

# Inhaltsverzeichnis

Über den Autor . . . . .	XV
<b>1 Grundsätzliches zur Geophysik, zur Lage der Erde im Weltall, zu ihrer stofflichen Zusammensetzung und ihrem inneren Aufbau . . . . .</b>	<b>1</b>
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
<b>2 Radioaktiver Zerfall und das Alter von Gesteinen . . . . .</b>	<b>31</b>
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
<b>3 Erdbeben und die Struktur der Erde . . . . .</b>	<b>55</b>
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 (receiver function) 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 . . . . .	111
3.3	Eigenschwingungen von Erde und Sonne . . . . .	113
3.3.1	Kugelfunktionsanalyse . . . . .	115
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 . . . . .	134
3.4	Aufgaben und Fragen . . . . .	136
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung . . . . .	136
<b>4</b>	<b>Schwerefeld und Figur der Erde . . . . .</b>	<b>139</b>
4.1	Gravitation, Erdumdrehung und Gezeiten . . . . .	143
4.1.1	Gravitationspotenzial . . . . .	144
4.1.2	Erdumdrehung . . . . .	146
4.1.3	Gezeiten . . . . .	147
4.1.4	Änderungen von Erdumdrehung und Erdumlauf um die Sonne . . . . .	152
4.1.5	Coriolis- und Eötvös-Beschleunigung . . . . .	158
4.2	Schwerepotenzial und Geoid . . . . .	160
4.2.1	Lösung der Laplace-Gleichung für das Gravitationspotenzial und Entwicklung nach Kugelfunktionen . . . . .	160
4.2.2	Entwicklung des Geoids nach Kugelfunktionen . . . . .	165
4.3	Schwereanomalien, Schwerereduktion und Isostasie . . . . .	170
4.3.1	Korrektur und Reduktion von Messwerten der Schwerebeschleunigung . . . . .	170
4.3.1.1	Korrektur zeitlicher Variationen: Instrumentengang und Gezeiten . . . . .	171
4.3.1.2	Die Breitenabhängigkeit der Normalschwere $\gamma_0$ . . . . .	171
4.3.1.3	Höhenreduktionen: Freiluftreduktion $\delta g_F$ und Geländereduktion $\delta g_T$ . . . . .	171
4.3.1.4	Bouguer-Reduktion $\delta g_B$ und atmosphärische Reduktion $\delta g_A$ . . . . .	176
4.3.2	Globale und regionale Schwereanomalien . . . . .	178
4.3.3	Isostasie und geodynamische Aspekte . . . . .	181
4.4	Aufgaben und Fragen . . . . .	188
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung . . . . .	189
<b>5</b>	<b>Magnetfeld und Magnetosphäre der Erde . . . . .</b>	<b>191</b>
5.1	Komponenten und Struktur des Erdmagnetfelds . . . . .	198
5.2	Quellen des Erdmagnetfelds . . . . .	205
5.2.1	Der Geodynamo . . . . .	205
5.2.2	Die Magnetosphäre der Erde . . . . .	213
5.2.3	Das elektrische Feld der Erde . . . . .	222
5.3	Entwicklung des Erdmagnetfelds nach inneren und äußeren Quellen . . . . .	223
5.3.1	Entwicklung des Erdmagnetfelds nach Kugelfunktionen . . . . .	224
5.3.2	Aktuelle Modelle des erdmagnetischen Hauptfelds und magnetische Anomalien . . . . .	227

