©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Über geregelte Wachstumsgefüge.

Von **Oskar Schmidegg** (Innsbruck).

(Mit 54 Abbildungen.)

Im Rahmen der im mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Innsbruck ausgeführten Gefügeanalysen[1]) wurden in dieser Arbeit aktiv geregelte Gefüge (Wachstumsgefüge), u. zw. hauptsächlich von Karbonaten, untersucht, um einige Grundlagen für die gefügeanalytische Kenntnis von durch Wachstum entstandenen Bildungen, wie Hohlraumausfüllungen, Sintern und Gängen zu erhalten.

Besonders das zum Teil noch ungelöste Großoolithproblem bot durch die ausgezeichnete und von normalen Sintern abweichende Regelung der sogenannten Großoolithe einen geeigneten Gegenstand der Untersuchung. Die Ähnlichkeit mit dem Karlsbader Sinter gab Anlaß, auch diesen in den Bereich der Untersuchungen zu ziehen, wobei gleichzeitig auch ein Beispiel für die Regelung von Aragonit gegeben wurde. Im Anschluß daran wurde auch der sogenannte Erzbergit herangezogen, der neben primären Aragonit und Kalzit noch sekundären Kalzit enthält. Ferner wurden noch einige kalzithaltige Gangfüllungen untersucht, sowie gemischte aus Kalzit und Quarz bestehende Gänge.

Das Untersuchungsmaterial wurde teils selbst gesammelt, teils erhielt ich es durch Vermittlung und Überlassung von den Herren Dr. Berckhemer, Stuttgart, Dr. Ohnesorge, Wien, Dr. Rüger, Heidelberg, Prof. Dr. Sander, Prof. Dr. Suess, Wien, denen ich hiemit meinen verbindlichsten Dank ausspreche. Ganz besonders zu Dank verpflichtet bin ich aber meinem verehrten Lehrer und Chef, Herrn Prof. Dr. Sander, der mir zu dieser Arbeit die Anregung gab und auch weiterhin bei ständiger Anteilnahme mir jede mögliche Unterstützung und Förderung zukommen ließ.

Untersuchungsmethoden.

Von den in dieser Arbeit verwendeten Methoden ist die wesentlichste die von Schmidt und Sander in der Gefügeanalyse ausgeübte Schmidt'sche Untersuchungsmethode mit dem Universaldrehtisch u. zw. die statistische Methode, wobei die Stellungen der einzelnen Körner des Präparates festgestellt und in ein flächentreues Netz als Projektion der Lagenkugel eingezeichnet werden. Durch Angabe der auf die einzelnen Stellen entfallenden Besetzungsdichte in Prozenten der Gesamtkörner-

[1]) B. Sander, Vorläufiger Bericht über Ergebnisse im mineralogisch-petrographischen Institut Innsbruck ausgeführter Gefügeanalysen (Sander, Schmidegg, Felkel), Zeitschrift für Kristallographie. 65. Bd., 1927, S. 501.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

anzahl erhält man dann eine übersichtliche und exakte, vergleichbare Darstellung der Lagenverteilung sämtlicher eingemessenen Körner.

Die Methode selbst ist in den Arbeiten von Schmidt, Gefügestatistik (Tschermaks Mineralogische Mitteilungen 1925) und Sander, Zur petrographisch-tektonischen Analyse III (Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 1926), ausführlich behandelt, weshalb hier darauf verwiesen wird. Verwendet wurde ein Universaldrehtisch der Firma E. Leitz-Wetzlar.

Die Diagramme sind immer so eingestellt, daß die Schichtung, wozu auch die Anwachsfläche gehört (mit *s* bezeichnet), horizontal oder wenigstens annähernd horizontal verläuft. Senkrecht dazu, also ungefähr vertikal verläuft die Faserung (*f*). Um die genauere Orientierung in bezug auf den Schliff ersichtlich zu machen, ist eine gleichorientierte Skizze des Schliffes den Diagrammen beigefügt. Außerdem sind die Diagramme unten mit einer Pfeilmarke versehen, so daß also Diagramme, denen ein und derselbe Schliff zugrunde liegt, miteinander verglichen werden können.

Die Kornzahl im Diagramm beträgt ungefähr 200—400, manchmal nur 100 und noch weniger. Letzteres nämlich in den Fällen, wo eine starke Häufung, also eine strenge Regelung vorhanden ist. Denn hier ist für die Erzielung eines guten Durchschnittswertes eine größere Punktanzahl nicht nötig. Es kommt ja nicht darauf an, wieviel Punkte im ganzen Diagramm vorhanden sind, sondern nur, wie viele in bezug auf die von ihnen bedeckte Fläche vorhanden sind. Wenn z. B. sich die Punkte auf nur einem Zehntel der ganzen Fläche konzentrieren, genügt zur Erzielung derselben Mitteilung auch eben nur ein Zehntel der Punktanzahl.

