

Table of Contents

(Inhaltsverzeichnis s. S. VIII)

	Page
3 Geochemistry. Character and Abundance of Y and REE and Their Isotopes	1
3.1 Geochemical Character of Y and REE	1
3.2 Average Values and Fractionation of Y and REE in the Earth's Crust, the Earth's Mantle, and Total Earth	2
3.2.1 The Earth's Crust	2
3.2.2 The Earth's Mantle	6
3.2.3 Total Earth	8
3.3 Isotopic Abundance of Y and REE on the Earth. Natural Nuclear Reactors	9
4 Geochemistry. Lithosphere. Magmatic Cycle	11
4.1 Orthomagmatic Phase	11
4.1.1 Type of Occurrence of Y and REE in Magmatic Rocks	11
REE in the Magmatic Melt	11
Y and RE Minerals Forming from the Melt	13
Occurrence of Minerals with Y and REE in Various Magmatic Rocks	15
Review	15
Granitic, Dioritic, and Basaltic Rocks	16
Ultramafites and Kimberlites	20
Syenitic and Foid-bearing Rocks	22
Carbonatites	24
Quantitative Data for Distribution of Y and REE between Rock-forming Minerals and Accessories of Magmatic Rocks	25
Distribution of Y and REE between Various Minerals during Differentiation	29
Fractionation of Y and REE by Minerals Crystallizing from Magma	32
Distribution Coefficients of Y and REE	33
Review in English on Chapters 4.1.1.6.2 and 4.1.1.6.3	34
Effect of Physical and Chemical Factors on the Distribution of REE between Mineral and Melt	35
Review in English on Chapter 4.1.1.6.1.2.	36
Temperature and Pressure	36
Distribution Coefficients and Equilibrium Conditions during Crystallization	37
Effect of Crystal Chemistry	38
Chemistry of Melts	39
Conclusions from Physico-chemical Factors	40
Effect of Paragenesis	41
Factors Affecting Eu Distribution	42
REE Distribution Coefficients of Rock-forming Minerals and Effect of Mineral Crystallization on Residual Melts	44
Review	44
Olivine	45
Garnets	46

	Page
Distribution Coefficients	46
Effect of REE Fractionation in Garnets on Melt Composition	47
Melilites	48
Klinopyroxenes	49
Distribution Coefficients in General	49
Effect of Chemistry of Klinopyroxenes on RE Distribution Coefficients. . .	50
Europium Anomalies in Klinopyroxenes and Melts.	51
Effect of RE Fractionation in Klinopyroxenes on Melt Composition	51
Examples of Klinopyroxene Deposition as Interpretation for the Genesis of Effusiva and Mantle Parageneses	52
Orthopyroxenes	54
Amphiboles	55
Distribution Coefficients	55
Effect of Amphibole Deposition on Melt Composition	56
Examples of Amphibole Deposition as Interpretation for the Genesis of Effusive Series and Plutonic Complexes	56
Mica	58
Nepheline	59
Potash Feldspars and Anorthoclase.	59
Plagioclases	60
Distribution Coefficients	60
Effect of Plagioclase Crystallization on RE Content of Melts	62
Examples of Plagioclase Deposition Affecting RE Content of Various Rocks	63
REE Distribution Coefficients of Accessories and Effect of Their Crystallization on Melt Composition.	69
Review	69
Fluorite	71
Spinel	71
Ilmenite	73
Perovskite	73
Pyrochlores	74
Carbonates	74
Monazite and Xenotime	74
Apatite	75
Distribution Coefficients	75
Effect of Apatite Deposition on Melt Composition.	78
Effect of Apatite on Melting Processes	79
Zircon	79
Titanite	81
Allanite (Orthite)	82
Eudialyte	83
4.1.2 Content of Y and REE in Magmatic Rocks	85
Review in English on Chapters 4.1.2.1 to 4.1.2.8	85
Content of Y and REE in Standard Rocks	86
Granitoids, Other Quartz-bearing Rocks, and Charnockites	101
Granitoids and Other Quartz-bearing Rocks	101
Charnockites	112
Dioritic Rocks.	113
Gabbroids and Basaltoids	122

