

## Oberpfälzer Granite und ihre Zusammensetzung

Von H. Strunz, Berlin und Regensburg

Die Hauptgesteine des Oberpfälzer Waldes sind Gneise und Granite, sogenannte Urgesteine, die beide hauptsächlich aus Feldspat, Quarz und Glimmer bestehen, sich jedoch in Aussehen und Entstehung wesentlich voneinander unterscheiden. In interessanter Weise lassen Struktur und Textur sowie gegenseitige Lagerung Rückschlüsse auf die Art der Entstehung und das relative Alter zu.

Der Gneis mit seiner schichtig-lagigen Textur, mit den eingeregelteten Glimmerplättchen, muß durch eine Art Temperung unter einseitigem Druck aus älterem Material hervorgegangen sein. Wir sprechen von einer Metamorphose (Umprägung) in tieferen Regionen der Erdkruste (wohl 4—8 km), wobei die Neukristallisation der jetzigen Mineralien Feldspat, Quarz und Glimmer erfolgte, ohne daß größere Anteile des Gesteinsmaterials gleichzeitig schmelzflüssig gewesen wären. Das Ausgangsmaterial waren sicherlich Sedimente (Absatzgesteine) mit verschiedenen tonreichen, quarzreichen, kalkreichen u. a. Lagen, denn nur so läßt sich die innerhalb von Meter-Bereichen stark variierende chemische und mineralische Zusammensetzung der Gneise erklären. Hellere, biotitarmer und dunklere, biotitreiche Lagen wechseln häufig miteinander ab; es gibt Granatgneise, die reichlich Granatkristalle enthalten (sehr schön bei Steinach östlich Leuchtenberg), Sillimanitgneise, Cordieritgneise usw.

Die alten Sedimente sind als Flußstrübe in ein riesiges, wohl vom Meer erfülltes Absatzbecken (eine Geosynklinale) eingeschwemmt und dort abgelagert worden. Im gleichen Maße, wie die Absenkung dieses Teiles der Erdkruste fortschritt, wurden immer mehr Schichten abgelagert, immer mächtiger wurde das Sedimentpaket und umso ausgeprägter konnte in der Tiefe die Diagenese und bei späterer tektonischer Beanspruchung die Metamorphose wirksam werden. Solche, aus Sedimenten hervorgegangene Gneise werden als Paragneise bezeichnet, im Gegensatz zu den Orthogneisen, deren auffallend einheitliche Zusammensetzung die Entstehung aus Graniten beweist.

Die Faltung und Fältelung der Gneise läßt erkennen, daß sicherlich gebirgsbildende Bewegungen (Orogenesen) begleitende Vorgänge der Metamorphose gewesen sein müssen. Dabei wurden die Gneise am stärksten umgeprägt, sie befanden sich in der *K a t a z o n e*; darüber liegende Glimmerschiefer der *M e s o z o n e* und Phyllite der *E p i z o n e* sind im Oberpfälzer Wald längst der jahrmillionenlangen Verwitterung anheim gefallen und zum größten Teil wieder verschwunden.

Altersmäßig ist zu sagen, daß unsere Gneise die ältesten Gesteine Mitteleuropas sind; wahrscheinlich schon die assyntische Faltung, sicherlich aber die kaledonische Faltung oder auch beide haben die Metamorphose bewirkt oder beeinflußt. Hingegen sind die Granite jüngerer Alters, sicherlich variszisch; sie fanden die Gneise bereits im fertigen Zustand vor.

Zum Unterschied von den Gneisen lassen die Granite mit ihrer richtungslos-körnigen Textur, mit den schönen idiomorphen (eigengestaltigen) Feldspatkristallen, die Entstehung aus einer magmatischen Schmelze durch langsame Auskristallisation erkennen. Es sind magmatische Tiefengesteine, plutonische Gesteine, die unter einem Dach aus sedimentärem und metamorphem Material von einigen Kilometern Mächtigkeit erstarrt sind. Die Granite unterlagern das Gneisdach.

In späterer geologischer Zeit wurde das Gneis-Granit-Paket des moldanubischen Blockes, zu dem der Oberpfälzer Wald gehört, horstartig gehoben; die Verwitterung konnte bevorzugt angreifen, und im Laufe von vielen Jahrmillionen wurde das Gneisdach so weit abgetragen, daß heute der Granit in seinem Kontakt mit den Gneisgesteinen der Beobachtung zugänglich geworden ist. Die Granit-Gneis-Berührungsfläche ist keineswegs eben, sondern kuppig-wellig gestaltet; waren Risse und Spalten im Gneis vorhanden, so konnte die Schmelze gangartig und in Form von Apophysen dorthin eindringen. In den Steinbrüchen an der „Blockhütte“ bei Weiden und vielen anderen Stellen sind derartige „Aplit- und Pegmatitgänge“ mit scharfem Kontakt im Gneis erkennbar.

