

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	12
----------------------	----

<b>1 Einleitung: Das Wesen der Geomorphologie</b> .....	13
---	----

1.1 Definition und Forschungsziele	13
1.2 Landformen als Ereignisse in Raum und Zeit .....	14
1.3 Die Formgrößen-Existenzdauer-Regel .....	14
1.4 Methodische Komponenten	17
1.4.1 Allgemeine und regionale Geomorphologie .....	17
1.4.2 Die drei Forschungsstufen der allgemeinen und regionalen Geomorphologie .....	17
1.4.3 Morphographie .....	18
1.4.4 Funktionale Geomorphologie	18
1.4.5 Funktional- und Kausalbeziehungen .....	19
1.4.6 Historisch-genetische Geomorphologie .....	20
1.4.7 Physikalische Zeit und historische Zeit .....	21
1.4.8 Methoden der geochronologischen Datierung .....	23
1.5 Inhaltliche Teilgebiete .....	24
1.6 Nachbar- und Hilfswissenschaften	26

<b>2 Systemtheoretische Grundlagen</b> .....	28
--	----

2.1 Der Systembegriff .....	28
2.2 Systemtypen .....	29
2.2.1 Statische Systeme .....	30
2.2.2 Prozesssysteme .....	30
2.2.3 Prozessresponsssysteme .....	31
2.2.4 Dynamisches Gleichgewicht und stationärer Zustand (steady state) in Prozessresponsssystemen	31
2.3 Die Rolle theoretischer Modelle	34
2.3.1 Modell und Wirklichkeit .....	34
2.3.2 Theoretische Prozessresponsmodelle .....	35

<b>3 Das geomorphodynamische Hauptsystem</b> .....	37
--	----

3.1 Definition .....	37
3.2 Struktur des geomorphodynamischen Hauptsystems	37
3.3 Die Funktionalbeziehungen zwischen Relief und Denudation	39
3.4 Prozessresponsmodell der Reliefentwicklung ohne Hebung bzw. Taleintiefung .....	42
3.5 Modell der Reliefentwicklung mit konstanter Hebungsrates	42
3.6 Modelle der Reliefentwicklung mit variabler Hebungsrates	44
3.7 Die maximal möglichen Höhen der Gebirge .....	45
3.8 Landformen als Ausdruck der räumlichen und zeitlichen Differenzierung geomorphologischer Prozessresponsssysteme	47

<b>4 Endogene Prozessresponsssysteme und ihr geomorphologischer Ausdruck</b> .....	48
--	----

4.1 Isostasie .....	48
4.2 Plattentektonik: Entstehung und Lageveränderungen der Kontinente und Ozeane .....	52
4.3 Die morphostrukturellen Groseinheiten der Kontinente	55
4.3.1 Schilde .....	55
4.3.2 Sedimentäre Plateaus, Tafel- und Schichtstufenländer	57
4.3.3 Vulkanische Plateaus .....	57
4.3.4 Alte Faltengebirge .....	58
4.3.5 Junge Faltengebirge .....	59
4.3.6 Bruchschollengebirge .....	59
4.3.7 Sedimentäre Ebenen .....	59
4.3.8 Große Grabenzonen .....	60
4.3.9 Große junge Vulkane und Vulkangebiete .....	60

4.3.10	Morphostrukturtypen als Großformgenerationen .....	60
4.4	Vulkanismus und Plutonismus ..	61
4.4.1	Maare .....	62
4.4.2	Aschenvulkane .....	63
4.4.3	Stratovulkane .....	63
4.4.4	Schildvulkane .....	65
4.4.5	Calderen .....	67
4.4.6	Subvulkanische Strukturen .....	67
4.4.7	Plutone .....	68

## 5 Exogene Faktoren und Systeme .....

5.1	Eustatische Veränderungen des Meeresniveaus .....	69
5.2	Das Morphoklima und seine Erfassung .....	70
5.2.1	Größenfrequenzanalyse des Niederschlagsregimes .....	70
5.2.2	Temperatur- und Windregime ..	73
5.3	Die Haupttypen exogener geomorphologischer Prozessresponsysteme .....	75
5.3.1	Die Systeme der Verwitterung, der Denudation und der Hangentwicklung .....	75
5.3.2	Das fluviatile System .....	75
5.3.3	Das glaziale System .....	76
5.3.4	Das litorale System .....	76
5.3.5	Das äolische System .....	77

