

# Magmatische Entwicklung und Tiefenstufen im Grundgebirge der Vogesen und des Schwarzwaldes

von

D. Hoernes, Karlsruhe

Zwischen dem französischen Zentralmassiv und der böhmischen Masse ist als weiteres Bruchstück der moldanubischen Innenzone des variskischen Gebirgsbogens der aus Schwarzwald und Vogesen bestehende Grundgebirgshorst gelegen. Er wird durch die große geotektonische Strukturfuge des Oberrheintalgrabens in seine beiden Hälften zerlegt.

Nachdem durch die Arbeiten der mineralogischen Institute in Freiburg und Heidelberg während der letzten 15 Jahre eine Gliederung des schwarzwälder Gneis-Granit-Gebirges auf genetischer Grundlage durchgeführt werden konnte, lag es nahe, nachzuprüfen, ob in den Vogesen die gleichen Verhältnisse angetroffen werden oder ob grundsätzliche Unterschiede in der petrographischen Entwicklung beider Gebirgskörper vorhanden sind, aus denen vermutet werden kann, daß der Rheintalgraben schon in der ältesten variskischen oder sogar vorvariskischen Anlage des Grundgebirges als wichtige, zwei wesensverschiedene petrographisch-tektonische Einheiten trennende Unstetigkeitszone ausgebildet war.

Der im folgenden unternommene Versuch eines Vergleichs zwischen Vogesen und Schwarzwald mag bei unserer im Grunde noch immer sehr lückenhaften Kenntnis des Grundgebirges zu beiden Seiten des Oberrheintales als verfrüht erscheinen. Es treten aber schon jetzt eine ganze Reihe auffälliger Abweichungen klar zu Tage, die einen solchen Versuch rechtfertigen. Darüber hinaus soll es die Aufgabe der vorliegenden Betrachtung sein, einige von den zahlreichen noch ungelösten Fragen herauszustellen und ihre Bearbeitung anzuregen.

Wie die angeschlossene Übersichtskarte erkennen läßt, unterscheiden sich Vogesen und Schwarzwald bereits in ihrem äußeren geologisch-petrographischen Gesamtbild recht wesentlich. So besteht der Schwarzwald aus einem zentralen, zum Teil gewölbeartig ausgebildeten Gneiskern, der im Norden, Osten und Süden von Granitmassiven umrahmt wird, während in den Vogesen ein geschlossener Gneiskern nicht mehr vorhanden ist. Der hier — ebenso wie auf der anderen Seite des Rheines — aus vordevonischen, wahrscheinlich sogar präkambrischen Gneisen bestehende älteste und tiefste Grundgebirgssockel ist durch karbonische Granitintrusionen bis auf vier größere, schollenförmige Reste weggeräumt worden. In ungleich größerer Vollständigkeit als im Schwarzwald sind dagegen in den Nord- und Südvogesen nichtmetamorphe paläozoische Sedimentablagerungen erhalten geblieben (Kambrium, Devon, Kulm, Oberkarbon und Perm), die heute stellenweise noch das „Dach“ der Granitmassive bilden.

Da eine Bearbeitung der Gneise der Vogesen auf moderner Grundlage bisher noch nicht durchgeführt worden ist, muß sich ein Vergleich zwischen beiden Gebirgsgliedern vorerst auf die magmatischen Gesteine des devonisch-karbonischen Entwicklungsabschnittes beschränken, also in erster Linie auf die Granite, die sowohl in den Vogesen als auch im nördlichen und südlichen Schwarzwald den Bau und Gesteinsbestand entscheidend bestimmen.

Als Ausgangspunkt für einen solchen Vergleich ist der Granit-Gneis-Komplex des südlichen Schwarzwaldes besonders geeignet. Hier findet man nämlich auf relativ engem Raume eine ungewöhnliche Mannigfaltigkeit von Granittypen in verschiedenartigster Wechselwirkung mit dem umgebenden Gneisgebirge. (HOENES 1940, 47, 48.)

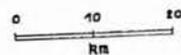
Die magmatischen Gesteine der Vogesen sind in zahlreichen älteren, zum Teil recht eingehenden Arbeiten behandelt worden (vgl. Schriftenverzeichnis am Schluß dieses Artikels). Außerdem liegt bereits reichliches Analysenmaterial von ihnen vor. Besondere Beachtung verdient die große Monographie von JEAN JUNG (1928) mit einem 223 Nummern enthaltenden Verzeichnis der Vogesenliteratur. Das Fehlen moderner Untersuchungen wirkte sich naturgemäß bei dem Vergleich mit den Verhältnissen des Schwarzwaldes erschwerend aus.

## Alter und Altersfolge der intrusiv-magmatischen Tätigkeit

Eine sichere Altersbestimmung der magmatischen Gesteine des Grundgebirges ist nur dort möglich, wo sie in direktem Kontakt- oder Lagerungsverband (vulkanische Deckengüsse!) mit altersmäßig datierbaren, i. a. also nichtmetamorphen Sedimentgesteinen stehen. — So werden z. B. die oberdevonischen Grauwackenschiefer der südschwarzwälder Kulmzone und der Mulde von Baden-Baden

# ZEICHENERKLÄRUNG

- |  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  | Alluvium und Diluvium   |  | Ältere Granite (Tournai)<br>"Unvollständig differenzierte Granite"              |
|  | Alttertiär bis Perm   |  | Älteste Granite (Etröungt bis Oberdevon)<br>"Undifferenzierte, hybride Granite" |
|  | Quarzporphyre (Perm)  |  | Paläogene Diorite, Syenite, etc.<br>Metablastite, syntektische Gesteine         |
|  | Oberkarbon  |  | Devon   |
|  | Zweiglimmergranite (Oberkarbon)   |  | Vulkanite<br>(Devon der Nordvogesen)  |
|  | Kulm  |  | Kambrium bis Praekambrium<br>(Nordvogesen)                                      |
|  | Vulkanite (Visé und Tournai)  |  | Gneis<br>(ungegliedert)   |
|  | Hauptgranite (Visé)<br>"Normal differenzierte Granite"<br>Mit Gneisschollen |  |   |
|  | Hybride Zweiglimmergranite  |  |   |



## GEOLOGISCH-PETROGRAPHISCHE ÜBERSICHTSKARTE DES SCHWARZWALDS UND DER VOGESEN

Zusammengestellt von DHOENES nach den im Text angegebenen Quellen.

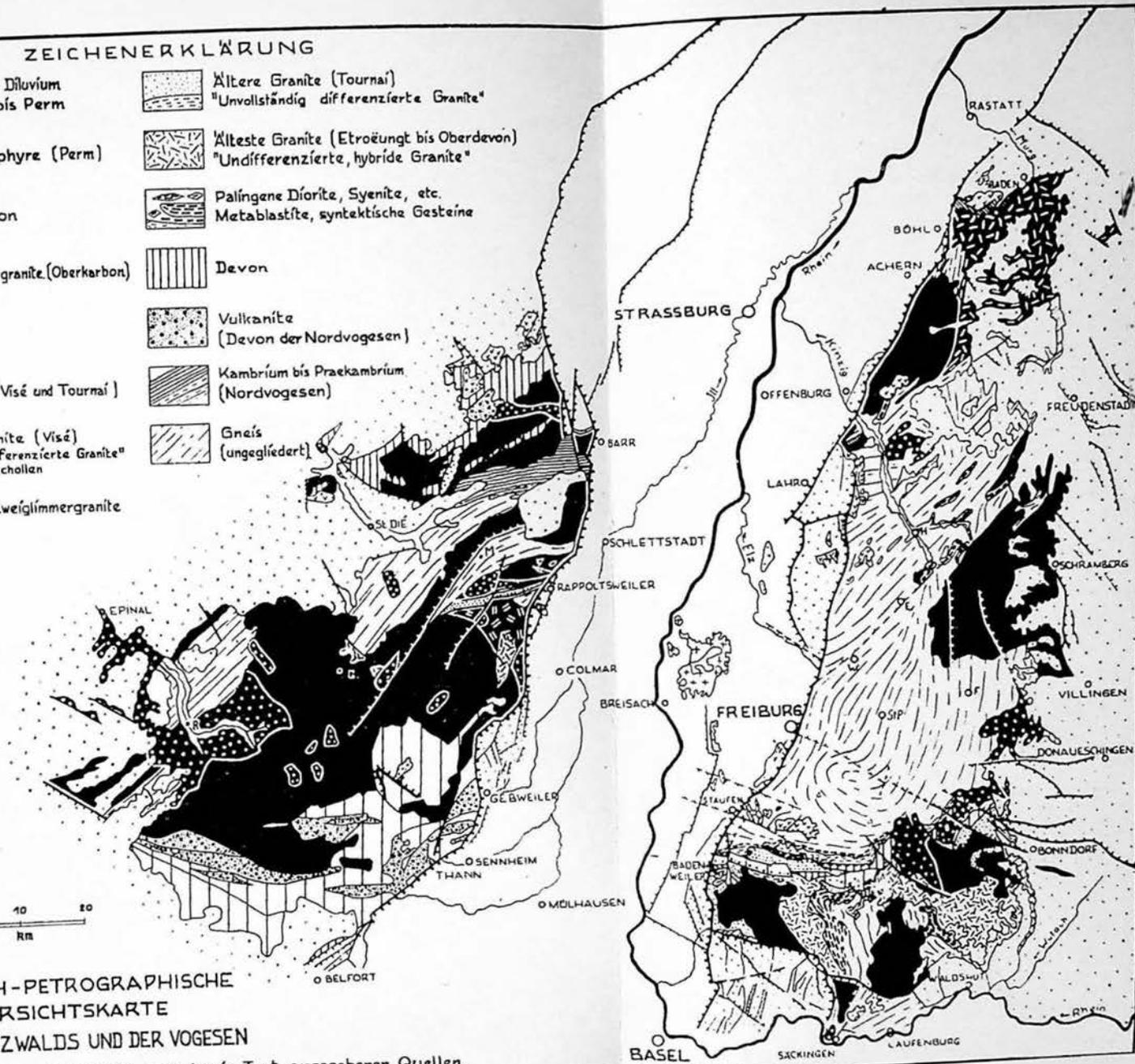


Abb. 1. Quellennachweis zur Übersichtskarte (hierzu Literaturverzeichnis S. 221): S. v. BUBNOFF (1912, 29), O. H. ERDMANNSDOERFFER (1948), D. HOENES (1940, 47), D. HOENES und K. R. MEHNERT (1949), J. JUNG (1928), S. K. RAY (1925), H. SUTER (1924), A. STRIGEL (1932) und unveröffentlichte Aufnahmen im Schluchseegebiet. Geologische Kartenblätter und Manuskriptkarten der Bad. Geol. Landesanstalt. Als Unterlage: Geologische Übersichtskarte von Südwestdeutschland 1 : 600 030 (Aufl. 1948).

