

# Untersuchungen von Kalksteinen und Dolomiten als Beitrag zur Kenntniss des Metamorphismus.

Von **A. v. Inostranzeff**,

Professor an der Universität in Petersburg.

(Mit Tafel III.)

---

Die Frage der Umwandlung der Gesteine gehört wohl zu den wichtigsten der Geologie, und es haben ihr schon seit langer Zeit die Geologen ihre Aufmerksamkeit zugewendet. Allerdings wurde bei den Studien über den Metamorphismus der Gesteine selten der experimentelle Weg betreten, und es entstanden Schwierigkeiten dadurch, dass man bei solchen Forschungen sich zumeist an das Studium der vielfach aus Feldspath- und Glimmer-Arten zusammengesetzten Gesteine machte, statt die Lösung der Fragen dort zu versuchen, wo sie sich am wenigsten complicirt darstellen. Nichtsdestoweniger ist bisher in dieser Richtung schon Bedeutendes geleistet worden und es ist besonders Sorby und Daubrée zu verdanken, dass die Frage der Umwandlung krystallinischer Gesteine auf ein bestimmtes Schema gebracht wurde, nämlich durch die Voraussetzung eines erhöhten Druckes und einer erhöhten Temperatur bei der Bildung letzterer.

In Verfolgung dieser Fragen erschienen mir besonders vielversprechend die Untersuchungen über krystallinische Kalke und Dolomite, schon an sich selbst, da bei ihnen als viel einfacher zusammengesetzten auch einfachere Bildungsprocesse zu erforschen sind. Da sie aber weiters, wie aus den Beobachtungen in Canada, Finnland, den Pyrenäen etc. sichergestellt ist, mit den altkrystallinischen Silicatgesteinen regelmässig wechsellagern, so werden wohl bei dem Studium dieser krystallinischen Kalksteine gewonnene Resultate auch für die Frage des Metamorphismus der ersteren auszunützen sein.

Meine Beobachtungen beziehen sich auf russische Kalksteine aus Finnland, dem Ural und dem Gouvern. Olonetz, welches Materiale mir am zugänglichsten und theilweise durch meine eigenen geologischen Aufnahmen bekannt war, und bieten eine Anzahl von experimentell und durch das Studium mikroskopischer Dünnschliffe gewonnener Thatsachen, welche ich hier als Beitrag zur Kenntniss des Metamorphismus darzulegen mir erlaube, vorerst die einzelnen Beobachtungsobjecte beschreibend.

### Körniger Kalk von Wilmanstrand (Finnland).

Dieser Kalk ist gewöhnlich grobkörnig, von gelblicher Farbe, verschiedenfarbig geadert. Unter dem Mikroskop zeigt er einige fremde Einschlüsse zwischen den Calcitkörnern, welche (Fig. 3) zumeist eine gleichlaufende oder zwei sich kreuzende Zwillingsstreifungen erkennen lassen. Die Einschlüsse des Kalkes haben eine unregelmässige rundliche Form und sind gewöhnlich am Rande gegen die Calcitkörner schwarz eingesäumt, was von einem feinen Pulver herrührt, welches nur an den allerdünnsten Stellen theilweise grünlich durchscheint und ein Gemisch von Hornblende mit Magnetit sein dürfte. Seltener erscheinen Häufchen derselben dunklen Substanz in den eingeschlossenen Körnern selbst. Letztere, höchst wahrscheinlich Serpentin, zeigen eine Zusammensetzung aus concentrischen Schichten, welche sich an die Form des Hohlraumes anschliessen und im polarisirten Lichte durch verschieden helle Farben hervortreten. Nach Behandlung des Kalksteins mit einer schwachen Säure bleiben diese Serpentin Körner allein zurück und geben mit einer stärkeren Säure eine Kieselgallerte.

