

# Inhalt

## Vorwort XIII

## Kapitel 1

### Die Erde als System 1

- Die Erforschung des Systems Erde 1
  - Die Komponenten des Systems 1
  - Die Zerbrechlichkeit des Systems 2
- Das Prinzip des Uniformismus 2
  - Aktualismus: Die Gegenwart als Schlüssel zur Vergangenheit 2
  - Das Ende der Katastrophentheorie 4
- Eigenschaften und Entstehung der Gesteine 5
  - Die grundlegenden Gesteinsgruppen 5
  - Klassifikation von Gesteinskörpern 9
  - Nicolaus Stenos drei Grundprinzipien für Sedimentgesteine 9
  - Der Kreislauf der Gesteine 10
- Weltweite Datierung von Schichtenfolgen 12
  - Fossilien, Leithorizonte und das relative Alter von Gesteinen 12
  - Radioaktivität und das absolute Alter der Gesteine 13
  - Die geologische Zeitskala 13
  - Die Entwicklung der geologischen Zeitskala 14
- Der tiefere Untergrund 15
  - Der Dichtegradient 15
  - Lithosphäre und Asthenosphäre 17
- Plattentektonik 18
  - Plattenbewegungen 18
  - Der Antrieb der Plattentektonik 20
  - Plattentektonik und der Kreislauf der Gesteine 21
- Der Kreislauf des Wassers 21
  - Die Speicher 22
  - Wechselwirkungen mit dem Kreislauf der Gesteine 23
- Linear ablaufende Veränderungen innerhalb der Erdgeschichte 23
  - Die Entwicklung des Lebens 24
  - Physikalische und chemische Entwicklungen 24
  - Geschichte der Ökosysteme 25
- Episodische Veränderungen in der Erdgeschichte 25
  - Lücken in der Schichtenfolge 25
  - Katastrophale Sedimentationsereignisse 27

Episodische Ereignisse in der Geschichte des Lebens 27

Zusammenfassung 27

## Kapitel 2

### Die Diversität des Lebens 31

- Fossilien 31
  - Hartteile – die am häufigsten überlieferten Skelettelemente der Organismen 31
  - Weichteilerhaltung von Organismen 34
  - Imprägnation 34
  - Hohlform und Abdruck 35
  - Spurenfossilien 35
  - Fossile Brennstoffe 36
  - Die Qualität der Fossilüberlieferung 37
- Die Reiche der Organismen 37
  - Taxonomische Einheiten 38
  - Rekonstruktion des Stammbaumes des Lebens 40
- Das Erkennen von Kladen und ihrer Verwandtschaftsbeziehungen 40
  - Ein allgemeines Kladogramm der Vertebraten 41
  - Die generelle Stammesentwicklung der Vertebraten 41
  - Untersuchungen an niedrigeren taxonomischen Kategorien am Beispiel der Pferde 42
  - Die Qualität der stammesgeschichtlichen Rekonstruktion 44
- Prokaryoten – die beiden Reiche der Bakterien 45
  - Archaeobacteria (Archaeobakterien) 45
  - Eubacteria (Eubakterien) 45
- Protista (Einzeller) 45
- Fungi (Pilze) 48
- Plantae (Pflanzen) 49
  - Sporenpflanzen (blütenlose Pflanzen) 50
  - Samenpflanzen (Blütenpflanzen) 50
- Animalia (Tiere) 51
  - Porifera (Schwämme) 51
  - Cnidaria (Nesseltiere) 51
  - Chordata (Chordatiere) 51
- Zusammenfassung 63

## Kapitel 3 Umwelt und Leben 161

Grundzüge der Ökologie	161
Die Art in ihrem Lebensraum	161
Biozönosen	171
Biogeographie	171
Die Atmosphäre	174
Die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre	174
Temperaturen und Bewegungen in der Atmosphäre	175
Festlandflächen	177
Klimazonen und Vegetation	178
Der Einfluss der Höhenlage auf das Klima	182
Festland, Wasser und jahreszeitliche Temperaturschwankungen	181
Fossile Pflanzen als Klimaindikatoren	185
Der marine Lebensraum	189
Meeresströmungen	187
Tiefsee	189
Marine Lebensgemeinschaften und Nahrungs- netze	190
Temperaturen und Biogeographie	192
Salzgehalt als limitierender Faktor	197
Das Süßwasser als Lebensraum	197
Zusammenfassung	197