## 6 Gesteinsarten und ihre Eigenschaften .....

6.1	Element, Mineral und Gestein ..	78
6.2	Erstarrungsgesteine .....	78
6.2.1	Typen .....	78
6.2.2	Chemische und mineralogische Zusammensetzung .....	80
6.3	Sedimentgesteine .....	81
6.3.1	Sediment .....	81
6.3.2	Klastische Sedimentgesteine ..	81
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

6.3.3.3	Unterscheidung von Kalkstein und Dolomit im Gelände .....	85
6.3.4	Andere Sedimentgesteine .....	86
6.4	Metamorphe Gesteine .....	86
6.4.1	Geschieferte Metamorphite .....	86
6.4.2	Ungeschieferte Metamorphite ..	87
6.4.3	Wirkungen der Kontaktmetamorphose .....	88

## 7 Das System der Verwitterung .....

7.1	Die drei Bedeutungen des Begriffs Verwitterung .....	90
7.1.1	Verwitterung als physikalische und chemische Einwirkung atmosphärischer Prozesse .....	90
7.1.2	Verwitterung als Anpassung der Gesteine an die Umweltbedingungen der Erdoberfläche ..	90
7.1.3	Verwitterung als Aufbereitung des Gesteins für die Abtragung ..	91
7.2	Verwitterung als Prozessresponsystem .....	91
7.2.1	Morphoklimatische Faktoren und ihre Effekte in der mechanischen Verwitterung .....	92
7.2.1.1	Thermische Effekte: Expansion und Kontraktion des Gesteins ..	92
7.2.1.2	Frostsprengung, Gefrierdrucksprengung und Frosthub .....	94
7.2.1.3	Salzsprengung .....	94
7.2.1.4	Quellung, Schrumpfung und Slaking .....	95
7.2.1.5	Mechanische Verwitterung durch Organismen .....	95
7.2.2	Morphoklimatische Faktoren und Effekte in der chemischen Verwitterung .....	95
7.2.3	Mechanische und chemische Verwitterung im theoretischen Prozessresponsmodell .....	96
7.3	Prozesse der mechanischen Verwitterung und ihre Produkte ...	98
7.3.1	Körniger Zerfall .....	99
7.3.1.1	Differenzierender körniger Zerfall von Sandsteinen .....	100
7.3.2	Blockzerfall .....	101
7.3.3	Die relative Intensität von körnigem Zerfall und Blockzerfall ..	102
7.3.4	Schiefriger Zerfall .....	103
7.3.5	Feinabschuppung (Thermische Abschuppung) ....	104

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	Schuttrutschungen 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 Kammels .....	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	<b>Prozessresponsysteme der Denudation</b> .....	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
8.7.2	Deflation und Windschliff	161
8.7.3	Äolische Transport- und Akkumulationsformen	162
8.7.3.1	Entstehung von Windrippeln, Decksanden und Löss	163
8.7.3.2	Dünen	164
8.8	Bestimmung von Denudationsraten	168
8.8.1	Arten der Bestimmung	168
8.8.2	Messung der Erniedrigung der Landoberfläche	168
8.8.3	Erfassung des Stoffaustrags von Flusseinzugsgebieten	168
8.8.4	Messung des Stoffaustrags durch Spüldenudation auf Hangflächen mit Hilfe von Sedimentfallen	169
8.8.5	Denudationsbestimmung durch Messung der Geschwindigkeit langsamer Massenbewegungen am Hang	169
8.8.6	Denudationsmessung an raschen Massenbewegungen	170
<b>9</b>	<b>Die denudative Hangentwicklung</b>	<b>171</b>
9.1	Hänge und beschreibende Hangklassifikation	171
9.2	Die Massenbilanz der Hangentwicklung	172
9.3	Verwitterungsbeschränkte und transportbeschränkte Denudation und ihre Beziehung zur Hangform	174
9.4	Vorgangsspezifische Hangformen	176
9.4.1	Grundüberlegungen	176
9.4.2	Charakteristische Hangprofilform beim Vorherrschen langsamer Massenbewegungen	176
9.4.3	Charakteristische Profilform von Spüldenudationshängen	177
9.4.4	Charakteristische Profilform für Kombinationen von Massen- bewegungen und Spül- denudation	180
<b>10</b>	<b>Hydrologische und hydraulische Grundlagen des fluvialen Systems</b>	<b>181</b>
10.1	Globale Wasserbilanz und Wasserhaushalt	181

