

Frank Ahnert

Einführung in die Geomorphologie

5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit einem Beitrag von Lothar Schrott

302 Abbildungen

25 Tabellen

Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 5. Auflage 12

1 Geomorphologie

1.1	Die Beziehung zwischen Größe und Existenzdauer von Landformen	13	1.2.2	Forschungsstufen der allgemeinen und regionalen Geomorphologie . . .	15
1.2	Methodische Komponenten	15	1.3	Physikalische Zeit und historische Zeit	17
1.2.1	Allgemeine und regionale Geomorphologie	15	1.4	Das Geomorphodynamische System	20

2 Systemtheoretische Grundlagen

2.1	Das System	23	2.3.3	Prozessresponsssysteme	24
2.2	Systemkomponenten	23	2.4	Dynamisches Gleichgewicht und stationärer Zustand in geomorphologischen Prozessresponsystemen	25
2.3	Systemtypen	24			
2.3.1	Statische Systeme	24			
2.3.2	Prozesssysteme	24			

3 Endogene Prozessresponsysteme

3.1	Hypsographische Kurve und Isostasie	28	3.3.4	Alte Faltengebirge	36
3.2	Plattentektonik	31	3.3.5	Junge Faltengebirge	37
3.3	Die morphostrukturellen Großeinheiten der Kontinente	35	3.3.6	Bruchschollengebirge	38
3.3.1	Schilde	35	3.3.7	Sedimentäre Ebenen	38
3.3.2	Sedimentäre Plateaus, Tafel- und Schichtstufenländer	35	3.3.8	Große Grabenzonen	38
3.3.3	Vulkanische Plateaus	36	3.3.9	Große junge Vulkane und Vulkangebiete	39
			3.3.10	Morphostrukturtypen als Großformgenerationen	39

4 Exogene Faktoren und Systeme

4.1	Eustatische Veränderungen des Meeresniveaus	41	4.2.2	Größenfrequenz des Temperaturregimes	44
4.2	Morphoklima	42	4.2.3	Größenfrequenz des Windregimes	45
4.2.1	Größenfrequenzanalyse des Niederschlagsregimes	42	4.3	Exogene Prozessresponsysteme . . .	45

5 Gesteinsarten und ihre Eigenschaften

5.1	Element, Mineral und Gestein	47	5.3.2	Klastische Sedimentgesteine	50
5.2	Magmatische Gesteine (Plutonite und Vulkanite)	47	5.3.3	Kalkstein, Mergel und Dolomit	53
5.2.1	Typen	47	5.3.4	Andere Sedimentgesteine	55
5.2.2	Chemische und mineralogische Zusammensetzung	49	5.4	Metamorphe Gesteine	55
5.3	Sedimentgesteine	50	5.4.1	Geschieferte Metamorphite	55
5.3.1	Sedimente	50	5.4.2	Ungeschieferte Metamorphite	56
			5.4.3	Wirkungen der Kontaktmetamor- phose	57

6 Das System der Verwitterung

6.1	Die Funktionen der Verwitterung	59	6.4.1	Morphoklimatische Faktoren und Effekte in der chemischen Verwitterung	70
6.1.1	Verwitterung als Einwirkung atmosphärischer Prozesse	59	6.5	Chemische Verwitterungsreaktionen	73
6.1.2	Verwitterung als Anpassung der Gesteine an die Umweltbedin- gungen der Erdoberfläche	59	6.5.1	Lösung und Löslichkeit	73
6.1.3	Verwitterung als Aufbereitung des Gesteins für die Abtragung	60	6.5.2	Hydratation (Hydratisierung)	73
6.2	Verwitterung als Prozessrespons- system	60	6.5.3	Oxidation und Reduktion	74
6.2.1	Morphoklimatische Faktoren und ihre Effekte in der mechani- schen Verwitterung	60	6.5.4	Carbonatisierung	74
6.3	Mechanische Verwitterung und ihre Produkte	63	6.5.5	Hydrolyse und Silikatverwitterung	74
6.3.1	Körniger Zerfall	63	6.5.6	Chelatisierung	76
6.3.2	Blockzerfall	66	6.5.7	Fungale Verwitterung	76
6.3.3	Die relative Intensität von körnigem Zerfall und Blockzerfall	66	6.6	Raten und Grad der chemischen Verwitterung	76
6.3.4	Schiefriger Zerfall	67	6.7	Böden als Produkte der Verwitte- rung	78
6.3.5	Feinabschuppung (thermische Abschuppung)	68	6.7.1	Saprolith, Regolith und Boden- horizonte	78
6.3.6	Grobabschuppung (Exfoliation durch Druckentlastung)	69	6.7.2	Körnungsklassen und Bodenarten	79
6.4	Chemische Verwitterung	70	6.7.3	Bodentypen	80
			6.7.4	Bodencatenen	82
			6.7.5	Krusten und Verwitterungsrinden	83
			6.7.6	Steinlagen	85
			6.8	Der relative Anteil der mechani- schen und der chemischen Verwitte- rung in verschiedenen Morphokli- maten	86

