

4. Petrographie.

Die primären Strukturen und Texturen der Eruptivgesteine.

Von

L. Milch,
Greifswald.

Als primäre Strukturen und Texturen sollen hier die verschiedenen Arten des Gefüges der Gesteinsgemengteile bezeichnet werden, soweit dieses durch Änderung der physikalischen Verhältnisse in einem chemisch homogenen Magma während dessen Abkühlung erzeugt wird. Alle rein chemischen oder wesentlich chemischen Vorgänge im Magma, wie magmatische Spaltung, Differentiation im Schmelzfluß, örtliche Veränderung der Zusammensetzung durch eingeschmolzene Bruchstücke fremder Gesteine, sind hierbei ausgeschlossen und mit ihnen eine Erörterung über basische Konkretionen, glomeroporphyritische Anordnung und andere mehr; allerdings werden sich gelegentliche Erwähnungen magmatisch-chemischer Verhältnisse in Fällen nicht ganz vermeiden lassen, in denen sich ähnliche Anordnungen durch Vorgänge im homogenen Magma und durch stoffliche Beeinflussungen ergeben, wie beispielsweise bei der Eutaxit-textur.

Die wichtigsten Faktoren für Struktur und Textur sind Temperatur und Zeit; die obere, hier in Betracht kommende Grenze (und somit gleichzeitig der Zeitpunkt, mit dem die Erörterung einsetzt,) soll der Beginn der Ausscheidungsmöglichkeit aus dem Schmelzfluß sein; die untere Grenze ist erreicht, wenn der erstarrte Schmelzfluß die Temperatur seiner Umgebung angenommen hat, so daß also entgegen der sonst üblichen Einteilung die Absonderungsformen im engeren Sinne, die nicht späteren geologischen Einwirkungen ihre Entstehung verdanken, mit einbezogen

11*

sind. Die untere Grenze der Temperatur liegt für Tiefengegesteine natürlich höher als für Ergußgesteine.

Die Anordnung der Gemengteile der Eruptivgesteine wird durch genetisch verschiedene und verschiedenwertige Ursachen bedingt; häufig wirken auch verschiedene Ursachen zusammen, um ein Gefüge hervorzubringen. Dies erschwert eine Einteilung der Anordnungen in größere Gruppen; die in der älteren Petrographie vorgenommene Trennung in Textur und Struktur der Gesteine ist daher lange Zeit aufgegeben worden, seitdem K. F. NAUMANN sie nicht mehr benutzte, um nicht „mit der einmal gebräuchlichen Terminologie zu sehr in Widerspruch zu geraten. Will man nämlich den Unterschied der Textur und Struktur mit einiger Konsequenz durchführen, so kann man unter der ersteren nur das durch die ersten Gesteinselemente (Kristalle und Fragmente) bedingte Gefüge, unter der letzteren das durch die höheren Aggregationsgrade bedingte Gefüge verstehen“ (Lehrbuch der Geognosie, Bd. I, S. 408, 1858). Wie NAUMANN fassen auch H. ROSENBUSCH und F. ZIRKEL, ebenso wie F. FOUQUÉ und A. MICHEL-LÉVY alle durch die Anordnung der Gemengteile hervorbrachten Eigenschaften der Gesteine unter der Bezeichnung Struktur zusammen. Ganz entgegengesetzt bezeichnet die moderne amerikanische Schule mit „structure“ die Absonderungsformen, die sonst, wie erwähnt, an ganz anderer Stelle behandelt werden, und gebraucht „texture“ „for the material features of rocks exhibited by the mineral components and by the groundmass of dense or glassy rocks“ (W. CROSS, I. P. IDDINGS, L. V. PISSON, H. S. WASHINGTON: Quantitative Classification of Igneous Rocks, S. 153, Chicago 1903).

Hier soll der Versuch gemacht werden, auf Grund der von U. GRUBENMANN gegebenen Definitionen wieder zwei Gruppen als Strukturen und Texturen zu unterscheiden.

GRUBENMANN bezeichnet als Struktur „das charakteristische genetische Gefüge der Gesteinsgemengteile, das bestimmt wird durch einen bestimmten Grad in der Formentwicklung der Komponenten und die daraus folgende gegenseitige Abgrenzung“, als Textur „das stereo-metrische Gefüge der Komponenten, wie es durch ihre räumliche Anordnung und Verteilung bedingt wird“ (Die kristallinen Schiefer, 2. Aufl., S. 36 resp. S. 39). In der Natur der Sache liegt, wie eine einfache Überlegung zeigt, die Unmöglichkeit begründet, durch irgendeine Abgrenzung ein Übereinandergreifen der Begriffe „Struktur“ und „Textur“ zu verhindern: gewisse Texturen sind eine unmittelbare Folge bestimmter Strukturen, und umgekehrt wirken manche zu bestimmten Texturen führende Verhältnisse auf die Gestalt und Größe der Gesteinsgemengteile — andererseits gestattet aber die Definition GRUBENMANN'S, die Vorgänge während der Abkühlung mit genügender Schärfe in zwei Gruppen zu trennen, je nachdem

sie Eigenschaften der Struktur oder der Textur bewirken.

I. Die **Struktur** wird bedingt durch

1. die Individualisierung (Kristall—Glas),
2. die Größe der Gemengteile,
 - a) absolut,
 - b) relativ (körnig, porphyrisch),
3. die Gestalt der Gemengteile,
 - a) kristallographischer Habitus,
 - b) Grad der Idiomorphie,
 - Altersfolge,
 - Gleichzeitiges Auskristallisieren,
 - Ausscheidung in fester Phase,
 - c) Veränderung der Gestalt vor Abschluß der Erstarrung.

II. Die **Textur** wird bedingt durch

4. die Anordnung der Gemengteile
 - a) infolge der Kristallisation,
 - b) durch äußere Einwirkungen,
5. die Raumerfüllung
 - a) infolge von Vorgängen im Schmelzfluß vor der Erstarrung.
 - b) Absonderungsformen, durch Abkühlung des erstarrten Gesteins hervorgerufen.

I. Strukturen.

1. Individualisierung.

Die Individualisierung, d. h. die Zerlegung des Magmas in kristallisierte mineralische Individuen, ist eine quantitative Eigenschaft, bei der mithin nur verschiedene Grade unterschieden werden können; maßgebend ist ein Zusammenwirken von physikalischen Vorgängen, die das Auskristallisieren verhindern oder begünstigen.

Für den Grad der Individualisierung eines Gesteinschmelzflusses ist im stärksten Maße bestimmend die Schnelligkeit der Abkühlung. Unter sonst gleichen physikalischen Verhältnissen gibt es für die Ausscheidung jeder Kristallart ein bestimmtes Optimum der Temperatur; sinkt die Temperatur tiefer, so verschlechtern sich die Verhältnisse und schließlich wird die Kristallisationsmöglichkeit aufgehoben: soweit die Schmelze noch nicht auskristallisiert ist, erstarrt sie zu einem Glas, zu einer amorphen festen Lösung. Mit

sinkender Temperatur nimmt die Viskosität, die innere Reibung, sehr stark zu und verhindert die Kristallbildung aus der unterkühlten Lösung; umgekehrt begünstigen Beimischungen oder Zusätze, die die innere Reibung vermindern, die sog. Mineralisatoren, ebenso wie eine Durchtränkung mit Wasser, das Auskristallisieren. Wenn Druck auch die Viskosität von Schmelzen erhöht, so kommt ihm für die Frage nach der glasigen Erstarrung von Schmelzflüssen im Vergleich zur Wirkung der Temperatur doch nur eine ganz unbedeutende Rolle zu. Schließlich besteht offenbar eine verschieden starke Neigung zur Individualisierung bei chemisch verschiedenen Magmen: die Beobachtung hat gelehrt, daß an Siliciumdioxid reiche („saure“) Magmen leichter Glas bilden als an SiO_2 arme („basische“) Magmen; andererseits sind allerdings von den nicht an der Erdoberfläche, also unter der Glasbildung ungünstigen Bedingungen verfestigten Gesteinen nur die basischen Camptonite, die Monchiquite, glasreich.

Eine wesentlich zu Glas erstarrte Masse bezeichnet man als vitrophyrisch, als hyalin entwickelt, oder als glasiges Gestein; treten Kristalle und Glas zusammen auf, so nennt man das Gebilde hypokristallin, besteht das Gestein nur aus individualisierten Bestandteilen, so heißt es holokristallin. Daß wesentlich die Schnelligkeit der Wärmeabgabe des Schmelzflusses an die Umgebung, mithin die Dauer des Zeitintervalls, in dem die für die Kristallisation günstigen Bedingungen herrschen, für diese Art der Verfestigung der Magmen maßgebend ist, dafür spricht die Abhängigkeit dieser Strukturgruppen von dem geologischen Auftreten der Gesteine: bei der Verfestigung großer Massen innerhalb der Erdrinde, also in einer Umgebung von verhältnismäßig hoher Temperatur unter hohem Druck, finden sich ausschließlich holokristalline Gesteine; Glas ist bei nicht auf der Erdoberfläche erstarrten Gesteinen fast immer beschränkt auf die Salbänder schmaler Gänge und hat seine Hauptverbreitung in den die Erdoberfläche erreichenden Ergüssen. Diese Regel gilt für saure wie für basische Gesteine in gleicher Strenge und beweist somit den geringen Einfluß der chemischen Zusammensetzung gegenüber den physikalischen Verhältnissen. Ebenso zeigt die Häufigkeit des Glases bei Erstarrung unter Atmosphärendruck, sein Fehlen in den Tiefengesteinen, daß unter den Verhältnissen der Gesteinswelt die Erhöhung der Viskosität durch den Druck für die Glasbildung nicht direkt in Betracht kommt.

Das Entweichen der Mineralisatoren bei starker Druckverminderung begünstigt wohl die Entwicklung von Glas an der Erdoberfläche, kann aber für die nicht an der Erdoberfläche sich verfestigenden Gesteine nur eine untergeordnete Bedeutung haben, da man durch entsprechende Vorgänge weder das Auftreten von Glas bei schmalen Gängen, noch das Fehlen dieser Substanz an den Rändern großer

Massen, noch schließlich die Abhängigkeit der Glasbildung von der geringeren Tiefe der Erstarrung zu erklären vermag. Hingegen haben die Berechnungen von A. C. LANE (Bull. Geol. Soc. America, Bd. 8, S. 402 ff., 1896 und spätere Arbeiten) gelehrt, daß die Abkühlungszeiten von Intrusivmassen (unter der Annahme paralleler Grenzflächen) sich verhalten wie die Quadrate ihrer Mächtigkeiten, und daß ferner durch höhere Temperatur des Nebengesteins die Abkühlung der randlichen Teile des eingedrungenen Magmas sehr bedeutend verlangsamt wird.

Alle diese Erwägungen beweisen den maßgebenden Einfluß der Schnelligkeit der Abkühlung für die Individualisierung; neben ihr kommt den anderen Verhältnissen wohl nur eine im allgemeinen zurücktretende Bedeutung zu.

Zu den eine glasige Erstarrung begünstigenden Bedingungen kann man vielleicht eine eutektische Zusammensetzung eines Gesteins oder eines Gesteinsrestes rechnen.

Schon 1887 zeigte A. LAGORIO in seiner Abhandlung „Über die Natur der Glasbasis, sowie der Kristallisationsvorgänge im eruptiven Magma“ (Min. petr. Mitt., Bd. 8, S. 421 ff.), daß die „Basis“, das Glas in sehr kieselsäurereichen Gesteinen basischer als das Gestein sei, während in kieselsäurereicheren, aber sonst ähnlich zusammengesetzten das umgekehrte Verhältnis zu beobachten sei; er verglich die „restierende Basis“ mit dem Kryohydrat, oder, wie man jetzt für Schmelzflüsse lieber sagt, dem Eutektikum, einem aus zwei (oder mehr) verschiedenen Körpern bestehenden Gemisch von bestimmter, von der Natur der gemischten Körper abhängiger Zusammensetzung, das bei erheblich niedrigerer Temperatur schmilzt, dessen Komponenten mithin aus einem Schmelzfluß bei bedeutend niedrigerer Temperatur erstarren, als jeder der Komponenten für sich oder als ein in der Schmelze befindlicher, den Prozentgehalt des Eutektikums übersteigender Anteil einer Komponente. Da bei der tieferen Temperatur, bei der ein Auskristallisieren des Eutektikums erst möglich ist, die Viskosität stark zugenommen hat, ist theoretisch die Möglichkeit, daß gerade dieser Anteil glasig erstarrt, leicht verständlich; daß aber im allgemeinen andere Einflüsse, besonders rasche Abkühlung, viel stärker einwirken, beweisen einerseits Gläser von keineswegs eutektischer Zusammensetzung, andererseits das Fehlen von Glas trotz eutektischer Zusammensetzung überall dort, wo eine langsame Abkühlung stattfand.

2. Die Größe der Gesteinsgemengteile.

Eine Betrachtung über die Größe der Gesteinsgemengteile muß notwendig in zwei Teile zerfallen, von denen der eine ihre absolute, der andere ihre relative Größe behandelt.

a) Die absolute Größe.

Die absolute Größe der Gesteinsbestandteile spielte vor und mittelbar nach der Einführung des Mikroskops in die Gesteinskunde naturgemäß eine sehr große Rolle; aus dieser Zeit stammen für die Größe der Komponenten die Bezeichnungen makrokristallin, mikrokristallin und kryptokristallin sowie für die Gesteine die Bezeichnungen phaneromer und kryptomer (in der älteren französischen Literatur phanogène und adelogène), je nachdem ihre Korngröße die Entscheidung gestattet, ob sie aus Individuen der gleichen resp. verschiedener Arten aufgebaut sind, oder nicht. F. ZIRKEL bezeichnet Gesteine, deren Gemengteile wegen ihrer geringen Größe nicht mehr bestimmt oder überhaupt nicht mehr unterschieden werden können, als adiagnostisch im Gegensatz zu eudiagnostischen Gesteinen, unterscheidet somit (Petrographie, Bd. I, S. 454)

makroskopisch-phanerokristallinisch eudiagnostisch

makroskopisch-phanerokristallinisch adiagnostisch

makroskopisch-kryptokristallinisch (und somit selbstverständlich adiagnostisch).

Die beiden ersten Gruppen (diese selbstverständlich) und wohl der weitaus größte Teil auch der dritten Gruppe gestatten unter dem Mikroskop die Bestimmung ihrer Gemengteile, sind mithin

mikroskopisch-phanerokristallinisch eudiagnostisch,

nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der makroskopisch-kryptokristallinischen Gesteine entzieht auch im Dünnschliff seine Bestandteile der Erkennung durch kristalloptische Methoden, ist also auch mikroskopisch-adiagnostisch und zwar entweder, wenn er unter dem Mikroskop den Aufbau aus kristallisierten, aber nicht mehr bestimmbar Komponenten erkennen läßt,

mikroskopisch-phanerokristallinisch adiagnostisch

oder, wenn man auch bei stärksten Vergrößerungen nicht mehr die einzelnen Komponenten erkennen kann,

mikroskopisch-kryptokristallinisch (und somit selbstverständlich adiagnostisch).

Wenn man als kryptokristallinisch nur Aggregate bezeichnet, die durch ihre Einwirkung auf das polarisierte Licht ihren Aufbau aus kristallisierten Bestandteilen mit Sicherheit erschließen lassen, so müssen für die beiden mikroskopisch-adiagnostischen Gruppen die Verhältnisse theoretisch gleich, praktisch nur sehr wenig verschieden liegen; es rechtfertigt sich somit die vielfach geübte Zusammenfassung zu einer Gruppe, die gewöhnlich als kryptokristallinisch bezeichnet wird.¹⁾ Gebilde, bei denen es zweifelhaft bleiben muß, ob die Kom-

¹⁾ Gegen diesen Gebrauch wendet sich F. ZIRKEL (Petrographie, Bd. I, S. 455),

ponenten kristallisiert sind oder nicht, nennt F. ZIRKEL dubiokristallinisch — für unzersetzte Eruptivgesteine kommt dieser Begriff wohl kaum in Betracht.

Eine anerkannte Skala für die Korngröße, wie sie beispielsweise die Bodenkunde für die Bestandteile der Böden aufgestellt hat, besteht für die Eruptivgesteine nicht: aus leicht begreiflichen Gründen begnügt man sich unter Zugrundelegung der Beobachtungen mit dem unbewaffneten Auge und der Lupe mit allgemeinen Ausdrücken wie grobkörnig, mittelkörnig, feinkörnig, dicht und wendet gelegentlich entsprechende Ausdrücke für das mikroskopische Verhalten an.¹⁾ Wenn die Gemengteile die Größe von annähernd einem Dezimeter erreichen, spricht man auch wohl von Riesenstrukturen. Übrigens zeigt die Literatur, daß auch die Bezeichnungen grobkörnig, feinkörnig oft abhängig von der Natur des Gesteins gebraucht werden: ein Gabbro, dessen Bestandteile die Masse eines „grobkörnigen“ Basaltes besitzen, würde höchstens als „mittelkörnig“ bezeichnet werden.