## Kapitel 4 Sedimentationsräume 101

Böden	104
Bodenbildung	104
Fossile Böden	105
Seen und Gletscher als Sedimentationsräume	106
Seen als Sedimentationsräume	106
Glaziale Sedimentationsräume	108
Wüsten und aride Becken	110
Death Valley – ein rezentes Beispiel	111
Sanddünen	112
Flusssysteme als Sedimentationsräume	113
Schwemmfächer und Sedimente verflochtener Flüsse im humiden Klima	113
Mäandrierende Flüsse	115
Deltas	117
Marine Ablagerungsraume	120
Düneninseln und Lagunen	121
Schelfgebiete und Epikontinentalmeere	123

Fossilien als Milieu-Indikatoren	
Biogene Ritze	127
Karbonatplattformen	
Küstennahe marine Sebklhas	
Tiefseesedimente	127
Kontinentalränder und Suspensionsströme (Turbidite)	133
Pelagische Sedimente	137
Zusammenfassung	137

## Kapitel 5 Altersbestimmung und die Parallelisierung von Gesteinsserien 131

Die geologische Zeitskala	131
Fossilabfolge	131
Geologische Systeme	133
Stratigraphische Einheiten	135
Chronostratigraphische und geochronologische Einheiten	135
Biostratigraphische Einheiten	136
Magnetostratigraphie und Polaritätseinheiten	137
Lithostratigraphische Einheiten, Profile und Fazies	139
Frühe Abschätzungen des Erdalters	142
Salzgehalt der Ozeane	152
Geschwindigkeit der Sedimentakkumulation	152
Die Temperatur der Erde	153
Radioaktivität und (absolute) Gesteinsalter	153
Radiometrische Datierung	153
Verwendbare Isotope	154
Fossilien kontra Radioaktivität: Die Genauigkeit der Parallelisierung	157
Datierung durch stratigraphische Merkmale	159
Isotopenstratigraphie	159
Eventstratigraphie	160
Diskordanzen, Schichtflächen und Seismostratigraphie	161
Sequenzen	164
Zusammenfassung	167

## Kapitel 6 Evolution und Fossilüberlieferung 169

- Der Beitrag von Charles Darwin 172
  - Die Reise der „Beagle“ 173
  - Anatomische Beweise 176
  - Natürliche Auslese 177
- Populationen, Arten und Artenbildung 177
- Aussterben 178
- Entstehungs- und Aussterberaten von Taxa 178
  - Evolutionäre Radiation 178
  - Aussterberaten 182
- Evolutionäre Konvergenz 183
- Entwicklungstendenzen 184
  - Veränderungen der Körpergröße 184
  - Der Ablauf von Entwicklungstendenzen 187
  - Die Irreversibilität der Evolution 193
- Zusammenfassung 194

## Kapitel 7 Plattentektonik 197

- Die Vorstellung der Kontinentaldrift und ihre geschichtliche Entwicklung 197
- Alfred Wegener:
  - Ein Pionier des 20. Jahrhunderts 201
  - Alexander du Toit und die Schichtenfolge von Gondwanaland 201
    - Die Ablehnung der Kontinentaldrift 205
    - Das Problem des Paläomagnetismus 206
- Der Ursprung der Plattentektonik 207
  - Seafloor-Spreading 208
  - Der Triumph der Paläomagnetik 211
- Tektonische Prozesse und Vulkanismus an Plattengrenzen 212
  - Prozesse an den mittelozeanischen Rücken 213
  - Transformstörungen 213
  - Subduktion an Tiefseerinnen 213
  - Ursachen der Plattenbewegungen 215
  - Subduktionszonen 216
  - Relative Plattenbewegungen 217
  - Absolute Plattenbewegungen 218
- Zusammenfassung 220