7 Denudation I: Prozessresponsysteme der Massenbewegungen

7.1	Denudation und Erosion	89	7.2.3	Veränderlichkeit von Kohäsion und Grenzscherspannung – Fließsand und Setzungsfließen	91
7.2	Physikalische Grundlagen denuda- tiver Massenbewegungen	89	7.2.4	Viskoses Fließen	93
7.2.1	Hangneigung und Schwerkraft- wirkung	89	7.2.5	Die kritische Höhe von Böschungen	94
7.2.2	Plastisches Fließen und das Coulombsche Gesetz	90	7.3	Sturzdenudation und Rutschun- gen	94

7.3.1	Blockabstürze, Steinschlag und Schuttlawinen	95	7.4.5	Wirkung von Kammeis	107
7.3.2	Felsstürze	95	7.4.6	Splash-Kriechen und Splash	107
7.3.3	Bergsturz und Bergrutsch	96	7.4.7	Nachweise von Kriechvorgängen im Gelände	107
7.3.4	Slump (Rotations-Blockrutschung) ..	99	7.4.8	Kriechbewegungen des Schutts auf dem Mond und dem Mars	108
7.3.5	Seichte Bodenrutschungen, Schuttrutschungen und Schutttrans- port durch Schneelawinen	100	7.5	Periglaziale Denudationsprozesse . .	108
7.3.6	Muren	102	7.5.1	Periglazialgebiete	108
7.3.7	Erdfließen	103	7.5.2	Gelifluktion (periglaziale Solifluktion)	110
7.4	Kriechdenudation	105	7.5.3	Nivationsnischen und Kryoplane- tionsterrassen	113
7.4.1	Kriechen	105	7.5.4	Steinnetze und Steinstreifen	113
7.4.2	Kontinuierliches Kriechen	105	7.5.5	Eiskeilnetze	115
7.4.3	Kriechen durch Frostwechsel im Boden	105	7.5.6	Pingos, Palsas und Thufurs	117
7.4.4	Kriechen durch Quellung und Schrumpfung	106	7.5.7	Blockgletscher	118
			7.5.8	Blockströme	119

8 Denudation II: Prozessresponsysteme der Spüldenudation

8.1	Hydrologische Voraussetzungen	121	8.4	Flächenspülung, Rillen und Runsen	124
8.2	Fließgeschwindigkeit und Abfluss- rate	122	8.5	Interflow und Piping	125
8.3	Schleppkraft, Sedimenttransport und Abtragung	123	8.6	Badlands und Erdpfeiler	125
			8.7	Anthropogene Bodenerosion	128

9 Denudation III: Äolische Prozessresponsysteme

9.1	Grundlagen	132	9.3.1	Windrippeln, Decksande und Löss . .	135
9.2	Deflation und Windschliff	133	9.3.2	Dünen	137
9.3	Äolische Transport- und Akkumula- tionsformen	134			

10 Die denudative Hangentwicklung

10.1	Hänge	142	10.4.1	Hangprofilform beim Vorherrschen langsamer Massenbewegungen	148
10.2	Die Massenbilanz der Hangentwick- lung	142	10.4.2	Profilform von Spüldenudationshän- gen	149
10.3	Hangform und verwitterungsbe- schränkte und transportbeschränkte Denudation	145	10.4.3	Profilform von Hängen mit Kombi- nationen von Massenbewegung und Spüldenudation	152
10.4	Vorgangsspezifische Hangformen . .	147			

