

utb.

Zepp | Harnischmacher  
Herget | Kasielke

# Geomorphologie

8. Auflage

Grundriss  
Allgemeine  
Geographie



utb 2164

utb.

### **Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage**

Brill | Schöningh – Fink · Paderborn

Brill | Vandenhoeck & Ruprecht · Göttingen – Böhlau · Wien · Köln

Verlag Barbara Budrich · Opladen · Toronto

facultas · Wien

Haupt Verlag · Bern

Verlag Julius Klinkhardt · Bad Heilbrunn

Mohr Siebeck · Tübingen

Narr Francke Attempto Verlag – expert verlag · Tübingen

Psychiatrie Verlag · Köln

Ernst Reinhardt Verlag · München

transcript Verlag · Bielefeld

Verlag Eugen Ulmer · Stuttgart

UVK Verlag · München

Waxmann · Münster · New York

wbv Publikation · Bielefeld

Wochenschau Verlag · Frankfurt am Main

# Grundriss Allgemeine Geographie

herausgegeben von Heinz Heineberg

begründet von Paul Busch

Bisher sind erschienen:

*Geomorphologie* von Harald Zepp/Stefan Harnischmacher/Jürgen Herget/  
Till Kasielke

*Klimatologie* von Wilhelm Kuttler

*Einführung in die Anthropogeographie/Humangeographie* von Heinz Heineberg

*Stadtgeographie* von Heinz Heineberg

*Wirtschaftsgeographie* von Elmar Kulke

*Globalisierung der Wirtschaft* von Ernst Giese/Ivo Mossig/Heike Schröder

*Verkehrsgeographie* von Helmut Nuhn/Markus Hesse

*Geographiedidaktik* von Gisbert Rinschede/Alexander Siegmund

*Bevölkerungsgeographie* von Norbert de Lange/Martin Geiger/Vera Hanewinkel/  
Andreas Pott

*Quantitative Methodik in der Geographie* von Norbert de Lange/Josef Nipper

Harald Zepp · Stefan Harnischmacher  
Jürgen Herget · Till Kasielke

# **Geomorphologie**

## **Eine Einführung**

8., aktualisierte und erweiterte Auflage

BRILL | SCHÖNINGH

*Der Autoren:*

Prof. Dr. rer. nat Harald Zepp; zwischen 1994 und 2021 Inhaber des Lehrstuhls „Physische Geographie und Angewandte Physische Geographie“ am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum; seitdem Seniorprofessor an der Fakultät für Geowissenschaften. Seine Schwerpunkte sind: Fließgewässergeomorphologie, Stadt- und Landschaftsökologie, Boden und Landschaftswasserhaushalt. Regionale Schwerpunkte sind Mitteleuropa und China.

apl. Prof. Dr. Stefan Harnischmacher; seit 2011 Mitarbeiter am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg. Seine Schwerpunkte in Lehre und Forschung sind: Geomorphologie, Angewandte Geologie, Geoarchäologie, Kartographie und GIS. Regionale Schwerpunkte sind das Ruhrgebiet, Hessen und Mitteleuropa.

Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Herget; seit 2004 Professor für Physische Geographie am Geographischen Institut der Universität Bonn. Seine Schwerpunkte in Lehre und Forschung sind: fluviale Prozesse und Formen im hydraulischen Kontext, Paläohydrologie und Eiszeitforschung. Regional ist er in Mitteleuropa, Sibirien und dem Südwesten der USA langjährig aktiv.

Dr. Till Kasielke; von 2008–2022 Mitarbeiter am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum. Seine Forschungsschwerpunkte sind Geomorphologie und Geoarchäologie. Seit 2022 arbeitet er beim GeoPark Ruhrgebiet.

*Umschlagabbildung:*

Foto: Harald Zepp; Rocky Mountains (Banff National Park, Kanada)

Online-Angebote oder elektronische Ausgaben sind erhältlich unter **[www.utb.de](http://www.utb.de)**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://www.dnb.de> abrufbar.

8., aktualisierte und erweiterte Auflage 2023

© 2002 Brill Schöningh, Wollmarktstraße 115, D-33098 Paderborn, ein Imprint der Brill-Gruppe (Koninklijke Brill NV, Leiden, Niederlande; Brill USA Inc., Boston MA, USA; Brill Asia Pte Ltd, Singapur; Brill Deutschland GmbH, Paderborn, Deutschland; Brill Österreich GmbH, Wien, Österreich) Koninklijke Brill NV umfasst die Imprints Brill, Brill Nijhoff, Brill Hotei, Brill Schöningh, Brill Fink, Brill mentis, Vandenhoeck & Ruprecht, Böhlau, V&R unipress und Wageningen Academic.

Internet: [www.schoeningh.de](http://www.schoeningh.de)

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herstellung: Brill Deutschland GmbH, Paderborn  
Einbandgestaltung: Atelier Reichert, Stuttgart

UTB-Band-Nr.: 2164

ISBN 978-3-8252-6069-9

eISBN 978-3-8385-6069-4

# Inhalt

---

	Vorwort .....	11
<b>1</b>	<b>Gegenstand, Aufgabe und Gliederung der Geomorphologie ...</b>	<b>15</b>
1.1	Gegenstand und Stellung der Geomorphologie .....	17
1.2	Gliederung der Geomorphologie: Reliefbildende und formbildende Prozesse .....	19
1.3	Vielfalt geomorphologischer Formen .....	24
1.4	Forschungsansätze und Arbeitsrichtungen in der Geomorphologie ...	24
1.5	Zur Bedeutung des Reliefs und der Geomorphologie .....	26
<b>2</b>	<b>Die Entstehung von Kontinenten, Gebirgen und Ozeanen (Mega- und Makrorelief) .....</b>	<b>29</b>
2.1	Hypsometrische Kurve .....	30
2.2	Plattentektonik .....	32
<b>3</b>	<b>Geologische Grundlagen: Tektonik, Erdzeitalter und Gesteine ...</b>	<b>41</b>
3.1	Tektonik .....	42
3.1.1	Tektonische Bewegungen .....	42
3.1.2	Lagerungsformen und einfache tektonische Strukturen .....	44
3.2	Geologische Zeitrechnung und erdgeschichtliche Entwicklung .....	49
3.3	Gesteine und ihre geomorphologische Bedeutung .....	53
3.3.1	Eigenschaften und Bedeutung .....	53
3.3.2	Minerale .....	54
3.3.3	Kreislauf der Gesteine .....	56
3.3.4	Magmatite .....	57
3.3.5	Sedimente und Sedimentgesteine .....	61
3.3.6	Metamorphe Gesteine .....	65
<b>4</b>	<b>Das Relief der Erde: Konzepte und Modellvorstellungen .....</b>	<b>71</b>
4.1	Modellvorstellungen in der Geomorphologie .....	72
4.2	Der Abtragungs-Zyklus von W.M. DAVIS (1899) .....	73
4.3	Das exponentielle Abtragungsmodell nach STRAHLER/STRAHLER (1992) ..	76
4.4	Denudationsraten in Flusseinzugsgebieten .....	77

4.5	Klimagebundenheit exogener Formungsprozesse . . . . .	79
4.6	Formen, korrele Sedimente und Aktualismus . . . . .	80
4.7	Bedeutung des Klimawandels . . . . .	81
4.8	Häufigkeit und Intensität geomorphologischer Formungsprozesse (Frequenz und Magnitude) . . . . .	82
4.9	Gleichgewicht und Dynamik in geomorphologischen Systemen . . . . .	83
4.10	Sedimentflüsse und Sedimentkaskaden . . . . .	84
<b>5</b>	<b>Verwitterungsprozesse und Verwitterungsformen . . . . .</b>	<b>89</b>
5.1	Die Verwitterung als Teil der exogenen Dynamik . . . . .	90
5.2	Physikalische Verwitterung . . . . .	90
5.2.1	Druckentlastung und Abkühlung von Magmen . . . . .	91
5.2.2	Desorption und Adsorption von Wasser . . . . .	91
5.2.3	Temperaturwechsel . . . . .	92
5.2.4	Frostsprengung und andere Verwitterungseffekte durch Volumenvergrößerung . . . . .	93
5.3	Chemische Verwitterung . . . . .	94
5.3.1	Allgemeine Charakteristik . . . . .	94
5.3.2	Lösungsverwitterung . . . . .	94
5.3.3	Kationenaustausch . . . . .	95
5.3.4	Redox-Reaktionen (Oxidationsverwitterung) . . . . .	95
5.3.5	Hydrolyse und Protolyse (Säureverwitterung) . . . . .	97
5.4	Verwitterungsprodukte . . . . .	98
5.4.1	Wirkung der physikalischen Verwitterung . . . . .	98
5.4.2	Verwitterungsneubildungen und Prozesse der Bodenbildung . . . . .	98
5.5	Klimazonalität der Verwitterung . . . . .	104
5.5.1	Verwitterung in den feuchten Tropen . . . . .	104
5.5.2	Verwitterung in Trockengebieten . . . . .	105
5.6	Verwitterungsformen . . . . .	106
<b>6</b>	<b>Gravitative Massenbewegungen . . . . .</b>	<b>109</b>
6.1	Hangstabilität . . . . .	110
6.2	Sturzdenuation . . . . .	113
6.3	Versatzdenuation . . . . .	115
6.4	Denuation durch Rutschen und Gleiten . . . . .	116
6.5	Fließungen . . . . .	117
6.6	Komplexe gravitative Massenbewegungen . . . . .	119
6.7	Hangformung durch gravitative Massenbewegungen . . . . .	119

