten.
- BUTWIŁOWSKI, W. (2002):** Über theoretischen Grundlagen der geomorphologischen Kartierung. Trierer Geographische Studien. Heft 25. S. 177 – 190. Trier.
- BUTWIŁOWSKI & PRECHTEL, 2004:** (Бутвиловский В.В., Прехтель. Геофазеты как формальная основа анализа георельефа и геоморфологического картирования в среде ГИС. В кн.: Рельефообразующие процессы: Теория, практика, методы исследования. – XXVIII пленум Геоморфологической комиссии РАН. - Новосибирск, ИГ СО РАН, 20-24 сентября 2004. С. 48-51. – in Deutsch: Geofazetten als formale Grundlage der Georeliefanalyse und der geomorphologischen Kartierung im GIS-Medium. Im Buch: Reliefbildende Prozesse: Theorie, Praxis, Forschungsmethoden. XXVIII Plenum der Geomorphologischen Kommission der Akademie der Wissenschaften Russischer Föderation. - Nowosibirsk, IG SO RAN, 2004. S. 48-51.
- CAREY, 1991:** (Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. История догм в науках о Земле: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 447 с.) - in Deutsch: Nach der Suche von Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung der Erde und des Weltalls. Geschichte der Dogmatik in den Geowissenschaften./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Mir“, 1991. – 447 S.
- CHWOROSTOWA, 1989:** (Хворостова З.М. Геоморфологическое картирование как средство изучения рельефа. -Современный рельеф. Понятие, цели и методы изучения. Новосибирск: Наука, 1989. 156 с.) - in Deutsch: Geomorphologische Kartierung als Mittel der Georeliefforschung. Im Buch: Gegenwärtiges Relief. Begriffe, Ziele und Forschungsmethoden. – Nowosibirsk: Nauka, 1989. – 156 S.
- CORBEL, J. 1964:** L'érosion terrestre, étude quantitative. - Ann. géogr., 1964, N 398.
- DAISON, 1966:** (Дайсон Дж.Л. В мире льда. Пер. с англ. — Л.: Гидрометиздат. —1966. —232 с. ) - in Deutsch: Die Welt des Eises./ Übersetzung aus engl. – Leningrad: Verlag „Gidrometizdat“, 1966. – 232 S.
- DAVIS, W.-H. (1898):** Physical Geography.- Boston.
- DAVIS, 1962:** (Дэвис В.М. Геоморфологические очерки: Пер. С англ. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1962. 455 с.) - in Deutsch: Geomorphologische Übersicht./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Inostrannaja literatura“, 1962. – 455 S.
- DEDKOW & MOSSHERRIN, 1981:** (Дедков А.П., Мозжерин В.И. Механическая денудация гор Субарктики и умеренного пояса - Геоморфология, 1981, № 2. С. 14-22.) – in Deutsch: Mechanische Denudation des Gebirges in polaren und gemäßigten Zonen. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1981, Nr. 2. – S. 14 - 22.
- DEDKOW, 1992:** (Дедков А.П. Климат и морфогенез. //Симметрия рельефа. — М.: Наука, 1992. С. 187- 198). - in Deutsch: Das Klima und die Morphogenese. Im Buch: Symmetrie des Georeliefs. – Moskau: Nauka, 1992. – S. 187-198.
- DEMEK, J. (Hg.) 1976:** Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung. - IGU-Kommission für geomorphologische Forschung und Kartierung. S. 1-463. Wien.
- Dtv-Lexikon in 20 Bänden (1997). F.A. Brockhaus GmbH, Mannheim und Deutscher Taschenbuch Verlag, München.
- EDELSTEIN, 1947** (Эдельштейн Я.С. Основы геоморфологии. М.-Л.: Госгеолиздат, 1947. 399 с.) - in Deutsch: Grundlagen der Geomorphologie. Moskau-Leningrad: Verlag „Gosgeoltehisdat“, 1947. – 399 S.
- EFREMOW, 1949:** (Ефремов Ю.К. Опыт морфографической классификации элементов и простых форм рельефа. – В сб.: Вопросы географии, вып. 11. М.: Географгиз, 1949. С. 14-27.) - in Deutsch: Entwurf der morphographischen Klassifikation von Elementen und einfachen Formen des Georeliefs. Im Buch: Fragen der Geographie, Nr. 11. Moskau: Verlag „Geografgis“, 1949. S. 14-27.
- EMELJANOWA, 1972:** (Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 289 с.) - in Deutsch: Hauptgesetzmäßigkeiten der Rutschungsprozesse. Moskau: Nedra, 1972. – 289 S.
- EPSTEIN, 1970:** (Эпштейн С.В. Геоморфология, палеогеография, палеогеоморфология. В сб.: Проблемы

- палеогеоморфологии. М.: Наука, 1970. С. 57-66.) - in Deutsch: Geomorphologie, Paläogeographie, Paläogeomorphologie. Im Buch: Probleme der Paläogeomorphologie. Moskau: Verlag „Nauka“, 1970. S. 57-66.
- ERMOLOW, 1964:** (ЕРМОЛОВ В.В. Генетические однородные поверхности в геоморфологическом картировании. Институт Географии Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1964. 41 с.) - in Deutsch: Genetisch homogene Oberflächen als Kartierungsobjekte in der Geomorphologie. Moskau: Institut für Geographie Sibiriens und Fernen Ostens, 1964. 41 S.
- EROFEEV, ZECHOWSKI, 1982:** (Парагенетические ассоциации континентальных отложений. М.: Наука, 1982. 211 с.) - in Deutsch: Paragenetische Assoziationen kontinentaler Sedimente. Moskau: Verlag „Nauka“, 1982. - 211 S.
- FJODOROW, 1989:** (Федоров Б.Г. Земная поверхность и проблемы планетарной геодинамики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 216 с.) - in Deutsch: Die Erdoberfläche und Probleme der planetaren Geodynamik. Leningrad: Verlag „LGU“, 1989. - 216 S.
- FIEDLER, H., HOFFMAN, FR., & SCHMIEDEL, H. (1964):** Die Untersuchung der Böden. Band 1. Dresden und Leipzig. Verlag Theodor Steinkopf, 1964. 253 S.
- FILATOW & LOSKUTOW, 1976:** (Филатов В.Ф., Лоскутов Ю.И., Кузнецова Г.Ф. История формирования рельефа западной окраины Сибирской платформы и Енисейского кряжа.- Новосибирск: Зап.-Сиб. книжн. изд-во, 1976. - 87 с.) - in Deutsch: Entwicklungsgeschichte des Georeliefs des westlichen Randes von Sibirischen Platte und Jenisejgebirge. Nowosibirsk: Westsibirischer Bücherverlag, 1976. 87 S.
- FLORENSOW, 1971:** (Флоренсов Н.А. О геоморфологических формациях. - Геоморфология, 1971, № 2. С. 3-11) – in Deutsch: Über geomorphologische Formationen. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1971, Nr. 2. – S. 3-11.
- FLORENSOW, 1978:** (Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 238 с. ) - in Deutsch: Übersicht der Strukturgeomorphologie. – Moskau: Verlag „Nauka“, 1978. – 238 S.
- GELLERT, J.F. (1990)** Verebnungsflächen und Gebirgsstockwerke als Leithorizonte der regionalen Morphochronologie und Morphotektonik - an Beispielen aus Afrika, dem Kaukasus und Europa. - Zeitschrift f. Geomorphologie. Neue Folge. - 1990. - 34, № 3. С. 335-353.
- Geologische Körper, 1986;** (Геологические тела. М.: Недра, 1986. 345 с.) - in Deutsch: Geologische Körper. – Moskau: Verlag „Nedra“, 1986. – 345 S.
- Geologisches Wörterbuch, 1978:** (Геологический словарь в 2 х томах. Изд е 2 е, исправл. — М. Недра, 1978.) - in Deutsch: Geologisches Wörterbuch; in 2 Bänden, zweite, korrigierte Ausgabe. – Moskau: Verlag „Nedra“, 1978.
- GERASIMOW, 1946:** (Герасимов И. П. Опыт геоморфологической интерпретации геологического строения СССР. В кн.: Проблемы физической географии. М.: Изд-во АН СССР, 1946. С. 33-46. - in Deutsch: Erfahrung der geomorphologischen Interpretation des geologischen Aufbaus der UdSSR. Im Buch: Probleme der physischen Geographie, Nr. 11. Moskau: Verlag „Akademie der Wissenschaften UdSSR“, 1946. S. 33-46.
- GERASIMOW, 1946:** (Герасимов И. П. Структурные черты земной поверхности на территории СССР и их происхождение. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 100 с. - in Deutsch: Strukturelle Gestalt der Erdoberfläche in der UdSSR und ihre Genesis. Moskau: Verlag „Akademie der Wissenschaften UdSSR“, 1959. 100 S.
- GÖBEL, P. (1978):** Vorschläge zur inhaltlichen und graphischen Gestaltung geomorphologischer Karte erläutert am Beispiel der geomorphologischen Karte 1: 25 000 Friedewald. - Rhein-Main. Forsch., 87: S. 1-149, Frankfurt/Main.
- GONTSCHAROW, 1962:** (Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков.- Л.: Гидрометиздат, 1962. —281 с.) - in Deutsch: Dynamik der Flusstströme. Leningrad: Verlag „Gidrometisdat“, 1962. - 281 S.
- GORGE, P. (Ed.) (1974):** Dictionnaire de la Geographie. Paris, 1974.
- GRATSCHOW & DANG, 1981:** (Грачев А.Ф., Данг Ван Бат. Методика определения интенсивности экзогенных процессов. В кн.: Климат, рельеф и деятельность человека. М.: Наука, 1981. С. 40-46. ) - in Deutsch: Methodik der Bestimmung von Intensität exogener Prozesse. Im Buch: Klima und menschliche Tätigkeit. Moskau: Verlag „Nauka“, 1981. S. 40-46.
- GREGORY, 1988:** (Грегори Д.К. География и географы: Физическая география. Пер. с англ.- М.: Прогресс, 1988.- 384 с.) ) - in Deutsch: Geographie und die Geographen: Physische Geographie./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Progress“, 1988. – 384 S.
- GUMILJOW, 1993:** (Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Изд-во “Мишель и К”, 1993. 328 с.) - in Deutsch: Ethnogenese und die Biosphäre der Erde. – Moskau: Verlag „Mischel & K“, 1993. – 328 S.
- HARWEY, 1974:** (Харвей Д. Научное объяснение в географии: Сокращ. Перевод с англ. - М.: Прогресс, 1974. 502 с.) - in Deutsch: Wissenschaftliche Erklärungen in der Geographie./ verkürzte Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Progress“, 1974. – 502 S.
- Hydraulik, 1980:** (Гидравлика: Учебник для с х техникумов / Н.Н. Кременецкий и др. 3 е изд., перераб. и доп.- М.: Энергия, 1980. 384 с.) - in Deutsch: Hydraulik: Lehrbuch für die Techniker/ N.N. KREMENZKIJ u.a.; dritte korrigierte und ergänzte Ausgabe. – Moskau: Verlag „Energie“, 1980. 384 S.
- IWANOWSKIJ, 1989:** (Ивановский Л.Н. Структура ведущих экзогенных процессов на региональном уровне. —География и природные ресурсы, 1989, № 4. С. 14 -20.) – in Deutsch: Die Struktur der führenden exogenen

