

GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR ENTSTEHUNG DER QUARZGLIMMER-
DIORITE UND DES KRISTALLGRANIT II IM REGENSBURGER WALD, OPF.

von

BETTINA BRILL⁺⁾

PETER HOLL⁺⁾

ROLAND MAAS⁺⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Blatt Reichenbach im Regensburger Wald wurden variszische gangförmige Intrusiva, die Quarzglimmerdiorite und der Kristallgranit II sowie ihr Nebengestein, die Bänder- und Körnelgneise und der Kristallgranit I auf ihre Gehalte an K, Ca, Ti, Zr, Ba, Rb, Sr und Y hin analysiert. Es ergaben sich zumeist hohe lineare Korrelationen zwischen den Elementgehalten von Quarzglimmerdiorit und Kristallgranit II, die für einen genetischen Zusammenhang beider sprechen und der nach Geländebefunden anzunehmen ist. Die Titangehalte der Gesteine sind ungewöhnlich hoch und weisen damit auf eine Verwandtschaft zum titanreichen Nebengestein hin, dessen Elementkonzentrationen denen des Kristallgranit II auffällig nahekommen.

Unter mehreren Möglichkeiten zur Entstehung der Diorit- und Kristallgranit II-Magmen wird ein Modell bevorzugt, das den Quarzglimmerdiorit als Produkt eines magma mixing Vorganges zwischen dem basaltischen Magma einer Mantelteilschmelze und anatektischen Krustengesteinsschmelzen, die im Kontaktbereich der basischen Schmelze entstanden, betrachtet. Für eine Mischung Mantel-Kruste sprechen die niedrigen 87 Sr/86 Sr-Anfangsverhältnisse.

Durch stärkere Beteiligung der krustalen Schmelzen am magma mixing bis hin zur fast ausschließlich aus Krustenmaterial abgeleiteten Schmelze wird die Entstehung granitischer Magmen erklärt, die den Kristallgranit II und evtl. auch weitere granitische Intrusiva ähnlichen Alters im Regensburger Wald hervorbrachten.

ABSTRACT

XRF-analyses of K, Ca, Ti, Zr, Ba, Rb, Sr and Y concentrations were carried out on samples of Hercynian dyke rocks, the Quarzglimmerdiorit and the Kristallgranit II, and the Hercynian country rock, synorogenic metatexites, metablastic diatexites and the Kristallgranit I, of the Reichenbach area in

⁺⁾
Dipl.-Geol. Bettina Brill, Dipl.-Geol. Peter Holl, Dipl.-Geol. Roland Maas, Institut für Geologie und Mineralogie der Technischen Universität München, Lichtenbergstraße 4, 8046 Garching

the Regensburger Wald. Very good linear correlations for the element concentrations of the two dyke rocks confirm a genetic connection of their magmas, which is suggested through field evidence. Ti concentrations of both rock types are unusually high and point to a relationship with the Ti-rich country rock, the element concentrations of which show a striking coincidence to that of the Kristallgranit II.

Among several models proposed for the genesis of the Quarzglimmerdiorit- and Kristallgranit II-magmas, one is favoured that regards the Quarzglimmerdiorit as a product of magma mixing of a mantle derived basaltic magma and anatectic crustal partial melts, created in the contact zone of the diapiric basaltic magma body. A mixing of mantle and crust material in the Quarzglimmerdiorit is suggested by a low 87 Sr/86 Sr-initial value.

The development of granitic magmas, that crystallized the Kristallgranit II and probably some other Hercynian granite intrusions of the area, is explained by stronger to nearly exclusive participation of crustal melts in the magma mixing process.

EINFÜHRUNG

Der Quarzglimmerdiorit und der Kristallgranit II (QGD und KG II) gehören zu den magmatischen Gesteinen, die im Regensburger Wald während der variszischen Orogenese im Karbon entstanden. Die Magmen drangen in Spalten des Nebengesteins ein und sind heute vor allem im nördlichen Teil des Regensburger Waldes, dem westlichen Abschnitt des Vorderen Bayerischen Waldes, in teilweise kilometerlangen, bis zu 200 m breiten Gängen aufgeschlossen (Abb. 1).

Die Erstarrungsalter dieser Intrusiva liegen nach KÖHLER (1982) bei 324 ± 12 ma für den QGD und bei 308 ± 7 ma für den KG II,¹⁾ d.h. die Intrusionen fanden während und/oder nach der sudetischen Phase der variszischen Orogenese statt (van EYSINGA, 1978). Nach ANDRITZKY (1964) intrudierte das KG II-Magma noch vor der endgültigen Erstarrung der jüngsten QGD Teile.

Die beiden Gesteine treten i.a. gemeinsam auf, wobei der KG II in Spalten und an den Rändern der älteren QGD Gänge aufdrang und diesen aus seinem Verband schälte (FISCHER, 1959). Der KG II kann jedoch auch eigene Gänge ausbilden. Das Nebengestein setzt sich zusammen aus Metatexiten und metablastischen Diatexiten kaledonischer bis frühvariszischer Prägung, den Bänder- und Körnelgneisen (FISCHER und TROLL, 1973) sowie dem Kristallgranit I, einem grobkörnigen, porphyrischen Biotitgranit variszischen Alters (KRAUS, 1962), der große Flächen im Regensburger Wald einnimmt. Diese Gesteine wurden letztmalig bei der Erstarrung des Kristallgranit I (337 ± 11 ma, KÖHLER, 1982) gefaltet

1) Die radiometrischen Datierungen wurden mit der Rb-Sr-Methode vorgenommen. Bei der Berechnung der Alterswerte aus den Isotopenverhältnissen wurde eine Zerfallsrate (^{87}Rb) = $1.47 \times 10^{-11}/\text{y}$ zugrundegelegt (mündl. Mitt. H. KÖHLER, 1983)

