

Frank Ahnert

Einführung in die Geomorphologie

3., aktualisierte und ergänzte Auflage

235 Schwarzweißabbildungen
26 Tabellen

Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	12	3	Das geomorphodynamische Hauptssystem	37
1 Einleitung: Das Wesen der Geomorphologie	13	3.1	Definition	37
1.1 Definition und Forschungsziele ..	13	3.2	Struktur des geomorpho- dynamischen Hauptsystems	37
1.2 Landformen als Ereignisse in Raum und Zeit	14	3.3	Die Funktionalbeziehungen zwischen Relief und Denudation .	39
1.3 Die Formgrößen-Existenz- dauer-Regel	14	3.4	Prozessresponsmodell der Reliefentwicklung ohne Hebung bzw. Taleintiefung	42
1.4 Methodische Komponenten	17	3.5	Modell der Reliefentwicklung mit konstanter Hebungsrates ...	42
1.4.1 Allgemeine und regionale Geomorphologie	17	3.6	Modelle der Reliefentwicklung mit variabler Hebungsrates	44
1.4.2 Die drei Forschungsstufen der allgemeinen und regionalen Geomorphologie	17	3.7	Die maximal möglichen Höhen der Gebirge	45
1.4.3 Morphographie	18	3.8	Landformen als Ausdruck der räumlichen und zeitlichen Differenzierung geomorpholo- gischer Prozessresponsysteme .	47
1.4.4 Funktionale Geomorphologie ...	18	4	Endogene Prozess- responsysteme und ihr geomorphologischer Ausdruck	48
1.4.5 Funktional- und Kausal- beziehungen	19	4.1	Isostasie	48
1.4.6 Historisch-genetische Geomorphologie	20	4.2	Plattentektonik: Entstehung und Lageveränderungen der Kontinente und Ozeane	52
1.4.7 Physikalische Zeit und historische Zeit	21	4.3	Die morphostrukturellen Großeinheiten der Kontinente ..	55
1.4.8 Methoden der geochronolo- gischen Datierung	23	4.3.1	Schilde	55
1.5 Inhaltliche Teilgebiete	24	4.3.2	Sedimentäre Plateaus, Tafel- und Schichtstufenländer	57
1.6 Nachbar- und Hilfswissenschaften	26	4.3.3	Vulkanische Plateaus	57
2 Systemtheoretische Grundlagen	28	4.3.4	Alte Faltengebirge	58
2.1 Der Systembegriff	28	4.3.5	Junge Faltengebirge	59
2.2 Systemtypen	29	4.3.6	Bruchschollengebirge	59
2.2.1 Statische Systeme	30	4.3.7	Sedimentäre Ebenen	59
2.2.2 Prozesssysteme	30	4.3.8	Große Grabenzonen	60
2.2.3 Prozessresponsysteme	31	4.3.9	Große junge Vulkane und Vulkangebiete	60
2.2.4 Dynamisches Gleichgewicht und stationärer Zustand (steady state) in Prozessresponsystemen	31			
2.3 Die Rolle theoretischer Modelle .	34			
2.3.1 Modell und Wirklichkeit	34			
2.3.2 Theoretische Prozessrespons- modelle	35			