durch die angrenzenden Granite mehr oder weniger stark kontaktmetamorph verändert. Andererseits berührt der Kamm-Belchengranit der Südvogesen die Sedimente und Vulkanite des oberen Kulm und metamorphosiert sie, jedoch nicht die Gesteine des mittleren Kulm. Im südlichen Schwarzwald werden die mittleren und oberen kulmischen Gesteinsfolgen stets durch die Randverwerfungen des Grabens von Badenweiler-Lenzkirch von den angrenzenden Graniten getrennt. Oberkarbonische Konglomerate, Grauwacken und Sandsteine sind stellenweise auf den Graniten des Nordschwarzwaldes und der Nordvogesen abgelagert.

Als äußere zeitliche Grenzen der intrusiv-magmatischen Abfolge in beiden Gebirgen geben sich somit Oberdevon und Oberkarbon zu erkennen. Das Kamm-Belchen-Granitmassiv der Vogesen besitzt nach-mittelkulmisches Alter.

Weitere Anhaltspunkte, die eine Verfeinerung der altersmäßigen Einstufung der Tiefengesteine ermöglichen, liefert ihr Auftreten im Geröllbestand der devonischen und kulmischen Konglomerate. Hier muß allerdings in Rechnung gestellt werden, daß sich nur Gesteine solcher Granitmassive unter den Geröllen finden können, die zur Zeit der Ablagerung der Konglomerate bereits durch Abtragung entblößt waren.

Wie die Untersuchungen von D. HOENES (1940) und P. KATHOL (1948) ergeben haben, trifft dies im Gebiet der südschwarzwälder Kulmzone nur für den Belchengranit zu, während alle anderen älteren Granite, ebenso wie auch Gerölle ihrer Mischgesteine, in den mittel- und oberkulmischen Konglomeraten fehlen. In den oberkulmischen Konglomeraten des Lenzkircher Flügels der Kulmulde konnte bisher mit Sicherheit nur der alte Lenzkircher Granit (A. STRIGEL (1932), D. HOENES (1947)) nachgewiesen werden, der das Dach des (jüngeren) Schluchseegransits bildet, dagegen nicht der angrenzende Bärhalde-Eisenbacher Zweiglimmergranit, dessen Alter S. v. BUBNOFF (1912, 21) auch auf anderem Wege als oberkarbonisch bestimmen konnte.

Vordevonische Granitintrusionen sind im schwarzwälder Grundgebirge lediglich in kinetometamorph-umgeprägter Form als Orthogneise vorhanden. Sie finden sich jedoch in den Vogesen. Hier liegt das mitteldevonische Konglomerat von Ruß auf (mitteldevonischen) Schiefen und Vulkaniten. Es wird von oberdevonischen Sedimenten überlagert und führt Gerölle von Dioriten, Dioritporphyriten, Graniten (bes. Aplitgraniten) und Granitporphyren, die mithin einer älteren, vor-mitteldevonischen Eruptivserie angehören (BUCKING (1920)).

Die zeitliche Gliederung der vulkanischen Tätigkeit, wie sie sich aus dem Auftreten von Decken und Tuffen in den paläozoischen Sedimentfolgen des Schwarzwaldes und der Vogesen zu erkennen gibt, kann aus der Zeittafel

Tab. I entnommen werden. Hier sei nur betont, daß der in den Vogesen so überaus stark entwickelte devonische Vulkanismus im Schwarzwald (abgesehen von einigen wenigen Diabasvorkommen in den devonischen Schiefen des südlichen Schwarzwaldes und von Baden-Baden) ausfällt.

**Tektonik und Magmatismus:** Enge Beziehungen verknüpfen bekanntlich das magmatische Geschehen mit bestimmten tektonischen Bewegungsformen und Bautypen. So lassen sich vor- und nachtektonische Intrusionsphasen unterscheiden, wie z. B. im südlichen Schwarzwald, wo von den verschiedenen Autoren (S. v. BUBNOFF (1912, 29), J. L. WILSER (1932), D. HOENES (1940, 47)) das Vorhandensein oder Fehlen einer mechanischen Beanspruchung als Alterskriterium für die verschiedenen Granitarten verwandt worden ist. Hierbei muß aber beachtet werden, daß die variskischen (oberdevonischen bis permischen) Gebirgsbewegungen innerhalb des schon weitgehend versteiften Gneis-Granit-Körpers des Grundgebirges keinen regionalen Charakter mehr besitzen, sondern sich auf immer stärker lokalisierte Zonen erhöhter Mobilität beschränken, so z. B. in erster Linie auf die Devon-Kulm-Zone von Badenweiler-Lenzkirch und in geringerem Maße auf die Durchbewegungszone von Kandern-Schlächtenhaus-Tiefenstein.

Die Wirkungen einer noch älteren, regionalen (devonischen bis vordevonischen) mechanischen Gesteinsverformung erkennt man im südlichen Schwarzwald lediglich im Bereiche der vorkulmischen „Aufschmelzungszonen“ des Wehra-Wiesentales und des mittleren Albtals (durch älteste, granodioritische magmatische Zuführen *syn*tektonisch veränderte Biotitgneise und Amphibolite).

Große Intensität erreichten im Gebiet des südschwarzwälder Kulmstreifens die Bewegungen der bretonischen Phase (unteres Kulm) der variskischen Tektonik, die wahrscheinlich erst im mittleren Kulm langsam abklängen. Sie verursachten die Einfaltung, Überkipfung und Verschieferung der devonischen Grauwacken und die postkristalline Verschieferung und Streckung (Striement) der ältesten *Aplitgranite*, soweit diese im Wirkungsbereich der Bewegungsfugen lagen. Die weiter entfernt liegenden Massive und Massivteile blieben dagegen unberührt. So ist z. B. das Mambacher Massiv nur an seinem gegen die Kulmzone grenzenden Nordrand verschiefert (D. HOENES (1940)), ebenso der Blaugranit (E. SCHROEDER (1929)).

Innerhalb der südschwarzwälder Kulmzone sowie an sie angrenzend findet man jedoch auch Granitmassive, die trotz dieser tektonischen Position keinerlei mechanische Verformung ihrer Gesteine mehr erkennen lassen. Sie sind also erst nach dem

Tabelle 1 Altersfolge der magmatischen Gesteine in den Vogesen und im Schwarzwald

	Vogesen		Schwarzwald	
	Tiefengesteine	Vulkanite	Tiefengesteine	Vulkanite
Perm		Quarzporphyre		Quarzporphyre
Oberkarbon	Erzgänge Zweiglimmergranite	(Quarzporphyre)	Erzgänge Zweiglimmergranite	
Oberkuhm	Hauptgranite und Ganggesteine (vorw. Amphibolgranite des Kamm-Belchen- und Hochfeldmassivs)	Quarzporphyre Keratophyre Labrador- porphyrite	Hauptgranite und Ganggesteine („normal-differenzierte“ Biotitgranite. Massive in Süd-, Mittel- und Nordschwarzwald)	Quarzporphyre Quarzarme Porphyre
Mittelkuhm	Dioritische Vor- läufer (z.B. Nadeliorite des Hochfeldmassivs)	Diabase und deren Tuffe	Ältere Granite („unvollständig diffe- renzierte“ Biotit- und Aplitgranite des Süd- schwarzwalde, z. T. verschiefert)	Porphyrite und deren Tuffe
Unterkuhm			Älteste Granite („undifferenzierte“ hybride Biotit- und Aplitgranite des Süd- schwarzwalde, z. T. verschiefert)	
Oberdevon		Porphyrite Diabase	Dioritische u. syenitische Palingenite etc.	Diabase (sehr selten)
Mitteldevon	(Konglomerat von Ruß mit Dioriten, Graniten etc.)	Quarzporphyre Keratophyre Labrador- porphyrite Diabase	Granodioritische bis di- oritische syntektische Magmatite des Süd- schwarzwalde	
Unterdevon bis Kambrium	Diorite, Granite, Granitporphyre Post- bis parakristallin verformte Gabbros, Harz- burgite, Diorite, Syenite, Granite etc. unsicherer Altersstellung — wahrscheinlich in mehreren Ge- nerationen.			
Prækambrium	Para-, Ortho- und Mischgneise sowie deren anatektische Umwandlungsprodukte.			

sion der — mit den Hauptgraniten der Vogesen gleichzustellenden — jüngeren Granitmassive (Malsburg-, Albtal-, Schluchsee-, Triberger Granite) eine reichhaltig entwickelte ältere Eruptivserie voran, die früh- und mittelkulmische Aplitgranite und Biotitgranite enthält.

Die Altersgliederung der magmatischen Abfolge im Schwarzwald und in den Vogesen, wie sie sich aus dem vorangehenden ergibt, ist im einzelnen in Tab. . . . nochmals zusammengestellt.

## Granitisation, Assimilation und magmatische Differentiation im Schwarzwald und in den Vogesen

Das petrographisch-geologische Bild beider Gebirgskörper erhielt seine entscheidende Prägung durch die Intrusion der karbonischen Granitmassive.