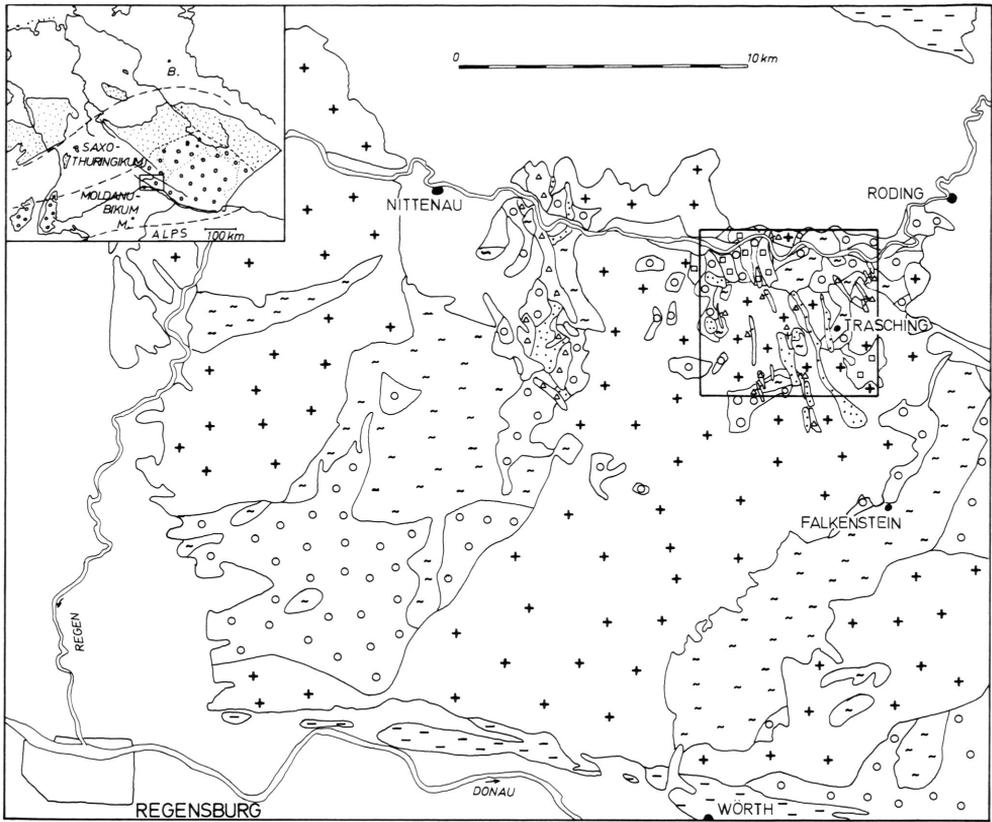


Abb. 1 Lage des Arbeitsgebietes (kleines Viereck). Signaturen: Dreiecke-Quarzglimmerdiorit, Punkte-Kristallgranit II, Vierecke-mittel- und feinkörniger Granit; Kreuze-Kristallgranit I, Kreise-Körneltgneise, geschwungene Linien-Bändergneise, horizontale Striche-Pfahlschiefer und mylonitisierte Gesteine; ohne Signatur-Perm, Mesozoikum und Känozoikum. Übersichts-kärtchen links oben: Präalpidisch gefaltete und teilweise metamorphisierte Zonen Mitteleuropas. Das große Gebiet ist die Böhmisches Masse. Lage der geol. Skizze-Rechteck, gepunktet-Saxothuringikum-Aufbrüche, und Rhenohherzynikum, Kreise-Moldanubikum mit Prager Mulde. Geol. Grenzen nach TROLL und BAUBERGER (1968), im Arbeitsgebiet verändert nach HOLL (1983), MAAS (1983) und BRILL (1983). Kärtchen links oben nach PROPACH (1978).

und liegen heute in einem nordöstlich streichenden Großfaltensbau vor, dessen Mulden von den Bänder- und Körnelgneisen und dessen Sättel vom Kristallgranit I gebildet werden. Nach FISCHER (1959) besetzen die Quarzglimmerdiorite und der Kristallgranit II die ac-Spalten und dazu subparallele Spalten dieses Faltenbaues.

Im nördlichen Bereich des Regensburger Waldes treten weitere spätvariszische Intrusiva, die mittelkörnigen (mk Gr) und feinkörnigen Granite sowie die Pinitporphyre auf. Ihre gang- und stockförmigen Vorkommen sind nirgends in direktem Kontakt zu QGD oder KG II aufgeschlossen, so daß über ihr Altersverhältnis zu jenen noch Unsicherheit herrscht. Man hat jedoch Grund, sie den jüngsten Intrusionen des Regensburger Waldes zuzuordnen.

Beschreibungen des QGD finden sich bei HEGEMANN (1931), und ANDRITZKY (1964). Der KG II findet bei FISCHER (1959, 1965) sowie bei ANDRITZKY Erwähnung. Den chemischen Analysen in TROLL (1975) folgen detaillierte chemische und mineralogische Untersuchungen von OLBRICH (1978) und KRAFT (1981), die auch auf die Entstehung der Magmen eingehen.

PROPACH (1978) erwägt für die Genese des QGD Magmas ein ähnliches Modell wie für die des Kristallgranit I:

Eine alkalibasaltische Mantelteilschmelze variszischen Alters erreicht bei diapirartigem Aufstieg über einer Subduktionszone eine stark aufgeheizte Migmatitzone in 20 km Tiefe, heizt deren H₂O reichere Partien über ihren Solidus auf und vermischt sich mit den entstehenden Schmelzen im Verhältnis von ca. 1 Teil Mantel magma: 9 Teile Krustengesteinsschmelze. Durch kurze Differentiation des Mischmagmas entsteht das Kristallgranit I Magma. Das QGD Magma entstand möglicherweise aus basischen Differentiaten dieses Mischmagmas oder aus einer Mischung Mantel magma: Krustengesteinsschmelze in einem Verhältnis näher bei 1:1.

In dieser Arbeit wird versucht, mit Hilfe von Analyseergebnissen sog. Leitelemente, die sich nach HAHN-WEINHEIMER und ACKERMANN (1967), HAHN-WEINHEIMER und JOHANNING (1963) u.a. zur Erkennung möglicher Verwandtschaftsbeziehungen granitischer Gesteine bewährt haben, Modelle zur Entstehung vor allem des KG II zu erstellen. Als Leitelemente werden u.a. die Elemente K, Ca, Ti, Zr, Sr, Rb und Ba bezeichnet. Zusätzlich wurde Y verwendet.

PETROGRAPHIE

Der QGD ist ein fein- bis mittelkörniges, dunkles Gestein mit gelegentlichen Orthoklaseinsprenglingen. ANDRITZKY (1964), OLBRICH (1978) und HOLL (1983) beschreiben mehrere Typen von dioritischer bis normalgranitischer Zusammensetzung. In Abb. 2

wird die Variabilität des QGD-Modalbestandes deutlich (zusammengestellt nach Analysen von HOLL und ANDRITZKY). Nach der Nomenklatur von STRECKEISEN (1973) sind die eingezeichneten Proben als Tonalit, Quarz-Monzodiorit, Granodiorit, Adamellit und 2-Feldspat-Granit zu bezeichnen.

Das Gefüge des QGD ist i.a. richtungslos körnig mit unterschiedlichen Mengen an Einsprenglingen von Plagioklas, Orthoklas, Pyroxen und Gemeiner Hornblende in einer Matrix aus Quarz, Plagioklas, Biotit und Kalifeldspat. Die großen, bis 6 cm langen Orthoklaseinsprenglinge gleichen zumindest in ihren inneren Bereichen häufig den großen Kalifeldspäten des Kristallgranit I, woraus ANDRITZKY (1964, S. 66) auf Kontamination des QGD Magmas durch Kristallgranit I - Xenolithe schließt.