## Kapitel 8 Gebirgsbildung 223

- Das Auseinanderbrechen (Rifting) der Kontinente 223
  - Geologische Merkmale kontinentaler Riftvorgänge 227
  - Passive Kontinentalränder 228
- Plattentektonik und Orogenese 229
  - Gebirgsbildung durch Kontinent-Kontinent-Kollision 229
  - Orogenese ohne Kollision von Kontinenten 230
  - Mechanismen der Deformation 232
  - Ablagerung in den Vorlandbecken (Vortiefen) 232
- Die Anden: Gebirgsbildung ohne Kollision von Kontinenten 234
- Die Alpen 235
  - Struktur und Bau der Alpen 236
  - Flysch und Molasse 238
  - Die Entstehung der Alpen 238
- Der Himalaya 239
  - Plattenbewegungen 240
  - Der Ablauf der Orogenese 241
- Die Appalachen – ein altes Gebirgssystem 243
  - Die tektonischen Einheiten der Appalachen 243
- Die Verschmelzung kleinerer Krustenfragmente zu Kontinenten 244
- Zusammenfassung 245

## Kapitel 9 Chemische Stoffkreisläufe 247

- Speicher 247
  - Stoffflüsse 247
  - Rückkopplung 250
- Kohlendioxid, Sauerstoff und biologische Prozesse 250
  - Der Kreislauf von Photosynthese und Atmung bei Pflanzen 251
  - Photosynthese für das Wachstum organischer Substanz 251
  - Atmung 252
  - Atmung bei Destruenten 252
  - Einbettung von Pflanzenmaterial und der Chemismus der Atmosphäre 253
  - Aquatische Ökosysteme 255

Die Anwendung von Isotopen zur Untersuchung globaler Zyklen	256
Kohlenstoffisotope	256
Atmosphärischer Sauerstoff	257
Atmosphärisches Kohlendioxid	258
Die Bedeutung der Verwitterung	260
Verteilung des atmosphärischen CO <sub>2</sub> -Gehaltes im Phanerozoikum	262
Negative Rückkopplungseffekte: Wie der CO <sub>2</sub> -Gehalt unter Kontrolle gehalten wird	264
Temperatur und Verwitterungsrate	264
Niederschläge und Verwitterungsrate	264
Sauerstoffisotope, Klima und der Kreislauf des Wassers	265
Temperatur und Isotopenverhältnisse in Hartteilen der Organismen	265
Salinität und Isotopenverhältnisse	267
Gletschervolumen und Isotope	268
Chemie des Meerwassers und mineralogische Zusammensetzung der organischen Hartteile	269
Zusammenfassung	273

## Kapitel 10

### Die Erde im Archaikum 275

Das Alter der Planeten und des Universums	278
Die Entstehung des Sonnensystems und der Erde	281
Die Sonne	281
Die Planeten	281
Die Entstehung der Erde und ihres Mondes	282
Der Schalenbau der Erde	283
Die katastrophale Geburt des Mondes	283
Die frühe Atmosphäre	285
Die Ozeane	286
Die Frühzeit der Erde	286
Die Krater des Mondes	286
Eine heißere Erde und kleinere Lithosphärenplatten	287
Die Entstehung der Kontinente	288
Hot Spots oder wo saure Kruste entsteht	288
Warum die archaischen Kontinente klein blieben	289
Die älteste kontinentale Kruste	289
Das Gesamtwachstum kontinentaler Kruste	290
Gesteine des Archaikums	290
Allgemeine Merkmale der Sedimentgesteine	291
Grünsteingürtel	291
Die Entstehung großer Kratone	293

Leben im Archaikum	296
Fossilüberlieferung	296
Aminosäuren	297
Eine RNA-Welt?	298
Wo entstand das Leben?	300
Zusammenfassung	302

## Kapitel 11

### Die Erde im Proterozoikum 305

Eine moderne Form der Gebirgsbildung	305
Weltweite Ereignisse im Zeitraum zwischen 2,5 und einer Milliarde Jahre	310
Die paläoproterozoische Vereisung	310
Leben im frühen Proterozoikum	311
Die Entstehung des atmosphärischen Sauerstoffs	314
Das Neoproterozoikum	316
Die neoproterozoischen Vereisungen	316
Leben im Neoproterozoikum	316
Die explosionsartige Evolution der Tiere	317
Expansion und Verkleinerung der Kontinente	322
Nordamerika, Grönland, Schottland und Nordirland als Festlandsmasse Laurentia	324
Präkambrische Provinzen und tektonische Akkretion	324
Ein größerer Kontinent	326
Mesoproterozoische Riftvorgänge im zentralen und östlichen Nordamerika	326
Die Grenville-Orogenese	328
Die Britischen Inseln in proterozoischer Zeit	328
Die frühe Entwicklung Australiens	332
Eurasien: Eine aus vielen Teilen zusammengesetzte Landmasse	332
Bildung und Zerfall von Großkontinenten	334
Die Entstehung des Großkontinentes Rodinia	334
Die Entstehung des Pazifischen Ozeans und der amerikanischen Westküste	334
Ein weiterer Großkontinent?	336
Die Geburt der paläozoischen Kontinente	336
Zusammenfassung	337