Außerdem genügen zur Erkennung einfacherer Regelungsgesetze, wie sie ja bei Wachstumsgefügen meistens auftreten, viel weniger Punkte, als es zur Klarlegung der komplizierten Verhältnisse mechanisch beanspruchter Gesteinsgefüge nötig ist. Allerdings können auch hier beim Zusammenwirken mehrerer Faktoren auf das Wachstum verwickeltere Verhältnisse vorliegen (gemischte Gänge zum Beispiel). Dann müssen eben auch mehr Körner vermessen werden. Doch wird sich das Vorhandensein einer guten und einheitlichen Regelung bald klar ergeben. Eine Grenze läßt sich da nicht angeben, da das sehr vom Grade der Regelung abhängt.

Hingegen wird es infolge der bei Wachstumsgefügen häufigen zufälligen Abweichungen (Unebenheiten der Schichtung zum Beispiel) sich öfters als notwendig herausstellen, um diese Zufälligkeiten auszuschalten, besonders bei gröberen Korn den Bereich der auszumessenden Fläche zu vergrößern, entweder indem man einen größeren Schliff nimmt oder indem man mehrere Schliffe (natürlich gleichorientiert) auf einem Diagramm kombiniert.

Die Musterung der ausgezählten Diagramme ist auf den Diagrammen selbst angegeben, bzw. darauf verwiesen. Es ist sehr empfehlenswert, die Musterung der Diagramme möglichst einheitlich auszuführen, wie dies hier leider bei den zuerst gezeichneten nicht vollständig durchgeführt wurde. Man braucht dann die Musterung nur

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

einmal anzuführen und gewinnt außerdem an Übersichtlichkeit. Bei großen Unterschieden in den Abstufungen zwischen den einzelnen Diagrammen läßt sich dies allerdings nicht gut durchführen. Solche stark abweichende Diagramme muß man dann mit einer eigenen Musterung versehen (siehe Abb. 20). Vom Diagramm Abb. 29 an sind alle Diagramme mit der Musterung auf dieses bezogen.

Großoolith.

Die sogenannten Großoolithe sind konzentrisch schalige, radialfaserige Kalkgebilde, die in verschiedenen Kalkgesteinen der Alpen, vorwiegend jedoch im Wettersteinkalk, häufig vorkommen. Die Form der Schalen ist bald mehr kugelförmig, bald mehr unregelmäßig, manchmal, jedoch seltener, auf größere Strecken eben ausgebildet. Die eine Seite dieser Bildungen liegt stets dem normalen Gestein auf, während sie auf der anderen Seite, wenn sie nicht an die von der Gegenseite kommenden Großoolithgebilde stoßen, von Hohlräumen begrenzt sind, die durch nachträgliche Bildungen, wie grobspätigen Kalzit, ausgefüllt sein können. Daß auch die obere Seite von normalen Sediment bedeckt wäre, konnte nie festgestellt werden, immer scheinen die Großoolithe, soweit es verfolgbar war, vollständige Hohlräume auszufüllen.

Früher wurden die Großoolithe als Reste organischer Strukturen angesehen. Stoppani[1]) hat sie für Spongien gehalten und mit dem Namen Evinospongien bezeichnet. Es waren allerdings hiebei auch richtige Spongien, welche zusammen mit den typischen Großoolithen unter der erwähnten Bezeichnung zusammengefaßt wurden. Wähner[2]) hat in seiner Arbeit über das Sonnwendgebirge besonders auf diese Verwechslung hingewiesen, ließ jedoch die Frage der Entstehung der Großoolithe noch offen. Schon vorher wurden indessen von Benecke[3]) diese Gebilde als anorganische Kalkabscheidungen betrachtet, die verschiedene organische Reste umhüllen sollten. Dieser Ansicht schloß sich dann auch Lepsius[4]) bei der Beschreibung des Esinokalkes an: „Daß diese Oolithstrukturen kein organisches Gebilde, kein Schwamm ist, wie Stoppani glaubte, braucht wohl nicht wiederholt zu werden.“ Eine nähere Begründung für diese Ansicht gibt er nicht. Später wurden die Großoolithe dann von Rothpletz[5]) wieder als organisch gedeutet, jedoch im Gegensatz zu Stoppani nicht als Schwammstruktur, sondern er hielt sie für fossile Kalkalgen. Reis[6]) sieht sie hingegen (1902) wieder als anorganische Bildungen an, u. zw. sekundärer Natur, als „spätere der Zeit der Diagenese oder Metamorphose angehörige mandelsteinartige grobfaserige Kalksinterausfüllung durch ein im Gestein zirkulierendes