- Prozesse auf dem regionalen Niveau. – In Zeitschrift: „Geographie und die Naturressourcen“, 1989, Nr. 4. – S. 14-20.
- JAHN A. (1954):** Balance de dénudation du versant.- Czac. Geogr., 1954, t.25.
- KEGEL, K., SPACKELER, G., RAMMLER, E. (1950):** Berg- und Aufbereitungstechnik. Band III: Geologische und technologische Grundlagen des Bergbaues. 2 Auflage. Verlag von Wilhelm Knapp. Halle (Saale). 339 S., mit 240 Abb. und 48 Tab.
- KING, L.C. (1962):** The Morphology of thr Earth. A Study and Synthetis of World Scenery. Edinburg. 699 S.
- KING, (1967):** (Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 559 с.). - in Deutsch: Morphologie der Erde./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Progress“, 1967. – 559 S.
- KLINE, 1984:** (Клайн М. Математика. Утрата определенности. - М.: Мир, 1984. 446 с. ) - in Deutsch: Die Mathematik. Verlust der Bestimmtheit./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Mir“, 1984. – 446 S.
- KLIMISCHIN, 1976:** (Климишин И.А. Астрономия наших дней. — М.: Наука, 1976.- 456 с. ) - in Deutsch: die Astronomie unserer Zeit. – Moskau: Nauka, 1976. – 456 S.
- KOSYGIN, 1974** (Косыгин Ю.А. Основы геотектоники. М.: Недра, 1974. 216 с.) - in Deutsch: Grundlagen der Geotektonik. – Moskau: Nedra, 1974. – 216 S.
- KRUT, 1978:** (Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. М. Мысль, 1978. 367 с. ) - in Deutsch: Einführung in die allgemeine Theorie der Erde. – Moskau: Mysl, 1978. – 367 S.
- KUGLER, H. (1964):** Die geomorphologische Reliefanalyse als Grundlage großmaßstäbiger geomorphologischer Kartierung. - in: Wiss. Veröff. Deut. Inst. f. Länderkunde, N. F. 21/22; Leipzig, S. 541 - 655.
- KUGLER, H. (1965):** Aufgabe, Grundsätze und methodische Wege für großmaßstabiges geomorphologisches Kartieren. - in: Pet. Mitt., 109. S. 241 - 257.
- KUGLER, H. et. al. (1980):** Allgemeine Geologie, Geomorphologie und Bodengeographie. Studienbücherei Geographie für Lehrer. - VEB Hermann Haack. Band 4. 216 S, 78 Abb., 41 Tabellen. Gotha-Leipzig. Kurs Allgemeiner Geologie, 1976: (Курс общей геологии. Л.: Недра. 1976. 535 с.)
- LASAREWITSCH, 1994:** (Лазаревич К.С. Земная поверхность и ее дискретизация. - Геоморфология, 1994, № 4. С. 19-28. ) – in Deutsch: Die Erdoberfläche und ihre Diskretisierung. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1994, Nr. 4. – S. 19-28.
- LASTOTSCHKIN, 1991:** (Ласточкин А.Н. Морфодинамическая концепция общей геоморфологии. Л. Изд-во, ЛГУ, 1991. 220 с.) - in Deutsch: Morphodynamische Konzept der allgemeinen Geomorphologie. Leningrad: Verlag „LGU“, 1991. - 220 S.
- LASTOTSCHKIN, 1995:** (Ласточкин А.Н. О новом предназначении геоморфологии в системах наук о Земле - Геоморфология, 1995, № 2. с. 32-44.) – in Deutsch: Über neue Funktion der Geomorphologie in den Geowissenschaften. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1995, Nr. 2. – S. 32-44.
- LASTOTSCHKIN & TSCHEL PANOW, 1998:** (Ласточкин А.Н., Челпанов М.Ю. Результаты совершенствования содержания и легенды морфологической карты - Геоморфология, 1998, № 2. С. 34-43. ) – in Deutsch: Die Ergebnisse der Verbesserung von Inhalt und Legende der morphologischen Karten. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1998, Nr. 2. – S. 34-43.
- LAWRUSCHIN, 1976:** (Лаврушин Ю.А. Строение и формирование основных морен материковых оледенений.- М.: Наука, 1976.- 234 с.) - in Deutsch: Der Aufbau und die Formierung der Grundmoränen kontinentaler Eisdecken. – Moskau: Nauka, 1976. – 234 S.
- LENK, H. (1990):** Kritik der kleinen Vernunft. - Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main. 167 S.:
- LESER, H. & STÄBLEIN, G. (1980):** Legende der Geomorphologischen Karte 1:25 000 - 3. Fassung im GMK-Schwerpunktprogramm. Berliner Geogr. Abh., Heft 31. S. 1-33. Berlin.
- LESER, H. (1995). Geomorphologie.- Westermann, 7 Auflage. 218 s., 59 Abb., 3 Tabellen. Braunschweig.**
- Lexikon der Geographie (2002), Bd. 2,**
- Lexikon der Geowissenschaften (2001): / Red.: Landscape GmbH- Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl., Band 4. 490 S.**
- Lexikon der schönsten Sprichwörter und Zitate.- /K. Weidenfeld (Hrsg.), Bassermann, 2001, 399 S.
- LISIZYN, (1974):** (Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 438 с.). - in Deutsch: Sedi- mentbildung in Ozeanen. – Moskau: Nauka, 1974. – 438 S.
- LJUBISTSCHEW, 1975:** (Любищев А.А. Уроки самостоятельного мышления. - Изобретатель и рационализатор, 1975, № 8. 36 с.) – in Deutsch: Unterrichtsstunden selbstständiges Denkens. – In Zeitschrift: „Erfinder und Rationalisator“, 1975, Nr. 8. – 36 S.
- Logik, 1995:** (Логика. Учебное пособие/ Автры: Гетманова А.Д. и др./ М.: Дрофа, 1995. 256 с.) - in Deutsch: Logik. Lehrbuch/ A.D. GETMANOWA u.a. – Moskau: Verlag „Drofa“, 1995. 256 S.
- LOUIS, H. & K FISCHER, K. (1979):** Allgemeine Geomorphologie. 4 Auflage. Band 1. Walter de Gruyter. Berlin, New York , 815 s., 146 Abb.
- LUPINA, 1974:** (Лупина Н.Х. Особенности метеорологического режима на большом высотном уровне в бассейне р. Актру.// гляциология Алтая. Вып. 8. Томск: Изд-во ТГУ, 1974. С. 124—132.) – in Deutsch: Besonderheiten des meteorologischen Regimes auf Höhenlagen im Einzugsgebiet Aktru. – Im Buch: „Glaziologie des Altais“, Nr. 8. Tomsk: Verlag „TGU“, 1974, – S. 124-132.

