

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

1.1	Definition von Paläo- und Archäomagnetismus	1
1.2	Einordnung der Methoden innerhalb der Geophysik	2
1.3	Aussagemöglichkeiten über den früheren Zustand der Erde	2
1.4	Wechselbeziehungen mit Nachbardisziplinen	3
1.5	Maßsysteme, Einheiten	3

2 Methodische Grundlagen

2.1	Eigenschaften und Ursprung des Erdmagnetfeldes	7
2.1.1	Definition der Kenngrößen des Erdmagnetfeldes X,Y,H,Z,F,D,I und ihre Verknüpfungen	7
2.1.2	Ideales und reales Erdmagnetfeld	8
2.1.3	Nichtdipolanteile in Raum und Zeit (Säkularvariation)	10
2.1.4	Kugelfunktionsentwicklung und zeitliche Änderungen der Feldgrößen	16
2.1.5	Theorien zum Ursprung des erdmagnetischen Feldes	17
2.2	Gesteinsmagnetische Grundlagen	19
2.2.1	Diamagnetismus, Paramagnetismus, Ferromagnetismus, Antiferromagnetismus und Ferrimagnetismus	19
2.2.1.1	Definition der Magnetisierung und des Diamagnetismus	19
2.2.1.2	Paramagnetismus	20
2.2.1.3	Ferromagnetismus	23
2.2.1.4	Antiferromagnetismus	23
2.2.1.5	Ferrimagnetismus	24
2.2.2	Definition magnetischer Kenngrößen (k, H_c, J_s, \dots) der Ferro(i)magnetika	26
2.2.3	Anisotropie der Suszeptibilität	29
2.2.4	Selbstentmagnetisierung und magnetische Brechung	30
2.2.5	Kristallanisotropie und Magnetostriktion	34
2.2.6	SD-PSD-MD-Teilchen und ihre typischen Eigenschaften und Unterscheidungsmerkmale	36

2.3	Magnetische und strukturelle Eigenschaften natürlicher Ferrite	50
2.3.1	Magnetit	50
2.3.2	Ternäres System (FeO-TiO ₂ -Fe ₂ O ₃) und die Mischreihe der Titanomagnetite	51
2.3.3	Hämatit und Maghemit	55
2.3.4	Mischreihe der Hämo-Ilmenite	56
2.3.5	Nichtstöchiometrische Minerale im ternären System der Ti-Oxide, Titanomaghemite	58
2.3.6	Pyrrhotit und Greigit	61
2.3.7	Goethit	62
2.3.8	Methoden zur Identifikation von ferro(i)magnetischen Mineralphasen	62
2.4	Die Typen der remanenten Magnetisierung und ihre spezifischen Eigenschaften	66
2.4.1	Natürliche remanente Magnetisierung NRM	66
2.4.2	Thermoremanente Magnetisierung TRM	67
2.4.3	Partielle thermoremanente Magnetisierung PTRM	71
2.4.4	Chemische Remanenz CRM	72
2.4.5	Sedimentationsremanenz DRM	74
2.4.6	Postsedimentationsremanenz PDDRM	75
2.4.7	Piezoremanenz PRM	75
2.4.8	Viskose Remanenz VRM	76
2.4.9	Isothermale Remanenz IRM	78
2.4.10	Charakteristische Remanenz ChRM	79
2.4.11	Anhysteretische Remanenz ARM	79
2.4.12	Selbstumkehr einer remanenten Magnetisierung	80
2.4.13	Andere Remanenttypen	81
2.5	Typische magnetische Eigenschaften verschiedener Gesteine und archäologischer Materialien	82
2.5.1	Basalte und andere Ergußgesteine	82
2.5.2	Intrusivgesteine	84
2.5.3	Ganggesteine	85
2.5.4	Sandsteine	86
2.5.5	Tonsteine	87
2.5.6	Karbonatgesteine	87
2.5.7	Metamorphe Gesteine	88
2.5.8	Einfluß der Verwitterung	90
2.5.9	Sonstige Gesteine	91
2.5.10	Archäologisches Material	93
2.6	Verfahren zur Analyse einer remanenten Magnetisierung	93
2.6.1	Wechselfeldentmagnetisierung	95
2.6.2	Thermische Entmagnetisierung	100
2.6.3	Chemische Entmagnetisierung	102
2.6.4	Stoßwellenentmagnetisierung	104
2.6.5	Lowrie-Fuller-Test	105