---

[1]) Stoppani, Pétrifications d'Esino (Paléont. Lomb. I), S. 126.
[2]) Wähner, Das Sonnwendgebirge, I, 1903, S. 80.
[3]) Benecke, Paläontologische Beiträge II (Umgebung von Esino), S. 206—299.
[4]) Lepsius, Das westliche Südtirol, 1871, S. 84.
[5]) Rothpletz, Querschnitt durch die Ostalpen, 1894.
[6]) Reis, Über Stylolyten, Dutenmergel und Landschaftskalke, Geognostische Jahreshefte, 1902, S. 272.
Reis, Erläuterungen zur geologischen Karte des Wettersteingebirges, Geognostische Jahreshefte, 1910, S. 69.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

auflösendes und wieder Absatz bildendes Wasser", eine Ansicht, die er auch in seiner Beschreibung des Wettersteingebirges (1910) aufrecht erhält.

Die alte Ansicht von der Entstehung als organische Struktur (Schwammstruktur) ist derzeit wohl ganz aufgegeben. Man sieht diese Bildungen allgemein als durch schichtweisen Absatz entstanden an. Nur darüber sind die Ansichten noch geteilt, ob dieser Absatz durch Mitwirkung organischer Wesen (Kalkalgen) entstanden ist oder unter rein anorganischen Bedingungen oder überhaupt erst als nachträgliche Bildung. Auch die Diffusion wurde schon zur Deutung der Schichtung herangezogen (Eder)[1]).

Lagengefüge.

Das Lagengefüge ist bei den Großoolithen stets sehr deutlich ausgeprägt, besonders an angewitterten Flächen tritt es oft durch den verschieden starken Grad der Auslaugung deutlich hervor. Die Lagen sind immer konzentrisch angeordnet. Das Gefüge kommt zustande einerseits durch verschiedene Korngröße in den verschiedenen Lagen, die dadurch der Verwitterung einen verschieden großen Widerstand leisten, so daß also die Lagen mit gröberem Korn herausgearbeitet werden, anderseits durch die die einzelnen Lagen trennenden Inhomogenitätsflächen, an denen der Zusammenhalt ein sehr geringer ist. Beim Zerschlagen von Handstücken tritt dies deutlich hervor, da diese leicht nach den Schalenflächen zerfallen. Auch die das Gestein oft zahlreich durchsetzenden Sprünge verlaufen häufig nach diesen Schalenflächen, die dann durch das entstandene weiße Zerreibsel deutlich hervortreten. Bei manchen Vorkommen (z. B. Mieminger Gruppe) sind zwischen den Schalen oft recht gleichmäßig dicke Schichten von Dolomit eingelagert, die durch ihre Farbe neben der dort meist dunklen der eigentlichen Großoolithschichten das konzentrisch-schalige Gefüge schön sichtbar hervortreten lassen. Ferner ist vielfach auch eine mehr oder weniger verschieden dunkle Färbung einzelner Schichten zu bemerken. Besonders bei Stücken vom Tschirgant ist diese Färbung, die hier einen deutlich bräunlichschwarzen Ton besitzt, während sie sonst mehr schwärzlichgrau ist, sehr auffällig und kommt hier z. T. in einer feinen rhythmischen Bänderung zum Ausdruck. Sehr häufig fehlt jedoch diese schichtweise Färbung und die Tonunterschiede kommen nur durch die verschiedene Struktur zustande. Man kann dies leicht feststellen, wenn man das Stück grob anschleift, so daß man eine rauhe Oberfläche erhält; dann verwischen sich die Strukturunterschiede an der Oberfläche und damit die dadurch verursachten Tonunterschiede. Aus der entstandenen einheitlich weißen Färbung heben sich dann nur die Zonen mit dunkler Eigenfarbe heraus.

In der Anordnung der einzelnen Lagen läßt sich keinerlei Gesetzmäßigkeit feststellen, es wechseln dünnere und dickere Schichten in regelloser Folge miteinander ab. Bei verschiedenen Vorkommen ist die Anordnung der Lagen ganz verschieden, aber auch im selben Gebiet

---

[1]) Eder, Das Heuberggebiet und sein Vorland, Stuttgart 1910.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

lassen Stücke von etwa 100 *m* voneinander entfernten Fundorten in ihrer Schichtenfolge keine Beziehung mehr zueinander erkennen. Bis 30 *m* ungefähr konnte gleiche Schichtfolge verfolgt werden, auf weitere Erstreckung war es jedoch nicht möglich, die Schichtung hinreichend genau zu verfolgen, teils wegen mangelnder Aufschlüsse, teils wegen der meist zahlreichen Störungen, wie Verwerfungen usw.