### Körniger Kalkstein von Ruskjala (Finnland).

Das Gestein ist gewöhnlich graulichweiss, mit dunklen schmalen Adern durchzogen und mittelkörnig; doch kommen auch ganz weisse Varietäten vor, die dem Carrara-Marmor gleichen. Nach der Analyse des Prof. Pusirewsky ist das ein fast ganz reiner kohlenaurer Kalk. Das mikroskopische Präparat (Fig. 1, 2) zeigt im polarisirten Lichte die einzelnen Calcitkörner deutlich abgesondert und ganz von der Zwillingsstreifung bedeckt, welche in jedem Körnchen verschieden gerichtet erscheint. Neben der Zwillingsstreifung kann man auch ganz deutlich die Spaltungslinien beobachten und sich von ihrem Verlauf in die Tiefe mittelst Drehung des Mikrometers überzeugen. Auch die Spaltungslinien erscheinen in jedem Theilchen selbständig; gegenüber der Zwillingsstreifung behalten sie eine ziemlich gleichbleibende Lage, schneiden selbe unter annähernd gleichen Winkeln. Unter dem Mikroskop zeigt dieser Kalkstein fast gar keine Einschlüsse; nur ein einziges Präparat enthielt Körnchen von Quarz, welche ausgezeichnet die Circularpolarisation beobachten liessen. Dagegen sind mit blossem Auge sichtbare Einschlüsse aus diesem Kalke bekannt. Es sind das Silicate von Kalk, Magnesia und Eisenoxydul.

### Körniger Kalk von Pusun-Sary (Finnland; obere Schichten der laurentinischen Formation).

Durch fremde Einschlüsse, die dieser Kalkstein gewöhnlich enthält, ist er grünlich oder gelblich gefärbt. Unter dem Mikroskop ist vorerst der grosse Wechsel in der Grösse der Körner bemerkenswerth. Sowohl die Zwillingsstreifung als auch die Spaltungslinien sind recht ausgeprägt zu beobachten (Fig. 4). Von Mineraleinschlüssen bemerkt man Strahlstein und Glimmer, welche dem Kalkstein bis zu 36 Perc. beigemischt sind.

### Körniger Kalkstein von Lupiko (Finnland).

In diesem Kalkstein, sowie in dem von Hopunvara hat Prof. Pusirewsky das Eozoon Canadense vorgefunden. Er ist grobkörnig, weiss und zeigt Ausscheidungen von Serpentin, welche gewöhnlich wachsgelb, zuweilen auch hellgrün sind. Unter dem Mikroskop erscheinen die grossen Calcitkörner mit ausgezeichneter Zwillingstreifung versehen. Zwischen ihnen kann man eine Menge von rundlichen Einschlüssen beobachten, deren Wandungen die dem Eozoon Canadense eigenthümliche stäbchenförmige Structur zeigen und deren Inneres von reiner Serpentinmasse ausgefüllt wird, welche auch hier, wie in dem Kalk von Wilmannstrand, im polarisirten Lichte aus concentrischen Schalen gebildet erscheint. Nach Behandlung mit verdünnter Salzsäure blieb ausser dem Serpentin noch eine sehr geringe Menge von einer Substanz, die sich in einer stärkeren Säure unter Entweichen von Kohlensäure löste. Daraus wäre zu schliessen, dass diesem Kalksteine eine sehr geringe Menge von Dolomit beigemischt ist.

### Körniger Kalkstein aus dem Bergbaue von Gornoschitsk (Ural).

Er ist graulichweiss und grobkörnig. Unter dem Mikroskop im polarisirten Lichte erscheinen die Körner fast ganz von Zwillingstreifen bedeckt (Fig. 5). Von Einschlüssen war nichts zu bemerken und nach Behandlung mit Säure ist nichts Ungelöstes geblieben.

### Körniger Kalkstein aus dem Gumeschewsky'schen Bergbaue.

Er ist weiss und zeigt unter dem Mikroskop denselben Charakter, wie der vorher beschriebene, nur ist er viel feinkörniger. Ebenso ist er in schwacher Säure vollständig löslich.

### Körniger Kalkstein von Gopunwara (Finnland).

Dieser Kalkstein gleicht in seinem äussern Aussehen ganz dem von Lupiko, erscheint aber unter dem Mikroskop (Fig. 7) im polarisirten Lichte von diesem wesentlich verschieden. Es zeigt nämlich ein Theil der Körner keine Zwillingstreifung und lässt nur die Linien der Spaltbarkeit erkennen. Sonst finden sich auch hier Serpentineinschlüsse mit Rändern, welche die stäbchenartige Structur aufweisen. Nach Behandlung mit schwacher Säure bleibt ausser dem Serpentin noch ein Rest, der sich erst in stärkerer Säure unter Entwicklung von Kohlensäure löst. Dies deutet darauf, dass an der Zusammensetzung dieses Kalksteines auch Dolomit wesentlich theilnimmt.