4.3.10	Morphostrukturtypen als Großformgenerationen	60	6.3.3.3	Unterscheidung von Kalkstein und Dolomit im Gelände	85
4.4	Vulkanismus und Plutonismus	61	6.3.4	Andere Sedimentgesteine	86
4.4.1	Maare	62	6.4	Metamorphe Gesteine	86
4.4.2	Aschenvulkane	63	6.4.1	Geschieferte Metamorphite	86
4.4.3	Stratovulkane	63	6.4.2	Ungeschieferte Metamorphite	87
4.4.4	Schildvulkane	65	6.4.3	Wirkungen der Kontaktmetamorphose	88
4.4.5	Calderen	67			
4.4.6	Subvulkanische Strukturen	67	7	Das System der Verwitterung	90
4.4.7	Plutone	68	7.1	Die drei Bedeutungen des Begriffs Verwitterung	90
5	Exogene Faktoren und Systeme	69	7.1.1	Verwitterung als physikalische und chemische Einwirkung atmosphärischer Prozesse	90
5.1	Eustatische Veränderungen des Meeresspiegels	69	7.1.2	Verwitterung als Anpassung der Gesteine an die Umweltbedingungen der Erdoberfläche	90
5.2	Das Morphoklima und seine Erfassung	70	7.1.3	Verwitterung als Aufbereitung des Gesteins für die Abtragung	91
5.2.1	Größenfrequenzanalyse des Niederschlagsregimes	70	7.2	Verwitterung als Prozessresponsionsystem	91
5.2.2	Temperatur- und Windregime	73	7.2.1	Morphoklimatische Faktoren und ihre Effekte in der mechanischen Verwitterung	92
5.3	Die Haupttypen exogener geomorphologischer Prozessresponsionsysteme	75	7.2.1.1	Thermische Effekte: Expansion und Kontraktion des Gesteins	92
5.3.1	Die Systeme der Verwitterung, der Denudation und der Hangentwicklung	75	7.2.1.2	Frostsprengung, Gefrierdrucksprengung und Frosthub	94
5.3.2	Das fluviale System	75	7.2.1.3	Salzsprengung	94
5.3.3	Das glaziale System	76	7.2.1.4	Quellung, Schrumpfung und Slaking	95
5.3.4	Das litorale System	76	7.2.1.5	Mechanische Verwitterung durch Organismen	95
5.3.5	Das äolische System	77	7.2.2	Morphoklimatische Faktoren und Effekte in der chemischen Verwitterung	95
6	Gesteinsarten und ihre Eigenschaften	78	7.2.3	Mechanische und chemische Verwitterung im theoretischen Prozessresponsionsmodell	96
6.1	Element, Mineral und Gestein	78	7.3	Prozesse der mechanischen Verwitterung und ihre Produkte	98
6.2	Erstarrungsgesteine	78	7.3.1	Körniger Zerfall	99
6.2.1	Typen	78	7.3.1.1	Differenzierender körniger Zerfall von Sandsteinen	100
6.2.2	Chemische und mineralogische Zusammensetzung	80	7.3.2	Blockzerfall	101
6.3	Sedimentgesteine	81	7.3.3	Die relative Intensität von körnigem Zerfall und Blockzerfall	102
6.3.1	Sediment	81	7.3.4	Schiefriger Zerfall	103
6.3.2	Klastische Sedimentgesteine	81	7.3.5	Feinabschuppung (Thermische Abschuppung)	104
6.3.2.1	Entstehung und Zusammensetzung	81			
6.3.2.2	Bindemittel	82			
6.3.2.3	Färbung und Schichtung	82			
6.3.3	Kalkstein, Mergel und Dolomit	84			
6.3.3.1	Entstehung und Zusammensetzung	84			
6.3.3.2	Färbung, Schichtung und Festigkeit	84			