Im einzelnen Handstück sind die Lagen jedoch fast immer von einer auffallenden Regelmäßigkeit. Es legen sich Schichten von (in derselben Schicht) stets gleichbleibender Dicke konzentrisch in geometrischer Regelmäßigkeit um die Anwachsfläche herum. Unregelmäßigkeiten kommen meist nur im Anfang, in den ersten Schichten vor, wobei die kleinen Unebenheiten der Unterlage ausgeglichen werden, die späteren Schichten sind jedoch immer ganz regelmäßig ausgebildet. Die scheinbar ver-

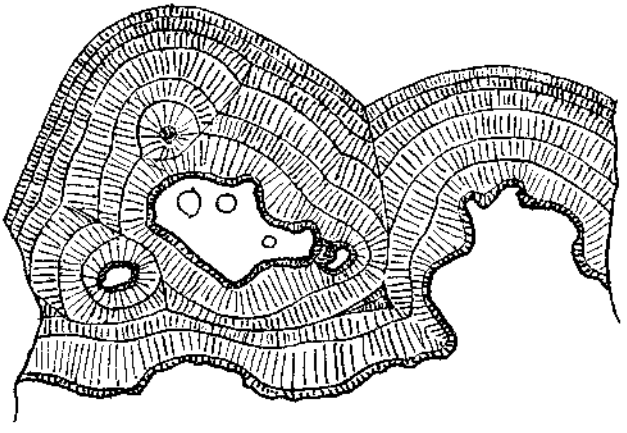


Abb. 1. Großoolith vom Hafelekar.

schiedene, oft sehr schwankende Dicke der Schichten in den Anschliffen rührt von der verschiedenen Lage der Anschlifffläche zu den Schichtflächen her, nur wenn diese senkrecht aufeinander stehen, gibt natürlich der Anschliff ein richtiges Bild von den Schichtdicken, während diese sonst immer vergrößert erscheint. Es ist klar, daß auf diese Weise ganz verzerrte Bilder der Schichtstruktur entstehen können. Es ist jedoch oft schwer, ja vielfach unmöglich, für einen einigermaßen größeren Bereich Schnitte zu erhalten, die nicht zu einem Teil der Schichtflächen schief stehen.

Was die absolute Dicke der einzelnen (durch Unstetigkeiten oder Färbung unterschiedenen) Schichten anlangt, so ist diese, wie gesagt, sehr verschieden, sie schwankt ungefähr in der Größenordnung von 1 *cm* bis 1 *mm*, im Mittel etwa $^1/_2$ *cm*, kann aber, besonders bei der feinen rhythmischen braunen Bänderung auch erheblich kleiner sein. Schwankungen in der Dicke im Verlauf einer einzelnen Schichte kommen, abgesehen von den ersten Anlagerungen an der Unterfläche, nur sehr selten vor.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Fasergefüge.

Schon mit bloßem Auge ist deutlich zu sehen, daß die einzelnen Lagen stets aus feinen, radial angeordneten Fasern aufgebaut sind. Die Fasern stehen hiebei immer genau senkrecht auf den Schichtflächen. Ausnahmen wurden, außer der büschelartigen Struktur besonders in der ersten Wachstumslage, die jedoch meist nur unter dem Mikroskop erkennbar ist, nie beobachtet. Bei nicht gekrümmten, ebenen Schichtlagen, stehen also die Fasern genau parallel. Die Faserung ist fast immer schon am Handstück mehr oder weniger deutlich sichtbar, besonders, wenn das Stück angeschliffen und poliert wird, wenn auch die Deutlichkeit weit hinter der Schalenstruktur zurückbleibt. Unter dem Mikroskop tritt die Faserung jedoch immer hervor.

Hohlräume.

Meistens sind nicht die ganzen ursprünglichen Hohlräume mit Sintermasse ausgefüllt, sondern es bleiben noch Höhlungen übrig, die dann später mit weißem, grobspätigem Kalzit erfüllt wurden, wie er auch sonst öfters bei Sinterbildungen nachher zur Ausscheidung kommt.[1]) Es ist ein weißer, undurchsichtiger bis durchscheinender Kalzit, der entweder nur aus einem einzigen Individuum besteht oder aus gröberen, regellos angeordneten Körnern.