	Page
Syenitic and Monzonitic Rocks	142
Foid-bearing Rocks	149
Ultramafic Rocks, Kimberlites, and Carbonatites	157
Peridotites, Pyroxenites, Hornblendites	157
Komatiites and Kimberlites	162
Carbonatites	165
Comparison of Y and REE Content in Intrusive and Effusive Rocks	168
 4.1.3 Isotope Content of Y and REE in Magmatic Rocks.	 170
Abundance of REE Isotopes. Characteristic Values for Characterization of Isotope Composition and Age Determination	 170
Use of REE Isotope Data in Genetic Discussions of Magmatic Rocks.	172
Compilation of Literature with Data on REE Isotope Ratios in Magmatic Rocks . .	173
 4.1.4 Behavior of Y and REE during Magma Solidification	 182
Review in English on Chapters 4.1.4.1 to 4.1.4.4.	182
Quantitative Data for REE and Y and the $\Sigma Ce/\Sigma Y$ Ratio in Various Magmatic Rock Complexes and Series	 183
Relationship between Y and REE and Petrological Factors	188
Relationship between Y and REE and Alkalinity of Magma	192
Effect of the Fluid Phase on Distribution and Fractionation of Y and REE in Magma	195
 4.1.5 Behavior of Y and REE during Assimilation	 197
4.1.6 Relationship between Y, REE and the Main Elements of Magmatic Rocks . .	199
Review.	199
Relationship between Y, REE and Silicon	200
Distribution of Y and La to Lu in Dependence of SiO_2	200
Yttrium	202
Lanthanum	202
Cerium	204
Praseodymium	204
Neodymium	206
Samarium	208
Europium	208
Gadolinium	210
Terbium	211
Dysprosium	211
Holmium	212
Erbium	212
Thulium	212
Ytterbium	213
Lutetium.	213
Summary for All REE and Y	213
Behavior of Total REE + Y and Individual Lanthanides, and of Y against SiO_2 .	222
Relationship between Y, REE and K, Na.	224
Relationship between Y, REE and Ca, Al	226
Relationship between Y, REE and Mg, Fe, Mn	227
Relationship between Y, REE and P.	229

	Page
4.1.7 Relationship between Y, REE and Other Trace Elements in Magmatic Rocks .	229
Review	229
Relationship between Y, REE and Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Th, U	230
Relationship between Y, REE and Ba, Sr, Rb, Cs, Sc	234
Relationship between Y, REE and V, Cr, Co, Ni, Zn, Ge, Ga	236
Relationship between Y, REE and Halogens and $\delta^{18}\text{O}$	236
4.1.8 Classification and Discrimination of Magma Types and Rock Groups by Means of Parameters with REE and Y	237
Review in English	240
Significance of REE and Y Content	243
Content of La and Lanthanides, of Y and $\Sigma\text{RE} \pm \text{Y}$ and Enrichment of Lanthanides Relative to Chondrites in Various Rocks	244
Causes for Different Content of Y and ΣRE in Magma of Various Origin	248
Application of the Ratios $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} \pm \text{Y}$, La/Yb, La/Y, La/Lu, and Ce/Yb, Ce/Y, Ce/Tm $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} \pm \text{Y}$	251
La/Yb, La/Lu, La/Y	253
Range of Application and Constraint to Classification of Magma Types by La/Yb Classification of Magmas of First Generation by La/Yb and La/Y	253
Classification of Magmas from Island Arcs and Continental Margins as Magmas of Second Generation by La/Yb	256
Assignment of Incomplete Magma Series to Island Arc Magmas by La/Yb	256
Inference to the Initial Material of Island Arc Magmas by La/Yb Ratios of Rocks Relation between La/Yb and the Chemism of Island Arc Magmas	259
La/Yb and La/Lu Ratios of Basic to Acid Plutonic Rocks as Indicators for Their Genesis	260
Ce/Yb, Ce/Y, Ce/Tm	263
Range of Application of Ce/Yb and Ce/Y and Effect of Various Factors on These Ratios	263
Differences of Ce/Yb and Ce/Y in Oceanic and Continental Magmas of First Generation and Their Causes	264
Differences of Ce/Yb, Ce/Y, and Ce/Tm in Basalts from Marginal Basins and Back-Arc Basins and Their Causes	268
Differences of Ce/Yb in Magmas of Second Generation of Island Arcs and Continental Margins	270
Ce/Yb and Ce/Y Ratios in Intermediate and Acid Plutonic Rocks as Indicators of Their Genesis	271
Use of the Ratios between Light REE La/Ce, La/Nd, and Ce/Nd.	274
La/Ce and Ce/La	274
La/Nd and Ce/Nd	276
Use of the Ratios between Light (La, Ce, Pr, Nd) and Middle (Sm, Tb, Dy) REE	277
Review	277
La/Sm, Ce/Sm, La/Tb, Sm/Nd in Oceanic Rocks	278
Quantitative Data for $[\text{La}/\text{Sm}]_N$ in Oceanic Rocks	278
Variance of the Ratios $[\text{La}/\text{Sm}]_N$ in Various Ridge Segments	284
Variation of the $[\text{La}/\text{Sm}]_N$ Ratio during Geological Periods	286
Quantitative Data for $[\text{Ce}/\text{Sm}]_N$ in Rocks of Oceanic Ridges	288
La/Sm and Ce/Sm in Ophiolite Complexes and Spilites	289
La/Tb and Sm/Nd in Oceanic Rocks	290