- MACHATSCHEK, F. (1951):** Terminologia geomorfologica. Tucuman, 1951.
- MAKAROWA, u.a., 1980:** (Макарова Н.В., Макаров В.И., Соловьева Л.И. О переработке древнего рельефа горных стран четвертичным оледенением - Геоморфология, 1980, № 1. С. 48-54. ) – in Deutsch: Über die Überarbeitung des alten Gebirgsreliefs durch die Quartärvergletscherung. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1980, Nr. 1. – S. 48-54.
- MALINOWSKIJ, 1990:** (Малиновский Ю.М. Недра — летопись биосферы. — М.: Недра, 1990. —159 с. ) - in Deutsch: Das Erdinnere als Informationsspeicher der Biosphäre. – Moskau: Nedra, 1990. – 159 S.
- MANNSELD, K., KAULFUß, W., GRUNEWALD, K., (1996):** Glossar der Geomorphologie. Handreichung für den Geographiestudenten (1). Dresden, 1996. 110 S.
- MÄUSBACHER, R. (1985):** Die Verwendbarkeit der geomorphologischen Karte 1: 25 000 (GMK) der Bundesrepublik Deutschland für Nachbarwissenschaften und Planung. Berliner Geographische Abhandlungen, 40. 97 S.
- MEJEN, 1989:** (Мейен С.В. Введение в теорию стратиграфии, М. Наука, 1989, 216 с. ) - in Deutsch: Einführung in die Theorie der Stratigraphie. – Moskau: Nauka, 1989. – 216 S.
- Methodische Hinweise, 1980:** (Методические указания по геоморфологическому картированию и картированию четвертичных отложений при геологосъемочных работах масштаба 1:50000. М.: Недра, 1980. 102 с.) - in Deutsch: Methodische Hinweise zur geomorphologischen Kartierung und Kartierung von Quartärsedimenten bei der geologischen Aufnahme in Maßstab 1:50 000. – Moskau: Nedra, 1980. – 102 S.
- Methoden..., 1978:** (Методы теоретической геологии. М.Недра, 1978, 335 с. ) - in Deutsch: Methoden theoretischer Geologie. – Moskau: Nedra, 1978. – 335 S.
- MICHANKOW, 1973:** (Геологическая съемка четвертичных отложений и геоморфологические исследования. Методические указания по геологической съемке масштаба 1:50000. Вып. 6. Л.: Недра, 1973. 240 с.) - in Deutsch: Geologische Aufnahme de Quartärsedimente und geomorphologische Untersuchungen. Methodische Hinweise zur geologischer Aufnahme in Maßstab 1:50 000. – Moskau: Nedra, 1973. – 240 S.
- MOLNIA B.F. (1985):** Processes on a glacier-dominated coast, Alaska // L. Geomorphol., 1985, b. 57. pp. 141-159.
- MONIN, 1977:** (Монин А.С. История климата.- Л.: Гидрометиздат, 1977.- 408 с.) - in Deutsch: Die Geschichte des Klimas. Leningrad: Verlag „Gidrometizdat“, 1977. - 408 S.
- Moränen ..., 1988:** Морены - источник гляциологической информации / под ред. В.М. Котлякова.- М.: Наука, 1988.- 236 с. - in Deutsch: Moränen als eine Quelle glaziologischer Information/ Redaktor W.M. KOTLJAKOW. – Moskau: Nauka, 1988. – 236 S.
- MOORE W.G. (1961):** A distionary of geographie. Pengium Books, 1961.
- MORDWINOW, 1940:** (Рельеф и вечная мерзлота левобережья среднего течения р. Быссы и прилегающих предгорий западного склона Туранского хребта. - В кн.: Труды Комитета по вечной мерзлоте АН СССР. Том 9. М.: 1940. С. 75-110.) – in Deutsch: Georelief und Permafrostboden im Einzugsgebiet des Flusses Byssa sowie in den beiliegenden Bereichen der westlichen Vorbergen von Turanski-Rücken. – Im Buch: „Die Werke der Komitee des Permafrostbodens von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Band 9. Moskau: 1940, – S. 75-110.
- MACHATSCHEK, F. (1951):** Terminologia geomorfologica. Tucuman, 1951.
- NALIWKIN, 1956:** (Наливкин Д.В. Учение о фациях.- М.: Изд-во АН СССР. 1956.- 393 с.) . - in Deutsch: Die Lehre über die Fazien. Moskau: Verlag „Akademie der Wissenschaften UdSSR“, 1956. 393 S.
- NESTERENKO, 1977:** (Нестеренко Г.В. Происхождение россыпных месторождений. Новосибирск: Наука, 1977. 310 с.) - in Deutsch: Die Genesis der Seifenlagerstätten. – Nowosibirsk: Nauka, 1977. – 310 S.
- NIKOLAEW, 1970:** (Николаев Н.И. Палеогеоморфология материковых платформ и быстрые тектонические движения. - В сб.: Проблемы палеогеоморфологии. М.: Наука, 1970. С. 23-38.) - in Deutsch: Paläogeomorphologie kontinentaler Platten und schnelle tektonische Bewegungen. / Im Buch: Probleme der Paläogeomorphologie. – Moskau: Nauka, 1970. – S. 23-38.
- OBYSKALOW, 1990:** (Обыскалов А.Д. Склоновая денудация высокогорья Алтая и ее значение для решения мелиоративных проблем (на примере бассейна р. Актру).//Геолого-геоморфологические аспекты водохозяйственных проблем Сибири. -Новосибирск: Наука, 1990. С. 81-84.) - in Deutsch: Hangdenudation im Hochgebirgsaltai und ihre Bedeutung für die Meliorationsprobleme (am Beispiel des Einzugsgebietes Aktru). Im Buch: Geologisch-geomorphologische Aspekte der wasserwirtschaftlichen Probleme Sibiriens. – Nowosibirsk: Nauka, 1990. – S. 81-84.
- OLLIER, 1984:** (Оллиер К. Тектоника и рельеф. Пер. с англ.- М.: Недра, 1984.- 460 с.) - in Deutsch: Tektonik und Georelief/ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Nedra“, 1984. – 460 S.
- OLLIER, 1987:** (Оллиер К. Выветривание. Пер. с англ.- М.: Недра, 1987.- 348 с.) - in Deutsch: Die Verwitterung/ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Nedra“, 1987. – 348 S.
- OSHEGOW, 1972:** (Ожегов С.И. Словарь русского языка. Издание 9-е. М.: „Сов. Энциклопедия“, 1972.) - in Deutsch: Vörterbuch russischer Sprache/ Neunte Ausgabe. – Moskau: Verlag „Sow. Enziklopedija“, 1972.
- PANOW, 1966:** (Панов Д.Г. Общая геоморфология. М.: «Высшая школа», 1966. 278 с.) - in Deutsch: Allgemeine Geomorphologie. – Moskau: Verlag „Wyschaja Schkola“, 1966. – 278 S.
- PAWLOW, 1990:** (Павлов А.Н. Квантовые принципы развития Земли —новая парадигма геологии. В кн.: Принцип развития и историзма в геологии и палеобиологии.- Новосибирск: Наука, 1990. С. 34-42.) - in



Deutsch: Quantenähnliche Prinzipien der Erdentwicklung – neue Paradigma der Geologie. Im Buch: Prinzipien der Entwicklung und der Geschichtlichkeit in der Geologie und Paläobiologie. – Nowosibirsk: Nauka, 1990. – S. 34-42.

**PENCK, W. (1924):** Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. - Engelhorn. 283 S., 67 Abb. Stuttgart.

**PENCK, 1961:** (Пенк В. Морфологический анализ. Пер с нем. М.: Географгиз, 1961. 287 с. ) - in Deutsch: Die morphologische Analyse/ Übersetzung aus deutsch. – Moskau: Verlag „Geografis“, 1961. – 287 S.

**POSDNJAKOW & TSCHERWANEW, 1990:** (Поздняков А.В., Черванев И.Г. Самоорганизация в развитии форм рельефа. М.: Наука, 1990. 204 с. ) - in Deutsch: Selbstorganisation in der Entwicklung der Georeliefformen. – Moskau: Nauka, 1990. – 204 S.

**Probleme..., 1989:** (Проблемы методологии геоморфологии. Новосибирск: Наука, 1989. 129 с.) - in Deutsch: Probleme der Methodologie der Geomorphologie. – Nowosibirsk: Nauka, 1989. – 129 S.

**Probleme..., 1988:** (Проблемы теоретической геоморфологии /Симонов Ю.Г., Тимофеев Д.А., Уфимцев Г.Ф. и др./ — М.: Наука, 1988. 256 с.) - in Deutsch: Probleme theoretischer Geomorphologie. – Moskau: Nauka, 1988. – 256 S.