Die durch das Mikroskop erzielte Erkenntnis von der grundsätzlichen Übereinstimmung der dichten und der gröberkörnigen Gesteine bewirkte, daß die Petrographie der absoluten Korngröße wenig Gewicht beilegte — hatte man doch in der vorangegangenen Zeit den der Untersuchung durch die Unmöglichkeit der Unterscheidung unterhalb einer bestimmten-Größe der Gemengteile aufgezwungenen Unterschied sehr störend empfunden und mit Recht auf den Wechsel der Korngröße in einem und demselben Gestein hingewiesen, der die Korngröße als theoretisch unwichtig erscheinen ließ: gerade in dem Fehlen eines mittleren Normalmaßes für ein und dieselbe Mineralspezies erblickt K. F. NAUMANN in seinen „Elementen der Mineralogie“ einen der beiden wichtigsten Unterschiede der Individuen der anorganischen gegenüber denen der organischen Natur. Erneutes Interesse gewann die Korngröße erst wieder, als die erweiterte Erfahrung vielfach eine Abhängigkeit der Korngröße von dem geologischen Auftreten kennen lehrte, und als die Hoffnung wach wurde, es werde gelingen, den

weil bei der mikroskopisch-phanerokristallinisch adiagnostischen Gruppe nicht die Kristallinität, sondern nur die mineralogische Natur verborgen sei. Die Berechtigung dieser Zusammenfassung und Bezeichnung ergibt sich vielleicht, wenn man kryptokristallin nicht mit „verborgen kristallin“, sondern mit „versteckt kristallin“ übersetzt.

¹⁾ Für „Körner“, d. h. Individuen, die nach allen drei Richtungen ungefähr gleiche Dimensionen besitzen, unterschied K. F. NAUMANN: große Körner mit einem Durchmesser von ungefähr 1 Zoll und darüber, grob 1 Zoll bis $\frac{1}{4}$ Zoll, klein $\frac{1}{4}$ Zoll bis 1 Linie, fein unter 1 Linie (Geognosie, Bd. I, S. 409, 410). In ihrer Quantitative Classification of Igneous Rocks unterscheiden W. CROSS, I. P. IDDINGS, L. V. PIRSSON und H. S. WASHINGTON: grobkörnig über 5 mm Durchmesser, mittelkörnig 1–5 mm, feinkörnig 1 mm und darunter.

Grund für diese Erscheinung in den physikalisch-chemischen Verhältnissen nachzuweisen.

Für die Größe von Kristallen, die sich aus ihrer Schmelze ausscheiden — die Erscheinungen sind vorläufig wesentlich unter diesen einfachsten Bedingungen studiert — kommen (für Schmelzen der gleichen Substanz) wohl hauptsächlich das Kristallisationsvermögen, gemessen „durch die Zahl der spontan entstehenden Kristallisationszentren in der Gewichtseinheit der unterkühlten Flüssigkeit pro Zeiteinheit bei gegebener Temperatur“ (G. TAMMANN, Kristallisieren und Schmelzen, 1903, S. 148), und die Kristallisationsgeschwindigkeit in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur in Betracht. Beide Eigenschaften stellen sich erst ein, wenn Unterkühlung eingetreten ist, beide nehmen zunächst mit der Unterkühlung stark zu; während aber das Kristallisationsvermögen von einem Maximum schnell herabsinkt, erreicht die Kristallisationsgeschwindigkeit ein Maximum, das für ein Temperaturintervall konstant bleibt. Nachdem das Maximum überschritten ist, wirkt offenbar die mit zunehmender Unterkühlung zunehmende Viskosität der Bildung neuer Kristallkerne, ebenso wie dem Wachstum der vorhandenen entgegen; umgekehrt haben die verhältnismäßig wenigen Kerne, die sich bei geringer Unterkühlung in der leichtflüssigen Schmelze bilden, für ihr Wachstum günstige Bedingungen. Kühlt sich eine Schmelze sehr langsam ab, so kann sie sich verfestigen, ehe sie das Maximum des Kristallisationsvermögens erreicht hat, da die verhältnismäßig spärlichen Kerne in einer nicht zähflüssigen Schmelze wachsen und bei genügender Zeit sich zu großen Kristallen entwickeln, selbst wenn das Maximum der Kristallisationsgeschwindigkeit in dem Temperaturintervall noch nicht erreicht ist. Wird umgekehrt die für das Maximum des Kristallisationsvermögens charakteristische Temperatur sehr schnell erreicht, so bilden sich Kristallkerne in größter Zahl, und auch die größte Kristallisationsgeschwindigkeit kann dann nur bewirken, daß eine holokristalline Masse entsteht, aber nicht mehr große Kristalle erzeugen. Einflüsse, welche die Viskosität verringern (Mineralisatoren usw.), erhöhen die Kristallisationsgeschwindigkeit, begünstigen mithin die Entwicklung größerer Kristalle (und ermöglichen vielfach überhaupt erst die Entstehung von Kristallarten mit spezifisch sehr kleiner Kristallisationsgeschwindigkeit); auch andere Beimischungen verändern die Kristallisationsgeschwindigkeit ebenso wie das Kristallisationsvermögen, das außerdem, wie TAMMANN zeigte, sehr stark durch in der Schmelze unlösliche Substanzen beeinflusst wird (a. a. O. 152). Für gemischte Silikatschmelzen hat C. DÖLTER gezeigt, daß die aus ihr sich bildenden Silikate andere Kristallisationsgeschwindigkeiten besitzen, wie bei der Erstarrung aus ihrer eigenen Schmelze.

Der Erhöhung der Viskosität, die, wie oben ausgeführt wurde,

durch den Druck gesteigert wird, wirkt bis zu einem gewissen Grade eine zweite Folge des Druckes, das Zurückhalten der Mineralisatoren in dem Schmelzfluß entgegen; wie groß diese Einwirkung auf die Korngröße der Gesteine ist, läßt sich nicht übersehen, da diese von zahlreichen sich verstärkenden und sich entgegenarbeitenden Faktoren abhängt. Jedenfalls liegen die Bedingungen für die Entwicklung großer Kristalle bei einem in der Tiefe, also unter Druck erstarrenden Magma trotz des Druckes viel günstiger als bei der Festwerdung des gleichen Magmas an der Erdoberfläche.

Auch die Unterschiede der Viskosität, die durch die chemische Zusammensetzung des Magmas hervorgerufen werden, scheinen für die Korngröße der sich aus dem Magma entwickelnden Kristalle nur unter besonderen Umständen eine erheblichere Rolle zu spielen: basische Schmelzen sind offenbar leichtflüssiger als kieselsäurereiche, und doch läßt sich keineswegs bei sonst gleichen Erstarrungsbedingungen allgemein für basische Gesteine ein größeres Korn feststellen als für saure. Bei langsamer Abkühlung wirkt wahrscheinlich die chemische Zusammensetzung auf die Korngröße gar nicht ein, bei schneller kann man wohl die größere Häufigkeit gröber körniger Basalte gegenüber den Lipariten (mit Einschluß der Quarzporphyre) auf die verschiedene chemische Zusammensetzung zurückführen, ebenso wie es oben mit der größeren Neigung basischer Ergüsse zu kristalliner Entwicklung geschehen ist.

Da schließlich die gleichzeitige Entstehung zahlreicher Keime stets zur Entstehung kleiner Individuen führen muß, wird ein als solches erstarrendes Eutektikum immer nur geringe Korngröße besitzen, wenn nicht andere, später zu besprechende Verhältnisse entgegenwirken.

Als weitaus wichtigster Faktor für die Dimensionen aus einer Schmelze sich entwickelnder Kristalle erweist sich somit auch hier die Abkühlungszeit.

b) Die relative Größe der Gemengteile.

Die durch die relative Größe der Gesteinsgemengteile hervorgerufenen charakteristischen Unterschiede des Gefüges fallen so stark in das Auge, daß auf sie begründete Unterscheidungen eigentlich der wissenschaftlichen Erforschung der Gesteine vorangingen und von dieser geradezu übernommen wurden. Solange man auf das unbewaffnete Auge oder die Lupe angewiesen war, machte sich (nach der erzwungenen Ausscheidung der dichten Gesteine) als wesentlicher Unterschied die Erkennbarkeit aller oder nur eines Teiles der Gesteinskomponenten geltend. Wie stark die Unterschiede empfunden werden, beweist C. F. NAUMANN'S Geognosie von 1858: die

„kristallinisch-körnige Struktur“ wird mit der schuppigen, flaserigen, schieferigen Struktur in der Gruppe der „einfachen“ Strukturen behandelt, bei denen „jeder kleinere wie größere Teil des Gesteins eine und dieselbe Art des Gefüges erkennen läßt“; innerhalb der kristallinisch-körnigen Struktur unterscheidet er nach der relativen Größe der Körner „die gleichmäßig und ungleichmäßig körnige Struktur, je nachdem nämlich die körnigen Individuen alle von ziemlich gleicher, oder zum Teil von sehr ungleichmäßiger Größe sind. Im letzteren Fall pflegen die größeren Individuen als vollständige Kristalle ausgebildet zu sein, welche innerhalb des körnigen Gesteins verteilt sind, dessen Struktur dann als porphyrtartig bezeichnet wird, weil sie große Ähnlichkeit mit der porphyrischen Struktur besitzt“ (S. 442). Im Gegensatz hierzu findet sich die porphyrische Struktur zusammen mit der amygdaloidischen, oolithischen, variolitischen, lagenförmigen usw. unter den „zusammengesetzten“ Strukturen; ihre Eigentümlichkeit besteht „in dem Gegensatz einer Grundmasse von nicht mehr oder nur undeutlich erkennbaren Elementen (also von mikrokristallinischer oder kryptokristallinischer, zuweilen auch von hyaliner Natur) gegen die sehr deutlich erkennbaren Individuen, welche innerhalb derselben mehr oder weniger zahlreich ausgebildet sind“ (S. 444).

Diese beschreibende Definition mußte durch die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen eine gewisse Abänderung erfahren; für die porphyrischen Gesteine mit nicht glasiger Grundmasse ergab sich als charakteristisch, daß alle oder gewisse Gemengteile sowohl in großen Kristallen als Einsprenglinge (Ausscheidungen ZIRKEL, Phenocrysts IDDINGS) wie auch in viel kleineren Individuen in der Grundmasse auftreten. Die Frage nach der Ursache dieser Erscheinung führte zu der bekannten genetischen Definition H. ROSENBUSCH'S, nach der „das Wesen der körnigen Struktur darin liegt, daß jeder Gemengteil des Gesteins nur eine einzige Bildungsperiode hatte, während das Wesen der porphyrischen Struktur darin zu sehen ist, daß gewisse, nicht alle, Gemengteile in wenigstens zwei zeitlich getrennten Bildungsperioden entstanden. Bei körniger Struktur tritt jeder Gemengteil nur in einer Generation auf, bei porphyrischer Struktur treten einzelne Gemengteile in zwei oder mehreren Generationen auf“ (Elemente der Gesteinslehre, 3. Aufl., S. 55). Ein Vergleich des geologischen Auftretens der Eruptivgesteine und ihrer Struktur führte weiter zu der Erkenntnis: „Die körnige Struktur ist die Normalstruktur der Stockgesteine (Tiefengesteine), die porphyrische diejenige der Oberflächenergüsse (Ergußgesteine). Bei den Gang- und Lagergesteinen tritt entsprechend ihrer geologischen Stellung bald diese, bald jene Strukturform auf“ (ROSENBUSCH, a. a. O. S. 55).

Daß das Vorhandensein von Glas sowie sehr kleines Korn auf sehr rasche Abkühlung, mithin auch auf Verhältnisse, wie sie wesentlich bei Ergußgesteinen herrschen, hinweist, wurde schon im vorigen Abschnitt ausgeführt; diese Strukturformen stehen somit vom geologisch-genetischen, nicht vom deskriptiven Standpunkte aus den porphyrischen sehr nahe. Daß andererseits auch die Korngröße bei der Beurteilung der porphyrischen Struktur eine Rolle spielt, zeigt die eigentümliche Stellung der porphyrartigen Struktur: derselbe Gemengteil tritt in größeren Individuen und in kleineren Körnern unter Verhältnissen auf, die beweisen, daß auch bei Tiefengesteinen eine Rekurrenz in der Bildung eines oder mehrerer Gemengteile vorkommt, und doch bezeichnet sie auch ROSENBUSCH nur als eine Annäherung an die porphyrische Struktur: „bis zur Entwicklung einer eigentlichen Grundmasse pflegt die porphyrische Struktur nur in den peripherischen Teilen der Granitmassive und in den Apophysen derselben, bzw. in gangförmigen Graniten voranzuschreiten“ (Physiographie, Bd. II, 1, S. 95).

Zu einer porphyrischen Struktur gehört mithin nach dem herrschenden Sprachgebrauch ein beträchtlicher Unterschied in der Größenordnung der das Gestein aufbauenden Komponenten; ein derartiger Unterschied wird besonders dort eintreten, wo sich in einem bereits auskristallisierenden Schmelzfluß die Bildungsbedingungen plötzlich ändern. Diese Bedingungen ändern sich einschneidend, wenn ein Magma, das innerhalb der Erdrinde unter den hier herrschenden, einer Entwicklung großer Kristalle günstigen Bedingungen seine Verfestigung begonnen hat, an die Oberfläche der Erde tritt, sich plötzlich abkühlt, seine Mineralisatoren schnell verliert und infolge der hierdurch hervorgerufenen schnellen Zunahme der Viskosität nur noch kleine Kriställchen bilden kann, soweit die jüngeren Ausscheidungen sich nicht an die größeren Gemengteile der gleichen Art parallel anlagern und somit ein Weiterwachsen dieser aus der Tiefe mitgebrachten Gemengteile bewirken. Dann besitzen Individuen der gleichen Substanz teils als Einsprenglinge, teils als Gemengteile einer Grundmasse ganz verschiedene Größenordnung; charakteristisch ist viel weniger die absolute Größe der Einsprenglinge, als der Gegensatz zu den geringen Dimensionen der unter ungünstigen Bedingungen entstandenen Gemengteilen der Grundmasse. Werden die Bedingungen noch ungünstiger, so besteht die Grundmasse nur aus Glas, die Rekurrenz der Bildung einzelner Gemengteile ist mithin zwar tatsächlich nicht vorhanden, hätte sich aber bei etwas langsamerer Abkühlung notwendig einstellen müssen — man kann daher typisch porphyrisch struierte und vitrophyrische Gesteine von diesem Gesichtspunkt aus zusammenfassen.

Ist in diesem häufigsten Fall die zur porphyrischen Struktur führende durchgreifende Änderung der physikalischen Verhältnisse durch eine Ortsveränderung hervorgerufen, so sind auch Verhältnisse denkbar, in denen plötzlich in einem ruhenden Magma ein scharfer Wechsel der Korngröße eintreten kann, wenn nämlich ein größerer oder kleinerer Rest des Schmelzflusses als Eutektikum erstarrt.

Über die Rolle, die man dem Eutektikum bei der Erstarrung der Gesteine zuzuschreiben hat, sind die Ansichten unter den Petrographen und den Chemikern (und zwar innerhalb beider Gruppen von Forschern) noch recht geteilt. Neben Forschern, die in der Ausscheidung nach den zum Eutektikum führenden Gesetzen nahezu den grundlegenden Charakterzug der Erstarrungsgesteine sehen, stehen andere, die trotz der großen Fortschritte der letzten Jahre noch heute diesen Bestrebungen gegenüber den Ausspruch von BAKHUIS ROOZEBOOM für richtig halten: „Der größte Teil der Unklarheit in vielen geologischen Spekulationen fließt . . . aus dem Umstand, daß wir es dort fast nie mit binären, sondern mit viel komplizierteren Systemen zu tun haben. Nur ein äußerst kleiner Teil der Fragen ist also nach dem Schema der Erstarrungen, die zu eutektischen Punkten führen, zu behandeln“ (Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkt der Phasenlehre, Heft 2, I. Teil, S. 246, Braunschweig 1904).