	Page
La/Tb Ratios.	290
Sm/Nd Ratios	291
[La/Sm] _N and Sm/Nd in Continental Magmatic Rocks	293
La/Sm, Ce/Sm, and Sm/Nd in Volcanic Rocks from Island Arcs and Marginal Basins	294
La/Dy and Sm/Nd in Acid and Mafic to Ultramafic Plutonic Rocks	296
Use of the Ratios between Middle (Sm, Gd) and Heavy (Yb) REE.	297
Use of the Relation of REE and Y with each other and with the Isotope Ratios ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd and ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	299
Ternary Diagrams with REE and Y	299
La/Yb to ΣREE	300
Ratio of Two REE to One REE	302
La/Sm to La and Ce/Sm to Ce	302
La/Sm to Sm and Ce/Sm to Sm	303
La/Sm to Yb and Ce/Sm to Yb	304
Ce/Yb to Ce	305
Ce/Yb to Sm and Sm/Eu to Sm	305
La/Yb to Yb and Ce/Yb to Yb	306
Sm/Yb to Sm and Gd/Yb to Yb	307
Relation between Two Different REE Ratios.	308
La/Sm to Sm/Yb and La/Sm to Lu/Sm.	308
Relation between REE or Their Ratios and Isotope Ratios of Nd and Sr	308
REE and RE Ratios to ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd or ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd to ¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	308
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr to REE and RE Ratios or to La/Sr.	309
Systematic Application of Several Diagrams.	310
Characterization and Discrimination of Magma and Rock Types by REE Patterns	
Normalized to Chondrites	313
Review	313
Oceanic Magmas	318
Basic to Acid Volcanics from Mid-Ocean Ridges and Islands within Oceanic Plates	318
Ophiolite Complexes	324
Island Arc Magmas, Cenozoic to Jurassic	330
Island Arcs.	330
Continental Margins	333
Island Arc Magmas, Mesozoic and Older	335
Continental Magmas	339
Continental Volcanics.	339
Carbonatites and Kimberlites.	343
Intermediate Rocks and Granitoids	346
Review	346
Intermediate Plutonites	347
Phanerozoic Acid Calc-Alkali Plutonites	348
Precambrian Acid Calc-Alkali Plutonites	351
Alkali Granites	353
Charnockites.	355
Continental and Oceanic Calc-Alkali Granites.	356
Ultrabasic and Basic Rocks	358

	Page
Classification and Discrimination of Magma Types by Means of Diagrams Using the Content of Y in Addition to Other Trace Elements (except REE) and of Main and Minor Elements	364
Review	364
Classification by Means of the Triangular Diagram Ti/100-Zr-3Y, the Diagrams Zr/Y to Ti/Y and by Discrimination Factors	367
Recent to Ordovician Volcanic Rocks.	367
Greenstones and Amphibolites.	370
Ophiolite Complexes	372
Classification by Diagrams with the Ratios Nb/Y or Y/Nb to Main, Minor, and Other Trace Elements	373
SiO ₂ to Nb/Y and Zr/TiO ₂ to Nb/Y.	373
TiO ₂ to Y/Nb	373
Nb/Y to Zr/P ₂ O ₅	374
Ga/Sc to Nb/Y.	375
Application of Nd Isotope Ratios and Their Relation to ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr for Determining Origin and Genesis of Magmas	375
Review	375
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd and ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁶ Nd Ratios	377
Relation between ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd and ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr Ratios	377
Relation between ε _{Nd} and ε _{Sr} , ΔNd and ΔSr, or δ'Nd and δ'Sr	381
4.2 Pegmatitic Phase. Aplites	387
4.2.1 Relationship between Pegmatites and Magma; Origin of REE.	387
4.2.2 Transport and Deposition of Rare Earth Elements in Pegmatites	389
4.2.3 Type of Occurrence, Composition, and Distribution of REE in Minerals of Pegmatites and Aplites	390
RE and RE-containing Minerals in Pegmatites and Aplites	390
Deposition Sequence and Spatial or Quantitative Distribution of RE and RE-containing Minerals in Pegmatites	395
Balance of REE Distribution and Composition in the Mineral Content of Individual Pegmatites and Aplites	399
4.2.4 Behavior of REE and Y during Formation of Pegmatites and Aplites	401
Physico-chemical Conditions.	401
Formation of RE-containing Pegmatite Minerals by Replacement	403
Fractionation of REE during Pegmatite Formation	404
Relationship between Pegmatites and Aplites and Their Intrusions	405
Total RE Content and Fractionation of REE in Pegmatites, Aplites, and Their Parent Rocks	405
Comparison of RE Content and RE Fractionation in the Same Mineral from Pegmatite, Aplite, and the Inherent Host Rock.	408
Other Geological Factors Influencing RE Content and RE Fractionation in Pegmatites and Aplites	409
4.2.5 Quantitative Content of REE in Pegmatites and Aplites.	411