**PSCHENIN, 1982:** (Пшенин Г.Н. О древности рельефа горной Ферганы. - Геоморфология - 1982, № 1. С. 80-89.) – in Deutsch: Über das Alter des Gebirges in Ferganabecken. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1982, Nr. 1. – S. 80-89.

**PSCHENIN, 1992:** (Пшенин Г.Н. Плиоцен-четвертичная история горно-долинных врезов Средней Азии и проблема их возраста - Геоморфология, 1992, № 4. С. 14-26.) – in Deutsch: Pliozän-pleistozäne Geschichte der Taleinschnitte der Gebirge Mittel Asiens und das Problem ihrer Alterbestimmung. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1992, Nr. 4. – S. 14-26.

**RASTWOROWA, 1973:** (Растворова В.А. Формирование рельефа гор.- М: Наука, 1973. 275 с.) - in Deutsch: Die Formierung des Gebirgsreliefs. – Moskau: Nauka, 1973. – 275 S.

**REINEK & SINGCH, 1980:** (Рейнек Г.Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления./Пер. с англ.- М.: Недра, 1981.- 348 с.) - in Deutsch: Bedingungen terrigener Sedimentation./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Nedra“, 1981. – 348 S.

**RESANOW, 1975:** (Резанов И.А. Образование гор.- М.: Наука, 1977.- 175 с.) - in Deutsch: Bildung der Gebirge. – Moskau: Nauka, 1977. – 175 S.

**RICE, 1980:** (Райс Р. Дж. Основы геоморфологии. Пер. с англ.- М.: Прогресс, 1980.- 574 с.) - in Deutsch: Grundlagen der Geomorphologie./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Progress“, 1980. – 574 S.

**ROMANOWSKIJ, 1985a:** (Романовский С.И. Динамические режимы осадконакопления. Циклогенез. Л.: Недра, 1985. 263 с.) - in Deutsch: Dynamische Regime der Sedimentation. Zyklagenese. – Leningrad: Verlag „Nedra“, 1985. – 263 S.

**ROMANOWSKIJ, 1985b:** (Романовский С.И. Моделирование терригенного осадконакопления - В кн.: Методология литологических исследований. Новосибирск: Наука, 1985. С. 135-147.) - in Deutsch: Modellierung terrigener Sedimentation. Im Buch: Methodologie der lithologischen Untersuchungen. – Nowosibirsk: Nauka, 1985. – S. 135-147.

**ROSHDESTWENSKIJ et al, 1970:** (Рождественский А.П., Журенко Ю.Е., Зиняхина И.К. К вопросу о предмете и методах палеогеоморфологии.- В сб.: Проблемы палеогеоморфологии. М.: Наука, 1970. С. 67-79.) - in Deutsch: Über den Gegenstand und über die Methoden der Paläogeomorphologie. Im Buch: Probleme der Paläogeomorphologie. – Moskau: Nauka, 1970. – S. 67-79.

**ROSHDESTWENSKIJ, (1988):** (Рождественский А.П. Рельеф и геоморфологическое пространство. – В кн.: Проблемы теоретической геоморфологии. М.: Наука, 1988. С. 55-59.) - in Deutsch: Relief und der geomorphologische Raum. Im Buch: Probleme theoretischer Geomorphologie. – Moskau: Nauka, 1988. – S. 55-59.

**ROSU A. (1962):** Probleme teoretice cu privire la obiectul geomorphologiei. – Natura. Ser. Geogr.-geol., 1962, N 3.

**SALIN, 1983:** (Салин Ю.С. Стратиграфическая корреляция.- М.: Недра, 1983. 157 с.) - in Deutsch: Stratigraphische Korrelation. – Moskau: Nedra, 1983. – 157 S.

**SALIN, 1989:** (Салин Ю.С. К истокам геологии. Хабаровск, 1989. 257 с.) - in Deutsch: Zu den Quellen der Geologie. – Chabarowsk: 1989. – 257 S.

**SAVIGEAR, R.A.G. (1960):** Slopes and hills in West Africa.- Zeitschrift f. Geomorphologie, Suppl. 1

**SCHANZER, 1966:** (Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. - М.: Изд-во АН СССР, 1966. 239 с. ) - in Deutsch: Auszüge aus der Lehre über genetische Typen der kontinentalen Sedimente. – Moskau: Verlag „Akademie der Wissenschaften UdSSR“, 1966. – 239 S.

**SCHANZER, 1980:** (Шанцер Е.В. Некоторые общие вопросы учения о генетических типах отложений. В кн.: Процессы континентального литогенеза. М.: Наука, 1980. С. 189-212) - in Deutsch: Einige Fragen der Lehre über die genetischen Typen der Sedimente. Im Buch: Prozesse der kontinentalen Lithogenese. – Moskau: Nauka, 1980. – S. 189-212.

**SCHARAPOW, 1989:** (Шарапов И.П. Метагеология. Некоторые проблемы. М.: Наука, 1989. 208 с.) - in Deutsch:

Metageologie. Einige Probleme. – Moskau: Nauka, 1989. – 208 S.

**SCHEIDEGGER, 1964:** (Шайдеггер А. Теоретическая геоморфология. М.: Мир, 1964. 347 с.) - in Deutsch: Theoretische Geomorphologie./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Mir“, 1961. – 347 S.

**SCHEIDEGGER (1981):** (Шайдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. Пер. с англ. - М: Недра, 1981.- 232 с.) - in Deutsch: Physikalische Aspekte der Natur Katastrophen./ Übersetzung aus engl. – Moskau: Verlag „Nedra“, 1981. – 232 S.

**SCHUMILOV, 1981:** (Шумилов Ю.В. Физико-химические и литогенетические факторы россыпеобразования. М.: Наука, 1981. 270 с. ) - in Deutsch: Physikalisch-chemische und lithogenetische Faktoren der Bildung der Seifenlagerstätten. – Moskau: Nauka, 1981. – 270 S.

**SCHWEZOW, 1971:** (Швецов П.Ф. К термодинамическим основам теории физического выветривания скальных пород.// Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 26-37.) - in Deutsch: Über die thermodynamischen Grundlagen der Theorie der physikalischen Verwitterung von Felsgesteinen. Im Buch: Fragen der ingenieur-geologischen Untersuchung der Verwitterungsschichten und -prozesse. – Moskau: Verlag MGU, 1971. – S. 26-37.

**SEMMELE A. (1996):** Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland: Grundlage, Forschungsstand, aktuelle Fragen, erörtert an ausgewählten Landschaften / 5 Auflage.- Steiner. 200 s. Stuttgart.

**SERGEEW, 1978:** (Сергеев Е.М. Инженерная геология. М. Изд-в МГУ, 1978. 384 с. ) - in Deutsch: Ingenieurgeologie. – Moskau: Verlag MGU, 1978. – 384 S.

**SHEMITSCHUSHNIKOW, 1963:** (Жемчужников Л.А. Сезонная слоистость и периодичность осадконакопления.- М.: Изд-во АН СССР, 1963.- 71 с.) - in Deutsch: Jährliche Schichtung und die Periodizität der Sedimentation. – Moskau: Verlag „Akademie der Wissenschaften UdSSR“, 1963. – 71 S.

**SIEGBURG W.** Großmaßstäbige Hangneigungs- und Hangformanalyse mittels statistischer Verfahren. Bonner Geographische Abhandlungen, Bonn, 1987, 75 Abb, 4 Tabl. 243 s.

**SIMONOW, (1972):** (Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. М.: Изд-во МГУ, 1972. 240 с.) - in Deutsch: Regionale geomorphologische Analyse. – Moskau: Verlag MGU, 1972. – 240 S.

**SIMONOW, (1988):** (Симонов Ю.Г. О предмете и методе геоморфологии. - В кн.: Проблемы теоретической геоморфологии. М.: Наука, 1988. С. 38-41). - in Deutsch: Über den Gegenstand und über die Methode der Geomorphologie. Im Buch: Probleme theoretischer Geomorphologie. – Moskau: Nauka, 1988. – S. 38-41.

**SINOWJEW, (1994):** (Зиновьев А.А. Коммунизм как реальность. 2-е издание. М.: Изд-во Центрполиграф, 1994. 480 с.) - in Deutsch: Kommunismus als Realität. – Moskau: Verlag Zentrpoligraf, 1994. – 480 S.

**SKOTARENKO, 1976:** (Скотаренко В.В. Новейшая тектоника Учуро-Майского района и некоторые вопросы анализа формы склонов: Автореферат дис. канд. географ. наук. М.: 1976. 24 с.) - in Deutsch: Neotektonik des Utschuro-Maiskij Rayons und einige Fragen der Analyse von Hangformen. Autoreferat der Promotionsdissertation im Bereich Geographie. – Moskau: 1976. – 24 S.