Die besonders von J. H. L. VOGT überaus eingehend behandelte Frage, wieweit die Gesteine selbst eutektischen oder nahezu eutektischen Mischungen entsprechen, kann hier unberücksichtigt bleiben; da es sich ausschließlich um Gesteinsstrukturen handelt, genügen die beim Studium von zunächst aus zwei Komponenten bestehenden Metallschmelzen und Salzlösungen gemachten Erfahrungen. Aus diesen ist bekannt, daß bei langsamer Abkühlung je nach der Zusammensetzung der Lösung oder Schmelze bald der eine, bald der andere Gemengteil sich in größeren Individuen ausscheidet, bis bei einer für die gleichen Komponenten stets gleichen Temperatur eine von der ursprünglichen Zusammensetzung unabhängige, für die gleichen Komponenten aber stets gleiche Zusammensetzung der Lösung oder Schmelze, der eutektische Punkt, erreicht ist; dieser ganze Rest scheidet sich dann unter den Bedingungen des Laboratoriums bei konstanter Temperatur gleichzeitig als ein sehr feinkörniges Gemenge beider Komponenten aus. Wenn die Ausscheidung ganz allgemein nach diesem Schema erfolgte, so müßten fast alle Erstarrungsgesteine porphyrische Struktur aufweisen, nur Magmen von eutektischer Zusammensetzung wären davon ausgenommen; daß dem nicht so ist, beweist die gewaltige Verbreitung der körnigen Eruptivgesteine. Es muß daher bei der Erstarrung von Silikatschmelzflüssen keineswegs zur Bildung eines im verfestigten Zustande erkennbaren Eutekti-

kums kommen — tatsächlich fehlt es fast immer bei den Tiefengesteinen; es müssen somit andere Ursachen der Entstehung eines Eutektikums oder wenigstens der gleichzeitigen Verfestigung eines eutektischen Schmelzrestes unter den Verhältnissen der Tiefengesteine wirkungsvoll entgegenarbeiten.

In erster Linie kommt hier, wie W. MEYERHOFFER (Zeitschr. f. Kristallographie, Bd. 36, S. 503, 1902) zeigte, die Unterkühlung in Betracht, die bei Silikatmagmen einen so hohen Grad erreicht, daß die Ausscheidungen wesentlich im labilen (metastabilen) Feld stattfinden. Hier kann dann aber die gleichzeitige Ausscheidung eines eutektischen Gemisches durch die verschiedene Kristallisationsgeschwindigkeit der beiden Komponenten verhindert werden.

Die Ausscheidungsgeschwindigkeit spielt überhaupt für alle diese Fragen eine sehr große Rolle; ist sie bei einem Komponenten erheblich größer als bei dem anderen, so kann sich der erste unter günstigen Verhältnissen während der Abkühlung weit über die durch das Eutektikum geforderte Menge hinaus abscheiden, somit die Menge des Eutektikums andauernd verringern und dessen Entstehung sogar gänzlich verhindern.

Schließlich läßt, selbst wenn ein flüssiges Eutektikum vorhanden ist, die bei den Tiefengesteinen herrschende, sehr langsame Abkühlung „die zu Kristallisationszentren diffundierenden Magmenkomponenten bis zu älteren Ausscheidungen gleicher Art gelangen und auf ihnen sich niederschlagen, sowie neu erscheinende Kristallarten trotz niedriger Temperatur unter der Gunst langer Zeit sich zu größeren Kristallen zusammenfinden“ (F. RINNE, diese Fortschritte, Bd. I, S. 214). RINNE vergleicht diese Bildungsweise mit der von ihm als Sammelkristallisation bezeichneten Fähigkeit fester kristallisierter Materie, sich besonders bei Temperaturerhöhung zu größeren einheitlichen Kristallen vereinigen zu können, und führt entsprechend die körnigen Strukturen auf eine Art Sammelkristallisation im Schmelzfluß zurück.

Es läßt somit die sehr langsame Abkühlung, die durch die Anwesenheit von Mineralisatoren verlangsamte Zunahme der Viskosität mit sinkender Temperatur, ferner der zur Ausscheidung erforderliche geringe Grad der Übersättigung der Lösung, sämtlich das Wachstum der Kristalle begünstigende, dem Tiefengestein eigentümliche Eigenschaften, die Bildung eines eutektischen Restes nicht zu; man wird daher die Entstehung eines derartigen Eutektikums wesentlich nur dort erwarten dürfen, wo sie auch sonst feinkörnige Gemenge entwickeln können.

Im letzten Grunde weicht diese Auffassung gar nicht soweit von den Vorstellungen J. H. L. Vogt's über porphyrische und körnige Struktur ab, wie es zunächst den Anschein haben könnte.

Von dem Satze ausgehend, daß der für die Kristallisation nötige

Grad der Übersättigung im allgemeinen um so kleiner sein kann, je langsamer die Abkühlung erfolgt, gelangt VOGT zu folgenden Schlüssen:

„Die Porphyрstruktur ist eine generelle Erscheinung, die in Beziehung zu relativ schneller Erstarrung steht;

bei relativ schneller Erstarrung kristallisieren die verschiedenen Mineralien zuerst, nachdem eine gewisse, und zwar nicht ganz unwesentliche Übersättigung stattfindet;

durch die Übersättigung wird ein „Hiatus“ in dem Kristallisationsverlauf hervorgerufen;

in diesem durch die Übersättigung bewirkten „Hiatus“ haben wir nach meiner Meinung die generelle Erklärung der Porphyрstruktur zu suchen“ (Min. petr. Mitt., Bd. 27, S. 170).

Die körnige Struktur erklärt er mit ROSENBUSCH durch einen „ununterbrochenen, einheitlichen und langsamen Verfestigungsprozeß, was sich durch eine Kristallisation ohne irgendwelche oder nur mit einer winzigen Übersättigung in Einklang bringen läßt“ (l. c., S. 174).

Ferner ist auch die Größe der Ausscheidungen aus einem Eutektikum von der Schnelligkeit der Erkaltung in hohem Maße abhängig, wie F. RINNE (diese Fortschritte, Bd. I, S. 212, 213) auf Grund von Versuchen an Schmelzen und Schlacken, besonders am Beispiel des Martensit ausgeführt hat. Während sich bei normaler Abkühlung ein porphyrisches Gefüge, bestehend aus Einsprenglingen in einer mikrolamellaren Grundmasse ausbildet, verhält sich die gleiche Substanz bei recht langsamem Abkühlen durchaus anders: „Der Cementit der Grundmasse sammelt sich zu größeren einzelnen Kristallen an, und eine Neigung zur körnigen Struktur ist nicht zu verkennen. Das Porphyrische ist verwischt.“ Es unterliegt mithin das Eutektikum hinsichtlich der Größe seiner Bestandteile den gleichen Bedingungen wie der nichteutektische Schmelzfluß; daher wäre es unzulässig, lediglich aus Größenunterschieden auf die Erstarrung eines Teiles der Komponenten aus einem Eutektikum zu schließen. Nachdem die Bedingungen in einem in der Tiefe erstarrenden Magma zunächst der Bildung großer Kristalle günstig waren, verändern sich die Verhältnisse langsam durch Wärmeverminderung und zunehmende Viskosität, die Individuen werden kleiner und die Struktur erscheint porphyritartig, ohne daß sich ein Eutektikum bilden mußte — ob ein Eutektikum vorlag, würde sich in jedem einzelnen Falle erst durch die Analyse entscheiden lassen, nachdem die Zusammensetzung des Eutektikums für die betreffende Mineralkombination bekannt sein wird.

Nicht viel anders liegen die Verhältnisse, wenn sich eine „eigentliche“ Grundmasse bildet, d. h. die Gemengteile eines Gesteins ganz verschiedener Größenordnung angehören — bei schnellerer Abkühlung

sinkt die Kristallisationsgeschwindigkeit und mit ihr die Korngröße im Eutektikum wie in einem gewöhnlichen Schmelzfluß, und dies gilt für porphyrische Randfazies und Apophysen von Tiefengesteinen ebenso wie für die Ergußgesteine. Auch hier wird die chemische Untersuchung in der Art, wie LAGORIO es versucht hat, nach Vermehrung unserer Kenntnisse von der chemischen Beschaffenheit des Eutektikums in jedem einzelnen Falle Aufschluß geben müssen. Daß sich auch in der Gesteinswelt porphyrische Struktur durch das Streben der Magmen nach einem Eutektikum bilden kann, soll in keiner Weise bestritten werden; die Tatsache, daß sich in Schmelzen und Legierungen der überschießende Gemengteil, oft auch infolge von Unterkühlung im Gebiet des metastabilen Gleichgewichts beide Komponenten in großen Kristallen ausscheiden und dann ein dem Eutektikum entsprechender Rest feinkörnig erstarrt oder sich als Glas verfestigt, gibt eine sehr gute Erklärung für große Einsprenglinge in einer Grundmasse unter Verhältnissen, in denen die Erscheinungsweise der Kristalle oder das geologische Auftreten der Gesteine nicht die Annahme zweier geologisch, d. h. räumlich getrennter Bildungsperioden zulassen. Aber wenn ein Eutektikum in einem Grenzfalle grobkörnig, in einem anderen glasig erstarren kann, so darf man nicht lediglich auf Größenunterschiede hin auf ein Eutektikum schließen. Ob dieser Schluß durch Struktureigentümlichkeiten unterstützt werden kann, soll weiter unten untersucht werden; daß es sicher nicht gerechtfertigt ist, Einsprenglinge und Grundmasse ohne weiteres physikalisch-chemisch als Ausscheidung des oder der im Überschuß vorhandenen Gemengteile einerseits, als Eutektikum andererseits aufzufassen, beweisen Ausführungen F. RINNE's über die Möglichkeit, „daß ein Eutektikum sich porphyrisch entwickelt, d. h. daß es z. B. seine beiden Bestandteile A und B sowohl als Einsprengling als auch in der Grundmasse zeigt, denn es kann sehr wohl der Anfang einer langen Eutektikumperiode der Kristallisation von größeren Individuen günstiger sein als ihr weiterer Verlauf (etwa wenn die Ableitung der Wärme erst langsam (in der Tiefe), dann schneller (auf der Oberfläche) vor sich geht. Dann werden sich erst große, nachher viele kleinere, weniger gut kristallographisch entwickelte Kristalle bilden“ (l. c., S. 212, 213).

Auf eine dritte, allerdings nur bei ganz bestimmten und eng begrenzten Verhältnissen mögliche Art porphyrischer Struktur soll in diesem Zusammenhang nur kurz hingewiesen werden. G. TAMMANN hatte beobachtet, daß bei sehr geringer Unterkühlung von 1° – 5° unter dem Schmelzpunkt (im Temperaturgebiet A seines bekannten Diagramms) sich größere flächenreiche Kristalle bilden, deren Bildung durch Konvektionsströme (besonders thermische, aber auch durch

geringe Beimengungen fremder Stoffe hervorgerufen) stark beeinflusst und deren Kristallisation durch Konzentrationskonvektionsströme beschleunigt wird (Kristallisieren und Schmelzen, S. 134). Auf derartige Vorgänge führt C. DÖLTER die Bildung größerer Kristalle (er erwähnt speziell Plagioklase) in schmalen Gängen zurück, die im übrigen deutlich die für rasche Abkühlung charakteristischen Strukturformen erkennen lassen.

Eine vierte Möglichkeit porphyrischer Struktur ergibt sich aus bestimmten Resorptionserscheinungen, die, wie L. MILCH zeigte, sich nur mit Hilfe der Annahme einer Mischung durch ihre Temperatur unterschiedener Magmenteile (von gleicher oder abweichender Zusammensetzung) während der Intrusion oder Effusion erklären lassen (Neues Jahrb. f. Min., 1905, Bd. 2, S. 1ff.). Die Ausscheidungen der höher liegenden und daher schon stärker abgekühlten Magmaschichten erscheinen bei der Verfestigung nach der Intrusion oder Effusion als „Einsprenglinge“; die tieferen, heißeren und daher noch wenig oder gar nicht individualisierten Massen, die von hohen Temperaturen verhältnismäßig schnell abgekühlt werden, verfestigen sich unter ungünstigeren Verhältnissen und daher als „Grundmasse“, nachdem sie emporgedrückt und durch diese Vorgänge mit den kühleren Schmelzfluß vermischt und weiter in die Höhe oder bis an die Erdoberfläche gedrängt sind.

Sodann soll noch kurz auf die von A. C. LANE gegebene Einteilung der Einsprenglinge hingewiesen werden, soweit diese für Eruptivgesteine in Betracht kommt (Porphyritic Appearance of Rocks, Bull. Geol. Soc. of America, 1903, Bd. 14, S. 385 ff.).

LANE nimmt an, daß das Erdinnere unter der Einwirkung des hohen Druckes in kristallisierter Form verfestigt ist; durch Nachlassen des Druckes verflüssigen sich die Massen ganz oder teilweise, werden bei wieder zunehmendem Druck oder bei abnehmender Temperatur unter der Einwirkung sich entwickelnder Mineralisatoren wieder fest und können somit mehrfach den Prozeß der Verflüssigung und Verfestigung durchmachen.

Unter dieser Annahme lassen sich in Erstarrungsgesteinen unterscheiden:

Brotokristalle (food phenocrysts), korrodierte Überreste einer uralten Verfestigung in der Tiefe (z. B. Quarzeinsprenglinge mancher Porphyre, Biotit- und Hornblendeeinsprenglinge mancher Basalte).

Rhyokristalle (F. E. WRIGHT) (floating phenocrysts), während der Eruption gebildet und daher gern fluidal geordnet (z. B. manche scharf begrenzte, deutlich zonar struierte Feldspateinsprenglinge). Die Bildung beginnt am Rande der Eruptivmasse, die Individuen werden durch die Strömung in das Innere geführt.

Eokristalle (early phenocrysts), unmittelbar nach der mise en place des Magmas gebildet, die ältesten Bildungen der jüngeren Periode der Verfestigung, nach der Mitte der Masse zu größer als am Rande, oft mit einem älteren Kern.

Oriokristalle (border phenocrysts), Gebilde, deren Ausscheidungstemperaturen ungefähr in der Mitte zwischen der Temperatur des Magmas und der des Nebengesteins liegen, und die daher im Salband größer sind als in der Mitte.

Anhangsweise soll schließlich hier noch die interessante Tatsache erwähnt werden, daß von zu gleichen Zeiten und unter gleichen Umständen gewachsenen Kristallen bei sonst völliger Übereinstimmung Zwillingkristalle bedeutend größere Dimensionen erreichen, als einfache, eine Erscheinung, die besonders an Feldspateinsprenglingen in Quarzporphyr und Granitporphyr beobachtet wurde (vgl. F. BECKE, diese Fortschritte, Bd. I, S. 70 ff.).

3. Die Gestalt der Komponenten.

Die Gestalt der Gesteinskomponenten ist selbstverständlich ein sehr wichtiger Faktor für die Struktur der Gesteine, für dessen Bewertung drei gemeinsam die Begrenzung der Gesteinsgemengteile hervorrufende Eigenschaften unterschieden werden müssen. Alle drei gehen auf voneinander unabhängige, genetisch verschiedene Ursachen zurück; die dritte unterscheidet sich von den beiden ersten außerdem noch dadurch, daß sie erst in einem späteren Stadium der Gesteinsentwicklung zur Geltung gelangt. Es kommen in Betracht:

- a) der kristallographische Habitus jedes Gemengteils (die Kristalltracht),
- b) die erreichte größere oder geringere Vollkommenheit der Kristallgestalt, der Grad der Idiomorphie. (Altersfolge, gleichzeitiges Auskristallisieren, Ausscheidung in fester Phase),
- c) die Veränderung der Kristallgestalt vor Abschluß der Erstarrung des Gesteins (durch Resorption oder durch Weiterwachsen unter geänderten Verhältnissen).

a) Der kristallographische Habitus.

Eine Erörterung der Ursachen des verschiedenen Habitus bei Individuen einer und derselben Mineralspezies gehört nicht zur Frage nach den Strukturen der Gesteine; übrigens ist trotz der Erfolge der letzten Jahrzehnte die schwierige Frage noch keineswegs geklärt, wenn man auch in dem Grade der Zähigkeit der Lösung, ihrer größeren oder geringeren Übersättigung, in Diffusionsströmen, in der Einwirkung von Lösungsgenossen und in anderen Eigenschaften

der Mutterlaugen Ursachen kennen gelernt und ihre Wirkungen studiert hat. Nur einige Erfahrungen sollen hervorgehoben werden, die entweder immer von neuem bestätigt werden und teilweise sich auch theoretisch einfach erklären, oder nur verhältnismäßig spärlichen Ausnahmen unterliegen und somit für die Struktur erheblichere Bedeutung besitzen. So sind Wachstumsformen, besonders Kristallskelette und Trichite, gewissermaßen fixierte Jugendformen teils normalen, teils anormalen Wachstums in der Welt der Erstarrungsgesteine, beschränkt auf rasch abgekühlte Magmen, wie die Tatsache lehrt, daß derartige Gebilde stets in Glas eingebettet sind; in gleicher Weise finden sich die Produkte gestörter Kristallisation, die Globulite und ihre verschieden benannten Anhäufungen, ausschließlich dort, wo eine rasche Abkühlung die Viskosität des Schmelzflusses sehr schnell zu Werten ansteigen ließ, die eine Beweglichkeit der Molekel zunächst stark beeinträchtigten und schließlich bald eine glasige Erstarrung herbeiführten.