	Page
4.3 Pneumatolytic-Hydrothermal Phase	416
4.3.1 Relationship between Pneumatolytic-Hydrothermal Solutions and Magma; Origin of REE and Y	416
4.3.2 Type of Solutions.	418
4.3.3 Transport and Deposition of REE and Y in Hydrothermal Solutions	420
Complex Formation	420
Deposition and Fractionation of REE and Y in Dependence from pH Value, Alkalinity, and Temperature of the Solutions.	424
Experimental Investigations of Solubility and Deposition of REE and Y in Hydrothermal Solutions	426
4.3.4 Type of Occurrence and Distribution of REE and Y in Pneumatolytic- Hydrothermal Mineral Formations	428
Occurrence and Composition of RE and RE-containing Minerals	428
Review	428
Examples of the Occurrence of REE and Y in Minerals of Special Pneumatolytic- Hydrothermal Formations	431
Sequences of Segregation, Redistribution, and RE Composition of RE and RE- containing Minerals	438
Spatial Distribution of RE and RE-containing Minerals in Hydrothermal Formations	442
Balance of RE Distribution and Composition in the Mineral Content of Individual Rocks	445
4.3.5 Behavior of REE and Y in Metasomatic Alteration of Magmatic Rocks	448
General	448
Metasomatic Alteration of Acid and Intermediate Rocks.	451
Metasomatic Alteration of Basic and Ultrabasic Rocks	455
Metasomatic Alteration of Alkali-rich Rocks and Carbonatites	459
4.3.6 Behavior of REE and Y during Metasomatism by Hydrothermal Solutions in the Country Rocks of Magmatic Rocks.	467
Conversion Table	474

Inhaltsverzeichnis

(Table of Contents see page I)

	Seite
3 Geochemie. Charakter und Häufigkeit von Yttrium und den Seltenerdelementen sowie ihren Isotopen	1
3.1 Geochemischer Charakter von Yttrium und den Seltenerdelementen	1
3.2 Mittelwerte und Fraktionierung von Yttrium und den Seltenerdelementen in Erdkruste, Erdmantel und Gesamterde	2
3.2.1 Erdkruste	2
3.2.2 Erdmantel	6
3.2.3 Gesamterde	8
3.3 Isotopenhäufigkeiten von Yttrium und den Seltenerdelementen auf der Erde. Natürliche Kernreaktoren	9
4 Geochemie. Lithosphäre. Magmatische Abfolge	11
4.1 Orthomagmatische Phase	11
4.1.1 Art des Auftretens von Yttrium und den Seltenerdelementen in Magmatiten	11
Seltenerdelemente in der magmatischen Schmelze	11
Art der sich aus der Schmelze bildenden Mineralien mit Y und den Seltenerdelementen.	13
Das Auftreten von Mineralien mit Yttrium und den Seltenerdelementen in den verschiedenen magmatischen Gesteinen	15
Überblick	15
Granitische, dioritische und basaltische Gesteine	16
Ultramafite und Kimberlite	20
Syenitische und foidhaltige Gesteine	22
Carbonatite.	24
Quantitative Angaben zur Verteilung von Y und den Seltenerdelementen auf die gesteinsbildenden Mineralien und Akzessorien von Magmatiten	25
Verteilung von Y und den Seltenerdelementen auf verschiedenartige Mineralien im Verlauf der Differentiation	29
Fraktionierung von Y und den Seltenerdelementen durch die aus dem Magma auskristallisierenden Mineralien	32
Verteilungskoeffizienten von Y und den Seltenerdelementen	33
Überblick	33
Physikalische und chemische Faktoren, die die Verteilung der SEE zwischen Mineral und Schmelze beeinflussen	35
Temperatur und Druck	36
Verteilungskoeffizienten und Gleichgewichtseinstellungen bei der Kristallisation	37
Kristallchemische Faktoren	38
Chemismus der Schmelzen	39
Schlußfolgerungen aus den physikalisch-chemischen Faktoren	40
Paragenetische Faktoren	41
Faktoren, die speziell die Europium-Verteilung beeinflussen.	42
SE-Verteilungskoeffizienten von gesteinsbildenden Mineralien und der Einfluß ihrer Auskristallisation auf die verbleibenden Schmelzen	44
Überblick	44