**SOKOLOV, 1982:** (Соколов Б.Н. Образование россыпей алмазов. Основные проблемы.- М.: Наука, 1982.- 96 с.) - in Deutsch: Bildung der Diamantenseifen: Hauptprobleme. – Moskau: Nauka, 1982. – 96 S.

**SORIN, 1977:** (Зорин Л.В. Роль гидрофизических процессов в рельефообразовании и осадконакоплении. М.: Наука. 1977. 240 с.) - in Deutsch: Die Rolle der hydrophysikalischen Prozesse in der Relief- und Sedimentbildung. – Moskau: Nauka, 1977. – 240 S.

**SPIRIDONOW, 1971:** (Спиридонов А.И. Актуальные вопросы изучения склонов - Вопросы географии, т. 85, 1971, с. 3-9). - in Deutsch: Aktuelle Fragen der Forschung der Hänge./ Im Buch „Fragen der Geographie, Band 85. Moskau: MGU, 1971. – S. 3-9.

**SPIRIDONOW, 1975:** (Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 184 с.) - in Deutsch: Geomorphologische Kartierung. – Moskau: Nedra, 1975. – 184 S.

**SPIRIDONOW, 1979:** (Спиридонов А.И. О содержании геоморфологии. - Геоморфология, 1979, № 4. С. 34-42.) – in Deutsch: Über den Inhalt der Geomorphologie. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1979, Nr. 4. – S. 34-42.

**STEPANOW & MESESCHNIKOW, 1979:** (Степанов Д.Л., Месежников М.С. Общая стратиграфия. Л.: Недра, 1979. 423 с.) - in Deutsch: Allgemeine Stratigraphie. – Leningrad: Verlag Nedra, 1979. – 423 S.

**STSCHUKIN, 1954:** (Щукин И.С. Опыт генетической классификации форм рельефа. - Вопросы географии. вып. 1. М.: Географгиз, 1946 ) - in Deutsch: Erfahrung genetischer Klassifikation der Reliefformen./ Im Buch „Fragen der Geographie, Band 1. Moskau: MGU, 1946.

**STSCHUKIN, 1964:** (Щукин И.С. Общая геоморфология. Т. 2. М.: Изд-во МГУ, 1964. 567 с. ) - in Deutsch: Allgemeine Geomorphologie. Band 2. – Moskau: Verlag MGU, 1964. – 456 S.

**SUBAKOW, 1989:** Зубаков В.А. Глобальные климатические события неогена. - Л.: Гидрометиздат, 1989. - 223 с.) - in Deutsch: Globale klimatische Ereignisse des Neogens. – Leningrad: Verlag Gidrometisdat, 1989. – 223 S.

**SWONKOWA, 1959:** (Звонкова Т.В. Изучение рельефа в практических целях. М.: Гос. Изд-во географической литературы, 1959. 304 с.) - in Deutsch: Erforschung des Georeliefs für die praktische Ziele. – Moskau: Staatlicher Verlag geographischer Literatur, 1959. – 304 S.

**SWONKOWA, 1962:** (Звонкова Т.В. Прикладная геоморфология. М.: Недра, 1962. 310 с.) - in Deutsch: Angewandte Geomorphologie. – Moskau: Nedra, 1962. – 310 S.

- Terminologie... 1977:** (Терминология общей геоморфологии /авт. Д.А.Тимофеев, Г.Ф.Уфимцев, Ф.С. Онухов Ф.С. — М.: Наука, 1977. 200 с.) - in Deutsch: Terminologie allgemeiner Geomorphologie / D.A. TIMOFEEV, G.F. UFIMZEW & F.S. ONUCHOW. — Moskau: Nauka, 1977. — 200 S.
- TIMOFEEV, 1979:** (Тимофеев Д.А. Поверхности выравнивания суши. М.: Наука, 1979, 270 с.) - in Deutsch: Rumpfflächen der Kontinente. — Moskau: Nauka, 1979. — 270 S.
- TIMOFEEV, 1981:** (Тимофеев Д.А. Старые и новые пути развития геоморфологии. - Геоморфология, 1981, № 4. С. 31-43.) – in Deutsch: Alte und neue Wege der Entwicklung der Geomorphologie. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1981, Nr. 4. – S. 31-43.
- TIMOFEEV, 1984:** (Тимофеев Д.А. Элементарные морфологические единицы как объект геоморфологического анализа - Геоморфология, 1984, № 1, с. 19-29.) – in Deutsch: Elementare geomorphologische Einheiten als Objekt geomorphologischer Analyse. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1984, Nr. 1. – S. 19-29.
- TIMOFEEV, 1992:** (Тимофеев Д.А. Геоморфологическое время и пространственно-временные соотношения в рельефе земной поверхности.- Изв.РАН. Сер.геогр. - 1992, № 4. С. 12-18.) – in Deutsch: Geomorphologische Zeit und räumlich-zeitliche Verhältnisse im Relief der Erdoberfläche. – In Zeitschrift: „Nachrichten der Akademie der Wissenschaften Russlands“, Serie „Geographie“, 1992, Nr. 4. – S. 12-18.
- TOKARSKIJ, FILOSOFOW, 1985:** (Токарский О.Г., Философов В.П. - К вопросу об определении понятия „рельеф“ - Геоморфология, 1985. № 2 с. 25-31.) – in Deutsch: Zur Frage über die Definition des Begriffes „Relief“. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1985, Nr. 2. – S. 25-31.
- TOLSTYCH & KLUKIN, 1976:** (Толстых Е.А., Клюкин А.А. Выветривание. - В кн.: Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. М.: Недра, 1976. С. 33-49.) - in Deutsch: Verwitterung. / Im Buch: Gegenwärtige geologische Prozesse an der sowjetischen Küste des Schwarzen Meers. – Moskau: Nedra, 1976. – S. 33-49.
- TRESKINSKI, 1971:** (Трескинский С.А. Горный склон как эталон откоса. - Вопросы географии, т. 85, 1971. С. 87-93. ) - in Deutsch: Gebirgshang als Muster der Neigungsfläche./ Im Buch „Fragen der Geographie, Band 85. Moskau: MGU, 1971. – S. 3-9.
- TRIKART, J. et. al. (1972):** Cartographie Geomorphologique, Travaux de la RCP 77. - Memories et Documents, NS 12: 1-267, Paris.
- TROIIZKIJ, 1967:** (Троицкий С.Л. О предмете и основных методах геоморфологии. - В кн.: Методы геоморфологических исследований. Новосибирск: Наука, 1967. С. 3-26.) - in Deutsch: Über den Gegenstand und über die Hauptmethoden der Geomorphologie. Im Buch: Methoden geomorphologischer Forschungen. – Nowosibirsk: Nauka, 1988. – S. 3-26.
- UFIMZEW, 1985;** (Уфимцев Г.Ф. О понятии „коррелятные отложения“ - Геоморфология, 1985, № 2, с.27-33.) – in Deutsch: Über den Begriff „korrelative Ablagerungen“. – In Zeitschrift: „Geomorphologie“, 1985, Nr. 2. – S. 27-33.
- UFIMZEW, 1994;** (Уфимцев Г.Ф. Очерки теоретической геоморфологии - Новосибирск: Наука, 1994. 123 с.) - in Deutsch: Übersicht theoretischer Geomorphologie. – Nowosibirsk: Nauka, 1989. – 156 S.
- USOW, 1934:** (Усов М.А. Элементы геоморфологии и геологии рыхлых отложений. Томск, 1934. 120 с.) – in Deutsch: Elemente der Geomorphologie und der Geologie lockerer Sedimente. – Tomsk: 1934. – 120 S.
- WALTER, 1982:** (Вальтер Г. Общая геоботаника. Пер. с нем.- М.: Мир, 1982.- 264 с. ) - in Deutsch: Allgemeine Geobotanik./ Übersetzung aus deutsch. – Moskau: Verlag „Mir“, 1982. – 264 S.
- WERNER, R. 1977:** Geomorphologische Kartierung 1: 25 000, erläutert am Beispiel des Blattes 5816 Königstein im Taunus. - Rhein-Main. Forsch., 86: S. 1-164, Frankfurt/Main.
- WINOGRADOW, 1980:** (Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках.- Л.: Гидрометиздат, 1980.- 201 с.) - in Deutsch: Etüden über die Murren. – Leningrad: Verlag Gidrometizdat, 1980. – 201 S.
- WORONIN & EGANOW, 1974:** (Воронин Ю.А., Еганов Э.А. Методологические вопросы применения математических методов в геологии.- Новосибирск: Наука, 1974. 86 с.) - in Deutsch: Methodologische Fragen der Anwendung mathematischer Methoden in der Geologie. – Nowosibirsk: Nauka, 1974. – 86 S.
- Wörterbuch Allgemeine Geographie (1997)** (von H. LESER, H.-D. HAAS, T. MOSIMANN, u.a): Westermann Deutscher Taschenbuch Verlag. 1037 S.
- WOSKRESENSKIJ, 1969:** (Воскресенский С.С. Склоны, их формирование и строение.- Вестник МГУ, сер. геогр., 1969, № 3. С. 18-25). – in Deutsch: Die Hänge: Ihre Bildung und Aufbau. – In Zeitschrift: „Nachrichten der MGU“, Serie „Geographie“, 1969, Nr. 3. – S. 18-25.
- WOSKRESENSKIJ, 1971:** (Воскресенский С.С. Типичные профили склонов - Вопросы географии, т. 85, 1971. С. 10-24.) - in Deutsch: Typische Hangprofile./ Im Buch „Fragen der Geographie, Band 85. Moskau: MGU, 1971. – S. 10-24.
- YOUNG A. (1970):** Concepts of equilibrium, grade and uniformity as applied to slopes.- Geogr.J. , 1970, vol. 136, p. 4
- ZÄCH , W. (1990):** Eine Analogie geometrischer und geographischer Grundbegriffe.- Ins Karlsruher Manuskripte zur Mathematischen und Theoretischen Wirtschafts- und Sozialgeographie. Heft 95. Juli 1990. 21 S.

