

# FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

**C 159**

Institut für Elektrotechnik  
Bergakademie Freiberg/Sa.

Ungültig

## **MINERALOGIE**

HEINZ SCHÜTZEL  
und DIETER KUTSCHKE & GÜNTER WILDNER

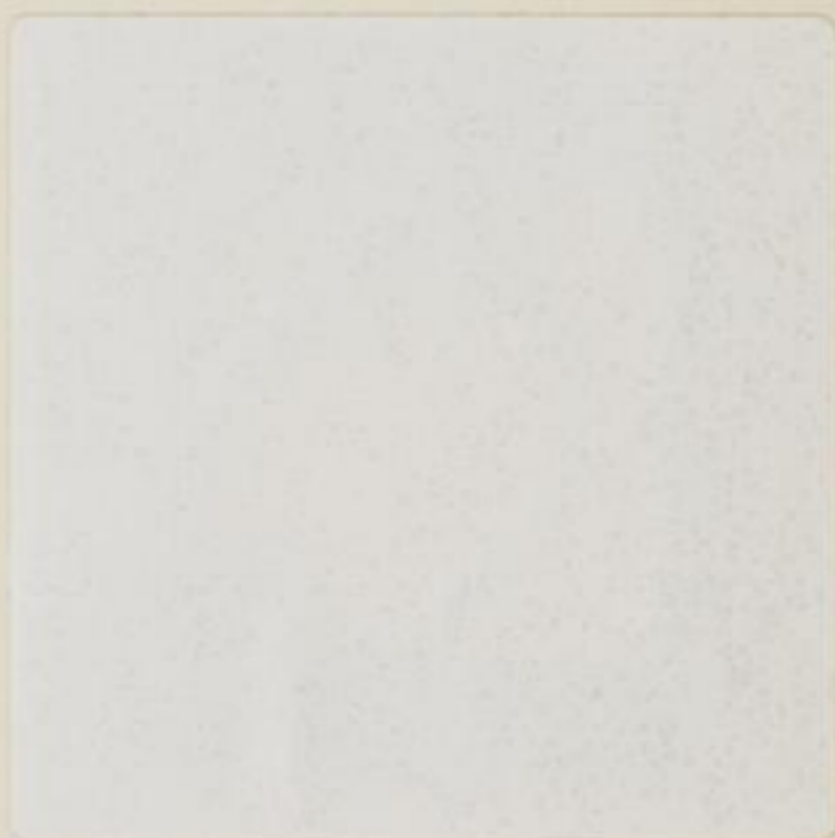
**Zur Problematik der Genese der „Grauen Gneise“  
des sächsischen Erzgebirges  
(Zirkonstatistische Untersuchungen)**



FFH  
C 159

DEUTSCHER VERLAG FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE LEIPZIG

1963



Des



TU BERGAKADEMIE FREIBERG



XVI 1142 . C159E

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

C 159



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



FRE  
Her

Zur

VEB De

Emil Tene

# FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

C 159

## MINERALOGIE

### Zur Problematik der Genese der „Grauen Gneise“ des sächsischen Erzgebirges (Zirkonstatistische Untersuchungen)

Von

HEINZ SCHÜTZEL  
und DIETER KUTSCHKE & GÜNTER WILDNER



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie · Leipzig

Freib. Forsch.-H.	C 159	S. 1—65	15 Bilder	7 Tabellen	Leipzig, April 1963
-------------------	-------	---------	-----------	------------	---------------------



XVI 1142 e

C 159

Das Manuskript wurde der Bergakademie Freiberg  
am 14. 6. 62 zum Druck übergeben

„Freiberger Forschungshefte“, Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften. Herausgeber: der Rektor der Bergakademie, Prof. Dr.-Ing. Günther Hollweg. — Chefredakteur: Dr. rer. nat. M. Wolf, Freiberg/Sa., Klubhaus der Bergakademie, August-Bebel-Str. 5 (Fernruf 2497, Telex 0578535). — Verlag: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig W 31, Karl-Heine-Straße 27 (Fernruf 44441). — Die Freiberger Forschungshefte erscheinen in zwangloser Folge in den Reihen A, B, C und D. Ausführliches Verzeichnis aller lieferbaren Hefte von der Redaktion der Bergakademie oder dem VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. — Vertrieb: In der Deutschen Demokratischen Republik durch den Buchhandel; in Westdeutschland durch den Buchhandel (Auslieferung KUNST UND WISSEN, Erich Bieber, Stuttgart S, Wilhelmstraße 4—6); im gesamten Ausland durch eine Importbuchhandlung, den Deutschen Buch-Export und -Import, GmbH, Leipzig C 1, Post-schließfach 276, oder den Verlag.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“ Bad Langensalza — Lizenz-Nr. VIN 152 — 915/218/63  
Printed in Germany. — Alle Rechte vorbehalten. — ES 18 F 3; Kartengenehmigung des Mdl der DDR  
Nr. 7888/62

## INHALT

1. Allgemeine Bemerkungen zur Geologie des Untersuchungsgebietes, zur Problemstellung und Methode . . . . .	7
1.1. Geologische und tektonische Position . . . . .	7
1.2. Problemstellung . . . . .	8
1.3. Über das Element Zirkonium und das Mineral Zirkon in den Gesteinen . . . .	10
1.4. Zur Probenahme und -aufbereitung . . . . .	13
1.5. Bemerkungen zur Methode . . . . .	13
2. Die erzgebirgischen Graugneise und ihre Kennzeichnung nach zirkonstatistischen Kennwerten . . . . .	18
2.1. Der Annaberger Graugneis . . . . .	18
2.1.1. Abgrenzung; allgemeine Bemerkungen zur Geologie und Tektonik . . . .	18
2.1.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen . . . . .	19
2.2. Der Marienberger Graugneis . . . . .	24
2.2.1. Abgrenzung; allgemeine Bemerkungen zur Geologie und Tektonik . . . .	24
2.2.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen . . . . .	24
2.3. Die Freiburger Grauen Gneise . . . . .	29
2.3.1. Der Obere Freiburger Graugneis (Freiberger Hüllgneis) . . . . .	31
2.3.1.1. Verbreitungsgebiet . . . . .	31
2.3.1.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen . . . . .	31
2.3.2. Der Untere Freiburger Graugneis (Freiberger Kerngneis) . . . . .	35
2.3.2.1. Bemerkungen zur Genese des Kerngneises . . . . .	35
2.3.2.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen . . . . .	38
3. Auswertung der zirkonstatistischen Untersuchungen . . . . .	48
3.1. Über den Einfluß der Probenzahl auf die zirkonstatistischen Resultate . . . .	48
3.2. Vergleichende Betrachtungen über die sog. „Oberen Graugneise“ . . . . .	49
3.3. Die Sonderstellung des „Unteren Graugneises“ (Freiberger Kerngneis) . . . .	53
3.4. Schlußfolgerungen . . . . .	57
4. Zusammenfassung . . . . .	60
5. Literatur . . . . .	62

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

I. A.  
II.  
De  
Mit  
pde  
es M  
De  
jup  
man  
Pind  
legit  
600  
De  
ist 6  
De  
Kerke  
nicht  
Mit G  
pille  
nd. d  
Gym  
Wid  
pup

Zwischen  
stehen  
peter  
der ein  
im  
im



# 1. Allgemeine Bemerkungen zur Geologie des Untersuchungsgebietes, zur Problemstellung und Methode

## 1.1. Geologische und tektonische Position

Die SW-NE streichende Brachyantiklinale (*K. Pietzsch*, 1951) des sächsisch-böhmischen Erzgebirges ist ein Teilstück des südlichsten der durch die erzgebirgische Phase (etwa Namur B) der variskischen Tektogenese geprägten Großsattel des Mitteldeutschen Raumes.

Die in der sudetischen Phase angelegte Erzgebirgsantiklinale war bereits im jüngeren Westfal größtenteils wieder erodiert (*E. Spengler*, 1949). Durch germanotype Bewegungen, die im mittleren Oligozän einsetzten und bis zum älteren Pliozän anhielten (*K. Pietzsch*, 1951), erfolgte die Heraushebung und morphologische Gestaltung des heutigen Erzgebirges, das eine Scholle von reichlich 4000 km<sup>2</sup> bildet.

Die Achse der Erzgebirgsantiklinale steigt von SW nach NE an, d. h., im NE sind die tiefsten Zonen von der Denudation angeschnitten.

Die Erzgebirgsscholle wird im SW vom stefanischen (*Watznauer*, 1954) Karlsbad-Eibenstocker Granitmassiv, im NE von der frühnamurischen Mittelsächsischen Überschiebung begrenzt. Die Längserstreckung beträgt rd. 90 km. Die NW-liche Grenze bildet das mit westfälischen, unter- und oberrotliegenden Sedimenten gefüllte Erzgebirgische Becken resp. das Frankenberger Zwischengebirge; im SE wird die Scholle von dem im Miozän bis Pliozän ausgebildeten Erzgebirgsabbruch (Sprunghöhe nach *K. Pietzsch* größer als 1000 m) begrenzt. Die Quererstreckung beträgt ca. 47 km. Im Niveau der heutigen Denudationsfläche beteiligen sich am petrographischen Aufbau des Erzgebirges (*K. Schmidt*, 1959)

Graue Gneise	mit 33,6%
Rote Gneise	mit 20,0%
Schiefergneise, Gneisglimmerschiefer und Glimmerschiefer	mit 24,2%
Phyllite	mit 15,7%
granitische Gesteine des jüngeren Varistikums und jüngere Sedimente	mit 6,5%

Zwischen den Graugneisen, Schiefergneisen, Gneisglimmerschiefern, Glimmerschiefern und den tiefsten Teilen der Phyllitserie bestehen die mannigfaltigsten petrographischen Übergänge. Dem kartierenden Geologen bleibt bei der Abgrenzung der einzelnen petrographischen Glieder meist ein größerer Spielraum.

Im Kartenbild geben sich durch die zonenartige Anordnung dieser Gesteine um zentrale Kerne einzelne flache Aufwölbungen zu erkennen, die (abgesehen von

großen NW-streichenden Bruchzonen mit z. T. erheblichen Tiefgang, wie sie vor allem im westlichen Erzgebirge verbreitet sind und als Spalten der I. Ordnung gelten müssen) das tektonische Bild des Erzgebirges bestimmen. Aus der Anordnung der flächenhaften Gefügeelemente lassen sich von NE nach SW folgende kuppelförmige Baueinheiten erkennen:

1. Freiburger Graugneis-Kuppel
2. Saydaer Rotgneis-Kuppel
3. Reitzenhain-Katharinaberger Rotgneis-Kuppel
4. Marienberger Graugneis-Kuppel
5. Annaberger Graugneis-Kuppel
6. Schwarzenberger Augengneis-Kuppel.

Man wird mit *S. v. Bubnoff* (1922) annehmen dürfen, daß die Graugneiskuppeln durch tangentielle Einengungen während der Tektogenese entstanden sind. Da unter den Graugneiskuppeln des Erzgebirges granitische Aufwölbungen sitzen (vgl. Kapitel 2) ist es durchaus möglich, daß die einwandernden Granite die tektonisch (!) angelegten Kuppeln weiter ausgestalteten.

## 1.2.

### Problemstellung

Der Gneis nimmt mit rd. 2200 km<sup>2</sup> etwa 55<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der heutigen Landoberfläche ein. Er ist das charakteristische und am weitest verbreitete Gestein des Erzgebirges. Die geologischen Untersuchungsarbeiten der letzten 110 Jahre haben gezeigt, daß der erzgebirgische Gneis zwei großen Gesteinsgruppen angehört, die seit *H. Müller* (1850) als „Rote Gneise“ und „Graue Gneise“ bezeichnet werden. Ihre Trennung und Abgrenzung erfolgt bis heute in erster Linie nach geologischen Gesichtspunkten (tektonische Position, Herkunft, Alter). In der Gruppe der „Graugneise“ ist seit langem eine Zweiteilung üblich, indem man den Freiburger Kerngneis (sog. „Unterer Gneis“) vom „Oberen Freiburger Gneis“, der als identisch mit dem Marienberger und Annaberger Gneis angesehen wird, trennt. Sowohl durch mineralfazielle als auch (besonders) durch strukturelle Merkmale geben sich innerhalb jeder Gneisgruppe zahlreiche unterschiedliche Gneistypen zu erkennen.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die Gneise des sächsischen Erzgebirges mit Hilfe chemischer Unterschiede zu gliedern (*Th. Scheerer*, 1854; *K. H. Scheumann*, 1924; *K. Schmidt*, 1959). Neuerdings schreibt man den (unteren) Graugneisen einen kalkbetonten granodioritischen Chemismus zu (*K. Pietzsch*, 1954), während für die Rotgneise ein kalibetonter granitischer Chemismus angenommen wird (nach *K. H. Scheumann*, 1942 und *K. Schmidt*, 1959 adamellitischen Chemismus). Eine befriedigende Charakterisierung der Gneise mittels chemischer Gruppenwerte ist bis heute noch nicht gelungen und wird auch in Zukunft wegen der zahlreich vorliegenden Konvergenzerscheinungen kaum zu erwarten sein, obwohl gerade mit der Auffindung eines charakteristischen Analysenwertes ein Mittel in die Hand gegeben wäre, „die schwierige geländemäßige Abtrennung zu erleichtern oder in kritischen Fällen eine Entscheidung herbeizuführen“ (*K. H. Scheumann*, 1938). Fehlen Gefügerelikte oder liegen Gesteine mit untypischen Gefügen vor, ist eine Trennung der Rot- von den Graugneisen sehr kompliziert, „dies gilt vor allem für die pegma-

plitischen teils granulitähnlichen Mukowitgneise, die in ihrer mannigfaltigen Ausbildung als Edukte sowohl der Rot- als auch der Graugneise gelten können“ (*K. Schmidt, 1959*).

Es besteht also noch immer die Veranlassung, nach einer Angabe zu suchen, durch die der Bestand der Rotgneise, der Oberen Graugneise und des Grauen Kerngneises irgendwie fixiert werden kann.

Doch bevor wir uns auf die Suche nach geeigneten Kriterien begeben, von denen gefordert werden muß, daß sie die Genese der Gneise widerspiegeln, erscheint es ratsam, sich zu vergegenwärtigen, über welche genetischen Kenntnisse wir zur Zeit von den erzgebirgischen Gneisen verfügen.

In überzeugender Weise gelang es *K. H. Scheumann* mit seinen Mitarbeitern und Schülern, die petrogenetische Ableitung der Rotgneise sicherzustellen. Bei den Rotgneisen handelt es sich um saure Plutonite und Effusia (einschließlich deren pegmatitischen Derivate), die im Prävaristikum (assyntische Tektogenese?) diskordant in ihre Umgebung intrudierten und einen statischen Kontakthof um sich entwickelten, später (d. h. variskisch) aber mehr oder weniger stark deformiert (vergneist) und z. T. tektonisch verfrachtet worden sind. Die Rotgneise sind demnach (Meta-)Epigranite.

So wenig wie an dem magmatischen Ursprung der Roten Gneise gezweifelt wird, so wenig ist heute die sedimentäre Herkunft der Oberen Graugneise umstritten (reliktäre Einlagerungen von Grauwacken – diese z. T. geröllführend –, Kalksteine, Quarzite, Amphibolite u. a.). In den Oberen Graugneisen liegen mächtige Pelit- und Psammitserien vor, die durch eine progressive Regionalmetamorphose eine „annähernd isocheme Umkristallisation und eine blastische Ausgestaltung (Plagioklasmetablastesis)“ (*K. Schmidt, 1959*) erfuhren. Die – spätestens sudetisch – vergneisten Sedimente können algonkischen bis kambrischen Alters sein (*K. Pietzsch, 1954*).

Bezüglich der Genese des Grauen Kerngneises (vgl. Kapitel 2.3.2.1.) gehen die Ansichten auseinander. *K. Pietzsch (1954)* sieht in den Grauen Kerngneisen präkambrische Geosynklinalsedimente, die assyntisch „granitisiert“ („von unten her erweicht, aufgeschmolzen und umkristallisiert“) und variskisch vergneist wurden. Dagegen betont *K. H. Scheumann (1957)* mit Nachdruck, daß der Graue Kerngneis (zumindest der größte Teil) ein synorogenes Intrusivum ist (Katagranit). Damit begründet *Scheumann* erneut die schon seit Jahrzehnten bestehende Ansicht vom Orthocharakter des Kerngneises. *K. Schmidt (1959)* verzichtet bei seiner genetischen Deutung auf jede Form einer magmatischen Phase. Er sieht in den Kerngneisen Sedimente, die lediglich einer mit zunehmender Tiefe stärker werdenden regional-metamorphen Umwandlung ausgesetzt waren, in deren Auswirkung eine Homogenisierung der Ausgangsgesteine stattfand.

Da es offensichtlich noch nicht möglich ist, die erzgebirgischen Gneise durch chemische Gruppenwerte zu charakterisieren, da andererseits typische Gefüge, die mit Erfolg zur Diagnostizierung der Gneise herangezogen werden können, häufig genug fehlen, und da (hinsichtlich des Grauen Kerngneises) Relikte sedimentärer Abkunft offensichtlich nur in einer großen Reihe von Dünnschliffen sich finden

lassen (mündl. Mitteilung von *A. Watznauer*, angegeben bei *K. Pietzsch*, 1954), soll im folgenden versucht werden, für die einzelnen Gneisgruppen Kennwerte zu entwickeln, die auf der Untersuchung der in Frage kommenden Gesteine mittels zirkonstatistischer Methoden basieren. Dabei soll die konservative Dreiteilung in Rotgneis, Oberer Graugneis und Grauer Kerngneis vorläufig beibehalten werden. Ein solcher Versuch erscheint uns gerechtfertigt, nachdem *H. Schützel & D. Kutschke* (1961) den Orthocharakter des pseudokonkordant in seiner Umgebung aus zweifelsfrei sedimentogenen (auch nach zirkonstatistischen Methoden) Gneisglimmerschiefern und Glimmerschiefern sitzenden Augengneises von Schwarzenberg (wiederum unter Anwendung der Zirkonstatistik) wahrscheinlich gemacht haben.

Generell liegt also folgende Aufgabenstellung vor:

1. Ist es möglich, mit Hilfe zirkonstatistischer Methoden die Varianten der Rotgneise von den oberen Grauen Gneisen zu unterscheiden?
2. Bestehen zwischen dem Grauen Kerngneis („Unterer Freiburger Gneis“) und dem „Oberen Gneis“ genetische Unterschiede, die sich in der Zirkonstatistik widerspiegeln müssen oder bestehen derartige Unterschiede nicht, d. h., sind beide Gruppen der Graugneise als ein einheitlicher Komplex (von gleicher Entwicklungsgeschichte) aufzufassen?

Unsere Untersuchungen gestatten, die erste Frage relativ eindeutig bejahend zu beantworten. Indes wollen wir auf dieses Problem erst in einer späteren Veröffentlichung eingehen. Die vorliegende Arbeit soll sich mit der Lösung der in der zweiten Frage gestellten Aufgabe beschäftigen.

### 1.3. Über das Element Zirkonium und das Mineral Zirkon in den Gesteinen

Analytisch ist das Element Zirkonium in vielen Gesteinen nachgewiesen worden. Für Eruptivgesteine geben *v. Hevesy & Würstlin* (1934) rd. 220 g Zr/t und *Tröger* (1935) rd. 280 g Zr/t an (letzter Wert errechnet aus den mittleren  $ZrO_2$ -Gehalt, der bei 0,039 Gew.-% liegt). *Degenhardt* (1957), der die Häufigkeit, mit der die verschiedenen magmatischen Gesteinstypen am Aufbau der Lithosphäre beteiligt sind, berücksichtigt, erhält einen (recht zuverlässigen) Durchschnittswert von rd. 155 g Zr/t. Für Sedimentgesteine findet *Degenhardt* (in Übereinstimmung mit anderen Autoren) den gleichen Durchschnittswert, wobei Zr besonders in Tonen, Tonschiefern und Sandsteinen (in diesen mit erheblichen Schwankungen) angereichert ist.

Die Hauptmenge des Zirkoniums ist gewöhnlich als Orthosilikat im Mineral Zirkon ( $ZrSiO_4$ ) gebunden. Andere Zirkoniumminerale (Astrophyllit, Baddeleyit, Katapleit, Wöhlerit etc.) sind relativ selten; ihr Vorkommen ist auf Eläolithsyenite (einschl. deren saure Ganggefölgenschaft) beschränkt. Im geringen Umfang wird Zr auch in das Gitter anderer Minerale eingebaut. Der durchschnittliche Zr-Gehalt der Feldspäte beträgt 30 g/t, in den Biotiten wurde ein Gehalt von 40 g/t gefunden (*Degenhardt*), soweit letztere frei von Zirkoneinschlüssen sind. Höher liegen die Gehalte in Pyroxenen und Hornblenden. Für Diopside gibt *De Vore* (1955) durchschnittlich 65 g/t, für Hornblenden 77 g/t an. In den Alkalipyroxenen (Ägirin)

und -hornblenden (Barkevikit) kann dagegen der Zr-Gehalt bis auf 5000 g/t ansteigen.

Da Zr in der Lage ist, Fe und Ti teilweise zu ersetzen und Zr oft zusammen mit den Seltenen Erden auftritt, sind die höheren Zr-Gehalte in solchen Mineralien, wie Titanit, Titanmagnetit, Apatit, Na-Fe-Pyroxene u. a., zu erwarten.

Degenhardt (1957) wies nach, daß in Basalten der gesamte Zr-Gehalt in den Nichtakzessorien eingebaut ist (Thürach/1884, Chrustschoff/1886, Poldervaart/1956 u. a. beschreiben allerdings auch Zirkone aus basaltischen Magmen), während in Nephelinsyeniten nur reichlich 70% des Zr in den gesteinsbildenden Mineralien getarnt ist und in Graniten mehr als 50% des Gesamtzirkoniums als freier Zirkon vorliegt. Damit wird erneut bestätigt, daß Zirkon vorwiegend in sauren Magmatiten anzutreffen ist, wo er zur Akzessorien-gesellschaft gehört.

Das relativ häufige Auftreten von Zirkon in Sedimentgesteinen, wo er Bestandteil der Schwermineralgruppe ist, kann seiner hohen Widerstandsfähigkeit gegen Angriffe der chemischen Verwitterung zugeschrieben werden. Degenhardt hat die Löslichkeit des Zirkons in Laboratoriumsversuchen näher untersucht:

Lösungsmittel	Zr, gelöst
Wasser, dest.	12 mg/t
0,1 n HCl bzw. NaOH	16 mg/t
1%ige NaHCO <sub>3</sub> -Lösung	36 mg/t
gesättigte (20°) Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -Lösung	40 mg/t

Es zeigt sich, daß Bikarbonatlösungen Zr am stärksten zu lösen vermögen. Vermutlich kann Zr in derartigen Lösungen bei Gegenwart von CO<sub>2</sub> auch in gewissem Umfang transportiert werden (nach Strock & Drexler/1941 als Dikarbonatzirkonylion [ZrO(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>-2</sup>).

Wenn die Möglichkeit besteht, daß in Gesteinen Na- oder Ca-Bikarbonatlösungen auftreten und migrieren können, ist mit einer gewissen Zr-Mobilisation zu rechnen. Auch stark alkalische Restfluida mit hohen Konzentrationen an F und Cl können gelegentlich Zirkone energisch angreifen (Guimaraes, 1948).

Legen wir die mitgeteilten Werte einer Überschlagsrechnung zugrunde, so ergibt sich: In einem Tonschiefer sei ein Zr-Gehalt von 160 g/t analysiert worden. Dieser Wert entspricht dem mittleren Durchschnitt in Tonschiefern. Es wird vorausgesetzt, daß in diesem Gestein etwa 80% des Zr in Form des Orthosilikats vorliegen; d. h., in 1 t Tonschiefer sind 260 g (bzw. 55,3 cm<sup>3</sup>) Zirkon (Mineral!) enthalten. 1000 l Bikarbonatlösung (gesättigt bei 20 °C) vermögen 40 mg Zr zu lösen (einfachheitshalber ist das spez. Gew. der Lösung mit 1,0 angenommen worden); diese Menge entspricht rd. 80 mg (bzw. 17 mm<sup>3</sup>) Zirkon. Um 15% des vorhandenen Zirkons in Lösung zu bringen (das ist etwa diejenige Menge, die von einem idiomorphen Zirkonkristall mit dem L/B-Verhältnis 2,3 abgelöst werden muß, um ein Zirkonkorn mit dem L/B-Verhältnis von 1,7 zu erhalten), d. h., um 40 g (bzw. 8,5 cm<sup>3</sup>) Zirkon zu lösen, sind 1000 t (!) Lösungsmittel erforderlich M.a.W., um diesen Lösungseffekt zu erreichen, muß 1 m<sup>3</sup> Tonschiefer (Dichte rd. 2,8) von fast 3 Mill. Litern Bikarbonatlösung durchflossen werden.

Diese überschlägige Rechnung läßt erkennen, daß Zirkon eine außergewöhnlich hohe Stabilität gegenüber Lösungsvorgängen besitzt. Er gilt als eines der stabilsten Mineralien überhaupt (*Shand, 1927*), das auch unter den Bedingungen der Regionalmetamorphose sehr schwer rekristallisiert (*Poldervaart & Backström, 1949*), wie überdies auch der Zirkonaltbestand in Gneisen (und Graniten!) ausweist (*Hoppe, 1960*). Gleichzeitig zeigt die Rechnung, daß eine Zirkonneubildung nur in beschränktem Umfang möglich sein kann.

Zu dem durchgerechneten Beispiel sind einige Bemerkungen erforderlich:

Für die Intensität von Lösungsvorgängen hat die Korngröße eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung. Feinkorn wird wesentlich schneller in Lösung gehen als Grobkorn. Deshalb sollten in Mitteilungen über die Löslichkeit von Mineralien auch Angaben über die Korngröße gemacht werden. Die Nichtberücksichtigung der Korngröße belastet unsere Rechnung mit einer gewissen Unsicherheit.

Die dem Beispiel zugrunde gelegten experimentellen Daten sind bei einer Temperatur von 20 °C ermittelt worden. Bei regionalmetamorphosen Prozessen, die zur Herausbildung von Gneisen führen, also im Bereich der Katazone liegen, rechnet man mit Temperaturen um 300 °C (*Scheiderhöhn, 1955*). Ein Teil der untersuchten Gesteine unterlag — wie noch ausgeführt werden wird — zusätzlichen thermischen Beanspruchungen durch kontaktmetamorphe Vorgänge (500–800 °C). Derartige Temperaturerhöhungen werden fast stets mit einer Zunahme der Löslichkeit verbunden sein, d. h., der Sättigungsgrad einer Lösung für eine bestimmte Substanz steigt. Wie aus der Überschlagsrechnung zu ersehen ist, muß zur Erreichung des angenommenen Lösungseffektes das Gestein von Lösungen intergranular durchflossen werden, die das 3000fache seines Volumens ausmachen. Es ist nicht sehr wahrscheinlich, daß eine derartig große Menge Lösungsmittel zur Verfügung steht. Diese Menge kann aber wesentlich niedriger angesetzt werden, weil einerseits mit zunehmender Temperatur eben auch die Sättigungskonzentration größer wird, und andererseits wird man die Möglichkeit offenlassen müssen, daß bei regionalmetamorphosen Prozessen Lösungen ein vorgegebenes Gestein mehrfach durchfließen können. Solange also noch experimentelle Daten aus höheren Temperaturintervallen fehlen, muß die durchgeführte Überschlagsrechnung mit nicht wenigen Vorbehalten belastet bleiben.

Zirkonneubildungen (das sind einerseits die Umwachsungen von Zirkonaltbestand und andererseits ein großer Teil der langgestreckten, wasserklaren, einschlußfreien idiomorphen Kristalle), die mehr als 15<sup>0/100</sup> (oberste Grenze!) des Altbestandes ausmachen, lassen sich kaum anders erklären als durch (magmatische) Zr-Neuzufuhr.

Die hohe Stabilität, die sehr unvollkommene Spaltbarkeit, die große Härte (etwa 7,5 bei den nichtisotropisierten Zirkonen) und das hohe spezifische Gewicht (gewöhnlich größer als 4,3), das innerhalb der Gruppe der nichtopaken akzessorischen Mineralien nur vom Monazit und z. T. vom Xenotim übertroffen wird, räumen dem Zirkon eine gewisse Sonderstellung ein, die mit Erfolg für petrogenetische Aussagen benutzt werden kann.

#### 1.4. Zur Probenahme und -aufbereitung

Das Untersuchungsmaterial wurde natürlichen Aufschlüssen entnommen. In zwei Fällen wurden Bohrkern abgeprobt. Zur Gewinnung des Probematerials gingen wir so vor, daß am jeweiligen Aufschluß sechzig Gesteinssplitter von der Größe einer Zigaretenschachtel im Abstand von jeweils 1 m geschlagen wurden. Diese Splitter vereinigten wir zu Proben von je 12 kg.