Die Plagioklase sind zonar gebaut und haben einen durchschnittlichen Anorthitgehalt von 35 bis 40 % mit einer Variationsbreite von 55 % im Kern bis unter 20 % in den äußeren Zonen. Der Orthopyroxen ist xenomorpher, dunkelbrauner Hypersthen mit uraltisiertem Rand, der Klinopyroxen umwandlungsfreier Diallag. Kalifeldspat tritt nur in saueren Typen als Einsprengling auf. In der Matrix herrschen Plagioklas und Biotit vor, bei den granitischen Typen tritt zwickelfüllender, korrosiver Quarz in erheblichen Mengen hinzu.

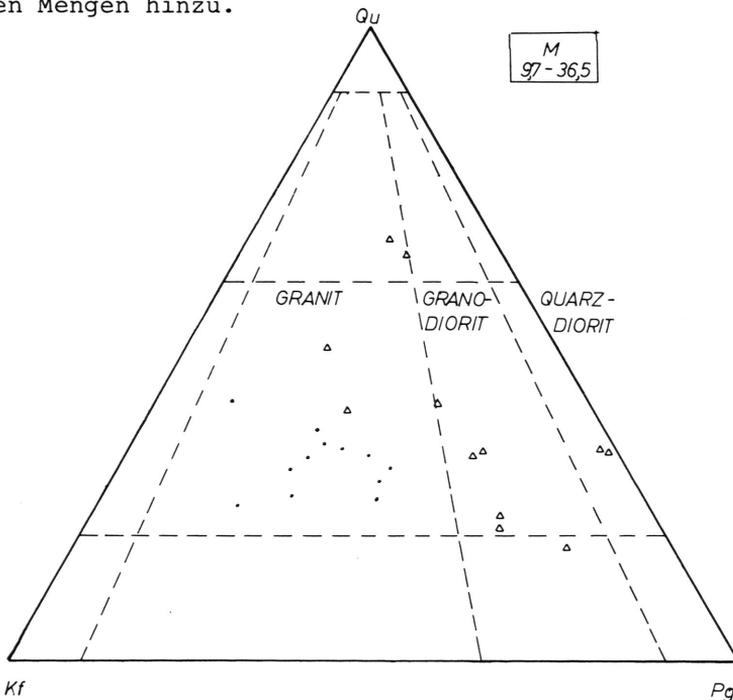


Abb. 2 Kalifeldspat-Plagioklas-Quarz Konzentrationsdreieck mit Streubereich des Farbindex M. Dreiecke-Quarzglimmerdiorit, Punkte-Kristallgranit II. Modalanalysen nach HOLL (1983), ANDRITZKY (1964) und MAAS (1983); Einteilung des Konzentrationsdreieckes nach STRECKEISEN.

Nebengemengteile sind extrem langnadeliger Apatit mit einem Länge:Breite Verhältnis bis zu 50 in großer Individuenzahl sowie bis 1 mm lange, gestreckte Ilmenit- oder Magnetitaggregate, die vollständig von Biotit umwachsen sind. Weitere Akzessorien sind Zirkon, Titanit und Orthit (sehr selten).

Der KG II ist ein fein- bis mittelkörniger Granit braungrauer Farbe mit zahlreichen, bis zu 6 cm langen, dünnleistenförmigen Kalifeldspateinsprenglingen, die einen Anteil von 3 bis 20 (bis 30) Vol.-% am Gestein haben. Weitere Einsprenglinge werden von zonarem Plagioklas (An 11 - 29 %) und Quarz gestellt. Die feinkörnige Matrix (0.2 - 0.6 mm) besteht aus Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat, Biotit und Muskovit. Der Biotit bildet neben unzähligen winzigen Kristallen einige wenige größere Kristalle von 1 bis 2 mm Größe.

Typischer Nebengemengteil ist pinitisierter Cordierit, der mitunter reliktilches Fältelungsinterngefüge aus kleinsten Sillimanitnadeln aufweist. Cordierite dieser Art deuten nach ANDRITZKY (1964) auf eine Aufnahme von Paragneismaterial in das KG II Magma hin. Weitere Akzessorien sind Apatit, Zirkon, Rutil, Titanit und opakes Erz.

Die in Abb. 2 eingetragenen Proben sind nach STRECKEISEN (1973) als Adamellite und 2-Feldspat-Granite anzusprechen. Die durchschnittlichen Mineralbestände von QGD und KG II sind in Tab. 1 angegeben:

Tab. 1

Durchschnittliche modale Zusammensetzung des Mineralbestandes von QGD und KG II (in Vol.-%)

	Kf	Pg	Qz	Bi	Mu	Hbl	Cor	Akz
QGD	9.5	32.6	28.1	22.4	-	5.0	-	2.0
KG II	34.0	26.1	26.3	10.9	1.0	-	0.7	1.0

Im Gelände findet man an mehreren Stellen (Sonnenhof bei Antersdorf, Großes Holz nahe Kiesried, Gehöft Hardt oberhalb Katzenrohrbach, alle Blatt Reichenbach) Gesteine, die wie eine Mischung beider Gesteine aussehen. Es handelt sich um einsprenglingsreiche Granite und Granodiorite mit dunkler Grundmasse, die weder dem einen noch dem anderen Typ eindeutig zugeordnet werden können. Unter dem Mikroskop erkennt man winzig kleine Einschlüsse von QGD-Material in einer KG II Grundmasse. Größere QGD-Xenolithe wurden nicht gefunden. Gesteine dieser Art wurden als Mischgranite bzw. Mischdiorite bezeichnet. ANDRITZKY (1964) deutet diese Mischgesteine als Zeugen sog. warmer Kontakte.

Das Nebengestein, Bänder- und Körnelgneise und Kristallgranit I, sei hier nur kurz charakterisiert. Die Bänder- und Körnelgneise besitzen i.a. granitische Zusammensetzung. Einzelne kleine Teilbereiche vor allem der Bändergneise weichen jedoch in Chemismus und Mineralbestand stark von Granitoiden ab (Amphibolite, Kalksilikatgneise). Das Gefüge der Bändergneise ist stromatitisch, das der Körnelgneise nebulitisch bis granitisch (s.a. MEHNERT, 1968). Zunehmend metablastische Kalifeldspat-sprossung in den Körnelgneisen leitet über zum Typ des Kristallgranit I (ohne damit eine genetische Aussage treffen zu wollen), eines ausgesprochen porphyrischen Granites mit mittel- bis grobkörniger Matrix. Die Kalifeldspateinsprenglinge erreichen zum Teil mehr als 10 cm Kantenlänge und einen Anteil von über 30 Vol.-% am Gestein. Typisches Merkmal ist die fluidale Einregelung der Kalifeldspäte. Der Kristallgranit I nimmt den größten Flächenanteil im Untersuchungsgebiet ein, während Bänder- und Körnelgneise zurücktreten.

GEOCHEMIE

Das gemeinsame Auftreten von Kristallgranit II (KG II) und Quarz-Glimmer-Diorit (QGD) und ihr nach Gelände- und mikroskopischen Befunden sowie nach radiometrischen Altersbestimmungen geringer Altersunterschied warf die Frage nach einer möglichen Herkunft beider Gesteine aus einem gemeinsamen, sich differenzierenden Magma auf. Mit Hilfe von geochemischen Untersuchungen auf sog. Leitelemente sollte dieser Frage nachgegangen werden.