10.2	Komponenten des lokalen Wasserhaushalts	181
10.3	Grundwasser und Quellen	183
10.3.1	Grundwasserbewegung	183
10.3.2	Typen von Quellen	184
10.4	Abflussgang, Abflussregime und fluviales Morphoklima	188
10.4.1	Die Abflussganglinie und ihre Komponenten	188
10.4.2	Abflussregime und Kenn- zeichnung der Abfluss- schwankungen	189
10.5	Grundlagen der fluvialen Hydraulik	193
10.5.1	Laminare und turbulente Wasserbewegung	193
10.5.2	Arten des turbulenten Fließens	193
10.5.3	Hydraulische Geometrie des Flussbetts	195
<b>11</b>	<b>Flusserosion und Fluss- transport</b>	<b>197</b>
11.1	Arten der Flussfracht	197
11.2	Erosion und Transport	198
11.2.1	Flussmechanische Grundlagen	199
11.2.2	Erosion verschiedener Korn- größen	200
11.2.3	Seitenerosion	201
11.3	Abfluss und Transportrate	202
11.3.1	Transportrate der Lösungs- fracht	202
11.3.2	Transportrate der Schweb- fracht	202
11.3.3	Transportrate der Geröllfracht	204
<b>12</b>	<b>Die lokale Formen- gestaltung des Flussbetts</b>	<b>206</b>
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

<b>13</b>	<b>Grundrissformen des Flussbetts</b> .....	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
<b>14</b>	<b>Das Flusslängsprofil und seine Formung</b> .....	230	<b>17</b>	<b>Fluss- und Talnetze</b> .....	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	<b>18</b>	<b>Zusammenwirken von Flussarbeit und Hangentwicklung im fluvialen System</b> .....	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
<b>15</b>	<b>Flussterrassen</b> .....	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
<b>16</b>	<b>Schwemmfächer und Deltas</b> .....	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
18.3.3	Talquerschnitte nach dem Ende fluvialer Tiefenerosion	288
18.4	Typen von Talanfängen	288

## 19 Rumpfflächen, Pedimente und Inselberge 291

19.1	Flächenbildung durch marine Abrasion	292
19.2	Rumpfflächen als Endstadium des DAVISSchen Zyklus	293
19.3	Flächenbildung und Inselbergentwicklung durch „doppelte Einebnung“	294
19.4	Pedimentation	296
19.5	Rumpftreppen, zonale und azonale Inselberge	298
19.6	Kriterien für Rumpfflächen und Pseudo-Rumpfflächen	300

## 20 Strukturbedingte Formen 303

20.1	Kluftbestimmte Formen	303
20.1.1	Kluftsysteeme	303
20.1.2	Klüfte als Faktoren der Formengestaltung	305
20.2	Von Bruchstrukturen bestimmte Formen	306
20.2.1	Bruchstrukturen	306
20.2.2	Bruchstufen, Bruchlinienstufen und Bruchschollengebirge	308
20.3	Vom Schichtenbau bestimmte Formen	310
20.3.1	Lagerungsstrukturen und Formtypen	310
20.3.2	Schichttafeln	312
20.3.3	Formelemente des Schichtstufenprofils	313
20.3.4	Entstehungsbedingungen von Schichtstufen	313
20.3.5	Formung des Stufenhangs	315
20.3.6	Frontstufe und Achterstufe	316
20.3.7	Zurückverlegung der Schichtstufe und Entstehung von Zeugenbergen	316
20.3.8	Schichtstufenländer	317
20.3.8.1	Ein Beispiel: das Süddeutsche Schichtstufenland	317