Es ähnelt hierin weitgehend den beiden benachbarten Bruchstücken der moldanubischen Innenzone der Varisziden, der böhmischen Masse und dem französischen Zentralmassiv. Enge verwandtschaftliche Beziehungen bestehen jedoch auch zu dem in noch stärkerem Maße „granitdurchwobenen“ Grundgebirge der „Alten Schilde“ Skandinaviens, Finnlands etc. Es zeigt sich nun, daß in allen diesen Grundgebirgszonen, wo nachweislich die tiefsten, unserer Beobachtung zugänglichen Stockwerke der Erdrinde durch starke tektonische Heraushebungs- und tief einschneidende Abtragungsvorgänge entblößt sind, Granite und granitähnliche Gesteine beherrschend in den Vordergrund treten.

Woher kamen diese Granitmassen, in welchen Tiefen liegen ihre Bildungsräume und durch welche Prozesse entstanden sie? Wie wurde ferner für die — vor allem im Laufe der älteren Perioden der Erdgeschichte — immer wieder in seichtere Niveaus emporbringenden Granitmassen der notwendige Raum geschaffen und der bedeutende Materialzuwachs untergebracht? Diese Probleme stehen heute im Mittelpunkt der petrographischen Erforschung des tiefen Grundgebirges.

Die Untersuchungen, die in den letzten Jahrzehnten besonders in den Granit-Gneis-Gebieten Skandinaviens und Finnlands durchgeführt wurden, haben ergeben, daß hier durch die Vorgänge der Anatexis (Aufschmelzungsmetamorphose) und Palingenese (Wiederverflüssigung zu selbständig intrusionsfähigen Magmen) in größerem Umfang granitartige Gesteine aus ursprünglich nicht granitischen — meist in der Form von Gneisen vorliegenden — Gesteinsbeständen entstanden sind.

völligen Abklingen der bretonischen, vielleicht sogar der (schwächeren) sudetischen Bewegungen (Wende Oberkalm-Oberkarbon) intrudiert (Malsburggranit, Albtalgranit, Schluchseegranit, Zweiglimmergranit).

Auch die *Vogesen* werden von zahlreichen variskischen Bewegungszonen durchzogen, die wahrscheinlich verschieden alt angelegt sind, ebenso wie die des Schwarzwaldes aber immer wieder posthum auflebten. Sie erweisen sich teils als älter, teils als jünger als die Intrusion des Kamm- und Hochfeldgranits. — Innerhalb der einzelnen Bewegungszonen treten stellenweise ebenfalls mechanisch verformte granitische und auch basische Tiefengesteine auf, die — wenigstens zum Teil — als ältere (vor-oberkalmische) Intrusionen betrachtet werden müssen.

Jünger als die Intrusion des Kammgranits sind nach dem bisherigen Stand unserer Kenntnisse (zum Teil nach JUNG (1929)): 1. die den Kammgranit vom Gneisgebirge trennende ONO-streichende Mylonitzone der Mittelvogesen. 2. Bewegungen an Mylonitzone im Bereiche der Schuppenzone des Bilsteingranits westlich Rappoltsweiler.

Älter als die Intrusion des Kammgranits, jedoch im einzelnen zeitlich nicht genau festgelegt, sind: 1. die Anlage der Schuppenzone von Rappoltsweiler und der geschieferte, meist muskovitführende Granit von Bilstein, der durch postdeformative Neukristallisation von Muskovit, Quarz und Feldspat ausgezeichnet wird (J. JUNG (1928)). 2. Die sog. Klippenzone des Thurtales in den Südostvogesen, die als Aufschubungszone des mittleren Kulms des kleinen Belchen über südlich anschließendes autochtones Mittelkalm mitgerissene Reste des tieferen Untergrundes führt. Es sind dies Gabbros, Harzburgite, Konglomerate und zum Teil auch mechanisch verformte granitartige Gesteine mit Biotit, Muskovit und Amphibol — also wahrscheinlich Glieder einer älteren Eruptivserie. Im Kontaktbereich des Kammgranits sind die Gesteine der Klippen und die Aufschubungszone selbst metamorph verändert. 3. Die Metamorphose der südlich einfallenden Glimmerschieferschuppen, die sich zwischen die Gneise der Mittelvogesen nördlich des Lebertales und die Weiler und Steiger Schiefer (vermutlich Präkambrium bzw. Kambrium) einfügen, sowie die in ihnen enthaltenen mechanisch verformten und anschließend rekristallisierten aplitgranitischen, syenitischen und amphibolsyenitischen Tiefengesteine.

Hieraus folgt, daß Tiefengesteine, die älter sind als das Kamm- und das Hochfeldmassiv, in den Vogesen nur noch in spärlichen, altersmäßig nicht exakt datierbaren Resten vorhanden sind. (Von den wahrscheinlich präkambrischen Orthogneisen ist hierbei natürlich abgesehen!) Dagegen geht im südlichen Schwarzwald der Intru-

Neuspaltung von Plagioklas und (oder) Kalifeldspat (im letzteren Falle unter diffusionsartiger Zufuhr von Kalifeldspatmolekülen vom Granit aus in das Nebengestein — z. B. Randgranit der Kulmzone). Stets bewirkt dabei die Metablastesis eine weitgehende Auflockerung und „Entregelung“ der ursprünglich parallel-schiefrigen Gesteine. In gleicher Weise wirkt sich die — besonders bei glimmerärmerem Gesteinsmaterial beobachtbare — Neukristallisation sämtlicher Gemengteile aus. Verwickelte Reaktionsprozesse zwischen den Feldspäten einerseits und Biotit und Hornblende auf der anderen Seite, zusammen mit Mobilisations- und Verflüssigungsvorgängen sind an der Bildung der (oft palingen gewordenen) glimmer-dioritisch-syenitischen Produkte vorherrschend beteiligt. — Die gleichen Umwandlungerscheinungen zeigen naturgemäß auch die von den Graniten (Randgranit, Mambacher und St. Blasier Granit) eingeschlossenen Gneis- und Schieferbestände.

Auf der anderen Seite besitzen die genannten ältesten Granite selbst das Bestreben, sich in stofflicher Hinsicht den abweichend zusammengesetzten Gesteinen ihrer Hülle chemisch anzugleichen. Sie erreichen dies mehr oder weniger vollkommen durch Aufnahme und Auflösung von Bruchstücken des festen Nebengesteinsrahmens. Bei weitgehender Auflösung des Fremdgesteinsmaterials entstehen dann sog. Hybridgranite, deren ursprünglicher Stoffbestand eine nachweisbare Modifizierung erfahren hat.

Im südlichen Schwarzwald trifft dies z. B. für große Teile des Mambacher und St. Blasier Granits sowie für den Randgranit der Kulmzone zu. Einen etwas abweichenden Charakter besitzt die schon erwähnte Zone syntektisch umgewandelter Biotitgneise und Amphibolite des Wehra-Wiesentales und des mittleren Albtals. Hier ist die gegenseitige Vermengung und Homogenisierung so weit fortgeschritten, daß die zugeführten magmatischen (vorwiegend wohl granodioritisch zusammengesetzten) Anteile von den umgewandelten und verflüssigten Gneisbeständen meist nicht mehr scharf unterschieden werden können.

Allen jüngeren kulmischen Graniten fehlen solche Assimilations- (also „Angleichungs“-) Erscheinungen vollständig. Nur stellenweise beobachtet man noch eine metablastische Umkristallisation ihrer Nebengesteinshülle (z. B. Albtalgranit, Blaugranit). Ihre entscheidende petrographisch-chemische Gestaltung erhielten diese nicht mehr verschieferten („posttektonischen“) Granite durch die Vorgänge der gravitativen Kristallisationsdifferentiation, also der Sonderung des Magmas nach der spezifischen Schwere der aus ihm auskristallisierenden festen Kristall-

Auch im Schwarzwald, vor allem in seinen anatektisch veränderten Gneiskomplexen, sind derartige „Granitisationsvorgänge“, die sich stellenweise zur Bildung palingener Granitmagmen steigern, feststellbar. Daneben findet man jedoch hier und in allen anderen Grundgebirgsgebieten immer wieder ausgedehnte Massive granitischer Erstarrungsgesteine, von denen nachgewiesen werden kann, daß sie in flüssigem Zustand in ihre feste Nebengesteinshülle eingedrungen sind. Diese Granitmagmen stammen also aus noch tieferen Grundgebirgsstockwerken, wo sie wahrscheinlich ebenfalls durch die Vorgänge der Anatexis und Palingenese gebildet wurden.

Physikalisch-chemische Wechselwirkungen zwischen Magma und Nebengestein: Wie die Untersuchungen der letzten Jahre ergeben haben (D. HOENES (1940, 47, 48)), sind alle Granite des südlichen Schwarzwaldes, die zwischen der Wende Devon-Kulm und dem Oberkarbon intrudierten in schmelzflüssiger Form an ihren Erstarrungsort gelangt, also nicht etwa „in situ“ durch anatektische und palingene Umwandlung des Gesteinsmaterials der heute freiliegenden Gneisgebirges gebildet worden. Die Vermutung, daß wir mit einer Entstehung dieser Magmen in sehr großen Tiefen unter dem heutigen Aufschlußniveau durch anatektische Prozesse rechnen müssen, hat erstmalig S. v. BUBNOFF (1929) ausgesprochen, doch besitzen wir noch keine exakten Anhaltspunkte für ihre Bildungsvorgänge. Eine gewisse Stütze findet diese Annahme jedoch in der folgenden Beobachtung: Die ältesten variskischen Granite des südlichen Schwarzwaldes stehen noch in enger stofflich-mechanischer Wechselwirkung mit ihren Hüllgesteinen (D. HOENES (1940—48)). Im engeren Wirkungsbereich der Granitmassive werden hier die umgebenden Biotitgneise und zum Teil auch noch die oberdevonischen Schiefer in granitische sowie besonders in granodioritische, quarzdioritische und auch in syenitische Endprodukte umgewandelt, die sich von „normalen“ Eruptivgesteinen oft nur noch unwesentlich unterscheiden und fallweise sogar vollkommen verflüssigt, also zu selbständiger Intrusion fähig gewesen sein müssen (Glimmerdiorite und -syenite vom Erzenbachtypus im Bereich des Mambacher und St. Blasier Granits).