**Anlage: allgemeinwissenschaftliche Begriffe, ihre Erklärungen und Definitionen**

Begriff – Wort (Symbol), das etwas bezeichnet

Etwas – alles, was es gibt oder geben kann (materiell und ideell)

Erklärung - für andere Subjekte verständliche Darstellung über etwas

Information - alles, was von etwas wahrgenommen und weitergeleitet werden kann

Zeichen – eine Äußerung der Information über etwas

Bedeutung - konkrete Information, die ein Zeichen (Begriff) darstellt

Wichtigkeit - Größe des Wertes oder der Notwendigkeit

Sprache - eine Gesamtheit von Zeichen, die die Information äußert und überträgt

Ganze - etwas ohne Unterteilung in Teile

Teil - etwas, das einem Ganzen angehört, jedoch kleiner als dieses ist

Eigenschaften - alles, was etwas besitzt

Element - möglichst großer Teil, innerhalb dessen bestimmte seiner Eigenschaften gleich (homogen) ist

Einheit – Menge von Elementen, die bestimmte Eigenschaften des Ganzen besitzen und darin einander gleich sind

Quantität - ein oder mehrere Teile von etwas Zahlbarem

Qualität - irgendeine seiner Quantitäten entsprechende Eigenschaft von etwas

Leere - Abwesenheit von Ganzen

Raum - etwas, ausgedrückt durch Lage und Struktur mittels gewisser Quantitäten und Qualitäten (z.B. Ausmaß, Dichte, Zustand)

Struktur - Form der Anordnung von Elementen des Ganzen

Form - wahrgenommene Gestalt von etwas, die dessen Eigenschaften und charakteristischen Raum äußert

Inhalt - Eigenschaften von etwas, die sich in seinen Formen und Entwicklungsprozessen zeigen

Zustand – Quantität und Qualität von etwas im Moment der Betrachtung

Gegenstand - etwas, was untersucht und erkannt wird

Subjekt - derjenige, der untersucht und erkennt

Ding - etwas existierendes, das man als Gegenstand annehmen darf

Menge – gewisse Quantität von etwas

Größe - Quantität von etwas Messbaren

Punkt - gedachter unendlich kleiner Teil des Raums (ohne Länge, Breite, Dicke), also das, was keine Teile hat

Linie - Teil des Raumes, jeder dessen Punkte kommt mit maximal zwei benachbarten Punkten in Berührung (hat nur die Länge)

Ausdehnung - Quantität gleicher Teile des Ganzen in irgendeiner Richtung

Richtung - Aufeinanderfolge von Punkten, die eine Geradenlinie bilden

Geradenlinie - kürzeste Verbindungsline zwischen zwei Punkten

Fläche - Raumart, jede deren Linien in jedem ihren Punkt nur zu einer Linie senkrecht ist (hat nur Länge und Breite, keine Dicke)

Volumen - Raumart, jede deren Linien in jedem ihren Punkt mindestens zu zwei Linien senkrecht ist (hat Länge, Breite und Dicke)

Höhe - Ausdehnung entgegengesetzt zur Richtung der Schwerkraft

Lage – Platz bestimmter Dinge im Raum oder in einer Reihenfolge, bestimmt durch Ausdehnungen zu anderen Dingen

Verhältnis – Lage (Menge) von etwas, bezüglich etwas anderen

Kontinuität - Beziehung von Punkten bestimmter Qualität, bei der zwischen benachbarten Punkten kein Punkt von anderer Qualität gesetzt werden kann

Diskontinuität – Gegensatz zur Kontinuität

Beziehung – Verbindung (Zusammenhalt) der Dinge zu einander

Grenze – äußere Gesamtheit von Punkten eines Raums (als Oberfläche oder Linie)

Äußeres – Raumteil, bei dem die Punkte in einer Richtung keine benachbarten Punkte dieses Raums haben

Inneres - Raumteil, bei dem jeder Punkt von allen Richtungen mit benachbarten Punkten dieses Raums umgeben ist

Realität - alles, was es wirklich gibt

Tatsache – „der Wirklichkeit entsprechende Gegebenheit“ (Deutsches Wörterbuch 1996, S. 1161)

Materie - Vielfalt des Raumes

Stoff – eine Art der Materie, besitzt Ruhemasse

Körper - abgeschlossener Stoff, besitzt seinen abgesonderten Raum

materieller Punkt - Körper, dessen Form und Ausmaße für irgendwelche Handlungen unwesentlich sind

- Zeit - etwas, das eine kontinuierliche Reihenfolge im Verhältnis früher-später äußert  
 Zeitdauer - Quantität gleicher Momente, die mit dem Verhältnis früher-später zusammenhängen  
 Moment -unendlich kleiner Teil der Zeit (Zeitpunkt)  
 Ereignis – etwas Geschehenes innerhalb einer Zeitdauer  
 Änderung - quantitativ-qualitativer Unterschied zwischen Zuständen von etwas  
 Stabilität - derselbe Zustand von etwas über einen Zeitabschnitt  
 Ruhe - dieselbe Lage von etwas bezüglich etwas anderen über einen Zeitabschnitt  
 Bewegung - Änderung der Lage von etwas über einen Zeitabschnitt  
 Wirkung - auf etwas gerichtete Bewegung (Kraft, Einfluss) innerhalb eines Zeitabschnittes  
 Kraft - etwas, das die Bewegung oder die Lage ändert oder ändern kann  
 Energie – Produkt der Masse und ihrer Bewegung  
 Masse – etwas, das eine Kraft ausüben kann  
 Einwirkung - Wirkung, die von einem auf anderes verläuft  
 Wechselwirkung - gegenseitige Wirkung von Dingen aufeinander  
 Zusammenhang - Abhängigkeit der Dinge von einander  
 Entstehung – zu sein beginnen („Geburt“) eines Dinges, seitdem es zu einem Bestandteil des Ganzen wurde  
 Entwicklung - alle möglichen Änderungen eines Dinges im Laufe seiner Existenz  
 Selbstentwicklung - Entwicklung eines Dings auf Kosten eigener Eigenschaften und Energien  
 Kinematik - Bewegungsarten von Körpern rein räumlich-zeitlich betrachtet  
 Dynamik - Quantität und Qualität der Körperbewegungen unter der Berücksichtigung auf Körper einwirkender Kräfte  
 Prozess – eine von bestimmten Kräften gerichtete Zustandabfolge von etwas  
 Funktion - quantitativ geäußelter Zusammenhang der Dinge von einander  
 Korrelation – Maß des gegenseitigen Zusammenhanges zwischen Dingen, quantitativ ausgedrückt  
 Möglichkeit - Vorhanden dessen, wodurch etwas geschehen oder existieren kann  
 Voraussetzung - etwas, das die Möglichkeit schafft, sich etwas zu verwirklichen  
 Zufall - regelloses Geschehen  
 Wahrscheinlichkeit - Realisierungsgröße der Möglichkeit  
 Ursache - etwas, was bedingt oder bewirkt  
 Faktor - etwas, das schafft oder geschaffen hat  
 Erzeugnis (Folge) - etwas Geschaffenes  
 Gegensatz - etwas, das auf umgekehrte Art und Weise geschaffen wird oder umgekehrt bedeutet
- Erscheinung - etwas „sichtbares“, wahrnehmbares  
 Empfindung - Wahrnehmung von etwas von Sinnesorganen eines Subjekts  
 Auffassung - Empfindung, Einprägung und Verständnis über etwas durch ein Subjekt  
 Verständnis - richtige Bewertung und Aneignung von etwas  
 Erkenntnis - Handlungen der Subjekte, die gestatten, Informationen über etwas zu ermitteln und aufzufassen  
 Bestimmung - genaues Erkennen und Identifizieren von etwas  
 Ergebnis – die bei Erkenntnis ermittelte Information über etwas, quantitativ und/oder qualitativ aufgefasst  
 Empirie - Erkenntnis mithilfe verschiedener mehrfacher Wiederholungen oder Überprüfungen  
 Darstellung - Äußerung von Information über etwas mit Hilfe irgendeiner Sprache  
 Einfachheit - etwas, was leichtere Auffassung von etwas und geringere Handlung bei Ausführung von etwas begünstigt  
 Gedanke - Erzeugnis vom Bewusstsein des Menschen, das eine Auffassung über etwas in irgendeiner Sprache darstellt  
 Urteil (These) - als Gedanke in irgendeiner Sprache formulierte Information (Faktum) über etwas  
 Vermutung - Urteil, dessen Wahrheit unbekannt ist  
 Meinung - Urteil, das auf intuitiver persönlicher Auffassung beruht  
 Annahme – ein zwischen Subjekten vereinbartes Auffassungsurteil über etwas  
 Schlussfolgerung - Urteil, das aus einem oder mehreren Urteilen logisch folgt  
 Prognose - begründete Schlussfolgerung über die Zukunft von etwas  
 Definition – Urteil, das gestattet, etwas zu bezeichnen und dieses etwas innerhalb anderer zu bestimmen  
 Wissen - Ergebnisse der Erkenntnis, der Wahrheit entsprechend und bestätigt durch Versuche und Praxis  
 Unwissenheit - den Subjekten noch unbekannt Information über etwas  
 Irrtum - Urteile, die als wahr aufgenommen wurden, sich jedoch nicht als solche erweisen  
 Problem - eine gewisse Unwissenheit über etwas, das geklärt oder erkannt sein sollte
- Logik – richtiges Denken: seine Gesetze und Formen sowie Methoden der Beweisführung und Widerlegung  
 Methodologie - Wissenschaft von den Methoden der Erkenntnis  
 Methode - Reihenfolge von Handlungen, die zur Lösung einer Aufgabe oder zur Erkenntnis über etwas notwendig

