

---

Gregor Markl

# Minerale und Gesteine

Mineralogie – Petrologie – Geochemie

2. verbesserte und erweiterte Auflage

Mit Grafiken von Michael Marks

**Spektrum**  
AKADEMISCHER VERLAG

# Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	1	2.3.2	Kristallchemie wichtiger gesteinsbildender Minerale ....	136
<b>1 Makroskopische Bestimmung von Mineralen und Gesteinen .....</b>	<b>3</b>	2.3.3	Kristallwachstum und Diffusion, zonierte Minerale .....	152
1.1 Eine grobe Einteilung der Gesteine .....	3	2.3.3.1	Kristallwachstum .....	153
1.2 Minerale .....	4	2.3.3.2	Diffusion und zonierte Minerale .....	158
1.3 Der Aufbau der Erde .....	7	2.4	Physikalische Eigenschaften von Mineralen .....	161
1.4 Die Differenzierung der Erde ..	11	2.4.1	Farbe .....	161
1.5 Die Entstehung der Gesteinsvielfalt – der Kreislauf der Gesteine .....	13	2.4.2	Mechanische Eigenschaften ....	166
1.6 Gesteine .....	16	2.4.3	Elektrische und magnetische Eigenschaften .....	169
1.6.1 Magmatische Gesteine .....	16	2.5	Optische und analytische Methoden der Mineralogie ....	175
1.6.1.1 Allgemeines zur Nomenklatur von magmatischen Gesteinen ..	16	2.5.1	Polarisationsmikroskopie .....	175
1.6.1.2 Die Streckeisennomenklatur ...	18	2.5.2	Spektroskopische Methoden ...	191
1.6.1.3 Das TAS-Diagramm .....	22	2.5.3	Röntgendiffraktometrie .....	194
1.6.1.4 Normberechnungen .....	22	2.5.4	Elektronenstrahlmikrosonde ...	198
1.6.1.5 Zur Nomenklatur von vulkanischen Auswurfprodukten ....	23	2.5.5	Röntgenfluoreszenzanalyse ....	200
1.6.2 Metamorphe Gesteine .....	25	2.5.6	Elektronenmikroskopie .....	203
1.6.3 Sedimentgesteine .....	26	2.5.7	Massenspektrometrie .....	207
1.7 Ausgewählte Minerale .....	32	2.5.8	Lumineszenzmikroskopie .....	211
1.8 Ausgewählte Gesteine .....	74	2.5.9	Spaltspurdatering .....	212
<b>2 Allgemeine Mineralogie .....</b>	<b>119</b>	2.5.10	Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen .....	214
2.1 Einführung .....	119	2.5.11	Schwermineraltrennung .....	221
2.2 Kristallgeometrie und Kristallmorphologie .....	120	2.5.12	Korngrößentrennung und -messung .....	221
2.2.1 Symmetrien .....	120	2.5.13	Quecksilber- Porosimetrie ....	225
2.2.2 Kristallgitter .....	123	<b>3 Petrologie .....</b>	<b>229</b>	
2.2.3 Kristallsysteme .....	125	3.1	Einführung .....	229
2.3 Kristallchemie .....	129	3.2	Die betrachteten chemischen Zusammensetzungen .....	229
2.3.1 Grundlagen .....	129	3.3	Phasen und Komponenten .....	230

3.4	Der Begriff des Gleichgewichts in der Petrologie .....	232	3.9.2.6	Dichte und Viskosität von Schmelzen .....	312
3.5	Arbeiten mit petrologisch wichtigen Diagrammen .....	235	3.9.2.7	Fluide in der magmatischen Petrologie .....	315
3.5.1	Phasendiagramme .....	235	3.9.2.8	Redoxreaktionen in magmatischen Systemen .....	318
3.5.2	Dreiecksdiagramme .....	236	3.9.3	Bildung, Aufstieg und Kristallisation von Schmelzen .....	322
3.5.3	Projektion von Phasen.....	238	3.9.3.1	Die Entstehung von Schmelzen .....	322
3.5.4	Berechnung von Reaktionsstöchiometrien mit Hilfe von Matrizen .....	242	3.9.3.2	Aufstieg von Schmelzen .....	329
3.5.5	Aktivitätsdiagramme .....	243	3.9.3.3	Kristallisation.....	332
3.6	Metamorphe Reaktionen .....	247	3.9.4	Wichtige Kuriositäten: Karbonatite, Kimberlite, Anorthosite .....	343
3.6.1	Phasenumwandlungen.....	247	3.10	Sedimentpetrologie.....	350
3.6.2	Sonstige Festphasenreaktionen .....	247	3.10.1	Einleitung .....	350
3.6.3	Entwässerungsreaktionen .....	249	3.10.2	Die Verwitterung.....	352
3.7	p-T-t-Pfade und ihre Rekonstruktion.....	250	3.10.2.1	Chemische und physikalische Verwitterung .....	352
3.8	Metamorphe Prozesse.....	254	3.10.2.2	Verwitterungsbildungen .....	355
3.8.1	Das metamorphe Fazieskonzept .....	254	3.10.2.3	Der globale Thermostat: ein Zusammenhang zwischen Verwitterung und Klima .....	365
3.8.2	Metamorphose von Ultrabasiten .....	259	3.10.3	Die Diagenese .....	371
3.8.3	Metamorphose von kieselligen Kalksteinen.....	264	3.10.3.1	Einleitung und Klassifikation der Diagenese .....	371
3.8.4	Metamorphose von Tonsteinen (Metapeliten) .....	269	3.10.3.2	Das Schicksal des organischen Kohlenstoffs in der Diagenese ..	371
3.8.5	Metamorphose von Basalten (Metabasiten) .....	274	3.10.3.3	Die Veränderung des Porenraumes und des Drucks im Gestein .....	377
3.9	Magmatische Prozesse .....	280	3.10.3.4	Fluidzusammensetzung und Mineralstabilitäten in Sedimenten .....	385
3.9.1	Der Zusammenhang von Plattentektonik und Magmatismus .....	280	3.10.3.5	Evaporite .....	392
3.9.1.1	Tektonische Milieus und ihr Zusammenhang mit vornehmlich basischem Magmatismus ..	281			
3.9.1.2	Klassifikation und tektonische Zuordnung von granitoiden Schmelzen .....	294	<b>4</b>	<b>Geochemie .....</b>	<b>397</b>
3.9.2	Methoden und physikalisch-chemische Grundlagen der magmatischen Petrologie .....	300	4.1	Einführung .....	397
3.9.2.1	Binäre Schmelzdiagramme ....	301	4.2	Nukleosynthese .....	398
3.9.2.2	Ternäre Schmelzdiagramme ...	305	4.3	Die Entstehung und frühe Entwicklung der Planeten .....	404
3.9.2.3	Der Verteilungskoeffizient .....	306	4.4	Meteorite und Kometen .....	408
3.9.2.4	Kontamination von Schmelzen..	308	4.4.1	Allgemeines zu Meteoriten ....	408
3.9.2.5	Fraktionierte Kristallisation....	310	4.4.2	Alter und Herkunft von Meteoriten .....	412