<b>7</b>	<b>Fluviale Formung</b> .....	<b>121</b>
7.1	Hydrologische Grundlagen .....	122
7.1.1	Wasserkreislauf und Abflussbildung .....	122
7.1.2	Abflussganglinien und Abflussregime .....	124
7.1.3	Abfluss und Fließgeschwindigkeit .....	127
7.1.4	Fließzustände .....	130
7.2	Denudation durch fließendes Wasser .....	134
7.2.1	Prozessbetrachtung: Ablösung, Transport und Sedimentation .....	134
7.2.2	Natürliche Spüldenudation und Bodenerosion .....	137
7.2.3	Bodenerosionsformen .....	139
7.3	Fluviale Prozesse im Gerinnebett .....	144
7.3.1	Energieumsatz in fluvialen Systemen .....	144
7.3.2	Erosion und Sedimenttransport .....	146
7.3.3	Morphologische Gewässerstrukturen .....	153
7.3.4	Akkumulation und fluviale Akkumulationsformen .....	160
7.3.5	Gefälle und Längsprofil .....	164
7.3.6	Entwicklung und Stationarität fluvialer Systeme .....	167
7.4	Prozesse der Talbildung und Talformen .....	168
7.4.1	Modellüberlegungen zum Zusammenwirken von Hangdenudation und Flussarbeit .....	168
7.4.2	Einfache Talformen .....	169
7.4.3	Komplexe Talformen als Ergebnis diskontinuierlicher Reliefentwicklung .....	171
7.4.4	Sonderformen tektonisch ausgelöster Talentwicklung .....	174
<b>8</b>	<b>Äolische Formung</b> .....	<b>177</b>
8.1	Mechanische Grundlagen der Oberflächenformung durch Wind .....	178
8.2	Transportarten .....	179
8.3	Deflation und Deflationsformen .....	179
8.4	Wüstenpflaster .....	182
8.5	Korrasion .....	182
8.6	Transport und Akkumulation von Sand .....	183
8.6.1	Transport (Massenfluss) .....	183
8.6.2	Akkumulation und Akkumulationsformen .....	185
8.7	Staubsedimente und Löss .....	187
8.7.1	Transport und Sedimentation .....	187
8.7.2	Löss .....	188



<b>9</b>	<b>Glaziale und glazifluviale Formung</b> .....	<b>193</b>
9.1	Gletscherentstehung, Massenbilanz .....	194
9.2	Gletschertypen .....	195
9.2.1	Morphologische Gletschertypen .....	195
9.2.2	Thermische Gletschertypen .....	196
9.3	Gletscherbewegung .....	196
9.4	Glaziale Erosion und Exaration .....	199
9.5	Glaziale Abtragungsformen .....	200
9.6	Glazialer und glazifluvialer Transport .....	203
9.7	Glaziale Sedimente und Akkumulationsformen .....	204
9.7.1	Terminologie und Eigenschaften glazialer Ablagerungen .....	204
9.7.2	Glaziale Sedimentationsprozesse und Sedimente .....	206
9.7.3	Glaziale Akkumulationsformen .....	206
9.8	Formen der Grundmoränenlandschaft .....	207
9.9	Glazifluviale Formen und Sedimente .....	208
9.10	Das Paraglazial .....	211
<b>10</b>	<b>Periglaziale Formung</b> .....	<b>215</b>
10.1	Der Periglazialbegriff .....	216
10.2	Kaltklimatische Sonderbedingungen für periglaziale Formungsprozesse .....	216
10.2.1	Permafrost .....	216
10.2.2	Grundlegende frostdynamische, physikalische Prozesse .....	217
10.3	Periglaziale Denudationsprozesse und Formen .....	219
10.3.1	Eiskeile und Eiskeilnetze .....	219
10.3.2	Thufur, Palsen, Pingos .....	220
10.3.3	Kryoturbation und Frostmusterstrukturen .....	221
10.3.4	Solifluktion .....	223
10.3.5	Blockgletscher .....	224
10.3.6	Thermokarst .....	224
10.3.7	Abluation .....	224
10.3.8	Nivation und Kryoplanation .....	225
10.4	Besonderheiten fluvialer Morphodynamik im Periglazialraum .....	225
<b>11</b>	<b>Formungsprozesse an Küsten (Litorale Prozesse)</b> .....	<b>229</b>
11.1	Formungsprozesse und Küstenformen .....	230
11.1.1	Übersicht .....	230
11.1.2	Wellen und Brandung .....	230

11.1.3	Flachküsten . . . . .	236
11.1.4	Steilküsten . . . . .	238
11.1.5	Strömungen, Gezeiten und ihr Einfluss auf Flachküsten. . . . .	239
11.1.6	Seichtwasserküsten . . . . .	242
11.2	Küstentypen. . . . .	243
<b>12</b>	<b>Karst . . . . .</b>	<b>247</b>
12.1	Petrographische und hydrologische Voraussetzungen . . . . .	248
12.2	Grundlagen der Korrosion . . . . .	249
12.3	Karstformen. . . . .	252
<b>13</b>	<b>Strukturformen. . . . .</b>	<b>259</b>
13.1	Gesteinslagerung und Abtragungsresistenz. . . . .	260
13.2	Schichttafeln . . . . .	260
13.3	Schichtstufen und Schichtkämme . . . . .	260
13.4	Bruchlinienstufen und Reliefumkehr. . . . .	268
<b>14</b>	<b>Vulkanische Formen . . . . .</b>	<b>271</b>
14.1	Vulkanische Vollformen. . . . .	272
14.2	Vulkanische Hohlformen . . . . .	273
14.3	An Subvulkanismus gebundene Formen . . . . .	274
<b>15</b>	<b>Geomorphologische Prozesskombinationen und Formengefüge in Abhängigkeit vom Klima . . . . .</b>	<b>277</b>
15.1	Geomorphologische Prozesskombinationen und ihre klimazonal beeinflusste Anordnung. . . . .	278
15.2	Flächenbildung durch Pediplanation. . . . .	282
15.3	Morphodynamik und typische Formengefüge in den feuchten Tropen . . . . .	282
15.3.1	Relieftypen. . . . .	282
15.3.2	Gunstfaktoren für die Reliefentwicklung in den feuchten Tropen . . . . .	284
15.4	Morphodynamik und typische Formengefüge in den Trockengebieten . . . . .	286
15.4.1	Prozesskombinationen der Trockengebiete. . . . .	286
15.4.2	Die arid-morphologische Catena. . . . .	286

<b>16</b>	<b>Anthropogeomorphologie: Formung durch den Menschen. . . . .</b>	<b>289</b>
16.1	Reliefformung unter dem Einfluss des Menschen . . . . .	290
16.2	Geoarchäologie und Sedimentkaskaden als Folge anthropogener Eingriffe in den Landschaftshaushalt . . . . .	295
<b>17</b>	<b>Methoden. . . . .</b>	<b>299</b>
17.1	Geomorphometrie und digitale Reliefanalyse . . . . .	300
17.2	Messung von Prozessen. . . . .	303
17.3	Sedimentanalyse. . . . .	305
17.4	Datierungen. . . . .	308
<b>18</b>	<b>Reliefentwicklung in Mitteleuropa. . . . .</b>	<b>315</b>
18.1	Übersicht . . . . .	315
18.2	Norddeutsches Tiefland und Küsten . . . . .	315
18.2.1	Alt- und Jungmoränenlandschaften . . . . .	315
18.2.2	Moor, Marsch, Watt und Inseln . . . . .	322
18.2.3	Ostseeküste . . . . .	325
18.3	Mittelgebirge . . . . .	325
18.3.1	Gemeinsamkeiten und Besonderheiten . . . . .	325
18.3.2	Rumpfschollengebirge . . . . .	330
18.3.3	Schichttafeln, Schichtstufen und Schichtkämme aus Sedimentgesteinen des mesozoischen Deckgebirges . . . . .	332
18.4	Oberrhein graben. . . . .	336
18.5	Vulkangebiete und Ries . . . . .	336
18.6	Alpen und Alpenvorland . . . . .	337
18.7	Veränderung der Flusseinzugsgebiete . . . . .	339
	Literatur . . . . .	341
	Begriffsfelder . . . . .	351
	Sachregister. . . . .	361

# Vorwort

---

Der Bitte von Herausgeber und Verlag, den Band Geomorphologie im Grundriss Allgemeine Geographie an die jüngeren Entwicklungen im Fach anzupassen, bin ich gerne gefolgt, allerdings ohne zu ahnen, dass ich mich für eine weitgehende und deshalb zeitaufwendige Neubearbeitung entschließen sollte. Dennoch konnten einzelne Textpassagen zu Talformen, zum Karst und zur Küstenformung aus dem Vorgängerband von Paul Busch übernommen werden. Nicht in jedem Einzelfall sind die Übernahmen von Satzteilen als wörtliches Zitat gekennzeichnet. Dies hätte den Textfluss eines Lehrbuchs zu stark gestört; für die Erlaubnis, in diesem Sinne nachlässig zitieren zu dürfen, danke ich Herrn Prof. Dr. Busch sehr.

Das Buch schließt mit einer knappen Darstellung der geomorphologischen Entwicklung Mitteleuropas; neuerdings bestehen leider auf diesem Gebiet bei vielen Studierenden Defizite, weil es in der Lehre vielfach zu stark in den Hintergrund gedrängt worden ist. Gerade im Rahmen einer Allgemeinen Geomorphologie halte ich einen regionalen Überblick für sinnvoll und motivierend: Er ermöglicht die Anwendung allgemeiner Kenntnisse und vertieft diese.

Früher war der Besuch geologischer Lehrveranstaltungen für Geographie-Studierende aller Studiengänge verpflichtend; aus einer Reihe von Gründen kann die Kenntnis solcher Teile der Geomorphologie nicht mehr vorausgesetzt werden, die an deutschsprachigen Universitäten – und im Gegensatz zu den Schulen – traditionell in der Geologie beheimatet sind. Deshalb ist Themen

der endogenen Dynamik und den geologischen Strukturen ein relativ breiter Raum eingeräumt worden.

Der vorliegende Band zielt auf eine ausgewogene Darstellung geomorphologischer Grundlagen; daher ist der Stoff in eher traditioneller Weise angeordnet, allerdings mit stärkerer Gewichtung rezenter Formungsprozesse gegenüber systematisch-vollständigen Reliefformen-Katalogen. Das Verständnis geomorphologischer Prozesse ist besonders wichtig für die wiederholt angemahnte Praxisorientierung der Geographie und für den Dialog mit den Nachbarwissenschaften.