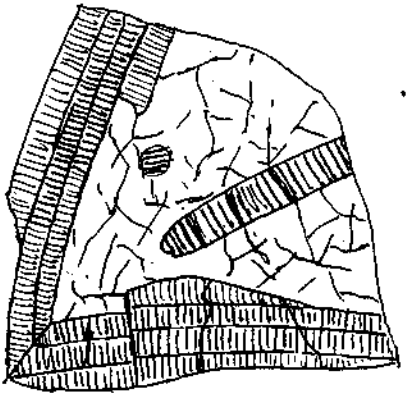


Abb. 2. Großoolith vom Kaisergebirge. Schalenstücke in weißem Kalzit schwimmend.

Diese Kalzitmassen dringen auch oft zwischen die einzelnen Schalen der Sintergebilde ein, wenn diese aus ihrem Zusammenhang gebracht waren.

Es wurden auch Stücke beobachtet, in denen die einzelnen Sinterlagen ganz lösgelöst in dem weißen Kalzit schwimmen, so besonders im Kaisergebirge, wo die Zertrümmerung der Großoolithstruktur an manchen Stellen besonders stark und die Bildung des weißen Kalzits, die sich auch in den Muschelkalk hineinerstreckt, besonders reichlich ist. Auch in den Mieminger Bergen sind schmale Einschaltungen von weißlichem Kalzit zwischen die Sinterlagen des Großooliths sehr häufig.

Die Hohlräume enthalten zuweilen auch Erzausscheidungen. Im Bergwerke am Tschirgant bei Imst wurden in diesen sogenannten „Kraken" Wulfenitkristalle gefunden, die den Oberflächen der Sinterschalen aufsitzen.[2])

---

[1]) Arndt, Reis, Schweiger, Über die Mineralien und Gesteine der Rheinpfalz. Geognostische Jahreshefte, München 1918/19, S. 168. — Leonhard, Jahrbuch für Mineralogie, 1837, S. 646.

[2]) Hammer, Über Gelbbleierz im Oberinntal, Ferd.-Zeitschr., Bd. 59, Innsbruck.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Der weißliche Kalzit ist eine durchaus nachträgliche Bildung, die mit der Entstehung der Großoolithe selbst nichts zu tun hat.

Abb. 3.

Betrachtung im Dünnschliff.

Im Dünnschliff machen die Großoolithe zunächst den Eindruck eines sehr zerbröckelten und zerpreßten Gesteins, so daß man oft große Mühe hat, die primäre Struktur zu erkennen.

Zwillingslamellen sind manchmal häufig, manchmal fehlen sie jedoch auch, ebenso Spaltrisse. Deren Ausprägung dürfte jedenfalls meist von der Herstellung des Dünnschliffes herrühren, da sie besonders an den Rändern desselben, wo der Schliff dünner und daher gebrechlicher wird, zahlreicher sind. Die Zwillingslamellen und Spaltrisse sind immer mehr oder weniger gebogen (siehe Abb. 3), was auch mit der stets vorhandenen undulösen Auslöschung übereinstimmt.

In Schliffen, die senkrecht zur Faserung geschnitten sind, erscheinen die Körner regellos angeordnet. Die Korngrenzen sind hiebei allerdings meist erst bei gekreuzten Nikols durch die verschiedenen Auslöschungsrichtungen sichtbar. Bei Betrachtung nur mit Analysator sind die Korngrenzen wenigstens bei schwächeren Vergrößerungen nicht zu sehen (bei stärkeren Vergrößerungen durch die Becke'sche Linie). Diese dunklen gezackten, unregelmäßigen Linien, die man da sieht, sind nur Suturlinien, die zwar vielfach den Korngrenzen folgen, sehr häufig jedoch auch mitten durch einheitliche Körner hindurch gehen, wie man aus der gleichmäßigen Auslöschung erkennen kann. Sie sind demnach jedenfalls sekundärer Entstehung, durch spätere Einwirkung auf das schon fertig gebildete Gestein. Durch das dabei gebildete Zerreibsel werden sie dann deutlich sichtbar.

Die Abbildung 4 zeigt die Beziehung zwischen Auslöschungsrichtungen, also den Körnerlagen und den Suturlinien. Der Teil entstammt einem Schliff senkrecht zur Faserung. Die Schwingungsrichtungen sind durch Kreuze wiedergegeben, in denen die Pfeile die Richtung des stärker brechenden Strahles ω angeben. Gleichzeitig ist der Bereich eines Kornes in dieser Richtung schraffiert. Die geringe undulöse Auslöschung, die vorhanden ist, wurde nicht dargestellt. Bei Betrachtung eines solchen Schliffes möchte man beim