sind

Identität - Gleichheit der Dinge in ihren Qualitäten und Quantitäten

Konvergenz - morphologische und strukturelle Gleichheit von durch verschiedene Faktoren gebildeten Dingen

Richtigkeit – Identität der Ergebnisse bzw. Handlungen mit tatsächlichen Quantitäten bzw. Regeln

Kriterium - etwas, mit dessen Hilfe etwas bewertet oder überprüft wird

Wahrheit - Identität von dargestellten Eigenschaften eines Dings mit seinen tatsächlichen Eigenschaften

Analyse - Aussonderung und Vergleich der Elemente des Ganzen

Vergleich - Gegenüberstellung von Dingen zum Zwecke der Erkenntnis, worin sie gleich und worin sie verschieden sind

Synthese - Vereinigung der Elemente in bestimmte Gesamtheiten entsprechend irgendwelchen Eigenschaften

Faktum – richtiges Wissen über etwas, entsprechend bestimmten Genauigkeitsschranken

Fiktion - etwas, das als Faktum nicht gelten kann

Fehler - unrichtige Handlung bzw. Ergebnis

Wissenschaftliche Vorstellungen - Wissen, das formal-logisch nicht als Theorie anerkannt werden kann

Hypothese - logisch begründete Vermutung über etwas

Theorie – eine miteinander gebundene Menge richtiger Schlussfolgerungen über etwas, bestätigt durch Experimente und die Praxis

Axiom – Urteil über etwas, das aus Empirie, Intuition und Logik folgt und ohne Beweis als wahr angenommen wird

Intuition - Fähigkeit, die Wahrheit durch Gefühl zu erkennen, ohne über Fakten und Beweise zu verfügen

Experiment - Erkenntnis über etwas unter zu kontrollierenden und zu steuernden Bedingungen

Begründung - Beweis der Wahrheit oder Falschheit eines Urteils

Beweis - Feststellung der Wahrheit eines Urteils mithilfe von Argumenten (anderen wahren Urteilen)

Argument - wahres Urteil

Widerlegung - Feststellung der Falschheit eines Urteils mithilfe von Argumenten

Beweisbarkeit - Möglichkeit, etwas zu beweisen

Abstraktion - Verallgemeinerung einiger Eigenschaften von etwas, seine anderen Eigenschaften außer Acht lassend

Idealisierung – Vereinfachung einiger Eigenschaften und Beziehungen des Gegenstandes entsprechend einem Abbild

Vorausbestimmung - Fähigkeit, etwas zu tun

Gesetz - unter idealen Bedingungen stets gleicher Zusammenhang zwischen Dingen, formuliert als Schlussfolgerung

Gesetzmäßigkeit - Erscheinungsform des Gesetzes unter den nicht-idealen Bedingungen der Realität

Reihenfolge - Verhältnis, bei der sich eines nur neben einem anderen, das andere sich neben einem dritten usw. befinden oder geschehen darf

Regel - Formulierung einer Reihenfolge von Wirkungen mit dem Hinweis auf ihre unbedingte Erfüllung

Formalität - strenge Befolgung den Regeln, Mustern, Gesetzen

Norm - das, was sich am häufigsten verwirklicht oder einem festgelegten Muster entspricht

Ordnung - durch ein Gesetz geschaffene Reihenfolgen oder Verhältnisse

Zuordnung - Verhältnis, bei dem eines in etwas nicht vollständig (kleiner, weniger) ist als ein anderes

Hierarchie - Reihenfolge verschiedener Dinge, bei der einige immer den anderen untergeordnet ist

Rang - Platz bestimmter Dinge innerhalb einer Hierarchie

Skala – bestimmte Quantitäten von etwas, vom Kleinsten zum Größten (oder umgekehrt) angeordnet

Modell - etwas dem Gegenstand ähnliches und fähig, dessen Eigenschaften zu äußern

Modellieren – Ersetzen des realen Gegenstandes durch ein Modell für die Erkenntnis dieses Gegenstandes

System – ein Ding, das sich nach den Zusammenhänge und Wechselbeziehungen seiner Elemente entwickelt

Merkmal - eine Eigenschaft von etwas, die gestattet, dieses etwas genau aufzudecken und auszuzeichnen

Individuum - ein Ding aus der Menge aller, einschließlich gleicher Dinge

Klassifikation - Darstellungsform der durch exakte Merkmale unterschiedlichen Elementarten eines Gegenstandes, entsprechend festgestellten Zusammenhängen, Hierarchien und Reihenfolgen seiner Elemente aufgebaut

Taxon - Einheit der Klassifikation

Art – eine Menge von Dingen, die gleiche Form und Struktur haben

Klasse - eine Menge von Arten eines Ranges, die eine Reihenfolge von Eigenschaften des Gegenstandes bilden

Gruppe - eine Menge von Arten unterschiedlicher Ränge, die einander in bestimmten Eigenschaften ähnlich sind

**Autor:**

Wladimir Butwilowski, Priv. Doz., Dr. rer.nat. habil.,  
geb. 1956 in Russland, Dorf Naunak in Westsibirien;  
Staatsangehörigkeit – deutsch.

Wissenschaftlicher Werdegang:

Hochschulreife: 1973, Dorf Starojugino, Russland

Studium: Geographie (phys., ökonom.), Geomorphologie, Quartärgeologie, Lagerstättenkunde, Landschaftsökologie;  
Tomsker Universität, Tomsk, 1973-1978.

Diplomprüfung Universität Tomsk; Predikat „Mit Auszeichnung“.

Wissenschaftliche Tätigkeit: Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Glaziologie und Klimatologie der Universität  
Tomsk, 1978-1979;

Ingenieur-Geologe, Obergeologe bei der Staatlichen Geologischen Verwaltung Südsibiriens, Nowokusnezsk, 1979-  
1993;

Professorenvertretung, Lehrstuhl Geographie, Pädagogische Universität, Nowokusnezsk, 1993-1997.

Promotion: 1993, Dissertationsverteidigung bei der Akademie der Wissenschaften Russlands, Nowosibirsk;  
Thema: „Extreme geologische Prozesse und Naturbedingungen in glazialen und interglazialen Zyklen der  
Georeliefentwicklung im Gebirge (am Beispiel Altai)“. Note 1. Die Dissertation wurde gleichzeitig von der  
Attestatskommission (Moskau) als Habilitationsschrift anerkannt. In Deutschland (Sachsen) ist diese Dissertation  
(Diplom) ebenfalls als Habilitationsschrift anerkannt.

In Deutschland: Stipendiat der Otto-Benecke Stiftung, Wissenschaftlicher Mitarbeiter-Praktikant, Institut für  
Geographie der TU Dresden, 1997-1999; Stipendiat der DFG und wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Institut  
für Geographie der TU Dresden, Forschungsstipendium, Projekt BU 1205/1-1, 1999-2001; seit 2001 freiwillige  
Mitarbeit beim Institut für Kartographie der TU Dresden; seit 2005 als Laboringenieur und Laborant beim Leibniz  
Institut für Polymerforschung Dresden tätig.