Verursacht wird diese weitgehende Umgestaltung in erster Linie durch die Vorgänge der metablastischen Umkristallisation, d. h. der bevorzugten

In den tiefen Grundgebirgsstockwerken werden die Wechselwirkungs- und Angleichungsvorgänge vor allem durch das hier nur geringe Temperaturgefälle zwischen Magma und Nebengestein weitgehend gefördert. Dagegen führt innerhalb der seichten (hypoabyssischen bis subvulkanischen) Niveaus der starke Temperaturabfall zum Nebengestein hin zu rascher Abkühlung der Randpartien des Magmenkörpers, ohne daß dessen Hüllgesteine auf größere Entfernung hin erhitzt und umgewandelt werden.

Während nun die Granitintrusionen des Schwarzwaldes überwiegend im tieferen Gneissockel des Grundgebirges stecken blieben und höchstens mit den untersten Teilen tief eingefalteter Devonschieferzüge in Berührung traten (Randgranit, Friesenberggranit von Baden-Baden), haben sie in den Vogesen die Gneisunterlage weit hinter sich gelassen und sind in breiter Front in die kulmischen, devonischen und vordevonischen Deckschichten eingedrungen. Dabei wurden große Teile des alten Gneiskernes bei Seite geräumt. Nur in den mittleren und südwestlichen Vogesen, wo die spätere Heraushebung des Gebirges und damit die Abtragung am stärksten ist, sind noch vier schollenförmige Gneisreste sichtbar. In den Nord- und Südvogesen blieb dagegen infolge bedeutender jüngerer Senkungsvorgänge das aus paläozoischen Gesteinen bestehende Dach der Granitmassive erhalten. Dabei sprechen die hier beobachtbaren scharfen Hornfelskontakte für eine relativ geringmächtige Überdeckung.

In einem gewissen Widerspruch zu dieser seichten Tiefenlage und dem Fehlen von breiten Angleichungszonen in den Kontaktgebieten steht die Auffassung von A. MICHEL LEVY und J. DE LAPPARENT über die Genese der weit verbreiteten Hornblende und zum Teil auch Pyroxen führenden Granite der Vogesen, die sich durch Aufschmelzung (Syntexis) von amphibolhaltigen Diabasen und Porphyriten des Devons und Kulms gebildet haben sollen.

Von den französischen Forschern wird als Stütze ihrer Theorie die Beobachtung angeführt, daß die fraglichen Granite dort Hornblende enthalten, wo sie mit basischen Vulkaniten in Berührung treten. An einer Stelle des Hochfeldmassivs bilden z. B. angeblich die Amphibolgranite die direkte Fortsetzung von Diabaszügeln. Daneben treten jedoch in großem Umfange auch selbständige amphibolgranitische Partien im Gebiet des Kamm- und Hochfeldgranites auf.

arten und der hierzu parallel verlaufenden Anreicherung der leichtflüchtigen Bestandteile der magmatischen Schmelze (Malsburg-, Albtal-, Schluchsee- und Zweiglimmergranit).

Zwischen diesen jüngsten Intrusionen und den ältesten hybriden Graniten steht eine Mittelgruppe von (nur im Bereiche der Kulmzone) noch kataklatisch verformten Graniten, die keine Anzeichen einer Anreicherung der leichtflüchtigen Bestandteile, wie z. B. miarolithische Drusen und pegmatitische Schlieren besitzen, aber auch nicht mehr durch Nebengesteinsassimilation hybridisiert sind (Belchengranit, Blaugranit, Klemmbachgranit, Lenzkircher Granit).

Nach dem bisher vorliegenden Beobachtungsmaterial treten in den beiden großen Granitmassiven der Vogesen, dem Kamm-Belchen-Granit und dem Hochfeldmassiv, die für die ältesten süd-schwarzwälder Granite so charakteristischen stofflichen Wechselwirkungen zwischen Magma und Nebengesteinshülle in den Hintergrund oder fehlen sogar vollständig — wenigstens im Bereiche der heute freiliegenden Granitstockwerke! Die Kontakte gegen das Kulm, Devon und Vordevon sind als scharfe Hornfelskontakte ausgebildet. Häufig zeigen die Granite eine durch rasche Abkühlung feinkörnig entwickelte Randfazies. Breite Angleichungs- und Verfeldspatungszonen sind bisher nicht bekannt geworden.

Nur in der weiteren Umgebung von Kayserberg in den Mittelvogesen hat der Kammgranit größere Mengen von Gneisschollen aufgenommen, jedoch anscheinend nicht weiter aufgelöst.

Besondere Beachtung verdient dagegen im vorliegenden Zusammenhang eine Zone von Mischgesteinen aus meist stark umgewandelten Gneisen und granitischen bis pegmatitischen Zufuhren unbekanntes Alters, die ursprünglich die zentralen Vogesen von Drei Ähren bis Gérardmer durchzog, von der aber nach der Intrusion des Kammgranits nur noch drei kleine schollenförmige Reste erhalten geblieben sind (vgl. Übersichtskarte). Neuere Untersuchungen an diesen Mischgesteinen liegen leider nicht vor.

**Intrusionsniveaus und Plutonstockwerke:**  
Welche Faktoren sind für das unterschiedliche Verhalten der Granitintrusionen gegenüber ihrer Nebengesteinshülle verantwortlich zu machen? Von besonderer Bedeutung ist hier zunächst das Intrusionsniveau, also die Tiefe unter der früheren Oberfläche, in der die Granitmassen im Laufe ihres Aufstieges stecken blieben und erstarrten.

abgerundete Reste von Para-Cordierit-Hornfelsschiefern und eigenartigen, anstehend nicht vorhandenen Biotit-Sillimanitgesteinen (ERDMANNSDOERFFER (1947)). Auch der homogene Biotit- und Zweiglimmergranit enthält hier häufig Cordieritpseudomorphosen sowie Sillimanit und Andalusit.

Dieser Befund erlaubt vielleicht die folgende Deutung: Die Aufnahme des Fremdmaterials erfolgte im Gebiete der nordschwarzwälder Granite schon in größeren Tiefen unter dem heutigen Aufschlußniveau. Bereits im Verlaufe des Aufstieges des Magmas vollzog sich sodann eine weitgehende Zerteilung und Auflösung der Gneis- und Hornfelsschollen, so daß in den heute entblößten höheren Plutonstockwerken relativ homogene Hybridgesteine zu beobachten sind. Dagegen befinden wir uns im südlichen Schwarzwald in einem tieferen Aufschlußniveau, wo die Aufarbeitung des Gneisrahmens unmittelbar am Ort verfolgt werden kann.

Auf die große Fülle weiterer, für den Charakter der Wechselwirkung zwischen Magma und Nebengesteinshülle entscheidender Faktoren kann im vorliegenden beschränkten Rahmen nicht näher eingegangen werden. Es sind dies: Der Grad der Schiefrißigkeit oder, allgemeiner, die Wegsamkeit des Hüllgesteins. Sie beeinflußt nicht nur den Mechanismus und die Form der Intrusionen, sondern auch z. B. die metatektischen und metablastischen Umwandlungsvorgänge im Wirkungsbereich der Magmenkörper. Eine wichtige Rolle spielt — vor allem bei der Bildung der glimmerdioritischen und -syenitischen Umwandlungsprodukte — die Reaktions- und Mobilisationsfähigkeit der Hüllgesteine. Von sehr großem Einfluß ist naturgemäß auch das Volumen der Granitmassen und ihr damit verknüpfter Wärmehalt, der für Aufschmelzungsprozesse zur Verfügung steht. Ebenso bedeutungsvoll ist die chemische Zusammensetzung der einwirkenden Magmen. So beobachtet man z. B. auffallend starke Aufschmelzungserscheinungen im Zusammenhang mit den granodioritischen bis quarzdioritischen — also relativ basischen und somit hochtemperierten — ältesten Zufuhren der „Aufschmelzungszonen“ des südlichen Schwarzwaldes. Der hohe primäre, an „endomagmatischer“ (ERDMANNSDOERFFER (1947)) Muskowitausscheidung erkennbare Wassergehalt der nordschwarzwälder Granite trägt wahrscheinlich sehr wesentlich zu der oben erwähnten weitgehenden Nebengesteinsauflösung in ihnen bei (Herabsetzung der Schmelztemperaturen etc.). Relativ „trockene“ Schmelzen stellen die Magmen der zum Teil hybriden Aplitgranite des Südschwarzwaldes dar.

Berücksichtigt werden muß endlich auch, daß, je nach den herrschenden Zustandsbedingungen, der räumlich-zeitliche Verlauf der Temperaturkurven in der Umgebung eines empordringenden und sich langsam abkühlenden Magmenkörpers ein sehr verschiedener ist. Dies muß z. B. bei den

Bei dem aus dem Vorhandensein „kühler“ Hornfelskontakte folgenden seichten Intrusionsniveau der Vogesengranite sind Aufschmelzungserscheinungen größeren Stiles — jedenfalls im weiteren Bereich der heute freiliegenden Niveaus — kaum zu erwarten. Gesteht man andererseits die Möglichkeit von Assimilationsprozessen in tieferen Stockwerken zu, so müßten stellenweise wenigstens noch Reste von nicht völlig aufgelöstem Fremdmaterial in den Graniten angetroffen werden, was jedoch nach den bisherigen Beobachtungen nicht der Fall ist. (Die dioritischen Einschlüsse in den Hochfeldgraniten müssen als Bruchstücke ihrer mechanisch aufgearbeiteten basischen Vorschübe aufgefaßt werden; vgl. S. ) Auf die wichtige Frage des Ursprungs der Hornblendengehalte des Kamm- und Hochfeldgranits wird weiter unten noch mehrfach zurückzukommen sein.