### Körniger Kalkstein aus Kiwisari (Finnland).

Dieser Kalkstein scheint unter allen den untersuchten das meiste Interesse zu bieten. Er ist ziemlich grobkörnig und gewöhnlich weiss;

doch kann man zuweilen auch dunkle Zwischenstreifen bemerken. Unter dem Mikroskop erscheint er zusammengesetzt aus Körnern, von denen nur einige die Zwillingstreifung zeigen. Der grösste Theil aber lässt nur Spaltungslinien wahrnehmen. Ausserdem kann man noch die Erscheinung bemerken, dass die gestreiften Körner das Licht stärker unpolarisiren und deshalb lichter erscheinen als die ohne die Zwillingstreifung (Fig. 6). Dieser Kalkstein enthält gewöhnlich gar keine Einschlüsse. Aus der Analyse, die weiter unten angeführt ist, ersieht man, dass er zu den dolomitisirten Kalksteinen zu rechnen sei.

#### Körniger Dolomit von Tiodia (Gouv. Olonetz).

An dieser Localität finden sich in den einzelnen geschichteten Lagen verschiedene Varietäten des Kalksteines; gewöhnlich sind sie von röthlicher Farbe, daneben kommen aber auch weisse vor. Alle zeigen aber unter dem Mikroskop denselben Charakter. Die einzelnen Körner zeigen die Spaltungslinien, aber in der ganzen Menge der untersuchten Präparate war nirgends eine Zwillingstreifung zu beobachten (Fig. 8). Die Präparate zeigten auch eine auffallend stärkere Lichtabsorption.

Die Analyse einer weissen Varietät ergibt, dass das Gestein ein reiner Dolomit ist. Von Einschlüssen ist ausser dem färbenden Eisenoxyd noch Quarz vorhanden, von welchem die Analyse 1·07 Perc. nachwies.

#### Weisser körniger Kalkstein von Kjapjasjelga (Gouv. Olonetz).

Sowohl dem äusseren Aussehen nach als in der Zusammensetzung gleicht dieser Kalkstein ganz dem vorhergehenden. Nirgends kann man eine Spur von Zwillingstreifung wahrnehmen. Von Quarz-Einschlüssen enthält er noch mehr als der von Tiodia.

#### Schwarzer Dolomit von Kjapjasjelga.

Wie ich im Jahre 1869 dargelegt, nimmt dieser Dolomit einen Horizont unter dem von Tiodia ein. Er ist schwarz und abfärbend. Unter dem Mikroskop erscheint er sehr feinkörnig, so dass man eine 600malige Vergrösserung braucht, um die einzelnen Körner zu unterscheiden. Letztere weisen blos Spaltungslinien auf, die nach zwei Richtungen verlaufen. Die Kohlentheilchen, welche die schwarze Färbung verursachen, sind nur an den Grenzlinien der einzelnen Körner gegen einander, und zwar ziemlich ungleichmässig vertheilt (Fig. 10). Eine schwache Säure wirkt gar nicht auf dieses Gestein; in einer stärkeren löst es sich aber leicht auf unter Zurücklassung von amorphen Kohlentheilchen, die bis 3·23 Perc. ausmachen. Die quantitative Analyse erweist vollständig, dass das Gestein ein Dolomit ist.

#### Dolomit aus Tschewscha-Selga (Padosee, Gouv. Olonetz).

Das compacte und feinkörnige Gestein zeigt unter dem Mikroskop (Fig. 9) wohl Spaltungslinien, aber keine Spur einer Zwillingstreifung.

Zwischen den Dolomit-Körnehen sind in grosser Menge Quarzkörner eingestreut. Nach der Analyse erscheint das Gestein als ein fast ganz normaler Dolomit; der Quarzgehalt beträgt bis 29·74.

Im nachfolgenden sind die quantitativen Analysen einiger der beschriebenen Kalksteine und Dolomite zusammengestellt.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kohlens. Kalk . . . . .	95·37	97·12	95·82	59·02	66·84	60·64	53·03	54·84	38·56
„ Magnesia . . . . .	—	2·09	2·34	1·85	29·65	35·30	41·95	44·21	31·68
„ Eisenoxydul . . . . .	—	—	—	2·15	0·99	—	0·35	Spur	—
Unlöslich . . . . .	5·01	0·84	1·64	36·87	2·35	3·92	4·13	1·07	29·74
Zusammen . . . . .	100·38	100·05	99·80	99·89	99·83	99·86	99·46	100·12	99·98

1. Gestein von Willmanstrand. Analyse von M. Rebinder.
2. 3. „ „ Ruskyala. „ „ P. Pusirewsky.
4. „ „ Pusun-Sary „ „ A. Inostranzeff.
5. „ „ Hopunwara „ „ A. Inostranzeff.
6. „ „ Kivisari „ „ P. Pusirewsky.
7. „ „ Kjapjasjelga „ „ A. Inostranzeff.
8. „ „ Tiodia „ „ A. Stuckenbergr.
9. „ „ Tschewscha-Selga „ „ M. Rebinder.