## Kapitel 12 Die Erde im älteren Paläozoikum 339

- Die Entwicklung der Organismen im Kambrium 339
  - Leben im frühen Kambrium 339
  - Leben im höheren Kambrium 348
- Leben im Ordovizium 350
  - Das Unterordovizium 350
  - Die große Radiation im Ordovizium 351
  - Leben im freien Meerwasser 354
  - Die Entwicklung des Tierlebens und der Niedergang der Stromatolithen 355
  - Aussterben und Diversität im marinen Bereich 355
  - Eroberten Pflanzen bereits das Festland? 357
- Die paläogeographischen Verhältnisse im Kambrium 357
- Periodische Massenaussterben der Trilobiten 359
- Die paläogeographischen Verhältnisse im Ordovizium 361
- Vereisungen und das Absinken des Meeresspiegels 361
- Ein großes Massenaussterben 362
- Regionale Beispiele 363
  - Die Taconische Orogenese am Ostrand Laurentias 363
  - Stabilität im Westen Nordamerikas 367
  - Meeresspiegelschwankungen im Zentrum von Laurentia 369
  - Kontinentale Akkretion in Australien 371
- Zusammenfassung 372

## Kapitel 13 Die Erde im mittleren Paläozoikum 375

- Fauna und Flora 375
  - Neubelebung des marinen Bereichs 375
  - Pflanzen erobern das Festland 385
  - Tiere erobern das Festland 392
- Paläogeographie 393
  - Der Beginn einer neuen Vereisungsphase 396
  - Das Massenaussterben im Oberdevon 396
- Regionale Beispiele 397
  - Der Osten Nordamerikas 398
  - Euramerika (Old-Red-Kontinent) 398
- Australien 405
  - Das devonische Great Barrier Reef 408
- Zusammenfassung 410

## Kapitel 14 Die Erde im jüngeren Paläozoikum 413

- Fauna und Flora 416
  - Neue marine Organismen 416
  - Riffe und das Aragonitmeer 418
  - Pflanzenleben auf dem Festland 420
  - Land- und Süßwasserorganismen 421
- Paläogeographie des jüngeren Paläozoikums 429
  - Das Unterkarbon:
    - Großräumige Karbonatsedimentation 432
    - Ereignisse an der Wende Unter-/Oberkarbon 432
  - Das höhere Karbon: Kollision der Kontinente und Klimagegensätze 432
    - Das Perm: Klimatische Vielfalt 433
- Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre und das permokarbonische Klima 435
- Das Aussterben am Ende des Perms 435
  - Die erste Phase des Aussterbens 436
  - Das endgültige Aussterben 436
- Regionale Beispiele 438
  - Die Alleghenische Orogenese und die Appalachen 438
  - Krustenbewegungen im Süden und Südwesten der Vereinigten Staaten 441
  - Der Westen der Appalachen: Schwarzschiefer, Kalksteine und Deltaschüttungen 444
  - Kohlevorkommen in Nordamerika und Europa 445
  - Die Schichtenfolge des Perms in Westtexas 447
  - Der Westrand Nordamerikas 453
  - Kontinentaldrift und Evaporite in Nord- und Mitteleuropa 453
- Zusammenfassung 455

## Kapitel 15 Die Erde im älteren Mesozoikum 457

- Leben in den Meeren: Eine neue Welt 457
  - Leben am Meeresboden 460
  - Leben im offenen Ozean 462
- Leben auf dem Festland 465
  - Landpflanzen: Die mesozoische Gymnospermenflora 465
  - Landtiere: Das Zeitalter der Dinosaurier beginnt 468
- Paläogeographie 475
  - Pangaea während der Trias 475
  - Der Zerfall von Pangaea 480
  - Die Welt des Juras 482

Massenaussterben	48
Regionale Beispiele	48–51
Nordamerika im älteren Mesozoikum:	
tektonische Einbruchstrukturen in der Umgebung	
des Atlantischen Ozeans	48–51
Der Westen Nordamerikas	48–51
Europa: Die Trias	49–51
Europa: Der Jura	49–51
Zusammenfassung	50–51