Es ergibt sich also folgendes: Die Granitmassive des Schwarzwaldes unterscheiden sich von denen der Vogesen durch ihr durchschnittlich tieferes Intrusionsniveau, das bei den ältesten (und gleichzeitig auch tiefsten!) südschwarzwälder Granitförderungen eingehende stoffliche Wechselwirkungen zwischen Magma und Nebengesteinshülle zustandekommen ließ. Besonders große Niveauunterschiede bestehen zwischen den Hybridgraniten des Südschwarzwaldes und den beiden großen Massiven der Vogesen. Aber auch die Hauptgranite des südlichen Schwarzwaldes (Malsburg-, Albtal-, Schluchseegranit) sowie das Triberger Massiv gehören relativ tiefen Stockwerken an, wie die metablastische Umwandlung des angrenzenden Gneises erkennen läßt. Verhältnismäßig tiefe Niveaus sind in den Vogesen lediglich in ihrem mittleren Abschnitt westlich Kaysersberg und Rappoltsweiler freigelegt. Nur hier findet man in größerem Umfange Mischgesteine und ältere verschieferte Granite in enger Vergesellschaftung mit Gneisen. — Oberflächennahen Charakter besitzen dagegen in beiden Gebirgen die jungen Zweiglimmergranite, die auch im Schwarzwald weniger tief abgetragen sind als ihre Vorgänger.

Deutlich illustriert wird die Bedeutung des Intrusionsniveaus und Abtragungsgrades der Massive durch die Verhältnisse im Gebiet der neuerdings durch O. H. ERDMANNSDOERFFER (1947) eingehend studierten Granite des nördlichen Schwarzwaldes: Ihre Kontakte gegen die Bühlertaler Gneisscholle sind scharf, andererseits werden aber auch die Granite des Murgtales stellenweise von reichlich assimiliertem Nebengesteinsmaterial durchsetzt. Es handelt sich jedoch hierbei nicht — wie im Südschwarzwald — um größere, meist diffus umgrenzte und weitgehend aufgeblätterte Schollen und Schlieren von Para-Biorit-Gneisen, sondern um nuß- bis höchstens dezimetergroße, eckige bis

Nur innerhalb der ausgedehnten und scharf individualisierten Magmenherde der jungen Granite war mithin eine ruhige, nicht durch Nebengesteinsassimilation und tektonische Beanspruchung beeinflusste gravitative Sonderung der magmatischen Schmelze möglich. Als differentiationsfähig erweisen sich ferner nur solche Ausgangsmagmen, die eine ausreichende Basizität besitzen, wie z. B. das Magma des am Beginn der zeitlich-stofflichen Differentiationsfolge stehenden Malsburger- und Albtalgranits, aus dem sich die jüngeren und saureren Granite ableiten lassen. — Eingehende Differentiationsprozesse müssen somit in den großen relativ basischen Magmenreservoirs der Vogesen erwartet werden. Dies trifft in der Tat auch zu.

Der Kammgranit der zentralen und südlichen Vogesen erhält sein besonderes Gepräge bekanntlich durch die sehr weite Verbreitung von Varietäten mit olivbrauner CaO, MgO und wenig FeO und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> führender Hornblende. Er geht nach Süden hin fließend in den Belchengeranit über, der grüne Hornblende und in den Randgebieten stellenweise auch Pyroxen als charakteristische Gemengteile besitzt.

In den meisten Hornblende-Biotit-Graniten der Südvogesen überwiegt Kalifeldspat *Orz.* Ab- gegenüber Plagioklas (Albit-Oligoklas). Nur die ausgesprochen granodioritischen Varietäten zeichnen sich durch vorherrschende Plagioklas- (Oligoklas-) führung aus (C. FRIEDLAENDER (1931)).

Die bisher noch ungeklärte Frage, ob die Amphibol- bzw. Pyroxengehalte auf die Aufschmelzung von Diabasen zurückgeführt werden können (vgl. S. 207), bedarf dabei noch einer eingehenden Prüfung. — Unter den schwarzwälder Graniten führt nach den Beobachtungen des Verf. nur der in seinem Süd- und Südostabschnitt stellenweise in plagioklas-biotitreiche granodioritische Abarten übergehende Malsburggranit zuweilen etwas Hornblende, ohne daß hierbei irgendwelche Anhaltspunkte für die Assimilation von amphibolführendem Fremdgesteinsmaterial vorhanden sind.

Der Kammgranit enthält außerdem amphibolfreie, mittelkörnige biotitgranitische Abarten. Ebenso wie der Triberger Granit des Mittelschwarzwaldes wird er von sauren, muskovitführenden Abarten durchsetzt.

Gegen das Kulm von Seven entwickelt der Belchengeranit eine mittelbis feinkörnige hornblendefreie Randfazies mit Biotit und Pyroxen (DEECKE (1881)). J. JUNG (1928) erwähnt ferner monzonitische Typen mit Hornblende, farblosem Augit und Albit-Oligoklas, sowie Kalifeldspat, ferner dioritische Abarten mit Andesin und Hornblende.

Jünger als der Kammgranit sind die ihn durchbrechenden kleineren Massivs von Zweiglimmergraniten. Ein sehr ausgedehntes Massiv von ihnen schließt sich westlich an den Kamm-Belchen-Granit an. Innerhalb der Diffe-

Verhältnissen des Triberger Granitmassivs in Rechnung gestellt werden, wo — trotz meist scharfer Kontakte — in der weiteren Umgebung des Granits intensive Umwandlungserscheinungen beobachtet werden können, wie plagioklastablastische Veränderung von Ortho- und Paragneisen (K. R. MEHNERT (1940)), Kinzigitneisbildung und Entstehung von glimmerdioritischen und -syenitischen Mobilisationsprodukten. Alle diese Veränderungen an den Gesteinen des Gneisgebirges können vielleicht auf eine der Intrusion in großem zeitlichem und räumlichem Abstand vorangehende „Welle hoher Temperatur“ zurückgeführt werden, während die eigentliche Intrusion bereits unter den Bedingungen eines (z. B. infolge vorangehender Abtragung?) wesentlich seichteren Niveaus stattfand.

Die für das Zustandekommen magmatischer Sonderungsvorgänge günstigen Faktoren lassen sich ebenfalls am klarsten im südschwarzwälder Intrusionsgebiet erkennen.

## Die magmatische Differentiation im Schwarzwald und in den Vogesen

Erscheinungen, die auf die Wirkung der gravitativen Differentiation und die Anreicherung der leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas zurückgeführt werden können, wie miarolitische Drusen, pegmatitische Schlieren, zweiglimmergranitische Varietäten etc., schließlich auch hydrothermale Erzgänge findet man im südschwarzwälder Gebiet lediglich in Verbindung mit den großen kuppel- oder pfeilerförmigen Aufbrüchen der jungen, nicht mehr verschieferten und nicht hybriden Granite. Diese bilden eine Abfolge, die mit dem granodioritischen Malsburggranit beginnt und über den normalgranitisch zusammengesetzten Albtalgranit und den schon wesentlich saureren Schluchseegranit zu dem an leichtflüchtigen Bestandteilen stark angereicherten sauersten Zweiglimmergranit führt. Der Triberger Granit des Mittelschwarzwaldes steht seiner Zusammensetzung nach zwischen dem Schluchsee- und Albtalgranit. Er wird von großen Mengen pegmatitischer und zweiglimmergranitischer Schlieren durchsetzt.

Keinerlei derartige Differentiationsphänomene zeigen alle übrigen älteren Granite des Südschwarzwaldes. Die unter ihnen besonders hervortretenden glimmerarmen aplitischen Gesteine mit gegenüber Kalifeldspat meist vorherrschendem saurem Plagioklas dürfen nicht mit aplitischen Differentiationsprodukten verwechselt werden! Bei ihnen handelt es sich vermutlich um nicht weiter differentiationsfähige saure Magmen, die in größerer Tiefe durch anatektische Mobilisationsprozesse gebildet wurden.



rentiations- und Altersfolge nehmen diese Zweiglimmergranite die gleiche Position ein wie die des Schwarzwaldes (vgl. Tab. 1).

Der kompliziert gebaute Granitkomplex des Hochfeldes in den Nordvogesen bietet ein in vieler Hinsicht andersartiges Bild. Hier intrudierten mehrere, verschiedenartig zusammengesetzte Magmen teils gleichzeitig, teils in geringem zeitlichem Abstand — also in ähnlicher Weise wie dies nach den Untersuchungen von O. H. ERDMANNSDOERFFER (1947) auffallenderweise auch für die Intrusionen des nordschwarzwälder Massivs der Fall ist.

Etwa gleichzeitig wurden gefördert: 1. der Hochfeldgranit: mittel- bis feinkörniger Biotitgranit mit Einsprenglingen von Plagioklas und Orthoklas. Im Gegensatz zu den Kammgraniten herrscht hier Plagioklas ( $An_{25-20}$  zonar) gegenüber Kalifeldspat vor (C. FRIEDLAENDER (1931)). 2. Der Hochwaldgranit: teils porphyrischer, teils gleichkörniger Biotit-Amphibol-Granit mit fließenden Übergängen in den Hochfeldgranit. Dioritische Abarten im Gebiet von Ruß. Sehr zahlreiche dioritische und glimmerdioritische Einschlüsse. 3. Der Servagranit: dieser unterscheidet sich vom Hochfeldgranit durch das überaus starke Hervortreten von dioritischen Einschlüssen (sog. Nadeldiorite).

Jüngere Intrusionen bilden: 1. Der Natzweiler Granit: grobkörnig-porphyrischer Biotitgranit mit Orthoklas  $Or_7Ab_3$ , Plagioklas  $An_{20}$  und gegenüber Feldspat vorherrschendem Quarz (JUNG (1928)). Randliche Übergänge in feinkörnige granitporphyrische Abarten mit Quarzeinsprenglingen — also oberflächennahes Intrusionsniveau! Fremdeinschlüsse dioritischer Gesteine. Schlieren hornblendeführender Abarten. 2. Der Kagenfelsgranit: gleichkörniger, drusig-miarolithischer Granit. Orthoklas, Quarz, wenig Plagioklas, etwas Biotit, Lithionit und Muskovit. Feinkörnige Randfazies gegen den Hochfeldgranit.