Einige Kapitel enthalten kurze, übersichtliche physikalische Gleichungen. Diese Formeln sind verwendet, um komplexe Zusammenhänge auf eine eingeschränkte Auswahl von Variablen zu reduzieren; sie vereinfachen die Realität, weil sie die Vorstellung eindeutiger Beziehungen vermitteln. Leser mit einer ausgeprägten Abneigung gegenüber Formeln mögen diese einfach überlesen und sich an die textlichen Erläuterungen halten. Anderen mögen sie eine Hilfe sein, denn das Ausprobieren mit Beispielzahlen verschafft eine vertiefte Vorstellung für Abhängigkeiten zwischen physikalischen Phänomenen und für Größenordnungen.

Verständnis für geomorphologische Prozesse und Formen, für Gesteine, Verwitterungsbildungen und Böden können Lehrbücher nicht alleine vermitteln. Dazu braucht es die Anschauung und möglichst aktive Betätigung im Gelände. Und gerade der Fortgeschrittenere findet immer wieder den Weg zurück ins Gelände, um seine Vorstellungen und Gedan-

kengänge an der Realität zu überprüfen. Alle Leser möchte ich ermutigen, Gleiches zu tun und die Lehrenden aufzufordern, Gelegenheiten zur Geländearbeit zu bieten. Selbst gute Web-Seiten im Internet können dies nicht ersetzen. In diesem Buch sind sie nicht berücksichtigt, weil Internet-Adressen sehr schnell veralten und nach den eigenen Erfahrungen der letzten Semester die heutige Studentengeneration sehr versiert in der Internetrecherche ist.

Viele Kollegen hatten sich bereit gefunden, Teile des Manuskriptes vorab zu lesen und haben in den letzten 15 Jahren meine Vorstellungen über die Geomorphologie beeinflusst. Allen voran möchte ich Herrn Dr. Dieter Glatthaar nennen: Vom kritischen und deshalb voranbringenden Meinungs austausch mit ihm über allgemeine Fragen der Geomorphologie durfte ich während der Arbeit am Manuskript und auch in gemeinsamen Lehrveranstaltungen profitieren. Mein Interesse an heutigen geomorphologischen Prozessen verdanke ich Herrn Prof. Dr. Peter Höllermann, der in meiner Bonner Assistentenzeit mein Verständnis von Geomorphologie nachhaltig geprägt hat.

Mein Vorgänger im Bochumer Institut, Herr Prof. Dr. Herbert Liedtke, war als Emeritus während seiner regelmäßigen Aufenthalte im Institut stets zu klärenden Gesprächen, unter anderem auf der Grundlage der Kapitel 9 und 10, bereit. Wertvolle Anregungen zum Manuskript gaben Herr Kollege Prof. Dr. Detlef Richter (Kap. 2 und 3), Herr Prof. Dr. Bernd Marschner (Kap. 5), Herr Dr. Achim Hennig (Kap. 6), Herr Dipl.-Geogr. Stefan Harnischmacher (Kap. 7).

Für die Überlassung von Bildvorlagen danke ich sehr Frau Heike Pientka-

Noll, Frau Astrid Iklef, Herrn Dr. Jürgen Herget und den Herren Professoren H. Liedtke, M. J. Müller und E. Kroß. Herrn Prof. Dr. H. Heineberg und dem Verlag danke ich für das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Geduld, die mich während der Erstellung des Manuskriptes begleitete. Dem Herausgeber danke ich auch sehr für die kommentierende Durchsicht des Manuskriptes.

Meine Sekretärin Frau Heike Pientka-Noll hat verantwortungsvoll, geduldig und interessiert die Hauptlast bei der Erstellung des Manuskriptes getragen; am Ende wurde sie durch Frau Tina Maibom und Frau Maren Parakenings unterstützt. Mit großem Geschick und Ausdauer hat Herr Tilman Mieseler die weitaus überwiegende Anzahl der Abbildungsvorlagen in die Reinfassung gebracht, unterstützt von Frau Dipl.-Geogr. Katja Holzmüller. Einige komplizierte Vorlagen wurden von unserer Instituts-Kartographie, Frau Sylvia Steinert und Herrn Dipl.-Ing. Ralf Wieland umgesetzt, die auch mit kartographischen Ratschlägen zur Seite standen.

Allen, die zur Fertigstellung des Buches beigetragen haben, danke ich sehr herzlich. Kritischen Kommentaren und Verbesserungsvorschlägen von Lesern, Studierenden und Kollegen erwartete ich gerne und dankbar (z. B. unter [zepp@geographie.ruhr-uni-bochum.de](mailto:zepp@geographie.ruhr-uni-bochum.de)).

Ich widme dieses Buches meiner lieben Familie (Karin mit Britta, Stefan und Meike) sowie meiner Mutter Ottilie Zepp. Es ist verfasst in Erinnerung an Peter Zepp (1879-1943) und Josef Zepp (1910-1981), denen die Vermittlung geomorphologischer Kenntnisse besonders wichtig war.

Bochum/Essen, im März 2001

# Vorwort zur 4. Auflage

---

Es ist ein Kennzeichen einführender Lehrbücher, dass sie nur eine Stoffauswahl bringen können. So waren mir bereits bei der Drucklegung der 1. Auflage Lücken in der Präsentation des Stoffes bewußt; damals ließ mir der Wunsch nach Fertigstellung des Manuskriptes keine Ruhe, das Buch zu komplettieren. Ergänzungen in einigen Kapiteln wurden in der Zwischenzeit drängender denn je und sind jetzt erfolgt.

Vor allem aber bringt die 4. Auflage ein eingeschobenes Großkapitel (Kap. 14, neu) mit weiterführenden Modellvorstellungen, Konzepten und Methoden der Geomorphologie. Hierzu gehören Einführungen in systemtheoretische Vorstellungen, Ausführungen über Methoden der systematischen (geomorphographischen) Beschreibung von Reliefformen sowie zu Datierungsmöglichkeiten von Formen und Sedimenten. Selbstverständlich soll das Lehrbuch kein Methodenbuch ersetzen, aber das Heranführen an exemplarisch ausgewählte Methoden darf nicht fehlen. Es ist meine Hoffnung, dass dadurch fortgeschrittene Anfänger einen leichteren Zugang zu einigen neuen Zweigen der jüngeren Geomorphologie erhalten. Zweifellos könnte man ein einführendes Geomorphologie-Lehrbuch auf der Basis der erweiterten theoretischen Grundlage des neuen Kapitels 14 vollkommen neu strukturieren; das wäre eine reizvolle Aufgabe, aber für Einsteiger scheint mir die an traditionellen Vorbildern orientierte Stoffanordnung, die in den Kapiteln 1–12 beibehalten worden ist, eingängiger. Diese Inhalte bilden dann das Handwerkszeug, auf dem weiterführende Ideen aufbauen können.

Der Abschnitt über die Reliefformung unter dem Einfluss des Menschen ist in einen Zusammenhang mit der Vorstellung der geomorphologischen Teildisziplin ‚Geoarchäologie‘ gerückt worden.

Durch die Veränderungen ist der Umbruch des Buches verändert, so dass die Seitenangaben der neuen mit denen der früheren Auflagen nicht übereinstimmen. Wegen der weitgehend identischen Struktur können weiterhin die alten Auflagen parallel benutzt werden. Um innerhalb des Buches nicht zwei Rechtschreib-Regelungen zu folgen, ist die alte Rechtschreibung beibehalten.

Zum Zeitpunkt der Drucklegung ist mir wiederum bewusst, dass auch diese 4. Auflage nicht abgeschlossen worden wäre ohne eine Portion Mut zur Lücke, oder anders ausgedrückt, sie enthält auch nur eine exemplarische Auswahl aus der Vielfalt geomorphologischer Inhalte.

Etliche Anregungen und Verbesserungsvorschläge kamen auch von Studierenden aus ganz Deutschland, z. B. R. Bauer, J. Karcher, M. Müller, A. Stock, die sich intensiv mit dem Buch auseinandergesetzt haben. Das zeigt mir, dass das Buch im Studienalltag tatsächlich benutzt wird. Aus der eigenen Erfahrung in der Lehre habe ich den Eindruck, dass es noch nutzbringender verwendet werden könnte, wenn die Hinweise auf weiterführende Literatur in den Kästen am Ende der Kapitel für Referate und Hausarbeiten sorgfältig durchgesehen würden.

Zahlreichen Kollegen, u. a. den Herren Kollegen Michael Becht (Eichstätt), Helmut Brückner (Marburg), B.W. Flemming

(Wilhelmshaven), Dieter Glatthaar (Bochum), Stefan Harnischmacher (Bochum), Sven Lukas (Bern), Thomas Schneider (Augsburg), Lothar Schrott (Salzburg) und Ludwig Zöllner (Bayreuth), möchte ich für ergänzende und kritisch-konstruktive Hinweise sehr danken.

Mein herzlicher Dank geht auch an bewährte und neue Helfer im Bochumer Institut: Frau Pientka-Noll, Till Kasielke, Robert Gerlach, Matthias Albrecht und Ralf Wieland.

Harald Zepp

Bochum/Essen, Januar 2008

## Vorwort zur 8. Auflage

Der für die 8. Auflage erweiterte Autorenkreis hat dringend notwendige Aktualisierungen umgesetzt und den Stoff einiger Kapitel neu angeordnet. Die theoretischen Konzepte sind nun auf die Kapitel 1 und 4 konzentriert. Vulkanische Formen, Karst und Strukturformen bilden je eigenständige Kapitel. Weitgehend neu formuliert sind die Kapitel zur glazialen und äolischen Formung, die nun auch Anwendungsbeispiele enthalten, sowie Abschnitte zu Rumpfflächen, Pedimenten und Methoden. Grundlegerend überarbeitet sind zahlreiche Diagramme, neue Abbildungen sind hinzugekommen, beibehalten haben wir die seit der 6. Auflage verfügbaren Begriffsfelder (Lernübersichten). Enthielt die 1. Auflage mit fast 800 Titeln einen großen Teil der zeitgenössischen, zumindest deutschsprachigen geomorphologischen Literatur, so müssen wir uns ab

der 8. Auflage auf die zitierten Titel beschränken und auf Literatur, die erste weiterführende Einstiege erlaubt.

Ein besonderer Dank gilt Frau Cordula Mann (Marburg), die ungezählte Abbildungen neu gezeichnet hat. Herr Till Multhaupt hat bei der Anfertigung des Registers geholfen.