5.4	Magnetische Eigenschaften von Gesteinen . . . . .	234
5.4.1	Induzierte Magnetisierung . . . . .	234
5.4.2	Diamagnetismus . . . . .	235
5.4.3	Paramagnetismus . . . . .	235
5.4.4	Ferro- (Ferri-)Magnetismus . . . . .	236
5.4.5	Remanente Magnetisierung . . . . .	238
5.5	Gesteinsmagnetismus . . . . .	238
5.5.1	Magnetisierung von Gesteinen . . . . .	238
5.6	Paläomagnetik: Polwanderung und Feldumkehr . . . . .	242
5.6.1	Methoden der Paläomagnetik . . . . .	242
5.6.2	Polwanderkurven . . . . .	244
5.7	Aufgaben und Fragen . . . . .	246
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung . . . . .	247
<b>6</b>	<b>Wärme und Temperaturfeld der Erde . . . . .</b>	<b>249</b>
6.1	Wärmetransport in der Erde . . . . .	251
6.1.1	Thermodynamische Grundlagen . . . . .	251
6.1.2	Grundlagen des Wärmetransports in der Erde . . . . .	255
6.1.2.1	Erhaltung von Masse . . . . .	255
6.1.2.2	Erhaltung von Energie . . . . .	256
6.1.3	Die thermische Struktur der Erde . . . . .	258
6.2	Thermische Energiebilanz der Erde . . . . .	260
6.2.1	Wärmequellen . . . . .	260
6.2.1.1	Äußere Quellen . . . . .	261
6.2.1.2	Innere Quellen . . . . .	262
6.2.2	Wärmesenken . . . . .	268
6.2.3	Wärmebilanz der Erde . . . . .	270
6.3	Wärmespeicherung, Wärmeproduktion und Wärmetransport in der festen Erde . . . . .	270
6.3.1	Wärmespeicherung . . . . .	271
6.3.1.1	Wärmekapazität . . . . .	271
6.3.1.2	Latente Wärme . . . . .	275
6.3.1.3	Volumenbezogene thermische Kapazität . . . . .	277
6.3.2	Radiogene Wärmeproduktion . . . . .	277
6.3.3	Wärmeleitung und Wärmediffusion . . . . .	279
6.3.3.1	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	280
6.3.3.2	Strahlungs-Wärmeleitfähigkeit . . . . .	284
6.3.3.3	Variation der effektiven Gesteins-Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur . . . . .	286
6.3.3.4	Thermische Diffusivität . . . . .	288
6.4	Der thermische Zustand von Erdkern und Erdmantel . . . . .	290
6.4.1	Konvektion im äußeren Erdkern . . . . .	290
6.4.2	Konvektion im Erdmantel . . . . .	294
6.5	Der thermische Zustand der Erdkruste . . . . .	300
6.5.1	Globale Variation des terrestrischen Wärmestroms . . . . .	300
6.5.2	Verteilung radioaktiver Quellen mit der Tiefe . . . . .	301
6.5.3	Paläoklima . . . . .	304
6.5.4	Auskühlung ozeanischer Lithosphäre . . . . .	314
6.5.5	Wärmeadvektion als Maß für Strömung . . . . .	321
6.5.5.1	Bestimmung vertikaler Fließraten mit Péclet-Zahl-Analysen von Temperaturprofilen . . . . .	322
6.5.5.2	Dimensionsanalyse thermischer Systeme . . . . .	323
6.5.5.3	Freie Konvektion in porösem Gestein . . . . .	324

6.6	Aufgaben und Fragen . . . . .	327
	Ausgewählte Lehrbücher und Nachschlagewerke zur Vertiefung . . . . .	328
<b>7</b>	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>329</b>
7.1	Geologische Zeittafeln und Periodensystem der Elemente . . . . .	329
7.2	Allgemeine Bezugsdaten, Umrechnungsfaktoren und Naturkonstanten . . .	342
7.3	Vorsicht bei großen Zahlen: Abkürzung, Präfixe und Namen für Vielfache und Bruchteile von Zehn in verschiedenen Sprachen . . . . .	348
7.4	Einige Rechenregeln für Vektoren und Tensoren . . . . .	349
7.5	Die Fehlerfunktion . . . . .	351
7.6	Legendre-Transformation . . . . .	351
7.7	Seismische Intensitätsskala EMS-98 . . . . .	353
7.8	Antwortfunktion eines Seismometers . . . . .	353
7.9	Erzeugung eines zum mittleren Magnetfeld parallelen, turbulenten Magnetfelds ( $\alpha$ -Effekt) . . . . .	353
7.10	Gleichungen der Hydrodynamik . . . . .	354
	7.10.1 Die eulersche Bewegungsgleichung einer idealen Flüssigkeit . . . . .	354
	7.10.2 Die Navier-Stokes-Gleichung der Strömung einer zähen Flüssigkeit .	355
	7.10.3 Stokes-Strömung . . . . .	358
	7.10.4 Oberbeck-Boussinesq-Näherung . . . . .	359
7.11	Gleichungen der Hydrothermik . . . . .	361
	7.11.1 Energietransport in zähen Fluiden . . . . .	361
	7.11.2 Beheizung oder Kühlung eines homogenen Halbraums von oben . . .	364
	7.11.3 Einsetzen freier Konvektion – lineare Stabilitätsanalyse . . . . .	365
	7.11.4 Wassertiefe über einer isostatisch ausgeglichenen, von oben gekühlten Lithosphärenplatte endlicher Dicke . . . . .	367
<b>8</b>	<b>Antworten zu den Fragen und Lösungen der Aufgaben . . . . .</b>	<b>369</b>
	<b>Liste der verwendeten Symbole und Schreibweisen . . . . .</b>	<b>381</b>
	<b>Zitierte Literatur . . . . .</b>	<b>389</b>
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>403</b>