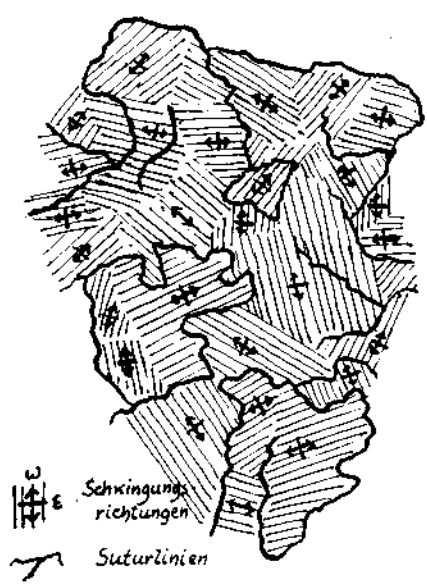


Abb. 4.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

ersten Anblick meinen, daß die Auslöschungsrichtungen der einzelnen Körner stetig ineinander übergehen. Aber eine genauere Untersuchung mit Aufzeichnung der Auslöschungsrichtungen hat gezeigt, daß sich, abgesehen von der verhältnismäßig geringen undulösen Auslöschung (bis etwa 20°), der Übergang zwischen den einzelnen Körnern ganz unstetig sprungweise vollzieht.

Die schon mikroskopisch sichtbare Faserung zeigt sich unter dem Mikroskop als von den in der Wachstumsrichtung langgestreckten Kalzitstengeln herrührend, die einander ziemlich gut parallel laufen. Die für Wachstumsstrukturen kennzeichnende, im Anfang büschelförmige Anordnung der Kristalle mit oft beträchtlicher Abweichung von der Senkrechten auf die Unterlage ist hier sehr verschieden ausgeprägt. Gewöhnlich ist sie nur in schwachem Ausmaße vorhanden und die Kristalle setzen ziemlich gerade an. In anderen Fällen ist sie jedoch wieder ganz deutlich zu sehen, jedenfalls aber nur in der ersten Schichtlage in Erscheinung tretend (siehe Abb. 11, Skizze im Diagramm). Gut läßt sich dies bei gekreuzten Nikols beobachten, wenn die Faserungsrichtung unter einem Winkel von 45° gegen die Nikolschwingungen liegt. Beim Vorhandensein der Büschelstruktur tritt diese dann deutlich hervor, während im anderen Falle fast gar keine Verdunklung sichtbar ist (siehe Abb. 5).

Abb. 5.

Die Anlage der Schichtung ist im Dünnschliff gekennzeichnet durch einen deutlichen Absatz in der Kristallbildung, wobei die Kristalle, die einen länglich dreieckigen Querschnitt haben, die Spitze des Dreiecks der Wachstumsrichtung entgegengerichtet haben, also in der Richtung des Fortwachsens immer breiter werden, wie es ja auch zu erwarten ist (siehe Abb. 6).

Beim Beginn einer jeden neuen Schicht wiederholt sich immer wieder dieser Neuansatz mit den Spitzenbildungen. Es fehlt jedoch hier fast stets eine Ausbildung von divergenten Büscheln, wie es sonst beim Neueinsetzen eines Kristallrasens meist der Fall ist (siehe Aragonitsinter).

Die Breite der Kristalle erreicht auch bei dickeren Schichten immer nur ein gewisses Höchstausmaß (von etwa 0·2 bis 0·3 *mm*), das meist bald erreicht wird und oft schon von Anfang an, also vom Aufsitzen des Sinters auf der Unterlage nahezu vorhanden ist. Von da an behält der Sinter die ungefähr gleichmäßige Körnergröße (und auch den gleichen Zustand der Regelung, siehe Diagramme) durch die ganze Mächtigkeit des Absatzes, also bis über 1 *dm* hindurch bei. Geringe Schwankungen der Korngröße unter den einzelnen Schichten bestehen aber doch noch, die dann in der verschiedenen Tönung und bei der Anwitterung in Erscheinung treten.

Stellenweise sind auch Einlagerungen von Verunreinigungen zu bemerken, die in ganz dünnen Bändern oder Linien parallel zur Schichtung durchziehen. Es ist ganz fein verteilte, schwärzliche (kohlige) Substanz; beim Erhitzen verschwindet sie. Diese Zonen haben meist eine scharfe

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Grenze nach unten, während sie nach oben mehr allmählich verlaufen und wie Fortsätze in die höheren Schichten hineinragen. Diese Einlagerungen sind besonders an den Stellen abgelagert, wo die Schichten scharf absetzen. Hier war wohl eine Pause im Schichtabsatz und während der Zeit war Gelegenheit für die Substanz, sich in größerer Menge abzulagern. Vielleicht war auch die Zufuhr in der Zeit größer (siehe Abb. 7).

Lage der optischen Achsen.

