

# 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 Prozessresponssysteme . . . . .	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 Prozessresponssysteme

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 Großeineheiten 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 Grabenzenonen . . . . .	38
3.3.3 Vulkanische Plateaus . . . . .	36	3.3.9 Große junge Vulkane und Vulkangebiete . . . . .	39
		3.3.10 Morphemstrukturtypen 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 Prozessresponssysteme . . . . .	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 Metamorphe . . . . .	55
5.3.1	Sedimente . . . . .	50	5.4.2	Ungeschieferte Metamorphe . . . . .	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		Chemische Verwitterungsreaktionen . . . . .	73
6.1.2	Verwitterung als Anpassung der Gesteine an die Umwelbedin- gungen der Erdoberfläche . . . . .	59	6.5	Lösung und Löslichkeit . . . . .	73
6.1.3	Verwitterung als Aufbereitung des Gesteins für die Abtragung . . . . .	60	6.5.1	Hydratation (Hydratisierung) . . . . .	73
6.2	Verwitterung als Prozessrespon- sistem . . . . .	60	6.5.2	Oxidation und Reduktion . . . . .	74
6.2.1	Morphoklimatische Faktoren und ihre Effekte in der mechani- schen Verwitterung . . . . .	60	6.5.3	Carbonatisierung . . . . .	74
6.3	Mechanische Verwitterung und ihre Produkte . . . . .	63	6.5.4	Hydrolyse und Silikatverwitterung ..	74
6.3.1	Körniger Zerfall . . . . .	63	6.5.5	Chelatisierung . . . . .	76
6.3.2	Blockzerfall . . . . .	66	6.5.6	Fungale Verwitterung . . . . .	76
6.3.3	Die relative Intensität von körnigem Zerfall und Blockzerfall . . . . .	66	6.5.7	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	Bodenketten . . . . .	82
			6.7.5	Krusten und Verwitterungsringen ..	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: Prozessresponssysteme 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		Viskoses Fließen . . . . .	93
7.2.1	Hangneigung und Schwerkraft- wirkung . . . . .	89	7.2.4	Die kritische Höhe von Böschungen	94
7.2.2	Plastisches Fließen und das Coulombsche Gesetz . . . . .	90	7.2.5	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 Schutttransport 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 Kryoplantionsterrassen . . . . .	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: Prozessresponssysteme der Spüldenudation**

8.1	Hydrologische Voraussetzungen . . . . .	121	8.4	Flächenspülung, Rillen und Runsen . . . . .	124
8.2	Fließgeschwindigkeit und Abflussrate . . . . .	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 Prozessresponssysteme**

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 Akkumulationsformen . . . . .	134			

## **10 Die denudative Hangentwicklung**

10.1	Hänge . . . . .	142	10.4.1	Hangprofilform beim Vorherrschen langsamer Massenbewegungen . . .	148
10.2	Die Massenbilanz der Hangentwicklung . . . . .	142	10.4.2	Profilform von Spüldenudationshängen . . . . .	149
10.3	Hangform und verwitterungsbeschränkte und transportbeschränkte Denudation . . . . .	145	10.4.3	Profilform von Hängen mit Kombinationen von Massenbewegung und Spüldenudation . . . . .	152
10.4	Vorgangsspezifische Hangformen ...	147			

---

## **11 Hydrologische und hydraulische Grundlagen des fluivialen Systems**

11.1	Das fluivale System . . . . .	153	11.5.1	Die Abflussganglinie und ihre Komponenten . . . . .	160
11.2	Globale Wasserbilanz und Wasserhaushalt . . . . .	153	11.5.2	Abflussregime und fluviales Morphoklima . . . . .	161
11.3	Komponenten des lokalen Wasserhaushalts . . . . .	154	11.6	Fluviale Hydraulik . . . . .	164
11.4	Grundwasser und Quellen . . . . .	155	11.6.1	Laminare und turbulente Wasserbewegung . . . . .	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 Flussbetts . . . . .	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 Profilentwicklung . . . . .	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	Hängetyp . . . . .	209

---

## **16 Flussterrassen**

16.1	Arten von Terrassen . . . . .	211	16.5	Ursachen der Terrassenbildung . . .	214
16.2	Felsohlenterrassen . . . . .	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	Bogedelta . . . . .	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 Verschiebung der Wasserscheide . . . . .	231	18.3	Fluss- und Talordnungssysteme . .	236
18.1.2	Anzapfung durch rückwärtige Erosion des Talanfangs . . . . .	232	18.4	Grundrissmuster von Fluss- und Talnetzen . . . . .	239

---

## **19 Zusammenwirken von Flussarbeit und Hangentwicklung im fluviyalen System**

19.1	Das fluviiale Prozessressortensystem .	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	Kluftsysteme . . . . .	274	21.4.6	Frontstufe und Achterstufe . . . . .	286
21.2.2	Klüfte als Faktoren der Formengestaltung . . . . .	275	21.4.7	Zurückverlegung der Schichtstufe und Entstehung von Zeugenbergen . . . . .	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 Schichtkämme . . . . .	295
21.4	Vom Schichtenbau bestimmte Formen . . . . .	280	21.4.11	Geometrische und morphometrische Eigenschaften von Schichtstufen und Schichtkämmen . . . . .	297
21.4.1	Lagerungsstrukturen und Formtypen . . . . .	280	21.4.12	Entwicklung von Schichtstufen im theoretischen Modell . . . . .	298
21.4.2	Schichttafeln . . . . .	283			
21.4.3	Formelemente des Schichtstufenprofils . . . . .	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	Detorsion 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 Moränematerial . . . . .	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 Ästuarmäander . . . . .	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 Probenahme . . . . .	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