Die granitische Schmelze mit ihrem Gehalt an gelöstem Wasserdampf, Kohlensäure etc. wird, wie experimentelle Druckbombenversuche zeigen, bei Temperaturen von 700—650° fest geworden sein. Zuerst kristallisierten die Glimmer- und Feldspatanteile aus, zuletzt der Quarz als unregelmäßige Zwickelfüllung zwischen dem Feldspat-Glimmergefüge (Dünnschliff Abb. 2). Im polarisierten Licht sind Orthoklas (Kalifeldspat) und Plagioklas (Natronkalkfeldspat) leicht unterscheidbar. Der Orthoklas bildet Zwillinge nach dem Karlsbader Gesetz mit einfacher Verzwilligung, der Plagioklas polysynthetische Viellinge nach dem Albitgesetz mit lamellarer Wiederholung (Abb. 2: O u. P.). Granit mit dunklem eisen- und manganhaltigen Glimmer ist der Biotitgranit, mit hellem Glimmer der Muskovitgranit, mit beiden der „Zweigliimmergranit“. Am häufigsten sind Biotitgranite, sodann folgen die Zweigliimmergranite, während die Muskovitgranite gerne auf die pegmatitischen Restbildungen beschränkt sind.

In der Dachregion des kuppen- oder gangförmig hochgedrungenen Magmas fand nämlich, wohl infolge der Anreicherung an leichtflüchtigen Bestandteilen, gelegentlich eine Trennung der Schmelze in einen reinen Feldspatanteil und einen reinen Quarzanteil statt, hierbei erfolgte offenbar durch geochemische Vorgänge ein Entzug des Eisens aus der Schmelze, etwa durch Bildung der Eisenmanganphosphate Triphylin, Zwieselit, Wolfeit, Hagendorfit oder durch Bildung von Niobaten-Tantalaten (Columbit) u. a. So fiel während der Zeit des Restschmelzenstadiums einem gewissen Phosphatgehalt anscheinend die Rolle der Reinigung der Granitschmelze von Eisen und Mangan zu; und auf diese Weise konnten sich Feldspat und Quarz nicht nur in scharfer Trennung voneinander, sondern auch frei von eisenhaltigen Mineralien bilden, so daß heute — wie z. B. in Hagendorf — reiner Feldspat für keramische Zwecke bergmännisch gewonnen werden kann.

Wie schon das mikroskopische Bild zeigt, besitzen unsere Granite sowohl Kali- als auch Natronkalkfeldspate. Die Analyse der Granite von Leuchtenberg, Flossenbürg und Hagendorf ergab folgende Anteile:

	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO
Leuchtenberg	4,07	3,50	0,51 %
Flossenbürg	4,86	3,04	0,78 %
Hagendorf <sup>1)</sup>	4,42	4,38	0,69 %

Daraus läßt sich der Anteil dieser Mineralien im Gestein errechnen (wobei zur Vereinfachung der gesamte Gehalt an K, Na und Ca auf Feldspat umgerechnet ist). Er beträgt:

	Kalifeldspat K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Natronkalkfeldspat-Mischkristalle Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ] — Ca[Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]
Leuchtenberg	24,05	29,6
Flossenbürg	28,71	25,71
Hagendorf	26,11	37,04
		2,53 %
		3,87 %
		3,42 %

<sup>1)</sup> aus 76 m Teufe, ca. 1/2 m vom Gneiskontakt.