Wenn wir die übrigen Bestandtheile der angeführten Gesteine unberücksichtigt lassen und nur aus dem Gehalte an kohlenurem Kalk und kohlenurem Magnesia das Verhältniss zwischen Calcit und Dolomit berechnen, so bekommen wir folgende Verhältnisszahlen:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Calcit . . . . .	100	95·38	94·79	93·97	33·09	19·40	3·25	2·22	1·19
Dolomit . . . . .	—	4·62	5·21	6·03	66·91	80·60	96·75	97·78	98·81

Wir ersehen aus dieser Zusammenstellung, dass die untersuchten Gesteine eine continuirliche Uebergangsreihe von ganz reinen Kalksteinen durch die sogenannten dolomitisirten Kalksteine zu echten Dolomiten bilden. Vergleichen wir nun die angegebenen Verhältnisszahlen zwischen Calcit und Dolomit mit der Beschaffenheit der mikroskopischen Schliche der bezüglichen Gesteine, so stellt sich die interessante Thatsache heraus, dass beim reinen Kalksteine lauter Körner mit ausgezeichneter Zwillingstreifung, beim reinen Dolomit lauter Körner ohne eine solche zu beobachten sind und dass in den Präparaten der zwischenliegenden Kalksteine die Anzahl der Körner ohne Zwillingstreifung im Verhältnisse der durch die Analyse constatirten Zunahme des Gehaltes an Dolomit wächst. Es ist in Folge dessen offenbar, dass wir in den Körnern mit Zwillingstreifung den Calcit, und in denen ohne letztere den Dolomit zu

erkennen haben, dass die Zwillingsstreifung bei den untersuchten Kalksteinen als Unterscheidungsmerkmal zwischen den besagten Mineralien zu betrachten ist. Zugleich ergibt sich aus den angeführten Beobachtungen, dass hier die Dolomitisirung nicht in einer theilweisen isomorphen Vertretung des kohlen sauren Kalkes durch kohlen saure Magnesia, sondern in einer Beimengung von Dolomitsubstanz besteht.

Was den geologischen Horizont der von mir untersuchten Kalksteine anbetrifft, so gehören die von Finnland nach der Angabe von Pusirewsky in die sogenannte Laurentinische Gruppe. Die Gesteine aus dem Gouv. Olonez scheinen nach einer muthmasslichen Bestimmung der Kohlenformation anzugehören. Ganz unbestimmbar ist das Alter der Gesteine von Goumeschewsk und Gornoschitsk, in deren Nachbarschaft auch Serpentine auftreten.

Wie es auch sonst an vielen andern Kalklagern beobachtet wurde, konnte ich mich an den von mir untersuchten vielfach genügend überzeugen, dass dichte Kalksteine in körnige übergehen. Ganz naturgemäss drängt sich dabei die Ansicht auf, dass der körnige Kalkstein erst im Laufe der Zeiten sich aus dem dichten herausgebildet hat, und es bleibt dabei die Frage zu beantworten, welche Agentien hier diese Umwandlung bewirkten. In Hinsicht darauf lag es mir sehr nahe, die Ansicht, dass dichter Kalkstein unter der Wirkung eines hohen Druckes und einer hohen Temperatur krystallinisch wird, experimentell zu prüfen. Zu diesem Zwecke habe ich in sechs Glasröhren mit Wasser, Proben von Kalksteinen (darunter eine von Kreide) eingeschmolzen, von denen ich vorher mikroskopische Schliffe anfertigte. Die Glasröhren wurden während vier Tagen (und Nächten) in einem Luftbade einer Temperatur von 270° C. ausgesetzt, wobei folgendes vor sich gieng. Am Ende des zweiten Tages waren drei von diesen Röhren zersprungen. Dasselbe geschah mit zwei andern Röhren am dritten Tage und auch die letzte zersprang am vierten Tage. Die mikroskopische Untersuchung an den einzelnen Proben hat gar keine Aenderung der Structur bemerken lassen. Die Ursache des Zerspringens der Glasröhren habe ich der schlechten Auswahl der letzteren zugeschrieben und wiederholte deshalb den Versuch noch zweimal mit Glasröhren, die mir von unserem Chemiker H. G. Schmidt als für einen Druck von 30 Atmosphären stark genug in freundlichster Weise überlassen wurden. Doch auch bei diesen Versuchen zersprangen die Röhren allmählig eine nach der andern. Die Temperatur des Luftbades war beim zweiten Versuch 200° C., beim dritten 175° C. Das sonderbare allmähliche Zerspringen der Röhren bewog mich, eingehender nach dem Grunde dieser Erscheinung zu suchen. Ich bemerkte vor allem, dass das Glas der zersprungenen Röhren inwendig angefressen erschien, ähnlich als wenn es von Flusssäure angeätzt wäre. Ich nahm daher vorerst an, dass das Zerspringen der Röhren als Folge der lösenden Wirkung des heissen Wassers auf das Glas stattfindet, welche sich durch das angefressene Aussehen des letzteren kundgibt, und um mich davon zu überzeugen, unterwarf ich eine zugeschmolzene Glasröhre von bestimmtem Inhalt mit einer bestimmten Menge Wassers der Temperatur von 200° C. zwei Tage (und Nächte) lang. Man hat dann beobachten können, dass das Glas, soweit es Wasser enthielt, von selbem etwas angeätzt erschien. Es wurde dieselbe Röhre weiterhin durch drei Tage