Das Aufbereitungsverfahren haben wir früher (*Schützel & Kutschke, 1961*) näher beschrieben, so daß wir uns hier kurz fassen können. Das mit Hilfe eines Backenbrechers grobzerkleinerte Gut wurde manuell feinzerkleinert und auf einem Sieb mit 0,2 mm Maschenweite abgeseibt. Die Siebfraction  $< 0,2$  mm wurde gründlich gemischt und auf eine Menge von 75 ccm heruntergeviertelt. Die Entfernung des lästigen Gesteinsstaubes geschah durch mehrmaliges Schlämmen. Mit Bromoform der Dichte 2,87 erfolgte in einem größeren Scheidetrichter die erste Schwereretrennung nach den bei der mechanischen Phasenanalyse üblichen Vorschriften. Die (gewaschene und getrocknete) Schwere-Fraktion wurde längere Zeit mit heißer halbkonzentrierter Salzsäure, der einige Tropfen Salpetersäure zugegeben waren, behandelt (Zersetzung der Sulfide, Zerstörung des Apatits, Beseitigung von Krustenbildungen auf den Kristalloberflächen der Zirkone), filtriert und gut gewaschen. Der Filtrerrückstand mußte einer zweiten Schwereretrennung unterzogen werden, wozu wir Methylenjodid der Dichte 3,32 benutzten. Die Magnetscheidung der zweiten Schwerefraktion erfolgte mittels eines Elektromagneten unter Verwendung von zwei verschiedenen Feldstärken. Aus dem Substanzrest wurden die Zirkone nicht weiter eliminiert, um den Zeitaufwand nicht unnötig zu verlängern; über einen Mikroteiler gelangte das Konzentrat auf die Präparate, die in der von *G. Hoppe (1951)* beschriebenen Weise hergestellt wurden. Zum Vermessen der Zirkonkörner wurde auf die Gelatinepräparate Jodmethylen aufgetropft und die Objektträger im Kreuzstich befestigt.

#### 1.5. Bemerkungen zur Methode

Die Ausmessung erfolgte unter dem Mikroskop bei 120facher linearer Vergrößerung (Meßokular 6 $\times$ , Objektiv 20 $\times$ ). Zerbrochene Kristalle blieben in jedem Fall unberücksichtigt, weil nicht immer einwandfrei zwischen altem Bruch (der beim sedimentären Transport entstand) und frischem Bruch (der im Verlauf der Aufbereitung entstand) zu unterscheiden war. In allen Präparaten wurden, ohne in irgendeiner Form eine Auslese vorzunehmen, von jedem Zirkonindividuum die Länge und Breite vermessen und Beobachtungen über Zonarbau, Beschaffenheit der Kerne und Grad der Rundung notiert. Aus jeder Probe gelangten 200 Zirkone zur Vermessung. Diese Zahl hat sich als ausreichend erwiesen. Voruntersuchungen haben gezeigt, daß es sinnvoller ist, eine zweite Probe zu bearbeiten, als die Zahl der zu untersuchenden Zirkone aus einer Probe um 50% oder 100% zu erhöhen. Eine statistische Auswertung von weniger als 200 Meßwerten kann zu erheblichen Differenzen führen, wogegen eine Erhöhung der Meßwerte über 200 die Resultate nur geringfügig modifiziert (in der Regel ändern sich nur die ersten Dezi-

malen, weit seltener die Einer in der prozentualen Angabe). Die Untersuchungsergebnisse werden in Kap. 2 tabellarisch mitgeteilt.

Die Werte der Längenmessungen sind aus den Tabellen 1-4/I zu ersehen. Der Übersicht wegen ist das gesamte Meßintervall in Subintervalle unterteilt worden, indem jeweils drei oder vier Längenwerte zu einer Längengruppe zusammengefaßt wurden (0,04-0,07; 0,08-0,10; 0,11-0,14; 0,15-0,17 mm usw.). Bei den Einzelproben erfolgten die Angaben in Stückzahl (z. B. bei Probe „Marienberg 3“ liegen 78 Zirkone in der Längengruppe 0,08-0,10 mm). Die Einzelproben eines Verbreitungsgebietes wurden rechnerisch zu einer Sammelprobe vereinigt, bei der die Angaben in Prozenten erfolgten (z. B. im „Freiberger Hüllgneis“ liegen 60,5% aller vermessenen Zirkone in der Längengruppe 0,04-0,07 mm).

Von jeder an einem Zirkonindividuum durchgeführten Längen- und Breitenmessung ist das Verhältnis Länge : Breite (= Elongation) ermittelt worden. Jeweils drei (zahlenmäßig) nebeneinander liegende Elongationswerte sind wiederum zu einer Gruppe zusammengefaßt worden. Jede Elongationsgruppe wird charakterisiert durch den Mittelwert und die Anzahl der in sie fallenden Einzelwerte. Beispiel: In einer Probe kommt der Elongationswert 2,5 viermal, der Wert 2,6 dreimal und der Wert 2,7 sechsmal vor. In diesem Fall ist die Elongationsgruppe gekennzeichnet durch die Zahlen 2,6 (= Mittelwert) und 13 (= Anzahl der Einzelwerte). Aus den Tabellen 1-4/II sind die gefundenen Elongationswerte ersichtlich. Bei den Einzelproben erfolgten die Angaben wiederum in Stückzahl, bei den Sammelproben in Prozent (z. B. in der Probe „Annaberg 1“ fallen 8 Zirkone in die Elongationsgruppe 2,9 bzw. im „Freiberger Kerngneis“ liegen 17,2% aller vermessenen Zirkone in der Elongationsgruppe 2,3).

Da dem Elongationswert 2,0 eine besondere (die Gesteinsgenese betreffende) Bedeutung zukommt (wie gleich dargelegt werden wird), mußten wir vermeiden, daß bei der Einteilung der Elongationsgruppen eine Verschleierung der tatsächlichen Verhältnisse eintritt. Eine Gruppenbildung folgender Art 1,8 - 1,9 - 2,0 oder 2,0 - 2,1 - 2,2 [d. h. die Aufstellung von Elongationsgruppen mit dem Gruppenwert 1,9 bzw. 2,1 (Mittelwert!)] hätte zur Folge gehabt, daß entweder zwei Werte über 2,0 (nämlich 2,1 und 2,2) bzw. zwei Werte unter 2,0 (nämlich 1,8 und 1,9) zusammen mit dem Wert 2,0 in eine Gruppe gefallen wären. Das hätte eine beträchtliche Verzerrung der faktischen Verhältnisse zur Folge gehabt. Deshalb haben wir den Elongationswert 2,0 betont herausgearbeitet, indem eine selbständige Elongationsgruppe 2,0 (bestehend aus den Einzelwerten 1,9 - 2,0 - 2,1) gebildet wurde. Wird diese Elongationsgruppe durch die einzelnen Meßwerte maximal besetzt (in Vergleich zu den übrigen Elongationsgruppen), erscheint sie in diesem Fall auch als Maximum und kann nicht durch außerhalb der Gruppe liegende Einzelwerte (z. B. 1,8 oder 2,2) verfälscht werden, was einer irrationalen Reduzierung oder Aufstockung gleichkäme.

Backström & Poltervaart (1949) haben Zirkone aus zahlreichen südafrikanischen und nordamerikanischen Gesteinen untersucht. Durch eine Vielzahl von Längen- und Breitenmessungen an Zirkonen haben sie ein umfangreiches Zahlenmaterial zusammengetragen. Bei der statistischen Auswertung einer sehr großen Anzahl von Elongationswerten erkannten sie, daß die Lage des Elongationshäufig-



keitsmaximums in einem Koordinatensystem (Ordinate: Häufigkeit; Abszisse: Elongationswerte) Rückschlüsse auf die Genese des untersuchten Gesteins gestattet. In *Magmatiten* ist das Elongations-Häufigkeits-Maximum in der Regel größer als 2,0; in Gesteinen *sedimentärer* Herkunft ist das Maximum *kleiner* als 2,0 (*Poldervaart*, 1955), d. h., im ersteren Fall liegt das Maximum der Elongations-Häufigkeits-Kurve rechts einer durch den Koordinatenpunkt 2,0 gehenden Parallelen zur Ordinate, im zweiten Fall liegt das Maximum links dieser Trennlinie. In *Hybridgesteinen*, deren Zirkone zum Teil aus dem sedimentären Gesteinsanteil stammen (wobei nicht daran zu zweifeln ist, daß Zirkon endogene gesteinsbildende Prozesse überdauert, d. h. im festen Zustand erhalten bleibt [*Harker*, 1939], zum Teil aus „zugeführten“ Zirkonium sich neu gebildet haben), wird das Elongations-Häufigkeits-Maximum eine Mittellage um den Wert 2,0 einnehmen. – Zur Erklärung dieser empirisch gefundenen Regel geht man davon aus, daß der Zirkon in den Sedimentgesteinen durch die Beanspruchung beim Transport gerundet und zerbrochen wird und damit einen Substanzverlust erleidet. Dagegen ist magmatischer Zirkon gewöhnlich langprismatisch ausgebildet.

Selbstverständlich wird das *einzelne* Zirkonkorn individuelle Merkmale tragen. *G. Hoppe* (1960) hat umfangreiches Untersuchungsmaterial über die morphologischen Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen vorgelegt und auf die Bedeutung des Neuwachstums für die morphologische Gestaltung des Zirkons aufmerksam gemacht. Durch sog. „rundlich gestörtes Wachstum“ (eine der möglichen Arten von Wachstumsbehinderung) können u. U. morphologische Konvergenzerscheinungen zu abgerollten Zirkonen auftreten. Oft genug gelingt es auch subtilen Untersuchungen nicht, mit Sicherheit zu entscheiden, welchen Ursachen die Art des morphologischen Erscheinungsbildes zuzuschreiben ist.

Wenn Neubildungen stattgefunden haben (im vorliegenden Fall interessieren nur solche Bildungen, die als An- bzw. Weiterwachsungen die Formen des Zirkon-Altbestandes verändert haben), vermögen diese in einem begrenzten Umfang die Morphologie des einzelnen Zirkonindividuums zu modifizieren, sie sind aber schwerlich in der Lage, den Gesamtbestand morphologisch umzuprägen. Deshalb ist es erforderlich, innerhalb einer Probe stets eine große Zahl von Zirkonen zu erfassen und die Auswertung mittels *statistischer* Methoden durchzuführen, wobei keinesfalls vom Dünnschliff, sondern von *Zirkonkonzentraten* (Körnerpräparaten) ausgegangen werden sollte. *Poldervaart* (1956) rät, auf eine sehr ins einzelne gehende Klassifizierung zu verzichten und sich auf eine einfache und grobe Klassifizierung zu beschränken, die nach *leicht* und *sicher* erkennbaren Merkmalen durchgeführt werden kann.

Mit Hilfe der Zirkonstatistik sind in den letzten Jahren recht beachtliche Erfolge bei der Lösung genetischer Probleme erzielt worden. Nicht selten sind die von *A. Poldervaart* auf der Grundlage statistischer Methoden abgeleiteten Vorstellungen durch andersartige Untersuchungen erhärtet worden. So gelang es z. B. *Eckelmann & Kulp* (1956), den sedimentären Ursprung bestimmter Granite in Nord-Carolina sicherzustellen. Die oft erstaunliche Eindeutigkeit der Resultate vieler Autoren veranlaßte uns zu dem in dieser Arbeit vorgelegten Versuch.

Alle Werte der Längenmessungen und alle Elongationswerte sind in Abhängigkeit von der Häufigkeit, mit der sie auftreten, in Längen- bzw. Elongationshäufigkeitskurven graphisch dargestellt worden. Da in die Elongationshäufigkeitskurven drei Eigenschaften der Zirkonen (nämlich Länge, Breite und Häufigkeit des Auftretens) eingehen, kommt ihnen eine größere Aussagekraft als den Längenhäufigkeitskurven zu. Deshalb wurden die Elongationshäufigkeitskurven noch weiter ausgewertet, indem sog. „Integralkoeffizienten“ (vgl. Schützel & Kutschke, 1961) gebildet wurden. Wir verstehen darunter das Verhältnis einer Fläche I, die begrenzt wird durch die Abszisse, durch zwei Parallelen zur Ordinate durch die Abszissenpunkte 1,1 und 2,0 und durch das zwischen diesen beiden Parallelen liegende Kurvenstück, zu einer Fläche II, die begrenzt wird durch die Abszisse, durch zwei Parallelen zur Ordinate durch den Abszissenpunkt 2,0 und den Endpunkt der Kurve und durch das zwischen diesen beiden Parallelen liegende Kurvenstück. Außer durch Integrierung der beiden Flächen läßt sich der Integralkoeffizient auch aus den Elongationstabellen rechnerisch ermitteln.

Die Einführung der Größe „Integralkoeffizient“ hat sich als *sehr brauchbar* erwiesen. Liegt die Mehrzahl der Elongationswerte einer Probe unter 2,0, dann ist der Integralkoeffizient stets größer als 1; sind die meisten Elongationswerte einer Probe größer als 2,0, dann wird der Integralkoeffizient kleiner als 1.

Der Integralkoeffizient ist ein weit empfindlicheres Kriterium als das Maximum einer Elongations-Häufigkeits-Kurve, denn er gestattet auch dann noch eine eindeutige Aussage, wenn das Elongations-Häufigkeits-Maximum direkt in 2,0 liegt, also weder größer als 2,0 ist (magmatischer Bereich), noch kleiner als 2,0 ist (sedimentärer Bereich), und damit eine Entscheidung allein aus der Lage des Elongations-Häufigkeits-Maximum nicht mehr möglich ist. Ein Integralkoeffizient, der zwischen 0,8 – 1,2 liegt, *zusammen* mit einem Kurvenmaximum bei 2,0 kann von Seiten der Zirkonstatistik als direkter Beweis für eine Granitisation bzw. migmatische Bildung des Gesteins, dessen Zirkone untersucht wurden, gelten. Beispiel: Die Elongations-Häufigkeits-Kurve der Probe FK 1 (Freiberger Kerngneis) erreicht ihr Maximum beim Elongationsgruppenwert 2,0; dieser Gruppenwert kann für eine genetische Ausdeutung auf Grund seiner „neutralen“ Stellung nicht benutzt werden. Die gleiche Kurve besitzt aber einen Integralkoeffizienten von 0,42, der sehr deutlich kleiner als 1 ist; damit fällt die Entscheidung eindeutig zugunsten des magmatischen Bereiches.

Die gefundenen Integralkoeffizienten sind aus den Tabellen 1–4/III zu ersehen.

In den Tabellen 1–4/IV sind die Beobachtungen über den Grad der Rundung enthalten, den die untersuchten Zirkone aufweisen. Die Festlegung des Rundungsgrades geschah nach einem einfachen Schema:

- a) nicht gerundet (in den Tabellen mit „-“ angegeben): Kristalle deutlich idiomorph mit scharfen Kristallkanten;
- b) schwach gerundet (in den Tabellen mit „+“ angegeben): Kristallflächen noch deutlich erkennbar, Kanten mehr oder weniger gerundet;
- c) stark gerundet (in den Tabellen mit „++“ angegeben): Kristallflächen nicht oder kaum erkennbar.

Dieses sehr wenig komplizierte Schema hat zweifellos einige Mängel, da die rundliche Form gelegentlich mehrdeutig sein kann. „Sie darf nicht nur als, wie an sich naheliegend, sedimentäre Abrollungsform angesehen werden. Vielmehr entstehen in bestimmten Fällen runde Formen auch durch Wachstum“ (G. Hoppe, 1960). Auch Lösungsvorgänge und Korrosion „können sich in einer Verrundung der an sich scharfen Kanten der Kristalle bemerkbar machen“ (G. Hoppe, 1960). Zu den Lösungsvorgängen sind in Kap. 1.3. bereits Ausführungen gemacht worden. Eine magmatische Korrosion von Zirkon ist theoretisch denkbar; sichere Kennzeichen einer stattgefundenen Korrosion sind in der Literatur bisher kaum beschrieben worden. Auch Hoppe (1960) vermerkt, daß „deutliche Anzeichen für Korrosion nur vereinzelt zu finden sind“. In unserem Material hat sich kein Fall von Korrosion beobachten lassen. Bei der Aufstellung der Tab. 1-4/IV ist zunächst registriert worden, wieviel Zirkone jeder Probe stark, schwach oder nicht gerundet sind, dann ist der prozentuale Anteil jedes Rundungsgrades in den Sammelproben berechnet worden (z. B. in der Probe „Marienberg 2“ sind 132 Zirkone schwach gerundet bzw. im „Freiberger Kerngneis“ sind 29,4% aller Zirkone idiomorph ausgebildet).

Schließlich ist in den Tabellen 1-4/V von den Zirkonen jeder Probe das Verhältnis der Zahl aller gerundeten Zirkone (schwach + stark gerundet) zur Zahl der idiomorphen Zirkone gebildet worden (= Rundungsindex A) und des weiteren das Verhältnis nur der stark gerundeten Zirkone zu den nichtgerundeten (= Rundungsindex B). Auf Grund der oben erwähnten möglichen Konvergenzerscheinungen, die sich besonders beim Rundungsindex A, der auch die Kantenrundung mit berücksichtigt, auswirken können, kommt dem Rundungsindex B die größere Bedeutung zu.

Ausgehend von diesen Darlegungen zur Methode, soll im folgenden Kapitel versucht werden, die Eigenschaften der Zirkone jeder Gesteinsprobe durch bestimmte statistisch ermittelte Werte zu erfassen und das diese Zirkone beherbergende Muttergestein durch zirkonstatistische Kenngrößen zu charakterisieren. In einem späteren Kapitel ist dann zu untersuchen, welche Schlußfolgerungen aus den Kennwerten der einzelnen Gesteine abgeleitet werden müssen.

## 2. Die erzgebirgischen Graugneise und ihre Kennzeichnung nach zirkonstatistischen Kennwerten

### 2.1. Der Annaberger Graugneis

#### 2.1.1. Abgrenzung; allgemeine Bemerkungen zur Geologie und Tektonik

Das Graugneisareal von Wiesa-Annaberg-Buchholz-Schlettau ist das am weitesten im Westen gelegene, größere zusammenhängende Verbreitungsgebiet der erzgebirgischen Grauen Gneise.

Es wird im NE begrenzt von der herzyn streichenden, steil einfallenden und auf mehr als 20 km Länge verfolgbaren Wiesenbader Störung. Die Sprunghöhe an der Wiesenbader Störung ist groß (nach *A. Watznauer*, 1954 rd. 1000 m). Im NW wird die Grenze von dem mächtigen Glimmerschieferzug gebildet, der von Oederan über Zschopau, Ehrenfriedersdorf, Geyer, Elterlein in südwestlicher Richtung bis Lauter reicht. Im SW wird das Graugneisgebiet begrenzt von der herzyn streichenden Scheibenberger Verwerfung. Die SE-liche Grenze bildet die Rotgneisscholle von Boden-Haßberg. Das so begrenzte Areal umfaßt rd. 110 km<sup>2</sup>, wobei die SW-NE-Erstreckung ca. 12 km, die SE-NW-Erstreckung etwa 10 km beträgt. Durch die 3 km NE-lich der Scheibenberger Störung im Graugneis aufsetzende, parallel streichende Schlettauer Verwerfung wird das SW-Segment des Gneisgebietes um einen nicht näher bekannten Betrag abgesenkt.

Die flächenhaften Gefügeelemente zeigen (im allgemeinen) umlaufendes Streichen und fallen flach (durchschnittlich 20°) von einem Zentrum nördlich Annaberg in Richtung auf die Peripherie ein; dadurch gibt sich recht deutlich eine Kuppelarchitektur zu erkennen. Der Kuppelbau ist auf Aufbeulungsvorgänge zurückzuführen, wofür *E. Beyer* (1960) einige Kriterien des Wölbungsmechanismus angibt.

Schon *H. Müller* (1894) machte auf zahlreiche Granit- und Lamprophyrgänge aufmerksam, die im Zentralteil der Kuppel aufsetzen. Auf Grund lagerstättenkundlicher Erwägungen hat *O. Oelsner* (1952) nicht nur die Existenz eines unterteuften Granits sehr wahrscheinlich gemacht, sondern auch Aussagen über die mutmaßliche Gestalt des Plutons getroffen. *A. Watznauer* (1954) sieht in einem unter dem Gneis sitzenden granitischen Tiefenkörper den eigentlichen Gestalter der Kuppel (Aufstammung), nachdem er zuvor in dem Profil zur Geologischen Karte von Annaberg (Maßstab 1 : 100 000) bereits seine Vorstellung über das Annaberger Pluton zum Ausdruck gebracht hatte.

Die bergmännischen Untersuchungsarbeiten der letzten Jahre haben inzwischen den die Gneiskuppel unterteuften Granit durch Aufschlüsse mehrfach und sicher nachgewiesen. Diesem Granit sind die weit über 300 Erzgänge zuzuordnen, die Anlaß zu einem mehrperiodischen blühenden Bergbau gegeben haben.

Der Gneis wird von zahlreichen Basaltgängen durchbrochen, die das Material für Deckenergüsse lieferten, als deren Erosionsrest u. a. der Pöhlberg gelten muß.

Der Annaberger Graugneis enthält Einlagerungen von geschieferten Amphiboliten, Eklogiten, Quarzitschiefern u. a., die mit dem Gneis in konkordantem Schichtverband stehen. Diese Einlagerungen haben von altersher am sedimentogenen Ursprung des Annaberger Gneises keinen Zweifel gelassen und dazu geführt, den Annaberger Gneis als Analogon der Oberen Graugneise Freibergs einzustufen.

### 2.1.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen

Unsere Aufgabe bestand zunächst darin, diese Annahme durch zirkonstatistische Untersuchungen zu überprüfen. Zu diesem Zwecke untersuchten wir Gneismaterial, das weitestgehend „homogenisiert“ erschien, d. h. frei von erkennbaren sedimentären Relikten war. Dieses Material entnahmen wir entlang eines Meridians, der  $\pm$  genau durch das Kuppelzentrum gelegt worden war und sich

Nr. der Probe	Richtung des Einfallens von $s_1$ des Gneises	Lokalität (von Süd nach Nord)
A 1	Süd	Klippen an der Eisenbahnlinie Sehma-Buchholz (westl. Sehma-Hang), 830 m SSW Bhf. Buchholz
A 2	$\pm$ söhlig	Straßeneinschnitt am östl. Gehänge des Sehma-Tales am Bhf. Annaberg
A 3	Nordwest	aufgelassener Steinbruch a. d. Straße Annaberg-Ehrenfriedersdorf, 450 m SSE der Einmündung der Sehma i. d. Zschopau

(zufällig) mit dem Verlauf des Tales der Sehma deckt (Abb. 1). Für den vorliegenden Zweck hielten wir auf Grund der gewählten Methode der Probenahme drei Proben für ausreichend, deren Zahl im Falle größerer Diskrepanzen in den Resultaten beliebig hätte erhöht werden können. Die Orte der Probeentnahme liegen etwa gleich weit (rd. 3 km) voneinander entfernt; das Einfallen der Hauptschieferungsrichtung ( $s_1$ ) des Gneises entspricht an den Probenahmeorten dem ungestörten Kuppelbau.

Die gemessenen und errechneten Zirkonwerte des Annaberger Graugneises wurden in Tabelle 1 zusammengestellt.

Aus der ersten Tabelle 1/I sind die Werte der Längenmessungen ersichtlich. Der besseren Übersicht wegen ist das gesamte Meßintervall in acht Subintervalle (Längengruppen) unterteilt worden, wobei alle Längen kleiner als 0,04 mm und größer als 0,24 mm zu selbständigen Gruppen vereinigt worden sind (Angabe je Probe in Stückzahl). In der vorletzten und letzten Zeile von 1/I sind die Werte der Einzelproben zusammengefaßt und der Anteil der einzelnen Längengruppen am „Gesamtkonzentrat“ berechnet worden (Angabe in Prozenten).

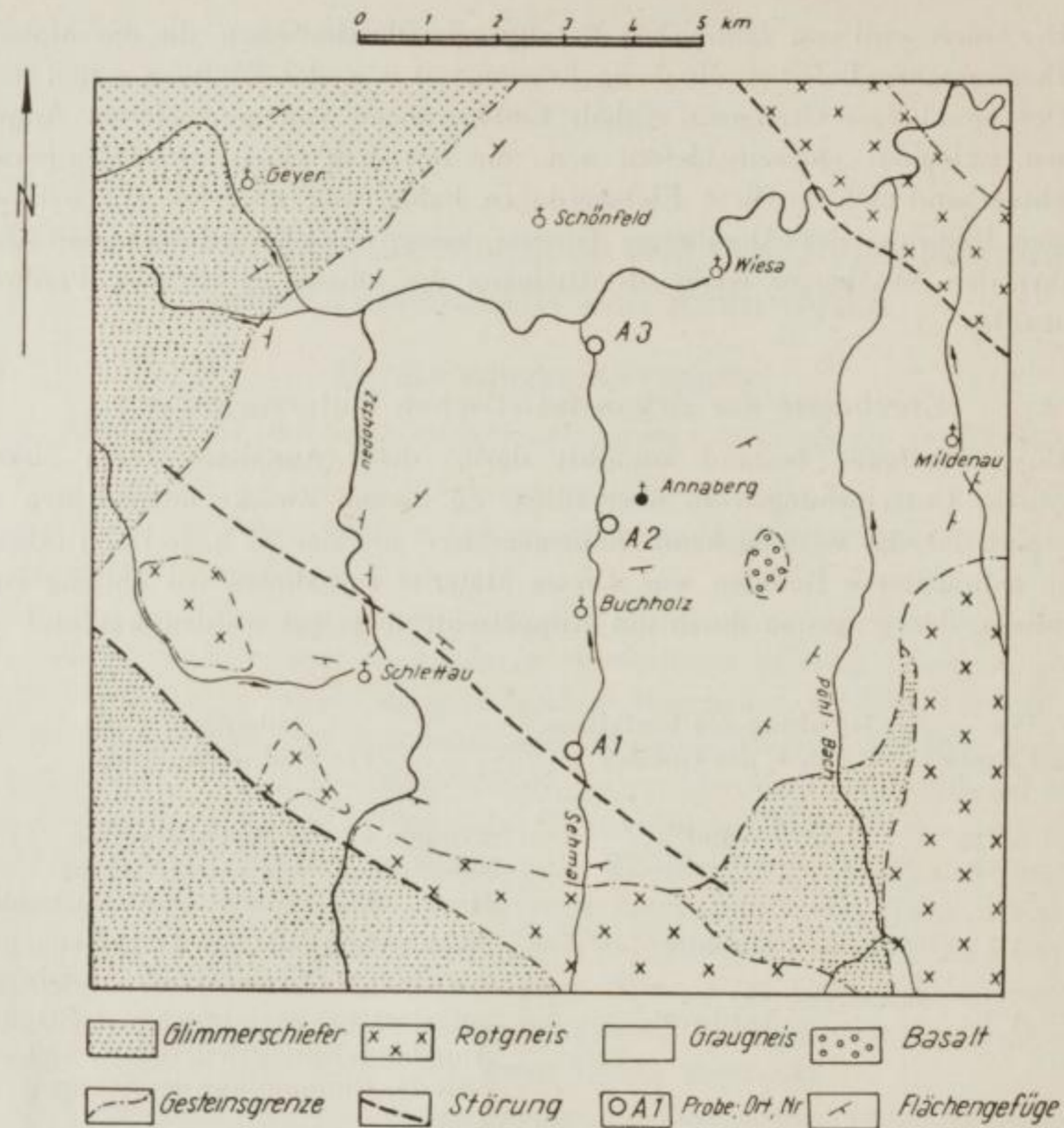


Abb. 1. Lage der Probenahmeorte in der Graugneis-Kuppel von Annaberg

Es wird festgestellt, daß 43,3% aller vermessenen Zirkone im Intervall zwischen 0,08 und 0,10 mm Länge liegen.

Aus der zweiten Tabelle 1/II sind die aus den durchgeführten Längen- und Breitenmessungen errechneten Elongationswerte zu ersehen. Die L/B-Werte größer als 3,4 sind zu einer Rubrik vereinigt worden. Bei den Einzelproben (A 1, A 2, A 3) erfolgte die Angabe in Stückzahl. In den letzten beiden Zeilen von Tabelle 1/II wurden die in den Einzelproben gefundenen Werte zusammengefaßt und der Anteil der einzelnen Elongationsgruppen an der Gesamtzusammensetzung in Prozenten ausgedrückt.

Es wird festgestellt, daß 26,3% aller vermessenen Zirkone in der Elongationsgruppe 1,7 liegen.

In Tabelle 1/III sind die Integralkoeffizienten berechnet worden. Die L/B-Kennkurve der Annaberger Gneiszirkone ist durch den Integralkoeffizienten 2,2 charakterisiert.

In Tabelle 1/IV sind Angaben über den Rundungsgrad gemacht. Von den 600 vermessenen Zirkonen sind nur 4,2% idiomorph ausgebildet, während 95,8% mehr

Tabelle 1. Annaberg

Tabelle 1/I

L	<4	4-7	8-10	11-14	15-17	18-20	21-24	>24	Sa.	mm · 10 <sup>-2</sup>
A 1	—	25	95	50	23	5	1	1	200	
A 2	—	52	84	37	20	5	2	—	200	
A 3	—	33	81	48	25	9	3	1	200	
Sa.	—	110	260	135	68	19	6	2	600	
%	—	18,3	43,3	22,5	11,3	3,2	1,0	0,3		

Tabelle 1/II

L/B	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	> 3,5	Sa.
A 1	23	48	51	28	22	15	8	3	2	200
A 2	23	59	57	25	19	9	5	3	—	200
A 3	24	34	50	35	24	15	11	4	3	200
Sa.	70	141	158	88	65	39	24	10	5	600
%	11,7	23,5	26,3	14,7	10,8	6,5	4,0	1,7	0,8	

Tabelle 1/III

	Integral- koeffizient
A 1	2,1
A 2	3,1
A 3	1,6
A ∅	2,2

Tabelle 1/V

	Rundungsindex	
	A	B
A 1	39,0	10,8
A 2	10,6	4,6
A 3	66,3	21,3
A ∅	23,0	7,9

Tabelle 1/IV

Rundungs- grad	A 1	A 2	A 3	Sa.	%
—	5	17	3	25	4,2
+	141	102	135	378	63,0
++	54	79	64	197	32,8

oder weniger stark gerundet erscheinen. Schließlich ist in Tabelle 1/V der Rundungsindex berechnet worden. Index A (d. i. das Verhältnis *aller* gerundeten zu den nicht gerundeten Zirkonen) = 21,3; Index B (d. i. das Verhältnis der *stark* gerundeten Zirkone zu den idiomorphen) = 7,9.