Bei der so deutlichen Einstellung der Längsrichtung der einzelnen Kalzitkristalle in die Wachstumsrichtung würde man, wie es ja auch bei den gewöhnlichen Kalk- und auch den Aragonitsintern der Fall ist, auch eine genaue Einregelung der optischen Achsen in die Faserrichtung erwarten. Es müßten also Schnitte senkrecht zur Faserung je nach dem Grade der Regelung mehr oder weniger optisch isotrope Körner oder

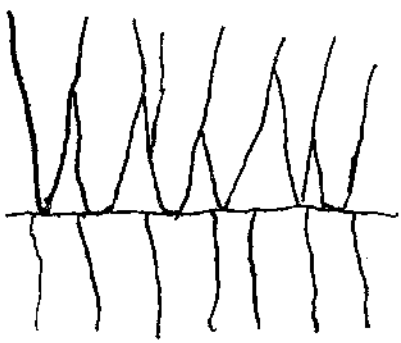


Abb. 6.

Abb. 7.

zumindest ein Vorherrschen niederer Interferenzfarben zeigen; Schnitte senkrecht zur Faserung hingegen hauptsächlich das Weiß höherer Ordnung.

Bei den Großoolithen zeigt sich jedoch das Umgekehrte: Schnitte senkrecht zur Faserung zeigen das Weiß höherer Ordnung, während Schnitte parallel zur Faserung sowohl Körner mit dem Weiß höherer Ordnung als auch dazwischen in etwa gleichen Mengen Körner mit niederen Interferenzfarben sowie zahlreiche isotrope Körner zeigen.

Es sind also hier die optischen Achsen nicht in der Wachstumsrichtung, in der größten Längserstreckung des Kornes angeordnet, sondern senkrecht dazu, parallel zu den Schichtflächen.

Dies läßt sich leicht durch Beobachtung der Brechungsverhältnisse feststellen, besonders in den Schnitten parallel zur Faserung, bei denen also die Körner der Länge nach geschnitten sind (siehe Abb. 8). Bei normalen Sintern, bei denen die optische Achse in die Längserstreckung fällt, schwingt der außerordentliche Strahl mit dem kleineren Brechungsindex ε in der Faserrichtung, während der ordentliche Strahl mit dem größeren Index ω quer dazu schwingt. Dreht man also bei ausgeschalteten Polarisator den Schliff so, daß die Faserrichtung mit der Schwingungsrichtung des Analysators (in der Zeichnung vertikal) zusammenfällt, so haben wir nur ein schwaches Relief. Bei einer Drehung um

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

90°, wenn also die Schwingungsrichtung des Analysators quer zu den Fasern steht und nur der ordentliche Strahl mit dem größeren Index durchgelassen wird, tritt dann das deutliche Relief der Schliffoberfläche hervor.

Bei den Großoolithen ist es nun, wenn die optische Achse in der Schliffebene liegt, gerade umgekehrt. Hier steht ja die optische Achse senkrecht zur Faserung, wir haben daher ein starkes Relief, wenn die Nikolschwingung mit der Faserungsrichtung übereinstimmt und ein schwaches, wenn sie senkrecht dazu steht. Ist die optische Achse senkrecht auf die Schliffläche, so haben wir in jeder Richtung nur den größeren Brechungsindex ω und das Korn zeigt in jeder Lage ein stärkeres Relief.

In den Zwischenlagen (optische Achse schief zur Schliffläche) tritt auch der Reliefunterschied in den verschiedenen Stellungen auf, nur wird er um so schwächer, je mehr die optische Achse gegen die Schliffebene geneigt ist.

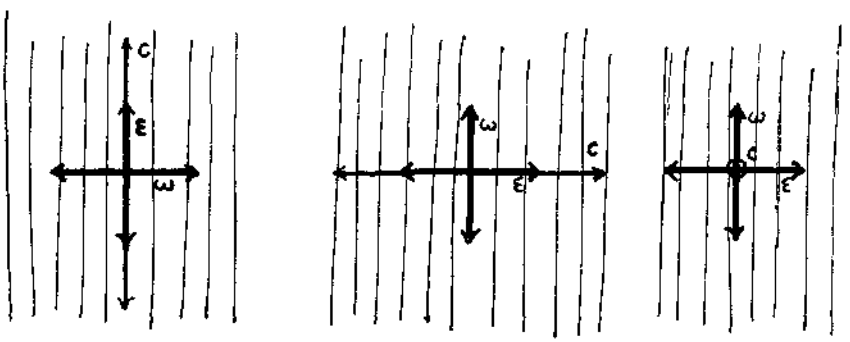


Abb. 8.