11 Hydrologische und hydraulische Grundlagen des fluvialen Systems

11.1	Das fluviale System	153	11.5.1	Die Abflussganglinie und ihre Komponenten	160
11.2	Globale Wasserbilanz und Wasser- haushalt	153	11.5.2	Abflussregime und fluviales Morphoklima	161
11.3	Komponenten des lokalen Wasser- haushalts	154	11.6	Fluviale Hydraulik	164
11.4	Grundwasser und Quellen	155	11.6.1	Laminare und turbulente Wasser- bewegung	165
11.4.1	Grundwasserbewegung	155	11.6.2	Arten des turbulenten Fließens	165
11.4.2	Quellen	156	11.6.3	Hydraulische Geometrie des Fluss- betts	166
11.5	Abflussgang, Abflussregime und fluviales Morphoklima	160			

12 Flusserosion und Flusstransport

12.1	Flussfracht	169	12.3	Abfluss und Transportrate	176
12.2	Erosion und Transport	170	12.3.1	Transportrate der Lösungsfracht . . .	176
12.2.1	Flussmechanische Grundlagen	170	12.3.2	Transportrate der Schwebfracht	176
12.2.2	Erosion verschiedener Korngrößen ..	173	12.3.3	Transportrate der Geröllfracht	177
12.2.3	Seitenerosion	175			

13 Lokale Formengestaltung des Flussbetts

13.1	Das Verhältnis von Breite zu Tiefe . .	179	13.5	Riffles und Pools	182
13.2	Felsbett und Lockermaterialbett, Resistenzstrecke und Auslastungs- strecke	180	13.6	Talböden, Flussdämme und Auelehme	184
13.3	Schotterbänke im Flussbett	180	13.7	Die Tendenz zum lokalen Gleich- gewicht im Flussbett	187
13.4	Rippeln, Dünen und Antidünen auf sandiger Flussbettsohle	181			

14 Grundrissformen des Flussbetts

14.1	Talform und Flussbettgrundriss	189	14.3.1	Freie Mäander	193
14.2	Flussverzweigungen	189	14.3.2	Talmäander	197
14.2.1	Erosionsverzweigungen im Felsbett .	189	14.4	Asymmetrie an Flussmündungen: Mündungswinkel und Mündungs- verschleppung	199
14.2.2	Breitenverzweigung	190			
14.2.3	Dammflussverzweigung	192			
14.3	Flussmäander	193			

15 Das Flusslängsprofil und seine Formung

15.1	Das Flusslängsprofil	201	15.2.2	Veränderungen der Erosionsbasis und rückschreitende Erosion, Denudation und Sedimentation	203
15.2	Erosionsbasis und Profil- entwicklung	202			
15.2.1	Erosionsbasis	202			

15.3	Gleichgewichtstendenz der Profil- entwicklung	204	15.5	Wasserfälle	207
15.4	Ursachen von Knickpunkten im Längsprofil	206	15.5.1	Niagaratyp	207
			15.5.2	Kaskadentyp	208
			15.5.3	Hängetaltyp	209

16 Flussterrassen

16.1	Arten von Terrassen	211	16.5	Ursachen der Terrassenbildung	214
16.2	Felssohlenterrassen	212	16.6	Diagnostische Bedeutung der Terrassen	217
16.3	Aufschüttungsterrassen	212			

17 Systeme der Ablagerung

17.1	Schwemmfächer	219	17.2.2	Entwicklung des Deltagrundrisses . .	224
17.1.1	Form und Entstehung	220	17.2.3	Spitzdelta	225
17.1.2	Größe, Gefälle und Wachstum	221	17.2.4	Flügeldelta	226
17.1.3	Zerschneidung und Terrassierung . .	222	17.2.5	Fingerdelta	226
17.1.4	Die geomorphologische Funktion von Schwemmfächern, Murkegeln und Schuttkegeln	223	17.2.6	Bogendelta	226
17.2	Deltas	223	17.2.7	Ästuardelta	227
17.2.1	Deltaschichtung	223	17.2.8	Alter und Verbreitung der Deltas . . .	227
			17.3	Ablagerung in langzeitlichen Senkungsgebieten	229

18 Fluss- und Talnetze

18.1	Die Änderung und Integration von Flusssystemen	231	18.2	Durchbruchstäler	233
18.1.1	Anzapfung durch seitliche Verschie- bung der Wasserscheide	231	18.3	Fluss- und Talordnungssysteme	236
18.1.2	Anzapfung durch rückschreitende Erosion des Talanfangs	232	18.4	Grundrissmuster von Fluss- und Talnetzen	239