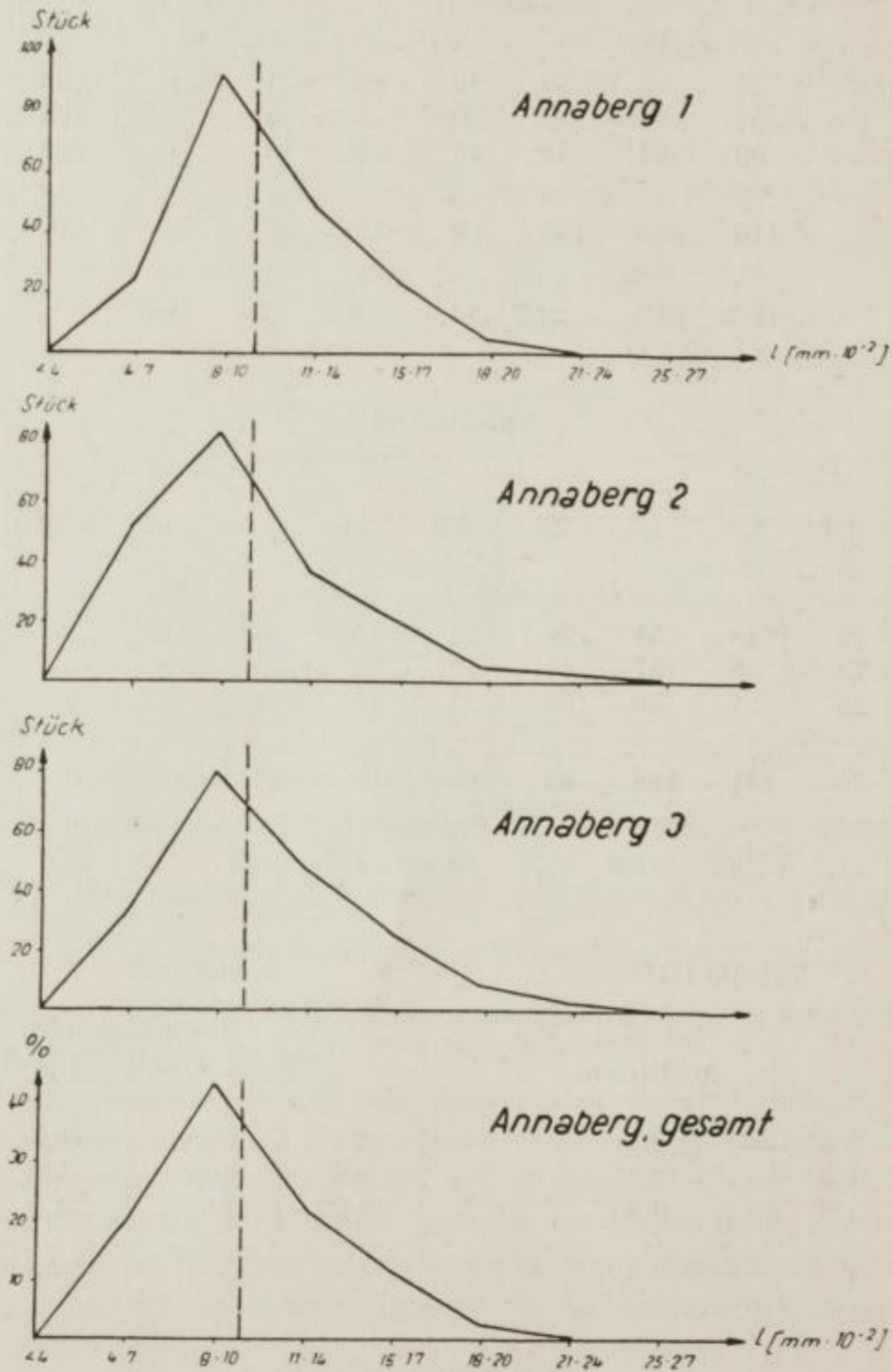


Abb. 2. Längenhäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Annaberger Graugneis

Die Werte der Längenmessungen (vgl. Tabelle 1/I) sind in Abb. 2 graphisch dargestellt worden. Diese Längenhäufigkeitskurven stimmen in ihrem Verlauf weitestgehend überein, so daß sich eine nähere Kurvenbeschreibung erübrigt. Das Längenhäufigkeitsmaximum liegt bei 8-10 ( $mm \cdot 10^{-2}$ ).



Die errechneten Elongationswerte (vgl. Tabelle 1/II) sind in Abb. 3 als Elongationshäufigkeitskurven zur Darstellung gebracht worden. Die Proben 1 und 2 zeigen Maxima, die über zwei Gruppenwerte hinweggespreizt sind, wobei bei Probe 1 der Wert 1,7 und bei Probe 2 der Wert 1,4 betont ist. Das Maximum der Elongationskurve „Annaberg 3“ liegt völlig eindeutig bei 1,7. Der Verlauf der Kurve „Annaberg, gesamt“ stimmt qualitativ mit Annaberg 1 überraschend gut überein. Alle Kurven enden bei dem Elongationswert 3,5; diesen Endpunkt erreichen die Kurven durch einen relativ raschen Abfall von ihren Maxima aus, wobei das Kurvenstück zwischen 1,7 und 2,0 besonders steil fällt, so daß bei 2,0 (das ist für die genetische Interpretationen der kritische Grenzwert) ein deutlicher Knick entsteht. Das Elongationshäufigkeitsmaximum liegt bei 1,7.

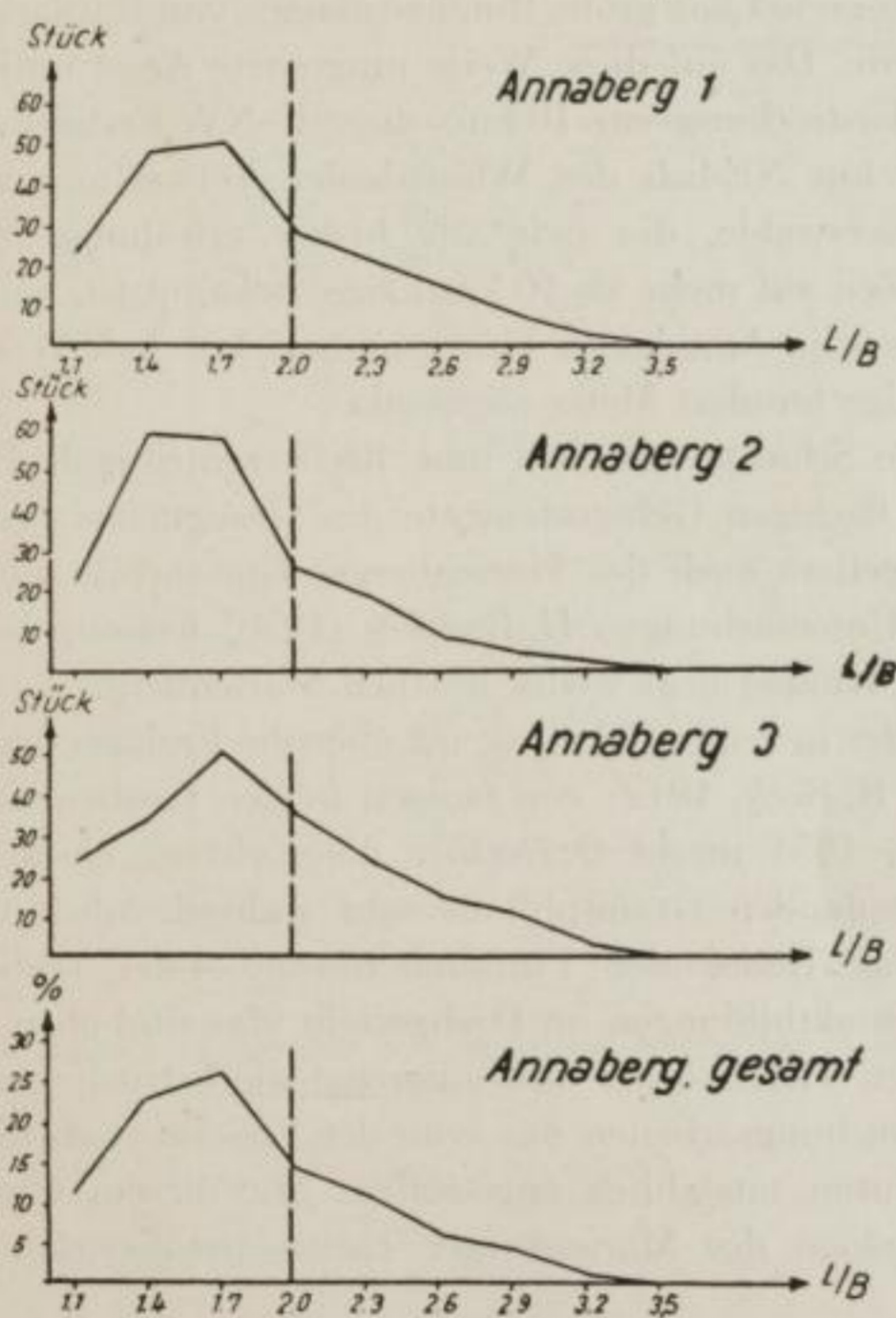


Abb. 3. Elongationshäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Annaberger Graugneis

Nach der Zirkonstatistik erhält der Annaberger Graugneis die folgenden Kennwerte, die im weiteren Verlauf unserer Arbeit in Beziehung zu den Werten der anderen untersuchten Gneisvarietäten zu setzen sein werden:

Kennwerte	Elongationshäufigkeitsmaximum	Integralkoeffizient	Längenhäufigkeitsmaximum	Rundungsindex	
				A	B
Annaberger Graugneis	1,7 (26,3%)	2,2	0,08—0,10 mm (43,3%)	23,0	7,9

## 2.2. Der Marienberger Graugneis

### 2.2.1. Abgrenzung; allgemeine Bemerkungen zur Geologie und Tektonik

NE-lich vom Annaberger Graugneisareal, von diesem  $\pm$  deutlich durch den Grabenbruch von Niederschmiedeberg-Drebach getrennt, liegt das Verbreitungsgebiet der Marienberger Gneise. Sie werden im SW von der bereits erwähnten Großstörung Wiesenbad bzw. von den Rotgneislappen bei Boden, Wiesenbad und Schönbrunn begrenzt. Die NW-Grenze bildet wiederum der erzgebirgische Glimmerschieferzug mit seinem Teilbereich zwischen Drebach und Zschopau. Im NE werden die Marienberger Gneise durch die Rotgneisscholle von Zöblitz, in der die bekannten Serpentiniteinlagerungen aufsetzen, von den Gneisen der Flöha-Synklinale getrennt. Im SE schließlich grenzt das große Rotgneismassiv von Katharinaberg-Reitzenhain an die Graugneise. Das auf diese Weise umgrenzte Areal umfaßt rd. 75 km<sup>2</sup>, wobei die SW-NE-Erstreckung ca. 10 km, die SE-NW-Erstreckung etwa 8 km beträgt. Durch die 5 km NE-lich der Wiesenbader Verwerfung aufsetzende Störung von Großrückerswalde, die (wie alle bisher erwähnten Störungen) hereyn streicht und zur Zeit auf mehr als 10 km Länge bekannt ist, wurde – ganz analog zu den Verhältnissen im Annaberger Graugneisbezirk – der SW-Teil der Marienberger Gneise um einige hundert Meter abgesenkt.

Das (vorwiegend) umlaufende Schichtenstreichen und flache zentrifugale Einfallen (durchschnittlich 15°) der flächigen Gefügeelemente des Graugneises lassen relativ eindeutig auf einen Kuppelbau auch des Marienberger Gneisareals schließen, der durch kleintektonische Untersuchungen *H. Radtkes* (1958) weitestgehend bestätigt wird. Das Zentrum der Kuppel liegt wenig westlich Marienberg.

Bereits 1848 berichtet *H. Müller* in seinem Manuskript über die Erzlagerstätten von Marienberg (bearbeitet von *R. Beck*, 1912) von einigen in den Grubenbauen angetroffenen Granitvorkommen. 1951 macht *O. Oelsner* die Existenz eines die Marienberger Graugneise unterteufenden Granitplutons sehr wahrscheinlich und trifft bereits Aussagen über das Relief der Plutonoberfläche. 1954 schließt *A. Watznauer* auf Grund von Kontaktbildungen im Dachgestein (das sind eben die Graugneise) auf einen granitischen Tiefenkörper und umgrenzt die Intrusivmasse. Inzwischen haben jüngere Untersuchungsarbeiten das (von der Erosion noch nicht angeschnittene) Marienberger Pluton tatsächlich angetroffen. Mit diesem Granit stehen die weit über 400 Erzgänge des Marienberger Lagerstättenbezirkes in ursächlichem Zusammenhang.

Zahlreiche konkordante „Fremd“einlagerungen, unter denen (vor allem im Ostteil der Gneiskuppel die sog. Dichten Gneise (vergneiste Grauwacken) dominieren, haben schon zeitig Anlaß zu der Vermutung gegeben, daß der gesamte Marienberger Graugneis einen hochmetamorphen Sedimentkomplex darstellt und damit sowohl petrographisch als auch genetisch den Oberen Graugneisen Freibergs entspricht.

### 2.2.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen

Wir hatten zu prüfen, ob sich mit Hilfe zirkonstatistischer Untersuchungen diese Vermutung bestätigen läßt bzw. ob die Ergebnisse solcher Untersuchungen

mit der aus Feldbefunden resultierenden Ansicht übereinstimmen. Falls es so wäre, dann würde das u. a. für die Richtigkeit der Methode sprechen.

Zur Untersuchung gelangte wiederum weitestgehend „homogenisiertes“ Gneismaterial. Dieses Material wurde entnommen entlang einer gedachten Magistrale, die mit  $N 72^{\circ} E$  über die Kirche Marienberg streicht und sich mit der Achse der kuppelförmigen Antiklinale etwa deckt. Wir beschränkten uns wiederum auf drei Sammelproben. Die Orte der Probenentnahme liegen 3,3 km und 4,7 km voneinander entfernt (vgl. Abb. 4).

Zur Wahl der Probenahmeorte ist zu bemerken, daß wir uns davon leiten ließen, nach Möglichkeit verschiedene Anschnittniveaus zu erfassen: Zwischen Probe M 1 und M 2 liegt die Störung von Großrückerswalde; Probe M 1 wurde

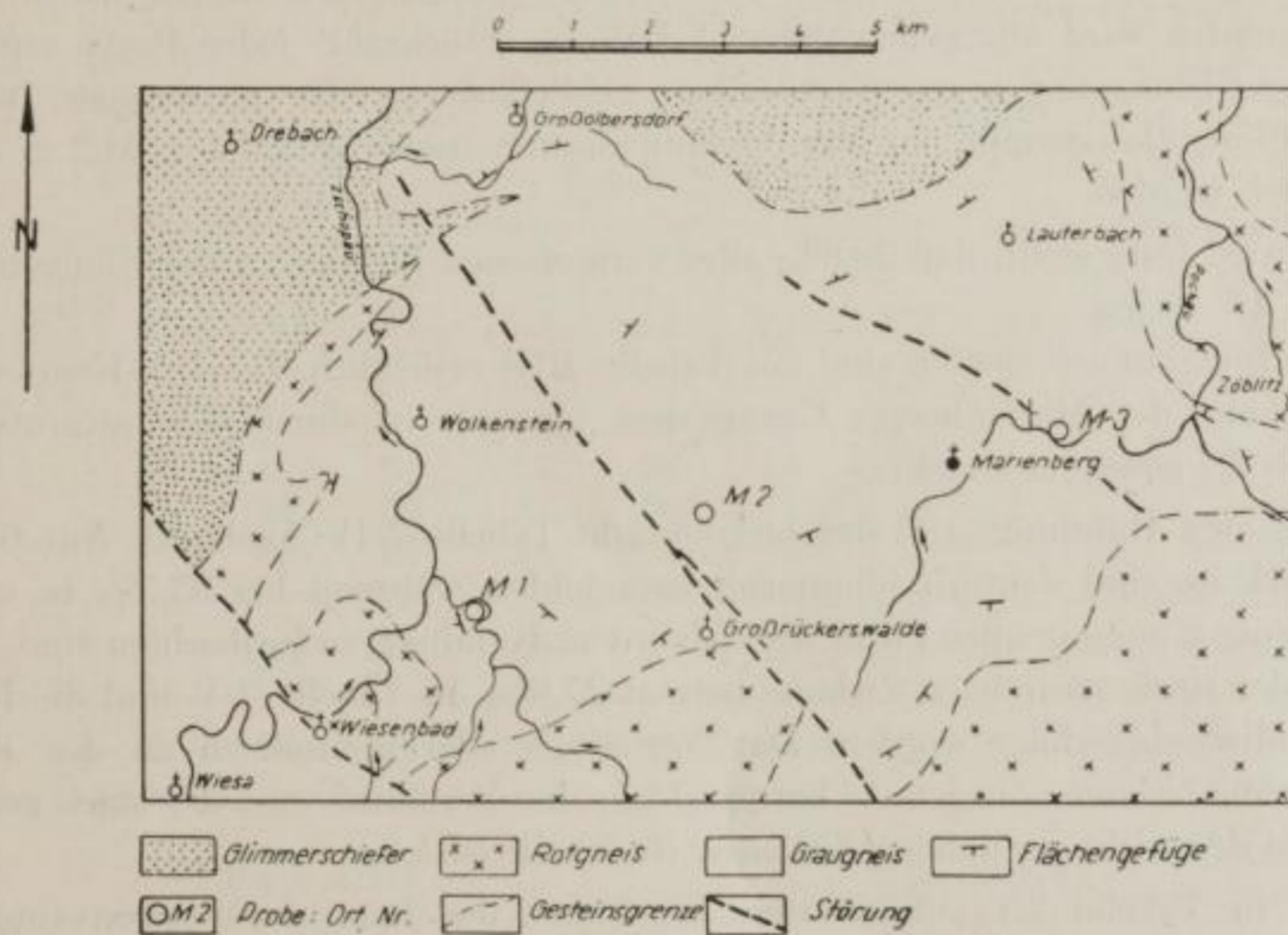


Abb. 4. Lage der Probenahmeorte in der Graugneis-Kuppel von Marienberg

Nr. der Probe	Richtung des Einfallens von $s_1$ des Gneises	Lokalität (von WSW nach ENE)
M 1	West	Felsklippen am südl. Gehänge des Preßnitz-Tales, 650 m SSE des Zusammenflusses der Preßnitz mit der Zschopau
M 2	Süd	Felsklippen südl. der Straße von Wolkenstein nach Marienberg; ca. 1,4 km SSW Große Brüderhöhe (Punkt 687,6)
M 3	Ost	Felsentblößung am nördl. Gehänge des Hüttengrundbaches, 300 m NW Bahnwärterhaus Hüttengrund, rd. 1,5 km ENE Friedhof Marienberg

aus dem Drebach-Bodener Grabenbruch entnommen; sie repräsentiert einen wesentlich *höheren Horizont* als die Proben M 2 und M 3.

In Tabelle 2 sind die Zirkondaten des Marienberger Graugneises zusammengestellt worden.

Die Werte der Längenmessungen zeigt Tabelle 2/I. Von den 600 vermessenen Zirkonen sind nur 2 Kristalle kleiner als 0,04 mm; Zirkone länger als 0,14 mm waren überhaupt nicht aufzufinden.

Es wird festgestellt, daß 56,9% aller Zirkonkristalle im Intervall zwischen 0,04 und 0,08 mm Länge liegen.

Die an jedem Einzelzirkon gemessenen Breiten gehen zusammen mit den Längen als das Verhältnis Länge : Breite in die Elongationswerte der Tabelle 2/II ein. Zunächst wird angegeben, wieviel Zirkone (Stückzahl) jeder Probe auf die einzelnen Elongationsgruppen entfallen. Schließlich ist der prozentuale Anteil jeder Elongationsgruppe an der Gesamtzusammensetzung (M 1 + M 2 + M 3) errechnet worden.

Es wird festgestellt, daß 29,8% aller vermessenen Zirkone in der Elongationsgruppe 1,7 liegen.

Die Integralkoeffizienten sind aus Tabelle 2/III ersichtlich. Die L/B-Kennkurve der Zirkone des Marienberger Graugneises (gesamt) ist durch die Integralkoeffizienten 2,7 gekennzeichnet.

Über den Rundungsgrad der Zirkone gibt Tabelle 2/IV Auskunft. Nur 6,5% aller Zirkone sind deutlich idiomorph ausgebildet, während bei 93,5% in mehr oder weniger ausgeprägter Form Anzeichen von Rundung zu beobachten sind. Der Anteil der stark gerundeten Zirkone beträgt 27,0%. In Tabelle 2/V sind die Rundungsindizes berechnet worden. Das Verhältnis aller gerundeten zu den nicht gerundeten Zirkonen (Index A) beträgt 14,4; das Verhältnis nur der stark gerundeten zu den nicht gerundeten Zirkonen (Index B) ist 4,2.

Die in Tabelle 2/I aufgeführten Ergebnisse der Längenmessungen sind in Abb. 5 als Funktionskurve (Länge : Häufigkeit) graphisch dargestellt worden. Die Längenhäufigkeitskurven aller drei Einzelproben und (die daraus resultierende) Gesamtkurve stimmen miteinander derartig gut überein, daß man sie fast ohne Bedenken als kongruent bezeichnen kann. Das ist immerhin bemerkenswert, wenn man bedenkt, daß die Orte der Probenahme drei bzw. acht Kilometer auseinander liegen. – Das Längenhäufigkeitsmaximum liegt prägnant bei 4–7 ( $\text{mm} \cdot 10^{-2}$ ). Abb. 6 zeigt die Elongationskurven (Elongationswerte der Tabelle 2/II in funktionseller Abhängigkeit von der Häufigkeit). Die Kurve „Marienberg 1“ hat ein exaktes Maximum bei 1,7. Die Maxima der Kurven „Marienberg 2“ und „Marienberg 3“ sind ein wenig breitgezogen, wobei in Probe 2 der Wert 1,4 und in Probe M 3 der Wert 1,7 deutlich betont sind. Die den Marienberger Graugneis kennzeichnende Sammelkurve deckt sich in ihrem Verlauf auffällig übereinstimmend mit der Elongationskurve von „Marienberg 3“. – Alle Kurven enden bei dem Elongationswert 3,5. Der scharfe Knick des steil abfallenden Kurvenastes bei 2,0 (den wir schon bei den Annaberger Elongationskurven kennengelernt hatten) ist allen vier Kurven gemeinsam. – Das Elongationshäufigkeitsmaximum liegt bei 1,7.

Tabelle 2. Marienberg

Tabelle 2/I

L	< 4	4-7	8-10	11-14	> 14	Sa.	mm · 10 <sup>-2</sup>
M 1	1	113	85	1	—	200	
M 2	1	111	85	3	—	200	
M 3	—	117	78	5	—	200	
Sa.	2	341	248	9	—	600	
%	0,3	56,9	41,3	1,5	—		

Tabelle 2/II

L/B	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,4	Sa.
M 1	12	47	<b>61</b>	25	25	13	11	3	3	200
M 2	21	<b>65</b>	<b>56</b>	27	19	6	2	2	2	200
M 3	19	<b>56</b>	<b>62</b>	26	23	9	3	2	—	200
Sa.	52	<b>168</b>	<b>179</b>	78	67	28	16	7	5	600
%	8,7	28,0	29,8	13,0	11,2	4,7	2,7	1,1	0,8	

Tabelle 2/III

	Integral- koeffizient
M 1	1,9
M 2	3,5
M 3	3,0
M ∅	2,7

Tabelle 2/V

	Rundungsindex	
	A	B
M 1	12,3	3,7
M 2	49,0	14,8
M 3	9,0	2,4
M ∅	14,4	4,2

Tabelle 2/IV

Rundungs- grad	M 1	M 2	M 3	Sa.	%
—	15	4	20	39	6,5
+	130	137	132	399	66,5
++	55	59	48	162	27,0

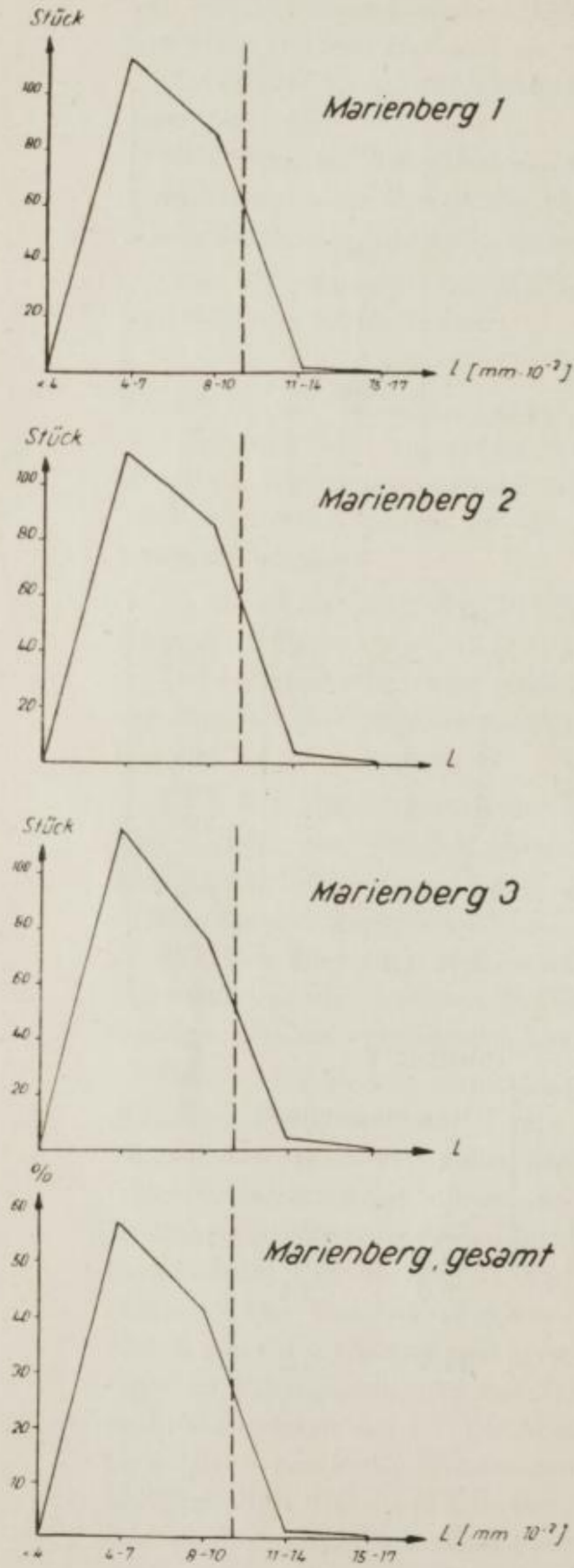


Abb. 5. Längenhäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Marienberger Graugneis

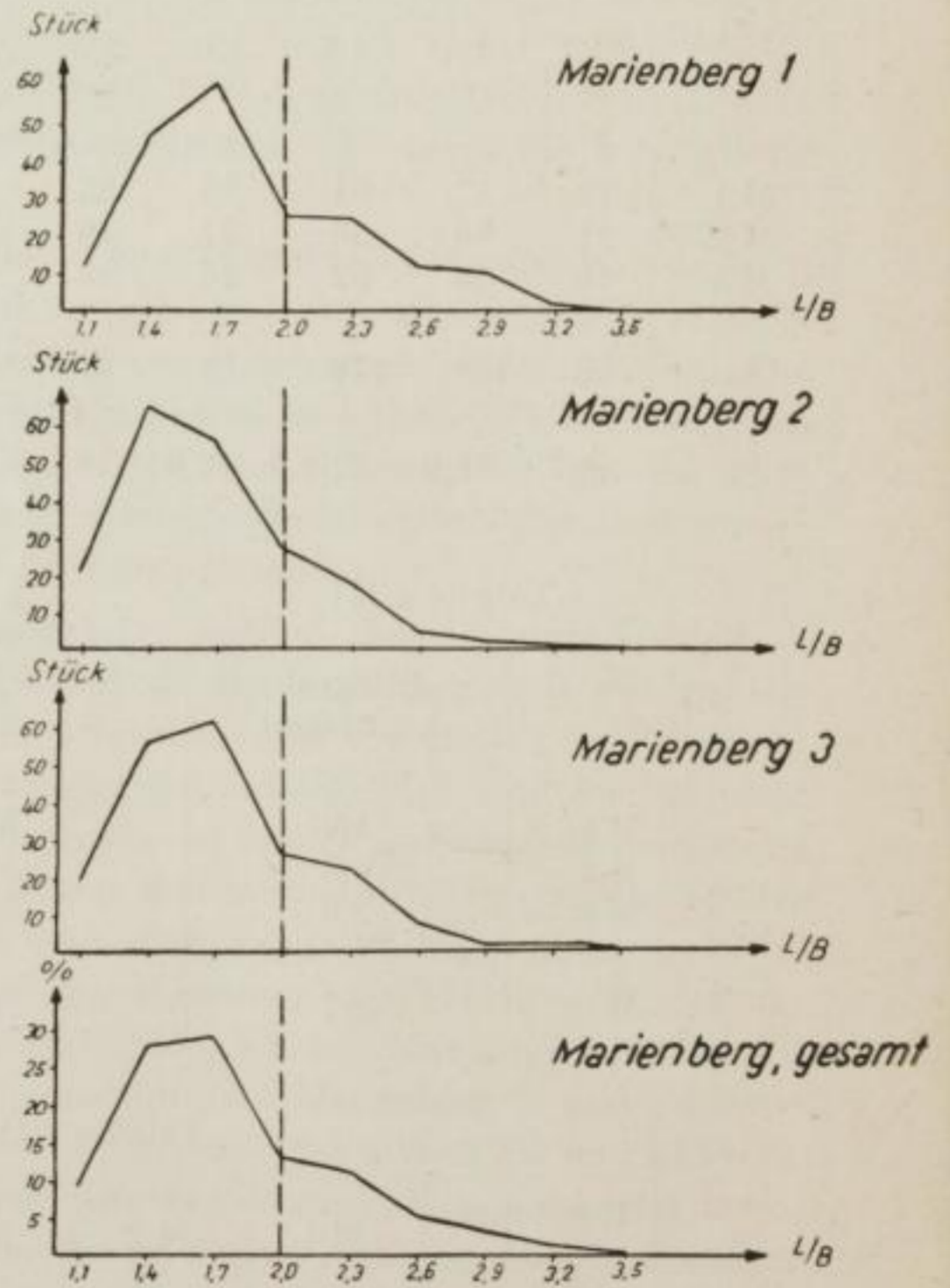


Abb. 6. Elongationshäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Marienberger Graugneis

Nach der Zirkonstatistik erhält der Marienberger Graugneis die folgenden Kennwerte:

Kennwerte	Elongationshäufigkeitsmaximum	Integralkoeffizient	Längenhäufigkeitsmaximum	Rundungsindex	
				A	B
Marienberger Graugneis	1,7 (29,8%)	2,7	0,04—0,07 mm (56,9%)	14,4	4,2

### 2.3. Die Freiburger Grauen Gneise

NE-lich von dem Verbreitungsgebiet der Marienberger Graugneise, von diesen getrennt durch die SE-NW-streichende Flöha-Synklinale und der dazu parallel laufenden Rotgneiszunge von Olbernhau-Lippersdorf (die bereits zur Rotgneiskuppel von Sayda gehört), liegt das große Graugneisareal von Freiberg.