2.6.6	Orthogonale Projektionen (Zijderveld-Diagramme) und Darstellung der Remanenzrichtungen im Schmidtschen Netz	106
2.6.7	Methode der Differenzvektoren	112
2.6.8	Methode der konvergierenden Großkreise	114
2.6.9	Mehrkomponentenanalyse	115
2.7	Alter einer Remanenz und radiometrische Alter	116
2.7.1	Faltungstest	117
2.7.2	Konglomeratstest	118
2.7.3	Kontakttest	120
2.7.4	Thellier-Test	121
2.7.5	Reversal-Test	122
2.7.6	Beziehungen zwischen Remanenzalter und radiometrisch oder biostratigraphisch bestimmten Altern	123
2.8	Statistische Methoden zur Analyse von Remanenzrichtungen	125
2.8.1	Mittlere Richtungen und Fisher-Statistik	126
2.8.2	Fehlerfortpflanzung	129
2.8.3	Signifikanztests	129
2.8.4	Analyse und statistische Behandlung von Inklinationsdaten	132
2.9	Berechnung des virtuellen geomagnetischen Pols VGP und des virtuellen geomagnetischen Dipolmoments M_{pal}	132
2.9.1	VGP-Berechnung auf der Basis der Dipolhypothese	134
2.9.2	Statistische Behandlung der Pollagen	134
2.9.3	Berechnung des virtuellen Dipolmoments M_{pal}	134
2.10	Methoden zur Bestimmung der Paläointensität	135
2.10.1	Methode unter Verwendung der TRM (Methode Thellier)	135
2.10.2	Methode unter Verwendung der ARM (Methode Shaw)	139
2.10.3	Methode unter Verwendung der DRM	141
2.11	Probenentnahme und Meßgeräte im Paläomagnetismus und Archäomagnetismus	142
2.11.1	Kriterien für die Auswahl von Beprobungsorten	142
2.11.2	Statistische Minimalanforderungen	143
2.11.3	Bestimmung der horizontalen Referenzebene und einer Referenzrichtung	143
2.11.4	Entnahme von orientierten Handstücken	144
2.11.5	Entnahme von Kernen mit Diamantbohrern und Kolbenloten	147
2.11.6	Probenentnahme bei archäologischen Fundorten	149
2.11.7	Laborgeräte zur Messung magnetischer Parameter	150
2.11.7.1	Messung der remanenten Magnetisierung	150
2.11.7.2	Messung der Suszeptibilität und ihrer Anisotropie	154
2.11.7.3	Messung der Koerzitivkraft H_c	154
2.11.7.4	Messung der Curie-Temperatur T_c	156

2.11.8	Geräte zur Entmagnetisierung von Proben	157
2.11.8.1	Wechselfeldentmagnetisierung	157
2.11.8.2	Thermische Entmagnetisierung	160
2.11.8.3	Chemische Entmagnetisierung	162
2.11.8.4	Spulensysteme für die Kompensation des erdmagnetischen Feldes	163
2.11.8.5	Magnetische Abschirmung	164
2.12	Mikroskopie und Mößbauer-Spektroskopie	164
2.12.1	Erzmikroskopie: Dünnschliffe, Anschliffe	164
2.12.2	Rasterelektronenmikroskopie REM	172
2.12.3	Transmissionselektronenmikroskopie TEM	175
2.12.4	Mößbauer-Spektroskopie	176

3 Ergebnisse des Paläo- und Archäomagnetismus

3.1	Geometrie des Erdmagnetfeldes	181
3.1.1	Hypothese vom axialen geozentrischen Dipol	181
3.1.2	Archäosäkularvariation	183
3.1.3	Quartäre Säkularvariation	185
3.1.4	Paläosäkularvariation	188
3.1.5	Exkursionen des Erdmagnetfeldes	189
3.2	Polwanderungskurven größerer Kontinentalschollen	190
3.2.1	Scheinbare oder echte Polwanderung?	190
3.2.2	Scheinbare Polwanderungskurven der großen Kontinentalschollen	192
3.2.3	Scheinbare Polwanderungskurven von Mikroplatten	199
3.3	Feldumkehr und Polaritätszeitskalen	200
3.3.1	Selbstumkehr der Remanenz oder Feldumkehr?	200
3.3.2	Polaritätszeitskala der letzten 0.7 Ma	201
3.3.3	Polaritätszeitskala der letzten 5 Ma	203
3.3.4	Polaritätszeitskala der letzten 150 Ma	204
3.3.5	Polaritätszeitskalen der früheren geologischen Vergangenheit	208
3.3.6	Feldverhalten während einer Feldumkehr	208
3.3.7	Statistik der Feldumkehrungen	211
3.4	Paläointensität des Erdmagnetfeldes	213
3.4.1	Ergebnisse von archäologischen Proben	213
3.4.2	Paläointensitäten der geologischen Vergangenheit	214
3.4.3	Paläointensität während einer Feldumkehr	216

4 Anwendung des Paläomagnetismus auf geologische, petrologische und archäologische Fragestellungen

4.1 Anwendungen in der Geologie und der Tektonik 219

4.1.1 Paläorekonstruktion von Kontinentverteilungen 219

4.1.2 Paläobreitenbestimmungen von Krustenblöcken 227

4.1.3 Nachweis von Rotationsbewegungen 229

4.1.4 Altersbestimmung mit Hilfe der scheinbaren Polwanderungskurven 230

4.1.5 Datierung mit der Magnetostratigraphie 232

4.2 Gesteinsmagnetische Untersuchungen 235

4.2.1 Suszeptibilität und Magnetitgehalt 236

4.2.2 Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität 238

4.2.3 Messung magnetischer Eigenschaften bei tiefen Temperaturen 240

4.2.4 Koenigsbergerscher Q-Faktor 241

4.2.5 J_s/T -Kurven zur Identifikation von ferro(i)magnetischen Mineralien 241

4.2.6 IRM-Erwerbskurven und Entmagnetisierung der IRM_s mit Wechselfeldern und thermisch 244

4.3 Anwendungen in der Archäologie 246

4.3.1 Datierung mit Hilfe von Standardkurven der Inklination und Deklination 246

4.3.2 Rekonstruktion archäologischer Objekte 251

5 Bibliographie

5.1 Gesteinsmagnetismus, Mineralogie 253

5.2 Paläomagnetismus und Archäomagnetismus 253

5.3 Zitierte Literatur 254

Anhang

Programme 265

Sachverzeichnis 269