19 Zusammenwirken von Flussarbeit und Hangentwicklung im fluvialen System

19.1	Das fluviale Prozessresponsssystem . .	242	19.5	Vergleich der Hangentwicklung im Tal der Kall (Nordeifel) mit dem theoretischen Modell	251
19.1.1	Eksystemische Energiezufuhren	242	19.6	Allgemeine Funktionalbeziehungen zwischen Relief und Denudation . . .	255
19.1.2	Formkomponenten	243	19.7	Denudationsraten an Hängen und Gipfelabtragung von Gebirgen	257
19.1.3	Materialkomponenten	244	19.8	Modelle der Reliefentwicklung mit konstanten und mit variablen Hebungsraten	258
19.1.4	Prozesskomponenten	244	19.9	Die maximal möglichen Gipfelhöhen der Gebirge	260
19.2	Verknüpfung von Prozessen mit unterschiedlichen Größenfrequenzen	245	19.10	Fluviale Landformen auf dem Mars	261
19.3	Talquerschnittsformen als Ausdruck des Prozessgefüges	247			
19.3.1	Talquerschnitte nach dem Ende fluvialer Tiefenerosion	248			
19.3.2	Asymmetrische Talquerprofile	249			
19.4	Talanfänge	249			

20 Rumpfflächen, Pedimente und Inselberge

20.1	Rumpfflächen	263	20.3	Pedimentation	267
20.1.1	Flächenbildung durch marine Abrasion	263	20.4	Rumpftreppen, zonale und azonale Inselberge	269
20.1.2	Rumpfflächen als Endstadium des Davisschen Zyklus	264	20.5	Kriterien für Rumpfflächen	271
20.1.3	Flächenbildung durch „doppelte“ Einebnung	265	20.6	Pseudo-Rumpfflächen: Obere Denudationsniveaus und Gipfel- fluren	272
20.2	Inselberge	266			

21 Strukturbedingte Formen

21.1	Struktur	274	21.4.4	Entstehungsbedingungen von Schichtstufen	283
21.2	Kluftbestimmte Formen	274	21.4.5	Formung des Stufenhangs	285
21.2.1	Kluftsyste	274	21.4.6	Frontstufe und Achterstufe	286
21.2.2	Klüfte als Faktoren der Formen- gestaltung	275	21.4.7	Zurückverlegung der Schichtstufe und Entstehung von Zeugen- bergen	286
21.3	Von Bruchstrukturen bestimmte Formen	277	21.4.8	Schichtstufenländer in Europa und Nordamerika	287
21.3.1	Bruchstrukturen	277	21.4.9	Denudationsterrassen	292
21.3.2	Bruchstufen, Bruchlinienstufen und Bruchschollengebirge	278	21.4.10	Antiklinalrücken und Schicht- kämme	295
21.4	Vom Schichtenbau bestimmte Formen	280	21.4.11	Geometrische und morphometrische Eigenschaften von Schichtstufen und Schichtkämme	297
21.4.1	Lagerungsstrukturen und Form- typen	280	21.4.12	Entwicklung von Schichtstufen im theoretischen Modell	298
21.4.2	Schichttafeln	283			
21.4.3	Formelemente des Schichtstufen- profils	283			

22 Vulkanische Landformen

22.1	Vulkanismus	301	22.2.5	Calderen	307
22.2	Oberflächenformen	302	22.2.6	Subvulkanische Strukturen	308
22.2.1	Maare	302	22.2.7	Plutone	310
22.2.2	Schlackenvulkane	303	22.2.8	Vulkaninseln, Seamounts und Guyots	310
22.2.3	Stratovulkane	304	22.3	Abtragungsvorgänge an Vulkanen	311
22.2.4	Schildvulkane	307			

23 Karstformen

23.1	Voraussetzungen	312	23.2.5	Polygonaler Karst, Cockpits, Kegel- und Turmkarst	318
23.2	Karst-Oberflächenformen	312	23.3	Karstentwicklung im Prozess- responsmodell	322
23.2.1	Trockentäler	312	23.4	Silikatkarst	325
23.2.2	Karren	313	23.5	Karsthöhlen	326
23.2.3	Dolinen und Uvalas	315			
23.2.4	Poljen	317			