Leicht verständlich ist auch die Tatsache, daß die Gemengteile der Eruptivgesteine weniger verzerrt sind, als die aufgewachsenen Kristalle und die kristalloblastisch entstandenen Gemengteile der kristallinen Schiefer: bei Bildungen aus Schmelzflüssen sind für jeden einzelnen Kristall Nahrungszufuhr und die physikalischen Verhältnisse in seiner unmittelbaren Umgebung im allgemeinen überall gleich, so daß die kristallographisch gleichwertigen Richtungen sich auch gleichmäßig entwickeln können.

Schließlich kann man wohl auch eine in der Regel einfachere Kristallumgrenzung der Gemengteile der Eruptivgesteine im Vergleich mit Kristallen derselben Substanz auf Klüften und Drusen zwar nicht als Gesetz, aber doch als eine sehr häufig zu beobachtende Erscheinung feststellen.

Für den Eindruck, den das Gefüge eines Gesteins hervorruft, kommt die Kristallgestalt wesentlich durch gleiche oder durch verschiedene Ausbildung nach den drei Dimensionen zur Geltung. Nach den drei Richtungen annähernd gleich entwickelte Individuen liefern auch bei unvollkommener Ausbildung mehr oder weniger isometrische Körner, solche mit Bevorzugung von zwei Richtungen je nach dem Grade des Zurücktretens der dritten Richtung Tafeln¹⁾ und Blätter; bei Vorwalten einer Richtung ergeben sich Säulen, Stengel und Fasern. Gewisse

¹⁾ Für dicke Tafeln wird häufig die Bezeichnung: kurzsäulenförmig angewendet; wenn der Ausdruck durch seine entsprechende Verwendung in der Baukunst auch völlig gerechtfertigt ist, so empfiehlt es sich vielleicht trotzdem, von Säulen erst dann zu sprechen, wenn eine Richtung in ihrer Entwicklung die beiden anderen merklich übertrifft.

Minerale treten nun als Gemengteile von Eruptivgesteinen stets mit gleichem Habitus auf; so finden sich die meisten kubischen Minerale (Leucit, Sodalithgruppe) und ganz ähnlich (von Bildungen unter offenbar stark abweichenden Verhältnissen abgesehen) der Quarz fast immer in nahezu isometrischen Individuen, der Nephelin in dicken Tafeln, der dunkle Glimmer in Tafeln und Blättern, der Apatit in Säulen. Andere Minerale zeigen wechselnden Habitus: wenn bei gut ausgebildeten monoklinen Pyroxenen der Eruptivgesteine im allgemeinen säulenförmige und zwar mit Vorliebe dicksäulenförmige Gestalten vorherrschen, so finden sich auch mehr isometrische Körner, und die Alkalipyroxene zeigen Neigung zu tafeliger wie andererseits auch zu faseriger Ausbildung. Während hier noch, wie besonders die abweichende Gestalt der Alkalipyroxene lehrt, chemische Unterschiede mitwirken können, zeigen andere Minerale bei chemisch gleicher Zusammensetzung sehr starken Wechsel des Habitus: die Kalifeldspate finden sich in isometrischen Individuen, ferner als Tafeln nach der M-Fläche und außerdem als schlanke Säulen nach der Kante P:M. Bestimmend ist hier offenbar die chemische Natur des Magmas, aus dem die Feldspate sich ausscheiden: die mehr isometrischen Ausbildungen des Kalifeldspats finden sich in Alkalikalkmagmen, die dünntafelförmigen und schlank säulenförmigen wesentlich in den Alkaligesteinen. Wie stark sich in der Struktur der verschiedene Habitus der Gemengteile geltend macht, zeigt beispielsweise der ausschließlich auf die Gestalt der Grundmasse-Feldspate begründete Unterschied zwischen der orthopyrischen und der trachytischen Struktur.

b) Grad der Selbständigkeit der Umgrenzung (Idiomorphie) oder ihrer Abhängigkeit (Allotriomorphie) und Ausscheidungsfolge.

Ganz allgemein kann eine kristallographisch vollkommene Begrenzung einer Substanz als Beweis gelten, daß ihrem Wachstum sich keine hindernden Einflüsse in den Weg gestellt haben; das wichtigste Hindernis für die Entwicklung der eigenen Kristallgestalt ist in einem Schmelzfluß das Vorhandensein anderer fester Körper, die an den Stellen, an denen der wachsende Körper an sie anstößt, die Anlagerung der Molekel verhindern und ihm somit ihre Oberfläche als Grenze aufzwingen. Ist der ältere Körper sehr klein, so kann er von dem jüngeren umwachsen und eingeschlossen werden; der jüngere kann dann zwar seine eigene Kristallform ausbilden, ist aber ein inhomogener Komplex geworden, der neben der äußeren eine innere Oberfläche besitzt, für die mithin die Beeinflussung durch den älteren Gemengteil wieder in aller Strenge gilt. Sind umgekehrt die jüngeren Gemengteile im Vergleich zu den älteren sehr klein, so können sie trotz des Vorhandenseins

älterer Individuen überall dort, wo sie an die älteren nicht heranstößen, ihre eigene Gestalt ungestört entwickeln; maßgebend sind somit nur die Stellen, wo die verschiedenen Generationen sich berühren. Mit diesen selbstverständlichen Einschränkungen und unter Vernachlässigung später zu besprechender Gestaltveränderungen kann man ganz allgemein innerhalb eines Eruptivgesteins in dem Grade der Kristallausbildung ein Anzeichen für das relative Alter der Gemengteile sehen: je besser ausgebildet ein Gemengteil ist, desto weniger Hindernisse fand er bei seinem Auskristallisieren, um so älter muß er mithin sein; je jünger ein Gemengteil ist, desto mehr Raum war schon von älteren Bildungen eingenommen, um so mehr muß er mithin in der Entwicklung seiner eigenen Kristallgestalt behindert werden.

Das Vorhandensein einer regelmäßigen Altersfolge der Gemengteile in einem und demselben Gesteinskörper ist der allgemein anerkannte Hauptcharakterzug der Eruptivgesteine; auch für chemisch und geologisch nahe stehende Glieder derselben Gesteinsfamilie wird Übereinstimmung dieser Reihenfolge kaum betritten, wenn auch einzelne Ausnahmen bekannt sind. Strittig ist jedoch die Frage, ob sich eine derartige (bei porphyrischen Gesteinen natürlich immer nur innerhalb einer Generation) mit bestimmten Beschränkungen allgemein gültige Altersreihenfolge aufstellen läßt, und weiterhin, welche Ursachen für die Reihenfolge der Ausscheidungen maßgebend sind. Hierbei sollen besonders die Verhältnisse der körnigen Gesteine berücksichtigt werden.

Für die erste Frage kann man wohl, ohne grundsätzlichen Widerspruch erwarten zu müssen, sagen, daß den tatsächlich beobachteten Verhältnissen die sog. ROSENBUSCH'sche Regel am besten Rechnung trägt, daß aber Abweichungen von ihr bekannt sind; die Ansichten gehen jedoch in der quantitativen Bewertung dieser Abweichungen auseinander. Nach meiner Auffassung werden von mancher Seite die Abweichungen wohl etwas überschätzt, da sie naturgemäß die Aufmerksamkeit in besonderem Maße auf sich ziehen; hierfür spricht die Tatsache, daß die Versuche anderer Forscher, auf theoretisch abweichender Grundlage eine Reihenfolge der Ausscheidung festzustellen, zu einer praktisch sehr ähnlichen Altersfolge gelangen, wie bei einer Darlegung der Ursachen der Reihenfolge gezeigt werden soll.

Die ROSENBUSCH'sche Regel besagt:

„Die ältesten Ausscheidungen aus einem kristallisierenden Eruptivmagma sind gewisse Neben- und Übergemengteile, wie Phosphate, Eisenerze, Spinellide, Zirkon, Titanit, Perowskit usw. Wir fassen sie zusammen als »Apatit und Erze«.

Auf diese folgt die Ausscheidung der Mg- und Fe-, etwas später die der Mg-Ca- und Fe-Ca-Silikate, wie Olivin, Biotit, Amphi-

bole, Pyroxene usw. Wir nennen sie »farbige Silikate«. Innerhalb dieser Gruppen geht die Ausscheidung der Orthosilikate derjenigen der Metasilikate voraus, so daß Olivin vor Pyroxen usw. kristallisiert.

3. Darauf scheiden sich die kalkhaltigen, die kalkalkalihaltigen und die alkalihaltigen Silikate nach abnehmender Basizität aus, so daß Anorthit vor den Kalkalkalifeldspäten, diese vor den Alkalifeldspäten, Nephelin vor Leucit usw. kristallisieren. Die Substanzen dieser Gruppe mögen farblose Silikate heißen, obschon sie auch manche intensiv gefärbte, wie Ägirin, Arfvedsonit usw. umfassen.

4. Den Schluß machen das freie Kieselsäureanhydrit (Quarz) und die amorphen Erstarrungsprodukte.

Die Kristallisation einer späteren dieser vier Gruppen beginnt indessen nicht etwa erst dann, wenn die der vorhergehenden durchaus vollendet ist; der Beginn jeder späteren Gruppe greift vielmehr rückwärts über den Schluß jeder früheren Gruppe hinaus, so daß die angegebene Reihenfolge sich strenger genommen mehr auf den Beginn der Ausscheidungen, als auf die ganze Dauer derselben bezieht.

Abweichungen von den unter 1—4 aufgestellten Regeln kommen fast ausschließlich zwischen der zweiten und dritten vor, insofern in gewissen Gesteinen, Diabasen und Basalten, Labradorit früher sich ausschied als Augit. Die Erklärung hierfür dürfte in den relativen Mengenverhältnissen der Bestandteile liegen, auf deren hohen Einfluß bezüglich der Ausscheidungsfolge bereits BUNSEN hinwies“ (Elemente der Gesteinslehre, 3. Aufl., S. 45, 46).

Die Erwähnung BUNSEN's bezieht sich auf den klassischen Brief an STRENG, die Unabhängigkeit der Ausscheidungen aus Lösungen und Schmelzfluß vom Schmelzpunkt betreffend (abgedruckt in Zeitschr. deutsch. geol. Ges., Bd. 13, S. 61—63, 1861).

Eine zahlreichere Gruppen unterscheidende, im allgemeinen aber mit der ROSENBUSCH'schen Regel sich deckende Reihe hat A. LAGORIO aufgestellt; als Ausscheidungsfolge gibt er an: 1. Oxyde (ROSENBUSCH'sche Gruppe I). 2. Reine Fe-Silikate (kommen nur in künstlichen Schmelzen in Betracht). 3. Reine Mg-Silikate (reiner Eustatit, in Gesteinen überaus selten). 4. Fe + Mg-Silikate (Olivin, rhomb. Pyroxen). 5. Mg + Ca-Silikate (Augite, Hornblenden). 6. Mg + Fe- (resp. Fe + K-)Silikate (dunkle Glimmer). 7. Ca-Silikate (Anorthit). 8. Ca + Na-Silikate (Kalk-Natron-Feldspate). 9. Na-Silikate (Albit, Nephelin). 10. K-Silikate (Kalifeldspat, Leucit). 11. „Freie SiO², doch nicht immer, manchmal vor K-Silikat, wenn auch selten; meist mit den Alkalisilikaten zugleich“ (Min. Petr. Mitt., N. F. Bd. 8, S. 521, 1887). „Tonerde tritt verhältnismäßig spät in die Molekel der verschiedenen Gemengteile ein“ (l. c.).

Es entspricht somit von LAGORIO's Gruppen: 1 der Gruppe 1. ROSENBUSCH's, 2.—6. dessen zweiter Gruppe, den „farbigen Gemengteilen“, 7.—10. seinen farblosen Silikaten (3), 11. deckt sich mit ROSENBUSCH's Gruppe 4; ein nennenswerter Unterschied macht sich nur bei den jüngsten Mineralen (Kalifeldspat und Quarz) geltend. Die Alkalipyroxene und Alkali amphibole, deren weite Verbreitung man 1887 noch nicht kannte, fehlen bei LAGORIO.

Die wichtigste Ausnahme von der ROSENBUSCH'schen Regel, auf die ROSENBUSCH selbst wiederholt hinweist, tritt in der diabasisch-körnigen (ophitischen, divergentstrahlig-körnigen) Struktur hervor; hier ist der Plagioklas dem Augit gegenüber idiomorph. Eine zweite Gruppe von Abweichungen macht sich, wenn auch weniger regelmäßig, in dem Verhältnis der farblosen Silikate zueinander geltend; schließlich schwanken öfter die Beziehungen des Kalifeldspates zum Quarz. Eine Zusammenstellung zahlreicher Ausnahmen, die sich allerdings zum großen Teil auf porphyrisch struierte Gesteine beziehen, findet sich bei F. ZIRKEL (Petrographie, Bd. I, S. 729 ff.); ob diese Ausnahmen die Regel sehr stark abschwächen, oder nur in geringem Maße in Betracht kommen, läßt sich, da statistische Feststellungen unmöglich sind, nicht einwandfrei entscheiden. Bei der Stellung, die die einzelnen Forscher zu dieser Frage nehmen, spielen wohl die theoretischen Anschauungen eine entscheidende Rolle. F. ZIRKEL folgert aus der Zahl der Ausnahmen, „daß von der Anerkennung jenes Satzes selbst »im allgemeinen« schlechterdings nicht wohl die Rede sein kann“ (l. c. Bd. I, S. 732); H. TEALL kommt zu dem Ergebnis: „That the law of decreasing basicity is true in a broad and general way, in the case of many rocks, will in all probability be admitted by all petrographers; at the same time it cannot be doubted that exceptions are very numerous (British Petrography, p. 53, London 1888). In neuester Zeit wirkt wohl die Stellung der einzelnen Forscher zur Frage nach der Ursache der Ausscheidungsfolge bei dem Abwägen des Verhältnisses der „Ausnahmen“ zur „Regel“ mit; aber trotz theoretisch völlig abweichender Stellung sagt J. H. L. VOGT, nachdem er den Satz ROSENBUSCH's als „eine Regel mit sehr vielen Ausnahmen“ bezeichnet hat: „Für zahlreiche Kristallisationsvorgänge ist ROSENBUSCH's Satz in den großen Zügen zutreffend“ (Min. petr. Mitt., Bd. 27, S. 158, 1908), und C. DÖLTER wendet sich sogar mit Schärfe gegen die zu starke Einschränkung der Gültigkeit durch VOGT — nach seiner Auffassung ist VOGT's „Behauptung, daß die erwähnte ROSENBUSCH'sche Regel eine Regel mit sehr vielen Ausnahmen sei, nicht gut mit den Beobachtungen in Übereinstimmung zu bringen“ (Handbuch der Mineralchemie, Bd. I, S. 791, 1912).

Ursachen der Altersfolge.

Bei der Erforschung der Altersfolge der Gemengteile lassen sich zwei verschiedene Wege unterscheiden; entweder versucht man auf induktivem Wege aus möglichst zahlreichen Beobachtungen die für die Eruptivgesteine gültigen Regeln aufzufinden, oder man wendet mehr deduktiv die experimentell für Lösungen, Legierungen und Schmelzen ermittelten Gesetze auf die Verhältnisse der Eruptivgesteine an. Da keiner dieser Wege den anderen völlig ausschließen kann, müssen naturgemäß beide zu dem gleichen Endziel führen, nachdem die teilweise auf nicht ausreichender Beobachtung, teilweise auf den verwickelten Verhältnissen im Magma beruhenden Schwierigkeiten gehoben sein werden; von „Ursachen“ oder „Gründen“ kann man aber, strenggenommen, bevor das Ziel erreicht ist, nur bei dem zweiten Wege sprechen, während der erste gewissermaßen als Ersatz den Vorteil bietet, die Erörterungen stets wieder auf die Verhältnisse der natürlichen Gesteine zurückzuführen.

