

Inhaltsverzeichnis

1	Grundsätzliches zur Geophysik, zur Lage der Erde im Weltall, ihrer stofflichen Zusammensetzung und ihrem inneren Aufbau	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Was ist Geophysik?	2
1.3	Zum Gebrauch von Formeln	10
1.4	Die Erde im Weltall	13
1.5	Aufbau der Erde	24
1.6	Aufgaben und Fragen	30
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung	30
2	Radioaktiver Zerfall und das Alter von Gesteinen	31
2.1	Isotope, Radioaktivität und Zerfallsprozesse	33
2.2	Methoden der physikalischen Altersbestimmung	38
2.2.1	Zerfalls- und Akkumulationsuhren aus dem Häufigkeitsverhältnis von Eltern- und Tochterisotopen	38
2.2.1.1	Isochronen-Methode beim einfachen Zerfall	38
2.2.1.2	Isochronen-Methode beim verzweigten Zerfall	40
2.2.1.3	Zerfallsreihen	41
2.2.2	Datierung mit kosmischen Radionukliden	45
2.2.3	Datierung mit radioaktiven Ungleichgewichten	46
2.2.4	Akkumulationsuhren auf der Grundlage von Strahlenschädigungen	48
2.2.5	Datierung mit Jahresmarkierungen stabiler Isotope	49
2.3	Aufgaben und Fragen	52
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung	53
3	Erdbeben und die Struktur der Erde	55
3.1	Seismische Wellen und ihre Wechselwirkung mit der Materie und den inneren Grenzflächen der Erde	62
3.1.1	Wellen im täglichen Leben	62
3.1.2	Elastizität	63
3.1.3	Elastische Wellen	65
3.1.4	Energie und Energiedichte einer seismischen Welle	71
3.1.5	Dämpfung seismischer Wellen	71
3.1.6	Reflexion und Brechung seismischer Wellen an Grenzflächen	72
3.1.7	Seismometer	75
3.2	Ausbreitung von Erdbebenwellen	78
3.2.1	Inversion von Laufzeitkurven zur Bestimmung einer radialen Geschwindigkeitsverteilung in der Erde	81
3.2.2	Bestimmung von Grenzflächen in der Erde aus der charakteristischen Antwortfunktion (<i>receiver function</i>) seismischer Stationen	83
3.2.3	Seismische Tomografie zur Abbildung innerer Strukturen der Erde	86

3.2.4	Bestimmung der Entfernung zum Epizentrum eines Erdbebens	91
3.2.5	Herdmechanismen von Erdbeben und deren geodynamische Deutung	95
3.2.6	Bestimmung der Stärke von Erdbeben	99
3.2.7	Überwachung des internationalen Kernwaffenteststopp-Abkommens	112
3.3	Eigenschwingungen von Erde und Sonne	114
3.3.1	Kugelfunktionsanalyse	114
3.3.2	Eigenschwingungen der Erde	118
3.3.3	Helio- und Astroseismologie	127
3.3.3.1	Globale Helioseismologie: Analyse solarer Eigenschwingungen	131
3.3.3.2	Lokale Helioseismologie: Laufzeitkurven und Ringdiagramme	133
3.4	Aufgaben und Fragen	135
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung	136
4	Schwerefeld und Figur der Erde	137
4.1	Gravitation, Erdumdrehung und Gezeiten	141
4.1.1	Gravitationspotenzial	142
4.1.2	Erdumdrehung	144
4.1.3	Gezeiten	145
4.1.4	Änderungen von Erdumdrehung und Erdumlauf um die Sonne	149
4.1.5	Coriolis- und Eötvös-Beschleunigung	156
4.2	Schwerepotenzial und Geoid	157
4.2.1	Lösung der Laplace-Gleichung für das Gravitationspotenzial und Entwicklung nach Kugelfunktionen	157
4.2.2	Entwicklung des Geoids nach Kugelfunktionen	162
4.3	Schwereanomalien, Schwerereduktion und Isostasie	167
4.3.1	Korrektur und Reduktion von Messwerten der Schwerebeschleunigung	167
4.3.1.1	Korrektur zeitlicher Variationen: Instrumentengang und Gezeiten	168
4.3.1.2	Die Breitenabhängigkeit der Normalschwere γ_0	168
4.3.1.3	Höhenreduktionen: Freiluftreduktion δg_F und Geländereduktion δg_T	169
4.3.1.4	Bouguer-Reduktion δg_B und atmosphärische Reduktion δg_A	173
4.3.2	Globale und regionale Schwereanomalien	175
4.3.3	Isostasie und geodynamische Aspekte	179
4.4	Aufgaben und Fragen	186
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung	187
5	Magnetfeld und Magnetosphäre der Erde	189
5.1	Komponenten und Struktur des Erdmagnetfelds	196
5.2	Quellen des Erdmagnetfelds	203
5.2.1	Der Geodynamo	203
5.2.2	Die Magnetosphäre der Erde	211
5.2.3	Das elektrische Feld der Erde	220
5.3	Entwicklung des Erdmagnetfelds nach inneren und äußeren Quellen	221
5.3.1	Entwicklung des Erdmagnetfelds nach Kugelfunktionen	222
5.3.2	Aktuelle Modelle des erdmagnetischen Hauptfelds und magnetische Anomalien	224
5.4	Magnetische Eigenschaften von Gesteinen	232
5.4.1	Induzierte Magnetisierung	233
5.4.2	Diamagnetismus	233
5.4.3	Paramagnetismus	234