24 Das glaziale System

24.1	Entstehung und Eigenschaften von Gletschereis	330	24.5.6	Paraglaziale Landformen	351
24.2	Massenbilanz von Gletschern	331	24.6	Glaziofluviale Prozesse, Ablagerungen und Formen	351
24.3	Gletschertypen	333	24.6.1	Die Arbeit glazialer Schmelzwässer	351
24.4	Glazialerosion	340	24.6.2	Kames, Kameterrassen und Oser	352
24.4.1	Detersion und Detraktion	340	24.6.3	Sander und Bändertone	353
24.4.2	Rundhöcker und Felsbecken	340	24.7	Die glaziale Serie	354
24.4.3	Kare	341	24.8	Die pleistozänen Eiszeiten	354
24.4.4	Gletschertröge	342	24.8.1	Zeitliche Gliederung und mögliche Ursachen der Eiszeiten	354
24.5	Material, Prozesse und Formen der glazialen Ablagerung	345	24.8.2	Verbreitung und räumliche Anordnung der pleistozänen Glazialformen	356
24.5.1	Moränen	345	24.8.3	Die geomorphologischen Wirkungen der Eiszeiten außerhalb der vergletscherten Gebiete	359
24.5.2	Moränen im und auf dem Gletscher	345			
24.5.3	Abgelagertes Moränenmaterial	346			
24.5.4	Moränen als Landformen	347			
24.5.5	Drumlins	349			

25 Das litorale System

25.1	Küste und Ufer	362	25.4.4	Tsunamis	376
25.2	Eustatische und tektonische Veränderungen des Meeresniveaus	362	25.4.5	Barren, Strandversetzung und Strandformen	378
25.3	Die Gezeiten und ihre geomorphologische Wirkung	363	25.4.6	Felsschorre und Kliff	380
25.3.1	Physikalische Grundlagen	363	25.5	Formassoziationen von Lockermaterial- und Ausgleichsküsten	385
25.3.2	Tidenhub, Tidenströmung und Resonanz	365	25.5.1	Nehrungen und Haken	385
25.3.3	Ästuare und Ästuararmäander	368	25.5.2	Ausgleichsküsten	387
25.3.4	Gezeitenwirkungen im Watt und in den Marschen	370	25.6	Küstenklassifikationen	387
25.4	Brandung und ihre geomorphologische Wirkung	371	25.6.1	Valentins Schema	387
25.4.1	Physikalische Grundlagen der Wellenbewegung	371	25.6.2	Strukturbedingte Küsten	388
25.4.2	Refraktion und Diffraktion	372	25.6.3	Klimatisch beeinflusste Küsten	389
25.4.3	Brandung	373	25.6.4	Glazigene Küsten	389
			25.6.5	Korallenküsten	390
			25.7	Schelf-Formen und submarine Canyons	394

26 Gelände-Arbeitsmethoden in der Geomorphologie

26.1	Traditionelle Gelände-Arbeitsmethoden	396	26.2.2	Optische Fernerkundungstechniken: Luftgestütztes und terrestrisches Laserscanning	401
26.1.1	Geomorphologische Kartierung	396	26.2.3	Globales Positionsbestimmungssystem (Global Positioning System GPS)	403
26.1.2	Die Arbeit am Aufschluss, Bohrungen und Probennahme	398	26.3	Geophysikalische Methoden	404
26.2	Neuere Gelände-Arbeitsmethoden	399	26.3.1	Refraktionsseismik	405
26.2.1	Digitale Reliefanalyse	401			

26.3.2	Geoelektrik	407	Glossar englischer Begriffe	414
26.3.3	Georadar	409	Literaturverzeichnis	417
26.3.4	Anwendungen für den Einsatz geophysikalischer Methoden	410	Quellennachweis	446
			Register	447

Vorwort zur 5. Auflage

Die fünfte Auflage behält die in der vierten Auflage geänderte und seitdem bewährte Gliederung der Kapitel bei, mit inhaltlichen Ergänzungen und Anpassungen an den gegenwärtigen internationalen Stand der Geomorphologie. Die Anzahl der fotografischen Abbildungen wurde erheblich vergrößert. Sie sind bildliche Belege und integrale Ergänzungen des Textes.

Neu hinzugekommen ist das Kapitel 26 über geomorphologische Gelände-Arbeitsmethoden. Ich habe Herrn Prof. Dr. Lothar Schrott gebeten, dieses Kapitel beizusteuern. Ich danke ihm für seinen Beitrag.

Frank Ahnert
Cambridge, August 2015