Olivin	45
Granate	46
Verteilungskoeffizienten.	46
Einfluß der SE-Fraktionierung in Granat auf die Schmelze	47
Melilithe.	48
Klinopyroxene	49
Verteilungskoeffizienten allgemein	49
Einfluß des Chemismus der Klinopyroxene auf ihre SE-Verteilungskoeffizien- ten	50
Europium-Anomalien in Klinopyroxenen und Schmelze	51
Einfluß der SE-Fraktionierung in Klinopyroxenen auf die Schmelze	51
Beispiele von Klinopyroxenabscheidungen als Erklärung für die Genese von Effusiven und Mantelparagenesen	52
Orthopyroxene	54
Amphibole.	55
Verteilungskoeffizienten.	55
Einfluß der Abscheidung von Amphibolen auf die Schmelze	56
Beispiele von Amphibolabscheidungen als Erklärung für die Genese effusiver Serien und plutonischer Komplexe	56
Glimmer	58
Nephelin	59
Kalifeldspäte und Anorthoklas	59
Plagioklase	60
Verteilungskoeffizienten.	60
Einfluß von Plagioklas-Kristallisation auf den SE-Gehalt der Schmelzen	62
Beispiele für die Auswirkungen von Plagioklasabscheidungen auf den Gehalt an SEE in verschiedenen Gesteinen	63
SE-Verteilungskoeffizienten von Akzessorien und der Einfluß ihrer Auskristallisa- tion auf die Schmelze	69
Überblick	69
Fluorit.	71
Spinelle	71
Ilmenit	73
Perowskit	73
Pyrochlore.	74
Carbonate	74
Monazit und Xenotim.	74
Apatit	75
Verteilungskoeffizienten.	75
Einfluß der Abscheidung von Apatit auf die Schmelze	78
Einfluß von Apatit bei Aufschmelzvorgängen	79
Zirkon	79
Titanit.	81
Allanit (Orthit)	82
Eudialyt	83
4.1.2 Höhe der Gehalte von Y und den Seltenerdelementen in Magmatiten	85
Gehalte an Yttrium und den Seltenerdelementen in Standardgesteinen	86
Granitoide, weitere Quarz-führende Gesteine und Charnockite.	101
Granitoide und weitere Quarz-führende Gesteine.	101
Charnockite	112

	Seite
Dioritische Gesteine	113
Gabbroide und Basaltoide	122
Syenitische und monzonitische Gesteine	142
Foidhaltige Gesteine.	149
Ultramafische Gesteine, Kimberlite und Carbonatite.	157
Peridotite, Pyroxenite, Hornblendite	157
Komatiite und Kimberlite.	162
Carbonatite.	165
Vergleich der Gehalte von Yttrium und den Seltenerdelementen in intrusiven und effusiven Gesteinen	168
4.1.3 Isotopengehalte von Yttrium und den Seltenerdelementen in Magmatiten	170
Häufigkeit von Isotopen der Seltenerdelemente. Kennwerte zur Charakterisierung von Isotopenzusammensetzungen und zur Altersbestimmung	170
Anwendungen von Isotopendaten der Seltenerdelemente bei genetischen Diskussionen von Magmatiten	172
Zusammenstellung von Literatur mit Angaben über Isotopenverhältnisse von Seltenerdelementen in Magmatiten	173
4.1.4 Verhalten von Yttrium und den Seltenerdelementen im Verlauf der Magmenverfestigung	182
Quantitative Angaben für die Seltenerdelemente und Yttrium und das Verhältnis $\Sigma Ce/\Sigma Y$ in verschiedenen magmatischen Gesteinskomplexen und -folgen.	183
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu petrologischen Faktoren	188
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zur Alkalinität von Magmen	192
Einfluß der fluiden Phase auf die Verteilung und Fraktionierung von Yttrium und den Seltenerdelementen im Magma	195
4.1.5 Verhalten von Yttrium und den Seltenerdelementen bei Assimilationsvorgängen	197
4.1.6 Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu den Hauptelementen von Magmatiten	199
Überblick.	199
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Silicium.	200
Häufigkeitsverteilung von Y und den Lanthaniden La bis Lu gegenüber SiO_2	200
Yttrium	202
Lanthan	202
Cer	204
Praseodym.	204
Neodym	206
Samarium	208
Europium	208
Gadolinium	210
Terbium	211
Dysprosium	211
Holmium	212
Erbium	212
Thulium	212
Ytterbium	213
Lutetium.	213
Übersicht für alle Seltenerdelemente und Yttrium	213
Verhalten der Gehalte von Gesamt-(SE + Y) sowie einzelner Lanthanide und von Yttrium gegenüber SiO_2	222

Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Kalium und Natrium . . .	224
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Calcium und Aluminium	226
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Magnesium, Eisen und Mangan	227
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Phosphor	229
4.1.7 Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu anderen Spuren- elementen in Magmatiten	229
Überblick.	229
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Titan, Zirkon, Hafnium, Niob, Tantal, Thorium und Uran	230
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Barium, Strontium, Rubidium, Caesium und Scandium	234
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu Vanadium, Chrom, Kobalt, Nickel, Zink, Germanium und Gallium	236
Beziehungen von Yttrium und den Seltenerdelementen zu den Halogenen und zu $\delta^{18}\text{O}$	236
4.1.8 Klassifizierung und Diskriminierung von Magmentypen und Gesteinsgruppen mit Hilfe von Parametern aus Seltenerdelementen und Yttrium	237
Überblick.	237
Bedeutung der Höhe der Gehalte der Seltenerdelemente und von Yttrium	243
Gehalte von Lanthan und Lanthaniden, von Yttrium und $\Sigma\text{SE} \pm \text{Y}$ sowie Anreicherung gegenüber Chondriten von Lanthaniden in verschiedenen Gesteinstypen	244
Ursachen für unterschiedliche Gehalte von Yttrium und ΣSE in Magmen verschiedener Entstehung	248
Anwendung der Verhältnisse $\Sigma\text{Cer-Erden}/\Sigma\text{Ytter-Erden} \pm \text{Y}$, La/Yb , La/Y und La/Lu sowie Ce/Yb , Ce/Y und Ce/Tm	251
$\Sigma\text{Cer-Erden}/\Sigma\text{Ytter-Erden} \pm \text{Y}$	252
La/Yb , La/Lu und La/Y	253
Anwendungsbereich und Begrenzung für die Klassifizierung von Magmentypen durch La/Yb	253
Gliederung von Magmen der 1. Generation nach La/Yb und La/Y	253
Gliederung von Magmen der Inselbögen und von Kontinenträndern als Magmen der 2. Generation nach La/Yb	256
Zuordnung unvollständiger Magmenserien zu den Inselbogenmagmen nach La/Yb	256
Rückschlüsse auf das Ausgangsmaterial von Inselbogenmagmen aufgrund von La/Yb -Verhältnissen von Gesteinen	259
Beziehungen von La/Yb zum Chemismus von Inselbogenmagmen	260
La/Yb - und La/Lu -Verhältnisse von basischen bis sauren Plutoniten als Indikatoren für deren Genese	260
Ce/Yb , Ce/Y und Ce/Tm	263
Anwendungsbereich von Ce/Yb und Ce/Y sowie die Beeinflussung dieser Verhältnisse durch verschiedene Faktoren.	263
Unterschiede von Ce/Yb und Ce/Y in ozeanischen und kontinentalen Magmen der 1. Generation und ihre Ursachen	264
Unterschiede von Ce/Yb , Ce/Y und Ce/Tm in Basalten aus Randmeeren und Becken hinter Inselbögen und ihre Ursachen	268
Unterschiede von Ce/Yb in Magmen der 2. Generation von Inselbögen und Kontinenträndern	270