7.3.6	Grobabschuppung (Exfoliation durch Druckentlastung)	105	8.3	Sturzdenudation und Rutschungen	128
7.4	Chemische Verwitterung	106	8.3.1	Blockabstürze	128
7.4.1	Allgemeine Faktoren	106	8.3.2	Felsstürze	129
7.4.1.1	Wasserbewegung	106	8.3.3	Bergsturz und Bergrutsch	130
7.4.1.2	Wasserqualität	106	8.3.4	Slump (Rotations-Blockrutschung)	132
7.4.1.3	Verwitterbarkeit des Materials	107	8.3.5	Schutzrutschungen und Lawinentransport	134
7.4.2	Chemische Verwitterungsreaktionen	107	8.3.6	Muren	135
7.4.2.1	Lösung und Löslichkeit	107	8.3.7	Erdfließen	137
7.4.2.2	Hydratation (Hydratisierung)	108	8.4	Kriechdenudation	138
7.4.2.3	Oxidation und Reduktion	108	8.4.1	Begriff und Unterarten	138
7.4.2.4	Carbonatisierung	109	8.4.2	Kontinuierliches Kriechen	138
7.4.2.5	Hydrolyse und Silikatverwitterung	109	8.4.3	Kriechen durch Frostwechsel im Boden	139
7.4.2.6	Chelation	110	8.4.4	Kriechen durch Quellung und Schrumpfung	140
7.4.2.7	Fungale Verwitterung	110	8.4.5	Wirkung von Kammeis	140
7.4.3	Raten und Grad der chemischen Verwitterung	111	8.4.6	Splash-Kriechen und Splash	140
7.5	Böden als Produkte der Verwitterung	112	8.4.7	Qualitative Nachweise von Kriechvorgängen im Gelände	140
7.5.1	Saprolith, Regolith und Bodenhorizonte	112	8.4.8	Kriechbewegungen des Schutts auf dem Mond und dem Mars	141
7.5.2	Körnungsklassen und Bodenarten	113	8.5	Periglaziale Denudationsprozesse	142
7.5.3	Bodentypen	114	8.5.1	Der Periglazialbegriff	142
7.5.4	Bodencatenen	117	8.5.2	Gelifluktion (periglaziale Solifluktion)	143
7.5.5	Krusten und Verwitterungsrinden	118	8.5.3	Nivationsnischen und Kryoplanationsterrassen	146
7.5.6	Steinlagen	119	8.5.4	Steinnetze und Steinstreifen	147
7.6	Der relative Anteil der mechanischen und der chemischen Verwitterung in verschiedenen Morphoklimaten	120	8.5.5	Eiskeilnetze	148
8	Prozessresponsysteme der Denudation	123	8.5.6	Pingos und Palsas	149
8.1	Grundlagen	123	8.5.7	Blockgletscher	150
8.1.1	Denudation und Erosion	123	8.5.8	Blockströme	151
8.1.2	Typen von Denudationsprozessen	123	8.5.9	Die Bedeutung des periglazialen Prozessgefüges für die Denudation	152
8.2	Physikalische Grundlagen denudativer Massenbewegungen	124	8.6	Spüldenudation	153
8.2.1	Hangneigung und Schwerkraftwirkung	124	8.6.1	Definition und hydrologische Voraussetzungen	153
8.2.2	Plastisches Fließen und das Coulomb-Gesetz	125	8.6.2	Fließgeschwindigkeit und Abflussrate	155
8.2.3	Veränderlichkeit von Kohäsion und Grenzscherspannung	126	8.6.3	Schleppkraft, Sedimenttransport und Abtragung	156
8.2.4	Viskoses Fließen	127	8.6.4	Flächenspülung, Rillen und Runsen	157
8.2.5	Die kritische Höhe von Böschungen	127	8.6.5	Interflow und Piping	158
			8.6.6	Badlands und Erdpfeiler	158
			8.7	Das äolische Prozessresponsystem	160