Wir widmen diese Neubearbeitung dem im November 2022 verstorbenen Geomorphologen Herbert Liedtke (1928-2022). Er hat in wechselnden Stadien unserer akademischen Laufbahnen als Kollege, Zimmernachbar und Lehrer im Bochumer Institut unser Denken in geomorphologischen Zusammenhängen mitgeprägt und gefördert.

Harald Zepp, Stefan Harnischmacher, Jürgen Herget, Till Kasielke

Bochum/Marburg/Bonn, Mai 2023

# 1

## Gegenstand, Aufgabe und Gliederung der Geomorphologie



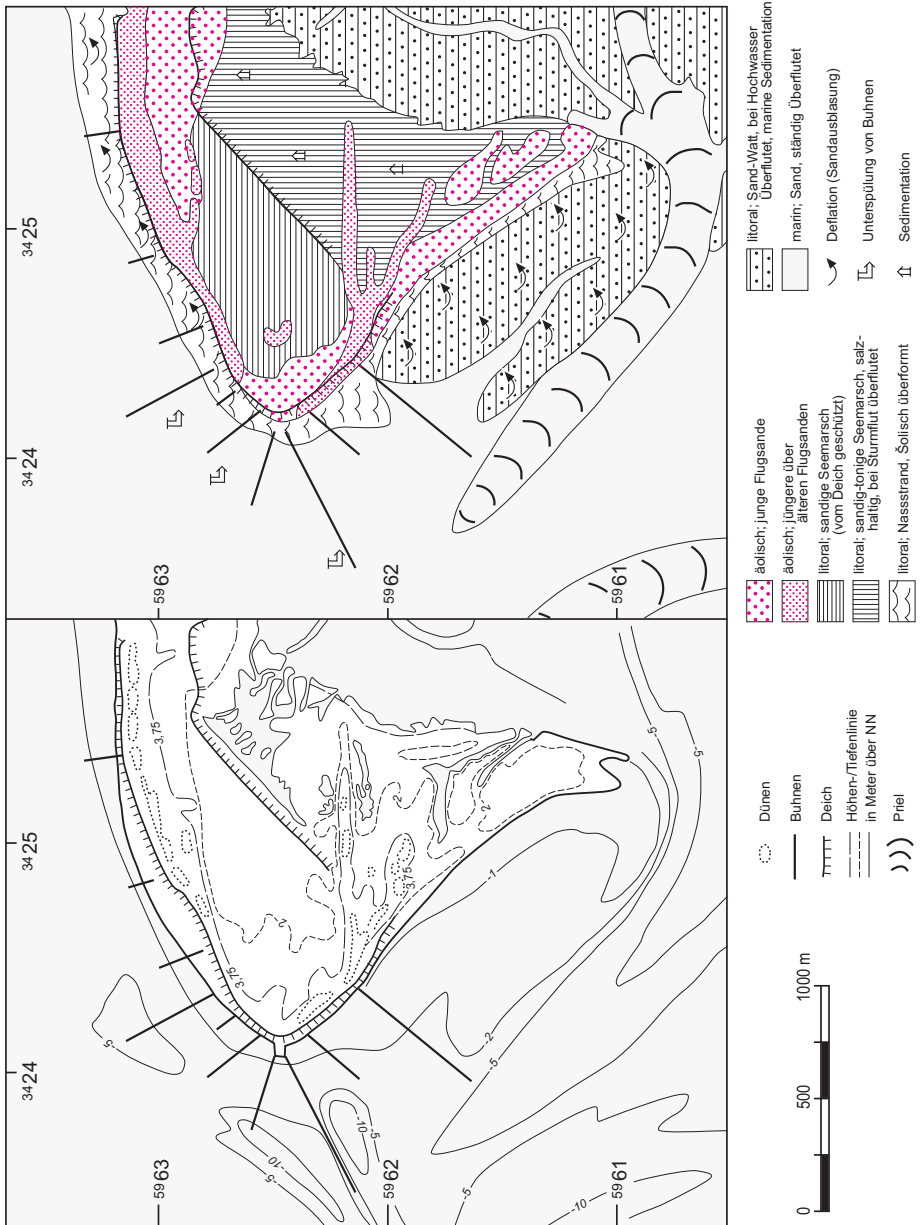
**Abb. 1.1 Nordseeinsel Wangerooge.** Abtragungs- und Sedimentationsprozesse an der Gezeitenküste sowie Dünen prägen die Landschaft (vgl. Kasten 1.1).

Erklärungs- und Forschungsgegenstand der **Geomorphologie** sind die **Oberflächenformen (Relief)** der festen Erde. Die Geomorphologie hat sich bis in die Gegenwart immer mehr zu einer Wissenschaftsdisziplin entwickelt, die in engem Austausch mit ihren geowissenschaftlichen Nachbardisziplinen sowie den ökologischen und hydrologischen Fächern betrieben wird. Dabei bleibt die Bedeutung der Geomorphologie für das Mutterfach Geographie weiterhin bestehen, denn Struktur und Eigenschaften der Erdoberfläche sowie des oberflächennahen Untergrundes sind einerseits wesentliche Rahmenbedingungen für die Gestaltung des Lebensraumes der Menschen; andererseits verändern wirtschaftliche Aktivitäten beabsichtigt oder unbeabsichtigt – mit positiven oder negativen Rückwirkungen – das Relief. Diese Wechselwirkungen werden besonders bei der Analyse naturgebundener Entwicklungspotenziale von Erdräumen und bei Naturkatastrophen deutlich. Der Klimawandel vermehrt die Häufigkeit und verstärkt die Intensität der reliefverändernden Prozesse.

Kapitel 1 definiert und gliedert Gegenstand und Forschungsrichtungen der Geomorphologie (Kap. 1.1-1.3), es erläutert ihre Stellung zu den Nachbardisziplinen (v. a. Geologie und Bodenkunde; Kap. 1.2) und gibt Hinweise auf die Bedeutung geomorphologischen Wissens (Kap. 1.4).



**Kasten 1.1 Relief und geomorphologische Formung im Westen der Insel Wangerooge (verändert nach EHLERS/MENSCHING 1982)**



Die formende Wirkung des Meeres (litoral) und des Windes (äolisch) prägen die geomorphologische Gliederung Wangerooes. Der topographischen Reliefdarstellung (links) mit Höhenlinien, Küstenlinie und Dünensignaturen ist die geomorphologische Interpretation (rechts) gegenübergestellt. Die Geomorphologie deutet – räumlich differenzierend – Oberflächenformen und Beschaffenheit des Untergrunds nach ihrer morphogenetischen Entstehung und morphodynamischen Weiterbildung: Im Bereich der Gezeitenküste wurden vor wenigen Jahrtausenden Sande auf den bei Niedrigwasser trockengefallenen Sandplaten zu Dünen zusammengeweht und danach bei normalen Hochwässern nicht mehr überflutet. Aus diesen Anfängen wuchsen die Inseln, und sie veränderten ihre Form ständig. Gezeitenströmung und Sturmfluten verursachen durch Abtragung an der Westseite und Sedimentation am Ostende (s. Abb. 1.1) die Sandverlagerung und damit insgesamt eine Verlagerung der Insel. Durch Befestigungsbauwerke hat der Mensch in dieses Geschehen eingegriffen. Heutige morphologische Prozesse sind die fortgesetzte Unterspülung von Buhnen und Schäden an den Deichen, die Ausblasung von Sanden vom Nasstrand und vom Sandwatt westlich der Insel bei Niedrigwasser, ferner – während Sturmfluten – die Abtragung des immer wieder künstlich aufgehöhten Badestrandes (außerhalb der Karte) und auf der Wattseite die Sedimentation des salzhaltigen tonigen Schlicks (Kap. 11.1.6 und 18.2.2). Die klimawandelbedingte Zunahme von Sturmfluten und der ansteigende Meeresspiegel werden zukünftig die Abtragung verstärken.

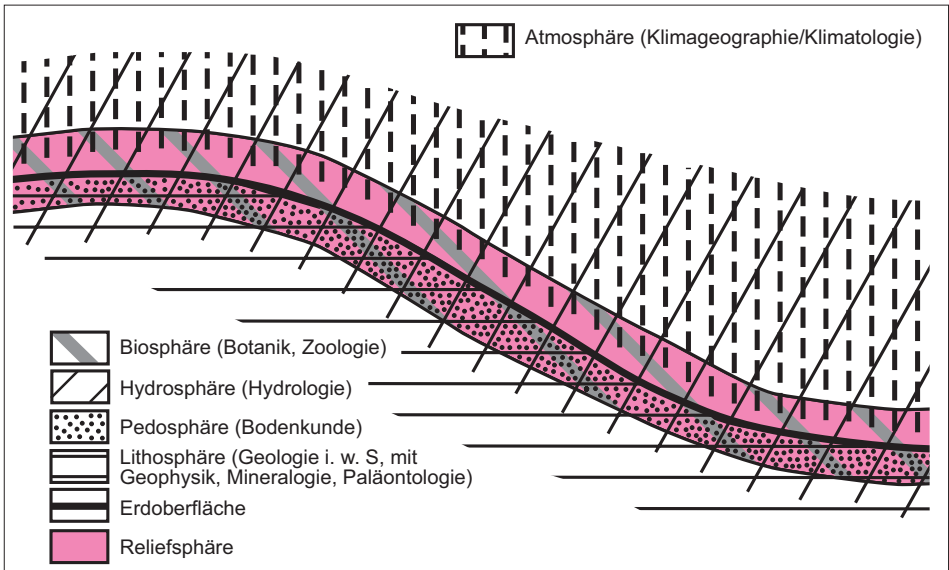
## 1.1 Gegenstand und Stellung der Geomorphologie

**Geomorphologie** bedeutet – dem Sinn der aus dem griechischen stammenden Wortbestandteile nach – die **Lehre von der Form/Gestalt der Erde** (*gé* = Erde; *morphé* = Form/Gestalt; *logos* = Geist/Wort/Rede/Inhalt). Erklärungs- und Forschungsgegenstand der Geomorphologie sind die **Oberflächenformen** beliebig großer Ausschnitte der festen Erde. Die **Geomorphologie** beschreibt und ordnet die **Formen systematisch** (unter verschiedensten Gesichtspunkten) und **erklärt** ihre **Entstehung** und **Weiterbildung** (nach LOUIS/FISCHER 1979).