Der erste Weg führte ROSENBUSCH zu der bekannten Regel der Ausscheidungsfolge nach abnehmender Basizität, die nach den oben gemachten Ausführungen keiner weiteren Erörterung bedarf. Der zweite Weg wurde systematisch wohl zum ersten Male von A. LAGORIO eingeschlagen (Über die Natur der Glasbasis, sowie der Kristallisationsvorgänge im eruptiven Magma, Min. Petr. Mitt., 1887, N. F., Bd. 8, S. 421 ff.), der die oben angegebene Ausscheidungsfolge auf die für die verschiedenen Oxyde verschiedene Lösungsfähigkeit eines von ihm für alle Magmen angenommenen „Lösungsmittels“ oder „Normalglases“ von der Zusammensetzung $(K, Na)^2O, 2SiO^2$ zurückführte und die Ausscheidung „durch die Annahme eines Lösungsmittels, sodann als maßgebenden Faktors bei der Ausscheidung der Massenwirkung, der Affinität der Basen untereinander . . . , der Übersättigung“ zu erklären versuchte. Er führte auch, wohl zuerst, in die petrographische Betrachtung das Eutektikum („Kryohydrat“) ein, das nach seiner Auffassung „typisch bei mikrofelsitischer Ausbildungsweise der Basis zur Darstellung gebracht“ wird. J. J. HARRIS TEALL hat sodann auf Grund seiner mikroskopischen Untersuchungen erstarrter Eutektika (Kaliumchromat und Salpeter) erkannt, daß durch die Verfestigung eines Eutektikums nicht eine homogene Masse, sondern eine gleichzeitige Ausscheidung der beiden Komponenten entsteht; demgemäß betrachtet er die granophyrische (mikropegmatitische) Grundmasse ebenso wie auch den Schriftgranit als eine eutektische Mischung und erklärt das bei sauren Gesteinen beobachtete Schwanken der Reihenfolge von Quarz und Feldspat durch die bei künstlichen Lösungen und Schmelzen festgestellte Gesetzmäßigkeit, daß derjenige Bestandteil

sich zuerst ausscheidet, der in größerer Menge vorhanden ist, als der eutektischen Mischung entspricht (British Petrography, 1888, S. 401).

Der gewaltige Fortschritt der physikalischen Chemie, besonders auch der glänzende Erfolg der Anwendung ihrer Gesetze zur Erklärung der ozeanischen Salzablagerungen durch VAN'T HOFF, hat immer von neuem zu Versuchen angeregt, die Altersfolge der Gemengteile auf physikalisch-chemischer Grundlage zu erklären; maßgebend waren und sind für diese Versuche die Untersuchungen von BAKHUIS ROOZEBOOM (die heterogenen Gleichgewichte) sowie G. TAMMANN'S Forschungen (zusammengestellt in „Kristallisieren und Schmelzen“, Leipzig, 1903).

Zur Erklärung der Altersfolge auf physikalisch-chemischer Grundlage sind eine ganze Reihe von Ergebnissen physikalisch-chemischer Studien herangezogen worden, und noch zahlreiche, bisher nicht angewandte oder noch gar nicht gefundene Gesetze werden mitwirken müssen, um alle Erscheinungen verständlich zu machen. Hier sollen nur diejenigen Beziehungen, die sich bisher als folgenreich erwiesen haben, kurz besprochen werden: das Eutektikum, auf das namentlich J. H. L. VOGT, und die Kristallisationsgeschwindigkeit, auf die C. DÖLTER besonderes Gewicht legt; für beide Anschauungen kommen die Verhältnisse der Unterkühlung stark in Betracht, ferner die Stabilität der Ausscheidungen, sowie andere noch weniger geklärte Verhältnisse.

Würde lediglich das Eutektikum maßgebend sein, so könnte man von vornherein überhaupt keine für chemisch verschiedene Gesteine gemeinsame Ausscheidungsfolge erwarten. Und doch ergibt sich nach J. H. L. VOGT eine der ROSENBUSCH'Schen Regel entsprechende Reihenfolge aus der Lage der Eutektika; ihre Lage ist zu einem wesentlichen Teil, aber bei weitem nicht ausschließlich, vom Schmelzpunktunterschied abhängig. Die ‚basischen‘ Mineralien sind im großen ganzen gerechnet, obwohl mit mehreren Ausnahmen, schwerer schmelzbar als die sauren“;¹⁾ VOGT spricht somit als Folge der Lage der Schmelzpunkte die Regel aus, „daß die Zusammensetzung des Eutektikums am weitesten von dem Mineral mit der niedrigsten Basizität entfernt liegt“, und erblickt hierin die „Hauptursache zu der begrenzten Gültigkeit von der Kristallisationsfolge nach abnehmender Basizität“. Im gleichen Sinne wirkt ferner nach seiner Auffassung die Löslichkeitserniedrigung durch ein gemeinschaftliches Ion, die sich bei den basischen

¹⁾ Es muß betont werden, daß durch diese Anschauung die Höhe des Schmelzpunktes, dessen Einfluß auf die Ausscheidungsfolge mit BUNSEN'S berühmtem Brief an STRONG beseitigt schien, wieder eine gewisse, allerdings nur mittelbare Bedeutung erlangt.

Komponenten infolge ihrer größeren Menge von Kationen (Mg, Fe, Ca, Na, K) stärker geltend machen muß als bei den sauren Gemengteilen. Schließlich veranlaßt bei verhältnismäßig schneller Abkühlung in den sehr zähflüssigen sauren Magmen die sehr geringe Kristallisationsgeschwindigkeit des Quarzes eine Verzögerung der Ausscheidung dieses Minerals (Min. petr. Mitt., Bd. 27, S. 158—162).

C. DÖLTER betont mit Nachdruck die weitgehende Übereinstimmung der ROSENBUSCH'schen Regel mit den Lehren der physikalischen Chemie, soweit diese überhaupt auf die überaus komplexen Verhältnisse der Magmen schon angewendet werden dürfen. Er legt besonderes Gewicht auf die Übereinstimmung der ROSENBUSCH'schen Reihe mit einer auf das Kristallisationsvermögen und die Kristallisationsgeschwindigkeit begründeten Anordnung der Gesteinskomponenten; starke Unterschiede der Kristallisationsgeschwindigkeit lassen besonders in unterkühlten Schmelzen, wie es die Magmen wohl gewöhnlich sind, die Ausscheidung nicht nach dem eutektischen Schema erfolgen, während dieses bei schwächeren Unterschieden und bei geringer Unterkühlung zur Geltung kommt. In diesem Zusammenhange muß auch besonders W. MEYERHOFFER's Nachweis erwähnt werden, daß infolge von Unterkühlung aus einer und derselben Schmelze bald der eine, bald der andere Gemengteil sich zuerst ausscheiden kann (Zeitschr. f. Kristallogr., Bd. 36, S. 595). Für die Ausscheidungsfolge sind ferner auch die Grenzen des Existenzgebietes der Minerale bedeutungsvoll: eine bei hohen Temperaturen instabile Verbindung kann sich erst nach Sinken der Temperatur bilden; schließlich betont DÖLTER noch die Dissoziation im Magma und „die allenfalls in der Schmelze entstehenden chemischen Reaktionen“ (Handbuch der Mineralchemie, 1912, Bd. I, S. 628 ff.).

Gleichzeitige Auskristallisation.

In einem gewissen Gegensatze zu den Strukturen mit Altersfolge stehen solche, die ein gleichzeitiges Auskristallisieren der Gemengteile erkennen lassen.

Die auffallendste und am längsten bekannte Struktur dieser Art ist unter zahlreichen Namen bekannt; sie wird als Pegmatitstruktur, Mikropegmatitstruktur, Granophyrstruktur, Implikationstruktur bezeichnet. Trotz überaus mannigfaltiger Erscheinungsweise liegt ihr stets das gleiche Wesen zugrunde: zwei mineralogisch verschiedene Substanzen durchdringen sich innig, so daß eine große Zahl scheinbar voneinander unabhängiger Gebilde jeder Mineralart tatsächlich zu einem einzigen Individuum gehören. Dabei kann, wie in den eigentlichen Schriftgraniten, in einem größeren

einheitlichen Feld einer Mineralart (Feldspat) die andere (Quarz) in zahlreichen Stengeln eingewachsen sein, oder beide Individuen können ihren Zusammenhang auch räumlich noch erkennen lassen, oder umgekehrt können scheinbar voneinander unabhängige Streifen beider Mineralarten sich durchdringen und zu Federn, Büscheln und radialstrahligkugligen Gebilden zusammentreten.

Von der Pegmatitstruktur unterscheidet sich die poikilitische Anordnung dadurch, daß die in dem einheitlichen Feld des einen Minerals eingebetteten Stengel und Körner des zweiten nicht mehr parallel liegen, sondern tatsächlich selbständige, aber unter sich und mit dem Wirt gleichaltrige Individuen darstellen; denkt man sich die gleiche Entwicklung auch für den „Wirt“ durchgeführt, so begreift man, daß auch eine ausschließlich aus Körnern verschiedener Substanzen bestehende Masse durch gleichzeitige Auskristallisation entstehen kann.

Die durch die Gleichaltrigkeit voneinander unabhängiger Körner charakterisierte Struktur wird panidiomorph-körnig (ROSENBUSCH) oder autallotriomorph-körnig (BROEGGER) genannt; das Streben jedes Gemengteils nach seiner Kristallgestalt, die Tatsache, daß unter den für die Komponenten völlig gleichen Bedingungen keiner dies Ziel erreicht, wird durch beide Namen sehr gut wiedergegeben. In der Art der Entstehung liegt die Kleinkörnigkeit der typischen Fälle begründet; eine streng durchgeführte Verfolgung der von F. RINNE für die Entstehung körniger Strukturen aus Schmelzflüssen mit Ausscheidungsfolge entwickelten Vorstellungen läßt jedoch auch die Möglichkeit zu, daß durch Sammelkristallisation am Schlusse der Verfestigung Gesteine mit Altersfolge auch grobkörnige autallotriomorphe Struktur annehmen können. Demgemäß sagt F. RINNE bei der Besprechung der Gemengteile „typisch körniger Gesteine: Aus ihrer meist nicht kristallographisch mit ebenen Flächen begrenzten, sondern unregelmäßigen Gestalt folgt, daß diese Bestandteile am Schlusse der Verfestigung gleichzeitig noch alle Substanz auf sich niederschlugen und sich so gegenseitig an der regelmäßigen Formentwicklung hemmten, was anfänglich nicht geschah“ (Praktische Gesteinskunde S. 135, 1908). In diesem Falle spielt also die Korngröße (vgl. oben) für die Erkennung des Wesens des Gesteins eine wichtige Rolle.

In diese Gruppe gehört wohl auch die Spilitstruktur der basaltischen Magmen, vielleicht auch die pilotaxitische Struktur zahlreicher andesitischer Gesteine.

Der ersten dieser Strukturen, der Pegmatitstruktur, kommt historisch besondere Bedeutung zu: wegen der Übereinstimmung mit der Struktur künstlicher Eutektika sprach J. J. HARRIS TEALL, wie erwähnt, Schriftgranit und granophyrische Grundmassen als Eutektika

an und versuchte die eutektische Mischung von Kalifeldspat und Quarz quantitativ festzustellen (British Petrography, p. 394 ff.). Dieser geistreiche Versuch war der Ausgangspunkt überaus zahlreicher wichtiger und erfolgreicher Untersuchungen und Theorien über die Rolle des Eutektikums für die Altersfolge und die Anordnung der Gemengteile der Eruptivgesteine; doch lehrten die grundlegenden Untersuchungen an Silikatschmelzflüssen von J. H. L. VOGT, von C. DÖLTER und seiner Schule, ferner die Erfahrungen der Metallographie und ihre Anwendung auf die Petrographie (vgl. F. RINNE, diese Fortschritte Bd. I, S. 181 ff.) mit Sicherheit, daß man weder eine bestimmte Struktur als beweisend für ein Eutektikum betrachten noch umgekehrt von einem Eutektikum stets bestimmte charakteristische Strukturen erwarten darf.

Schon oben wurde gezeigt, daß ein silikatisches Eutektikum je nach dem Grad der Unterkühlung, der Kristallisationsgeschwindigkeit der Komponenten und unter der Einwirkung anderer physikalischer Verhältnisse auch porphyrisch, körnig, glasig, kurz in allen möglichen Strukturarten sich verfestigen kann; „bei metallographischen Eutektiten findet man die schriftgranitische Struktur selten, sehr häufig hingegen ein feinstkrumblättriges Gemisch der Komponenten (z. B. bei Ag-Cu und beim Perlit), auch geradblättriges Gefüge (Ag-Pb), andernfalls eine zellige (Au-Pb), sphärolithische (Pb-Sn), auch mikrofelsitartige (Ag-Cu, schnell erstarrt) und selbst körnige Struktur (Ag-Cu, sehr langsam erkaltet)“ (F. RINNE, l. c. S. 215).

Umgekehrt finden sich die vom Eutektikum bevorzugten, ihrem Wesen nach auf gleichzeitiger Ausscheidung mehrerer Gemengteile beruhenden Strukturen überall dort, wo tatsächlich mehrere Gemengteile gleichzeitig auskristallisieren, auch wenn kein Eutektikum vorliegt; derartige Ausscheidungsbedingungen sind besonders dann gegeben, wenn durch irgendeinen geologischen Vorgang in stark unterkühlten Schmelzflüssen diese Unterkühlung plötzlich aufgehoben wird, falls die Komponenten keine zu großen Unterschiede der Kristallisationsgeschwindigkeit besitzen.

Ausscheidungen in fester Phase.

In den Eruptivgesteinen, besonders in den Tiefengesteinen, finden sich eine Reihe von Verwachsungen verschiedener Minerale, die an die durch gleichzeitige Kristallisation mehrerer Gemengteile erzeugten Strukturen erinnern, tatsächlich aber mit ihnen genetisch nicht verglichen werden dürfen: die Perthitstruktur, eine Verwachsung von Kalifeldspat und Albit, und die Myrmekitstruktur nach J. J. SEDERHOLM („quartz vermiculaire“ oder „quartz de corrosion“

nach ihrem ersten Entdecker MICHEL-LÉVY), charakterisiert durch Verwachsungen von Plagioklas mit radialstrahlig angeordneten, wurmartig gekrümmten Quarzstengeln.

Solange man den Perthit (oder Mikroperthit) als eine sekundäre, durch Druck oder Verwitterung ganz unabhängig von der Gesteinsverfestigung hervorgebrachte Erscheinung betrachtete, gehörte sie natürlich nicht in eine Untersuchung über primäre Strukturen der Eruptivgesteine; das gleiche gilt für den Myrmekit, wenn man ihn mit SEDERHOLM als eine sekundäre Bildung „bei erhöhter Temperatur und Vorhandensein von reichlichen Lösungsmitteln“ erklärt (Über eine archaische Sedimentformation im südwestlichen Finland, Bull. Com. Géol. de la Finlande, No. 6, 1899). Faßt man ihn mit MICHEL-LÉVY als eine Folge der magmatischen Korrosion auf (F. FOUQUÉ und A. MICHEL-LÉVY, *Minéralogie micrographique*, S. 193, Paris 1879), so würde er in den nachfolgenden Abschnitt über magmatische Resorption gehören. Für beide Strukturarten ist aber eine Entstehungsart mindestens sehr wahrscheinlich, die ihnen nach der in der Einleitung entwickelten Abgrenzung primärer Strukturen hier ihren Platz anweist; sie erscheinen bewirkt durch eine Ausscheidung in der festen Phase infolge sinkender Temperatur und sind zurückzuführen auf eine Entmischung von Mischkristallen.

Für die Perthite vertritt besonders J. H. L. VOGT diesen Standpunkt (*Min. Petr. Mitt.*, Bd. 24, S. 537 ff.). Er nimmt an, daß bei der Kristallisation unter hoher Temperatur ein Mischkristall von Kalifeldspat und Albit mehr von dem Albitmolekel aufnehmen kann als bei niedriger Temperatur und sich daher beim Sinken der Temperatur entmischt, falls nicht zu schnelle Abkühlung die Entmischung verhindert; einen Beweis findet er in der Tatsache, daß bei niedrigen Temperaturen gebildete Feldspate ärmer an Na sind als in Magmen gebildete (und durch schnelle Abkühlung von der Entmischung bewahrte) Gemengteile der Eruptivgesteine. Auch die Tatsache, daß sich Perthitstruktur wesentlich in Tiefengesteinen und nicht in Ergußgesteinen findet, läßt sich hierfür anführen; andererseits kann die Entmischung nach der völligen Erkaltung des Gesteins durch die physikalischen Erscheinungen des Gebirgsdrucks verursacht werden, ist dann also sekundär.

In entsprechender Weise erklärt A. SCHWANTKE (Die Beimischung von Ca im Kalifeldspat und die Myrmekitbildung, *Centralblatt f. Min.* 1909, S. 311 ff.) den Myrmekit durch den Zerfall Ca- und Na-haltigen Kalifeldspates in der festen Phase bei sinkender Temperatur unter der Annahme, daß im Mischkristall Ca nicht als Anorthit, sondern als ein Silikat $\text{CaAl}^2\text{Si}^6\text{O}^{16}$ enthalten ist; aus diesem bildet sich beim Zerfall das Anorthitmolekel, und die hierdurch freiwerdende Menge

des SiO^2 (für jedes Anorthitmolekel 4 Molekel SiO^2) liefert die Quarzstengel des Myrmekit. (Über den Myrmekit vgl. auch F. BECKE, Min. Petr. Mitt., Bd. 27, S. 377 ff. 1908.)