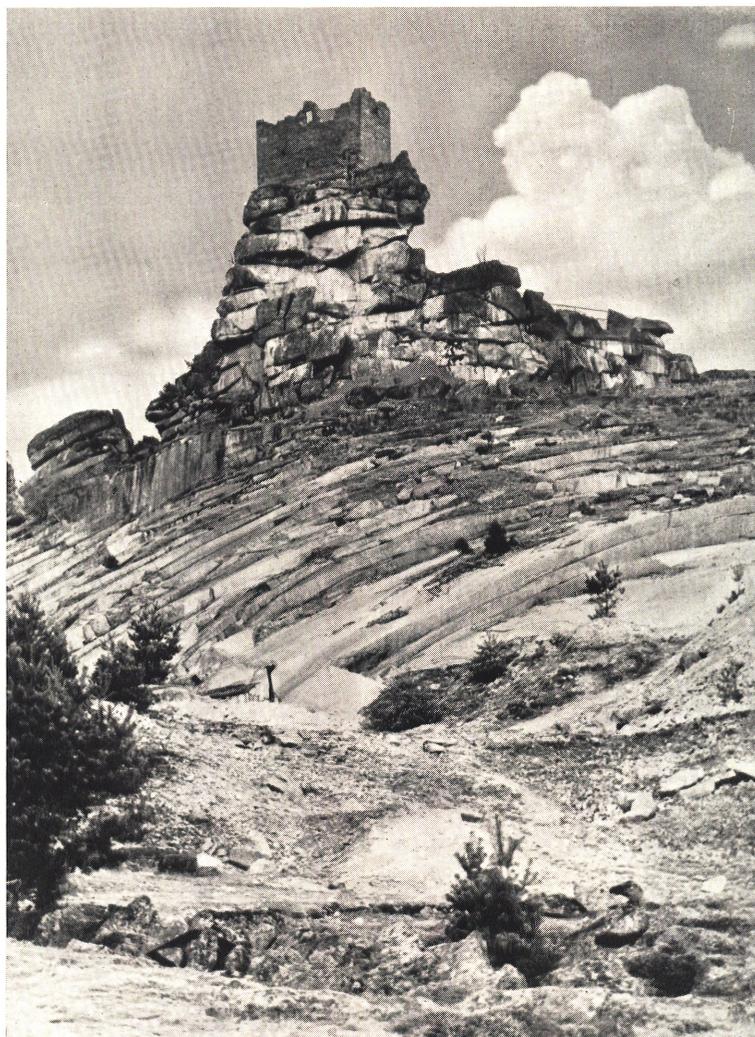


Abb. 1. Flossenbürg. Granitpluton mit zwiebelschaliger Absonderung.

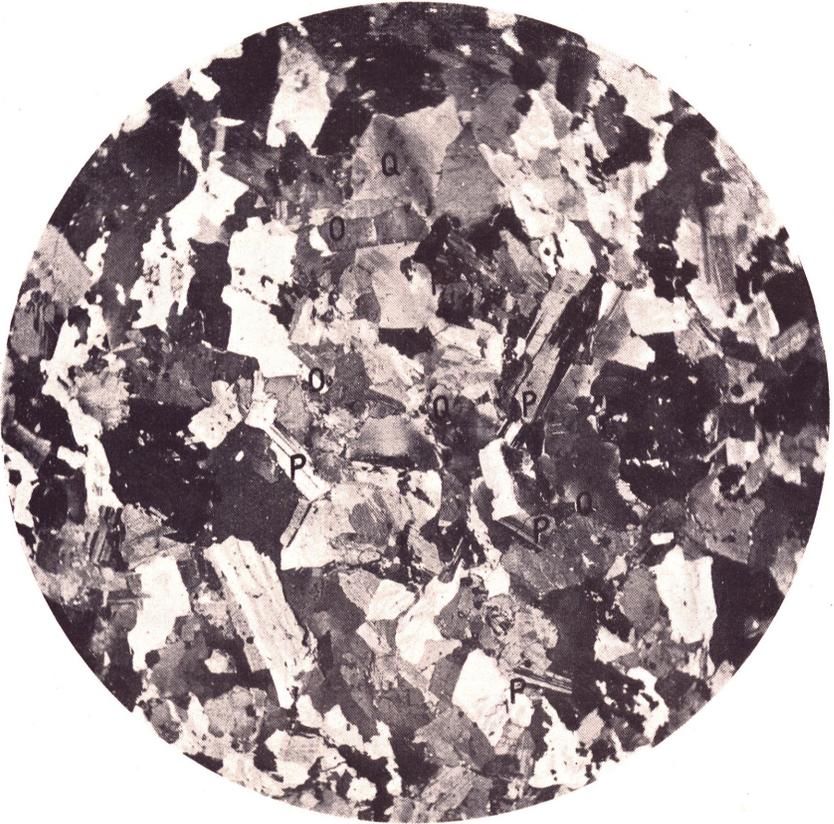


Abb. 2. Granit von Hagendorf. Dünnschliff,  
+ Nicols, Vergrößerung ca. 12×.  
O = Orthoklas, P = Plagioklas, Q = Quarz.