Sowohl petrographische als auch (besonders) strukturelle und texturale Unterschiede der Freiburger Grauen Gneise haben schon *H. Müller* (1864) dazu gedient, besondere Gneisvarietäten zu eliminieren, deren wichtigste Vertreter

1. der normale Freiburger Gneis (gnf),  
lang- und breitflaserig, grob- bis mittelkörnig,
2. der Brander Gneis,  
grob-schuppig, stenglig bis streifig,
3. der Himmelsfürster Gneis,  
lagenförmig-schuppig, glimmerarm,
4. der Wegefarther Gneis (gnw),  
körnig-flaserig, extrem glimmerreich,
5. der Borstendorfer Gneis (gnk),  
(mittel- bis) feinkörnig, schuppig,
6. der Reifländer Gneis (gnl),  
lang- und dünnflaserig,

sind. Die Strukturen und Texturen wechseln oft auf engstem Raume; eine kartographische Darstellung stößt mitunter auf erhebliche Schwierigkeiten, so daß auf den sächsischen geologischen Spezialkarten (1 : 25 000) nur gnf, gnw und gnk (gelegentlich auch gnl) ausgehalten sind. Indeß hat diese Gliederung *H. Müllers* schon seit einigen Jahrzehnten ihre Bedeutung verloren. Heute unterscheidet man nach anderen Gesichtspunkten zwischen den sog. Freiburger Kerngneisen (= Untere Freiburger Gneise) und den Gneisen der „oberen Stufe“. Zu den Kerngneisen rechnet man den „über weite Strecken völlig gleichmäßig ausgebildeten grob-schuppigen Biotitgneis granodioritischer Zusammensetzung“ (*K. Pietzsch*, 1951); dazu wurden von den Sektionsgeologen außer dem normalen Freiburger Gneis auch der Brander, Himmelsfürster und Wegefarther Gneis gezählt (*A. Sauer*, 1886 u. 1887; *C. Gäbert*, 1905; *O. Stutzer*, 1907; *R. Reinisch*, 1926 u. a.). Auf der Geologischen Übersichtskarte von Sachsen (M = 1 : 400 000) haben *F. Kossmat* und

K. Pietzsch (1930) wohl erstmalig den Wegfarther glimmerreichen Gneis vom Kerngneis abgetrennt und den Oberen Gneisen eingegliedert. Im gleichen Sinne ist A. Watznauer (1952) bei der Erstellung der Geologischen Karte 1 : 100 000 (Blatt Chemnitz) verfahren.<sup>1</sup> Gegenwärtig neigen – durchaus nicht unberechtigt – einige Bearbeiter dazu, auch den Himmelsfürster Gneis aus dem Freiburger Kerngneis auszuklammern und den Oberen Gneisen zuzuschlagen.

Im Gegensatz zu den relativ monotonen (Biotit-)Kerngneisen zeichnen sich die (zweigliedrigeren) Oberen Graugneise (die von gnk und – untergeordnet – gnl repräsentiert werden) „durch einen oft raschen Wechsel in der Zusammensetzung aus“ (K. Pietzsch, 1951); dieses wechselvolle Bild wird noch verstärkt durch die Einschaltungen von Gesteinen sedimentärer Abkunft (kristalline Grauwacken,



Abb. 7. Das Verbreitungsgebiet der Freiburger Graugneise, vereinfacht nach der Geol.-Karte 1 : 400 000

Hornfelse, Glimmerfelse, Kalksteine bzw. Marmore usw.). Diese in kleineren oder größeren linsenförmigen Körpern recht reichlich den Oberen Graugneisen eingelagerten Parametamorphite fehlen den unteren Freiburger Gneisen (Kerngneis) nahezu völlig. Von einigen Ausnahmen wird noch die Rede sein müssen. Neben den Unterschieden in der Struktur, Textur und Mineralassoziation haben vor allem die Existenz bzw. das Fehlen derartiger Einlagerungen Anlaß zu genetischen Deutungen gegeben. R. Beck (1901 u. 1904), C. Gäbert (1907), F. Kossmat (1925), R. Reinisch (1927), K. Pietzsch (1951), K. H. Scheumann (1957) u. v. a. sehen im Kerngneis einen Orthogneis. Die Oberen Grauen Gneise hielt man lange Zeit für Mischgneise, in welchen magmatisches und sedimentäres Material miteinander verflochten ist, während man heute im allgemeinen der Ansicht ist, daß die Gneise der „oberen Stufe“ Paragneise darstellen.

<sup>1</sup> Es ist wenig verständlich, weshalb K. Schmidt (1959) die Abtrennung des Wegfarther Gneises erneut vorschlägt.



Das  $s_1$ -Gefüge der Freiburger Gneise zeigt elliptisches Umlaufen und flaches nach außen gerichtetes Einfallen (in den peripheren Teilen ca.  $30^\circ$  und mehr), wodurch ein großartiger Kuppelbau auch dieses Graugneisareals offensichtlich wird. Die Unteren Freiburger Gneise bilden den zentralen Kern (Kerngneise), der von einer ringförmigen Hülle des Oberen Graugneises (Freiberger Hüllgneis) umgeben wird (vgl. Abb. 7), auf die sich Rotgneise, Glimmerschiefer, Phyllite, Porphyre und cenomane Ablagerungen auflegen.

### 2.3.1. Der Obere Freiburger Graugneis (Freiberger Hüllgneis)

#### 2.3.1.1. Verbreitungsgebiet

Der Hüllgneis beginnt im N bei Mohorn, verläuft auf 10 km Länge in westlicher Richtung über Dittmannsdorf nach Biberstein-Krummhennersdorf (hier vom Rotschönberger Stolln im Bereich des 4.-6. Lichtloches durchörtert), biegt bei Großschirma nach SW um, streicht 10 km in dieser Richtung über Langhennersdorf-Bräunsdorf-Wegefath nach Frankenstein-Oberschöna, dreht von hier ab in südlicher Richtung (8 km) nach Kirchbach-Gahlenz-Langenau, um weiterhin auf 8 km Länge SE-liches Streichen anzunehmen (Kleinhartmannsdorf-Gränitz-Großhartmannsdorf). Zwischen Helbigsdorf-Zethau-Mulda-Dittersbach-Nassau-Reichenau liegt das 16 m lange, ziemlich genau nach Osten streichende südliche Teilstück des Ringes. Von Reichenau ab nehmen die Hüllgneise NE-liches Streichen an und lassen sich über Sadisdorf auf 10 km Länge bis Obercarsdorf verfolgen. In noch nicht ganz erklärbarer Weise wird im sich anschließenden Raum Dippoldiswalde der Hüllgneisring auf etwa 2 km Länge unterbrochen, um sich dann von Malter ab 8 km in nördlicher Richtung über Seifersdorf-Spechtritz nach Rabenau fortzusetzen. Zwischen Rabenau und Tharandt nehmen die Hüllgneise NW-liches Streichen an (5 km). Das den Ring schließende nördliche Verbindungsstück Tharandt-Mohorn (8 km) wird von Porphyrdecken und cenomanen Sandsteinen verhüllt.

Der mittlere Umfang des ellipsenringförmigen Verbreitungsgebietes der Hüllgneise beträgt reichlich 80 km, wobei der große Durchmesser etwa 30 km, der kleine Durchmesser 20 km mißt. Dieses Hüllgneisgebiet umfaßt rd.  $420 \text{ km}^2$ . Es ist reichlich  $5\frac{1}{2}$ mal größer als das Marienberger und knapp 4mal größer als das Annaberger Graugneisareal.

#### 2.3.1.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen

In unsere Untersuchungen haben wir nur den westlichen Halbring (westlich des Meridians Niederschöna-Mulda) einbezogen. Die Bearbeitung des östlichen Halbringes soll später im Zusammenhang mit Untersuchungen im Graugneisgebiet von Dippoldiswalde-Liebstadt-Glashütte-Lauenstein erfolgen. Im übrigen erschien uns die Untersuchung nur des westlichen Teiles der Freiburger Hüllgneise als durchaus ausreichend für die Lösung der gestellten Aufgaben.

Es galt einerseits zu prüfen, ob der Paracharakter der Hüllgneise sich durch zirkonstatistische Methoden bestätigen läßt und andererseits festzustellen, ob die Abtrennung der Wegefathner Gneise von den Kerngneisen und ihre Zurechnung zu

den Hüllgneisen gerechtfertigt ist. Diese Fragestellung wird damit gleichzeitig zu einem Test über die Einsatzmöglichkeit und Aussagekraft von zirkonstatistischen Methoden.

Die Orte der Probeentnahme liegen im NW (F H 1, F H 2); im SW (F H 3) und S (F H 4) des Kuppelzentrums, von diesem jeweils 12–15 km entfernt (Abb. 8).

Nr. der Probe	Richtung des Einfallens von $s_1$ des Gneises	Lokalität (von NW über SW nach S)
F H 1	NW	nördl. Gehänge des Striegistales, halbwegs zwischen Lichtenberg und Bräunsdorf; Felsklippen im Wald unweit der Stephanmühle
F H 2	V	Steinbruch 750 m NE Eisenbahnbrücke über das Tal der Striegis zwischen Oberschöna und Wegfarth
F H 3	SW	Steinbruch, 325 m NW-lich der Kirche Eppendorf
F H 4	± söhlig	aufgelassener Steinbruch auf dem Schützenberg, 1,4 km südlich der Kirche Zethau

Aus Tabelle 3 sind die gemessenen und errechneten Zirkondaten ersichtlich.

In Tabelle 3/I wurden die Resultate der an jedem Zirkonkristall durchgeführten Längenmessungen zusammengestellt. Alle Längen kleiner als 0,04 mm sind zu einer Längengruppe vereinigt worden. Es wurden keine Zirkone aufgefunden, die länger als 0,17 mm sind. Zuerst ist für jede Probe die Anzahl der in die einzelnen Längengruppen fallenden Zirkone angegeben, daraus ist dann der prozentuale Anteil der fünf Längengruppen an der Gesamtzusammensetzung errechnet worden.

Es wird festgestellt, daß 60,5% der 800 untersuchten Zirkone im Intervall von 0,04–0,07 mm Länge liegen.

Aus der gemessenen Länge und Breite ist wiederum der Elongationswert errechnet worden. Die zu Elongationsgruppen zusammengefaßten Elongationseinzelwerte sind in Tabelle 3/II registriert, wobei die Aufschlüsselung bei den Einzelproben F H 1 bis F H 4 in Stückzahl und bei der (aus der Vereinigung der vier Einzelproben entstandenen) Sammelprobe in Prozenten erfolgte.

Es wird festgestellt, daß 31,1% der vermessenen Zirkone des Freiburger „Oberen Graugneises“ in die Elongationsgruppe 1,4 zu liegen kommen.

Aus Tabelle 3/III sind die Integralkoeffizienten zu ersehen; die Werte variieren zwischen 2,2 und 4,5. Die Zirkone des Oberen Freiburger Graugneises (Hüllgneis) werden durch eine L/B-Kennkurve mit dem Integralkoeffizienten 3,4 charakterisiert.

Über den Rundungsgrad unterrichtet Tabelle 3/IV. Der Anteil der idiomorphen Zirkonkristalle (2,4%) ist ganz außergewöhnlich gering, während der Anteil der stark gerundeten Zirkone (das sind Zirkonindividuen, an denen keine ebenen Flächen mehr erkennbar sind) mit 30,1% den bisher höchsten Wert erreicht.

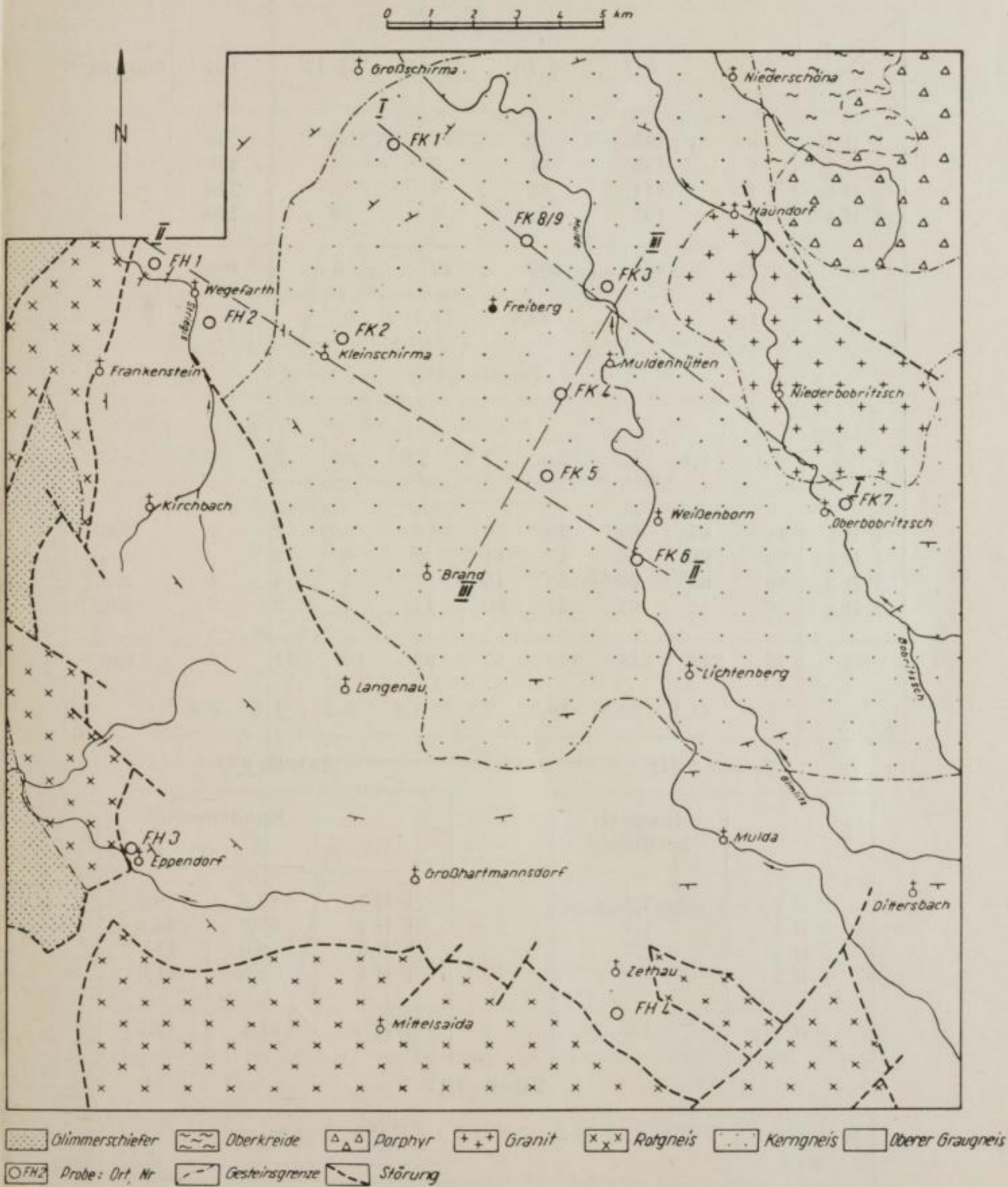


Abb. 8. Lage der Probenahmeorte im Freiburger Hüll- und Kerngneis

Tabelle 3. Oberer Freiburger Graugneis (Hüllgneis)

Tabelle 3/I

L						Sa.	mm · 10 <sup>-2</sup>
	< 4	4-7	8-10	11-14	15-17		
F H 1	8	103	72	14	3	200	
F H 2	1	135	61	3	—	200	
F H 3	1	111	82	6	—	200	
F H 4	4	135	52	6	3	200	
Sa.	14	484	267	29	6	800	
%	1,8	60,5	33,4	3,7	0,7		

Tabelle 3/II

L/B										Sa.
	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,3	
F H 1	11	<b>65</b>	<b>68</b>	30	10	9	3	2	2	200
F H 2	33	<b>66</b>	56	17	11	9	6	2	—	200
F H 3	18	<b>65</b>	<b>60</b>	25	15	7	5	4	1	200
F H 4	8	52	<b>61</b>	34	21	14	4	3	3	200
Sa.	70	<b>248</b>	<b>245</b>	106	57	39	18	11	6	800
%	8,8	31,1	30,6	13,3	7,1	4,9	2,2	1,4	0,8	

Tabelle 3/III

	Integral- koeffizient
F H 1	3,9
F H 2	4,5
F H 3	3,5
F H 4	2,2
F H ∅	3,4

Tabelle 3/V

	Rundungsindex	
	A	B
F H 1	27,6	6,9
F H 2	65,7	23,3
F H 3	49,0	17,0
F H 4	39,0	11,0
F H ∅	41,1	12,7

Tabelle 3/IV

Rundungs- grad	F H 1	F H 2	F H 3	F H 4	Sa.	%
—	7	3	4	5	19	2,4
+	145	127	128	140	540	67,5
++	48	70	68	55	241	30,1

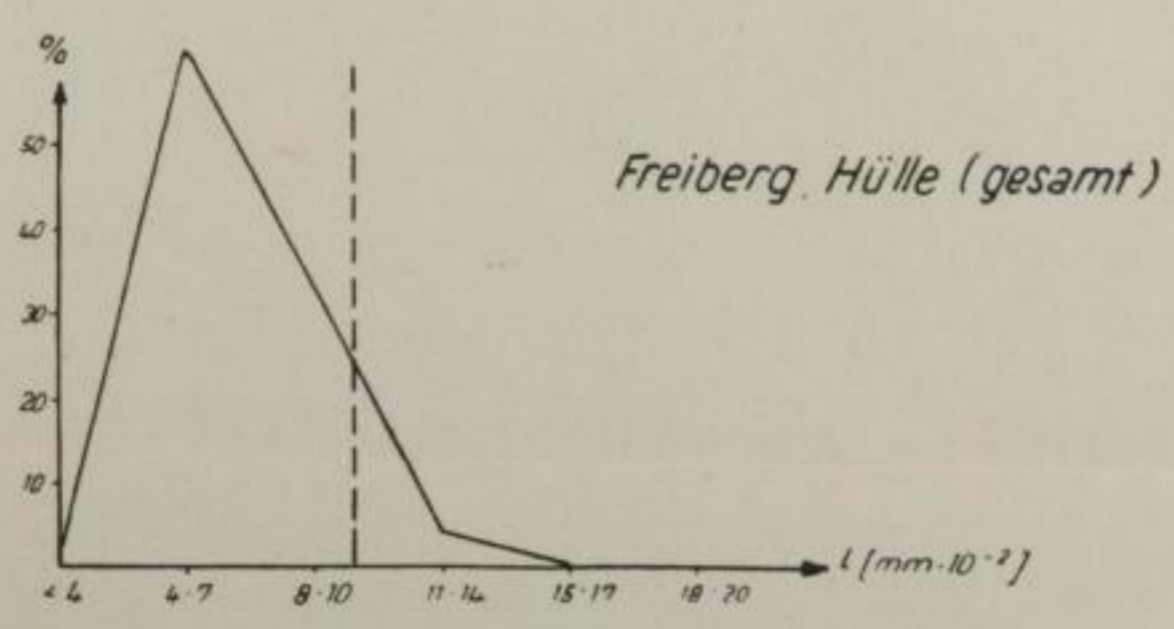
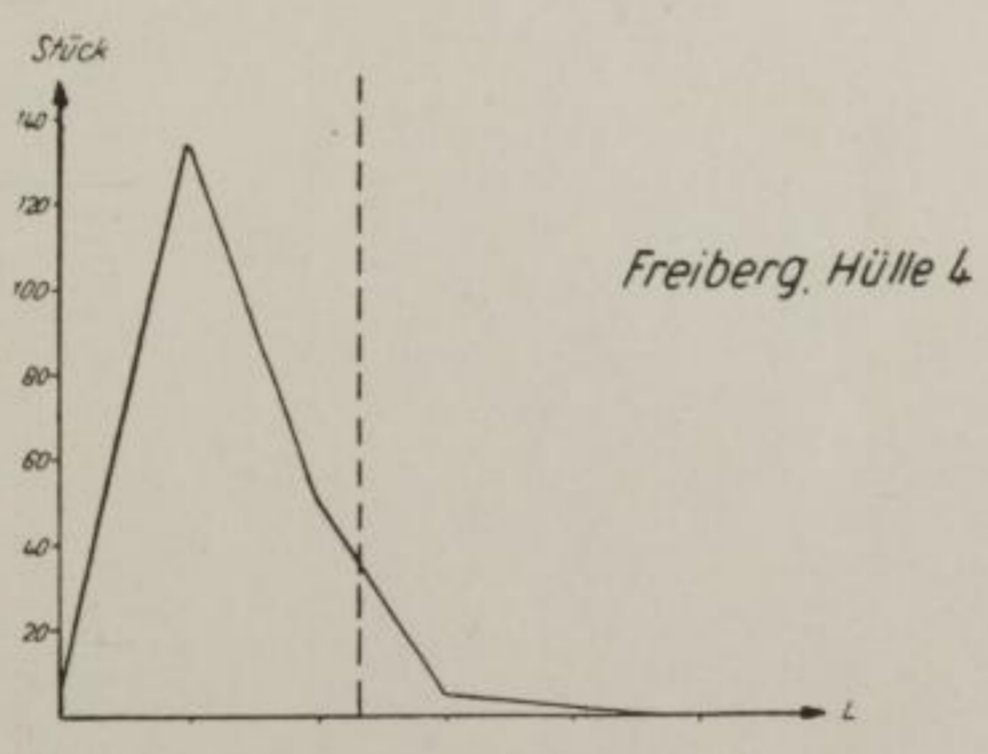
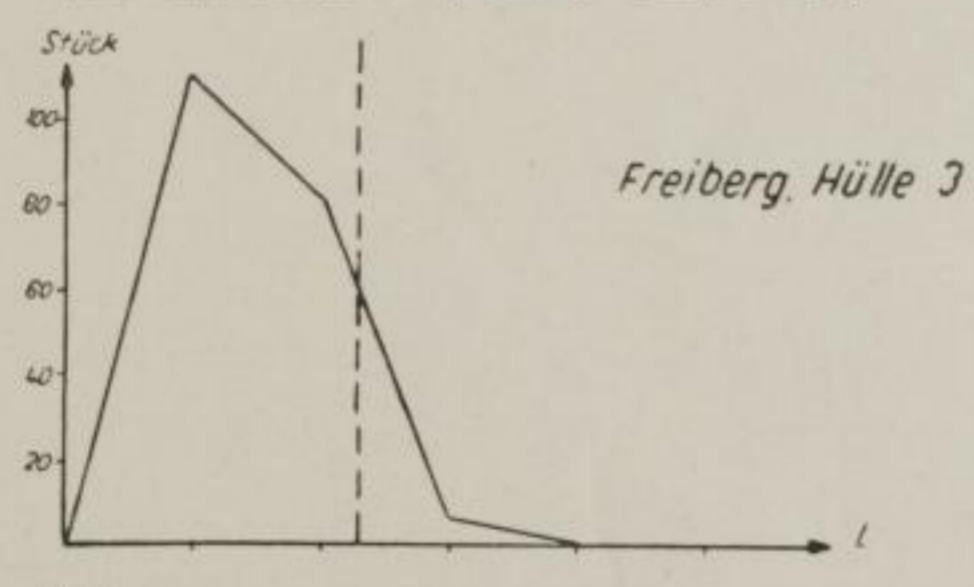
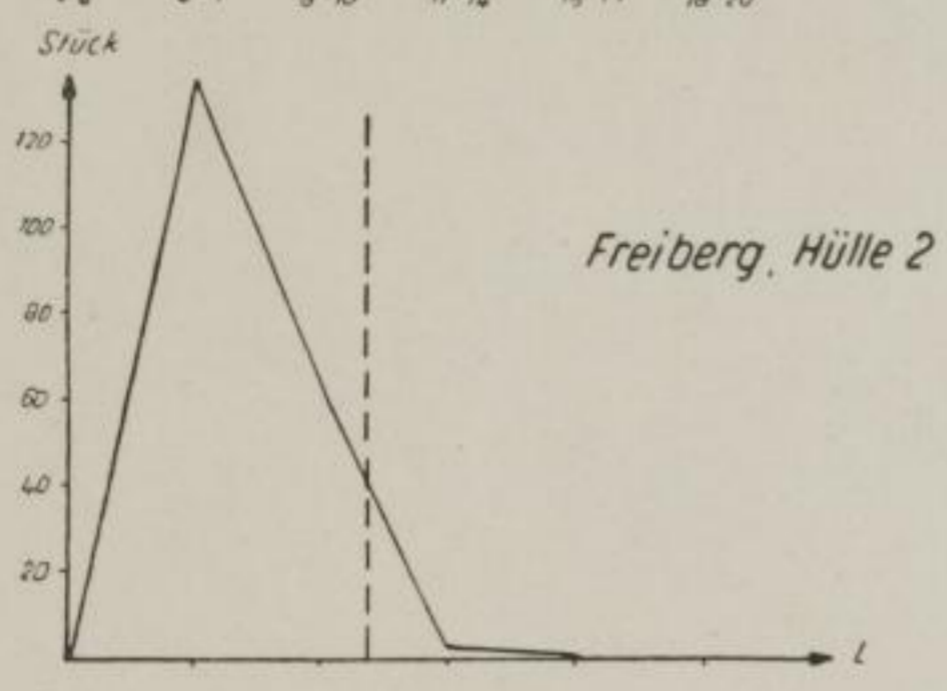
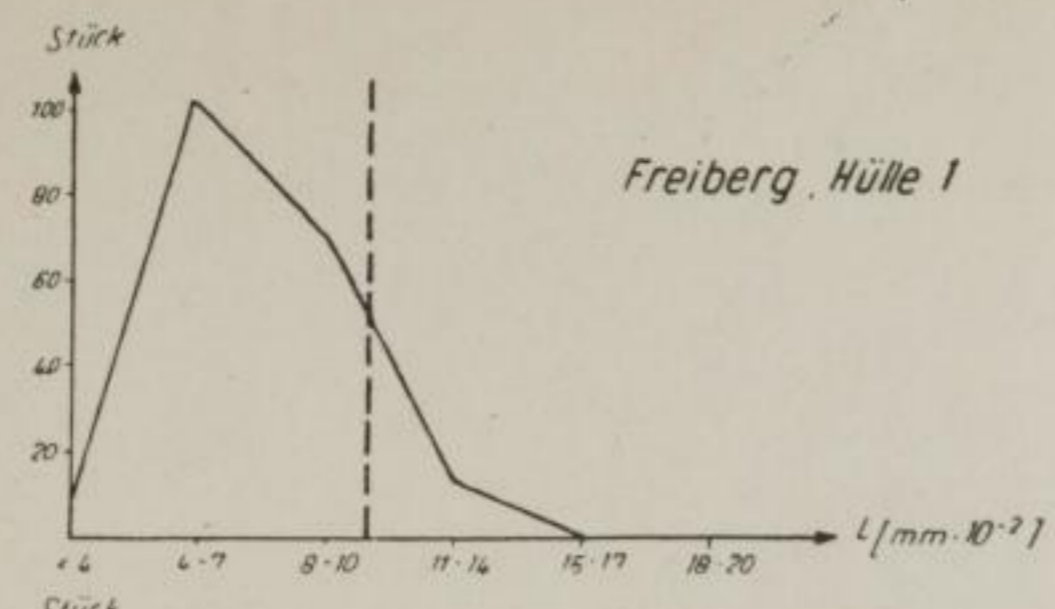


Abb. 9. Längenhäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Freiburger Hüllgneis

In Tab  
G.L.: Hand  
Die We  
besitz  
F H I  
und F H  
jeweils  
bis 10 be  
Kupfer v  
1000-10  
Die Ein  
höfliche  
bring m  
bei 1.0  
wird. W  
die bes  
erreich  
güterh  
der Grup  
Nach de  
wird. auf  
Münzberg

	K
	v
Freiburg	
Hilf	

2.2.2. De  
2.2.1. B  
Der Ger  
Kopp. M  
wahr m  
von 12 17  
bildet der  
denn 25  
Anstalt  
In Kern  
von Freib  
Kontroll  
günstlich

In Tabelle 3/V sind die Rundungsindizes berechnet worden (Rundungsindex A: 41,1; Rundungsindex B: 12,7).