E-mail: wladimirbutwilowski@web.de

**Kartographische Bausteine (KB)**

Veröffentlichungen des Instituts für Kartographie der TU Dresden

- KB 1: Wissenschaftliches Kolloquium „25 Jahre Hochschulausbildung in der Fachrichtung Kartographie“. 80 S., Dresden 1982. [– vergriffen –](#)
- KB 2: Stams, W.: Bibliographische Zusammenstellungen 1957 bis 1981. 47 S., Dresden 1982; 2,80 EUR.
- KB 3: Ogrissek, R.: Erkenntnistheoretische Grundlagen und Erkenntnisgewinnung in der Kartographie. 78 S., Dresden 1982. [– vergriffen –](#)
- KB 4: Hoffmann, F.: Fortschritte der Kartographie 1969 – 1982 (Sammelband ausgewählter Referate von Veröffentlichungen und Buchrezensionen). 159 S., Dresden 1982. [– vergriffen –](#)
- KB 5: Probleme der thematischen Kartographie und der Automatisierung der Kartenherstellung. Vortragsband, 96 S., Dresden 1983; 2,80 EUR.
- KB 6: Dresdener Kartographische Beiträge „E. Lehmann und K. A. Sališev zum 80. Geburtstag“. Teil I und Teil II, 145 S., Dresden 1985; 2,80 EUR.
- KB 7: Kartographiestudium an der TU Dresden. Dissertationen und Diplomarbeiten 1960-1991, 44 S., Dresden 1991; 2,80 EUR.
- KB 8: Ehren-Kolloquium Friedrich Töpfer. 231 S., Dresden 1992; 2,80 EUR.
- KB 9: Die Elbe im Kartenbild. Vermessung und Kartierung eines Stromes. Vortragsband, 154 S., Dresden 1994. [– vergriffen –](#)
- KB 10: Schwarzbach, F.: Untersuchungen zur rechnergestützten Linienglättung, Dissertation, 103 S., 10 Anlagen, Dresden 1995; 8,00 EUR.
- KB 11: Deutsche in Amerika - Die Einwanderung im Kartenbild. Kolloquiumsbeiträge und Texte zur Ausstellung (in Zusammenarbeit mit der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden), 112 S., Dresden 1995; 8,00 EUR.
- KB 12: High Mountain Remote Sensing Cartography. Proceedings of the International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, 26-28 Sept. 1990, Schladming (Austria). 150 S., Dresden 1996; 10,00 EUR.
- KB 13: Veröffentlichungen der Mitarbeiter und Lehrbeauftragten des Studienganges Kartographie an der TU Dresden 1982-1996. Hrsg. anlässlich des Festkolloquiums „40 Jahre Kartographieausbildung an der TU Dresden“, 5./6. Okto. 1997, 33 S., Dresden 1997; 5,50 EUR. [– vergriffen –](#)
- KB 14: 40 Jahre Kartographieausbildung an der Technischen Universität Dresden 1957-1997; Dresden 1998; 13,00 EUR.
- KB 15: Böhm, R.: Kartographische Reliefdarstellung mittels digitaler Bildfilterverfahren. Dissertation, 128 S., Dresden 1998; 13,00 EUR.
- KB 16: Orthaber, H.: Bilddatenorientierte atmosphärische Korrektur und Auswertung von Satellitenbildern zur Kartierung vegetationsdominierter Gebiete. Dissertation, Dresden 1999, 182 S.; 13,00 EUR.
- KB 17: Schaab, G.: Modellierung und Visualisierung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Einstrahlungsstärke mittels eines Geo-Informationssystems. Dissertation, Dresden 2000, 160 S.; 16,00 EUR. [– vergriffen –](#)
- KB 18: Buchroithner, M. F. (Hrsg.): High Mountain Cartography. Proceedings of the Second Symposium of the Commission on Mountain Cartography of the International Cartographic Association held at the Alpine Centre Rudolfshütte, Austria from 29 March to 2 April 2000. 269 S., Dresden 2000; 20,00 EUR. [ISBN 3-86005-265-9](#)
- KB 19: Koch, W. G. (Hrsg.): Theorie 2000. Vorträge des kartographischen Symposiums am 17./18. November 2000 an der TU Dresden, 130 S., 14 Anhänge, Dresden 2001; 12,00 EUR.
- KB 20: Buchroithner, M. F. (Hrsg.): Ramsau mit Dachstein-Tauern-Region – Ein geographisch-kartographischer Führer. [ISBN 3-86005-276-6](#) – **In Vorbereitung** –
- KB 21: Prechtel, N. (Hrsg.): Geoinformationssysteme – Theorie, Anwendungen und Problemlösungen. Vorträge der 7. Dresdner Sommerschule am 26./27. September 2002 an der TU Dresden, 128 S., 11 Farbtafeln, Dresden 2003; 12,00 EUR. [ISBN 3-86005-355-8](#)
- KB 22: Damoiseaux, Th.: Untersuchungen zum Einsatz von Flugzeug-InSAR in der Gebirgskartographie. Dissertation, 181 S., 205 farbige Abbildungen auf CD-Rom, Dresden 2003; 16,00 EUR. [ISBN 3-86005-377-9](#)
- KB 23: Wilfert, I. (Hrsg.): Scalable Vector Graphics (SVG) zur Internetpräsentation von Karten. Fünf Beiträge zu SVG mit drei lauffähigen Anwendungen auf CD-Rom. 172 S., 63 Abb., Dresden 2003; 12,00 EUR. [ISBN 3-86005-359-0](#) – [vergriffen –](#)
- KB 24: Das Forstliche Geoinformationssystem von Sachsen. Beiträge zur Weiterentwicklung und Nutzung. Dresden 2006. [ISBN 3-86005-382-5](#) – **In Vorbereitung** –
- KB 25: Lucht, A.: Farbmanagement für kartographische Druckerzeugnisse. 159 S., 20 Anl., mit CD-Rom, Dresden 2003; 12,00 EUR. [ISBN 3-86005-383-3](#) – [vergriffen –](#)



- KB 26: Koch, W. G. (Hrsg.): Theorie 2003. Vorträge der 8. Dresdner Sommerschule für Kartographie am 25./26. September 2003 an der TU Dresden. 195 S., mit CD-ROM, Dresden 2004; 18,00 EUR. [ISBN 3-86005-410-4](#)
- KB 27: Faby, H.: Untersuchung von kartographischen Medien und Nutzerbedürfnissen als Basis für zielgruppenorientierte touristische Internet-Anwendungen. Dissertation, 277 S., mit CD-ROM, Dresden 2004; 14,00 EUR. [ISBN 3-86005-411-2](#)
- KB 28: Buchroithner, M. F. (Hrsg.): Proceedings of the 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, 15-26 July 2002, Bishkek (Kyrgyzstan). 224 S., mit CD-ROM, Dresden 2004; 16,00 €. [ISBN 3-86005-435-X](#) – vergriffen –
- KB 29: Wild, H.: Die topographischen Karten (Ausgabe für die Volkswirtschaft) der DDR und ihre Nutzung als Grundlagenkarten. 120 S., Dresden 2004; 15,00 EUR. [ISBN 3-86005-444-9](#) – vergriffen –
- KB 30: Proceedings of the International Symposium on Cartographic Cutting-Edge Technology for Natural Hazard Management, 20-22 October 2004, Dresden (Germany). 190 S., mit CD-ROM, Dresden 2005; 15,00 EUR. [ISBN 3-86005-475-9](#)
- KB 31: Reder, J.: Entwicklung eines halbautomatisierten Verfahrens zur Detektion neuer Siedlungsflächen durch vergleichende Untersuchungen hochauflösender Satelliten- und Luftbilddaten. Dissertation, 152 S., 56 Abb., mit CD-ROM, Dresden 2006; 15,00 EUR. [ISBN 3-86005-506-2](#)
- KB 32: Butwilowski, W.: Einführung in die theoretische Geomorphologie – eine Alternativdarstellung. 170 S., mit CD-ROM, Dresden 2007; ..... EUR. [ISBN 3-86005-552-6](#)
- KB 33: Vom Militärischen- zum Sicherheitsgeowesen. Zum 75. Geburtstag von Herrn Oberst a.D. Prof. Dr. Hans-Ludwig Ewert; – **In Vorbereitung** –
- KB 34: 13. Kartographiehistorisches Colloquium und 9. Dresdner Sommerschule für Kartographie, 20. -23. September 2006 in Dresden, Vorträge und Berichte.; [ISBN 978-3-86780](#) – **In Vorbereitung** –
- KB 35: El Nabbout, Khaled: Geo-Visualization Tools for Participatory Urban Planning The Case of Tripoli, Lebanon. Dissertation, 201S., mit CD-ROM, Dresden 2007; 15,00 EUR. [ISBN 978-3-86780-010-5](#)

Alle Bände sind zu beziehen über:

Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie, 01062 Dresden;

Tel.: 0351 463 34809, Fax: 0351 463 37028, e-mail: [steffi.sharma@tu-dresden.de](mailto:steffi.sharma@tu-dresden.de)