	Seite
Ce/Yb- und Ce/Y-Verhältnisse in intermediären und sauren Plutoniten als Indikatoren für deren Genese	271
Anwendung der Verhältnisse zwischen den leichten Seltenerdelementen La/Ce, La/Nd und Ce/Nd.	274
La/Ce und Ce/La	274
La/Nd und Ce/Nd	276
Anwendung der Verhältnisse zwischen leichten (La, Ce, Pr, Nd) und mittleren (Sm, Tb, Dy) Seltenerdelementen	277
Überblick	277
La/Sm, Ce/Sm, La/Tb, Sm/Nd in ozeanischen Gesteinen	278
Quantitative Angaben für $[La/Sm]_N$ in ozeanischen Gesteinen	278
Varianz der Verhältnisse $[La/Sm]_N$ in den verschiedenen Rückensegmenten	284
Änderung des $[La/Sm]_N$ -Verhältnisses über geologische Zeiträume	286
Quantitative Angaben für $[Ce/Sm]_N$ in Gesteinen ozeanischer Rücken.	288
La/Sm und Ce/Sm in Ophiolith-Komplexen und Spiliten	289
La/Tb und Sm/Nd in ozeanischen Gesteinen	290
La/Tb-Verhältnisse	290
Sm/Nd-Verhältnisse	291
$[La/Sm]_N$ und Sm/Nd in kontinentalen Magmatiten	293
La/Sm, Ce/Sm und Sm/Nd in Vulkaniten von Inselbögen und aus Randmeeren	294
La/Dy und Sm/Nd in sauren und mafischen bis ultramafischen plutonischen Magmatiten	296
Anwendung der Verhältnisse zwischen mittleren (Sm, Gd) und schweren (Yb) Seltenerdelementen	297
Anwendung von Beziehungen der Seltenerdelemente und von Y untereinander und zu den Isotopenverhältnissen $^{143}Nd/^{144}Nd$ sowie $^{87}Sr/^{86}Sr$	299
Ternäre Diagramme mit Seltenerdelementen und Y	299
La/Yb zu ΣSEE	300
Verhältnisse von zwei Seltenerdelementen zu einem Seltenerdelement	302
La/Sm zu La und Ce/Sm zu Ce	302
La/Sm zu Sm und Ce/Sm zu Sm.	303
La/Sm zu Yb und Ce/Sm zu Yb	304
Ce/Yb zu Ce	305
Ce/Yb zu Sm und Sm/Eu zu Sm	305
La/Yb zu Yb und Ce/Yb zu Yb.	306
Sm/Yb zu Sm und Gd/Yb zu Yb	307
Beziehungen zwischen zwei verschiedenen Seltenerdelement-Verhältnissen	308
La/Sm zu Sm/Yb und La/Sm zu Lu/Sm	308
Beziehungen zwischen Seltenerdelementen oder ihren Verhältnissen zu Isotopen-Verhältnissen von Nd und Sr	308
SEE und SE-Verhältnisse zu $^{143}Nd/^{144}Nd$ sowie $^{143}Nd/^{144}Nd$ zu $^{147}Sm/^{144}Nd$	308
$^{87}Sr/^{86}Sr$ zu SEE und SE-Verhältnissen sowie zu La/Sr	309
Systematische Anwendung mehrerer Diagramme	310
Charakterisierung und Unterscheidung von Magmen- und Gesteinstypen durch Chondrit-normalisierte SE-Verteilungsmuster.	313
Überblick	313
Ozeanische Magmen	318
Basische bis saure Vulkanite von mittelozeanischen Rücken und von Ozeanplatten-internen Inseln	318
Ophiolith-Komplexe	324

Inselbogenmagmen, känozoisch bis jurassisch	330
Inselbögen	330
Kontinentränder	333
Inselbogenmagmen, mesozoisch und älter	335
Kontinentale Magmen	339
Kontinentale Vulkanite	339
Carbonatite und Kimberlite	343
Intermediäre und granitoide Plutonite	346
Überblick	346
Intermediäre Plutonite	347
Phanerozoische saure Kalkalkaliplutonite	348
Präkambrische saure Kalkalkaliplutonite	351
Alkaligranite	353
Charnockite	355
Kontinentale und ozeanische Kalkalkaligranite	356
Ultrabasische und basische Gesteine	358
Klassifizierung und Diskriminierung von Magmentypen mit Hilfe von Diagrammen, die die Gehalte von Y neben anderen Spurenelementen (außer SEE) sowie Haupt- und Nebenelementen benutzen	364
Überblick	364
Klassifizierung durch das Dreiecksdiagramm Ti/100-Zr-3Y, durch Diagramme Zr/Y zu Ti/Y und durch Diskriminierungsfaktoren	367
Rezente bis ordovizische Vulkanite	367
Grünsteine und Amphibolite	370
Ophiolith-Komplexe	372
Klassifizierung durch Diagramme mit den Verhältnissen Nb/Y bzw. Y/Nb zu Haupt-, Neben- und weiteren Spurenelementen	373
SiO ₂ zu Nb/Y und Zr/TiO ₂ zu Nb/Y	373
TiO ₂ zu Y/Nb	373
Nb/Y zu Zr/P ₂ O ₅	374
Ga/Sc zu Nb/Y	375
Anwendung von Nd-Isotopenverhältnissen und ihren Beziehungen zu ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr zur Bestimmung von Herkunft und Genese von Magmen	375
Überblick	375
Verhältnisse ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd und ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁶ Nd	377
Beziehungen zwischen den Verhältnissen ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd und ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	377
Beziehungen zwischen ε _{Nd} und ε _{Sr} , ΔNd und ΔSr oder δ'Nd und δ'Sr	381
4.2 Pegmatitische Phase. Aplite	387
4.2.1 Beziehungen der Pegmatite zum Magma und Herkunft der Seltenerdelemente	387
4.2.2 Transport und Abscheidung von Seltenerdelementen in Pegmatiten	389
4.2.3 Art des Auftretens sowie Zusammensetzung und Verteilung der Seltenerd- elemente in Mineralien von Pegmatiten und Apliten	390
SE- und SE-haltige Mineralien in Pegmatiten und Apliten	390
Abscheidungsfolge und räumliche sowie quantitative Verteilung von SE- und SE- haltigen Mineralien in Pegmatiten	395
Bilanz der SE-Verteilung und -Zusammensetzung im Mineralbestand einzelner Pegmatite und Aplite	399