Diese Anwendungen der Gesetze der physikalischen Chemie auf die Ausscheidungsfolge der Gesteinsgemengteile geben somit sowohl die Gründe für die Geltung der ROSENBUSCH'schen Regel wie auch für die gesetzmäßigen Abweichungen von ihr an: ganz allgemein läßt sich der Satz aussprechen, daß die Eigenschaften der „basischen“ Gemengteile einen früheren Beginn der Ausscheidung aus dem Schmelzfluß auch dort begünstigen, wo sie in verhältnismäßig geringerer Menge den „sauren“ Gesteinskomponenten gegenüberstehen, und daß andererseits diese, besonders der Quarz, infolge ihres geringen Kristallisationsvermögens in den unterkühlten Schmelzen häufig (aber keineswegs immer) sich später ausscheiden, als man es ihrem Mengenverhältnis nach erwarten sollte.

Anhang: Erhöhung der Idiomorphie durch Drusenbildung.

Der Grad der Idiomorphie der Gemengteile kann schließlich noch durch einen Umstand beeinflußt und zwar günstig beeinflußt werden, der von der Altersfolge der Gemengteile unabhängig ist, nämlich durch das geringere Volumen der auskristallisierten Gesteinsbestandteile im Vergleich zur Schmelze.

Die Frage, ob und inwieweit Kristallisation überhaupt mit molekularer Verdichtung verbunden ist, kann hier unerörtert bleiben — für die gesteinsbildenden Silikate muß es wohl allgemein angenommen werden. Es müssen somit in einem zunächst von einem Schmelzfluß erfüllten Raum, je weiter die Auskristallisation fortschreitet, sich immer mehr Hohlräume einstellen, und die an diese Hohlräume grenzenden Gesteinskomponenten können sich dann, unabhängig von ihrem Alter, in der Richtung nach dem Hohlraum kristallographisch vollkommen ausbilden. Sind diese Hohlräume annähernd gleichmäßig durch das Gestein verteilt, so bleiben sie natürlich klein und machen sich oft nur durch eine Rauigkeit bemerkbar; ein derartiges miarolithisches Gefüge findet sich natürlich dort besonders häufig, wo sehr zahlreiche Individuen gleichzeitig wachsen, also bei plötzlicher Aufhebung einer Überkaltung, wobei sich dann im strengeren Sinn des Wortes panidiomorphe Strukturen ausbilden (zuckerkörnige Aplite, Bostonite, holokristalline Trachytgrundmassen). Sind die Gesteinskomponenten verhältnismäßig groß, wie in den meisten Tiefengesteinen, so können die Hohlräume natürlich auch gleichmäßig im Gestein verteilt sein, kommen aber dann strukturell in jeder Hinsicht kaum zur Geltung; bedeutungsvoll werden sie hier nur, wenn sie sich ge-

wissermaßen örtlich ansammeln und größere oder kleinere Partien des Tiefengesteins drusig erscheinen lassen. Derartige Drusenräume wirken bestimmend auf ihre Umgebung ein: es ragen nicht nur die sie begrenzenden Individuen mit kristallographischer Endigung in den Hohlraum hinein, sondern die ganze Umgebung ist oft grobkörniger, Feldspat und Quarz treten in schichtgranitischer Verwachsung auf, und seltene, dem Gestein sonst fremde Gemengteile stellen sich ein, alles offenbar eine Folge der Durchtränkung mit Gasen und Dämpfen, die im Laufe der Erstarrung des Magmas frei werden und sich in den entstehenden Hohlräumen ansammeln. Auf die nahen Beziehungen zu Pegmatiten kann in diesem Zusammenhange nur kurz hingewiesen werden.

Diese Verhältnisse zeigen übrigens, daß es, wie oben angegeben, unmöglich ist, zwischen Struktur und Textur eine scharfe Grenze zu ziehen: die gleiche Ursache bedingt die im strengen Sinne des Wortes panidiomorphe Struktur feinkörniger Gesteine und bewirkt gleichzeitig auch deren miarolitische Textur — die erste ist eine notwendige Folge der zweiten und diese wieder ohne die erste nicht denkbar.

c) Veränderung der Kristallgestalt vor Abschluß der Verfestigung.

Resorption.

Die häufig beobachtete Erscheinung, daß bereits ausgeschiedene Kristalle wieder angegriffen werden, in der Lehre von den Eruptivgesteinen gewöhnlich als magmatische Resorption bezeichnet, kann trotz ihrer großen allgemeinen Wichtigkeit hier nur kurz behandelt werden. Führt die Resorption zu einer gänzlichen Auflösung des Gemengteils, so scheidet ihre Wirkung für die Frage nach der Struktur der Gesteine natürlich aus; in dem der direkten Beobachtung fast allein zugänglichen Fall der teilweisen Resorption erklärt sie die Anwesenheit selbständig, aber teilweise oder gar nicht kristallographisch begrenzter Gemengteile. Besonders die Einsprenglinge porphyrischer Gesteine weisen derartige charakteristische Umgrenzungen häufig auf.

Die Ursache der Korrosion sind stets Veränderungen in den Verhältnissen des Schmelzflusses, durch die das Gleichgewicht zwischen Bodenkörper und Schmelze gestört wird, so daß der ausgeschiedene Gemengteil nicht mehr bestandfähig bleibt. In erster Linie kommen chemische Veränderungen der Mutterlauge in Betracht, die durch den Gang der Auskristallisation selbst notwendig hervorgerufen werden: im Augenblick der Ausscheidung be-

steht Gleichgewicht zwischen Lösung und Bodenkörper, die fortschreitende Auskristallisation ändert jedoch die Zusammensetzung der Lösung und somit das Verhältnis zu den älteren Ausscheidungen, die jetzt nicht mehr bestandfähig sind und vielfach nur schnellerer Erhaltung der Lösung oder einer Umhüllung durch jüngere Bildungen ihre Erhaltung verdanken.

Eine andere Ursache der chemischen Veränderung des schmelzflüssigen Anteils, die aber für die ausgeschiedenen Bestandteile die gleiche Wirkung hat, macht sich wesentlich bei Ergußgesteinen geltend: das schnelle Entweichen der Gase und Dämpfe an der Erdoberfläche verändert die chemische Zusammensetzung des Schmelzflusses, der dann gleichfalls die älteren Ausscheidungen angreift.

Eine zweite Gruppe von Ursachen der Korrosion beruht auf Temperaturerhöhungen, hervorgerufen entweder durch Kristallisationswärme, besonders infolge von Ausscheidungsverzögerungen und hierdurch bedingte schnelle Auskristallisation eines Bestandteiles, oder durch Hinzutreten wärmerer Magmentteile zu kühleren, bereits in einem vorgerückten Stadium der Kristallisation befindlichen. Schließlich kommt auch die Einwirkung veränderten Druckes in Betracht, der Löslichkeitsänderungen und Verschiebung der Schmelzpunkte wie auch der eutektischen Punkte hervorruft. Für alle diese Verhältnisse muß auf die Zusammenstellung in L. MILCH: Über magmatische Resorption und porphyrische Struktur (Neues Jahrb. f. Min., Bd. II, 1905 S. 1 ff.) verwiesen werden.

Diesen Resorptionsvorgängen weist F. LÖWINSON-LESSING besonders große Bedeutung zu; nach seiner Auffassung ist bei den Effusivgesteinen die Anwesenheit bestimmter Gemengteile und die Abwesenheit anderer unter den Einsprenglingen kein Kennzeichen für die Altersreihenfolge der Ausscheidungen, da in dem Befunde das Ergebnis nicht nur der Kristallisation, sondern auch der Resorption vorliegt. Diese durch die Resorption abgeänderte Ausscheidungsfolge bezeichnet er als tektisch (Studien über die Eruptivgesteine, Comptendu de la VII session du Congrès Géologique International, St. Petersburg 1899, S. 336 ff.).

Weiterwachsen ausgeschiedener Kristalle.

Von den stofflichen Verschiedenheiten einzelner Teile eines kristallographisch einheitlichen Gesteinsgemengteils (Sanduhrstruktur, Zonarstruktur) muß hier abgesehen werden, so interessant sie an sich und für die Entwicklung des Gesteins sind: soweit das Wachstum ohne erhebliche Unterbrechung in der gleichen Phase der Verfestigung stattgefunden hat, geben stofflich verschiedene Teile wohl Kunde von stofflichen Veränderungen des Schmelzflusses, der ganze

Komplex verhält sich aber für die Struktur des Gesteins nicht anders wie ein chemisch homogenes Gebilde — Unterschiede in dieser Hinsicht kommen somit für die Struktur nicht in Betracht. An dieser Belanglosigkeit ändert sich auch dann nichts, wenn der Kristall im Laufe der Entwicklung seine Tracht wechselt: für die Struktur kommt nur die endgültige Begrenzung zur Geltung.

Im Gegensatz hierzu können aber derartige Vorgänge für die Gesteinsstruktur wesentlich und sogar bestimmend werden, wenn in einem Stadium der Gesteinsverfestigung ausgeschiedene Kristalle in einer späteren Phase unter veränderten Bedingungen, mithin nach einer deutlichen Unterbrechung weiterwachsen. Auf diesem Wege kann in Fällen, in denen porphyrische Struktur zu erwarten wäre, die Bildung einer Grundmasse verhindert werden, und es können sich pseudokörnige Strukturen entwickeln, wie sie basische Ergußgesteine nicht selten aufweisen. Eine besonders wichtige Rolle weist F. RINNE derartigen Vorgängen zu; er vergleicht sie, wie oben erwähnt, mit der Sammelkristallisation fester Körper, der Thermokristallisation, die bei erhöhter Temperatur kleine, unregelmäßig gelagerte Kriställchen zu großen Individuen vereinigt und durch „Egalisierungskristallisation“ beispielsweise ein Gemenge verschieden großer Kalkspatkörner aus der porphyrischen Struktur durch Umlagerung im festen Zustand in eine gleichmäßig körnige überführt (dies. Fortschr., Bd. I, S. 209 ff.). F. RINNE erklärt nun die ophitische Struktur der Diabase, „bei welcher im Schnitt leistenförmige, sperrige Plagioklase in ihren Lücken lediglich Augit bergen“, durch die Annahme, daß der in der Grundmasse zu erwartende Feldspat sich als äußerster Teil der großen Feldspatleisten verfestigt habe, und führt überhaupt die körnige Struktur der Tiefengesteine mit Altersfolge, wie bei der Besprechung der relativen Größe der Gesteinsgemengteile auf S. 175 gezeigt wurde, wie auch ihre Neigung zu Anklängen an autalotriomorphe Strukturen (S. 188) auf entsprechende Vorgänge zurück.

II. Texturen.

Bezeichnet man mit U. GRUBENMANN die durch die räumliche Anordnung und Verteilung der Gesteinskomponenten verursachten Gefüge im Gegensatz zu den durch die Reihenfolge der Ausscheidungen hervorgerufenen Strukturen als Texturen, so muß man innerhalb dieser Kategorie wieder verschiedene Gruppen unterscheiden, je nachdem die Textur zur Geltung kommt

4. in der Art, wie die Gemengteile zueinander angeordnet sind,

5. in bezug auf die Raumerfüllung.

Für die erste Gruppe machen sich dann noch sehr wichtige Unterschiede geltend, je nachdem die Textur verursacht ist

4 a. durch Vorgänge, die sich im Magma ohne äußere Einwirkungen vollziehen, mithin wesentlich in der Kristallisation beruhen,

4 b. durch äußere Einwirkungen auf den Schmelzfluß.

Berücksichtigt werden dabei ausschließlich, wie schon mehrfach betont, die im normalen Verlauf der Verfestigung sich geltend machenden Erscheinungen; das gewaltige Gebiet sekundärer Einwirkung auf das verfestigte und abgekühlte Gestein liegt außerhalb des Rahmens dieser Betrachtungen.

4. Anordnung der Gemengteile.

Eine von allen äußeren Einwirkungen unabhängige Verfestigung eines Magmas besteht nur in der Theorie: wenn man sich alle von außen wirkenden Kräfte ausgeschaltet denkt, bleiben immer noch die Schwerkraft und die Folgen ungleicher Abkühlung der äußeren und der inneren Teile eines Schmelzflusses wirksam. Hier, wo es sich nach den Ausführungen der Einleitung nur um die Anordnung der Gemengteile und nicht um stoffliche Differentiation des Magmas handelt, tritt die Schwerkraft ausschließlich bei in Bewegung befindlichen, nicht bei ruhenden Schmelzflüssen in Wirksamkeit; sie wirkt mithin wohl auf die Textur der Ergußgesteine, aber nicht auf die der Tiefengesteine. Umgekehrt können sich die durch verschiedene Temperatur des Schmelzflusses und seiner Umgebung im Schmelzfluß hervorgebrachten Strömungen nur dort geltend machen, wo zwar die Temperaturunterschiede erheblich sind, die Abkühlung aber nicht zu rasch erfolgt, Bedingungen, die wesentlich bei Tiefengesteinen erfüllt sind. Diese Temperaturströmungen können von der Grenze weit entfernte Gebiete gewaltiger Intrusivmassen nicht erreichen; diese müssen somit dem idealen Fall völliger Unabhängigkeit von der Umwelt am nächsten kommen.

a) Anordnung der Gemengteile durch Kristallisationsvorgänge.

1. Massige Texturen.

In einer allen äußeren Einwirkungen entrückten Schmelze sind sämtliche Richtungen gleichwertig, mithin muß auch das ausschließlich durch Kristallisationsvorgänge hervorgerufene Gefüge in allen Richtungen gleich sein; die Masse erstarrt richtungslos und das Gefüge ist gewissermaßen isotrop — die so entstandene Textur bezeichnet man

als massig. Massig kann die Textur sowohl bei körniger wie bei porphyrischer Struktur sein; sie ist auch unabhängig davon, ob das Gestein kompakt ist, d. h. ob die Komponenten den vom Gestein eingenommenen Raum gänzlich erfüllen, oder ob Zwischenräume zwischen ihnen vorhanden sind, so daß mithin die Begriffe massige und mio-ritische Textur sich keineswegs ausschließen.

2. Kugelige (sphärische) Textur.

H. ROSENBUSCH führt in seiner Physiographie (Teil II 1, S. 84) aus, daß die richtungslose Anordnung keineswegs eine Regellosigkeit bedingt: die Reihenfolge der Ausscheidung muß bei der granitisch-körnigen Struktur der Tiefengesteine, da jedes Mineral jedem jüngeren zum Ansatzpunkt dient, zu einer roh zentrischen Anordnung führen. Neben dieser bei körnigen Gesteinen allgemein verbreiteten, aber oft undeutlichen und daher leicht zu übersehenden zentrischen Anordnung finden sich bei den Erstarrungsgesteinen andere Arten kugeliger Texturen, die auf verschiedene Ursachen zurückgehen und diesen entsprechend auch verschiedene Erscheinungsformen besitzen. (Stofflich stark abweichende Bildungen, die entweder auf einen Magmenzerfall oder auf eingeschmolzene Fremdkörper zurückgeführt werden müssen, werden hierbei natürlich nicht berücksichtigt.)

Am besten teilt man die kugeligen Texturen der Erstarrungsgesteine in zwei Gruppen, von denen die eine durch radialstrahliges Gefüge, die andere durch konzentrisch-schalige Anordnung charakterisiert ist. Stofflich unterscheiden sich die beiden Gruppen dadurch, daß in dem ersten Fall die einzelnen Strahlen oder wenigstens die benachbarten Strahlenbüschel mineralogisch untereinander gleich sind, während die einzelnen Schalen der konzentrisch angeordneten Kugeln sehr verschieden zusammengesetzt sind. Auch bei der schaligen Textur sind bisweilen einzelne Schalen aus radialstrahligen Komponenten zusammengesetzt, doch tritt diese Anordnung für das Wesen der Schalen hinter der stofflichen Verschiedenheit zurück.