8.7.1	Grundvorstellungen	160	10.2	Komponenten des lokalen Wasserhaushalts	181
8.7.2	Deflation und Windschliff	161	10.3	Grundwasser und Quellen	183
8.7.3	Äolische Transport- und Akkumulationsformen	162	10.3.1	Grundwasserbewegung	183
8.7.3.1	Entstehung von Windrippeln, Decksanden und Löss	163	10.3.2	Typen von Quellen	184
8.7.3.2	Dünen	164	10.4	Abflussgang, Abflussregime und fluviales Morphoklima	188
8.8	Bestimmung von Denudationsraten	168	10.4.1	Die Abflussganglinie und ihre Komponenten	188
8.8.1	Arten der Bestimmung	168	10.4.2	Abflussregime und Kennzeichnung der Abflussschwankungen	189
8.8.2	Messung der Erniedrigung der Landoberfläche	168	10.5	Grundlagen der fluvialen Hydraulik	193
8.8.3	Erfassung des Stoffaustrags von Flusseinzugsgebieten	168	10.5.1	Laminare und turbulente Wasserbewegung	193
8.8.4	Messung des Stoffaustrags durch Spüldenudation auf Hangflächen mit Hilfe von Sedimentfallen	169	10.5.2	Arten des turbulenten Fließens	193
8.8.5	Denudationsbestimmung durch Messung der Geschwindigkeit langsamer Massenbewegungen am Hang	169	10.5.3	Hydraulische Geometrie des Flussbetts	195
8.8.6	Denudationsmessung an raschen Massenbewegungen	170			
9	Die denudative Hangentwicklung	171	11	Flusserosion und Fluss-transport	197
9.1	Hänge und beschreibende Hangklassifikation	171	11.1	Arten der Flussfracht	197
9.2	Die Massenbilanz der Hangentwicklung	172	11.2	Erosion und Transport	198
9.3	Verwitterungsbeschränkte und transportbeschränkte Denudation und ihre Beziehung zur Hangform	174	11.2.1	Flussmechanische Grundlagen	199
9.4	Vorgangsspezifische Hangformen	176	11.2.2	Erosion verschiedener Korngrößen	200
9.4.1	Grundüberlegungen	176	11.2.3	Seitenerosion	201
9.4.2	Charakteristische Hangprofilform beim Vorherrschen langsamer Massenbewegungen	176	11.3	Abfluss und Transportrate	202
9.4.3	Charakteristische Profilform von Spüldenudationshängen	177	11.3.1	Transportrate der Lösungsfracht	202
9.4.4	Charakteristische Profilform für Kombinationen von Massenbewegungen und Spüldenudation	180	11.3.2	Transportrate der Schwebfracht	202
10	Hydrologische und hydraulische Grundlagen des fluvialen Systems	181	11.3.3	Transportrate der Geröllfracht	204
10.1	Globale Wasserbilanz und Wasserhaushalt	181	12	Die lokale Formengestaltung des Flussbetts	206
			12.1	Das Verhältnis von Breite zu Tiefe	206
			12.2	Felsbett und Lockermaterialbett, Resistenzstrecke und Auslastungsstrecke	206
			12.3	Schotterbänke im Flussbett	207
			12.4	Rippeln, Dünen und Antidünen auf sandiger Flussbettsohle	208
			12.5	Riffles und Pools	209
			12.6	Talböden, Flussdämme und Auelehme	212
			12.7	Die Tendenz zum lokalen dynamischen Gleichgewicht im Flussbett	214