Die chemischen Gesamtanalysen (ausgeführt bei Fresenius 1954) sind in Tab. 1 wiedergegeben. Man kann daraus, analog den Formelberechnungen komplizierter Silikate,<sup>1)</sup> eine kristallchemische Formel ableiten, am besten mit der Bezugsbasis von 48 Sauerstoffionen, denn darauf läßt sich für alle gesteinsbildenden Mineralien der Inhalt der Elementarzelle in einfacher Weise beziehen. Die kristallchemischen Formeln der genannten Granite sind:

Leuchtenberg	$K_{1,34} Na_{1,75} Ca_{0,14} Mn_{0,01} Mg_{0,08} Fe_{0,10} Fe_{0,13} Ti_{0,01} P_{0,05} Al_{4,51} Si_{19,31} O_{48,0} H_{0,79}$
Flossenbürg	$K_{1,61} Na_{1,53} Ca_{0,22} Mn_{0,005} Mg_{0,15} Fe_{0,13} Fe_{0,14} Ti_{0,03} P_{0,08} Al_{4,48} Si_{19,15} O_{48,0} H_{0,87}$
Hagendorf	$K_{1,46} Na_{2,20} Ca_{0,19} Mn_{0,006} Mg_{0,05} Fe_{0,17} Fe_{0,07} Ti_{0,04} P_{0,14} Al_{4,96} Si_{18,55} O_{48,0} H_{1,28}$

Es ist — wenn man alle Mineralien mit 48 O als Formeleinheit zu Grunde legt — bequem möglich, daraus in der Reihenfolge der Kristallisation die Anteile des Granites an Apatit, Rutil, Biotit, Muskovit, Orthoklas, Plagioklas und Quarz in Gew.-% zu errechnen. Dies ist in Tab. 2 durchgeführt.

Tabelle 1. Chemische Analysen der Granite von Leuchtenberg, Flossenbürg, Hagendorf

	Leuchtenberg	Flossenbürg	Hagendorf
SiO <sub>2</sub>	74,77 Gew.-%	73,59 Gew.-%	71,51 Gew.-%
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,13	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,84	14,62	16,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,65	0,73	0,36
FeO	0,45	0,61	0,79
MnO	0,06	0,02	0,03
CaO	0,51	0,78	0,69
MgO	0,22	0,39	0,13
K <sub>2</sub> O	4,07	4,86	4,42
Na <sub>2</sub> O	3,50	3,04	4,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,37	0,65
H <sub>2</sub> O	0,46	0,50	0,74
Summe	99,78	99,64	100,13 <sup>2)</sup>

Tabelle 2. Errechnete Mineralanteile der in Tab. 1 genannten Granite

	Leuchtenb.	Flossenb.	Hagend:	
	Gew.-%	Gew.-%	Gew.-%	
Apatit	4 × Ca <sub>5</sub> [F   (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]	0,42	0,65	0,94
Rutil	24 × TiO <sub>2</sub>	0,04	0,10	0,16
Hämatit	16 × Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41	0,44	0,21
Biotit	4 × K (Mg, Fe, Mn) <sub>3</sub> [(OH) <sub>2</sub>   AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]	1,58	2,38	1,92
Muskovit	4 × KAl <sub>2</sub> [(OH) <sub>2</sub>   AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]	8,25	8,51	14,12
Orthoklas	6 × K [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	15,83	19,52	13,66
Albit	6 × Na [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	29,18	25,52	36,66
Anorthit	6 × Ca [Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]	1,00	1,50	—
Quarz	24 × SiO <sub>2</sub>	41,29	39,86	31,51
Rest	16 × Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,00	1,52	0,52
	100,00	100,00	100,00 <sup>3)</sup>	

Will man die Volum-Prozente angeben, so muß das Volumen der Elementarzelle

<sup>1)</sup> H. Strunz. Z. Krist. 95, 1936. 1. <sup>2)</sup> Außerdem SO<sub>3</sub>-Gehalt 0,06%. <sup>3)</sup> + 0,3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

der betreffenden Mineralart — gleichfalls bezogen auf die Formeleinheit mit 48 Sauerstoffionen — in die Berechnung einbezogen werden. Diese Zellvolumina sind für die betreffenden Mineralien ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  als unverbraucher Rest) aus Tab. 3 zu entnehmen. Das Ergebnis der Berechnung siehe in Tab. 4.

Tabelle 3. Zellvolumina der in Tab. 2 aufgeführten Mineralien.