Radialstrahlige Kugeln ohne konzentrischen Wechsel der Substanz scheinen sich namentlich bei schneller Abkühlung des Schmelzflusses zu bilden, da sie sich fast ausschließlich in Ergußgesteinen finden. Man unterscheidet nach ROSENBUSCH Sphärokristalle (homogene Belonosphärite VOGELSANG-ZIRKEL), aus Strahlen eines einzigen Minerals aufgebaut, Pseudosphärolithe (gemengte Belonosphärite), aus Strahlen verschiedener Minerale bestehend, Felsosphärite oder Sphärolithe im engeren Sinne,¹⁾ Kügelchen von strahligem Mikro-

¹⁾ E. WÜLFING wendet den Namen Sphärolith (eigentlicher Sphärolith) nur für amorphe Substanzen an, die durch Spannung Doppelbrechung und individuelle Teilungen erhalten haben, die übrigen nennt er Sphärokristalle; die

felsit, einem übersauren Alkalitonerdesilikat. Nach einer anderen Auffassung, wie sie von A. SAUER vertreten wird, ist der „Mikrofelsit“ ein sehr feinkörniges Gemenge von Feldspat und Quarz, die „Sphärolithe“ würden mithin Pseudosphärolithe sein (Porphyrstudien, Mitt. d. bad. Landesanst., 1893, Bd. 2, S. 793 ff.); nach den Untersuchungen LAGORIO's haben sie eine von dem sie umschließenden Glas unabhängige Zusammensetzung, die nach J. H. L. VOGT (Min. Petr. Mitt., Bd. 25, S. 398 ff.) einem Eutektikum entspricht. Diese radialstrahligen Gebilde sind somit ihrer genetischen Stellung nach keineswegs isoliert: die Sphärokrystalle stehen an der Stelle größerer homogener Individuen, die lediglich der großen Zähflüssigkeit des Schmelzflusses wegen nicht zu einer parallelen Stellung ihrer Molekel gelangen konnten, bei denen aber günstige Umstände, die hier nicht weiter erörtert werden können, doch die Konzentration gleichartiger Molekel noch ermöglichten — Beziehungen zu porphyrischer Struktur sind mithin unverkennbar. Die Pseudosphärolithe stehen genetisch und ihrer Rolle im Gestein nach in engster Beziehung zu der Pegmatit-(Granophyr-)Struktur, und die Felsosphärite schließen sich, je nach der Stellung, die man dem Mikrofelsit zuweist, einer der beiden Gruppen an. Diese Tatsachen lehren, daß auch genetisch sich Struktur und Textur nicht immer scharf trennen lassen.

Man bezeichnet diese durch radialstrahlige Kugeln charakterisierte Anordnung allgemein als sphärolithisch, bei den Diabasen wegen der „Variolen“ genannten, oft recht unregelmäßigen Pseudosphärolithe von Plagioklas mit Augit usw. auch als variolitisch. (Auf die „gekammerten Sphärolithe“, die Lithophysen, kann erst bei Besprechung der durch Freiwerden von Dämpfen erzeugten Texturen eingegangen werden.)

Während die wesentlich in Ergußgesteinen verbreitete radiale Anordnung faseriger Gemengteile oft ganze Gesteine beherrscht, findet sich die konzentrisch-schalige Anordnung in typischer Form hauptsächlich in Tiefengesteinen und zwar innerhalb der Massive nur auf verhältnismäßig sehr kleine Gesteinsteile beschränkt, mit Vorliebe in zentralen, äußeren Einwirkungen möglichst entrückten Gesteinsteilen.

Die Ursache der konzentrisch-schaligen Anordnung der Gemengteile ist hier offenbar Übersättigung des Schmelzflusses an einem oder mehreren Bestandteilen als Folge der Ausscheidung des oder der die vorangegangene Zone wesentlich zusammensetzenden Minerale; durch die Ausscheidung der jetzt im Überschuß befindlichen Substanzen wird wieder Übersättigung für die ersten herbeigeführt —

Felsosphärite werden unter der Annahme, daß Mikrofelsit kein Gemenge, sondern ein Mineral ist, als Mikrofelsit-Sphärokrystalle bezeichnet (ROSENBUSCH-WÜLFING, Physiographie, Bd. I 1, S. 394 ff.).

die nächste Zone muß sich somit wieder wesentlich aus diesen aufbauen. Jede Zone ist ein Beweis für die Wiederholung dieses Vorganges. J. H. L. VOGT legt Gewicht auf die Tatsache, daß einzelne der Schalen die Zusammensetzung eines Eutektikums besitzen (Min. Petr. Mitt., Bd. 25, 400 ff.).

Trotz des theoretisch sehr großen Interesses und der großen Mannigfaltigkeit dieser konzentrischen Kugelbildungen verbietet sich ein näheres Eingehen auf sie; doch muß hervorgehoben werden, daß sich auch in Tiefengesteinen einerseits pseudosphärolithische Bildungen, andererseits Übergänge in Einsprenglinge und somit zu porphyrischer Struktur finden.

Ein Beispiel für pseudosphärolithische Bildungen sind die Kugeln aus dem Granit vom Krötenloch bei Schwarzbach im Riesengebirge; hier setzen sich pegmatitisch verwachsene Strahlen, mit autalotriomorph-körnig angeordneten Partien wechselnd, teils an Kalifeldspatkristalle, teils an körnig struierte Gesteinsmassen als Zentren an und erzeugen Kugeln, die sich von den Pseudosphärolithen der Ergußgesteine nur durch ihre bedeutende Größe unterscheiden.¹⁾

Übergänge in porphyrische Strukturen finden sich besonders deutlich in dem bekannten Gestein von Virvik bei Borgå (Süd-finland): an die Stelle der Kugeln treten Feldspateinsprenglinge mit mäßig konzentrischen Biotiteinlagerungen; hierdurch entstehen porphyrische Strukturen, die weiterhin wieder in die normal hypidiomorph-körnige Anordnung übergehen. Diese Beobachtungen legen eine ähnliche Auffassung für die eigentümlichen einsprenglingsartigen Feldspatovoide des Rapakiwi nahe: die eiförmige Gestalt des herrschenden Kalifeldspats, sein Gehalt an konzentrisch angeordneten Einschlüssen von Biotit, Amphibol, Plagioklas, Quarz, die charakteristische äußere Plagioklasschale erinnern unmittelbar an Kugelbildungen. Ganz ähnliche Erscheinungen weisen auch andere porphyrisch struierte Granite, beispielsweise nicht seltene Varietäten des Riesengebirgsgranites auf.

Auch hier finden sich somit Beziehungen zwischen Kugeltexur und porphyrischer Struktur; sie zeigen ebenso wie der Zusammenhang zwischen panidiomorpher Struktur und miarolitischer Textur, daß eine scharfe Trennung zwischen Struktur und Textur nicht durchzuführen ist.

Auf magmatische, in der Veränderung des Schmelzflusses beruhende, in ihrem Wesen mithin der Resorption verwandte Vorgänge geht eine zonare Anordnung der Gemengteile zurück, die besonders in Gabbros verbreitet ist und als Ozellartexur oder kelyphiti-

¹⁾ Eine abweichende Auffassung J. H. L. VOGT's (l. c. S. 402) stützt sich auf eine Darstellung v. CHRUSTSCHOFF's, der durchaus unzureichendes Material zugrunde lag; meine Beschreibung (Neues Jahrb. f. Min. B. B. XII, 197—206) hat VOGT offenbar nicht gekannt.

sche Textur bezeichnet wird. Radialstrahlige feinfaserige Schalen von Hornblende, rhombischem Pyroxen, auch von Granat, umgeben durch Resorptionsvorgänge gerundete eingebuchtete Olivine, Biotite und Eisenerze dort, wo diese Minerale an Plagioklas grenzen, finden sich aber niemals an der Grenze gegen Pyroxene. Verwandt ist wohl die Erscheinung, daß dicke Granophyrkränze sich in Granitporphyren besonders gern um stark korrodierte und gerundete Quarze legen (L. MILCH, Neues Jahrb. f. Min., 1905, Bd. II, S. 23); die Kränze bilden den Übergang zu den bekannten Augitkränzen um größere Mineralkörner, die dem Magma selbst eigentlich fremd sind. Derartige Kränze finden sich teilweise um wirkliche Einschlüsse — dann gehören sie erst in die folgende Gruppe — sie sind aber nach ihrer Erscheinungsweise und nach ihrer Entstehung im Magma von anderen nicht zu unterscheiden, die sich, ebenso wie l. c. von den oben erwähnten Granophyrkränzen gezeigt wurde, durch Resorption infolge von Mischung verschieden entwickelter Magmenschichten und nachfolgende Ausscheidung (mit dem Rest des teilweise resorbierten Minerals als Kern) bilden.

b) Durch äußere Einwirkung auf den Schmelzfluß
hervorgebrachte Texturen.

Ein vollständiges Freisein von den Einflüssen der Außenwelt ist, wie oben ausgeführt, streng genommen nur in zentralen Teilen großer Tiefengesteine annähernd möglich; umgekehrt zeigt aber die Vorherrschaft der richtungslosen Textur der Erstarrungsgesteine, daß die äußeren Einflüsse auf die Textur nur unter besonders günstigen Umständen bestimmend einwirken. Die Einflüsse selbst können verschieden sein — am wirkungsvollsten sind wohl neben den theoretisch sich überall, aber in sehr wechselnder Stärke geltend machenden Einwirkungen der Schwerkraft und der durch Temperaturunterschiede zwischen Schmelzfluß und Nebengestein hervorgerufenen Strömungen der nur örtlich wirkende gerichtete Druck — die Wirkung dieser verschiedenen Ursachen macht sich jedoch allenthalben in annähernd gleicher Weise wesentlich dadurch geltend, daß an Stelle der Gleichwertigkeit aller Richtungen die Bevorzugung gewisser Flächen und Linien tritt, die Gesteinsmasse als Ganzes sich mithin nicht mehr isotrop, sondern anisotrop verhält.

Die Fluidaltextur oder Fluktuationstextur entsteht durch Strömungen im Magma, sei es, daß diese Strömungen durch Empordringen des Magmas entgegen dem Gesetz der Schwere, oder durch Fließen der an die Erdoberfläche gelangten Magmen als Folge dieses Gesetzes, oder schließlich durch thermische Konvektionsströme in Tiefengesteinsmagmen entstehen.

Die durch die Bewegung der oberflächlich fließenden Laven entstehende Fluidaltextur ist gekennzeichnet durch Vorherrschaft der linearen Anordnung und durch welligen Verlauf auch auf kleinem Raume: die kleinen Kriställchen und Mikrolithen ordnen sich zu Strängen, wobei die Längsachsen in der Flußrichtung liegen, stauen sich an größeren Kristallen, winden sich um sie herum und lassen die unmittelbar vor der völligen Verfestigung des Schmelzflusses in ihm sich abspielenden Bewegungen ähnlich wie in der Bewegung plötzlich erstarrtes Wasser deutlich erkennen. Enthält die Lava strukturell verschieden entwickelte Schlieren, so ergibt sich dadurch, daß diese Schlieren durch das Fließen ausgezogen und ausgewalzt werden, fluidale Lagentextur; werden diese Schlieren durcheinander geknetet und ineinander gepreßt, so erhält man die durchflochtenen Texturen. Erhalten die Gesteine durch derartige Vorgänge ein geflammt, breccienartiges Aussehen, so spricht man von Eutaxittextur. Durchflochtene und Eutaxittextur finden sich besonders gern in Fällen, in denen chemisch etwas verschieden zusammengesetzte Schlieren in einem Schmelzfluß auftreten, wobei die Verschiedenheit auf Durcheinanderpressen verschiedener Magmenschichten beim Empordringen des Schmelzflusses, auf Differentiation und auf Einschmelzen von Bruchstücken der durchbrochenen Gesteine beruhen kann.

Auf Strömungen als Folge des Aufsteigens entgegen dem Gesetz der Schwere ist eine Parallelanordnung der älteren Gemengteile am Salbande von Gängen zurückzuführen, soweit diese als primär nachweisbar ist; werden verschieden entwickelte oder stofflich verschieden zusammengesetzte Magmaschichten gleichzeitig emporgepreßt, so entwickeln sich in den Gangmassen auch schlierige Texturen. Wenn in Tiefengesteinsmassiven, wie es die Regel ist, diese schlierigen Texturen fehlen, so wird die Entscheidung, ob eine primäre Paralleltextur durch Strömungen als Folge der Ortsveränderung des Magmas während der Intrusion oder durch thermische Konvektionsströme nach der Intrusion als Folge der von außen wirkenden Abkühlung aufzufassen ist, nicht immer leicht, bisweilen unmöglich sein.

Die durch Strömungen hervorgerufenen Parallelanordnungen kommen teils durch die Stellung der farbigen Gemengteile, teils auch durch die der farblosen Gemengteile, besonders der tafelförmigen Feldspate zustande. Gewöhnlich sind sie, wie man es bei Strömungen, die durch Temperaturunterschiede hervorgerufen werden, erwarten kann, auf die äußeren Teile der Massive beschränkt; besonders charakteristisch ist eine „umlaufende“ Paralleltextur, bei der die Anordnung der Grenze zwischen Massiv und Nebengestein parallel geht. Die Gesteine werden hierbei oft völlig gneisähnlich und sind vielfach früher den kristallinen Schiefem zugerechnet worden; auch

heute ist die Unterscheidung fluidaler Tiefengesteine und Gneise eine der wichtigsten und schwierigsten Aufgaben der Petrographie. Eine große Anzahl „Granitgneise“ gehören jedenfalls hierher — die bekanntesten sind wohl die früher als laurentische Gneise bezeichneten Massive aus der Gegend des Rainy lake in Canada; sehr deutliche, bisweilen sogar lineare Paralleltexur zeigt ferner der Syenit des Plauenschen Grundes, viele Nephelinsyenite und zahlreiche Anorthosite.

Die Parallelanordnung gewisser Gemengteile bringt bei diesen Vorgängen durch Wechsel der mineralogischen Zusammensetzung unterschiedene Lagen hervor, die, wie beim Diorit von der Insel Ornö und beim Gabbro von den Hebriden, zu einer typischen Lagentexur mit weitgehenden stofflichen Unterschieden der Lagen führen. Ob hier lediglich Unterschiede der Anordnung oder eine stoffliche schlierige Differenzierung des Magmas vorliegt, kann nur von Fall zu Fall, oft auch nicht mit voller Sicherheit entschieden werden. In den am deutlichsten gebänderten Gesteinen, wie in den Gabbros von Westschottland und von den Hebriden, liegt wohl eine der Lagentexur (sowie der ihr nahestehenden durchflochtenen resp. Eutaxitexur) der Ergußgesteine entsprechende Erscheinung vor, hervorgerufen durch Intrusion eines in der Tiefe gespaltenen Magmas.

Wie die Strömungen kann auch Druck in einem zähflüssigen Magma auf ausgeschiedene Kristalle richtend einwirken und somit in Tiefengesteinen und Gängen Parallelanordnung hervorrufen. Der Druck auf den Schmelzfluß kann entstehen durch den Gegendruck, den die Wände der Intrusion entgegensetzen — dann wird die Anordnung der gerichteten Minerale der Umgrenzung parallel laufen, ähnlich wie bei den im Magma durch die Intrusion und durch thermische Konvektionsströme hervorgerufenen Bewegungen, mit denen dieser Druck genetisch in naher Beziehung steht; er kann ferner erzeugt werden durch Nachsinken des Hangenden und schließlich durch einen gerichteten Druck tektonischen Ursprungs (Pressung oder stress), der gleichzeitig auf die feste Umgebung und das intrudierte Magma einwirkt und mit diesem nur insoweit genetisch zusammenhängt, als Pressung und Intrusion in den gleichen tektonischen Vorgängen ihre letzte Ursache haben.

Der Druck des nachsinkenden Hangenden wirkt naturgemäß von oben nach unten und bewirkt somit, wenn tafelig ausgebildete Minerale vorhanden sind, eine Parallelanordnung dieser in mehr oder weniger horizontalen Ebenen, eine bei Nephelinsyeniten verbreitete Erscheinung. Die tektonische Pressung verursacht gleichfalls eine Anordnung nach Ebenen, die selbstverständlich an sich jede Orientierung annehmen können, in dem gleichen Massiv aber annähernd übereinstimmen müssen. Wie weit der Druck nach dem

Innern des Massivs zu sich Geltung verschaffen kann, hängt von der Dauer seiner Einwirkung ab: streß ist nur in sehr zähflüssigen Magmen möglich, weil gerichteter Druck in leichtflüssigen Massen sich sofort in allseitigen Druck umwandelt, der die Stellung der ausgeschiedenen Gemengteile naturgemäß nicht mehr beeinflussen kann.

Alle diese zur Ortsveränderung von Kristallen im Schmelzfluß führenden Ursachen haben häufig mechanische Zerbrechung und Deformation der bereits ausgeschiedenen Gemengteile zur Folge: gut spaltbare Minerale, wie der Glimmer, werden aufgeblättert, die einzelnen Blätter verbogen, sprödere zerbrochen und zertrümmert; doch sind auch Fälle bekannt, in denen bei niedrigen Temperaturen sich spröde verhaltende Substanzen im Magma, offenbar infolge größerer Plastizität bei erhöhter Temperatur, bruchlos deformiert sind. Durch diese mechanischen Beeinflussungen in Verbindung mit der richtenden Kraft der Strömungen und des Druckes entwickeln sich Texturen, wie sie ähnlich durch Einwirkung des Druckes auf völlig verfestigte Gesteine hervorgebracht werden und diesen bei starker Betonung der Neuordnung den Habitus gewisser Glieder der kristallinen Schiefer aufprägen: eine mechanisch-porphyrische (Mörtel-)Textur, primäre Augentextur, primäre Flasertextur und andere mehr, die man am besten mit BROEGGER als Protoklastexturen zusammenfaßt. Am deutlichsten müssen derartige Protoklastexturen unmittelbar an den Grenzen gegen das Nebengestein und in der Nähe der starren Wände entwickelt sein, gegen die ein aufsteigendes, Ausscheidungen enthaltendes Magma angepreßt wird; tatsächlich finden sie sich hauptsächlich an den Rändern von Tiefengesteinsmassiven.