Die Werte aus Tabelle 3/I sind zur Konstruktion von Längenhäufigkeitskurven benutzt worden. Wie Abb. 9 zeigt, ähnelt der Verlauf der Kurve von Probe F H 1 dem der Probe F H 3 nahezu vollkommen. Zum Verlauf der Kurven F H 2 und F H 4, die untereinander außerordentlich gut übereinstimmen, bestehen einige (wenn auch nur geringe) Unterschiede, die sich vor allem in der Längengruppe 8 bis 10 bemerkbar machen. In der Gesamtkurve sind diese unbedeutenden Schwankungen völlig gelöscht. Das Längenhäufigkeitsmaximum liegt eindeutig bei 4–7 ( $\text{mm} \cdot 10^{-2}$ ).

Die Elongationswerte (vgl. Tabelle 3/II) wurden in Abb. 10 als Elongationshäufigkeitskurven graphisch dargestellt. Allen Kurven gemeinsam ist der steile Anstieg zum Maximum, das einmal etwas früher (Probe F H 2 und Probe F H 3 bei 1,4) und einmal etwas später (Probe F H 1 und Probe F H 4 bei 1,7) erreicht wird. Wiederum liegt bei 2,0 eine Knickstelle (vgl. Annaberg und Marienberg), die besonders deutlich bei F H 2 und F H 3 zum Ausdruck kommt. Die Kurven erreichen ihren Endpunkt übereinstimmend beim Gruppenwert 3,5. – Das Elongationshäufigkeitsmaximum der Freiburger Oberen Gneise (Hüllgneise) ist zwischen den Gruppenwerten 1,4 und 1,7 gespreizt, wobei der Wert 1,4 schwach betont ist.

Nach der Zirkonstatistik erhält der Freiburger Hüllgneis die folgenden Kennwerte, auf die im Zusammenhang mit der Zirkoncharakteristik des Annaberger und Marienberger Graugneises noch näher einzugehen sein wird:

Kennwerte	Elongationshäufigkeitsmaximum	Integralkoeffizient	Längenhäufigkeitsmaximum	Rundungsindex	
				A	B
Freiberger Hüllgneis	1,4 (31,1%)	3,4	0,04—0,07 mm (60,5%)	41,1	12,7

### 2.3.2. Der Untere Freiburger Graugneis (Freiberger Kerngneis)

#### 2.3.2.1. Bemerkungen zur Genese des Kerngneises

Der Graue Gneis der „unteren Stufe“ bildet das Zentrum der großen Freiburger Kuppel. Mit einer Ausstrichbreite von rd. 300  $\text{km}^2$  (den Raum östlich Dippoldswalde rechnen wir nicht mehr zur Freiburger Antiklinale) nimmt der Kerngneis etwa 42 (Flächen-) % des Freiburger Graugneisareals ein. Im Oberflächenanschnitt bildet der Kerngneis ein zusammenhängendes Gebiet von der Gestalt einer Ellipse, deren 27 km lange Längsachse ziemlich genau E–W streicht. Der Nordrand der Ausstrichellipse ist im Raum Grillenburg tief eingebault (vgl. Abb. 7).

Im Kerngneis setzen die weit über 1000 Erzgänge des bekannten Gangfeldes von Freiberg-Brand auf, in welchem der Bergbau (mit nur kurzperiodischen Unterbrechungen) seit nahezu 900 Jahren umgeht. Genetisch werden die Erzgänge einem granitischen Tiefenkörper zugeordnet (O. W. Oelsner, 1952a und 1952b / A. Watz-

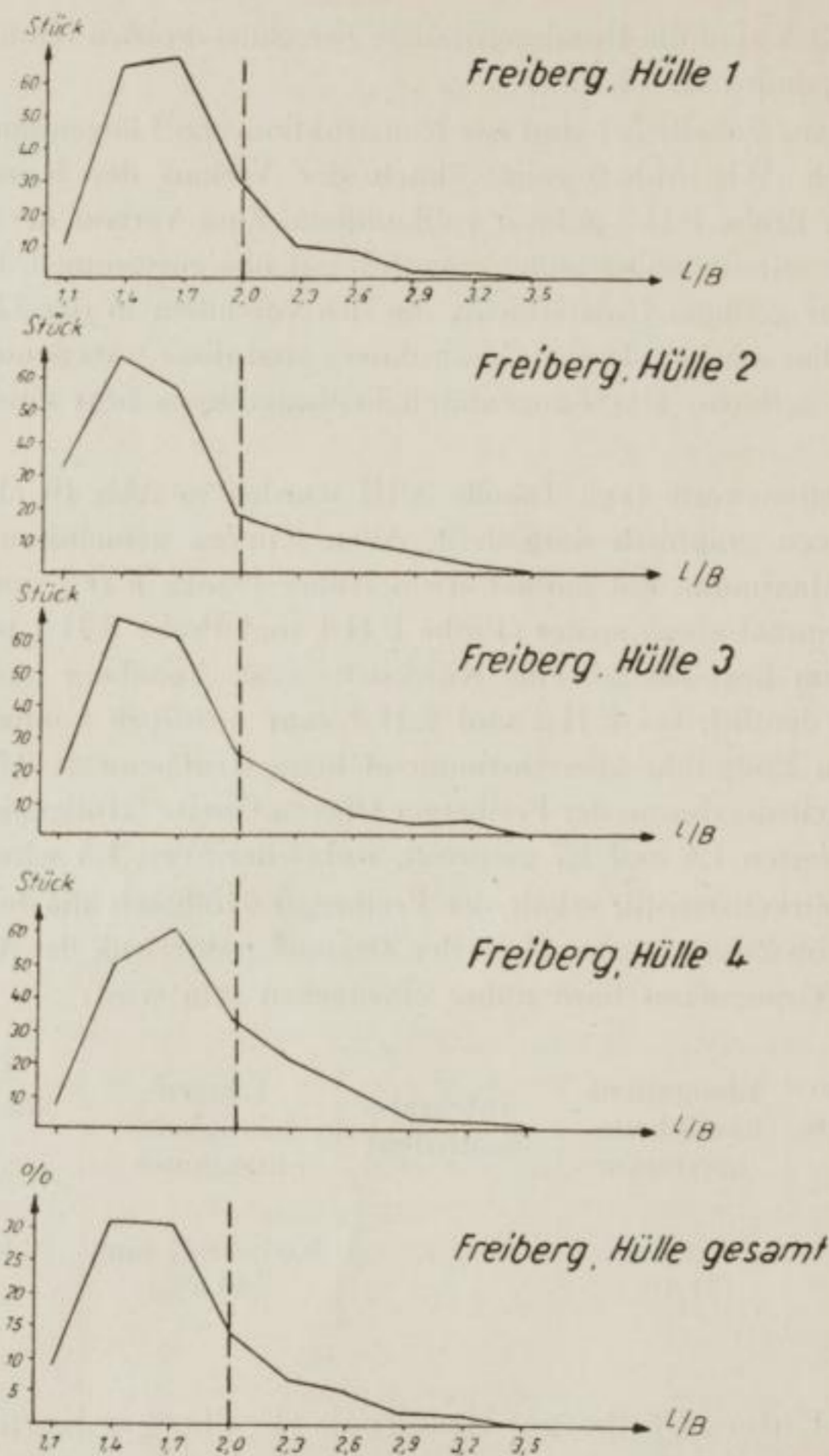


Abb. 10. Elongationshäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Freiburger Hüllgneis

nauer, 1954 / G. Tischendorf, 1955 / L. Baumann, 1958), der die Freiburger Graugneise weiträumig unterteuft. Im Lagerstättenbezirk Freiberg liegen also ganz ähnliche Verhältnisse wie in den westerzgebirgischen Gangbezirken von Marienberg und Annaberg vor. Das (noch hypothetische) Freiburger Granitpluton konnte bislang trotz mehrfacher Versuche (G. Tischendorf & M. Kraft, 1960) weder im Freiburger Zentralgebiet noch im Brandner Revier erbohrt werden.

Der Kerngneis wird durchbrochen vom Niederbobritzsch-Naundorfer Granit (der sicher älter als das hypothetische Pluton ist), von dem die ganz vorwiegend in den peripheren Hüllgneisen aufsetzenden Erzgänge der eq-Formation abgeleitet werden (M. Donath bei O. W. Oelsner, 1952).



Die Genese des Freiburger Kerngneises ist, wie wir bereits erwähnt haben, seit einigen Jahren umstritten, nachdem mehrere Jahrzehnte lang am Orthocharakter dieses Gneises kaum Zweifel auftauchten, da in der Periode der Kartierung „keinerlei Einlagerungen festgestellt werden konnten, die man mit Sicherheit auf alte Sedimente beziehen mußte“ (*K. Pietzsch*, 1954). Nach einer mündlichen Mitteilung von *A. Watznauer* an *K. Pietzsch*, wonach es „bei der Durchsicht einer großen Reihe von Dünnschliffen gelungen ist, auch in den Graugneisen der Freiburger Kernzone Relikte sedimentärer Abkunft nachzuweisen“ (*K. Pietzsch*, 1954), änderte *K. Pietzsch* seine bisherige Ansicht dahingehend, daß man den Kerngneis „nach diesen neuen Erfahrungen nicht mehr als Typ eines Eruptivgneises ansehen“ kann.

*N. Biehl* (1956), der die Glimmer des Freiburger Kerngneises chemisch und spektralanalytisch untersuchte, stellte fest, daß in den Glimmerkonzentraten der V-Gehalt 0,01–0,1% beträgt und erwägt, ob die k o n s t a n t e n V-Gehalte „eventuell als weiterer Beweisgrund für die sedimentäre Herkunft (der Kerngneise, d. V.) angenommen werden können. Andererseits hält er auch die „u n r e g e l m ä ß i g e Verteilung des Ti im Gneiskomplex von Freiberg“ für einen möglichen „Beweis für die sedimentäre Herkunft eines großen Teiles der grauen (unteren, d. V.) Gneise.“

1959 lehnt dann *K. Schmidt* die Annahme eines Orthogneis-Paragneis-Implikationsverbandes (wie ihn *C. Gäbert*/1907 und *K. H. Scheumann*/1957; im Sinne haben) ab. *K. Schmidt* nimmt vielmehr an, „daß die ursprünglich vorhandenen mächtigen Pelit- und Psammitserien, deren Habitus in den reliktschen Paragneisen erhalten geblieben ist, nach der Tiefe zu in mittelkörnige Biotit-Plagioklasgneise granodioritischer Zusammensetzung umgewandelt wurden“. Er läßt jedoch die Möglichkeit offen (wohl unter dem Eindruck der Ergebnisse jüngerer Untersuchungen von tschechischer Seite – *J. Holubec*; 1957 –), daß ein Teil der Paragneise synkinematisch in Migmatite und hybride Orthogesteine umgewandelt wurde.

Gegen die Argumente und Vorstellungen von *K. Pietzsch* (1954) sind von *K. H. Scheumann* (1957) schwerwiegende Bedenken geltend gemacht worden, die ihn veranlaßten, an der „alten“ Ansicht über den Orthocharakter des Kerngneises auch weiterhin festzuhalten. Danach ist der Graue Kerngneis entstanden aus einer „syntektonisch eingewanderten magmatischen Masse“. Diese „intrusiven magmatischen Gneise“ brauchen „nicht ‚junevile‘ Magmen zu sein, sondern solche, die sich durch Magmifikation in der Tiefe des Orogens gebildet haben“. Der Kerngneis ist nach *K. H. Scheumann* ein synorogenes Granodioritintrusivum.

Im Rahmen dieser Erörterung kommt der Arbeit *W. Gottes* über das Auftreten eines granatführenden Muskowitglimmerschiefers als Horizont am SW-Rand der Freiburger Graugneiskuppel (im Gebiet der Grubenauffahrungen von „Himmelsfürst“ bei Brand) eine hohe Bedeutung zu. Der Glimmerschiefer (Mächtigkeit 20 m bis über 200 m) und ein mit diesem in engem Verband stehender feldspatführender Muskowitquarzit (Mächtigkeit 5 m bis 20 m) werden als ehemalige Sedimente gedeutet. Der Glimmerschieferhorizont bildet eine stark nordvergente S-förmige Falte; das Streichen der Faltenachse beträgt 110° (*W. Gotte*, 1956). Diese Richtung entspricht in diesem Raum angenähert der Streichrichtung der Grenze Kerngneis-

Hüllgneis. Durch weitere Aufschlüsse konnte der Verlauf der Falte inzwischen weiter verfolgt werden (*M. Kraft u. G. Tischendorf, 1960 / W. Gotte und G. Richter, 1960*).

Der hangende Muldenschenkel fällt mit rd.  $45^\circ$  nach S von Übertage (Gegend des Glückauf-Schachtes) auf 1200 m Länge bis zum Muldenkern. Vom Muldentiefst steigt der liegende Schenkel (= hangende Sattelflanke der S-Falte) auf mehr als 3000 m mit  $10^\circ$  nach N an, um dann als liegende Sattelflanke mit  $20^\circ$  nach S wieder abzutauchen.

*W. Gotte* kennt außer dem Glimmerschiefer-Quarzit-Horizont in dessen Nähe noch einen kalkreichen Horizont („Schwärme von Marmorlagen“) und schlußfolgert (1956), daß wegen dieser (sedimentären) Einlagerungen „der Freiburger Kerngneis nicht mehr als typischer Orthogneis gelten kann“, wobei – natürlich – vorausgesetzt wird, daß dieser Horizont im Kerngneis aufsetzt, der hier in der Varietät des sog. Himmelsfürster Gneises (s. o.) vorliegt.

Betrachtet man aber die von *M. Kraft u. G. Tischendorf* (1960) gegebene Beschreibung der Bohrung T 2 genauer, dann tauchen Zweifel auf, ob der Glimmerschieferhorizont tatsächlich Bestandteil des Kerngneises ist: von 0–144 m Wechsellagerung von Biotit- und Muskowitgneis; im Granatglimmerschieferintervall Einlagerungen von Zweiglimmergneisen; von 397–845 m flasriger, glimmerreicher Gneis (Wegefarter Gneis ?, d. V.). In einem daraufhin erfolgtem Gespräch des erstgenannten Autors vorliegender Arbeit mit *W. Gotte*, der als verantwortlicher Bearbeiter der Brander Neuaufschlüsse als einer deren bester Kenner gelten muß, hält es *W. Gotte* (1961) für durchaus möglich, daß der erwähnte Glimmerschieferhorizont und der Himmelsfürster Gneis Bestandteile des Hüllgneises sind.<sup>2</sup> Es erscheint deshalb nicht mehr angängig, aus der Existenz des – sicher sedimentogenen – Glimmerschiefers auf den Paracharakter des Kerngneises schließen zu müssen. Wir haben vorläufig den Südteil des Brander Reviers aus unseren Untersuchungen ausgelassen. Dieser Raum soll Gegenstand einer Sonderstudie sein.

#### 2.3.2.2. Ergebnisse der zirkonstatistischen Untersuchungen

Vor uns steht die Aufgabe, festzustellen, ob zirkonstatistische Untersuchungen einen Beitrag zu der aufgezeigten Problematik liefern können. Nachdem die Auswertung der vorhergegangenen Untersuchungen gezeigt hat (vgl. Abschn. 3.2.),

- a) daß hinsichtlich der zirkonstatistischen Kennwerte der Annaberger, der Marienberger und der Obere Freiburger Gneis (Hüllgneis) weitestgehende Übereinstimmung zeigen und
- b) daß die zirkonstatistischen Kennwerte für alle drei Graugneise den (von geologischer Seite seit langem erkannten) Paracharakter recht eindeutig bestätigen und sich damit in voller Übereinstimmung mit den Feldergebnissen befinden,

<sup>2</sup> Für die freundliche Mitteilung sind wir Herrn Dipl.-Geol. *Gotte*, Chefgeologe des VEB Geologische Erkundung Süd, Freiberg, sehr zu Dank verpflichtet.

\* ist zu prüfen, ob die zu erarbeitenden zirkonstatistischen Kennwerte der Freiburger Kerngneise mit denen der Oberen Graugneise übereinstimmen (was im Analogieschluß zur Folge haben müßte, die Kerngneise auch vom Standpunkt der Zirkonstatistik in die Reihe der Parametamorphite einzustufen) oder ob sich grundsätzlich andere Kennwerte ergeben, die für die Kerngneise eine andere genetische Deutung verlangen.

Bei der Bedeutung, die dieser Frage zukommt, hielten wir es für erforderlich, aus dem Kerngneis eine wesentlich höhere Zahl an Proben zu untersuchen. Die Probenahmeorte legten wir entlang von drei Profilen (vgl. Abb. 8):

Profil I-I: nördlich Freiberg, von SE nach NW, Länge 13 km mit den Proben Nr. 1, 8/9, 3 und 7;

Profil II-II: südlich Freiberg, von SE nach NW, Länge 9 km, mit den Proben Nr. 2, 5 und 6.

An dieses Profil können in NW-licher Verlängerung die Proben F H 1 und F H 2 aus dem Hüllgneis angeschlossen werden (dadurch verlängert sich das Profil auf 13 km);

Profil III-III: östlich Freiberg, von NNE nach SSW, Länge 5 km, mit den Proben Nr. 3, 4 und 5.

An dieses Profil können nach SSW die späteren (s. o.) Untersuchungen des Himmelsfürster Gebietes angeschlossen werden.

Wir hielten es für wünschenswert und notwendig, in unsere Arbeiten das Material der Tiefbohrung ET 1/55 aus dem Freiburger Zentralfeld mit einzubeziehen. Das untersuchte Intervall (1187–1307 m unter Tagesoberfläche) stellt den derzeit tiefsten Aufschluß des Freiburger Kerngneises dar. Der mit dieser Bohrung

Nr. der Probe	Lokalität
F K 1	aufgelassener Steinbruch im Fürstenbusch zwischen Kleinwaltersdorf und Rothenfurth, 750 m SSE Zechenteich
F K 2	Steinbruch a. d. Straße Kleinschirma-Kleinwaltersdorf, N-Ausgang Kleinwaltersdorf
F K 3	Felsentblößung an der großen Straßenschleife der Staatsstraße Freiberg-Dresden bei Halsbach
F K 4	aufgelassener Steinbruch a. d. Straße Freiberg-Weißenborn, am Lerchenhübel
F K 5	aufgelassener Steinbruch i. d. Ortschaft Langenrinne, 500 m nördl. Großer Hüttenteich, am Goldberg (N. 472,2)
F K 6	Felsklippen a. d. Straße zwischen Papierfabrik Weißenborn und Lichtenberg, östl. Muldenufer
F K 7	aufgelassener Steinbruch am Kirchsteig von Ober-Bobritzsch
F K 8/9	Bohrkern d. Bohrung ET 1/55, „Reiche Zeche“, 13. Gezeugestrecke, Querschlag z. Schwarzen Hirsch Sth., 320 m westl. Erzengel Sth.; Intervall zwischen 660–780 m (= 1187–1307 m unter Hängebank)

Tabelle 4. Freiburger Kerngneis

Tabelle 4/I

L										Sa.	mm · 10 <sup>-2</sup>
	<4	4-7	8-10	11-14	15-17	18-20	21-24	25-27	>27		
FK 1	1	5	39	85	44	16	7	3	—	200	
FK 2	1	18	92	58	23	5	3	—	—	200	
FK 3	—	—	18	52	68	45	8	5	4	200	
FK 4	—	2	29	76	49	21	18	2	3	200	
FK 5	—	5	50	71	49	14	5	4	2	200	
FK 6	—	6	54	76	43	14	7	—	—	200	
FK 7	—	8	35	86	45	13	10	3	—	200	
FK 8	—	11	56	80	45	8	—	—	—	200	
FK 9	—	1	26	32	51	41	26	13	10	200	
Sa.	2	56	399	616	417	177	84	30	19	1800	
%	0,1	3,1	22,2	34,3	23,2	9,8	4,7	1,7	1,1		

Tabelle 4/IV

Rundungsgrad	FK1	FK2	FK3	FK4	FK5	FK6	FK7	FK8	FK9	Sa.	%
—	48	67	59	66	62	46	72	52	60	532	29,6
+	107	37	103	110	126	122	92	131	124	979	54,4
++	45	96	11	24	12	32	36	17	16	289	16,1

Tabelle 4/III

	Integralkoeffizient
FK 1	0,42
FK 2	0,34
FK 3	0,17
FK 4	0,21
FK 5	0,25
FK 6	0,27
FK 7	0,25
FK 8	0,46
FK 9	0,31
FK $\emptyset$	0,29

Tabelle 4/V

	Rundungsindex	
	A	B
FK 1	3,2	0,9
FK 2	2,0	1,4
FK 3	2,4	0,2
FK 4	2,0	0,4
FK 5	2,2	0,2
FK 6	3,4	0,7
FK 7	1,8	0,5
FK 8	2,8	0,3
FK 9	2,3	0,3
FK $\emptyset$	2,4	0,6

Tabelle 4/II

L/B	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	>6,0	Sa.
FK 1	6	5	30	<b>36</b>	29	21	16	14	5	7	3	<b>10</b>	4	3	3	—	5	3	200
FK 2	2	12	<b>28</b>	17	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	8	13	5	5	8	4	7	2	2	3	2	200
FK 3	—	2	14	26	<b>41</b>	<b>29</b>	26	16	9	5	10	9	6	2	1	1	1	2	200
FK 4	—	5	18	24	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	27	8	11	6	4	6	4	1	1	—	2	200
FK 5	1	5	22	<b>25</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	9	12	12	8	3	2	2	5	3	3	2	200
FK 6	3	14	14	23	<b>33</b>	27	19	18	7	9	9	5	4	5	1	4	1	4	200
FK 7	—	7	19	28	<b>36</b>	24	24	14	10	8	12	6	4	1	—	—	3	4	200
FK 8	1	17	27	<b>37</b>	<b>41</b>	29	18	8	8	4	1	5	2	2	—	—	—	—	200
FK 9	1	6	22	<b>37</b>	<b>42</b>	24	19	15	7	6	8	5	2	2	2	—	—	2	200
Sa.	14	72	194	253	<b>309</b>	234	206	129	79	67	62	55	34	28	15	11	16	21	1800
%	0,8	4,1	10,8	14,1	17,2	13,0	11,4	7,2	4,4	3,7	3,4	3,1	1,9	1,6	0,8	0,6	0,9	1,2	

Die Freiburger Grauen Gneise

durchsunkene Gesteinskomplex „ist durch seine außerordentliche Eintönigkeit hinsichtlich Mineralbestand und Gefüge gekennzeichnet“ (M. Kraft u. G. Tischendorf, 1960)<sup>3</sup>.

Die (gemessenen und errechneten) Daten der Zirkone des Freiburger Kerngneises sind in Tabelle 4 verzeichnet.

Die Ergebnisse der Längenmessungen sind aus Tabelle 4/I ersichtlich. Das erfaßte Meßintervall ist sehr groß, es reicht von 0,023 mm (kleinste gemessene Länge) bis 0,347 (größte gemessene Länge). Aus diesem Grunde machte es sich erforderlich, das gesamte Längen-Bereich in neun Längengruppen zu unterteilen (beim Marienberger Graugneis waren wir mit vier, beim Freiburger Hüllgneis mit fünf Längengruppen ausgekommen). Zunächst ist wiederum angegeben, wieviel Zirkone jeder Probe (F K 1 – F K 9) auf die einzelnen Längengruppen entfallen. Daraus wurde (in den beiden letzten Zeilen der Tabelle) dann der prozentuale Anteil berechnet, mit dem jede Längengruppe an der Gesamtzusammensetzung beteiligt ist.

Es wird festgestellt, daß 34,3% der 1800 vermessenen Zirkone im Intervall zwischen 0,11–0,14 mm Länge liegen.

In Tabelle 4/II sind die aus dem Verhältnis Länge : Breite sich ergebenden Elongationswerte (jeweils drei nebeneinanderliegende Einzelwerte zu einer Elongationsgruppe zusammengefaßt) zusammengestellt worden. Um die gesamten Werte zu erfassen, mußten 18 Elongationsgruppen gebildet werden (beim Annaberger, Marienberger und Freiburger Oberen Graugneis waren nur 7–9 Gruppen erforderlich!). Diese hohe Zahl von Elongationsgruppen wird bedingt sowohl durch das große Längenintervall (s. o.) als auch durch die beträchtlichen Unterschiede in der Breite der Zirkonkristalle (geringste Breite 0,017 mm, größte Breite 0,136 mm). Eine derartige Beobachtung war uns bei der Bearbeitung der Schwarzenberger Granite schon einmal aufgefallen (Schützel & Kutschke, 1960).

Es wird festgestellt, daß die meisten Zirkone (17,2%) des Kerngneises in der Elongationsgruppe 2,3 liegen.

In Tabelle 4/III sind die errechneten Integralkoeffizienten erfaßt worden. Die Werte der neun Einzelproben schwanken zwischen 0,17–0,46. Die L/B-Kennkurve der Zirkone des Freiburger Kerngneises (gesamt) ist durch den Integralkoeffizient 0,29 gekennzeichnet.

Die Angaben über den Rundungsgrad finden sich in Tabelle 4/IV. Der Anteil der idiomorphen Zirkonkristalle (29,4%) ist wesentlich höher als der Anteil der stark gerundeten Zirkone (16,8%). Daraus ergibt sich, daß die Rundungsindizes (vgl. Tabelle 4/V) sehr niedrig sind. Tabelle 4/V läßt außerdem erkennen, daß die Werte der Rundungsindizes auffällig gering streuen. Die Werte für Probe F K 2 fallen etwas aus der Reihe. Als Mittelwert aus neun untersuchten Proben (= 1800 Zirkone) ergibt sich für Rundungsindex A der Wert 2,4, für Rundungsindex B der Wert 0,6.

<sup>3</sup> Das Kernmaterial stellte uns dankenswerter Weise der VEB Geolog. Erkundung Süd, Freiberg, zur Verfügung.

In Abb. 11 sind die gemessenen Längen (vgl. Tabelle 4/I) als Funktion der Häufigkeit graphisch dargestellt worden.

So verschiedengestaltig der Verlauf der einzelnen Längenhäufigkeitskurven ist, so zeigen dennoch einige Kurven untereinander recht gute Übereinstimmung. Das gilt für die Kurven der Proben F K 4, F K 7 und F K 1, wobei F K 4 und F K 7 sogar in Einzelheiten (wie z. B. der auffälligen Stufe zwischen den Gruppenwerten 18–20 und 21–24) sich gleichen. Oberhalb der „20-Stück“-Horizontalen sind die Kurven von F K 1 und F K 7 bei sehr symmetrischem Bau nahezu kongruent.

Die Übereinstimmung im quantitativen Kurvenverlauf ist offensichtlich unabhängig von der Lage der Proben innerhalb des Gneiskomplexes (vgl. Abb. 8).

Zu einer zweiten Gruppe lassen sich die Kurven F K 5, F K 6 und F K 8 zusammenfassen. Diese Kurven unterscheiden sich von denen der ersten Gruppe nur in der Ausbildung des ansteigenden Kurvenastes, der beim Abszissenwert 8–10 angehoben ist, so daß die Kurven ihrem Maximum in konvexen Bögen (die in frappierender Genauigkeit sich gleichen) zustreben. In diese Gruppe kann, wenn man nur die qualitativen Kurveneigenschaften betrachtet, noch die Kurve der Probe F K 3 mit einbezogen werden. Die Einheitlichkeit des Kurvenverlaufes ist auch in dieser Kurvengruppe unabhängig von der Lage der Proben innerhalb des Gneiskomplexes.

Weder untereinander noch mit einer der beiden Gruppen übereinstimmend erweisen sich die Längenhäufigkeitskurven der Proben F K 2 und F K 9, wobei der Verlauf von F K 9 sehr gut in die genetische Ausdeutung (s. u.) hineinpaßt, dagegen F K 2 eine Ausnahmestellung einnimmt. Das kommt besonders gut zum Ausdruck, wenn man die Lage der Kurvenmaxima vergleicht. Von den neun untersuchten Proben liegt bei einer einzigen Längenhäufigkeitskurve (eben bei F K 2) das Maximum links der (gestrichelt gezeichneten vertikalen) Trennlinie, während bei acht Kurven das Maximum rechts der Trennlinie liegt. Diese Sonderstellung der Probe F K 2 muß sich auch in der Elongationskurve widerspiegeln, wie wir noch sehen werden.