Die Gesamtgestalt der Erde beschreiben die Nachbardisziplinen **Geodäsie** und **Geophysik** als **Geoid** (s. Kap. 2). Es weicht in charakteristischer Weise von einem **Rotationsellipsoid** (abgeflachte Kugel) ab (Kasten 2.1). Man kann sich das Geoid als eine erdumspannende, ebene Bezugs-

fläche auf dem Niveau des mittleren Meeresspiegels denken. Das **Relief der Erde als Betrachtungs- und Erklärungsgegenstand der Geomorphologie** ergibt sich wiederum als Abweichung vom Geoid. Üblicherweise werden zur Charakterisierung des Reliefs Höhenangaben als relative Abweichungen vom Geoid, entsprechend dem Niveau des mittleren Meeresspiegels, in m ü. NN (Meter über Normal Null) angegeben. Die geomorphologischen Forschungen sind traditionell auf das **festländische Relief** (subaerisches Relief) konzentriert. Zu den Formen der Erdoberfläche gehören aber auch die Oberflächenformen der Meeresböden, das **marine Relief**. Hiermit hat sich die Geomorphologie in der Vergangenheit im Gegensatz zur **Meeresgeologie** und zur **Ozeanographie** weniger befasst.

Die Erdoberfläche stellt ein Kontinuum dar, das aus nicht klar gegeneinander abgrenzbaren Formindividuen aufgebaut ist.



**Abb. 1.2 Reliefsphäre als räumlicher Bezug der Geomorphologie.** Durch die Betrachtung der Reliefsphäre ergeben sich für die Geomorphologie einerseits Anknüpfungspunkte zu geowissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Nachbardisziplinen und andererseits vielfältige Anwendungsaspekte, weil die Reliefsphäre räumlich weitgehend identisch ist mit der Landschaftshülle, dem Lebensraum des Menschen, den er tiefgreifend und nachhaltig verändert.

Die bloße Beschreibung von Reliefunregelmäßigkeiten (Kap. 17.1) durch die Darstellung von Geländehöhen, etwa durch Höhenpunkte, Höhenlinien, Höhengschichten, geometrische Funktionen oder als plastisches Reliefbild, ist zwar zur Anschauung und für viele praktische Anwendungen wichtig, doch ist sie für die Geomorphologie weniger interessant, denn sie liefert keinen Ansatz für eine Ordnung der Formenvielfalt (vgl. Abb. 1.1 und Kasten 1.1). Daher ist eine **geomorphologische Systematik** von Formen an **formbildenden Prozessen** orientiert.

Räumlich bedeutet die Erforschung von reliefbildenden und -formenden Prozessen die Betrachtung der **Reliefsphäre**. Hier überlagern sich **Lithosphäre**, **Hyd-**

**rosphäre**, **Pedosphäre**, **Biosphäre** und **Atmosphäre** zu einem komplexen Wirkungsgefüge (Abb. 1.2). Daraus ergeben sich zwangsläufig Anknüpfungspunkte zwischen der Geomorphologie und geowissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Nachbardisziplinen (vgl. Kasten 1.2). Die **Geologie** liefert Erkenntnisse über Strukturen und Prozesse der Erdkruste und liefert den erdgeschichtlich-historischen Zeitrahmen (s. Kap. 2 u. 3), in den die formbildenden Prozesse eingespannt sind. Enge Beziehungen bestehen zur **Bodenkunde**; zu ihren Forschungsgebieten gehört die Untersuchung von Eigenschaften und die Weiterentwicklung der an der Oberfläche anstehenden mineralischen und organischen Sedimente, einschließlich der

### Kasten 1.2: Stellung der Geomorphologie

Die Geomorphologie beschreibt und ordnet die Oberflächenformen der Erde, und sie erforscht ihre Entstehungs- und Weiterbildungsprozesse.

Die Geomorphologie ist

- eine **Geowissenschaft**, weil sie Strukturen und Prozesse behandelt, die die Weiterentwicklung und das Funktionsgefüge der Erde prägen. Mit den geowissenschaftlichen Nachbardisziplinen Geologie, Mineralogie, Geophysik und Bodenkunde teilt sie Erkenntnisse und Methoden zur Erforschung von Material und Strukturen der Erdkruste einschließlich der Verwitterungsbildungen und Böden.
- ein **Teilgebiet der Geographie** im Sinne einer umfassenden Mensch-Umwelt-Wissenschaft, weil die Erdoberfläche eine wesentliche Randbedingung für das Handeln von Einzelpersonen und Gesellschaften darstellt und andererseits anthropogene Eingriffe reliefverändernde Prozesse auslösen. Als Geoarchäologie widmet sie sich der Klärung kulturgeschichtlicher Fragestellungen mit geowissenschaftlichen Methoden.
- eine **Naturwissenschaft**, weil sie anerkennt, dass reliefverändernde Prozesse grundsätzlich durch physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten erklärt werden können. Grenzen der naturwissenschaftlichen Erklärung liegen in der Komplexität der Randbedingungen, der Vielzahl von Einflussfaktoren und in der mangelnden Kenntnis des Ausgangszustands der Reliefentwicklung.
- eine **empirische Wissenschaft**, weil ihre Gegenstände der unmittelbaren Erfahrung des Menschen zugänglich sind und ihre Aussagen über die Realität immer wieder den Beobachtungen, Messungen und Experimenten gegenübergestellt werden (müssen).
- eine **historische Wissenschaft**, weil sie die verschiedensten, meist nichtsprachlichen Quellen kritisch sichtet und interpretiert, um die Entwicklungsgeschichte eines Landschaftsraums zu rekonstruieren.

Verwitterung. Da die meisten Formungsprozesse entweder mittelbar oder unmittelbar von atmosphärischen Faktoren gesteuert oder modifiziert werden, ergeben sich Anknüpfungspunkte zur **Klimatologie/Klimageographie**. Ebenso beeinflussen die verschiedensten Erscheinungsformen des Wassers (Wasserdampf, Bodenwasser, Bodeneis, fließendes Wasser in Bächen und Flüssen, Gletschereis) die Reliefformung. Neben diesen **hydrologischen Bezügen** ergeben sich Schnittstellen zu den **biologischen Wissenschaften**: Eine Pflanzendecke schützt die Reliefoberfläche vor dem Abtrag durch Wasser und Wind, eine intensive Durchwurzelung lockert den Gesteinsverband und stabilisiert den Boden. Mikrobielle Prozesse tragen zur Verwitterung bei.

### 1.2 Gliederung der Geomorphologie: Reliefbildende und formbildende Prozesse

Die Existenz des Reliefs ist auf die Überlagerung verschiedener, teils gegenläufiger Prozesse zurückzuführen (Abb. 1.3 und 1.4). In globaler, erdumspannender Sicht ist es hilfreich, sich den Massenhaushalt der Erde und den Energiehaushalt an der Erdoberfläche anzusehen. Über lange geologische Zeiträume hinweg ist die Masse der Erde konstant geblieben. Gleichzeitig veränderte sich das Relief beständig durch tektonische Vorgänge, deren Ursachen weitgehend im Erdinneren zu suchen sind. Hierzu gehören die Förderung vulkanischer Gesteine

und die Hebung von Teilen der Erdkruste (s. Kap. 2 u. 3). Demgegenüber stehen Senkungen von Teilen der Erdkruste sowie die Rückführung oberflächennah anstehender Gesteine in die Erdkruste und in den Erdmantel. Die skizzierten Prozesse werden – da überwiegend aus dem Erdinneren gesteuert – als **endogene Prozesse** bezeichnet. Sie sind primär verantwortlich für die Herausbildung von Höhenunterschieden. Endogene Vorgänge verursachen auch maßgeblich den **differenzierten strukturellen Aufbau und die Beschaffenheit der Erdkruste** (Kap. 13 u. 14), die ihrerseits die feinere Ausgestaltung der Oberflächenformen durch die exogenen Prozesse beeinflusst.