Für die Entstehung der Texturen deckt sich die von E. WEINSCHEK entwickelte Theorie der Piëzokristallisation (vgl. seine „Allgemeine Gesteinskunde als Grundlage der Geologie, Freiburg 1906) im allgemeinen mit der Erklärung der Protoklastexturen, soweit bereits ausgeschiedene Substanzen in Betracht kommen; eine Erörterung seiner abweichenden Anschauungen, Erklärung deformierter Kristalle sowie sonst aus Magmen sich nicht bildender Minerale durch Einwirkung des Druckes auf sich ausscheidende, nicht auf schon ausgeschiedene Kristalle findet besser ihren Platz bei einer Besprechung der Entstehungsweise kristalliner Schiefer (vgl. hierüber L. MILCH, Über homogene Deformation von Quarz und Piëzokristallisation, Zentralbl. f. Min. 1904, S. 181 ff.).

Einwirkung fremder Einschlüsse.

Nach der in der Einleitung angegebenen Begrenzung des Themas kommen fremde Einschlüsse für die Textur der Gesteine nur sehr untergeordnet in Betracht. Die Neigung der Magmen, Ein-

schlüsse durchbrochenen Gesteins gewissermaßen abzukapseln, indem sie als Ansatz für radialstrahlige Bildungen aus dem Magma selbst dienen (Augitkränze usw.), wurde schon bei der Besprechung der kugeligen Texturen erwähnt, eine ähnliche Erscheinung ist die nicht seltene fluidale Anordnung der Gemengteile um solche Einschlüsse.

Daß vielfach schlierige Textur auf eingeschmolzene Einschlüsse zurückzuführen ist, wird jetzt wohl allgemein angenommen, ebenso, daß derartige Einschmelzungen die Zusammensetzung des Magmas lokal verändern und vielfach Anlaß zu Magmazerfall bieten — diese wichtigen Vorgänge fallen jedoch aus dem Rahmen der vorliegenden Arbeit heraus. Auch auf die von R. LEPSIUS vertretene Auffassung, daß bei konkordanter Einlagerung des Granitlakkolithen die in das Granitmagma einsinkenden und einblätternen Schieferschichten dem Granit ihre konkordante Schichtung in der Form der Gneisfaserung mitteilen, kann aus dem gleichen Grunde hier nur kurz hingewiesen werden (Geologie von Deutschland, 1903, Bd. II, S. 102 ff.).

5. Raumerfüllung.

a) Raumerfüllung, bedingt durch Vorgänge vor der Erstarrung.

Zu den Texturen kann man auch die Eigenschaften der Gesteine stellen, die in dem Grad und der Art ihrer Raumerfüllung durch Gesteinssubstanz zum Ausdruck kommen. Den kompakten Texturen, bei denen der ganze Raum von Gesteinssubstanz erfüllt ist, stehen die porösen gegenüber; von diesen ist die wichtige miarolitische und drusige Textur schon oben (S. 191 ff.) besprochen. Mit der Bildung der Drusenräume in den Tiefengesteinen bis zu einem gewissen Grade verwandt ist die Entstehung von Hohlräumen unterhalb der zuerst verfestigten Schlackenkruste von Lavaströmen und -Decken: der von der ersten Erstarrungskruste umschlossene, noch schmelzflüssige Rest des Lavastromes vermag bei der Kristallisation die von der Schlacke gebildete Form nicht mehr ganz auszufüllen, so daß große höhlenartige leere Räume entstehen können.

Auf die Bewegung des Fließens ist, um die speziell für die obersten Teile von Lavaströmen in Betracht kommenden Verhältnisse im Zusammenhang zu besprechen, die wulstige und gekröseartige Gestalt mancher, als Fladenlava bezeichneter Ströme zurückzuführen, die allmählich aus dem flüssigen in den festen Zustand übergehen; für die in einem gewissen Gegensatz zu ihr stehenden Blocklava, die oberflächlich aus rauhen zackigen Stücken besteht, die wie die Eisschollen in einem Fluß übereinandergeschoben sind, ist ein Hinzutreten anderer Umstände maßgebend.

Während nämlich die kompakte wie auch die miarolitische Textur

lediglich auf der Auskristallisation der im Magma vorhandenen Stoffe zurückzuführen ist, ebenso die Hohlräume zwischen Lavastrom und Kruste durch Verminderung des Volumens bei der Verfestigung entstehen, und die Fladenlava Fluidalbewegungen zähflüssiger Massen infolge ruhigen Erstarrens aufweist, entsteht die Blocklava nach den Untersuchungen A. HEIM'S (Zeitschr. deutsch. geol. Ges., 1873 Bd. 25, S. 36 ff.) durch plötzliche Erstarrung infolge starker Dampfentwicklung. Dieses Entweichen gasförmiger Teile des Schmelzflusses ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Entstehung blasiger, schlackiger und schaumiger Texturen sowie die Bildung der Tuffe mit ihrer eigentümlichen Anordnung.

Die gerade wieder in den letzten Jahren viel umstrittene Frage nach der Natur, Menge und Rolle gasförmiger Stoffe in Magmen scheidet hier aus; daß die effusiven Magmen gasförmige Stoffe in großer Menge enthalten, beweisen das Entweichen dieser Stoffe und die durch diesen Vorgang hervorgerufenen Erscheinungen bei jeder Eruption; lediglich durch dieses Entweichen wirken die gasförmigen Komponenten auf die Textur des Schmelzflusses. Für die Textur der Gesteine ist ihr Einfluß wesentlich auf die oberflächlich erstarrenden Ergußgesteine und bei größerer Mächtigkeit dieser nur auf die oberen Zonen beschränkt — nur sehr selten lassen sich entsprechende Wirkungen bei Gebilden, die nicht im schmelzflüssigen Zustand die Erdoberfläche erreichten, und zwar dann wesentlich an den Salbändern von Gängen und am oberen Kontakt von Lagergängen nachweisen. Durch die Verringerung des Druckes werden die Gase in der Nähe der Erdoberfläche und beim Fließen der Lava über die Oberfläche frei; sie suchen zu entweichen und bilden hierbei in dem zähflüssigen Schmelzfluß Blasen, die bei der Erstarrung des Gesteins erhalten bleiben, häufig aber noch vor der Erstarrung durch das Fließen der zähen Massen deformiert werden. Blasig im engeren Sinne nennt man die Textur bei verhältnismäßig geringer Zahl und annähernd regelmäßiger Gestalt der Hohlräume, bei großer Zahl und unregelmäßiger Gestalt lassen sie die Textur schlackig werden; überwiegen sie im Gestein, so daß die feste Gesteinsmasse zurücktritt und nur noch dünne Wände bildet, so wird die Textur schwammig oder schaumig wie beim Bimsstein. Eine Ausfüllung dieser Hohlräume durch spätere, mit der Gesteinsverfestigung gar nicht oder wenigstens nicht mehr unmittelbar in Beziehung stehende Vorgänge bewirkt die sog. Mandelsteintextur, die streng genommen als eine sekundäre Umgestaltung blasiger Texturen nicht mehr in die im vorliegenden Aufsatz zu behandelnden Anordnungen gehört.

Entweichen beim Empordringen eines Magmas an die Erdoberfläche aus diesem zu große Mengen von Gasen und Dämpfen, so

vermag der Schmelzfluß seinen Zusammenhang nicht mehr zu erhalten: er verspritzt ganz oder zum Teil und löst sich in die vulkanischen Auswurfsmassen auf, größere und kleinere Teile des Magmas, die in der Luft sich mehr oder weniger verfestigen, in der Nähe der Ausbruchsstelle dem Gesetz der Schwere gehorchend niederfallen und hier aus Eruptivmaterial bestehende Sedimentgesteine hervorbringen, die sog. Tuffe. Während nun die Tuffe als Gesteine nicht mehr zu den Erstarrungsgesteinen, sondern zu den mechanischen Absätzen gehören, ist die Gestalt der einzelnen sie aufbauenden Bruchstücke auf Vorgänge der Gesteinsverfestigung aus Schmelzfluß zurückzuführen; diese Verfestigung hat sich, soweit nicht isolierte, schon im Schmelzfluß gebildete und durch die Explosion von dem schmelzflüssigen Rest des Magmas getrennte Kristalle vorliegen, wesentlich in der Luft oder unmittelbar nach dem Niederfallen auf die Erde vollzogen.

Durch die Bewegungen in der Luft erhalten größere Fetzen des emporgeschleuderten Materials rundliche oder längliche gedrehte Formen, die vulkanischen Bomben; fallen die Massen noch in weichem Zustand zu Boden, ohne diese Drehung erlitten zu haben, so liefern sie fladenförmige Schlacken. Walnuß- bis haselnußgroße stark poröse Brocken von eckiger oder rundlicher Gestalt heißen Lapilli, beim Sinken bis zur Hirsekorngröße nennt man sie vulkanischen Sand, staubartiges Material heißt vulkanische Asche. In dieser Asche sind besonders die Glasscherben durch ihre konvex-konkav-bogenförmige Gestalt wichtig: es sind durch Explosion zerstäubte Bimssteinstückchen, deren charakteristische Gestalt oft allein in den aus diesen Splitterchen aufgebauten, nahezu dichten und überaus leicht zersetzbaren Gesteinen noch die Tuffnatur des Gebildes erkennen läßt, auch wenn das Glasmaterial völlig umgewandelt ist.

Durch das Freiwerden dampfförmiger Bestandteile in einem späten Stadium der Gesteinsentwicklung erklärt J. P. IDDINGS den eigentümlichen Aufbau der bekannten Lithophysen, gewissermaßen gekammerten Sphärolithen (Amer. Journ. of Sc., 1886, Bd. 133, S. 36 ff.). Er nimmt an, daß in einer noch weichen Glaskugel der Wassergehalt durch Kristallisation eines Teils der Substanz stark zunahm und daher nicht mehr zurückgehalten werden konnte; das Wasser wurde in Gestalt größerer und kleinerer Dampfbläschen frei und wirkte als Wasserdampf auf Bestand und Textur der ursprünglichen Glaskugel in charakteristischer Weise umgestaltend ein.

b) Absonderungsformen.

Wie in der Einleitung ausgeführt wurde, kann man zweifelhaft sein, ob überhaupt und inwieweit die Absonderungsformen in

eine Untersuchung über Struktur und Textur der Eruptivgesteine hineingehören. Die Zugehörigkeit ist zweifellos in Fällen, in denen die Absonderung durch Eindringen des Schmelzflusses in ein fremdes Medium hervorgebracht ist; doch ist ein derartiger Fall wohl nur aus dem Harz durch F. RINNE bekannt geworden, der große brotlaibförmige, selbständig in Tonschiefern liegende Diabasmassen beschrieb und auf eine „Zerteilung und Ballung untermeerisch ergossener Magmen“ zurückführte, „vergleichbar, wenn auch von größeren Dimensionen, den Granalien in Wasser abgelassener Hochofenschlacken“. Nach dem in der Einleitung ausgesprochenen Grundsatz gehören ferner die Absonderungsformen der Ergußgesteine hierher; nicht mit gleicher Bestimmtheit kann eine entsprechende Stellung für alle Absonderungsformen der Tiefgesteine in Anspruch genommen werden, — da sie aber in der Hauptsache durch die auf die Erstarrung unmittelbar folgende Abkühlung mindestens angelegt sind, wenn sie teilweise vielleicht auch erst nach weiterer, auf späteren geologischen Vorgängen beruhender Abkühlung in Erscheinung treten, können auch sie hier eingereiht werden. Ausgeschieden sind selbstverständlich alle durch spätere geologische Vorgänge im Gestein entstehenden Kluftflächen, die durch Druck, Zug oder Torsion entstehen und als Zerreißen (oder Diaklase nach DAUBRÉE) nichts mit dem Wesen des Gesteins zu tun haben.

Für die typischen Absonderungsformen der Eruptivgesteine ist charakteristisch, daß sie infolge Schrumpfens des Gesteins durch Sinken der Temperatur nach der Erstarrung oder frühestens im allerletzten Stadium des Festwerdens entstehen; dies beweist die vollständige Unabhängigkeit der Gesteinsbeschaffenheit von den trennenden Flächen, ferner die Tatsache, daß größere Kristalle bisweilen durch die Trennungsflächen zerrissen sind und der erste Teil auf der einen, der zweite auf der anderen Seite der Trennungsfläche liegt, und schließlich der durch diese Trennungsflächen in keiner Weise gestörte Verlauf der Fluidaltextur. Auf einen Zerfall des Magmas im letzten, schon überaus zähflüssigen Stadium der Verfestigung deuten nur eigentümlich gekröseartig verzerrte Absonderungsformen, wie sie gewisse Diabase in Nassau und ganz ähnlich im südlichen Schottland aufweisen.

Auf die Theorie der Absonderungsformen kann hier nicht näher eingegangen werden: die Zerreißen erfolgt stets senkrecht zum Widerstandsmaximum, und dessen Lage ist abhängig von der Gestalt der Fläche, von der die Abkühlung ausgeht, sowie von der Widerstandszunahme in verschiedenen Richtungen nach der Tiefe. Es können daher die Absonderungsformen innerhalb derselben Gesteinsmasse verschieden orientiert sein und mit der Entfernung von der Abkühlungsfläche sogar ihre Gestalt ändern.

Ist der Widerstand gegen die Abkühlung in allen Richtungen annähernd gleich, so bilden sich kugelige Absonderungsformen (nicht zu verwechseln mit Kugeltextrur, mit der sie gar nichts zu tun haben). Die Zahl der Kugeln und ihre Größe schwankt mit der Zahl und Lage der Abkühlungszentren, die um so zahlreicher sind, je schneller die Abkühlung erfolgt. Demgemäß sind rasch erstarrte glasige Gesteine oft erfüllt, bisweilen geradezu aufgebaut aus kleinen, bisweilen ohne Mikroskop kaum noch erkennbaren, zwiebel-schaligen Kügelchen — diese Absonderung bezeichnet man bei glasigen Massen als perlitisch — während die Durchmesser derartiger Sphäroide in körnigen Tiefengesteinen mehr als einen Meter Durchmesser erreichen. Zwischen diesen Werten finden sich besonders bei basischeren Erguß- und Ganggesteinen alle Übergänge.

Ist der Widerstand senkrecht zur Abkühlungsfläche am größten, so vollzieht sich eine Plattung parallel zu ihr; auch hier schwankt die Dicke der Platten von den mächtigen Bänken der Tiefengesteine, besonders der Granite, bis zu dünnen Blättern mancher Ergußgesteine, besonders der Phonolithe, die gewissen, durch die Plattung des Gesteins hervorgerufenen Eigenschaften ihren Namen verdanken, und mancher Basalte.

Wird der Schrumpfungswiderstand parallel der Abkühlungsfläche größer als senkrecht zu ihr, so entsteht säulenförmige Absonderung mit sehr wechselnder Länge und Dicke sowie wechselnder Gestalt des Querschnitts der Säulen; durch gleichzeitige plattige Absonderung werden die Säulen quer gegliedert. In anderen Fällen bewirkt gleichzeitige sphäroidische Absonderung eine Auflösung der Säulen in Kugeln; entsprechend läßt sich die parallelipedische (oder kubische) Absonderung der Tiefengesteine, die diese in große, von drei oder mehr ihrer Richtung nach verschiedenen Ebenen begrenzte Klötze zerlegt, durch ein Zusammenwirken dickbankiger und dickprismatischer Absonderung auffassen.

Die unregelmäßig polyedrische Absonderung, soweit sie auf Abkühlung und nicht auf nachträgliche Einwirkung der Gebirgsbildung zurückzuführen ist, bedarf keiner besonderen Erklärung.

Nach der Abkühlung des erstarrten Gesteins, teilweise auch schon während der letzten Stadien der Abkühlung, beginnen die metasomatischen Prozesse ihre Einwirkung, die sich in struktureller und textureller Änderung des Gesteins ebenso wie in stofflicher Umwandlung äußern und schließlich die aus dem Schmelzfluß ausgeschiedenen chemischen Stoffe in den Kreislauf der anorganischen Substanz einführen.