einer Temperatur von 270° C. ausgesetzt. Auch nach Verlauf dieser Zeit ist sie nicht zersprungen, währenddem das Glas viel stärker angeätzt erschien. Der Inhalt der Glasröhre betrug 41·3 k. c. m., das eingeschlossene Wasser nahm 6·2 k. c. m. und dieses enthielt nach dem Versuche 0·0233 gr., also 0·37 Perc. Kieselsäure aufgelöst.

Wie schon aus dem Umstande, dass bei der Gleichartigkeit der Glasröhren und der ziemlich gleichen Quantität des eingeschlossenen Wassers die Röhren nicht zu gleicher Zeit, sondern allmählig zersprangen, hervorgeht, dass nicht die Ätzung des heissen Wassers auf das Glas als die Ursache des Zerspringens der Röhren zu betrachten sei, so ist dies durch den letzt angeführten Versuch ganz erwiesen. Dagegen ist eine Erklärung der Erscheinung in der Annahme gegeben, dass die aufgelöste Kieselsäure auf den kohlen-sauren Kalk derart wirke, dass sie Kalksilicat bildend die Kohlensäure aus der Verbindung austreibe, deren Spannkraft bei grösserer Anhäufung die Röhren sprengt. Diese Annahme wird auch durch den Umstand bestätigt, dass die Röhren je nach der Dichtigkeit der Gesteinsproben, welche eine mehr oder minder intensive Wirkung der Kieselsäure bedingt, allmählig und die mit der am meisten porösen Masse, der Kreide, in allen drei Versuchen zuerst zersprangen. Wenn also auch meine Versuche in der vorgenommenen Absicht nur ein negatives Resultat hatten, und die Untauglichkeit der Glasröhren dazu erwiesen, so constatirten sie anderseits die Art der Wirkung der Kieselsäure auf ein Carbonat bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Drucke.

Bemerkenswerth ist auch weiters der bei den von mir untersuchten Kalksteinen und Dolomiten beobachtete Umstand, dass die reinen Kalksteine die meisten accessorischen Einschlüsse enthalten und solche bei reinen Dolomiten, ausser Quarzkörnern, nicht vorkommen. Ich glaube auch hierin die Wirkung der aufgelösten Kieselsäure zu erblicken, voraussetzend, dass diese, ausser auf das Kalkcarbonat vorwiegend, auf die beigemengten Carbonate von Magnesia und Eisenoxydul wirkt und Silicate von Kalk, Magnesia und Eisenoxydul erzeugt. Der gesteigerte Druck, der hier vorausgesetzt wird, wäre wohl als Folge der Capillarwirkung beim Eindringen des Wassers in die Gesteine anzunehmen.