5.4.4	Ferro- (Ferri-)Magnetismus	234
5.4.5	Remanente Magnetisierung	236
5.5	Gesteinsmagnetismus	236
5.5.1	Magnetisierung von Gesteinen	236
5.6	Paläomagnetik: Polwanderung und Feldumkehr	240
5.6.1	Methoden der Paläomagnetik	241
5.6.2	Polwanderkurven	243
5.7	Aufgaben und Fragen	244
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung	245
6	Wärme und Temperaturfeld der Erde	247
6.1	Wärmetransport in der Erde	249
6.1.1	Thermodynamische Grundlagen	249
6.1.2	Grundlagen des Wärmetransports in der Erde	253
6.1.2.1	Erhaltung von Masse	253
6.1.2.2	Erhaltung von Energie	254
6.1.3	Die thermische Struktur der Erde	256
6.2	Thermische Energiebilanz der Erde	258
6.2.1	Wärmequellen	258
6.2.1.1	Äußere Quellen	259
6.2.1.2	Innere Quellen	260
6.2.2	Wärmesenken	266
6.2.3	Wärmebilanz der Erde	268
6.3	Wärmespeicherung, Wärmeproduktion und Wärmetransport in der festen Erde	268
6.3.1	Wärmespeicherung	269
6.3.1.1	Wärmekapazität	269
6.3.1.2	Latente Wärme	273
6.3.1.3	Volumenbezogene thermische Kapazität	275
6.3.2	Radiogene Wärmeproduktion	275
6.3.3	Wärmeleitung und Wärmediffusion	277
6.3.3.1	Wärmeleitfähigkeit	278
6.3.3.2	Strahlungs-Wärmeleitfähigkeit	282
6.3.3.3	Variation der effektiven Gesteins-Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur	284
6.3.3.4	Thermische Diffusivität	286
6.4	Der thermische Zustand von Erdkern und Erdmantel	288
6.4.1	Konvektion im äußeren Erdkern	288
6.4.2	Konvektion im Erdmantel	292
6.5	Der thermische Zustand der Erdkruste	298
6.5.1	Globale Variation des terrestrischen Wärmestroms	298
6.5.2	Verteilung radioaktiver Quellen mit der Tiefe	299
6.5.3	Paläoklima	302
6.5.4	Auskühlung ozeanischer Lithosphäre	312
6.5.5	Wärmeadvektion als Maß für Strömung	319
6.5.5.1	Bestimmung vertikaler Fließraten mit Péclet-Zahl-Analysen von Temperaturprofilen	320
6.5.5.2	Dimensionsanalyse thermischer Systeme	321
6.5.5.3	Freie Konvektion in porösem Gestein	322
6.6	Aufgaben und Fragen	325
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung	326

7 Anhang 327

7.1 Geologische Zeittafeln und Periodensystem der Elemente 327

7.2 Allgemeine Bezugsdaten, Umrechnungsfaktoren und Naturkonstanten . . . 340

7.3 Vorsicht bei großen Zahlen: Abkürzung, Präfixe und Namen für Vielfache
und Bruchteile von Zehn in verschiedenen Sprachen 346

7.4 Einige Rechenregeln für Vektoren und Tensoren 347

7.5 Die Fehlerfunktion 349

7.6 Legendre-Transformation 349

7.7 Seismische Intensitätsskala EMS-98 351

7.8 Antwortfunktion eines Seismometers 351

7.9 Erzeugung eines zum mittleren Magnetfeld
parallelen, turbulenten Magnetfelds (α -Effekt) 351

7.10 Gleichungen der Hydrodynamik 352

7.10.1 Die eulersche Bewegungsgleichung einer idealen Flüssigkeit 352

7.10.2 Die Navier-Stokes-Gleichung der Strömung einer zähen Flüssigkeit . . 353

7.10.3 Stokes-Strömung 356

7.10.4 Oberbeck-Boussinesq-Näherung 357

7.11 Gleichungen der Hydrothermik 359

7.11.1 Energietransport in zähen Fluiden 359

7.11.2 Beheizung oder Kühlung eines homogenen Halbraums von oben . . . 362

7.11.3 Einsetzen freier Konvektion – lineare Stabilitätsanalyse 363

7.11.4 Wassertiefe über einer isostatisch ausgeglichenen,
von oben gekühlten Lithosphärenplatte endlicher Dicke 365

7.12 Antworten zu den Fragen und Lösungen der Aufgaben 366

Liste der verwendeten Symbole und Schreibweisen 379

Zitierte Literatur 387

Sachverzeichnis 401