Dazu wurden 14 QGD-, 16 KG II-, 23 Anatexit- und 3 KG I-Proben sowie eine Probe von mittelkörnigem Granit auf die Elemente Ti, Ca, K, Ba, Zr, Rb, Sr u. Y untersucht.

Die Messungen wurden an Pulverpresstabletten mit dem halbautomatischen Röntgenfluoreszenzgerät PW 1400 der Fa. Philips am Staatlichen Forschungsinstitut für Angewandte Mineralogie in Regensburg durchgeführt. Zur Berechnung der Eichkurven wurden 25 bis 30 internationale Standards verwendet. Die Meßergebnisse der QGD- und KG II-Proben sind in Tab. 2 angegeben.

DISKUSSION

Der QGD ist nach seinem Chemismus als relativ saurer Quarzdiorit bis Granit mit ungewöhnlich hohem Titangehalt (HOLL, 1983), der KG II als Kalk-Alkaligranit anzusprechen (MAAS, 1983). Auch beim KG II ist ein ungewöhnlich hoher Titangehalt festzustellen, der nahezu das Doppelte des Titangehaltes normaler Granite beträgt (s. WEDEPOHL et al., 1978). Der QGD besitzt entsprechend seinem variablen Mineralbestand weit größere chemische Variabilität als der KG II. Dies ist besonders bei Calcium, Strontium und Zirkonium ausgeprägt. Die K/Rb-Verhältnisse, nach SCHROLL und GROHMANN (1965) ein Kriterium zur Unterscheidung des strukturellen Niveaus granitischer Gesteine (K/Rb 250 - 150 konkordante Granite, 150 - 100 hochintrusive Granite), bewegen

Tab. 2

Liste der Proben und Analysendaten

Probe	TiO ₂ %	CaO %	K ₂ O %	Ba ppm	Zr ppm	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	K/Rb	Rb/Sr
MD 1	1.37	2.97	4.28	1021	614	199	268	39	179	0.744
MD 2	1.20	2.33	4.01	798	522	242	197	34	138	1.230
MD 3	1.43	2.67	3.83	1010	623	226	226	38	141	1.000
D 5	1.81	4.05	3.44	1240	808	170	351	52	168	0.485
D 7	1.77	4.89	3.67	1030	604	149	426	41	204	0.348
D 9	1.60	3.69	4.13	990	502	156	303	38	220	0.514
D 12	1.65	3.60	4.44	1074	480	168	311	45	219	0.540
D 16	1.80	4.03	4.30	1150	830	176	353	50	203	0.497
D 17	1.68	4.08	4.23	1148	756	167	361	49	210	0.465
D 18	1.79	4.09	4.19	1205	702	150	380	46	232	0.395
D 21	1.58	3.06	4.21	1080	602	169	276	41	207	0.615
D 22	1.65	3.06	4.08	1110	638	178	283	42	190	0.630
D 29	1.73	4.21	3.83	1115	820	186	373	48	171	0.497
D 30	1.75	4.09	3.85	1105	808	156	393	51	205	0.396
KG 4	0.56	1.24	5.89	544	230	220	133	25	222	1.660
KG 4 De	0.68	1.26	6.03	576	307	237	125	28	211	1.880
KG 8	0.56	1.16	5.27	555	281	271	109	27	161	2.470
KG 10	0.66	1.25	5.78	662	247	240	138	24	200	1.740
KG 11	0.82	1.56	4.86	692	309	246	138	30	164	1.780
KG 13	0.79	1.59	4.72	658	305	243	140	30	161	1.730
MKG 14	0.66	1.22	5.09	567	251	237	120	26	178	1.970
MKG 15	0.80	1.55	4.97	734	318	241	148	29	171	1.620
KG 19	0.74	1.49	4.88	581	297	264	127	31	154	2.070
KG 20	0.47	0.86	5.08	425	214	280	89	23	151	3.130
MKG 23	0.83	1.61	4.85	713	319	244	149	30	165	1.620
KG 24	0.69	1.46	4.92	608	265	260	136	27	157	1.910
KG 25	0.67	1.24	4.90	531	254	263	114	26	154	2.300
KG 26	0.69	1.36	5.03	659	268	267	134	27	157	1.990
KG 27	0.63	1.29	4.93	592	268	257	123	25	159	2.090
KG 28	0.68	1.27	4.96	604	262	266	122	27	154	2.180

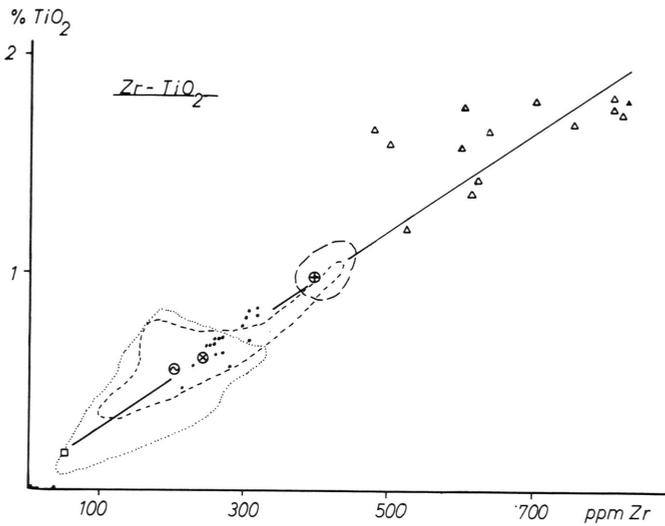


Abb. 3 Variationsdiagramm Zirkonium-Titanoxid. Dreiecke-Quarzglimmerdiorit, Punkte-Kristallgranit II, Kreis mit Kreuz-Mittelwert aus 3 Kristallgranit I-Proben mit Streubereich (langgestrichelt), Kreis mit x-Mittelwert aus 15 Körnelgneis-Proben mit Streubereich (kurzgestrichelt), Kreis mit Wellenlinie-Mittelwert aus 7 Bändergneisproben mit Streubereich (gepunktet), Viereck-mittelkörnig Granit. Analysen nach HOLL (1983), MAAS (1983) und BRILL (1983).