In der äußeren Umrandung des Massivs sowie gangförmig innerhalb der devonischen Schiefer treten dioritische Gesteine (Quarz-Hornblende-Diorite  $\pm$  Biotit  $\pm$  Pyroxen) auf, die als basische Vorläufer der Granitförmungen aufgefaßt werden können.

Ein kleines selbständiges Massiv bildet unmittelbar östlich der Haupt-rheintalverwerfung der granodioritisch zusammengesetzte Granit von Barrandlau (ROSEBUSCH (1877)), der ebenfalls reich an basischen Schlieren ist. Plagioklas  $An_{15}$  überwiegt hier stark gegenüber Kalifeldspat. Zuweilen tritt etwas Hornblende auf.

Nach den bisher vorliegenden Beobachtungen lassen sich also in den Vogesen dem Mineralbestande nach die folgenden wichtigsten Tiefengesteinstypen unterscheiden: Diorite, Hornblende-Granodiorite, Hornblende-Biotitgranite, Hornblendegranite, Biotitgranite, Zweiglimmergranite, Aplitgranite (selten).

Schwarzwaldes, deren stark schwankende Molekularwerte von  $al$ ,  $fm$ ,  $c$  und  $alk$  die schraffierten bzw. punktierten Flächen umgrenzen, sowie die entsprechenden Gesteine der Nordvogesen, die durch Kurvenzüge verbunden sind. Man erkennt, daß die  $al$ - und  $alk$ -Kurven der Vogesen im ganzen innerhalb der Feldgrenzen der Werte der schwarzwälder Gesteine variieren. Dagegen liegen die  $fm$ -Zahlen der Granite des Schwarzwaldes zum größeren Teile über denen der Vogesen. Ferner zeigt sich, daß die  $c$ -Werte der schwarzwälder Granite in wesentlich weiteren Grenzen variieren als das Feld der Vogesengesteine. (vergl. Abb. 2)

Die stärkeren Schwankungen besonders der  $fm$ - und  $c$ -, aber auch der  $al$ - und  $alk$ -Werte der schwarzwälder Granite erklären sich dadurch, daß sich unter ihnen nicht nur „normal differenzierte“ magmatische Erstarrungsprodukte befinden, sondern auch „unvollständig differenzierte“ Granite (z. B. bestimmte Biotit- und Aplitgranite des Südschwarzwaldes) sowie hybride Granittypen (z. B. hybride Biotit- und Aplitgranite des Südschwarzwaldes und hybride Zweiglimmergranite des nordschwarzwälder Massivs), die in den Vogesen zurücktreten bzw. sogar fehlen.

Ein Vergleich der gewichtsprozentigen Beteiligung der einzelnen Oxyde in den Analysen ergibt ferner, daß unter den älteren — besonders den glimmerarmen — südschwarzwälder Graniten solche vorhanden sind, bei denen  $Na_2O$  gegenüber  $K_2O$  überwiegt, während sonst das umgekehrte Verhältnis herrscht. Bei Gesteinen unterhalb 70%  $SiO_2$  sind die relativ niedrigen  $MgO$ -Gehalte der schwarzwälder Granite bemerkenswert, während  $FeO$  ( $Fe_2O_3$  ebenfalls als  $FeO$  berechnet) hier meist über den Gehalten der Vogesengesteine liegt.

Besonders interessante Verhältnisse zeigt der linke Teil des Diagramms, in dem der besseren Übersicht wegen nur noch die hier besonders charakteristischen  $fm$ - und  $c$ -Kurven eingetragen sind. Man erkennt, daß sich hier beide Kurven gabeln, und zwar in einen den Gesteinen des Granitmassivs der Nordvogesen (Hochfeldmassiv) und einen den Südvogesen (Kamm-Belchen-Granitmassiv) entsprechenden Ast.

Wie bereits P. NIGGLI (1931) hervorgehoben hat, werden die Amphibolgranite der Südvogesen durch auffallend hohe  $fm$ - und ungewöhnlich niedrige  $c$ -Werte charakterisiert, die ihn zur Aufstellung des selbständigen Magmentyps der „kamgranitischen Magmen“ veranlaßten. Demgegenüber besitzen die Gesteine des Hochfeldmassivs durchschnittlich niedrigere  $fm$ - und höhere  $c$ -Werte (vgl. Diagramm). Sie sind, wie NIGGLI im gleichen Zusammenhang betont, als Granodiorite und Diorite bis Leuko-Granogabbros entwickelt. Erst die lamprophyrischen Gangdifferentiate zeigen hier  $fm$ - und  $mg$ -Werte, wie sie den Gesteinen des Kamm-Belchen-Granitmassivs zukommen.

Im Gebiete des gesamten Schwarzwaldes fehlen Gesteine, die mit den linken Teil des Diagramms stehenden Dioriten, Granodioriten und Kammgraniten der Vogesen verglichen werden können, praktisch vollständig. Dagegen fallen in dies Gebiet des Diagramms die glimmerdioritischen und glimmer-

Im Schwarzwald stehen ihnen gegenüber: Biotitgranite (im südlichen Schwarzwald zum Teil hybrid), Aplitgranite (saurer Plagioklas gegenüber Kalifeldspat vorherrschend, zum Teil hybrid), hybride Zweiglimmergranite mit Cordierit, Sillimanit und Andalusit (nordschwarzwälder Massiv), normale pegmatitische Zweiglimmergranite (Bärhalde-Eisenbacher und Nordrachter Massiv). — Gabbros und ultrabasische Gesteine bilden in keinem von beiden Gebirgen größere Massive.

Die in den Vogesen stark hervortretenden Gruppen der Diorite, Granodiorite und besonders der Amphibol-Biotit-Granite fehlen im Schwarzwald praktisch vollkommen. Allerdings treten im Mittel- und Südschwarzwald an vielen Stellen kleine Gesteinskörper von Glimmer-Hornblende-Dioriten und -Syeniten sowie von Granodioriten auf. Nach den neuesten Untersuchungen von O. H. ERDMANNSDOERFFER (1939), D. HOENES (1940, 47), K. R. MEHNERT (1947) und G. REIN (1947) müssen diese jedoch im wesentlichen als Umwandlungs- und Mobilisationsprodukte von Biotitgneisen, Amphiboliten und ähnlichem Ausgangsmaterial angesprochen werden, sie stellen also keine normalen magmatischen Erstarrungsgesteine dar.

Die Gegenüberstellung der Tiefengesteinstypen ergibt also eine höhere durchschnittliche Basizität und hiermit parallel gehende größere Differentiationsfähigkeit der Magmenförderungen der Vogesen. Da diese Eigenschaft nicht nur bei den Tiefengesteinen, sondern auch bei den gangförmigen Differentiationsprodukten und in besonderem Maße bei den vulkanischen Gesteinen zur Ausprägung gelangt, ist es naheliegend, sämtliche Eruptivgesteine der Vogesen als Abkömmlinge von Ausgangsmagmen aufzufassen, deren Basizität und hierdurch bedingte Differentiationsfähigkeit eine größere ist als die der Magmen des Schwarzwaldes. Dieser Befund drängt außerdem zu der Annahme, daß die hohen Hornblende- und zum Teil auch Pyroxengehalte der Vogesengranite durch die höhere Basizität ihrer Ausgangsmagmen und nicht etwa durch Aufschmelzung von basischem Nebengesteinsmaterial verursacht werden.

An Hand des vorstehenden Niggli-Diagramms sollen diese chemischen Beziehungen noch etwas eingehender verfolgt werden. Das Diagramm wird durch die Ordinate bei  $si\ 265$  in zwei Teilabschnitte zerlegt. In seinem rechten Teil stehen die Granite und Zweiglimmergranite sowie die Aplitgranite des gesamten

Ihre größte Differentiationsbreite erlangt die magmatische Abfolge in den Vogesen jedoch bei den vulkanischen Förderungen. Die Differentiationsreihe beginnt im Devon und Kulm der Nord- bzw. Südvogesen mit Diabasen. In beiden Gebieten folgen dann die artenreichen Labradorporphyre; sodann die Keratophyre und schließlich die Quarzporphyre. — Im Vergleich hierzu treten im Schwarzwald die basischen und intermediären Ergußgesteine weitgehend in den Hintergrund.

Diabase beschränken sich hier auf die wenigen metamorphosierten Vorkommen innerhalb der oberdevonischen Schiefer von Baden-Baden und der südschwarzwälder Devon-Kulmzone. Die nur im Kulm von Lenzkirch (v. BURNOFF (1928)) und Präg in größerer Verbreitung vorhandenen Glimmerporphyrite sind wesentlich ärmer an  $\text{SiO}_2$ , CaO und MgO als die Labradorporphyre der Vogesen. Die übrige im südschwarzwälder Kulmgraben mächtig entwickelte vulkanische Abfolge umfaßt eintönig ausgebildete Quarzporphyre und quarzarme Porphyre. Ob die letztgenannten mit den Keratophyren der Vogesen vergleichbar sind, kann mangels zuverlässiger Analysen noch nicht entschieden werden. — Hornblende- und augitführende Gesteine fehlen jedenfalls unter den kulmischen Vulkaniten des Schwarzwaldes vollständig.

Im Perm lebt sowohl im Schwarzwald als auch in den Vogesen nochmals ein intensiver Quarzporphyrvulkanismus auf. Dabei scheint nach dem von R. WEYL (1938) zusammengestellten Analysenmaterial die schwarzwälder Gesteinsfolge etwas stärker differenziert zu sein als die der Vogesen.