	Seite
4.2.4 Verhalten der Seltenerdelemente und von Yttrium bei der Bildung von Pegmatiten und Apliten.	401
Physikochemische Bedingungen	401
Entstehung SE-haltiger Pegmatitminerale durch Umlagerung	403
Fraktionierung der Seltenerdelemente im Verlauf der Pegmatitbildung	404
Beziehungen von Pegmatiten und Apliten zu ihren Intrusivkörpern	405
Gesamt-SE-Gehalte und Fraktionierung der SE in Pegmatiten und Apliten sowie ihren Muttergesteinen	405
Vergleiche der SE-Gehalte und der SE-Fraktionierung in demselben Mineral aus Pegmatit und Aplit sowie dem zugehörigen Wirtsgestein	408
Weitere geologische Faktoren, die SE-Gehalte und SE-Fraktionierung in Pegmatiten und Apliten beeinflussen	409
4.2.5 Quantitative Gehalte der Seltenerdelemente in Pegmatiten und Apliten	411
4.3 Pneumatolytisch-hydrothermale Phase	416
4.3.1 Beziehungen der pneumatolytisch-hydrothermalen Lösungen zum Magma und Herkunft der Seltenerdelemente und von Yttrium	416
4.3.2 Art der Lösungen	418
4.3.3 Transport und Abscheidung von Seltenerdelementen und von Yttrium in hydrothermalen Lösungen	420
Komplexbildung	420
Abscheidung und Fraktionierung der Seltenerdelemente und von Yttrium in Abhängigkeit von pH-Wert, Alkalinität und Temperatur der Lösungen	424
Experimentelle Untersuchungen zur Löslichkeit und Abscheidung von Seltenerdelementen und Yttrium in hydrothermalen Lösungen	426
4.3.4 Art des Auftretens und Verteilung der Seltenerdelemente und von Yttrium in pneumatolytisch-hydrothermalen Mineralbildungen	428
Auftreten und Zusammensetzung von SE- und SE-haltigen Mineralien	428
Überblick	428
Beispiele für das Auftreten der Seltenerdelemente und von Yttrium in Mineralien in speziellen, pneumatolytisch-hydrothermalen Bildungen	431
Ausscheidungsfolgen und Umverteilung sowie SE-Zusammensetzung von SE- und SE-haltigen Mineralien	438
Räumliche Verteilung von SE- und SE-haltigen Mineralien in hydrothermalen Bildungen	442
Bilanz der SE-Verteilung und -Zusammensetzung im Mineralbestand einzelner Gesteine	445
4.3.5 Verhalten der Seltenerdelemente und von Yttrium bei der metasomatischen Umwandlung von Magmatiten	448
Allgemeines	448
Metasomatische Umwandlung saurer bis intermediärer Gesteine	451
Metasomatische Umwandlung basischer und ultrabasischer Gesteine	455
Metasomatische Umwandlung alkalireicher Gesteine und Carbonatite	459
4.3.6 Verhalten der Seltenerdelemente und von Yttrium bei Metasomatosen durch hydrothermale Lösungen im Nebengestein von Magmatiten	467
Umrechnungstabelle	474