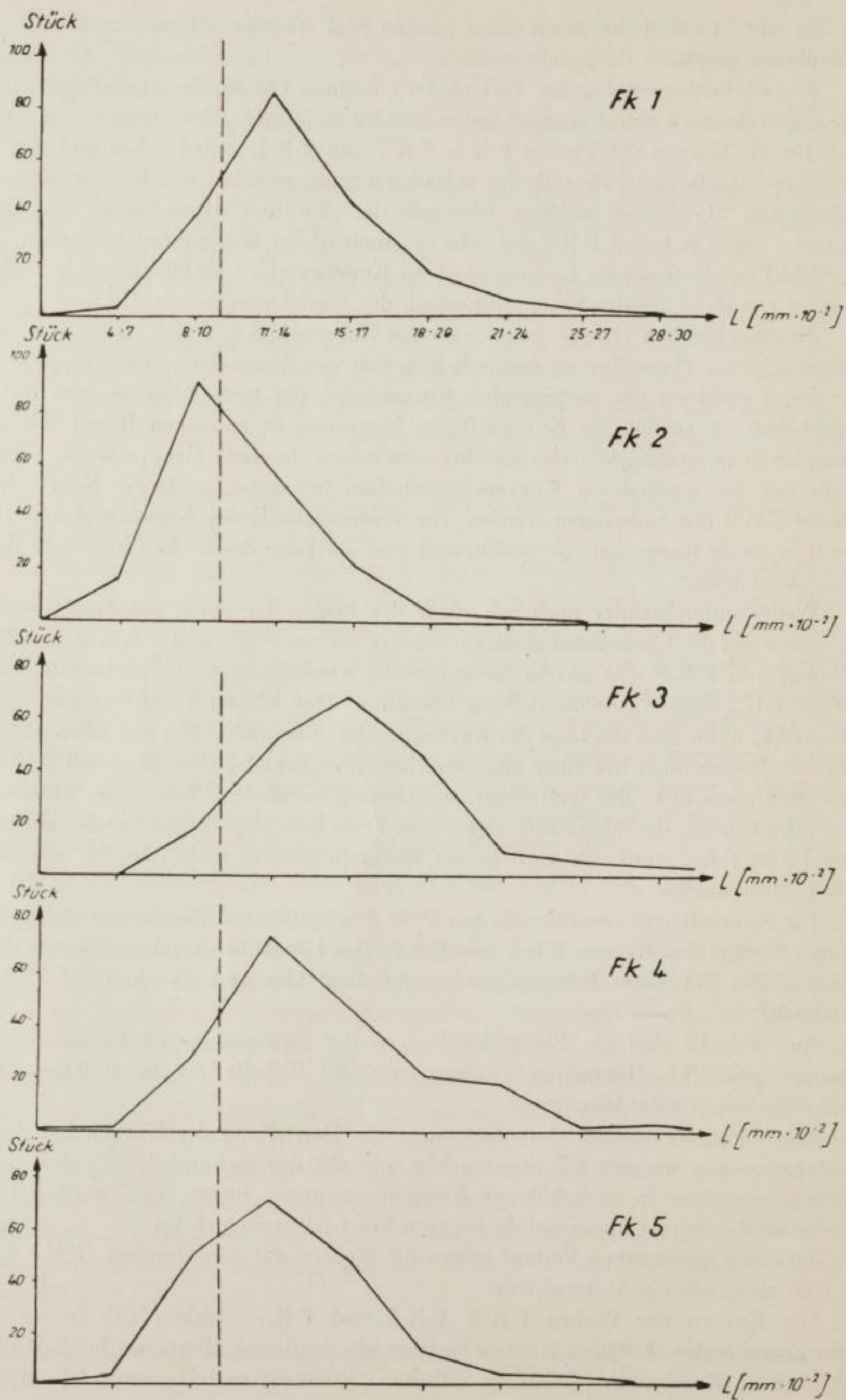
Die Sammelkurve (resultierend aus 1800 durchgeführten Messungen) gleicht in ihrem Verlauf den Kurven F K 5 und F K 6. Das Längenhäufigkeitsmaximum der Zirkone des Freiburger Kerngneises (gesamt) liegt klar und eindeutig bei 11–14 ( $\text{mm} \cdot 10^{-2}$ ).

Aus Abb. 12 sind die Elongationskurven der Zirkone des Freiburger Kerngneises ersichtlich (Elongationsgruppenwerte der Tabelle 4/II in funktioneller Abhängigkeit von der Häufigkeit).

Aus zeichentechnischen Gründen wurde die Darstellung der Kurven bei dem Elongationsgruppenwert 4,7 abgebrochen, obwohl durchschnittlich 50% der vermessenen Zirkone in noch höheren Elongationsgruppen liegen (vgl. Tabelle 4/II). Lediglich die Sammelkurve wurde bis zum Wert 5,9 weitergeführt.

In ihrem qualitativen Verlauf zeigen die Kurven der Einzelproben (F K 1 bis F K 9) mannigfaltige Unterschiede.

Die Kurven der Proben F K 3, F K 6 und F K 7 gleichen sich in vielen Einzelmerkmalen. Alle drei Kurven besitzen ein deutliches Maximum bei 2,3. Die abfallenden Kurvenäste (Teilstücke zwischen Maximum und Kurvenende) zeigen





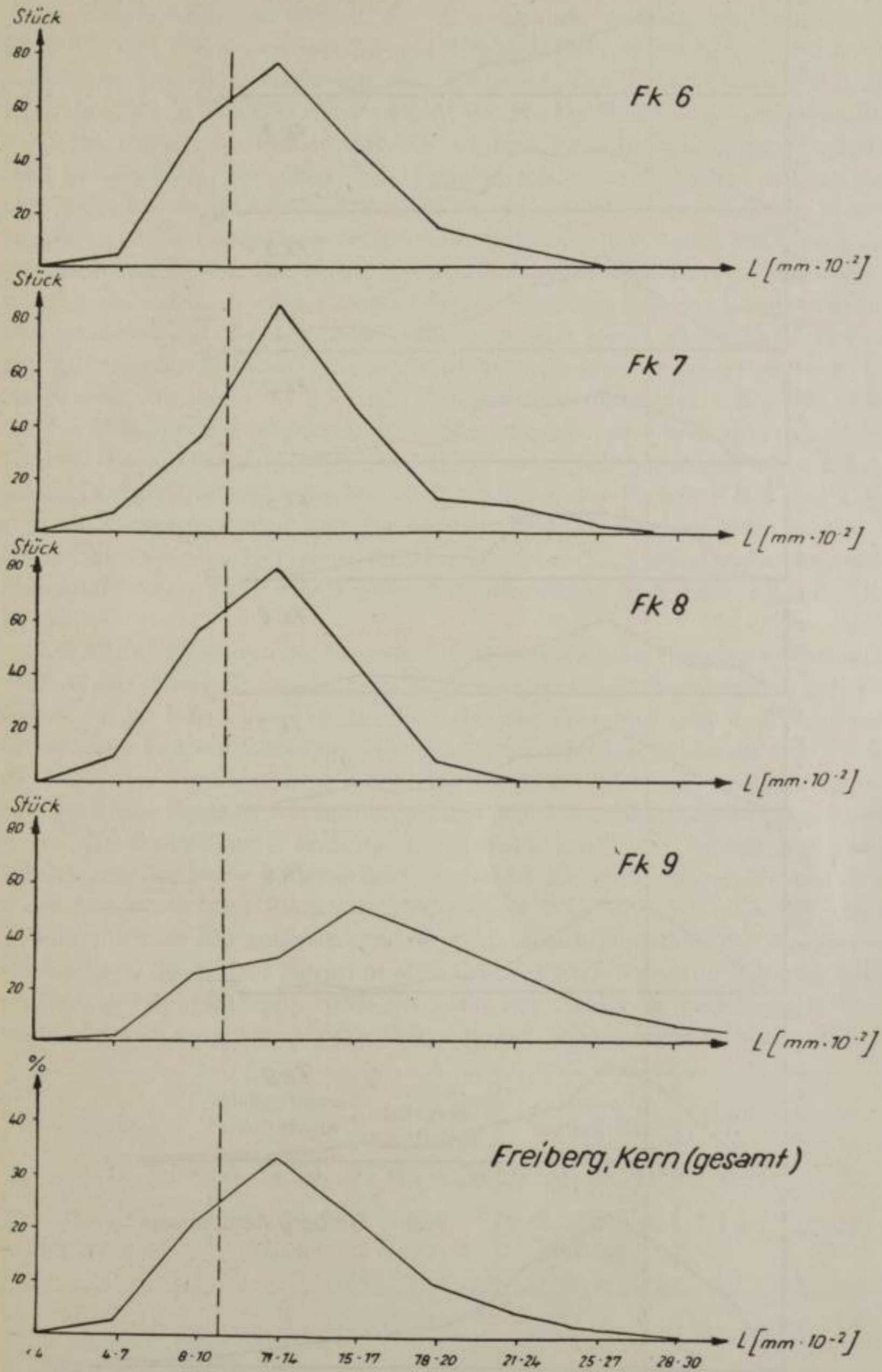


Abb. 11. Längenhäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Freiburger Kerngneis

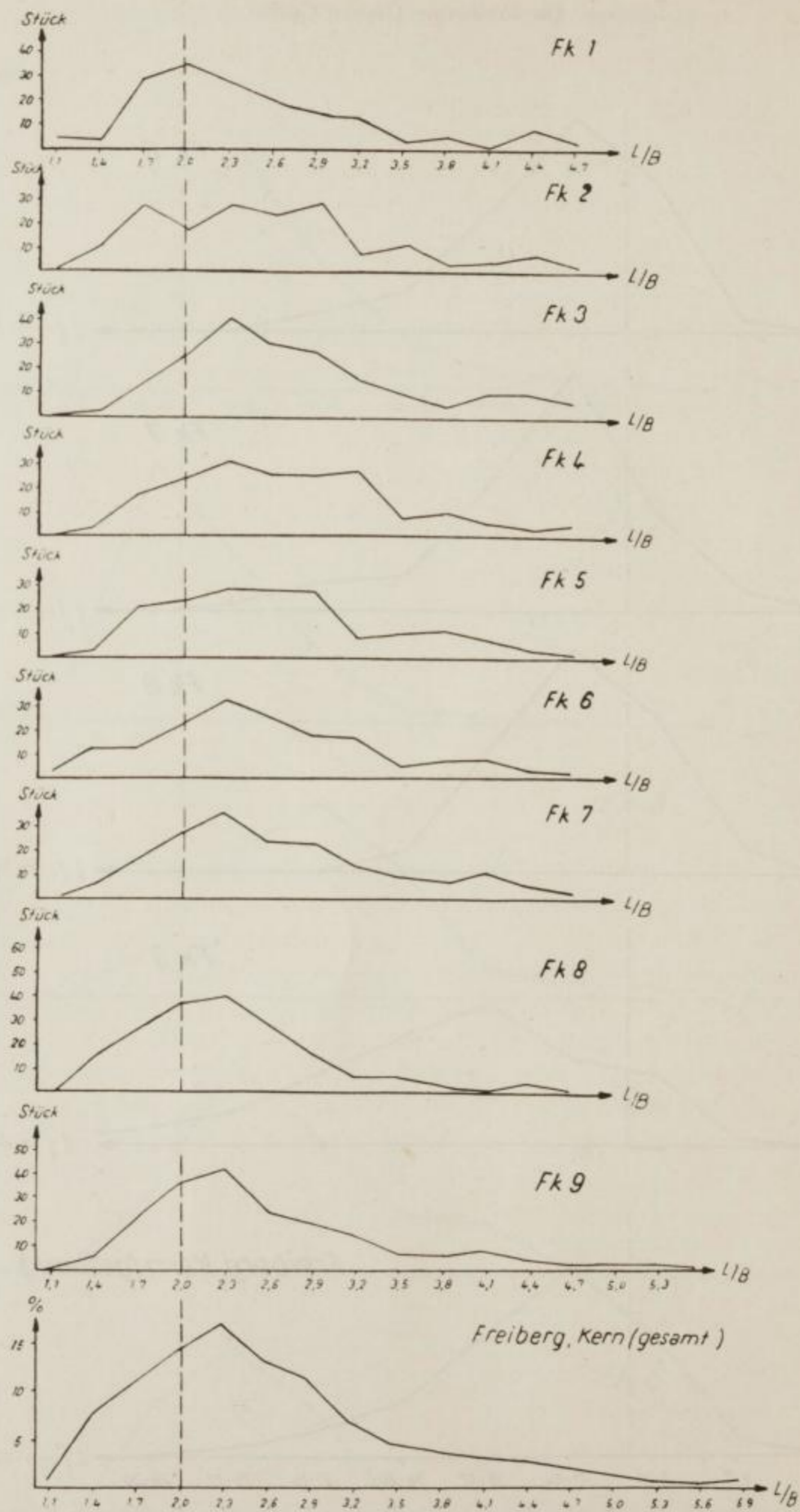


Abb. 12. Elongationshäufigkeitskurven von Zirkonen aus dem Freiburger Kerngneis

einige Gemeinsamkeiten, so z. B. ein  $\pm$  waagrecht verlaufendes Zwischenglied (in F K 7 und F K 3 zwischen 2,6 und 2,9; in F K 6 zwischen 2,9 und 3,2), des weiteren steigen alle drei Kurven nach Erreichen eines Tiefwertes (in F K 3 und F K 7 bei 3,8; in F K 6 bei 3,5) an fast der gleichen Stelle noch einmal deutlich an. – Die Kurven der Proben F K 4, F K 5 und F K 2 besitzen dagegen auffällig breit gezogene Maxima (über 3–4 Gruppenwerte hinweg). Hinter diesen Breitmaxima fallen die Kurven zunächst steil ab, um sich dann allmählich der Abszisse zu nähern. Beim Elongationswert 3,8 sind die Kurven F K 4 und F K 5 noch einmal leicht angehoben. Die Kurve F K 2 nimmt unter allen Kurven eine Sonderstellung ein, indem sie zwei Maxima besitzt, wovon das eine das bereits erwähnte Breitmaximum ist und das andere Maximum, von jenem durch einen Tiefwert bei 2,0 räumlich deutlich getrennt, sehr bemerkenswerterweise links von der (vertikalen) Trennlinie bei 1,7 liegt. Ein derartiges Maximum haben wir bisher nur bei Gesteinen kennengelernt, die Sedimentgesteine sind bzw. sich von solchen ableiten lassen. Das „Aus der Reihe Fallen“ von F K 2 hatten wir schon bei der Längenhäufigkeitskurve beobachtet. – Die Kurven der Proben F K 8 und F K 9 stimmen in ihrem Verlauf sehr gut überein. Beide Kurven erreichen über einen konvex ansteigenden Kurvenast ihr Maximum bei 2,3. Nach Durchsinken eines Minimums steigen beide Kurven nochmals schwach an (F K 8 bei 4,4 und F K 9 bei 4,1).

Die Elongationskurve der Probe F K 1 ist bezüglich der Lage ihres Maximums (bei 2,0) die einzige Kurve, die keine eindeutige genetische Interpretation gestattet. Jedoch ist der Inhalt jener Fläche, die rechts der Trennlinie liegt und von dieser, der Abszisse und der Kurve begrenzt wird, ganz erheblich größer als jene Fläche, die links der Trennlinie liegt. Dadurch ermöglicht auch diese Elongationskurve eine genetische Aussage, wie im übrigen aus dem Integralkoeffizienten hervorgeht.

In der Sammelkurve sind die Unregelmäßigkeiten der Einzelkurven weitgehend gelöscht. Unter stetigem Anstieg erreicht die Sammelkurve ihr sehr deutliches Maximum beim Elongationsgruppenwert 2,3, fällt dann zunächst relativ steil ab, um vom Elongationsgruppenwert 3,5 ab sich allmählich der Abszisse anzuschmiegen. Ihr Verlauf entspricht etwa dem der Einzelkurven F K 8 und F K 9.

Nach der Zirkonstatistik erhält der Freiburger Kerngneis die folgenden Kennwerte, die noch zu vergleichenden Betrachtungen herangezogen werden sollen:

Kennwerte	Elongations- häufigkeits- maximum	Integral- koeffizient	Längen- häufigkeits- maximum	Rundungsindex	
				A	B
Freiburger Kerngneis	2,3 (17,2%)	0,29	0,11—0,14 mm (34,3%)	2,4	0,6

### 3. Auswertung der zirkonstatistischen Untersuchungen

Nachdem wir die erzgebirgischen Grauen Gneise mittels zirkonstatistischer Gruppenwerte kennzeichnen konnten, erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, diese Gruppenwerte (und damit die Gneise selbst) miteinander zu vergleichen.

#### 3.1. Über den Einfluß der Probenzahl auf die zirkonstatistischen Resultate

Zuvor jedoch halten wir es für erforderlich, festzustellen, daß durch eine höhere Zahl an Proben diese Gruppenwerte zwar quantitativ modifiziert worden wären (allerdings nur in geringem Umfang), daß aber in der Qualität der Gruppenwerte (z. B. in ihrer Lage) keine Änderungen eingetreten wären. Das soll am Beispiel des Kerngneises demonstriert werden. Wir greifen dazu die Werte der Proben F K 1, F K 2 und F K 4 heraus (das sind die Proben, die die geringste Übereinstimmung miteinander zeigen):

Längengruppen	4—7	8—10	11—14	15—17	mm · 10 <sup>-2</sup>
F K 1	5	39	85	44	
F K 2	18	92	58	23	
F K 4	2	29	56	49	
Summe	25	160	219	116	
%	4,2	26,7	36,5	18,7	
Kerngneis, gesamt	3,1	22,2	34,3	23,2	

Das Längenhäufigkeitsmaximum liegt bei 0,11–0,14 mm (36,5%). Im Freiburger Kerngneis (gesamt, aus 9 Proben) liegt das Längenhäufigkeitsmaximum in der gleichen Längengruppe (mit 34,3%).

Das Elongationshäufigkeitsmaximum hat in beiden Fällen die gleiche Lage bei 2,3 (die Unterschiede sind lediglich quantitativer Art: 14,7% gegenüber 17,2%).

Das gleiche gilt für die Integralkoeffizienten. Aus den Proben (F K 1 + F K 2 + F K 4) errechnet sich der Integralkoeffizient zu 0,31; der Freiburger Kerngneis (gesamt) hat einen Integralkoeffizienten von 0,29.

Bei den Rundungsindizes liegen die Verhältnisse durchaus ähnlich: Der Rundungsindex A hat bei den Proben (F K 1 + F K 2 + F K 4) den Wert 2,3; beim Kerngneis (gesamt) den Wert 2,4. Der Rundungsindex B beträgt in ersterem Fall 0,9; im zweiten Fall 0,6.

Elongationsgruppe	4,1	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	2,3
F K 1	5	30	36	29	21	16	14
F K 2	12	28	17	28	25	29	8
F K 4	5	18	24	31	26	26	27
Summe	22	76	77	88	72	71	49
%	3,7	12,7	12,8	14,7	12,0	11,8	8,2
Kerngneis, gesamt	4,1	10,8	14,1	17,2	13,0	11,4	7,2

Es sind keinerlei qualitative Verschiebungen der Kernwerte eingetreten. Wir sind deshalb der Ansicht, daß in der Regel drei Proben ausreichen (die allerdings gute Durchschnittsproben darstellen müssen), um zirkonstatistische Kennwerte zuverlässig zu ermitteln; das gilt besonders für solche Fälle, wo die Einzelkurven (sowohl Längen- als auch Elongationshäufigkeitskurven) keine auffälligen Unterschiede in ihrem Verlauf zeigen. In unserer Arbeit finden wir diese Feststellung verwirklicht bei den Annaberger, Marienberger und Oberen Freiburger Graugneisen. Deshalb konnten wir uns mit jeweils drei Proben begnügen (wie im Abschn. 2.1.1. bereits erwähnt). Wie die obigen Zahlenbeispiele zeigen, hätten auch beim Kerngneis drei Proben ausgereicht; wir entschlossen uns trotzdem eine größere Zahl (9) Proben zu nehmen, weil wir in diesem Fall auf eine großräumige Erfassung des Kerngneismaterials Wert legen mußten.

Es ist jedoch zu betonen, daß eine Probe allein (auch wenn in dieser eine weit größere Anzahl von Zirkonen untersucht worden wäre) keine zuverlässige Charakteristik des Gesteins liefert. Die lokalen Schwankungen in der quantitativen petrographischen Zusammensetzung eines Gesteins werden am sichersten reduziert, wenn innerhalb eines Komplexes die Proben an räumlich weit auseinander gelegenen Orten entnommen und die Einzelergebnisse in geologisch vertretbarem Sinne zusammengefaßt werden.

### 3.2. Vergleichende Betrachtungen über die sog. „Oberen Graugneise“

In Kapitel 2 waren jedem Gneistyp bestimmte zirkonstatistische Kennwerte zugeordnet worden. Ein Vergleich zeigt, daß diese Werte für den Annaberger, Marienberger und Oberen Freiburger Graugneis untereinander übereinstimmen bzw. vorhandene Abweichungen sich in relativ engen Grenzen halten, daß dagegen die Kennwerte des Freiburger Kerngneises dazu ganz erhebliche Unterschiede zeigen. Auf die Ähnlichkeit der zirkonstatistischen Daten in den erstgenannten drei Gneis-  
 ietäten“ soll im folgenden etwas näher eingegangen werden.

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Untersuchungen der Zirkone des Freiburger Hü-  
 gneises, des Marienberger und Annaberger Graugneises (wie sie sich aus den Ta-  
 bel-  
 len 1, 2 und 3 ergeben) zusammengefaßt worden. Es wurde dabei nicht von den errechneten prozentualen Werten ausgegangen, sondern von den tatsächlich

Tabelle 5. Obere Graugneise (gesamt)

Tabelle 5/I

L	<4	4-7	8-10	11-14	15-17	18-20	21-24	Sa.	mm · 10 <sup>-2</sup>
Annaberg	—	110	260	135	68	19	8	600	
Marienberg	2	341	248	9	—	—	—	600	
Freiberg, Hülle	14	484	267	29	6	—	—	800	
Sa.	16	935	775	173	74	19	8	2000	
%	0,8	46,8	38,7	8,6	3,7	1,0	0,4		

Tabelle 5/II

L/B	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,3	Sa.
Annaberg	70	141	158	88	65	39	24	10	5	600
Marienberg	52	168	179	78	67	28	16	7	5	600
Freiberg, Hülle	70	248	245	106	57	39	17	11	6	800
Sa.	192	557	582	272	189	106	58	28	16	2000
%	9,6	27,8	29,1	13,6	9,5	5,3	2,9	1,4	0,8	

Tabelle 5/III

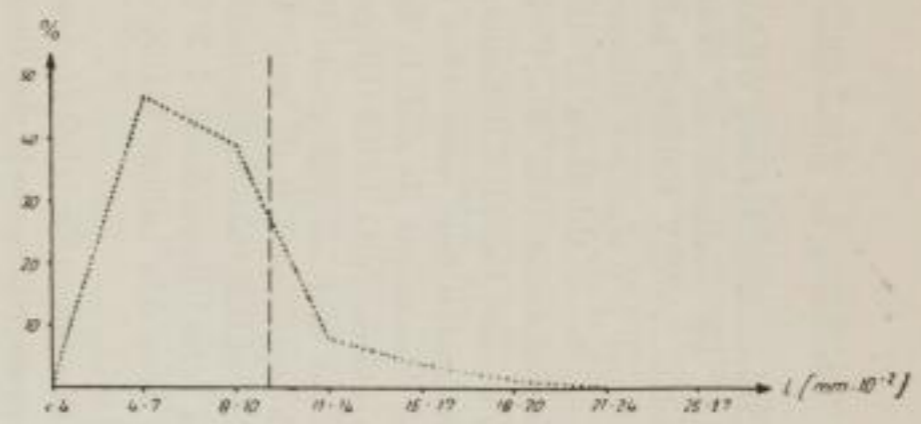
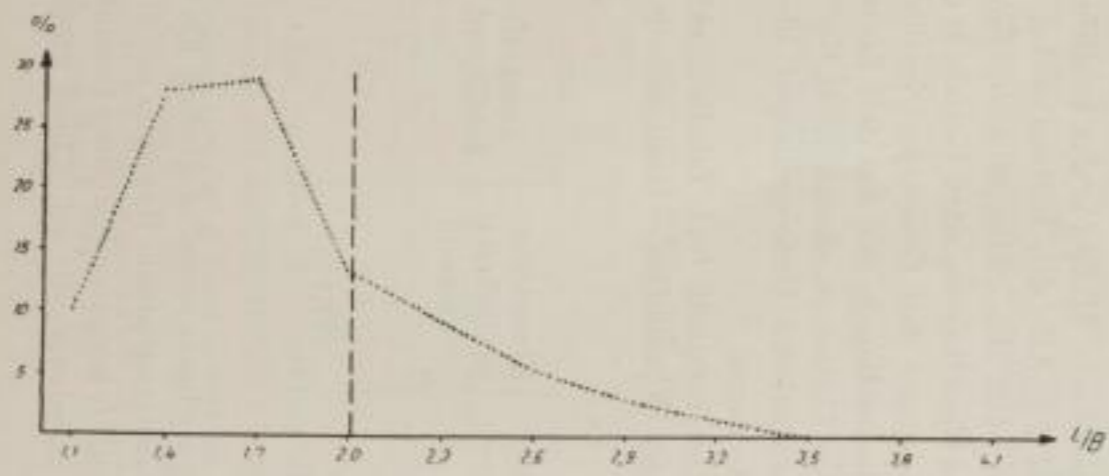
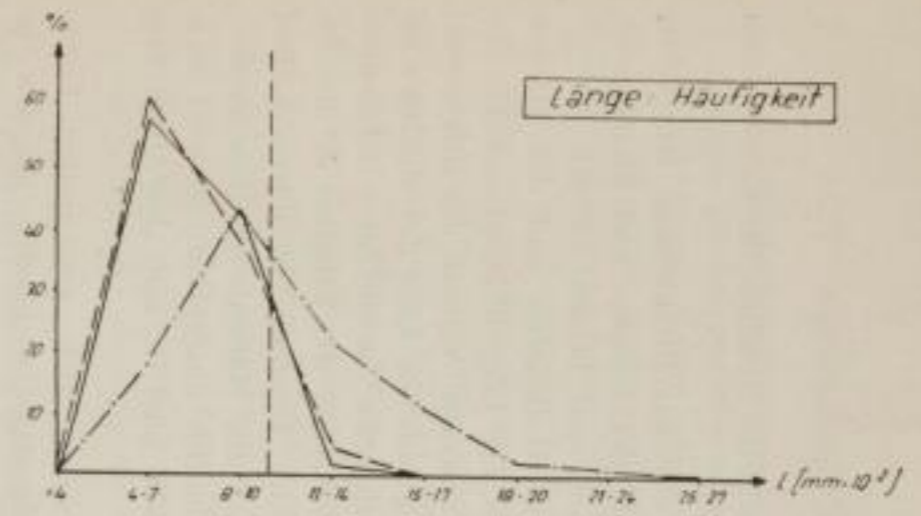
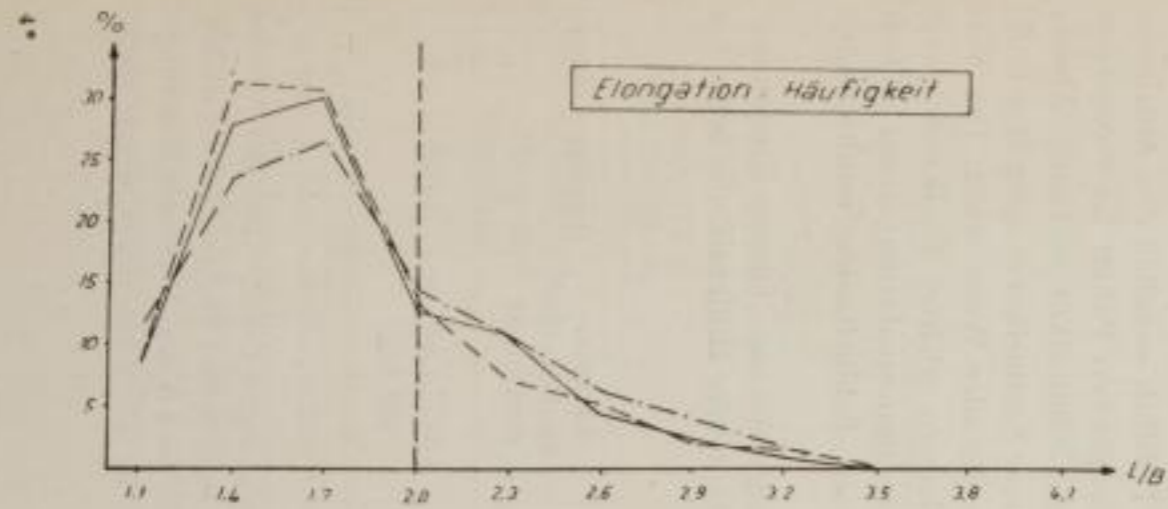
	Integral- koeffizient
Annaberg	2,2
Marienberg	2,7
Freiberg, Hülle	3,4
Obere Graugneise gesamt	2,8

Tabelle 5/V

	Rundungsindex	
	A	B
Annaberg	23,0	7,9
Marienberg	14,4	4,2
Freiberg, Hülle	41,1	12,7
Obere Graugneise gesamt	23,1	7,2

Tabelle 5/IV

Rundungs- grad	Annaberg	Marienberg	Freiberg, Hülle	Sa.	%
—	25	39	19	83	4,1
+	378	399	540	1317	65,9
++	197	162	241	600	30,0



— Marienberg    - - - - Freiberg Hülle    - · - · - Annaberg    ····· Summenkurve

Abb. 13. Obere Graugneise (gesamt); Längenhäufigkeitskurven (rechts) und Elongationshäufigkeitskurven (links) von Zirkonen aus dem Annaberger und Marienberger Graugneis und dem Freiburger Hüllgneis

aufgefundenen Stückzahlen. Auf eine Wiederholung der Resultate der Einzelproben wurde zugunsten der Summenwerte verzichtet.