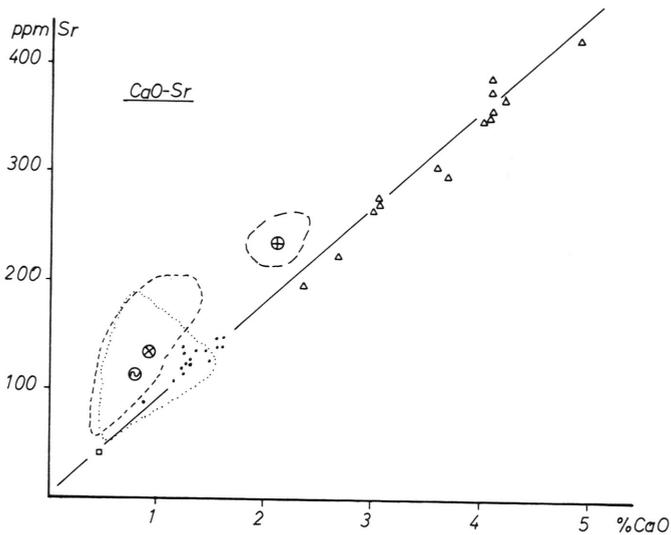


Abb. 4 Variationsdiagramm Calciumoxid-Strontium für Quarzglimmerdiorit, Kristallgranit II. Mittelwerte für Bänder- und Körnelgneis und Kristallgranit I. Signaturen siehe Abb. 3

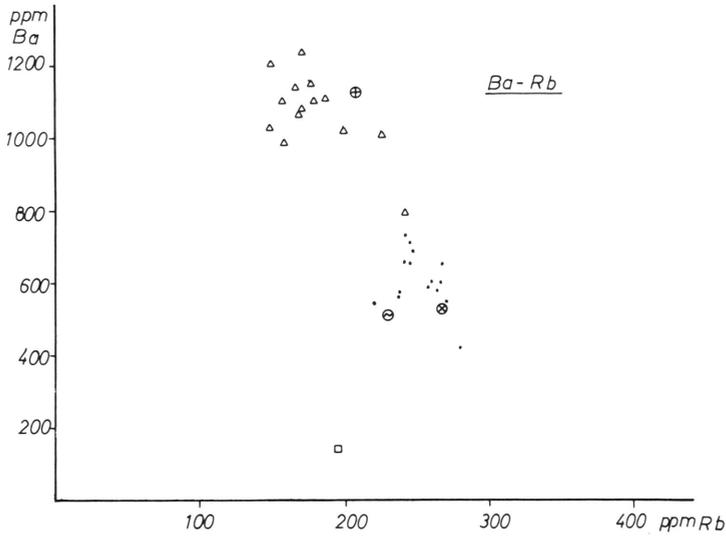


Abb. 5 Variationsdiagramm Barium-Rubidium für Quarzglimmerdiorit, Kristallgranit II, mittelkörnigen Granit, Mittelwerte von Bänder- und Körnelgneis und Kristallgranit I. Signaturen siehe Abb. 3

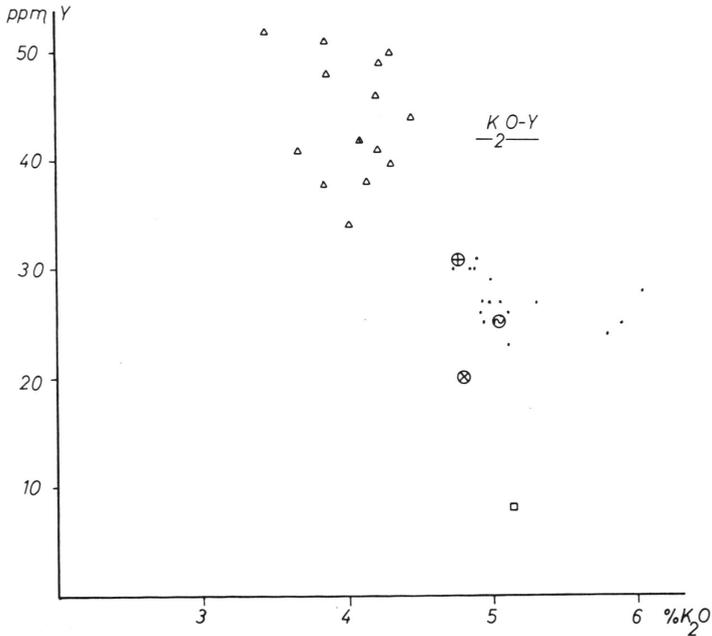


Abb. 6 Variationsdiagramm Kaliumoxid-Yttrium für Quarzglimmerdiorit, Kristallgranit II, mittelkörnigen Granit; Mittelwerte von Bänder- und Körnelgneis, Kristallgranit I. Signaturen siehe Abb. 3

sich zwischen 138 und 232 beim QGD und zwischen 151 und 222 beim KG II und geben damit für den QGD keine eindeutige, für den KG II eine dem geologischen Befund widersprechende Aussage. Obwohl seine intrusive Natur als erwiesen betrachtet werden kann, müsste der KG II nach seinen K/Rb-Verhältnissen zu den konkordanten Graniten gerechnet werden. Möglicherweise spielt beim Zustandekommen der hohen K/Rb-Verhältnisse die von TROLL (1975) angeführte Kalivormacht unter den Alkalien beim QGD, sowie der mäßige, recht konstante Rubidiumgehalt des KG II, der nach WEDEPOHL et al. auf geringen Differentiationsgrad des Magmas schliessen läßt, eine Rolle.

Abb. 3 zeigt die QGD- und KG II-Analysen im Zr-TiO₂ Variationsdiagramm. Zum Vergleich sind die Mittelwerte und Streubereiche von Bänder- und Körnelgneisen und von Kristallgranit I (die Proben stammen aus der Nähe des Probenahmeareals der QGD- und KG II-Proben, BRILL, 1983) eingetragen. QGD- und KG II-Proben liegen in guter Näherung auf einer gemeinsamen Geraden (hoher r-Wert). Der Streubereich der Bänder- und Körnelgneise überlappt sich mit dem des KG II, die Mittelwerte der Gneisproben liegen mitten im KG II-Feld. Die chemischen Unterschiede zwischen QGD und KG II drücken sich im Mineralbestand durch höhere Biotit-, Titanit- und Ilmenitgehalte (Titan) und höhere Zirkonergehalte (Zirkonium) im QGD aus.

Ein ähnliches Bild zeigt das Diagramm CaO-Sr (Abb. 4). Die Elemente korrelieren sehr gut in beiden Gesteinstypen und auch zwischen beiden gemeinsam. Wiederum weist der QGD einen grösseren Streubereich als der KG II auf, dessen Sr- und Ca-Konzentrationen denen der Bänder- und Körnelgneise nahekommen. Der Mittelwert des Kristallgranit I liegt wie in Abb. 3 zwischen dem Maxima von QGD und KG II. Die Elementgehalte der im Gelände als Mischgesteine angesprochenen Proben, also die sog. Mischdiorite und Mischgranite, nehmen im Diagramm intermediäre Positionen ein. Die eingetragenen Mischdioritproben weisen als einzige QGD-Proben CaO-Konzentrationen von weniger als 3 % auf, während die Mischgranite mit die höchsten CaO-Gehalte beim KG II zeigen. Bei den Strontiumgehalten verhält es sich ebenso. Calcium wird in granitischen Gesteinen im Anorthitmolekül des Plagioklases und im Apatit festgelegt und kann in diesen Mineralen zu einem kleinen Teil durch Strontiumionen ersetzt werden. Weiterhin wird Calcium in die Gitter der Pyroxene und Amphibole eingebaut, die im QGD, nicht jedoch im KG II, in geringen Mengen vorkommen.