## Ergebnis

Nach dem augenblicklichen Stand unserer Kenntnisse ergibt sich also folgendes: Die Magmen der Vogesen sind weit stärker differenziert als die des Schwarzwaldes. Ihre ausgesprochene Differentiationsfähigkeit wird bedingt durch die höhere Basizität der Ausgangsmagmen sowie durch das größere Volumen der Magmenkörper und der tieferen Reservoirs, denen sie entstammen. Beide Faktoren verursachen in Gemeinschaft mit tektonischen Einwirkungen eine sehr intensive vulkanische Tätigkeit im Devon und Kulm, bei der basische und intermediäre Magmen in den Vordergrund treten. Dagegen ist der devonische Vulkanismus im Schwarzwald nur äußerst schwach entwickelt (seltene Diabase). Unter den kulmischen Vulkaniten herrschen Quarzporphyre und quarzarme Porphyre bei weitem vor.

syenitischen sowie granodioritischen, meist amphibolführenden Gesteine vom „Erzenbadtypus“ des Mittel- und Südschwarzwaldes, die durch palingene Mobilisation von Biotitgneis- und Amphibolitmaterial etc. gebildet wurden (vgl. oben), sowie die durch Kalifeldspatmetablase in syenitartige Endprodukte umgewandelten Plagioklas-Biotit-Hornfelschiefer und Gneise (D. HOENES (1940, 47)). Bei ihnen tritt die „kammgranitische“ Entwicklungstendenz mit hohem *f<sub>m</sub>* (infolge hoher Biotitgehalte) und niedrigem *c* (entsprechend den geringen Ca-Gehalten des mobilisierten Ausgangsmateriales) noch deutlicher in Erscheinung als bei den Gesteinen des Kammgranitmassivs der Vogesen. Bei dem Fehlen sonstiger geologischer und petrographischer Anhaltspunkte (vgl. S. 207) darf dieser Befund indessen keinesfalls als Beweis für eine Beteiligung von Aufschmelzungsvorgängen bei der Bildung der kammgranitischen Gesteine der Südvogesen aufgefaßt werden. Die unterschiedliche petrographisch-chemische Entwicklung der Intrusionen der Nord- und Südvogesen bringt NIGGLI (1931) vielmehr mit der im Hochfeldgebiet sehr ausgeprägten, in den Südvogesen dagegen stark zurücktretenden Abspaltung lamprophyrischer Ganggesteine aus dem Hauptmagma in Zusammenhang: „Währenddem im Gebiet der Gruppe der Hochfeldgranite durch fortgesetzte Differentiation ein typisch lamprophyrisches Teilmagma sich abspaltete, so daß der Rest gewöhnlich granodioritischen bis dioritischen Chemismus annahm, hat im Kammgranitgebiet eine Vermischung bereits gebildeter lamprophyrischer Magmen bzw. absinkender Kristalle mit dem Muttermagma stattgefunden, oder es fehlte in gewisser Niveaus die Trennungstendenz völlig. Es entspricht der Chemismus der jetzt erkennbaren Gesteine weniger einer Mischung älterer basischer Ergußgesteine mit Granit bis Granodiorit als einer Mischung von Lamprophyr mit Granit bis Granodiorit.“

Die höhere durchschnittliche Basizität und hierdurch bedingte größere Differentiationsfähigkeit der Magmen der Vogesen gelangt auch bei den Ganggesteinen des Hochfeldgebietes klar zum Ausdruck: Der relativ artenarmen Reihe der Minetten, Kersantite, Glimmerporphyrite, Granitporphyre und Aplite des Schwarzwaldes steht in den Vogesen eine große Vielfalt — besonders von basischen und intermediären — Ganggesteinen gegenüber.

In den Vogesen sind durch BUECKING (1920) und ROSEBUSCH (1877) eingehend beschrieben worden: Minetten, Kersantite, Vogesite, ferner gangförmige, gleichkörnige Quarz-Hornblendediorite  $\pm$  Biotit, Quarz-Augitdiorite etc. Noch größer ist die Vielfalt der Dioritporphyrite, die Hornblende, monoklinen und zum Teil auch rhombischen Augit führen. Hornblende- und Glimmer-syenitporphyre leiten zu den Granitporphyren über, die ebenfalls zum Teil noch Hornblende und Augit enthalten, was für die Granitporphyre des Schwarzwaldes nicht zutrifft. — Im Gebiet des Kamm-Belchengranits treten Minetten und Kersantite nur sporadisch, Granitporphyre häufiger auf.

Fast sämtliche Granitmassive des Schwarzwaldes sind endlich wesentlich tiefer abgetragen als die der Vogesen. Es liegen hier deshalb stellenweise ausgesprochen tiefe Plutonstockwerke frei, in denen der Granit in stofflicher Wechselwirkung mit seinen Hüllgesteinen angetroffen wird. Im Gegensatz hierzu sind in den Nord- und Südvogesen noch ausgedehnte Teile des aus nicht-metamorphen paläozoischen Sedimentgesteinen und Vulkaniten bestehenden Daches der Granitkörper vor späterer Abtragung erhalten geblieben. Nur in den Mittelvogesen, westlich Colmar, erscheinen infolge stärkerer Heraushebung und Abtragung noch tiefere Grundgebirgsstockwerke mit Resten von im Verband mit Gneisen stehenden älteren geschieferten Graniten und Mischgesteinen.

Diese Unterschiede in der petrographisch-chemischen Entwicklung und dem Intrusionsniveau der Magmenförderungen des Schwarzwaldes und der Vogesen lassen vermuten, daß der Rheintalgraben als wichtige geotektonische Trennungsfuge bereits in variskischer oder sogar schon in vorvariskischer Zeit innerhalb des ältesten Grundgebirges vorgebildet war.

## Erläuterungen zur geologisch-petrographischen Übersichtskarte:

1. Alluvium und Diluvium des Rheintalgrabens und einiger Gebirgstäler.
2. Alttertiär — Perm: Tertiär, Jura, Trias und Perm der Vorberge des Schwarzwaldes und der Vogesen sowie der Dinkelberge. Trias und Jura der West- bzw. Ostabdachung beider Gebirge.
3. Quarzporphyre (Perm): Gänge, Stöcke und Deckenergüsse des oberen und unteren Rotliegenden der Nordvogesen und des gesamten Schwarzwaldes.
4. Oberkarbon:
  - Kleine Vorkommen in den Nordvogesen (auf der Karte nur zum Teil dargestellt):
  - Stephanien, in Perm überleitend: Konglomerate, Sandsteine und Schiefer, zum Teil kohleführend.
  - Westphalien: Kohleführende Grauwacken, Arkosen, Konglomerate und (seltener) Schiefer.
  - Vorkommen im Nordschwarzwald: (auf der Karte nur zum Teil dargestellt).

Die variskischen Tiefengesteine des Schwarzwaldes zeichnen sich durch eine wesentlich geringere Differentiationsbreite aus. Hier fehlt vor allem die in den Vogesen so verbreitete Gruppe der dioritischen, granodioritischen und kammgranitischen Magmen vollständig. Die dennoch große petrographisch-chemische Mannigfaltigkeit der schwarzwälder Granite kann als Folge des verschiedenen Differentiations-Zustandes und -Grades der einzelnen Intrusionen und des mehr oder weniger hybriden Charakters der ältesten kulmischen Biotit- und Aplitgranite des Südschwarzwaldes und der nordschwarzwälder Zweiglimmergranite angesprochen werden. Dabei weichen die hybriden und palingenen Magmatite in ihrem Chemismus teils recht wesentlich von normalen magmatischen Erstarrungsprodukten ab, teils stimmen sie weitgehend mit solchen überein. — Ermöglicht wird die für die ältesten und zugleich tiefsten südschwarzwälder Intrusionen so bezeichnende starke stoffliche Wechselwirkung zwischen Magma und Nebengesteinschülle vor allem durch ihr — im Vergleich zu den Massiven der Vogesen — durchschnittlich tieferes Intrusionsniveau.

Das Kamm-Belchen-Granitmassiv der Vogesen, das in eine große Mannigfaltigkeit verschiedener dioritischer und granitischer Gesteinstypen differenziert ist, drang in einem Guß und wahrscheinlich kuppelförmig bis in die paläozoischen Deckschichten des Gneissockels empor und erstarrte hier unter relativ geringer Bedeckung. Intensive Wechselwirkungen zwischen Magma und Hüllgestein waren unter den Bedingungen dieses ziemlich seichten Intrusionsniveaus nicht möglich. Es herrschen daher Hornfelskontakte und feinkörnige Randfaziesbildungen vor. Breite Angleichungszonen mit metablastisch umgewandeltem Nebengesteinsmaterial wie im Südschwarzwald fehlen hier.

Die Intrusionen des südlichen Schwarzwaldes bilden kleine Massiv mit petrographisch-chemisch verschiedenem Gesteinsinhalt, die in deutlich zeitlichem und räumlichem Abstand gefördert wurden. Im nördlichen Schwarzwald ebenso wie in den Nordvogesen intrudierten dagegen verschiedenartig zusammengesetzte, jetzt getrennte Gesteinskörper bildende Magmen gleichzeitig, teils auch in geringem zeitlichem Abstand.

Vorwiegend Aplitgranite: Randgranit, Mambacher Granit. Biotitgranit des St. Blasier Massivs.

Hybridisierung der Granite durch Aufnahme und Aufschmelzung von Paragneisen und devonischen Schiefen.

Verschieferung der Granite im engeren Bereich der südschwarzwälder Kulmzone.

In den Vogesen lediglich kleine Vorkommen von alten Mischgesteinen (Zone von Drei Ähren—Gérardmer).

13. Palingene Diorite, Syenite und Granodiorite: Gesteine vom „Erzenbachtypus“ des Mittelschwarzwaldes und analoge Vorkommen im Mambacher und St. Blasier Granit des Südschwarzwaldes. Entstehung durch palingene Mobilisation von Biotitgneisen (und Amphiboliten?).

Metablastite: Z. B. Kalifeldspatmetablastisch veränderte Gneise und Oberdevonschiefer syenitischer Zusammensetzung der Kontaktzonen des südschwarzwälder Randgranits.