Die Teiltabellen 5/I–5/V bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Die Werte aus Tabelle 5/I und 5/V sind zur Konstruktion der Längen- und Elongationshäufigkeitskurven, die in Abbildung 13 dargestellt sind, benutzt worden.

Die *Längenhäufigkeitskurven* des Freiburger Hüllgneises und des Marienberger Graugneises sind fast ideal deckungsgleich. Die Längenhäufigkeitskurve des Annaberger Graugneises zeigt einen etwas abweichenden Verlauf, der sich sowohl in der Lage des Maximums als auch in der angehobenen Lage des absteigenden Kurvenastes zu erkennen gibt. In der (Längenhäufigkeits-) *Sammelkurve* haben diese Abweichungen nur noch modifizierende Eigenschaften, die lediglich in der Erhöhung des Gruppenwertes 8–10 zum Ausdruck kommen. In ihrem Verlauf ähnelt die (Längenhäufigkeits-) *Sammelkurve* der des Marienberger Graugneises. Das Maximum beim Gruppenwert 4–7 ist deutlich ausgeprägt; es wird vom Nullpunkt aus unter sehr steilem Anstieg erreicht. Steil ist auch der Abfall zum Gruppenwert 11–14.

Die drei *Elongationshäufigkeitskurven* besitzen viele gemeinsame Eigenschaften: Sie setzen relativ hoch ein (ihre Anfangspunkte pendeln um den Ordinatenwert 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), sie haben ein über zwei Gruppenwerte gestrecktes Maximum und stimmen im Verlauf ihrer abfallenden Kurvenäste ausgezeichnet überein, dies gilt in besonderem Maße für das kritische Teilstück zwischen den Abszissenwerten 1,7 und 2,0. Alle drei Kurven enden im gleichen Punkt. Es verwundert deshalb nicht, daß die (*Elongationshäufigkeits-*) *Sammelkurve* kaum Abweichungen zu den Einzelkurven zeigt. Gerade in dieser *Sammelkurve* spiegelt sich die Übereinstimmung der drei Gneistypen in überzeugender Weise wider. Der Vergleich dieser *Sammelkurve* mit den drei Einzelkurven erhärtet die Berechtigung, die untersuchten Gneise zu einem Gneis „typ“ zusammenzufassen; damit stützen unsere zirkonstatistische Untersuchungen die aus Feldbefunden resultierenden geologischen Aussagen.

Nach der Zirkonstatistik (vgl. Tabelle 5) erhalten die sog. „Oberen Graugneise“ (= Marienberger + Annaberger Graugneis + Freiburger Hüllgneis) die folgenden Kennwerte:

Kennwerte	Elongationshäufigkeitsmaximum	Integralkoeffizient	Längenhäufigkeitsmaximum	Rundungsindex	
				A	B
Obere Graugneise (gesamt)	1,7 (29,1%)	2,8	0,04–0,07 mm (46,8%)	23,1	7,2

Eine der typischsten morphologischen Erscheinungen der Zirkone der Oberen Graugneise ist die ausgeprägte Rundung der überwiegenden Mehrzahl der Zirkone. Die außerordentlich intensive Rundung kommt in dem hohen Wert des Rundungsindex B zum Ausdruck, der rd. 12mal größer ist als jener der Unteren Graugneise.



gneise. Die Beobachtungen sprechen nicht dafür, daß die Grundanlage der Rundung durch Wachstumsphänomene entstanden ist. Gelegentliches höckeriges und rundliches Neuwachstum vermochten die mechanisch erzwungene Rundung lediglich in relativ engen Grenzen zu modifizieren. Die meisten der gerundeten Zirkone haben eine rauhe Oberfläche, die häufig durch feinste opake Teilchen pigmentiert ist. Soweit die Zirkone Kerne enthalten – die Zahl der als Kerne erkannten Einschlüsse beträgt in den Oberen Graugneisen nur knapp  $\frac{2}{5}$  der in den Zirkonen der Unteren Graugneise aufgefundenen Kerne –, sind diese fast durchweg gerundet und ihre Oberfläche sehr oft durch Fremdsubstanz „verschmutzt“. Zonarbau tritt wesentlich seltener in Erscheinung als bei den Zirkonen der Unteren Graugneise; die Zahl der zonaren Zirkone liegt um ca. 55% niedriger als in den Kerngneisen. Nur 2,5% aller untersuchten Zirkone der Oberen Graugneise sind deutlich idiomorph ausgebildet. Dagegen überschreitet die Zahl der zerbrochenen Zirkone (gemeint ist der Kristallbruch, der mit Sicherheit nicht im Zuge der Probeaufbereitung entstanden ist) in den Oberen Graugneisen die der Kerngneise um mehr als das 11fache.

### 3.3. Die Sonderstellung des „Unteren Graugneises“ (Freiberger Kerngneis)

Bei einem Vergleich der Kennwerte der „Oberen Graugneise“ mit denen der „Unteren Graugneise“ (die im Abschnitt 2.3.2.2. erarbeitet worden waren) werden höchst bemerkenswerte Unterschiede offensichtlich. In Tabelle 6 sind der besseren Übersicht wegen die beiden Kennwertreihen gegenübergestellt worden.

Tabelle 6

Graugneise	Kennwerte	Elongationshäufigkeitsmaximum	Integralkoeffizient	Längenhäufigkeitsmaximum	Rundungsindex	
					A	B
Obere Graugneise (= Marienberg + Annaberg + Frbg. Hüllgneis)		1,7	2,8	0,04—0,07 mm	23,1	7,2
Untere Graugneise (= Freiberger Kerngneis)		2,3	0,3	0,11—0,14 mm	2,4	0,6

— Diese Gegenüberstellung zeigt, daß zwischen den zirkonstatistischen Kennwerten beider erzgebirgischer Graugneise keinerlei fließende Übergänge bestehen, daß vielmehr zwischen jedem einzelnen Kennwert eine deutliche Lücke existiert: Die Werte der Integralkoeffizienten (2,8 und 0,3) und die Werte sowohl der Rundungsindizes A (23,1 und 2,4) als auch der Rundungsindizes B (7,2 und 0,6) liegen jeweils eine ganze Größenordnung (!) auseinander. — Die Elongationshäufigkeits-

maxima (1,7 und 2,3) und die Längenhäufigkeitsmaxima (0,04–0,07 und 0,11 bis 0,14) sind durch einen vollen Gruppenwert scharf voneinander getrennt.

In Abb. 14 ist (in Anlehnung an einen Vorschlag von G. Hoppe, 1960) der Versuch unternommen worden, die bestehenden Unterschiede der Elongationswerte in Gestalt von Streufeldern innerhalb eines Elongationshäufigkeitsdiagramms dar-

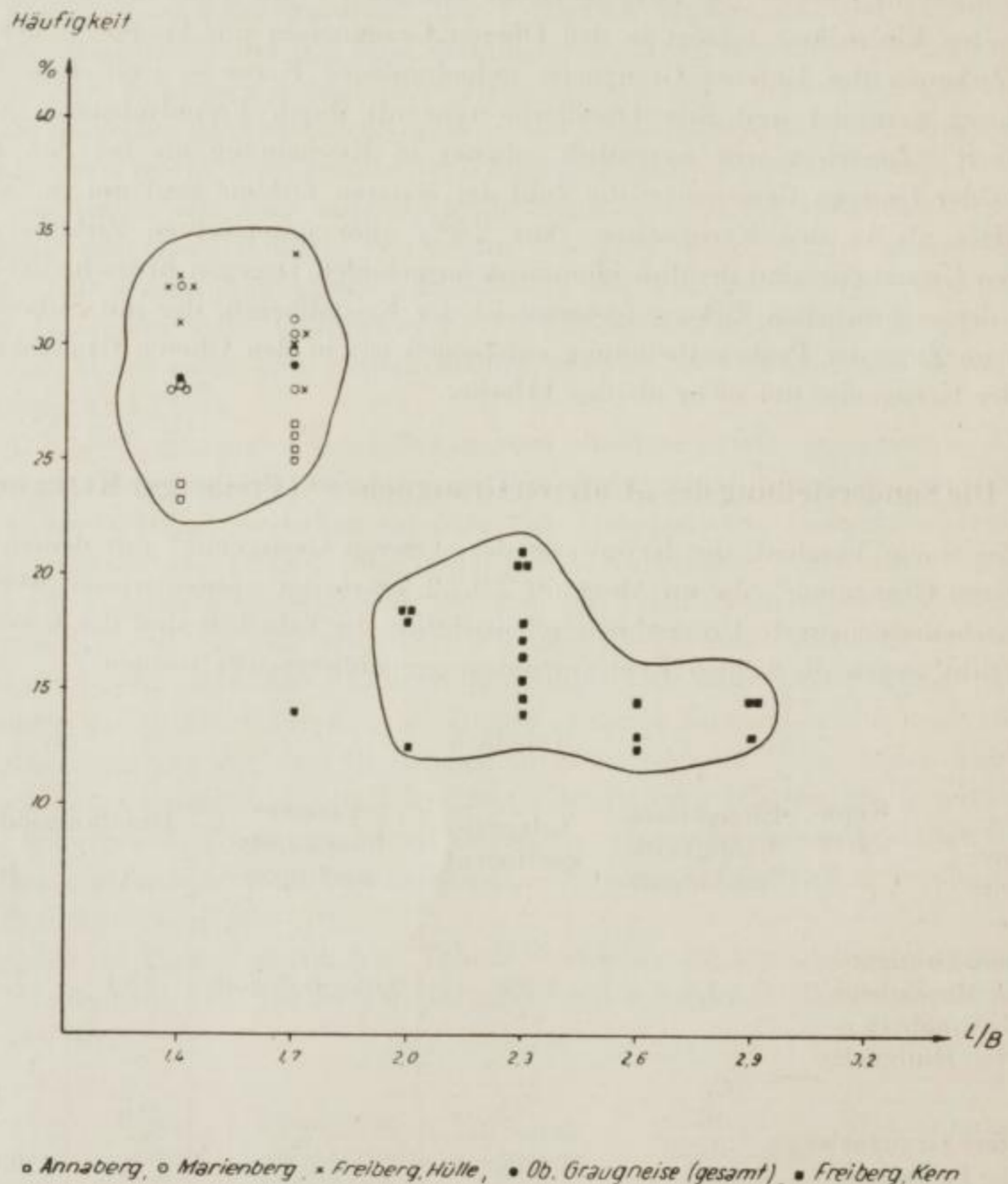


Abb. 14. Erzgebirgische Graugneise; Die Verteilung der Maxima aus den Elongations-Häufigkeits-Kurven von Zirkonen aus den Oberen Graugneisen (links) und den Unteren Graugneisen (rechts)

zustellen. Wir haben uns dabei nicht auf die Darstellung nur der Maximawerte beschränkt, um von vornherein den (möglichen) Vorwurf auszuschalten, daß wir nur solche Werte benutzt hätten, die durch rein rechnerische Zufälligkeiten zu prädestinierten Größen geworden sind. Es sind alle diejenigen Werte mit einbezogen worden, die vom Maximalwert bis 15<sup>0</sup>/<sub>0</sub> abweichen (in den Elongations-

tabellen 1/II–4/II fettgedruckt). Auf diese Weise sind alle Nebenmaxima erfaßt worden, vor allem aber wurde dem Charakter der gespreizten Maxima Rechnung getragen. Unter diesem Gesichtspunkt ergeben sich für die Oberen Graugneise 24 Projektionspunkte und für die Unteren Graugneise 20 Projektionspunkte.

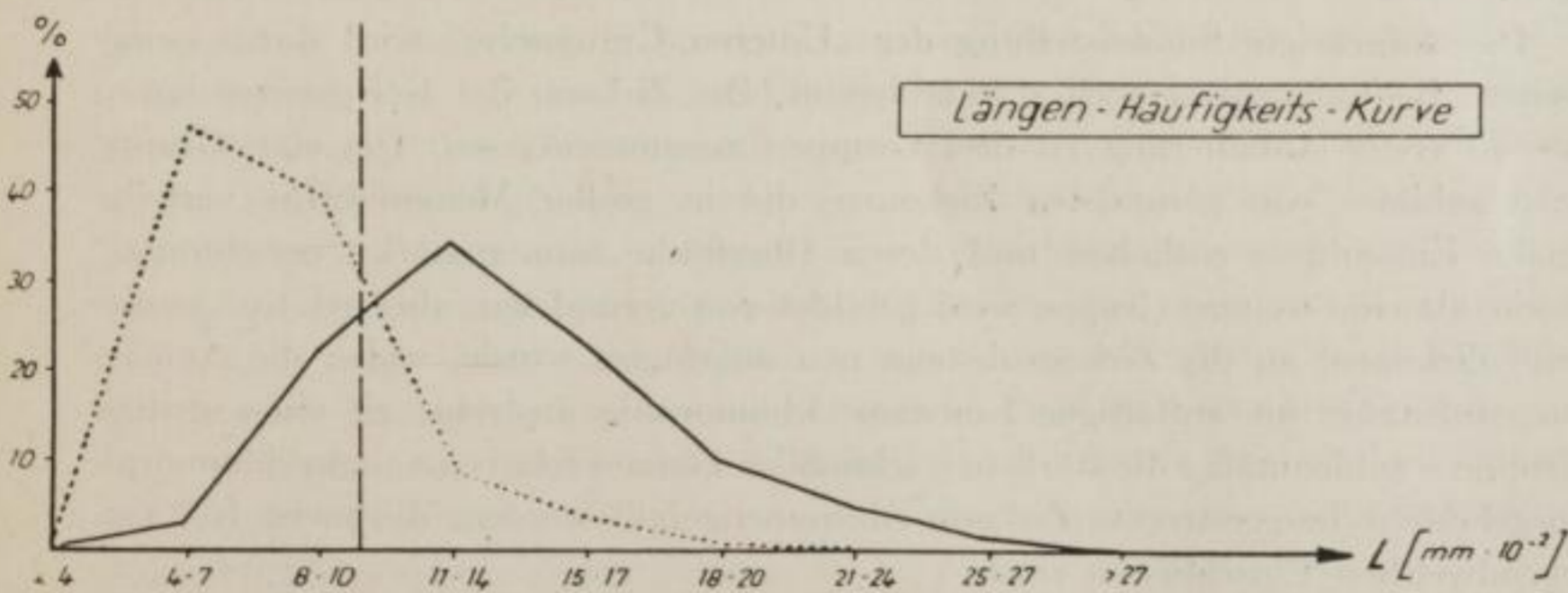
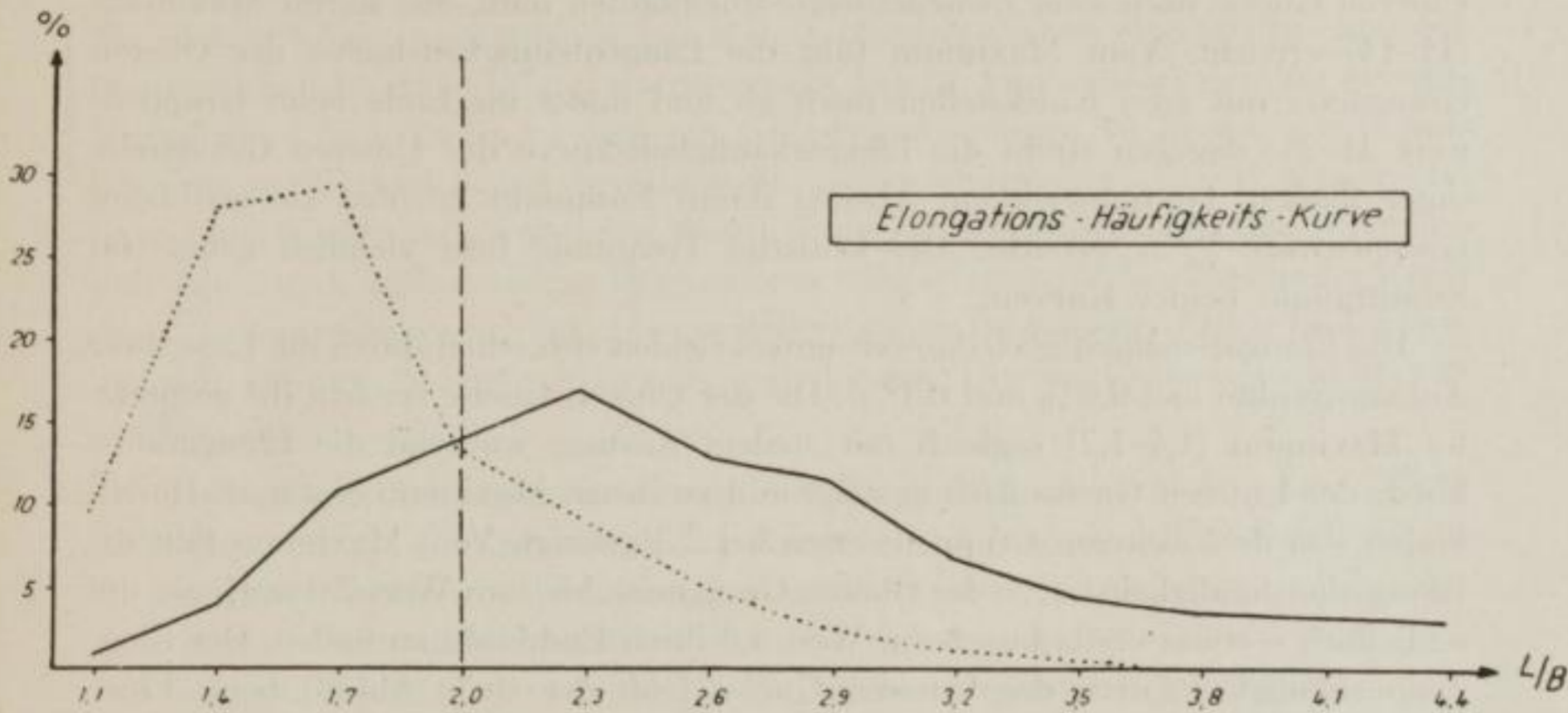


Abb. 15. Erzgebirgische Graugneise; Vergleich der zirkonstatistischen Kennkurven,

— Untere Graugneise (1800 Zirkone),  
 ..... Obere Graugneise (2000 Zirkone)

Es wird festgestellt, daß die Projektionspunkte innerhalb von zwei in sich geschlossenen, aber räumlich getrennten Streufeldern liegen, wovon das linke obere Feld (vgl. Abb. 14) die sog. „Oberen Graugneise“, das rechte untere Feld die „Unteren Graugneise“ repräsentiert.

In Abb. 15 sind die Kennkurven des Unteren und Oberen Graugneises nebeneinander dargestellt worden. Gleich der Tabelle 6 läßt Abb. 15 die bestehenden

großen Unterschiede zwischen den beiden erzgebirgischen Graugneisen deutlich erkennen.

Beide *Längenhäufigkeitskurven* beginnen im Nullpunkt, von hier aus steigt die der Oberen Gneise sofort ganz steil zum Maximum (4–7) an, während die der Unteren Gneise noch zwei Zwischenwerte durchlaufen muß, ehe sie ihr Maximum (11–14) erreicht. Vom Maximum fällt die Längenhäufigkeitskurve der Oberen Graugneise mit zwei Knickstellen rasch ab und findet ihr Ende beim Gruppenwert 21–24; dagegen strebt die Längenhäufigkeitskurve der Unteren Graugneise unter flachem kontinuierlichem Abstieg ihrem Endpunkt zu, den sie erst beim Gruppenwert  $\geq 27$  erreicht. Die kritische Trennlinie liegt ziemlich genau im Schnittpunkt beider Kurven.

Die *Elongationshäufigkeitskurven* unterscheiden sich schon durch die Lage ihrer Anfangspunkte (bei 9,6‰ und 0,1‰). Die der Oberen Gneise erreicht ihr gespreiztes Maximum (1,4–1,7) sogleich mit steilem Anstieg, während die Elongationskurve der Unteren Gneise flach ansteigt und zu ihrem Maximum erst nach Durchlaufen von drei weiteren Gruppenwerten bei 2,3 gelangt. Vom Maximum fällt die Elongationshäufigkeitskurve der Oberen Graugneise bis zum Wert 2,0 rasch ab, um schließlich – etwas verflacht – beim Wert 3,8 ihren Endpunkt zu finden. Der Elongationshäufigkeitskurve der Unteren Gneise fehlt der steile Abfall; beim Elongationswert 2,9 ist der abfallende Kurvenast sogar noch einmal etwas angehoben. In ihrem Endstück verläuft die Kurve fast parallel zur Abszisse. Der Endpunkt wird erst weit außerhalb der Zeichenebene erreicht.

Die kritische Trennlinie liegt wiederum im Schnittpunkt der beiden Kurven (2,0).

Die aufgezeigte Sonderstellung der „Unteren Graugneise“ wird durch einige weitere Beobachtungen noch stärker betont. Die Zirkone des Kerngneises lassen sich in erster Annäherung zu drei Gruppen zusammenfassen: Die eine Gruppe wird gebildet von gerundeten Zirkonen, die in großer Menge diffus verteilte opake Einschlüsse enthalten und deren Oberfläche immer stark „verschmutzt“ erscheint; eine weitere Gruppe wird gebildet von gerundeten, aber relativ „sauberen“ Zirkonen, an die Zirkonsubstanz neu angelagert wurde, wobei die Anlagerungssubstanz mit auffälliger Konstanz Idiomorphie anstrebt; zu einer dritten Gruppe – zahlenmäßig die stärkste – schließlich können relativ zwanglos idiomorph ausgebildete, langgestreckte Zirkone zusammengefaßt werden, die meist frei von irgendwelchen Einschlüssen sind.

Die auffälligste morphologische Erscheinung der Zirkone des Kerngneises ist die (sich in allen Kennwerten widerspiegelnde) Idiomorphie, die sowohl im idiomorphen Neuwachstum um Altbestand als (besonders) auch in der Neubildung nadliger Zirkonkristalle zum Ausdruck kommt. Die Zahl der idiomorph ausgebildeten Zirkonkristalle in den Kerngneisen überschreitet die in den „Oberen Graugneisen“ um das 12fache! Der „Untere Graugneis“ enthält 235‰ mehr Zirkone mit (erkennbaren) Kernen und 195‰ mehr zonare Zirkone als die „Oberen Graugneise“. Dagegen beträgt die Zahl der ehemaligen Zirkonbruchstücke im Kerngneis nur knapp 10‰ der Zahl der Bruchstücke, die im „Oberen Graugneis“ enthalten sind.

### 3.4. Schlußfolgerungen

Unter der Voraussetzung, daß die akzessorischen Zirkone eines Gesteins dessen Bildungsgeschichte widerspiegeln, folgern wir (vgl. Abb. 14 und 15), daß dem Annaberger und dem Marienberger Graugneis sowie dem Freiburger Hüllgneis das gleiche Edukt zugrunde liegt und daß alle drei Gneise eine gleiche oder zumindest ähnliche Entwicklung durchgemacht haben. Es erscheint deshalb gerechtfertigt, diese drei Gneise zu einem Gneistyp zusammen zu fassen, der in Anlehnung an die bestehende Terminologie als erzgebirgischer „Oberer Graugneis“ bezeichnet werden soll, wobei wir damit keine stratigraphische Aussage zu treffen vermögen, noch treffen wollen. Des weiteren wird festgestellt: Der Freiburger Kerngneis (Unterer Graugneis) hat eine zweifellos andere Bildungsgeschichte hinter sich, die sich in ihrer heutigen Fixierung mit der der Oberen Graugneise nicht vergleichen läßt.

Unsere Untersuchungen können keinesfalls die Annahme *K. Schmidts* (1960) bestätigen, daß die Graugneise des Erzgebirges eine Übergangsreihe darstellen, „die als Endglieder reliktsche feinkörnige Paragneise und mittelkörnige-grobflaserige oder augige Biotitplagioklasgneise“ umfaßt, „zwischen denen eine mächtige Serie von Zweiglimmergneisen vermittelt“. Wir haben auch keinen Anhaltspunkt dafür finden können, daß sich die Oberen Graugneise (die nach *K. Schmidt* reliktsche Paragneise und Biotit-Muskowit-Plagioklas-Gneise in sich vereinen) von den Unteren Graugneisen (Biotit-Plagioklas-Gneise) dadurch unterscheiden, daß ein gemeinsames Edukt sich *sukzessiv* (*K. Schmidt*, 1960) in zwei unterschiedliche Gesteine auseinander entwickelt hat, wobei in einem Fall (Oberer Graugneis) eine Plagioklasmetablastesis, im anderen Fall (Unterer Graugneis) eine Kalifeldspatsprossung stattgefunden hat. Die Annahme dieser Konzeption würde bedeuten, daß eine Plagioklasmetablastesis den Zirkonbestand eines Gesteins unverändert läßt (weil auch unsere zirkonstatistischen Untersuchungen eindeutig den Paracharakter der Oberen Graugneise bestätigen), wogegen eine Kalifeldspatsprossung mit einer so intensiven Zirkoniummobilisation synchron gehen müßte, daß dann in der Zirkonstatistik derartige Unterschiede entstehen, wie sie in vorliegender Arbeit aufgefunden wurden. Das aber ist wenig wahrscheinlich. Dagegen können wir der Vorstellung *A. Watznauers* (1959) ohne weiteres folgen, wonach gewisse Verbreitungsgebiete der Plagioklasmetablastesis als Wirkungsbereich einer stattgefundenen Kontaktmetamorphose gelten können.

In Tabelle 7 sind die Kennwerte der untersuchten Gneise denen von Glimmerschiefern, die als gesicherte Parametamorphite gelten müssen, und denen von Graniten (beide Gesteine aus dem westlichen Erzgebirge) gegenübergestellt worden. In der gleichen Tabelle haben wir die kritischen Grenzwerte, wie sie sich aus unseren Untersuchungen zwanglos ergeben haben, verzeichnet (Fettdruck). Es wird festgestellt:

Die Zirkone der Oberen Graugneise und der Glimmerschiefer haben das gleiche Elongationshäufigkeitsmaximum, das kleiner als 2,0 ist (der Wert 2,0 wird von *A. Poldervaart* u. a. als Grenzwert zwischen Sedimenten und Magmatiten ange-

sehen, eine Feststellung, die von *Schützel & Kutschke* (1960) auch im Erzgebirgskristallin bestätigt werden konnte).

Der Untere Graugneis und die Granite haben ein gemeinsames Elongationshäufigkeitsmaximum, das größer als 2,0 ist.

Die Kennkurven der Zirkone der Oberen Graugneise und der Glimmerschiefer haben (fast) gleichgroße Integralkoeffizienten, die größer als 1,0 sind; die Unteren Graugneise und die Granite haben (fast) gleiche Integralkoeffizienten, die aber kleiner als 1,0 sind.

Der Obere Graugneis und die Glimmerschiefer besitzen gleichgelegene Längenhäufigkeitsmaxima, die kleiner als 0,1 sind; die Unteren Graugneise und die Granite haben gemeinsame Längenhäufigkeitsmaxima, die dagegen größer als 0,1 sind.

Der Rundungsindex A liegt bei allen Oberen Graugneisen *und* beim Glimmerschiefer weit über 5,0; beim Unteren Graugneis und bei den Graniten deutlich unter 5,0. – Der Rundungsindex B ist in allen Oberen Graugneisen und in den Glimmerschiefern stets erheblich größer als 1,0; bei dem Unteren Graugneis und bei den Graniten aber kleiner als 1,0.

Diese Feststellungen basieren auf der Untersuchung von 2600 eliminierten Zirkonen aus den Oberen Graugneisen und Glimmerschiefern und auf weiteren 2400 Zirkonindividuen aus den Unteren Graugneisen und Graniten.

Die einigermaßen überraschenden oder zumindestens in dieser Klarheit nicht zu erwartenden Untersuchungsergebnisse, die in der scharfen Trennung zwischen Oberen Graugneisen und Glimmerschiefern einerseits und Unteren Graugneisen und Graniten andererseits gipfeln, geben Anlaß zu der (bereits erwähnten) Feststellung, daß die Oberen Graugneise von sedimentären Edukten abzuleiten sind und als Parametamorphite zu gelten haben. Damit wird eine bekannte Tatsache von zirkonstatistischer Seite bestätigt und gleichzeitig die Brauchbarkeit der Methode erwiesen.