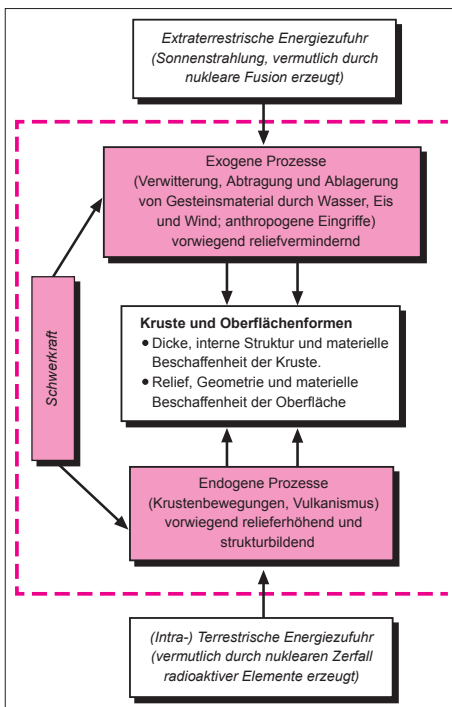
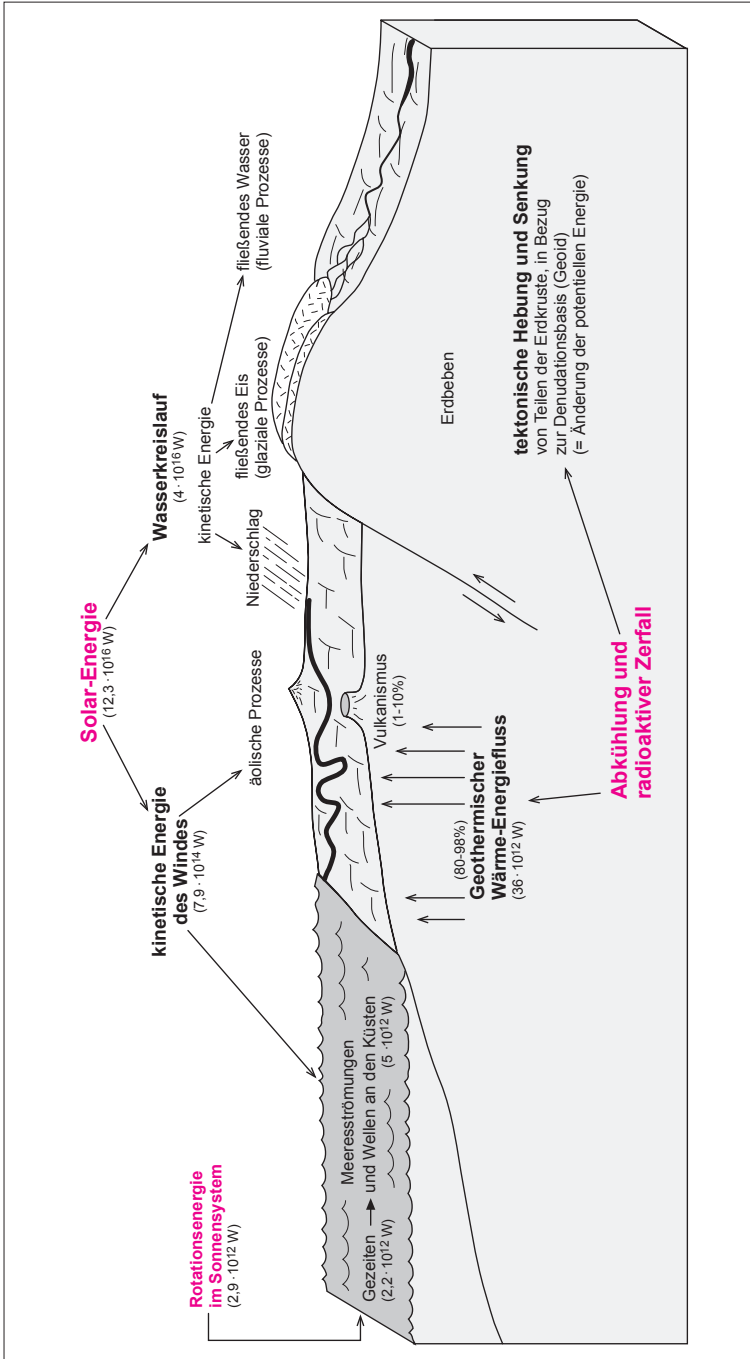


Abb. 1.3 Das Wirkungsgefüge endogener und exogener Vorgänge (nach AHNERT 1996, 35).

Höhenunterschiede im Erdrelief sind Voraussetzung dafür, dass auf der Erdoberfläche Gesteinsmaterial unter dem Einfluss der Schwerkraft transportiert wird, von einem Ort höherer zu einem Ort niedrigerer potentieller Energie (4.10). Die Schwerkraft wirkt, bezogen auf die Erdoberfläche, niveausgleichend. An der Erdoberfläche wirkt die Schwerkraft in den seltensten Fällen unmittelbar, sondern meistens mittelbar, gebunden an ein Transportmittel (Transportmedium). Als **Transportmedien** wirken **fließendes Wasser und Eis** sowie **bewegte Luft** (Kap. 7, 8, 9). Bei genügend steilem Relief kann lockeres, fließ- oder gleitfähiges Material unmittelbar in Bewegung geraten (gravitative Massenbewegungen, z.B. Steinschlag, Rutschungen, Bodenfließen; Kap. 6). Diese an der Erdoberfläche stattfindenden Prozesse werden als **exogene Vorgänge** zusammengefasst. Sie wirken grundsätzlich auf einen Ausgleich von Höhenunterschieden hin. Ein weiteres übergeordnetes Kennzeichen der exogenen Formungsprozesse ist, dass sie stets mit Materialumlagerung auf der festen Erdoberfläche verbunden sind. Somit resultieren neben den **Abtragungsformen** auch zugehörige **Ablagerungsformen**. Zu den exogenen Vorgängen zählen auch die direkten Eingriffe durch den Menschen, wie Aufschüttungen, Geländeeinschnitte und Materialentnahmen, etwa durch den oberflächennahen Bergbau (Kap. 16).

Mit Ausnahme der schwerkraftbedingten und der anthropogenen Vorgänge werden die exogenen Formungsprozesse durch die Energiezufuhr von der Sonne in Gang gehalten (Abb. 1.4). Der **Umsatz von Strahlungsenergie** findet überwiegend **auf der Erdoberfläche** statt. Energieaufnahme und -umsatz treten zeitlich und räumlich auf der Erde ungleichmäßig verteilt auf. Dies hat die aus dem Klimasystem bekannten Aus-



**Abb. 1.4 Für die Erdoberflächenformung relevanten natürlichen Energieflüsse** (Datengrundlage: BLOOM 1978, 88 und SUMMERFIELD 1991, 21). Die reliefverändernden Prozesse werden durch verschiedene Energiequellen angetrieben: Solar-Energie, Rotationsenergie sowie Abkühlung der Erde und radioaktiver Zerfall. Diese Energien bewirken die endogenen und exogenen Kräfte und Prozesse.

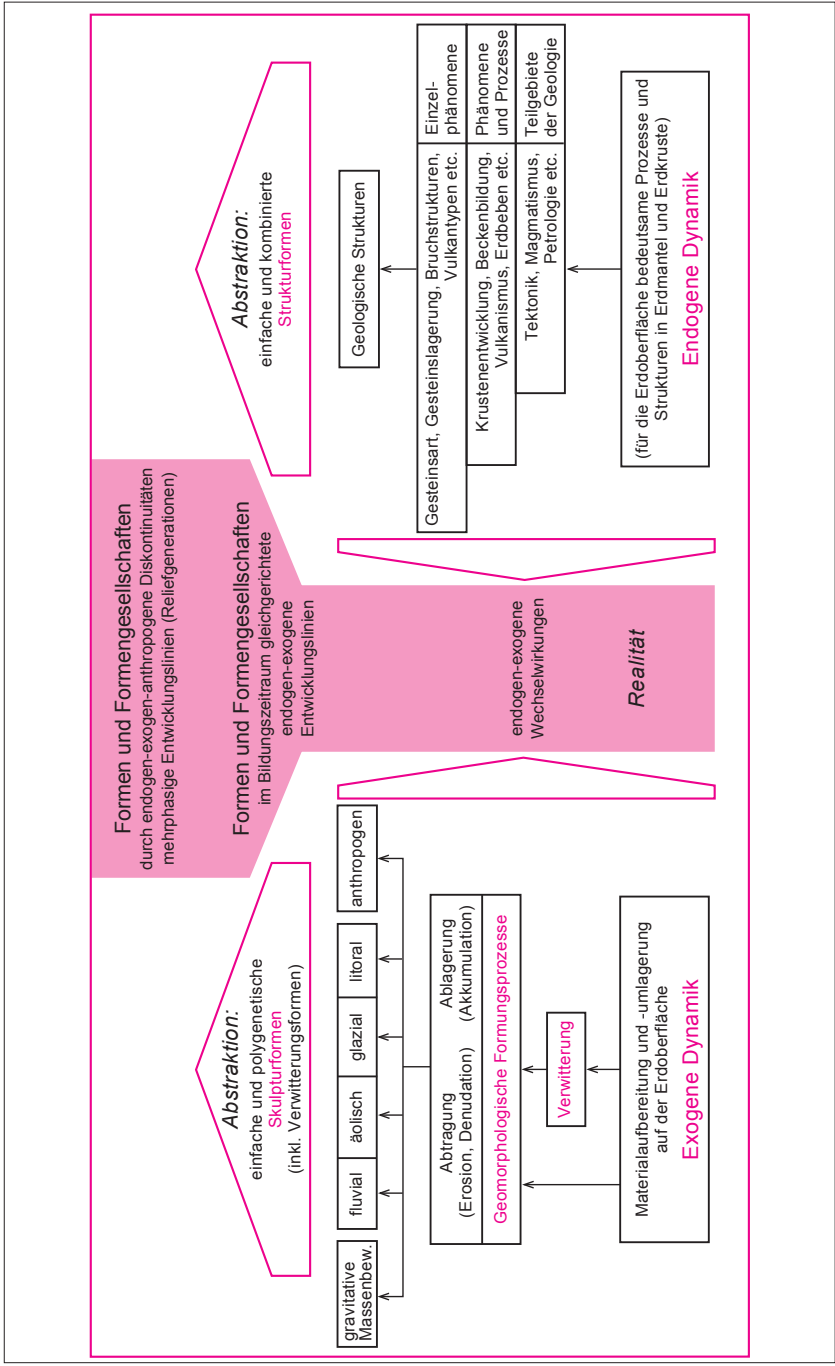


Abb. 1.5 Systematik einer genetisch orientierten Geomorphologie (stark verändert nach HÜSER 1974).

gleichs- und Austauschprozesse zur Folge. Es sind die **ozeanischen und atmosphärischen Zirkulationssysteme**, welche in ihrer Verknüpfung mit dem **(globalen) Wasserkreislauf** die für die exogenen Formungsprozesse erforderlichen Energien bereitstellen. Meeresströmungen an Küsten, durch Wind verursachter Wellenschlag und Gezeiten sind verantwortlich für morphologische Veränderungen an den Küsten. Hieraus resultiert ein **litoraler Formenschatz** (Kap. 11). Auf dem Festland wird Material durch Wind, Wasser und Gletschereis bewegt, was zum **äolischen, fluvialen und glazialen Formenschatz** (Kap. 7, 8, 9) führt. Die Verwitterung als die physikalische und chemische Veränderung der an der Oberfläche anstehenden Gesteine bedingt häufig ebenfalls charakteristische Formen, die **Verwitterungsformen** (Kap. 5).

Lockerer oder zusätzlich durch Feuchtigkeit bewegliches Material ist die Voraussetzung für **gravitative Massenbewegungen** (Kap. 6) und die daraus resultierenden Formen. Die Formen, die durch **exogene Prozesse** entstanden sind (vgl. auch Kap. 10 u. 15), werden unter dem Begriff **Skulpturform** zusammengefasst (Abb. 1.5). Demgegenüber stehen **Strukturformen** (oder strukturgestützte Formen) (Kap. 12) und vulkanische Formen (Kap. 14). Ihr Erscheinungsbild lässt endogene Vorgänge oder gesteinsbedingte Strukturen gut erkennen. Beispiele sind vulkanische Formen, Grabenbrüche und an besonders abtragungsresistente Gesteine gebundene Bergformen. So werden in den Strukturformen Krustenstrukturen und Prozesse sichtbar, die in der Erdkruste abgelaufen sind.