Syntektische Magmatite granodioritischer bis quarzdioritischer Zusammensetzung des Wehra- und Wiesentales sowie des mittleren Albtals im Südschwarzwald. Entstehung durch metablastische und syntektische Umwandlung von Biotitgneisen und Amphiboliten unter der Einwirkung magmatischer Zufuhren.

14. Devon:

Vogesen: Oberdevon: Fossilführende Kalke und Schiefer. Mitteldevon: Konglomerate (zum Teil mit Geröllen älterer Granite und Diorite etc.), Arkosen, Schiefer, Kalke und Tuffe.

Sehr starker Vulkanismus!

15. Vulkanite im Devon der Nordvogesen: Diabase, Porphyrite, Keratophyre und Quarzporphyre.
16. Kambrium bis Praekambrium der Nordvogesen: Steiger Schiefer (Dachschiefer kambrischen Alters), Weiler Schiefer (Phyllite), Glimmerschiefer.
17. Gneise (ungegliedert!), Paragneise, Orthogneise und Mischgneise, ferner Paragneisanatexite, Orthogneisanatexite und Mischgneisanatexite.

## Schrifttum

- BRÜNS: Das Granitgebiet zwischen Kaysersberg und Rappoltsweiler. Mitt. der Geol. Landesanst. v. Elsaß-Lothr., VII, 1909.
- v. BUBNOFF, S.: Beiträge zur Kenntnis der Kulmzone im südlichen Schwarzwald. Die geschieferten Granite von Altglashütten. Mitt. Bad. Geol. Landesanst. Bd. VII, Heft 1, 1912.
- Über den Parallelismus des Unterkarbons im Schwarzwald und den Vogesen. Jahresber. u. Mitt. des Oberrhein. Geol. Ver. 1919.
- Der Werdegang einer Eruptivmasse. Fortschr. der Geol. u. Paläont. Bd. VII, Heft 20, 1928.

Ottweiler Stufe: Vorkommen von Baden-Baden, Hohengeroldseck und Hinterohlsbach.

Saarbrücker Stufe: Vorkommen von Diersburg-Berghaupten, ostwärts Offenburg, Zunsweier und Hagenbach.

Konglomerate (mit Granitgeröllen). Arkosen und Schiefer, zum Teil kohleführend, ferner Tuffe.

5. Zweiglimmergranite der Vogesen und des Schwarzwaldes (Alter vorwiegend oberkarbonisch).

6. Kulm:

Südvogesen: Visé und Tournai mit Konglomeraten, Grauwacken, Schiefen und Tuffen, zum Teil pflanzenführend. Sehr starker Vulkanismus!

Südschwarzwälder Kulmzone: Visé und Tournai mit Konglomeraten, Grauwacken, Schiefen, Sandsteinen und Tuffen, zum Teil pflanzenführend. Starker Vulkanismus!

Oberdevon bis Etröung: Grauwackenschiefer etc.

7. Vulkanite des Tournai und Visé:

Südvogesen: Diabase, Porphyrite, Keratophyre und Quarzporphyre.

Südschwarzwald: Porphyrite (seltener), quarzarme Porphyre und Quarzporphyre.

8. Hauptgranite (vorwiegend Visé und Oberkarbon), sog. „normal differenzierte Granite“:

Jüngste Biotitgranite des Schwarzwaldes, Hornblende-Biotitgranite und Biotitgranite der Vogesen. Meist mit pegmatitischen und zweiglimmergranitischen Schlieren und miarolitischen Drusen sowie mit aplitischen, pegmatitischen und lamprophyrischen Gangdifferentiaten und granitporphyrischen Nachschüben. Massive kuppel- oder pfeilerförmig, meist mit granittektonischem Klufnetz.

9. Kammgranit der Mittelvogesen mit Gneisschollen.

10. Zweiglimmergranite des Nordschwarzwaldes, vorwiegend hybrid; mit Cordieritpseudomorphosen, Sillimanit und Andalusit; zum Teil auch mit Einschlüssen von Paragneisen und Hornfelsen.

11. Ältere Granite (Tournai), sog. „unvollständig differenzierte Granite“. Vorwiegend im südlichen Schwarzwald, untergeordnet auch in den Mittelvogesen westlich Rappoltsweiler. Im engeren Bereich der südschwarzwälder Kulmzone mylonitisch verschiefert, ebenso auch in den Mittelvogesen. Aplitgranite mit gegenüber Kalifeldspat meist vorherrschendem saurem Plagioklas, zum Teil mit etwas Muskowit, sowie Biotitgranite im Südschwarzwald. Zweiglimmergranite in den Vogesen (Bressoir(?)- und Bilsteingranit).

12. Älteste Granite (Etröung bis Oberdevon), sog. „undifferenzierte hybride Granite“. Nur im südlichen Schwarzwald sicher erkenn- und datierbar.

- STRIGEL, A.: Über die Granite des südöstlichen Schwarzwaldes. Geol. Rdsch. XIII, 1932.
- VAN WERWEKE: Geognostische Untersuchung der Umgegend von Rappoltsweiler. Mitt. der Geol. Landesanst. v. Elsaß-Lothr. I, 1888.
- Über einige Granite der Vogesen. Ebenda V, 1903.
- WAGNER, W.: Gliederung und Lagerung des Devons im Breuschtal der Vogesen. Mitt. der Geol. Landesanst. v. Elsaß-Lothr. XI, 1929.
- WAGNER, W. und KRAUS: Die Kriegsschauplätze 1914—1918, geologisch dargestellt. Heft I, Elsaß 1924.
- WEYL, R.: Die Entwicklung des rotliegenden Vulkanismus im Schwarzwald. Zs. d. D. Geol. Ges. Bd. 90, Heft 6/7, 1938.
- WILSER, J. L.: Stratigraphische und tektonische Gliederung des südwestlichen Schwarzwaldes. Fortschr. der Geol. u. Paläont. XI, 37, 1932.
- WOHLFAHRT, K.: Die unterkarbonischen Kontaktgesteine bei Sulzbach im Oberelsaß. Mitt. der Geol. Landesanst. v. Elsaß-Lothr. IX, 1916.
- WOLF, H.: Die Gesteine und Erzgänge der Umgebung von Wittichen im mittleren Schwarzwald. N. Jb. f. Mineral. etc. Beil. Bd. 77, Abt. A, 1942.

- Schollentransport und magmatische Strömung. Abh. Preuß. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Kl. 1942, Nr. 18.
- BUECKING: Beiträge zur Geologie des oberen Breuschtals in den Vogesen. Mitt. der Geol. Landesanst. v. Elsaß-Lothr. XII, 1918—20.
- ERDMANNSDOERFFER, O. H.: Magmatische und metasomatische Prozesse in Graniten, insbesondere Zweiglimmergraniten. Heidelberger Mitt. zur Mineralogie und Petrographie. Bd. 1, Heft 2/3, 1948, S. 213—250.
- FRIEDLAENDER, C. und NIGGLI, P.: Beitrag zur Petrographie der Vogesen. Schweiz. Mineral. u. petr. Mitt. Bd. XI, 1931.
- DEECKE, W.: Der Granitstock des Elsässer Belchen in den Südvogesen. Z. d. D. Geol. Ges. XLIII, 1891, S. 839.
- GROTH, P.: Das Gneisgebiet von Markkirch im Ober-Elsaß. Abh. der Geol. Landesanstalt v. Elsaß-Lothr. I, 1877.
- HOENES, D.: Magmatische Tätigkeit, Metamorphose und Migmatitbildung im Grundgebirge des südlichen Schwarzwaldes. N. Jb. Mineral. etc. Beil. Bd. 67, 1940, S. 153—251.
- Petrogenese im Grundgebirge des südlichen Schwarzwaldes. Heidelberger Beitr. zur Mineralogie und Petrographie. Bd. 1, Heft 2/3, 1948.
- Zur genetischen Gliederung des variskischen Magmatismus im südlichen Schwarzwald. Mitteilungsblatt der Bad. Geol. Landesanst. für 1947.
- HOENES, MEHNERT, SCHNEIDERHOEHN: Führer zu petrographisch-geologischen Exkursionen im Schwarzwald und Kaiserstuhl. Verl. E. Schweizerbart, Stuttgart (1949).
- JUNG, J.: Contribution à la géologie des Vosges hercyniennes d'Alsace. Mém. du Service de la Carte géol. d'Alsace et de Lorraine. Straßburg 1928.
- MEHNERT, K. R.: Über Plagioklasmetablastesis im mittleren Schwarzwald. Zbl. f. Min. Geol. Paläont. A. Bd. 3, 1940.
- Die Gliederung der Gneismasse des mittleren Schwarzwaldes. Mitteilungsblatt der Bad. Geol. Landesanst. für 1947.
- Beitrag zu Gneis-Granitgrenzen im mittleren Schwarzwald und ihre Bedeutung für die Entstehung des Grundgebirges. Mitteilungsblatt der Bad. Geol. Landesanst. für 1948.
- REIN, G.: Die petrogenetische Stellung des Orthits im kristallinen Grundgebirge des mittleren Schwarzwaldes. Mitteilungsblatt der Bad. Geol. Landesanst. für 1948.
- ROSENBUSCH, H.: Die Steiger Schiefer und ihre Kontaktzone an den Graniten von Barr-Andlau. Abh. der Geol. Landesanst. v. Elsaß-Lothr. Bd. I, 1877.
- SCHLUMANN, K. H.: Zur Nomenklatur migmatischer und verwandter Gesteine. Min. Petr. Mitt. Bd. 48, 1936.
- Metatexis und Metablastesis. Min. Petr. Mitt. Bd. 48, 1936.
- SCHNAEBLE: Les Granites du Champ de Feu (Vosges) C. R. CXXXVI, 1923.
- SCHNEIDERHOEHN, H.: Eine Gesteins-, Struktur- und Lagerstättenkarte des mittleren Schwarzwaldes. Geol. Rdsch. XXXII, Heft 1/2, 1941.