In Abb. 5 wurde Barium gegen Rubidium aufgetragen. Das gegensätzliche Verhalten der beiden Elemente wird durch die negative Korrelation deutlich. Während Barium zu einem recht frühen Zeitpunkt der Kristallisation eines granitischen Magmas für Kalium in die Minerale Kalifeldspat, Plagioklas und Glimmer (insgesamt höhere Gehalte im QGD) eintritt, reichert sich Rubidium in der Schmelze an und kann erst in einem sehr späten Kristallisationsstadium für Kalium in die Gitter von Kalifeldspat und Glimmer eingebaut werden.

Die Mittelwerte der Bänder- und Körnelgneise liegen wie in den beiden vorangehenden Abbildungen im Bereich der KG II Konzentrationen während der Kristallgranit I in seinem Barium- und Rubidiumgehalt dem QGD entspricht. Der mittelkörnige Granit (BRILL, 1983), welcher vermutlich etwas jünger als KG II ist, enthält weniger Rubidium als der KG II, eine Tatsache, die zunächst überrascht, gliedert sich die Probe mit ihren Titan-, Zirkonium-, Barium- und Strontiumgehalten doch eng an die Korrelationen QGD-KG II an und wäre daher als sauerer als der KG II anzusprechen, was nach SCHROLL (1976) einen höheren Rubidiumgehalt erwarten ließe. Eine Erklärung kann möglicherweise in einer Rubidiumabfuhr in der Gasphase während der Kristallisation und Anreicherung in der heute erodierten Dachregion des Granitstockes gefunden werden. Die Probe stammt aus dem Zentrum des größten Vorkommens von mittelkörnigem Granit auf Blatt Reichenbach im Hochbrünnlholz östlich Trasching.

Die Elemente Kalium und Yttrium wurden in Abb. 6 gegeneinander aufgetragen, wobei der kaliumärmere QGD sich auch im höheren Yttriumgehalt deutlich vom KG II unterscheidet. Die Mittelwerte der Nebengesteinsproben liegen alle im KG II Feld. Nach SCHROLL (1976, S. 152) wird Yttrium bevorzugt in femische Minerale wie Biotit, Zirkon, Pyroxene und Amphibole eingebaut, während Kalium eine wichtige Komponente im Kalifeldspat, Biotit und Muskovit bildet. Die Projektion des mittelkörnigen Granites liegt wie in den Abb. 3 und 4 im Bereich der QGD-KG II Korrelationsgeraden.

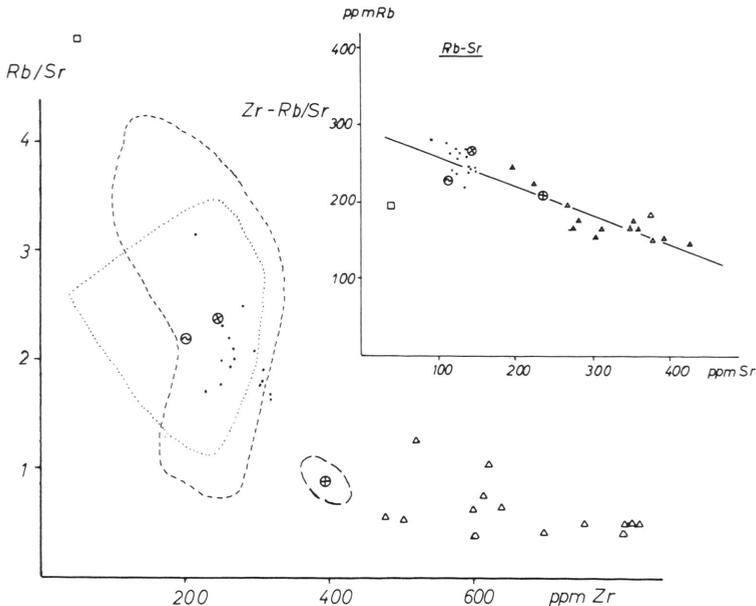


Abb. 7 Variationsdiagramm Rb/Sr -Verhältnis-Zirkonium für Quarz-glimmerdiorit, Kristallgranit II etc. mit eingezeichnetem Rubidium-Strontium Variationsdiagramm.

Das Variationsdiagramm Zr-Rb/Sr (Abb. 7) zeigt eine gegen den Ursprung konvexe Punktvolke, in die sich auch die strontiumarme Probe von mittelkörnigem Granit gut eingliedern läßt. Bei ähnlichen Rubidiumgehalten beider Gesteine beeinflusst vor allem der Strontiumgehalt das Rb/Sr-Verhältnis, wie es durch das in Abb. 7 eingesetzte Rb-Sr-Diagramm deutlich macht, welches - zumindest für den erfassten Konzentrationsbereich - einen linearen Zusammenhang zwischen Rubidium und Strontium aufweist. Die Bänder- und Körnelgneise fallen wiederum in das KG II Feld, während der Kristallgranit I zwischen den beiden Gesteinsgruppen liegt.

INTERPRETATION

Die in den Abb. 3 bis 7 dargestellten Variationsdiagramme zeigen eine weitgehende Übereinstimmung in den Elementgehalten der gemessenen Leitelemente bei KG II, Bändergneisen und Körnelgneisen. Der Mittelwert des Kristallgranit I liegt i. a. etwas außerhalb des KG II Feldes in Richtung auf das QGD Feld. Insgesamt ergeben sich lineare Zusammenhänge zwischen den Projektionen der QGD- und KG II-Proben (mit Ausnahme der Abb. 7), in die auch die eingetragenen Mittelwerte der prädioritischen Gesteine passen. Der Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient erreicht mit Ausnahme der Abb. 5 und 7 stets 0.8 bzw. - 0.8.

Wie bereits erwähnt, gibt es feldgeologische, petrographische und geochemische Hinweise auf eine genetische Verbindung zwischen den Bänder- und Körnelgneisen und den karbonischen Intrusiva. Für die Entstehung der QGD- und KG II Magmen sind mehrere Modelle denkbar, die zum Teil auf das magma mixing-Modell zur KG I-Genese nach PROPACH (1978, s.o.) zurückgehen:

- Modell 1 Differentiation eines basischen oder intermediären Magmas durch fraktionierte Kristallisation. Abspaltung und Abfuhr von Teilmagmen in sich öffnende Spalten und Kristallisation von QGD und KG II, evtl. auch mittel- und feinkörnige Granite sowie Pinitporphyre.
- Modell 2 Kontamination eines basaltischen oder dioritischen Magmas durch Assimilation von Nebengestein bis ein granitisches Hybridmagma erreicht ist.
- Modell 3 Aufschmelzung begrenzter Teile der granitoiden Kruste (Kristallgranit I, Bänder- und Körnelgneise) durch die Hitze eines basischen Magmas und seiner fluiden Phase. Durch Vermischung des basischen Magmas mit wachsenden Anteilen granitoider Krustengesteinsteilschmelzen Erzeugung granitischer und dioritischer Mischmagmen.