4.4.3	Die Klassifikation von Meteoriten . . . . .	414	4.7.4	„Neue“ stabile Isotopensysteme . . . . .	521
4.4.4	Funde und Fälle . . . . .	415	4.7.4.1	Eisen . . . . .	521
4.4.5	Die verschiedenen Meteoritenarten . . . . .	417	4.7.4.2	Kupfer . . . . .	524
4.4.5.1	Steinmeteorite . . . . .	417	4.7.4.3	Die Leichtelemente Lithium, Beryllium und Bor . . . . .	525
4.4.5.2	Stein-Eisenmeteorite . . . . .	427	4.7.4.6	Calcium . . . . .	527
4.4.5.3	Eisenmeteorite . . . . .	427	4.7.4.7	Silizium . . . . .	528
4.4.5	Weitere Beurteilungskriterien für Meteorite . . . . .	429	4.7.4.8	Chlor . . . . .	529
4.5	Die Zusammensetzung von Erde und Mond . . . . .	431	4.8	Radiogene Isotope . . . . .	531
4.5.1	Die Zusammensetzung der Gesamterde und des Erdkerns . . . . .	432	4.8.1	Einführung . . . . .	531
4.5.2	Die Zusammensetzung des Erdmantels . . . . .	435	4.8.2	Geochronologie . . . . .	534
4.5.3	Die Zusammensetzung der Erdkruste . . . . .	439	4.8.3	Wichtige Systeme radiogener Isotope . . . . .	539
4.5.4	Die Zusammensetzung der Ozeane und der Atmosphäre . . . . .	443	4.8.3.1	Das Rb/Sr-System . . . . .	539
4.5.5	Die Zusammensetzung des Mondes . . . . .	454	4.8.3.2	Das Sm/Nd-System . . . . .	542
4.6	Die Verteilung der Elemente . . . . .	457	4.8.3.3	Das U/Pb-System . . . . .	544
4.6.1	Die geochemische Einteilung der Elemente . . . . .	457	4.8.3.4	K/Ar und Ar/Ar . . . . .	554
4.6.2	Verteilungskoeffizienten . . . . .	462	4.8.3.5	Das Lu/Hf-System . . . . .	557
4.6.3	Die Quantifizierung der Elementverteilung bei Schmelz- und Kristallisationsprozessen . . . . .	471	4.8.3.6	Das Re/Os-System . . . . .	559
4.6.3.1	Gleichgewichtskristallisation . . . . .	471	4.8.3.7	Die Ungleichgewichtsmethoden des Urans und Thoriums . . . . .	562
4.6.3.2	Fraktionierte Kristallisation . . . . .	473	4.8.3.8	Die U-Th-(Sm)/He-Methode . . . . .	565
4.6.4	Die Seltenen Erden . . . . .	473	4.8.3.9	Kosmogene Radionuklide . . . . .	565
4.7	Stabile Isotope . . . . .	484	4.8.3.10	Edelgase . . . . .	569
4.7.1	Die Fraktionierung stabiler Isotope . . . . .	484	4.8.4	Radiogene Isotope als petrogenetische Tracer in magmatischen Prozessen . . . . .	572
4.7.2	Fraktionierungsfaktoren und gebräuchliche Notationen . . . . .	489	4.9	Biogeochemische Kreisläufe am Beispiel des Kohlenstoffs . . . . .	578
4.7.3	„Traditionell“ häufig in den Geowissenschaften benutzte stabile Isotope . . . . .	489		<b>Abbildungsnachweis . . . . .</b>	<b>583</b>
4.7.3.1	Wasserstoff und Sauerstoff . . . . .	489		<b>Tabellennachweis . . . . .</b>	<b>591</b>
4.7.3.2	Kohlenstoff . . . . .	506		<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>593</b>
4.7.3.3	Schwefel . . . . .	514		<b>Mineraltabelle . . . . .</b>	<b>597</b>
4.7.3.4	Stickstoff . . . . .	519		<b>Register . . . . .</b>	<b>600</b>