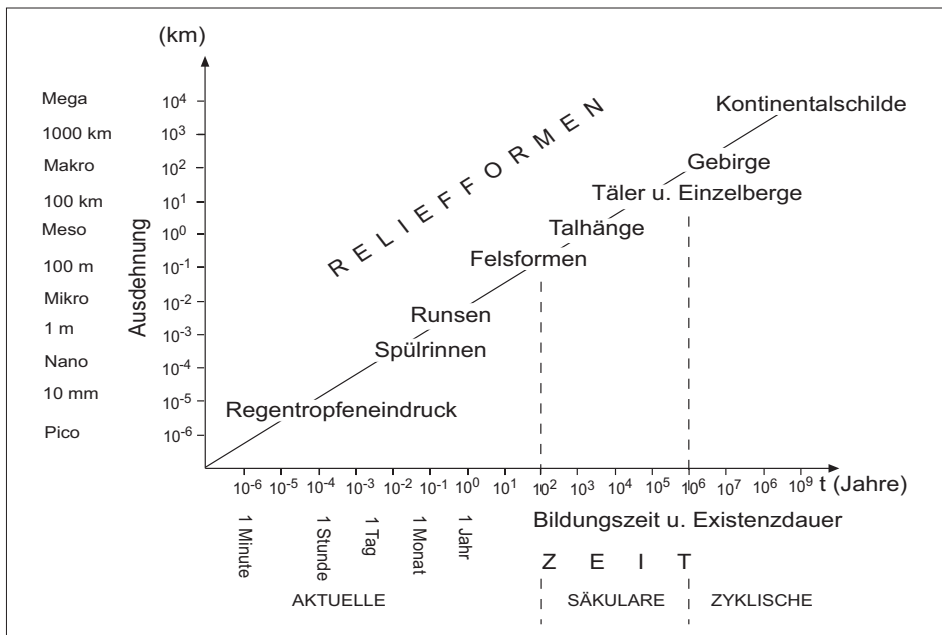


Abb. 1.6 Formgrößen und Bildungszeit/Existenzdauer von Reliefformen (nach AHNERT 1981, 9, verändert).



Die Unterscheidung von Skulpturformen und Strukturformen ist hilfreich für eine Systematisierung von Formen und Formungsprozessen, sie bedeutet andererseits eine starke Abstraktion. Im Grunde sind die in der Geomorphologie behandelten Oberflächenformen nur vor einem erdgeschichtlichem Hintergrund als Ergebnis endogen-exogener Wechselwirkungen zu erklären und zu verstehen (Kap. 1.3).

### 1.3 Vielfalt geomorphologischer Formen

Zu den grundlegenden Betrachtungsdimensionen der Geowissenschaften gehören Raum und Zeit. In Abb. 1.6 sind Reliefformen aufgeführt, die exemplarisch für unterschiedliche Raum- und Zeitbezüge stehen. Der Längendurchmesser der Formen variiert vom Millimeterbereich bis zu mehreren Tausend Kilometern; so kann man von Pico-, Nano-, Mikro-, Meso-, Makro- und Megaformen sprechen. Die Vergänglichkeit einer Form und ihre Existenzdauer stehen in erster Näherung in Zusammenhang mit ihrer Größe; für die Bildung großer Formen sind längere Zeiträume erforderlich als für die Bildung von Kleinformen. Eine 30 cm tiefe Erosionsrinne in einem Ackerboden kann während eines sommerlichen Starkregens innerhalb weniger Minuten entstehen, die Bildung eines Mittelgebirgstals (z.B. Mittelrheintal oder das Tal der Elbe im Elbsandsteingebirge) vollzieht sich im Rahmen einer wechselvollen, mehrere 100 000 Jahre dauernden Entwicklungsgeschichte. Makro- und Megaformen können am besten durch endogene Prozesse erklärt werden. Je kleiner die betrachteten Formen sind, desto mehr spielen exogene Prozesse die entscheidende Rolle. Die Geomorpho-

logie befasst sich vorrangig mit Formen kleiner und mittlerer Dimension (Mikro- bis Makro-Reliefeinheiten). Dem Raum- und Zeitbezug der zu erklärenden Formen und Prozesse entsprechend wird die Untersuchungs- und Darstellungsmethodik gewählt.

### 1.4 Forschungsansätze und Arbeitsrichtungen in der Geomorphologie

Lange Zeit konzentrierten sich viele Vertreter der deutschsprachigen Geomorphologie darauf, die durch Klimawandel gesteuerten Wechsel im Formungsstil der Erdoberfläche zu analysieren (**Klimageomorphologie; klimagenetische Geomorphologie**). Sie betonten die Klimaabhängigkeit von Verwitterung (Kap. 5.5) und Formung und studierten diese vergleichend in verschiedenen Erdgegenden (Kap. 15).

Für die zeitliche Aufeinanderfolge in einem Landschaftsraum entstand das Konzept der **Reliefgenerationen** (Kap. 4.7 u. 4.8). Eine prozessorientiert historisch-genetisch ausgerichtete Geomorphologie rekonstruiert aus Reliefformen, Verwitterungsspuren und Sedimenten des oberflächennahen Untergrunds eines konkreten Landschaftsraums die Entwicklungsgeschichte des Reliefs. Dabei spielen mit Blick auf exogene Formungsprozesse markante Klimawechsel und für die endogene Beeinflussung der Reliefentwicklung tektonische Bewegungen entscheidende Rollen für die Gliederung in Entwicklungsphasen (vgl. Abb. 1.5). In der Regel folgt eine regionale Geomorphologie einem historisch-genetischen Gliederungsprinzip (z.B. Kap. 18). Die beiden Bände ‚Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland‘ (SEM-MEL 1968 und 1984) dokumentieren ein auf Deutschland bezogenes Kondensat

dieser Forschungen. Die Erkenntnisse regional-geomorphologischer Studien sind auch hervorgehobener Bestandteil physisch-geographisch länderkundlicher Darstellungen Deutschlands (z. B. LIEDTKE & MARCINEK 2002). Weitere Beispiele für Arbeiten in dieser Forschungstradition, die Untersuchungsgebiete in der ganzen Welt betreffen, sind in den Schriftenreihen der deutschsprachigen Geographischen Institute dokumentiert.

Besondere Impulse resultieren aus der Arbeitsmethodik der **Geomorphologischen Kartierung**. Sie zielt auf die vollständige Erfassung (Inventarisierung) und kartographische Darstellung der Reliefformen und des Materials des oberflächennahen Untergrundes in einem abgegrenzten Gebiet, also aller geomorphologisch relevanten Sachverhalte. In der Darstellung können morphographische Gesichtspunkte (Beschreibung, Lage und Anordnung von Formen) oder die genetische Deutung hervorgehoben sein. So formulierte das Schwerpunktprogramm Geomorphologische Detailkartierung der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Hauptziel flächendeckender geomorphologischer Kartierungen, die Prozesse und Prozesskombinationen zu klären, die die heutige Form der Erdoberfläche maßgeblich geprägt haben. Kartenbeispiele aus vielen Naturräumen Deutschlands stehen in den Maßstäben 1:25.000 und 1:100.000 mittlerweile im Internet als Downloads zur Verfügung. Daneben wurde die systematische Charakterisierung der Reliefformen, der Struktur der Oberflächenformen (Hänge, Täler, Einschnitte, Kanten, Wölbungen etc.) weiterentwickelt (Kap. 171).

Eine **prozessorientierte Geomorphologie** konzentriert sich auf die Erklärung vorwiegend exogener Formungsprozesse. In der Gegenwart ablaufende Prozesse

untersucht die Aktualmorphologie. Diese Arbeitsrichtung bedient sich am stärksten physikalisch begründeter Erklärungsmodelle und bevorzugt die mathematische Formulierung von Zusammenhängen (Gesetze). Formulierten Gesetzmäßigkeiten werden im Gelände und im Labor durch geeignete Versuchsanordnungen überprüft. Dies geschieht zum Beispiel in der experimentellen Bodenerosionsforschung. Wichtig ist hierbei, dass die Gültigkeitsbedingungen für die Übertragung der gesetzmäßigen Zusammenhänge herausgearbeitet werden.

Eine Forschungsrichtung, die besonders in der deutschsprachigen Geomorphologie etabliert ist, bildet die Erforschung der **Hangedimente**, also jenes Materials, das vor allem in den Mittelgebirgen den oberflächennahen Untergrund bildet und in dem die Bodenentwicklung stattfindet. Zu den Hangedimenten gehören die periglazialen Deckschichten (s. Kasten 18.2), die in den Kaltzeiten in unvergletscherten Gebieten entstanden sind, und die holozänen Umlagerungsprodukte, die zu einem erheblichen Teil als eine direkte oder indirekte Folge anthropogener Eingriffe in den Landschaftshaushalt anzusehen sind (Abb. 4.10 u. 16.4). Die Eigenarten, Potenziale und Funktionen der heutigen Böden werden erheblich durch die Eigenschaften der Hangedimente vorgeprägt.

Die **digitale Reliefmodellierung** entwickelt numerische Methoden, um aus Höhendaten, die im Computer in der Regel als Rasterdaten (Gitternetz) gespeichert sind, Aussagen über Reliefeigenschaften zu treffen. So werden Aussagen über Neigung, Wölbung, Exposition von Reliefelementen erzeugt und sogar die automatische Abgrenzung und Klassifikation komplexer Reliefformen (z. B. Hang- und Talformen, Bergformen) ist möglich Auf

dieser Grundlage werden oberirdische Wassereinzugsgebiete abgegrenzt und Fließwege (Oberflächenabfluss) prognostizierbar. Die digitale Reliefmodellierung ist zu einem wichtigen Bestandteil Geographischer Informationssysteme geworden.