Eine von der Propach'schen Grundlage abweichende Theorie erwägt KÖHLER (1982):

Existenz eines gemeinsamen, tiefkrustalen Magmenherdes für Kristallgranit I, QGD und KG II ohne Einfluß basischer Magmen. Durch Anatexis tiefkrustaler Bereiche (Amphibolite, Eklogite, Migmatite) Erzeugung von Schmelzen dioritischer bis granitischer Zusammensetzung mit ungewöhnlichem Chemismus und relativ niedrigen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Anfangsverhältnissen (Kristallgranit I 0.7076 ± 5 , QGD 0.7076 ± 3 , KG II 0.7116 ± 5 , KÖHLER, 1982, S. 62). Fähigkeit zur Magmenerzeugung bleibt auch über lange Zeiträume stabil (Kristallgranit I 337 ± 11 ma, QGD 324 ± 12 ma, KG II 308 ± 7 ma, KÖHLER, 1982) bei pT-Bedingungen, die bei minimalen Druckänderungen ein Aufschmelzen gestatten.

Von den genannten Modellen erscheint Modell 1 unwahrscheinlich. Da ein basisches Magma, das sich durch fraktionierte Kristallisation differenziert, stets nur geringe Mengen granitischen und dioritischen Magmas erzeugen kann, die Hauptmenge des Magmas daher einen anderen als granitischen Chemismus besitzt, müssten zumindest Anzeichen für die Existenz basischer Gesteine (basische und ultrabasische Xenolithe) vorhanden sein. QGD und KG II sind jedoch völlig frei von Einschlüssen dieser Art. Des weiteren spricht die Art der Elementverteilungen, wie sie aus den Abb. 3 - 7 ersichtlich ist, gegen das Modell. Bei Annahme reiner fraktionierter Kristallisation als Differentiationsmechanismus wären zwischen QGD und KG II und auch innerhalb der Punktwolken bei Festkörper-Schmelze-Verteilungskoeffizienten $\neq 1$ (DRIESSLE, 1972 ermittelte für Kalifeldspat, Glimmer und Plagioklas in granitischen Gesteinen Verteilungskoeffizienten zwischen 2 und 4) Kurven statt Geraden zu erwarten. Als Beispiel mag hier das Rubidium dienen: Während der Hauptphase der Kristallisation eines granitischen Magmas steht noch genügend Kalium zur Feldspatbildung zur Verfügung, wobei für Rubidium ein sehr niedriger Festkörper-Schmelze-Verteilungskoeffizient < 1 gilt. Rubidium reichert sich daher in der Restschmelze stark an, was durch die Abnahme der Schmelzmenge verstärkt wird. Der Anstieg erfolgt exponentiell (ARTH, 1976). Erst in einem sehr späten Kristallisationsstadium wächst der Verteilungskoeffizient stark an, das Rubidium wird rasch in die Kristallite eingebaut und reichert sich gerade in den sauersten Gesteinspartien übermäßig an.

Die Assimilation granitoiden Krustenmaterials durch ein intermediäres Magma, wie sie in Modell 2 vorgeschlagen wird, stößt auf thermische Probleme. Am Kontakt von Schmelzen zum festen Nebengestein kommt es zum Energietransfer von der Schmelze zum kühleren Gestein und damit zur Abkühlung in den Randbereichen des Magmas, welche eine rasche Kristallisation in diesem Bereich hervorruft. Es entsteht eine abgeschreckte Randfazies, die die weitere Hitzezufuhr in das Nebengestein erschwert. Nach Berech-

nungen von SMITH (1963) und JAEGER (1968) werden an einem planaren Kontakt nicht mehr als 60 % der summierten Temperatur von Magma und Nebengestein erreicht. Mit sinkender Temperatur des Magmas nimmt daher auch die Assimilationsfähigkeit ab. Eine dioritische Schmelze wird daher kaum die zur Assimilation nötige Wärmemenge liefern können. Ein basaltisches Magma dagegen besitzt wegen seiner hohen Temperatur eine höhere Fähigkeit zur Assimilation, vor allem wenn Konvektionsbewegungen ständig neues, heißes Magma zuführen (HUGHES, 1981). Bei Annahme eines basischen Magmas erscheinen daher Assimilationsvorgänge im vorliegenden Fall möglich.

Modell 3 bietet Ansätze, die Gelände- und Geochemiebefunde zu erklären. Durch das angenommene magma mixing könnten zum einen die o.a. Mischgesteine und der allmähliche Übergang von dioritischem zu granitischem Chemismus, zum anderen die mehr oder weniger linearen Korrelationen der Abb. 3 - 7 erklärt werden.

Die Aufschmelzung krustaler Gesteine durch die Einwirkung eines basaltischen Magmas - im Grunde eine Weiterführung des Gedankens aus Modell 2 - wird, bei ausreichendem Wärmeinhalt der basischen Schmelze, zunächst zu einer Teilschmelze granitischer Zusammensetzung führen (Minimumschmelze im System Alkalifeldspat-Plagioklas-Quarz-H₂O bei vermutlich mittlerem bis niedrigem Druck), die sich nach dem Modell mit Teilen des basischen Magmas mischte. Bei zunehmender Erwärmung der kontaktnahen Teile des Nebengesteins müsste der Teilschmelzanteil in den Kristallgraniten und Gneisen allmählich bis auf 100 % gestiegen sein. Gleichzeitige Zunahme des Krustengesteinsschmelze-Mantelmagma-Verhältnisses führt schließlich über Diorite und Mischgranite bis zu einem rein granitischen Magma, das in seinen Spurenelementgehalten weitgehend denen des aufgeschmolzenen Nebengesteins gleicht, wie es beim KG II der Fall ist.

Petrographische Hinweise auf eine Beteiligung des Nebengesteins am Stoffbestand von QGD und KG II geben die sog. Feldspatflecken im QGD (ANDRITZKY, 1964) und die pinitisierten Cordierite mit Sillimanitintergefüge im KG II. Die innige Vermengung von KG II Magma und QGD, wie sie und in den Mischdioriten und -graniten entgegtritt, kann durch Mischung zweier in ihrer Viskosität ähnlicher Stoffe - Schmelzen oder Schmelzbrei - erklärt werden. Einen ähnlichen Mechanismus der Bildung intermediärer Magmen, wie es Teile des QGD Magmas darstellen, fordert EICHELBERGER (1978), der die Entstehung andesitischer Vulkanite über jungen Subduktionszonen durch Mischung rhyolitischer, aus tiefkrustalen Gesteinen ausgeschmolzener Magmen, mit basaltischen Mantelteilschmelzen erklärt und diesen Vorgang in mittlere Krustentiefen ausdehnt.