Was schliesslich die Erscheinung der Zwillingstreifung bei den Kalkspathkörnern betrifft, so habe ich auch einen Versuch angestellt, um einen etwaigen Zusammenhang mit erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck zu entdecken. Ich habe zwei Proben von isländischem Doppelspath in zugeschmolzenen Röhren, die eine zwei, die andere vier Tage einem Luftbade von 270° C. ausgesetzt: an beiden wurde keine Spur von Zwillingstreifung hervorgebracht. Die ganze Veränderung bestand darin, dass oberflächlich sich eine matte milchweisse Rinde auf den Proben bildete. Dagegen entstand nach der von Reusch angegebenen Methode eine ausgezeichnete Zwillingstreifung auf einem Stücke in Folge eines einseitigen Druckes mittelst einer gewöhnlichen Klemmschraube, welcher Art einseitiger Druck auch in der Natur überall in der Last der auflagernden Schichten gegeben ist.

Fig. 1.

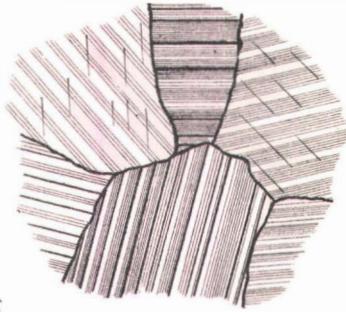
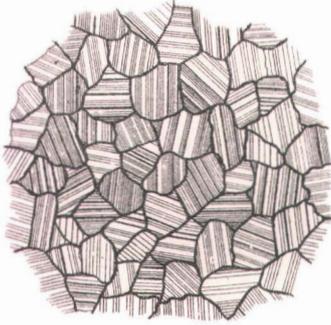


Fig. 3.

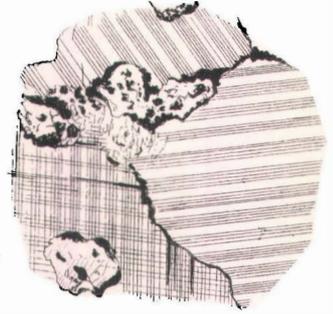


Fig. 4.

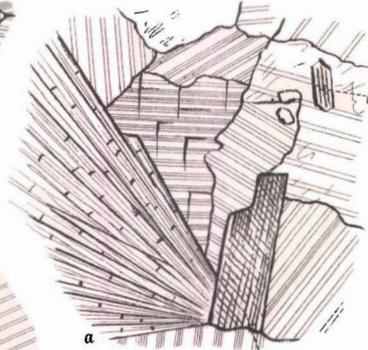


Fig. 5.

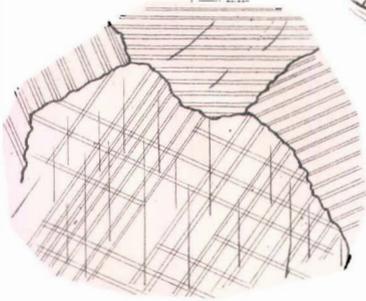


Fig. 6.

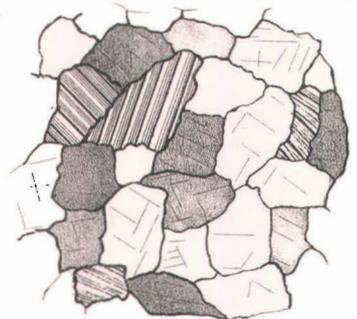


Fig. 7.



Fig. 8.

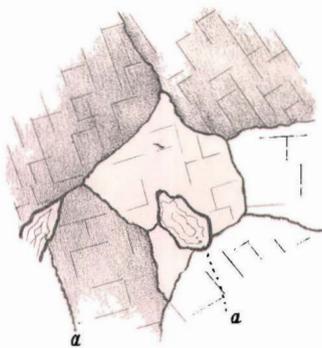


Fig. 9.

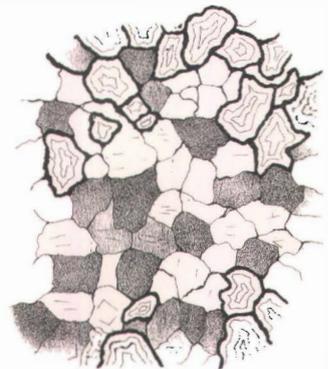
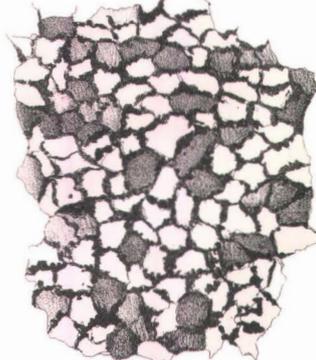


Fig. 10.



A. G. P.

4un der k.k. Hof- u. Staatsdruckerei in Wien