	Volumen der Elementarzelle	Zellvolumen bezogen auf 48 O
Apatit	521,9 Å	963,6 Å
Rutil	62,4	748,3
Hämatit	100,7	805,4
Biotit	984,7	984,7
Muskovit	937,8	937,8
Orthoklas	729,9	1094,9
Albit	697,7	1046,6
Anorthit	1349	1011,8
Quarz	112,9	903,4
$\text{Al}_2\text{O}_3$	85,5	683,7

Tabelle 4. Aus den Analysen (Tab. 1) berechnete Volum-%<sup>1)</sup>

	Leuchtenberg	Flossenbürg	Hagendorf
Apatit	0,41 Vol.-%	0,64 Vol.-%	0,93 Vol.-%
Rutil	0,03	0,08	0,13
Hämatit	0,34	0,36	0,18
Biotit	1,59	2,39	1,93
Muskovit	7,93	8,14	13,44
Orthoklas	17,76	21,79	15,19
Albit	31,28	27,25	38,94
Anorthit	1,04	1,55	—
Quarz	38,22	36,75	28,89
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,40	1,06	0,37
Summe	100,00	100,00	100,00

Tabelle 5. Analyse des Gneises von Hagendorf.

$\text{SiO}_2$	60,96 %	$\text{MgO}$	2,55 %
$\text{TiO}_2$	1,03 %	$\text{K}_2\text{O}$	4,41 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	17,76 %	$\text{Na}_2\text{O}$	1,65 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,19 %	$\text{P}_2\text{O}_5$	0,35 %
$\text{FeO}$	6,92 %	$\text{SO}_3$	0,11 %
$\text{MnO}$	0,22 %	$\text{H}_2\text{O}$	1,78 %
$\text{CaO}$	0,93 %	Summe	99,86 %

Außer dem Anteil der einzelnen Mineralien im Gestein erkennt man bei einem Vergleich, daß die drei magmatischen Granite eine sehr ähnliche chemische Zusammensetzung aufweisen. Dies mag als Hinweis dafür angesehen werden, daß alle drei aus

<sup>1)</sup> Hiermit wären die Ergebnisse der Integrationsanalyse vergleichbar.

einem sehr einheitlich zusammengesetzten Magmenherd hervorgegangen sind. Granite anderer (nichtbayerischer) Fundorte variieren beispielsweise in ihrem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt von 78 bis 64 %. Weiterhin zeigt ein Vergleich unserer Granitanalysen mit der Gneisanalyse, daß hier wesentliche Unterschiede vorliegen, daß also das Granitmagma nicht lediglich durch Aufschmelzen der vorhandenen Gneise entstanden sein kann; er muß von größerer Entfernung her als Magmenherd intrudiert sein. Der gewisse Phosphatgehalt des Gneises bestätigt auch keineswegs die eventuelle Auffassung, daß ein zufälliger Phosphatreichtum im ursprünglich sedimentären Gneis und dessen Aufnahme in die granitische Schmelze die Ursache der eigenartigen Differentiation in Hagendorf, insbesondere der Bildung der zahlreichen Phosphate gewesen sein könnte. Offenbar liegt eine rein magmatische Differentiation vor, deren Einzelheiten erst nach eingehenden geochemischen Studien geklärt werden können.

Es darf hier noch angefügt werden, daß die Granite nach ihrer Erstarrung sicherlich Temperaturen von rund  $600^\circ$  hatten; bei weiterer Abkühlung mußten sich durch die wenn auch nur geringfügige Schrumpfung im Gesteinskörper dünne Trennflächen und Zugklüfte bilden. Es sind im allgemeinen drei aufeinander senkrechte Richtungen, nach *Cloos* die Lagerklüfte, Streckungsklüfte und Querklüfte. Diese Trennflächen sind häufig kaum wahrnehmbar, sie machen sich aber durch die bevorzugte Teilbarkeit der Gesteinsblöcke nach diesen Richtungen bemerkbar und werden von den Steinbrucharbeitern beim Abbau und bei der Bearbeitung in geschickter Weise ausgenutzt. Gelegentlich sind in jüngerer Zeit Lösungen auf diesen Klüften gewandert und haben Rost und Manganoxyde abgesetzt, manchmal, so bei Flossenbürg, auch Uranglimmer als sekundäres Mineral. Besonders eindrucksvoll ist die typische Absonderung in den Steinbrüchen von Flossenbürg erkennbar, sie ist hier zwiebelschalenförmig parallel der Kuppenform des Granitkörpers; Lagerklüfte, Streckungs- und Querklüfte stehen senkrecht zueinander und ermöglichen die stufenförmige Gewinnung großer Blöcke (Abb. 1). Flossenbürg darf wohl mit Recht als einer der schönsten Granitplutone der Welt bezeichnet werden.

Institut für Mineralogie an der Techn. Universität Berlin-Charlottenburg  
und Min.-Geol. Institut an der Hochschule Regensburg.