13 Grundrissformen des Flussbetts	217	16.1.2 Größe, Gefälle und Wachstum ..	252
13.1 Talform und Flussbettgrundriss ..	217	16.1.3 Zerschneidung und Terrassierung	253
13.2 Flussverzweigungen	217	16.2 Deltas	254
13.2.1 Erosionsverzweigungen im Felsbett	218	16.2.1 Deltaschichtung	254
13.2.2 Breitenverzweigung	218	16.2.2 Entwicklung des Delta-Grundrisses	255
13.2.3 Dammflussverzweigung	220	16.2.3 Spitzdelta	256
13.3 Flussmäander	222	16.2.4 Flügeldelta	257
13.3.1 Freie Mäander	222	16.2.5 Fingerdelta	257
13.3.2 Talmäander	226	16.2.6 Bogendelta	257
13.3.3 Andere Arten von asymmetrischen Tälern	229	16.2.7 Ästuardelta	258
13.4 Asymmetrie an Flussmündungen: Mündungswinkel und Mündungsverschleppung	229	16.2.8 Alter und Verbreitung der Deltas	259
14 Das Flusslängsprofil und seine Formung	230	17 Fluss- und Talnetze	261
14.1 Definition und graphische Darstellung	230	17.1 Die Änderung und Integration von Flusssystemen	261
14.2 Erosionsbasis und Profilentwicklung	232	17.1.1 Anzapfung durch seitliche Verschiebung der Wasserscheide ..	261
14.2.1 Erosionsbasis	232	17.1.2 Anzapfung durch rückschreitende Erosion des Talanfangs	262
14.2.2 Veränderungen der Erosionsbasis und rückschreitende Erosion, Denudation und Sedimentation	232	17.2 Durchbruchstäler	263
14.3 Gleichgewichtstendenz der Profilentwicklung	234	17.3 Fluss- und Talordnungssysteme ..	267
14.4 Ursachen von Knickpunkten im Längsprofil	236	17.4 Grundrissmuster von Fluss- und Talnetzen	270
14.5 Wasserfälle	237	18 Zusammenwirken von Flussarbeit und Hangentwicklung im fluvialen System	273
14.5.1 Niagaratyp	237	18.1 Das fluviale Prozessresponsystem	273
14.5.2 Kaskadentyp	238	18.1.1 Eksystemische Energiezufuhren	273
14.5.3 Hängetalyp	240	18.1.2 Formkomponenten	274
15 Flussterrassen	242	18.1.3 Materialkomponenten	275
15.1 Felssohlenterrassen	243	18.1.4 Prozesskomponenten	275
15.2 Aufschüttungsterrassen	243	18.1.5 Anmerkungen zum Unterschied zwischen der Kontinuität natürlicher Prozessresponsysteme und ihrer diskontinuierlichen Darstellung	276
15.3 Lage und Erhaltung der Terrassen im Flusstal	244	18.2 Verknüpfung von Prozessen mit unterschiedlichen Größenfrequenzen	276
15.4 Ursachen der Terrassenbildung ..	245	18.3 Talquerschnittsformen als Ausdruck des Prozessgefüges ..	279
15.5 Diagnostische Bedeutung der Terrassen	248	18.3.1 Zwei theoretische Modellbeispiele	281
16 Schwemmfächer und Deltas	250		
16.1 Schwemmfächer	250		
16.1.1 Form und Entstehung	251		

18.3.2	Vergleich der Hangentwicklung im Tal der Kall (Nordeifel) mit dem theoretischen Modell	284	20.3.8.2	Andere Schichtstufenländer in Europa und Nordamerika	322
18.3.3	Talquerschnitte nach dem Ende fluvialer Tiefenerosion	288	20.3.9	Denudationsterrassen	323
18.4	Typen von Talanfängen	288	20.3.10	Schichtkämme	327
19	Rumpfflächen, Pedimente und Inselberge	291	20.3.11	Geometrische und morphometrische Eigenschaften von Schichtstufen und Schichtkämmen	328
19.1	Flächenbildung durch marine Abrasion	292	20.3.12	Entwicklung von Schichtstufen im theoretischen Modell	330
19.2	Rumpfflächen als Endstadium des DAVISSchen Zyklus	293	21	Karstformen	332
19.3	Flächenbildung und Inselbergentwicklung durch „doppelte Einebnung“	294	21.1	Voraussetzungen	332
19.4	Pedimentation	296	21.2	Karst-Oberflächenformen	333
19.5	Rumpftreppen, zonale und azonale Inselberge	298	21.2.1	Trockentäler	333
19.6	Kriterien für Rumpfflächen und Pseudo-Rumpfflächen	300	21.2.2	Karren	333
20	Strukturbedingte Formen	303	21.2.3	Dolinen und Uvalas	335
20.1	Kluftbestimmte Formen	303	21.2.4	Poljen	337
20.1.1	Kluftsyste me	303	21.2.5	Extremformen der Karstentwicklung: Polygonaler Karst, Cockpits, Kegel- und Turmkarst	338
20.1.2	Klüfte als Faktoren der Formengestaltung	305	21.2.6	Karstentwicklung im theoretischen Prozessrespon smodell	343
20.2	Von Bruchstrukturen bestimmte Formen	306	21.2.7	Silikatkarst	347
20.2.1	Bruchstrukturen	306	21.3	Karsthöhlen	348
20.2.2	Bruchstufen, Bruchlinienstufen und Bruchschollengebirge	308	22	Das glaziale System	351
20.3	Vom Schichtenbau bestimmte Formen	310	22.1	Entstehung und Eigenschaften von Gletschereis	351
20.3.1	Lagerungsstrukturen und Formtypen	310	22.2	Massenbilanz von Gletschern	352
20.3.2	Schichttafeln	312	22.3	Gletschertypen	355
20.3.3	Formelemente des Schichtstufenprofils	313	22.4	Glazialerosion: Prozesse und Formen	360
20.3.4	Entstehungsbedingungen von Schichtstufen	313	22.4.1	Detersion und Detraktion	360
20.3.5	Formung des Stufenhangs	315	22.4.2	Rundhöcker und Felsbecken	360
20.3.6	Frontstufe und Achterstufe	316	22.4.3	Kare	361
20.3.7	Zurückverlegung der Schichtstufe und Entstehung von Zeugenbergen	316	22.4.4	Gletschertröge	362
20.3.8	Schichtstufenländer	317	22.5	Material, Prozesse und Formen der glazialen Ablagerung	364
20.3.8.1	Ein Beispiel: das Süddeutsche Schichtstufenland	317	22.5.1	Der Moränenbegriff	364
			22.5.2	Moränen im und auf dem Gletscher	364
			22.5.3	Abgelagertes Moränenmaterial	365
			22.5.4	Moränen als Landformen	366
			22.5.5	Drumlins	367
			22.6	Glaziofluviale Prozesse, Ablagerungen und Formen	369
			22.6.1	Die Arbeit glazialer Schmelzwässer	369