20.3.8.2	Andere Schichtstufenländer in Europa und Nordamerika	322
20.3.9	Denudationsterrassen	323
20.3.10	Schichtkämme	327
20.3.11	Geometrische und morphometrische Eigenschaften von Schichtstufen und Schichtkämmen	328
20.3.12	Entwicklung von Schichtstufen im theoretischen Modell	330

## 21 Karstformen 332

21.1	Voraussetzungen	332
21.2	Karst-Oberflächenformen	333
21.2.1	Trockentäler	333
21.2.2	Karren	333
21.2.3	Dolinen und Uvalas	335
21.2.4	Poljen	337
21.2.5	Extremformen der Karstentwicklung: Polygonaler Karst, Cockpits, Kegel- und Turmkarst	338
21.2.6	Karstentwicklung im theoretischen Prozessresponsmodell	343
21.2.7	Silikatkarst	347
21.3	Karsthöhlen	348

## 22 Das glaziale System 351

22.1	Entstehung und Eigenschaften von Gletschereis	351
22.2	Massenbilanz von Gletschern	352
22.3	Gletschertypen	355
22.4	Glazialerosion: Prozesse und Formen	360
22.4.1	Detersion und Detraktion	360
22.4.2	Rundhöcker und Felsbecken	360
22.4.3	Kare	361
22.4.4	Gletschertröge	362
22.5	Material, Prozesse und Formen der glazialen Ablagerung	364
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 Osar	370
22.6.3	Sander und Bändertone	371
22.7	Die glaziale Serie	372
22.8	Die pleistozänen Eiszeiten und ihre geomorphologische Bedeutung	373
22.8.1	Zeitliche Gliederung und mögliche Ursachen der Eiszeiten	373
22.8.2	Verbreitung und räumliche Anordnung der pleistozänen Glazialformen	375
22.8.3	Die geomorphologischen Wirkungen der Eiszeiten außerhalb der vergletscherten Gebiete	378
<b>23</b>	<b>Das litorale System</b>	<b>381</b>
23.1	Einführung: Küste und Ufer	381
23.1.1	Wie lang sind Küsten?	382
23.1.2	Wesentliche Formkomponenten des Küstenprofils: die litorale Serie	383
23.2	Küstenklassifikationen	384
23.3	Die Gezeiten und ihre geomorphologische Wirkung	387
23.3.1	Physikalische Grundlagen	387
23.3.2	Tidenhub, Tidenströmung und Resonanz	389
23.3.3	Ästuare und Ästuarmäander	391
23.3.4	Gezeitenwirkung im Watt und in den Marschen	394
23.4	Brandung und ihre geomorphologische Wirkung	395
23.4.1	Physikalische Grundlagen der Wellenbewegung	395
23.4.2	Refraktion	396
23.4.3	Brandung	397
23.4.4	Tsunamis	399
23.4.5	Barren, Strandversetzung und Strandformen	400

23.4.6	Felsschorre und Kliff	404
23.5	Formassoziationen vom Lockermaterial- und Ausgleichsküsten	408
23.5.1	Nehrungen und Haken	408
23.5.2	Lokale Massenbilanz von Nehrungen	410
23.5.3	Ausgleichsküsten	411
23.6	Strukturbedingte Küstentypen	411
23.7	Klimatisch bedingte Küstentypen	413
23.7.1	Glazigene Küsten	413
23.7.2	Korallenküsten	415
23.8	Schelf-Formen und submarine Canyons	418

## **24 Aspekte der angewandten Geomorphologie** . . . . . 420

24.1	Einleitung	420
24.2	Gliederung der angewandten Geomorphologie nach Inhalt und Zweck	421
24.3	Raumgliederung und Kartierung	422
24.4	Beispiele von funktional-morphologischen Anwendungen	425
24.4.1	Verwitterung an Bauwerken	425
24.4.2	Bodenerosion	426
24.4.3	Andere Anwendungen	430
24.5	Angewandte Geomorphologie als Berufsfeld	436

## **25 Kurzer wissenschaftshistorischer Rückblick** . . . 438

Literaturverzeichnis	442
Bildquellen	464
Sachregister	465