## Kapitel 16

### Die Erde in der Kreidezeit

Fauna und Flora	504
Leben im offenen Ozean	504
Leben am Meeresboden	509
Der Aufstieg der modernen marinen	
Raubtiere	514
Bedecksamer erobern das Festland	515
Große Dinosaurier und kleine Säugetiere	517
Paläogeographische Verhältnisse in der Kreide	521
Neue Kontinente und Ozeane	523
Meeresspiegel, Klima und Meeresströmungen	523
Das Aussterben am Ende der Kreide	527
Hinweise auf einen Asteroidenimpakt	528
Folgen des Impakts	530
Fossilien und der Zeitpunkt des Aussterbens	541
Die Nachwirkungen	541
Regionale Beispiele	542
Die Gebirgsbildung in den Kordilleren	
im Westen Nordamerikas	542
Die Golfküste und das nordamerikanische	
Binnenmeer	543
Die Ostküste: Die Entwicklung des modernen	
Kontinentalschelfs	546
Die Meere der Schreibkreide in Europa	546
Das Meer überflutet Australien	548
Zusammenfassung	549

## Kapitel 17

### Die Erde im Paläogen

Weltweite Ereignisse	546
Entwicklung des Lebens im marinen Bereich	546
Entwicklung der Landpflanzen	547
Land- und Süßwasserorganismen des	
älteren Paläogens	549

Säugetiere des Oligozäns	
Klimaveränderungen und Massenaussterben	551
Regionale Ereignisse	
Die Antarktis und die globale Klimaveränderung	
Australien drittet nach Norden	557
Die Nordhalbkugel:	
Wechselnde Positionen von Land und Meer	
Tektonik im Westen Nordamerikas	557
Die Golfküste	558
Europa	558
Das Mittelmeer	573
Zusammenfassung	573

## Kapitel 18

### Die Erde im Neogen

Weltweite Ereignisse	578
Das Leben im Meer	578
Das Leben auf dem Festland	580
Klimaveränderung im jüngeren Neogen	585
Regionale Ereignisse	597
Entwicklung im Westen Nordamerikas	597
Der Atlantische Ozean und seine Randbereiche	605
Die Entstehung des Karibischen Meeres	606
Der Austausch der Säugetierfaunen Amerikas	608
Klimatische Konsequenzen für den Bereich	
des Atlantiks	608
Afrika, Südeuropa, Asien und Australien	611
Die Entwicklung des Menschen	618
Frühe Menschenaffen in Afrika und Asien	618
Die Australopithecinen	619
Homo erectus, unser Vorfahre	624
War der Neandertaler unser Verwandter?	624
Zusammenfassung	627

## Kapitel 19

### Die Erde im Holozän

Der Rückzug der Gletscher	631
Plötzliche weltweite Ereignisse im älteren Holozän	635
Die ersten Amerikaner	638
Das plötzliche Aussterben der Großsäuger	639
Die Overkill-Hypothese	640
Die Klima-Hypothese	641
Ein möglicher Kompromiss:	
Sowohl Jagd als auch Klima	641

Klimaschwankungen der letzten 10 000 Jahre	641	Direkte Auswirkung eines zunehmenden	
Der Beginn des Ackerbaus	641	CO <sub>2</sub> -Gehaltes auf die Pflanzen	651
Atlantikum und Subboreal	642	Anstieg des Meeresspiegels	653
Gletscher, Baumgrenze und Jahrestringe	642	Zusammenfassung	653
Temperaturverlauf seit dem Atlantikum	643	<b>Anhang</b>	655
Dürreperioden	644	<b>Glossar</b>	659
Meeresspiegel	646	<b>Weiterführende Literatur</b>	685
Folgen des frühholozänen Meeresspiegelanstieges	646	<b>Bildnachweise</b>	691
Die Küstenlinien im Laufe der vergangenen 7 000		<b>Index</b>	699
Jahre	647		
Das 20. und 21. Jahrhundert:			
Der Eingriff des Menschen	649		
Menschliche Tätigkeit und die			
Treibhaus-Erwärmung	649		
Methan aus der Tundra und der Tiefsee	650		
Folgen eines künftigen Klimawechsels	650		