Das Modell von KÖHLER, erstellt unter Berücksichtigung langjähriger Rb-Sr-Untersuchungen, stellt Analogien zur Granitgenese im Schwarzwald her (EMMERMANN 1977). Die Erklärung verschiedener Magmenzusammensetzung und ihrer Spurenelementmuster durch diverse Aufschmelzvorgänge, durch magma mixing etc., könn-

te durch das Modell eines einzigen Magmenherdes vereinfacht werden. Die große Unbekannte bleibt jedoch die Zusammensetzung der Unterkruste des Regensburger Waldes, welche die Edukte für die Magmenkammer geliefert haben soll.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die besonderen Merkmale der variszischen Intrusiva des Regensburger Waldes, insbesondere der Quarzglimmerdiorite und des Kristallgranit II vermutlich auf eine Kombination verschiedener Faktoren, allen voran die Aufschmelzung krustaler Gesteine unter dem Einfluß von Hitzezufuhr aus dem Oberen Mantel - durch Aufstieg basischer Magmen - zurückzuführen sind.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene Theorie zur Entstehung intermediärer und granitischer Magmen durch kontinuierliches magma mixing knüpft an ein Modell zur Kristallgranitgenese nach PROPACH (1978) an und bietet Ansätze zur Erklärung petrographischer und geochemischer Eigenschaften ebenso wie wichtiger Geländebeobachtungen der Quarzglimmerdiorite und des Kristallgranit II.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANDRITZKY, G. (1964) Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25000 Blatt Nr. 6839 Nittenau, München
- ARTH, J.G. (1976) Behavior of trace elements during magmatic processes; summary of theoretical models and their applications. - J. Res. U.S. Geol. Surv., Vol. 4, No. 1, 41 - 47
- BRILL, B. (1983) Petrographisch-geochemische Untersuchungen auf Blatt Reichenbach, Regensburger Wald, unter besonderer Berücksichtigung der Anatexite. - Unveröffentl. Diplomarbeit TU München
- DRIESSLE, H. (1972) Die magmatische Entwicklung des Hochfirst- und des Hammereisenbach-Granites (Südschwarzwald), abgeleitet aus der Verteilung geochemischer Leitelemente im Gesamtgestein und im Alkalifeldspat. - Unveröff. Dissertation TU München
- EICHELBERGER, J.C. (1978) Andesitic volcanism and crustal evolution. Nature 275, 1978, 21 - 27
- EMMERMANN, P. (1977) Petrological Model of the origin of the Black Forest Granites. - N. Jb. Miner. Abh., 128, 3, Stuttgart
- EYSINGA, F.W.B. van (1975) Geological Time Table, 3rd edition Elsevier, Amsterdam, ed., 1975
- FISCHER, G. (1959) Der Bau des Vorderen Bayerischen Waldes. - Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver., N.F. 41, S. 1 - 22, Stuttgart

- FISCHER, G. (1965) Über die modale Zusammensetzung der Eruptiva Ostbayerns. - *Geologica Bavarica* 55,7 - 33, München
- und TROLL, G. (1973) Bauplan und Gefügeentwicklung metamorpher und magmatischer Gesteine des Bayerischen Waldes. - *Geologica Bavarica* 68,7 - 44, München
- HAHN-WEINHEIMER, P. und ACKERMANN, H. (1967) Geochemical investigation of differentiated granite plutons of the Southern Black Forest II. The zoning of the Malsburg Pluton as indicated by the elements Ti, Zr, P, Sr, Ba, Rb, K and Na. - *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1967, Vol. 31, 2197 - 2218
- und JOHANNING, H. (1963) Geochemische Untersuchungen an magmatisch differenzierten Gesteinskörnern des Südschwarzwalds. - *Beitr. Miner. u. Petrogr.*, 9, 175 - 197
- HEGEMANN, F. (1931) Über Feldspatflecken in Dioriten des Bayerischen Waldes und ihre Bedeutung für die Genese dieser Gesteine. - *N. Jb. Mineral.*, 63, Beil.-Bd., Abt. A, 173 - 214, Stuttgart
- HOLL, P. (1983) Geol.-petrographische und geochemische Untersuchungen auf Blatt Reichenbach, Regensburger Wald, mit besonderer Berücksichtigung des Quarzglimmerdiorits. - Unveröffentl. Diplomarbeit, TU München
- HUGHES, C.J. (1982) *Igneous Petrology*, 528 p., Elsevier, Amsterdam
- JAEGER, J.C. (1968) Cooling and solidification of igneous rocks. In: H.H. Hess and A. Poldervaart (Editors), *Basalts*, Vol. 2 Wiley, New York, 503 - 536
- KÖHLER, H. (1982) Rb-Sr-Altersbestimmungen und Sr-Isotopensystematik zur Klärung der Genese varizischer Intrusiva im Vorderen Bayerischen Wald. - Unveröffentl. Habilitationsschrift Universität München
- KRAFT, W. (1981) Geochem. und petrogr. Untersuchungen am Kristallgranit II des Regensburger Waldes. - Unveröffentl. Diplomarbeit, Universität München
- KRAUS, G. (1962) Gefüge, Kristallgrößen und Genese des Kristallgranit I im Vorderen Bayerischen Wald. - *N. Jb. Mineral. Abh.*, 97, 357 - 434, Stuttgart
- MAAS, R. (1983) Geol.-petrographische und geochemische Untersuchungen auf Blatt Reichenbach, Regensburger Wald, mit besonderer Berücksichtigung des Kristallgranit II. - Unveröffentlichte Diplomarbeit TU München
- MEHNERT, K.-R. (1968) Migmatites and the Origin of Granitic Rocks. - 393 S., Elsevier, Amsterdam 1968

- OLBRICH, M. Geochemie und Petrographie von dioritischen Gesteinen des Regensburger Waldes. - Unveröffentl. Diplomarbeit Universität München
- PROPACH, G. (1978) Granitization by mixing of crustal rocks and subduction derived magma. - N. Jb. Miner. Mh. 1978, H. 12 537 - 549, Stuttgart
- SCHROLL, E. (1976) Analytische Geochemie, Bd. II Grundlagen und Anwendungen. - 374 S., Enke, Stuttgart
- und GROHMANN, H. (1965) Beitrag zur Kenntnis des K/Rb Verhältnisses in magmatischen Gesteinen. - Geol. Rdsch., 60, 1465 - 1487, Stuttgart
- SMITH, F.G. (1963) Physical Geochemistry. Addison-Wesley, Reading Mass., 624 p.
- STRECKEISEN, A. (1973) Plutonic rocks; classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. - Geotimes, 18 (10), Oct. 1973, 26 - 30
- TROLL, G. (1975) Bauformen und Gesteine im Moldanubikum des Regensburger und südlichen Oberpfälzer Waldes. - Der Aufschluß, Sonderband 26, 261 - 276, Heidelberg
- und BAUBERGER, W. (1968) Führer zu geol.-petrogr. Exkursionen im Bayerischen Wald, Teil II. - Geologica Bavarica, 59, München
- WEDEPOHL, K.H., CORRENS, C.W., SHAW, D.M., TUREKIAN, H.K. and ZEMANN, J. (1978) Handbook of Geochemistry. - Springer, Berlin-Heidelberg-New York