Andererseits liegt die Schlußfolgerung nahe, daß im Kerngneis ein Substrat oder Apport magmatogener Art enthalten ist. Dafür sprechen nicht nur die Übereinstimmung der zirkonstatistischen Kennwerte zwischen den Unteren Graugneisen und (intrusiven) Graniten (vgl. Tabelle 7) und das Fehlen jeglicher Übergänge zwischen den beiden Graugneistypen (vgl. Abb. 14), sondern das gesamte Erscheinungsbild der Zirkone in den Zirkongesellschaften der Oberen Graugneise (für die eine ausgeprägte Rundung als typisch erkannt wurde) und der Unteren Graugneise (für die neben der dominierenden Idiomorphie der Zirkone unter anderem die Existenz von Altbestand, von Umwachsungen des Altbestandes mit Neusubstanz und von Zirkonneubildung als charakteristisch zu gelten haben).

Aus dem Anteil der gerundeten Zirkone, die zum überwiegenden Teil mit dem Altbestand zu identifizieren sind, wird auf die anatektische Aufnahme von Sedimentmaterial geschlossen. Aus der Existenz von Umwachsungen und Zirkonneubildungen, die beide idiomorphen Habitus tragen (eine Tatsache, die in den sehr niedrigen Zahlenwerten der Rundungsindizes zum Ausdruck kommt) und aus der Lage des Elongationshäufigkeitsmaximums und den damit in Verbindung stehendem Wert des Integralkoeffizienten wird auf die mögliche Zufuhr von magmatischer Substanz geschlossen. Beide Rückschlüsse können – mit einigen Vor-

Tabelle 7

Grau- gneise	Kenn- gruppe	Elongations- häufigkeits- maximum	Integral- koeffizient	Längen- häufigkeits- maximum	Rundungs- index		Anzahl der ver- messenen Zirkone
					A	B	
Annaberg		1,7	2,2	0,08—0,10	21,3	7,3	600
Marienberg		1,7	2,7	0,04—0,07	14,4	4,2	600
Freiberg							
Hülle		1,4	3,4	0,04—0,07	41,1	12,7	800
Obere Grau- gneise (gesamt)		1,7	2,8	0,04—0,07	23,1	7,2	(2000)
Glimmer- schiefer (westl. Erzgeb.)		1,7	2,7	0,04—0,07	27,6	8,4	600
Grenzwert		2,0	1,0	0,10	5,0	1,0	
Untere Grau- gneise (gesamt)		2,3	0,3	0,11—0,14	2,4	0,6	1800
Granit (Erla- Schwarzenbg.)		2,3	0,5	0,11—0,14	1,0	0,1	600

Sa: 5000

behalten – zu der Vorstellung eines palingenen Magmas als Edukt des Kerngneises führen. In dieser Hinsicht stimmen die Verfasser mit *G. Möbus* (1961) überein, der kürzlich auf Grund eines sehr interessanten petrogenetischen Vergleiches zwischen Erzgebirge und Lausitzer Grundgebirge zu einer ähnlichen Auffassung gelangte. Wahrscheinlich läßt sich die (sicherlich magmatisch) erfolgte Zufuhr von Zirkonium auch analytisch erfassen.

Schließlich bestätigen die vorliegenden Untersuchungen die Berechtigung der von *Kossmat & Pietzsch* (1930) und *A. Watznauer* (1952) durchgeführte Abtrennung des „Wegefarter Gneises“ vom Freiburger Kerngneis. Ohne weiteren Untersuchungsergebnissen vorgreifen zu wollen wird auch der „Himmelsfürster Gneis“ den Oberen Graugneisen zugerechnet und aus dem Kerngneisverband ausgeklammert werden müssen.

Durch Arbeiten verschiedener Forscher ist – besonders im letzten Jahrzehnt – die Eignung von zirkonstatistischen Untersuchungsmethoden für petrogenetische Aussagen nachgewiesen worden. Gegenstand zirkonstatistischer Untersuchungen waren vor allem magmatogene und sedimentäre Gesteine; weniger häufig sind metamorphe Gesteine bearbeitet worden. Die Methode erfaßt vorwiegend morphologische Eigenschaften des akzessorischen Minerals Zirkon, wobei von der hohen mechanischen Widerstandsfähigkeit und der relativ großen chemischen Stabilität des Zirkoniumorthosilikats ausgegangen wird. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeiten erschien es den Verfassern wünschenswert, die Methode an dem hochmetamorphen Komplex des sächsischen Erzgebirges zu erproben und zirkonstatistische Untersuchungen an den sog. Grauen Gneisen als dem am weitestverbreiteten Gestein des Erzgebirgskristallins vorzunehmen, zumal zahlreiche Testversuche Anlaß zu der Annahme gaben, damit auch petrogenetische Aussagen treffen zu können. Zu diesem Zwecke wurden den Gneisen von Annaberg, Marienberg und Freiberg Proben längst bestimmter durch die jeweiligen Gneiskuppeln gelegter Profile entnommen, um sowohl die peripheren als auch die zentralen Teile derselben zu erfassen. Außerdem wurde Material aus den neuen Tiefbohrungen im Kerngebiet von Freiberg verwertet.

Die Proben (10 Proben aus dem sog. Oberen Graugneis, 9 Proben aus dem sog. Unteren Graugneis = Freiburger Kerngneis, 3 Proben aus dem Glimmerschieferrahmen und 3 Proben aus einem westerzgebirgischen Granit) wurden nach den üblichen Methoden aufbereitet, die Schwerminerale durch Schwerentrennung eliminiert und in den gewonnenen Präparaten an je 200 Zirkonen Längen- und Breitenmessungen durchgeführt, die Elongation und der Rundungsgrad bestimmt, sowie Beobachtungen über Zonarbau, Einschlüsse, Kerne, Zerbruch, Um- und Verwachsungen angestellt.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte statistisch, indem für jede Einzelprobe, für regional und genetisch zusammengehörige Probengruppen und für die verschiedenen Gneistypen das Elongationshäufigkeitsmaximum, der von den Verfassern eingeführte Integralkoeffizient, das Längenhäufigkeitsmaximum und die Rundungsindizes berechnet und in Form von Diagrammen und Tabellen dargestellt werden. Den Tabellen und dem graphischen Material liegen Messungen und Beobachtungen an insgesamt 5000 Zirkonen, davon 3800 aus den erzgebirgischen Graugneisen, zugrunde.

Es zeigte sich, daß alle der Annaberger und Marienberger Gneiskuppel entnommenen Proben, sowie diejenigen des Freiburger Hüllgneises eine so weitgehende Übereinstimmung ihrer zirkonstatistischen Kennwerte besitzen, daß die



betreffenden Gneise im Verlauf einer nahezu gleichen petrogenetischen Entwicklung aus einander sehr ähnlichen Edukten entstanden sein müssen und ihre Zusammenfassung zur Gruppe der „Oberen Graugneise“ zu vollem Recht besteht.

Demgegenüber weichen sowohl alle zirkonstatistischen Kennwerte des Freiburger Kerngneises als auch die Erscheinungsformen des Zirkons im Kerngneis derartig auffällig von denen der Oberen Graugneise ab, daß für diese eine vom ersteren abweichende Petrogenese angenommen werden muß.

Durch Vergleiche der für die untersuchten Gesteinsgruppen charakteristischen Kennwerte mit denen von westerzgebirgischen Graniten und Glimmerschiefern gelangen die Verfasser zu der Ansicht, daß die Oberen Graugneise hochmetamorphe Paragesteine sind und können damit die bisher herrschende Annahme über die Genesis dieser Gneisgruppe auch mit den Mitteln der Zirkonstatistik eindeutig bestätigen. Die völlig anders gearteten Kennziffern des Freiburger Kerngneises und die Übereinstimmung mit jenen von Graniten legen dagegen den Schluß auf einen wesentlich magmatogenen Anteil am Edukt des Kerngneises nahe.

Die Verfasser neigen zu der Meinung, daß die Auswertung der zirkonstatistischen Untersuchungen – ohne Überforderung des kritischen Reagens – die Annahme gestatten könnte, den Freiburger Kerngneis möglicherweise von einem palingenen Magma abzuleiten. Über die Art der Platznahme erlauben weder unsere Untersuchungen noch die Methode irgendeine Aussage.

Innerhalb der beiden Gruppen der Graugneise ist eine bemerkenswert geringfügige Streuung der Kennwerte der Einzelproben festzustellen. Es werden die *Grenzwerte* für die Integralkoeffizienten, das Elongationshäufigkeitsmaximum und die Rundungsindizes zwischen Ortho- und Paragesteinen, wie sie sich aus den vorliegenden Untersuchungen ergaben, mitgeteilt. Sie bedürfen noch einer Präzisierung durch weitere vergleichende Untersuchungen in Gesteinen verschieden hohen Metamorphosegrades.

Vorliegende Arbeit zeigt die Brauchbarkeit zirkonstatistischer Methoden zur Klärung bestimmter petrogenetischer Fragen auch in hochmetamorphen Gesteinskomplexen.

Für einige wertvolle Hinweise und die freundliche Durchsicht des Manuskriptes sind die Verfasser Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. *O. Oelsner*, Direktor des Institutes für Mineralogie und Lagerstättenlehre der Bergakademie Freiberg, zu großem Dank verpflichtet.

## Literatur

### I. Zur Geologie

- [1] *Baumann, L.*: Tektonik und Genesis der Erzlagerstätte von Freiberg (Zentralteil). Freib. Forsch.-H. C 46 (1958).
- [2] *Beck, R.*: Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen. Blatt 117 (Sektion Sayda), 1886. II. Auflage von *R. Reinisch* (1931).
- [3] *Beck, R.*: Über einige Eruptivgneise des sächs. Erzgebirges (I. Teil). Tscherm. Min. u. Petr. Mitt., **20** (1901).
- [4] *Beck, R.*: Über einige Eruptivgneise des sächs. Erzgebirges (II. Teil). Tscherm. Min. u. Petr. Mitt., **23** (1904).
- [5] *Beyer, E.*: Tektonische Untersuchungen im Bereich der Annaberger Graugneiskuppel. Geologie, Jg. 9, Heft 7 (1960).
- [6] *Biehl, N.*: Die Titangehalte in Glimmern der Freiburger Gneise. Unveröffentl. Diplomarbeit, Min.-Inst. d. Bergakademie Freiberg (1956).
- [7] *Bubnoff, S. v.*: Tektonik und Intrusionsmechanismus im kristallinen Odenwald. Abh. d. Preuß. Geolog. Landesanst., N. F., Heft 89 (1922).
- [8] *Cotta, B. v.*: Rother und grauer Gneis, sowie Glimmertrapp der Gegend von Oederan und Schellenberg; über diese Gesteine im Allgemeinen; vorläufige Hypothese über Bildung von rothem und grauem Gneis und Granulit. N. Jb. f. Min. etc. (1854).
- [9] *Dalmer, K.*: Zur Theorie der Genesis der archaischen Formation des Erzgebirges. Centralblatt f. Min. etc. (1904).
- [10] *Gäbert, C.*: Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen. Blatt 139 (Sektion Annaberg, 1903).
- [11] *Gäbert, C.*: Gerölleführende Schichten in der Gneisformation. Centralblatt f. Min. etc. (1903).
- [12] *Gäbert, C.*: Die Gneise des Erzgebirges und ihre Kontaktwirkungen. Ztschr. d. Deutschen Geolog. Ges. (1907).
- [13] *Gotte, W.*: Ein Beitrag zur Kenntnis der Freiburger Gneiskuppel. Geotektonisches Symposium zu Ehren von *H. Stille*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1956.
- [14] *Gotte, W.*, und *Richter, G.*: Geologische und bergmännische Probleme beim Anfahren einer wasserführenden Gangzone im Brander Revier. Freib. Forsch.-H. A 176 (1960).
- [15] *Koßmat, F.*: Übersicht der Geologie von Sachsen (Erläut. z. d. vom Sächs. Geol. LA veröffentlichten Übersichtskarten). Leipzig, 1925.
- [16] *Kraft, M.*, und *Tischendorf, G.*: Die Ergebnisse von Tiefbohrungen im Freiburger Lagerstättenbezirk. Ztschr. f. angew. Geologie, **6**, Heft 8 (1960).
- [17] *Mehnert, K. R.*: Die Meta-Konglomerate des Wiesenthaler Gneiszuges im sächs. Erzgeb. Min. u. Petr. Mitt., **50** (1938).
- [18] *Mehnert, K. R.*: Zur Abfolge der Gesteinsmobilisation im tiefen Grundgebirge (ohne Zufuhr). Geolog. Rundschau, 42, Stuttgart 1953.
- [19] *Möbus, G.*: Lausitzer Grundgebirge — Erzgebirge, ein petrogenetischer Vergleich, Geologie, Jg. 10, Heft 7 (1961).
- [20] *Müller, H.*: Die Erzlagerstätten der Umgegend von Marienberg (Bearbeitung eines Manuskriptes *H. Müllers* a. d. Jahre 1848 durch *R. Beck*). Jb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Kgr. Sachsen, 1912.
- [21] *Müller, H.*: Die geognostischen Verhältnisse des erzgebirgischen Gneisgebietes. Berg- und hüttenmännische Zeitung (1863).
- [22] *Müller, H.*: Die Gneise des Erzgebirges. N. Jb. f. Min. etc. (1864).

- [23] Müller, H.: Die Erzgänge des Annaberger Bergreviers. Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen, Leipzig 1894.
- [24] Müller, H.: Die Erzgänge des Freiburger Bergreviers. Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen, Leipzig 1901.
- [25] Oelsner, O. W.: Die Abhängigkeit der Paragenesen erzgebirgischer Lagerstättenbezirke vom Intrusionsalter der zugehörigen Granite. Freib. Forsch.-H. C 8, 1952.
- [26] Oelsner, O. W.: Die Lagerstätten des Freiburger Bezirkes. „Bergbautechnik“, 2 (1952).
- [27] Oelsner, O. W.: Die erzgebirgischen Granite, ihre Vererzung und die Stellung der Bi-Co-Ni-Formation innerhalb dieser Vererzung. „Geologie“, Jg. 7, Heft 3–6 (1958).
- [28] Pietzsch, K.: Über das geolog. Alter der dichten Gneise des sächs. Erzgeb. Zentralblatt f. Min. etc. (1914).
- [29] Pietzsch, K.: Abriß der Geologie von Sachsen. Verlag Volk und Wissen, Berlin 1951.
- [30] Pietzsch, K.: Die Gneise des Sächsischen Erzgebirges. „Geologie“, Jg. 3, Heft 4 (1954).
- [31] Radtke, H.: Kleintektonische Untersuchungen im Bereich der Marienberger Kuppel. Unveröffentl. Diplomarbeit, Humboldt-Universität Berlin (1958).
- [32] Reinisch, R.: Erläuterung z. Geol. Karte von Sachsen. Blatt 129 (Sektion Zöblitz), (1929); I. Auflage von J. Hazard (1884).
- [33] Reinisch, R.: Erläuterung z. Geol. Karte von Sachsen. Blatt 116 (Sektion Lengefeld), (1931); I. Auflage von J. Hazard (1886).
- [34] Reinisch, R.: Erläuterung z. Geol. Karte von Sachsen. Blatt 100 (Sektion Dippoldiswalde-Frauenstein), (1920); I. Auflage von F. Schalch (1887).
- [35] Sauer, A.: Über Konglomerate in der Glimmerschieferformation d. sächs. Erzgebirges. Zeitschr. f. d. gesamten Naturwiss., 52, Halle 1879.
- [36] Sauer, A.: Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen. Blatt 80 (Sektion Freiberg) (1887).
- [37] Sauer, A., und Rothpletz, A.: Erl. z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen. Blatt 79 (Sektion Freiberg-Langhennersdorf), II. Auflage, revid. von C. Gäbert (1906).
- [38] Sauer, A.: Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen. Blatt 98 (Sektion Brand-Oederan), II. Auflage, revid. von O. Stutzer (1910).
- [39] Sauer, A.: Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen. Blatt 99 (Sektion Lichtenberg-Mulda), (1886), II. Auflage von R. Reinisch (1927).
- [40] Schalch, F.: Erläuterung z. geol. Spezialkarte d. Kgr. Sachsen. Blatt 128 (Sektion Marienberg), (1879), II. Auflage, revid. von C. Gäbert (Marienberg-Wolkenstein) (1903).
- [41] Scheumann, K. H.: Über die petrogenetische Ableitung der roten Erzgebirgsgneise. Tscherm. Min. u. Petr. Mitt., 42 (1932).
- [42] Scheumann, K. H.: Über die petrographische und chemische Substanzbestimmung der Gesteinsgruppe der Roten Gneise des sächsischen Erzgebirges und der angrenzenden Räume. Min. Petr. Mitt., 50 (1938).
- [43] Scheumann, K. H.: Über die Gneise des Erzgebirges (Einige Bemerkungen zum Aufsatz von K. Pietzsch 1954). Geologie, Jg. 6, Heft 1 (1957).
- [44] Schmidt, K.: Zum Altersverhältnis der Rot- und Graugneisgruppe des erzgebirgischen Gneiskernes. Geologie, Jg. 7, Heft 3–6 (1958).
- [45] Schmidt, K.: Zur tektonischen Analyse des sächsischen Erzgebirges. Abh. d. Deutschen Akademie d. Wiss., Abh. zur Geotektonik Nr. 18, Akademie-Verlag Berlin 1959.
- [46] Schneiderhöhn, H., und Borchert, H.: Zonale Gliederung der Erzlagerstätten. N. Jb. Min., Mh. (1956).
- [47] Spengler, E.: Über die Abtragung des varistischen Gebirges in Sachsen. Abh. Geol. Landesanstalt Berlin, N. F., H. 212 (1949).
- [48] Starke, R., und Rentsch, J.: Geochemische Untersuchungen des Nebengesteins einiger Freiburger Gangformationen. Geologie, Jg. 8 (1959).
- [49] Stelzner, A.: Studien über die Freiburger Gneise und ihre Verwitterung. N. Jb. f. Min. etc. (1884).

- [50] *Tischendorf, G.*: Paragenetische und tektonische Untersuchungen auf Gängen der fluorbarytischen Bleiformation Freibergs, insbesondere am Halsbrückre Spat. Freib. Forsch.-H. C 18 (1955).
- [51] *Wasternack, J.*: Ergebnisse tektonischer Untersuchungen in der Phyllithülle des sächs. Erzgebirges. Geologie, Jg. 7, Heft 3–6 (1958).
- [52] *Watznauer, A.*: Die erzgebirgischen Granitintrusionen. Geologie, Jg. 3, Heft 6/7 (1954).
- [53] *Watznauer, A.*: Bemerkungen zum Altersverhältnis der erzgebirgischen Hauptgneise. Mbr. deutsch. Akad. Wiss., 1, Berlin 1959.

## II. Zirkonuntersuchungen

- [54] *Armstrong, P.*: Zircon as criterion of igneous or sedimentary metamorphics. Amer. Journ. Sci. **4** (1922).
- [55] *Callender, D. L.*, und *Folk, R. L.*: Idiomorphic zircon, key to volcanism in the lower Tertiary sands of central Texas. Amer. Journ. Sci., **256** (1958).
- [56] *Carrol, D.*: Weatherability of zircon. Journ. Sedim. Petrology, **23** (1953).
- [57] *Chrustschoff, K. v.*: Beitrag zur Kenntnis der Zirkone in Gesteinen. Min. Petr. Mitt., **7** (1886).
- [58] *Degenhardt, H.*: Untersuchungen zur geochemischen Verteilung des Zirkoniums in der Lithosphäre. Geochim. Cosmochim. Acta, **11** (1957).
- [59] *Demina, M. E.*: Zur Morphologie der Zirkone aus sandigen Ablagerungen im südl. Mittelasien (russ.). Ztschr. d. Allunions-Mineralog. Gesellsch., Serie 2, Jg. 82, Heft 5 (1960).
- [60] *Eckelmann, F. D.*, und *Kulp, J. L.*: The sedimentary origin and stratigraphic equivalence of the so-called Cranberry and Henderson granites in western North-Carolina. Amer. Journ. Sci., **254** (1956).
- [61] *Forster, W. R.*: Usefull aspects of the fluorescense of accessory-mineral-zircon. Amer. Mineral., **33** (1948).
- [62] *Hallbauer, D.*: Die akzessorischen Schwerminerale der westerzgebirgischen Granite. Unveröff. Diplomarbeit, Min.-Inst. Freiberg, 1957.
- [63] *Hevesy, G. v.* und *Würstlin, K.*: Die Häufigkeit des Zirkonisums. Ztschr. Anorg. Chemie, **216** (1934).
- [64] *Hoppe, G.*: Die akzessorischen Schwerminerale in Eruptivgesteinen am Beispiel des Ramberggranites und anderer Harzer Gesteine. Geologica, **9** (1951).
- [65] *Hoppe, G.*: Das Erscheinungsbild der akzessorischen Zirkone des Lausitzer Granodiorits von Wiesa bei Kamenz und seine petrogenetische Auswertung. Geologie, **6** (1957).
- [66] *Hoppe, G.*: Die Verwendbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen. Unveröff. Habilitationsschrift, Universität Halle. 1960.
- [67] *Hoppe, G.*: Zur Morphologie des akzessorischen Zirkons. Ber. d. Geolog. Ges. i. d. DDR, **6**, Heft 1 (1961).
- [68] *Hall, B. A.*, und *Eckelmann, F. D.*: Significance of variations in abundance of zircon and statistical parameters of zircon populations in a granodiorite dike (Bradford, Rhode Island.) Amer. Journ. Sci., **259** (1961).
- [69] *Larsen, L. H.*, und *Poldervaart, A.*: Measurement and distribution of zircons in some granitic rocks of magmatic origin. Miner. Mag., **31** (1957).
- [70] *Morgan, J. H.*, und *Lauer, M. L.*: Optical, spectrographic and radioactivity studies of zircon. Amer. Journ. Sci., **239** (1941).
- [71] *Müller, P.*: Aufbereitungsversuche und Untersuchungen an Zirkonen aus magmatischen Gesteinen. Unveröff. Diplomarbeit, Min.-Inst. Freiberg, 1958.
- [72] *Ortmann, R.*: Untersuchungen an den Schwermineralien des Ruhlaer Granits. — Unveröff. Diplomarbeit, Min.-Inst. Halle (1955).

- [73] *Poldervaart, A.*: Statistical studies of zircon as a criterion of granitisation. *Nature*, **165** (1950).
- [74] *Poldervaart, A.*: Zircons in rocks, 1. Sedimentary rocks. *Amer. Journ. Sci.*, **253** (1955).
- [75] *Poldervaart, A.*: Zircons in rocks, 2. Igneous rocks. *Amer. Journ. Sci.*, **254** (1956).
- [76] *Poldervaart, A.*, und *Backström, J. W. v.*: A study of an area at Kakamas (Cape Province). *Geol. Soc. South Africa Trans.*, **52** (1949).
- [77] *Raeside, J. D.*: Stability of index minerals in soils with particular reference to quartz, zircon and garnet. *Journ. Sediment. Petrology*, **29** (1959).
- [78] *Schindler, R.*: Untersuchungen an Zirkon und Schwermineralien einzelner Kaolinvorkommen. Unveröff. Diplomarbeit, Min.-Inst. Freiberg 1957.
- [79] *Schützel, H.*, und *Kutschke, D.*: Zirkonstatistische Untersuchungen am Augengneis von Schwarzenberg (Erzgeb.). *Bergakademie*, **7-8** (1960).
- [80] *Schumann, H.*: Beiträge zur Schwermineral-Analytik. *Fortschr. Min.*, **27** (1948).
- [81] *Tyler, S. A.*: Zircon studies in the New Jersey Highlands. *Amer. Journ. Sci.*, **238** (1940).
- [82] *Stark, J. T.*, und *Burnes, F. E.*: The correlation of Pre-cambrian granites by means of heavy mineral analysis. *Geolog. Mag.*, **72** (1935).
- [83] *Strock, L. W.*, und *Drexler, S.*: Geochemical study of Saratoga mineral waters by a spectrochemical analysis of their trace elements. *Journ. Opt. Soc. Amer.*, **31** (1941).
- [84] *Tröger, W. E.*: Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Berlin 1935.
- [85] *Vitanage, P. W.*: Studies of zircon types in Ceylon pre-Cambrian complex. *J. Geol.*, **65** (1957).
- [86] *Vore, G. W. de.*: Crystal growth and the distribution of elements. *J. Geol.*, **63** (1955).
- [87] *Vore, G. W. de.*: The role of adsorption in the fractionation and distribution of elements. *J. Geol.*, **63** (1955).
- [88] *Wilson, A. F.*: Fluorescent feldspar and zircon as petrological aids. *Mineral Mag.*, **29** (1950).
- [89] *Wyatt, M.*: Zircons as provenance indicators. *Amer. Mineral.*, **30** (1954).
- [90] *Agafanowa, T. N.*: Einige morphologische Besonderheiten von Zirkon (russ.). *Min. spornik*, Nr. 15, *Lowsker Geol. Ges.* (1961).
- [91] *Lange, H.*, und *Wiedemann, F.*: Zur Gewinnung reiner Mineralfractionen aus Gesteinen und den dabei möglichen Aussagen über die quantitative Zusammensetzung einzelner Gesteinstypen. *Bergakademie* **16** (1962) H. 6 und 7.
- [92] *Schailing, R. D.*: A zirkon-study of an augen-gneis in the Menderes-Massiv. *Bull. Miner. Research and Expl. Inst. Turkey*, **10**, Nr. 51, Ankara (1958).

1. ...

2. ...

3. ...

4. ...

5. ...

6. ...

7. ...

8. ...

9. ...

10. ...

11. ...

12. ...

13. ...

14. ...

15. ...

16. ...

17. ...

18. ...

19. ...

20. ...

21. ...

22. ...

23. ...

24. ...

25. ...

26. ...

27. ...

28. ...

29. ...

30. ...

31. ...

32. ...

33. ...

34. ...

35. ...

36. ...

37. ...

38. ...

39. ...

40. ...

41. ...

42. ...

43. ...

44. ...

45. ...

46. ...

47. ...

48. ...

49. ...

50. ...

51. ...

52. ...

53. ...

54. ...

55. ...

56. ...

57. ...

58. ...

59. ...

60. ...

61. ...

62. ...

63. ...

64. ...

65. ...

66. ...

67. ...

68. ...

69. ...

70. ...

71. ...

72. ...

73. ...

74. ...

75. ...

76. ...

77. ...

78. ...

79. ...

80. ...

81. ...

82. ...

83. ...

84. ...

85. ...

86. ...

87. ...

88. ...

89. ...

90. ...

91. ...

92. ...

93. ...

94. ...

95. ...

96. ...

97. ...

98. ...

99. ...

100. ...



**FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE**  
Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

C 87

**MINERALOGIE — LAGERSTÄTTENLEHRE**

JOACHIM LÖFFLER

**Die Carnallitgesteine  
des Raumes Aschersleben—Schierstedt**

Format 17 × 24 cm — 63 Seiten — 27 Bilder — 7 Tabellen — DM 6,—

Erschienen Januar 1960

Die Arbeit gliedert sich in drei wesentliche Abschnitte: nach einer einleitenden Beschreibung der geologischen, stratigraphischen und tektonischen Verhältnisse des Gesamtgebietes Aschersleben—Schierstedt werden die geologischen Verhältnisse an Hand der Grubenaufschlüsse diskutiert.

Ein zweiter Abschnitt behandelt Probleme der Umwandlung des Kalisalzlagers, wobei die Zeugnisse für eine metamorph-metasomatische Veränderung des Flözes Staßfurt ausgewertet werden.

Der dritte Teil der Arbeit ist der Beschreibung der petrographischen Verhältnisse, des Mineralinhalts und der Gefügeverhältnisse gewidmet.

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, daß das kalisalzfreie Gebiet des Ascherslebener und Schierstedter Sattels anders als bisher abgegrenzt werden muß. Das geschichtete Carnallitgestein geht infolge tektonischer Einwirkung allmählich in Trümmercarnallit über. Die Ursache für eine fazielle Differenzierung des Kalisalzlagers im Gebiet Aschersleben—Schierstedt bilden nach Ansicht des Verfassers Metamorphoselaugen, deren Herkunft ungeklärt blieb. Autigenen Laugen wird für eine Metamorphose keine Bedeutung beigemessen. Die Hartsalzentstehung erfolgte sekundär, aber in jedem Falle prätektonisch.

Auslieferung durch den

**VEB DEUTSCHER VERLAG FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE  
LEIPZIG**

# FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

C 92

## MINERALOGIE — LAGERSTÄTTENKUNDE

HANS-JÜRGEN RÖSLER

### **Zur Petrographie, Geochemie und Genese der Magmatite und Lagerstätten des Oberdevons und Unterkarbons in Ostthüringen**

Format 17 × 24 cm — 275 Seiten — 106 Bilder — 49 Tabellen — 1 Beilage  
DM 25,—

Erschienen Dezember 1960

Die oberdevonischen und unterkarbonischen basischen und sauren Magmatite (Diabase, Spilite, Quarzkeratophyre, Quarzporphyre) am Westrand des Bergener Sattels (Ostthüringen) werden eingehend petrographisch und geochemisch bearbeitet. Von den Eisenerzen des sog. Schleizer Troges werden die Ergebnisse mineralogischer Untersuchungen mitgeteilt. Genetische Betrachtungen werden bei den Sedimenten u. a. zur Frage der Rotschiefer-, Phosphorit- und Kohlenkalkbildung angestellt, während bei den Eruptivgesteinen die substantielle Entwicklung des Vulkanismus während des Oberdevons und Unterkarbons sowie Differentiations- und Assimilationsprobleme behandelt werden.

Auslieferung durch den

**VEB DEUTSCHER VERLAG FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE  
LEIPZIG**