Der internationale Austausch unter Geomorphologen sowie der Kontakt zu den Nachbarwissenschaften und dem Kernfach Geographie hat in den letzten Jahrzehnten die Suche nach möglichst übergreifenden, sehr viele Phänomene (Formen und Prozesse, Eigenschaften und Funktionen) integrierenden **theoretischen Vorstellungen** (Konzepte, Modelle) befruchtet. Einige dieser Entwicklungen stehen am Ende dieses Buches, um auf der Basis des Vorwissens aus den vorangegangenen Kapiteln weiter ausgreifende Vorstellungen über Ziele und Konzepte der Geomorphologie nachzuvollziehen. Theorieentwicklung und Empirie ergänzen sich: Einerseits werden geomorphologische Theorien an der Realität geprüft, meist auf der Basis von Kartierungen und Messungen. Andererseits geben diese empirischen Ergebnisse neue Ideen für Theorien.

### 1.5 Zur Bedeutung des Reliefs und der Geomorphologie

Weshalb sind die Beschäftigung mit dem Relief und die Bearbeitung geomorphologischer Fragestellungen sinnvoll?

- Aus der Existenz und räumlichen Verschiedenartigkeit des Reliefs resultiert eine anschauliche und intuitiv nachvollziehbare Gliederung von Landschaften. Eine solche Reliefgliederung erleichtert den Menschen die räumliche Orientierung. In allen Kulturen und im alltäglichen Sprachgebrauch vermitteln Reliefeigenschaften einen topographischen Bezug anderer Phänomene; aus diesem

Grund beinhaltet jede gute topographische Karte eine Darstellung des Reliefs. Die Beschreibung und teilweise die Erklärung des Verbreitungsmusters von Siedlungen, Industrieflächen, Verkehrswegen, die räumliche Differenzierung der landwirtschaftlichen Nutzung und die Erörterung von Lagebeziehungen geschehen vor dem Hintergrund und mit Bezug zur Reliefdifferenzierung. Die Geomorphologie stellt geeignete Fachausdrücke und Methoden zur Verfügung, um das Relief zu charakterisieren; einige wurden in den allgemeinen Sprachgebrauch übernommen.

- Geomorphologen mit Geländeerfahrung kennen **Merkmale und Eigenschaften von Gesteinen, Sedimenten und Böden** und können sie klassifizieren und benennen. Sie kennen deren Entstehung und Verbreitung, weil sie das Material des oberflächennahen Untergrundes in Beziehung zu den Prozessen setzen, die die Erdoberfläche geformt haben. Gesetzmäßigkeiten der Formung und der Materialumlagerungen auf der Erdoberfläche bilden ihrerseits eine unverzichtbare Grundlage zur rationalen Kartierung von Sedimenten und Böden. Die Kenntnis der Materialien des oberflächennahen Untergrundes kann in die Landschaftsbewertung im Rahmen der ökologischen Planung und Landnutzungsoptimierung eingebracht werden.
- Umweltprobleme und sogenannte ökologische Krisen zeigen vielfach, dass die Umwelt des Menschen für eine kurz- bis mittelfristige Nutzung beurteilt und bewertet wird, jedoch die über Generationen hinweg **nachhaltige Leistungs- und damit Nutzungsfähigkeit des Landschaftshaushaltes** häufig vernachlässigt ist. Eine auf auf Jahrzehnte und Jahrhunderte gerichtete Perspektive der

Prozessgeomorphologie vermittelt wichtige Einsichten in den Entstehungs- und Entwicklungszusammenhang des Landschaftshaushalts und somit in die Lebensgrundlagen von Menschen, Pflanzen und Tieren, z.B. an Gebirgshängen und in Flussauen.

- Die aus geomorphologischen Befunden rekonstruierbaren historischen und prähistorischen Landschaftsveränderungen liefern wesentliche Beiträge zur Abschätzung und Relativierung der **Auswirkungen von Klimamodifikationen und -veränderungen** der Vergangenheit und des derzeitigen Klimawandels.
- Aktuelle, kurzfristig ablaufende Prozesse der Umgestaltung der Erdoberfläche besitzen existentielle Bedeutung für den Lebensraum des Menschen. Sie werden von der Geomorphologie als Beitrag zur Erforschung von „*natural hazards*“ (**Naturgefahren**) und im Rahmen einer interdisziplinären Risikoforschung untersucht. Hierzu gehören exogene Vorgänge, z.B. Bergstürze, Schlammlawinen im Zusammenhang mit Vulkanausbrüchen, Hangrutschungen, katastrophale Erosionsereignisse oder Dünenwanderung. Die Intensität etlicher morphodynamischer Prozesse wird durch anthropogene Einflüsse verstärkt. Die Kenntnis derartiger Prozessabläufe erlaubt dem Geomorphologen, Planungshinweise und Vermeidungs- oder Minderungsstrategien vorzuschlagen. In der Denkschrift namhafter Vertreterinnen und Vertreter der deutschsprachigen Geomorphologie (Dikau et al. 2006, 1–2), die den bezeichnenden Titel trägt **„Die Erdoberfläche – Lebens- und Gestaltungsraum des Menschen“** heißt es: „Geomorphologische Forschung und Lehre ist [...] auf das Engste mit den menschlichen Gesellschaften und ihrer Einwirkung auf die natürlichen Erdoberflächensysteme verbunden. Diese Eingriffe haben zahlreiche und tiefgreifende Fingerabdrücke hinterlassen, deren Entschlüsselung eines der Felder der geomorphologischen Wissenschaft ist. [...] Mit der Themenstellung, die Wechselwirkungen zwischen natürlichen und gesellschaftlichen Systemen zu erforschen, ist die Geomorphologie einerseits in den Naturwissenschaften und andererseits an der Schnittstelle zwischen den Natur- und Gesellschaftswissenschaften lokalisiert.“ Dem Menschen als geomorphologischem Faktor wird heute eine höhere Bedeutung als früher zuerkannt. So wächst die Fülle der Arbeiten, die die Initiierung und Intensität geomorphologischer Prozesse nicht mehr nur aus natürlichen Wirkmechanismen erklären (Kap. 16).
- Das Relief besitzt Regelfunktionen für zahlreiche Prozesse des Landschaftshaushaltes (**Ökofunktionalität des Reliefs**). Es modifiziert das oberflächennahe Windfeld und somit die Ausbreitung von Luftschadstoffen. Weil das Relief die wichtigste Energieumsatzfläche des Erde-Atmosphäre-Systems darstellt, steuern Neigung und Exposition von Hängen das thermisch unterschiedliche Verhalten von Sonnen- und Schatthängen. Agrarökologische Bedeutung besitzen Geländedepressionen, Hohlformen und Unterhänge, weil hier bevorzugt Spätfröste auftreten können. Durch das Relief werden regionaler und lokaler Wasserhaushalt entscheidend bestimmt (Steigungsregen, humide Gebirge als Wasserlieferant für trockene Vorländer, für Flussoasen, Bewässerungswirtschaft oder Wasserkraftnutzung). Neigung und Wölbung der Geländeoberfläche steuern die Umverteilung des Oberflächenabflusses und in Verbindung mit

den Eigenschaften des Untergrundes auch den unterirdischen Abfluss. Zur Analyse, Beurteilung und Kartierung derartiger Phänomene hält die Geo-

morphologie vielfältige Erfassungs- und Analysemethoden bereit, die auch von anderen landschaftsökologischen Disziplinen aufgegriffen werden.

### Kasten 1.3 Fragen

- Erläutern Sie das Begriffspaar Skulpturformen und Strukturformen. Welches Verständnis zur Erklärung von Oberflächenformen wird damit ausgedrückt?
- Warum ist es sinnvoll, von der Reliefsphäre zu sprechen, obwohl das Relief streng genommen eine Oberfläche ohne vertikale Ausdehnung ist?
- Nehmen Sie Stellung: Gibt es eine Beziehung zwischen der Größe von Reliefformen und der Länge des Zeitraums, der für ihre Entstehung erforderlich war und für ihren Fortbestand (Existenz) anzunehmen ist?
- Erläutern Sie die Beziehungen der Geomorphologie zu anderen Wissenschaftsdisziplinen.
- Überlegen Sie: Welche Beiträge können geomorphologisches Wissen und geomorphologisches Prozessverständnis für die nachhaltige Nutzung der Erde liefern? Erläutern Sie Ihre Überlegungen an möglichst konkreten Beispielen.

### Kasten 1.4 Literatúrauswahl zur Ergänzung und Vertiefung

AHNERT 2015 (Lehrbuch), DIKAU et al. 2020 (Lehrbuch), LESER 2009 (Lehrbuch), SUMMERFIELD 1991 (Lehrbuch), HUGGETT 2017 (Lehrbuch), ANDERSON/ANDERSON 2010 (Lehrbuch mit stark physikalischer Ausrichtung), ALLEN 1997 (Lehrbuch zu Oberflächenprozessen mit stark physikalischer Ausrichtung), BRIDGE/DEMICO 2008 (Lehrbuch zu Oberflächenprozessen basierend auf sedimentologischen Strukturen)

## 2

# Die Entstehung von Kontinenten, Gebirgen und Ozeanen (Mega- und Makrorelief)

---



**Abb. 2.1 Grand Tetons** (Wyoming, USA). Die Entstehung steil aufragender Gebirgsketten ist an die Hebung von Teilen der Erdkruste gebunden, die meistens mit plattentektonischen Prozessen in Zusammenhang stehen.

Besonders klar tritt die Abhängigkeit der Form sehr großer Reliefausschnitte (Kontinente, Meere und Tiefseegräben) von großräumigen geologisch wirksamen Prozessen hervor. Insbesondere die Entstehung, Lage und Verbreitung von Kontinenten und Gebirgen ist nur zu erklären, wenn man Erkenntnisse der Plattentektonik heranzieht. Das Kapitel beginnt mit der statistischen Beschreibung von Höhen und Tiefen der Erdoberfläche (Hypsometrische Kurve; Kap. 2.1), macht mit Grundzügen der Plattentektonik vertraut (Kap. 2.2) und schließt mit einer Gliederung der größten Einheiten des Erdreliefs ab, die im Wesentlichen auf endogene Prozesse zurückzuführen ist (Abb. 2.7).