22.6.2	Kames, Kameterrassen und Oser	370	23.4.6	Felsschorre und Kliff	404
22.6.3	Sander und Bändertone	371	23.5	Formassoziationen vom Lockermaterial- und Ausgleichsküsten	408
22.7	Die glaziale Serie	372	23.5.1	Nehrungen und Haken	408
22.8	Die pleistozänen Eiszeiten und ihre geomorphologische Bedeutung	373	23.5.2	Lokale Massenbilanz von Nehrungen	410
22.8.1	Zeitliche Gliederung und mögliche Ursachen der Eiszeiten	373	23.5.3	Ausgleichsküsten	411
22.8.2	Verbreitung und räumliche Anordnung der pleistozänen Glazialformen	375	23.6	Strukturbedingte Küstentypen	411
22.8.3	Die geomorphologischen Wirkungen der Eiszeiten außerhalb der vergletscherten Gebiete	378	23.7	Klimatisch bedingte Küstentypen	413
23	Das litorale System	381	23.7.1	Glazigene Küsten	413
23.1	Einführung: Küste und Ufer	381	23.7.2	Korallenküsten	415
23.1.1	Wie lang sind Küsten?	382	23.8	Schelf-Formen und submarine Canyons	418
23.1.2	Wesentliche Formkomponenten des Küstenprofils: die litorale Serie	383	24	Aspekte der angewandten Geomorphologie	420
23.2	Küstenklassifikationen	384	24.1	Einleitung	420
23.3	Die Gezeiten und ihre geomorphologische Wirkung	387	24.2	Gliederung der angewandten Geomorphologie nach Inhalt und Zweck	421
23.3.1	Physikalische Grundlagen	387	24.3	Raumgliederung und Kartierung	422
23.3.2	Tidenhub, Tidenströmung und Resonanz	389	24.4	Beispiele von funktional-morphologischen Anwendungen	425
23.3.3	Ästuare und Ästuarmäander	391	24.4.1	Verwitterung an Bauwerken	425
23.3.4	Gezeitenwirkung im Watt und in den Marschen	394	24.4.2	Bodenerosion	426
23.4	Brandung und ihre geomorphologische Wirkung	395	24.4.3	Andere Anwendungen	430
23.4.1	Physikalische Grundlagen der Wellenbewegung	395	24.5	Angewandte Geomorphologie als Berufsfeld	436
23.4.2	Refraktion	396	25	Kurzer wissenschafts-historischer Rückblick	438
23.4.3	Brandung	397	Literaturverzeichnis	442	
23.4.4	Tsunamis	399	Bildquellen	464	
23.4.5	Barren, Strandversetzung und Strandformen	400	Sachregister	465	