Dies gilt für die normale Einbettung in Kanadabalsam, dessen Brechungsindex $n = 1{\cdot}51$ nicht viel von $\varepsilon = 1{\cdot}487$ verschieden ist. Nimmt man ein Einbettungsmittel, dessen Index nahezu gleich $\omega = 1{\cdot}66$ ist, z. B. α-Monobromnaphthalin mit $n = 1{\cdot}657$, so treten die Unterschiede noch deutlicher hervor. Es entsteht jetzt ein deutliches Relief, wenn ε parallel zur Polarisatorschwingung liegt, also die Schwingungsrichtung des Analysators senkrecht zur Faserung ist, u. zw. bei verschiedenen Körnern in verschieden hohem Maße je nachdem, ob die optische Achse in der Schliffläche liegt oder schief bis senkrecht dazu steht, also ε rein oder nur als Komponente gegenüber ω auftritt.

Auch die Betrachtung mit dem Konoskop bestätigt diese Achsenanordnung. Während im Gegensatz zu den gewöhnlichen Faserkalken in Schliffen senkrecht zur Faserung kein Achsenbild zu sehen ist, sieht man bei Schliffen parallel zur Faserung an sehr zahlreichen Körnern den Achsenaustritt im Bildfeld. Bei den übrigen kann man an den sichtbaren schwarzen Balken des Achsenkreuzes leicht feststellen, daß die Achsen alle in die Ebene senkrecht zur Faserung fallen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Durch diese Methoden läßt sich also nachweisen, daß die *c*-Achsen der Kalzite bei den Großoolithen alle in einer Ebene liegen, die senkrecht zur Faserachse steht. Daß die Verteilung der *c*-Achsen in dieser Ebene eine gleichmäßige ist, läßt sich aus diesen Beobachtungen annehmen und ist auch an sich ziemlich wahrscheinlich. Sicherheit läßt sich darüber jedoch nur durch eine genaue Aufnahme der Achsenrichtungen und übersichtliche Darstellung derselben gewinnen. Dies wurde nun durch Aufnahme mit dem U-Tisch erreicht.

Untersuchung mit dem U-Tisch.

Das zum Diagramm (Abb. 9) verwendete Stück (vom Brunnstein) ist einer auf längere Erstreckung ebenen Lage entnommen, u. zw. einige Zentimeter vom Anwachsrand. Der Schliff war senkrecht zur Schichtung geschnitten, wobei, wie die Skizze im Diagramm zeigt, einige parallele Schichtlagen in den Schliff fielen. Die Korngröße, d. h. die Faserbreite beträgt in einer Schichtlage etwa 0·02 *mm*, in den anderen ist sie kleiner, nämlich nur durchschnittlich 0·01 *mm*.

Bei der stark undulösen Auslöschung, die fast alle Körner zeigten, gestaltete sich die Vermessung der Achsen ziemlich schwierig, da die Auslöschung in einem Korn in fächerförmiger Anordnung um einen Bereich von 20° und mehr schwankte. Es wurde von jedem deutlich abgrenzbaren Korn eine Messung gemacht, hiebei möglichst die Mitte des Kornes genommen. Die Unsicherheit beträgt etwa 5—10° und nimmt nach der Peripherie (des Projektionsnetzes) hin zu, so daß die „Achsenlagen" (im Sinne Schmidts) als die genauesten anzusehen sind.

Es wurden 435 Körner vermessen, wobei der Schliff in drei horizontalen Schichten (in der Skizze durch Pfeile bezeichnet) durchgegangen wurde. Zwischen den einzelnen Lagen ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede.

Das Diagramm zeigt, daß die Achsenpole alle in einen Gürtel fallen, dessen Achse mit der Faserachse der Kalzite zusammenfällt. Die Breite dieses Gürtels beträgt 30°, was also einer Streuung von je 15° nach oben und unten entspricht. Außerhalb dieses Gürtels liegen nur wenige vereinzelte Körner. Die Regelung ist also sehr ausgeprägt, es fallen fast alle Achsenlagen in einem Bereich, der etwa 26% der Kugeloberfläche beträgt. Die durchschnittliche Überbesetzung ist also hier nahezu 4fach.

Hiebei ist jedoch zu beachten, daß die Achsenpole längs eines Gürtels angeordnet sind, wodurch schon an sich eine Verteilung zustande kommt. Nimmt man an, daß die Punkte nicht längs eines Gürtels, sondern um einen Punkt herum angeordnet sind (wenn die *c*-Achse z. B. längs der Faser verläuft wie bei Aragonit), rechnet man also die Verhältnisse für eine Kugelkappe mit dem entsprechenden Streuwinkel von 15° aus, so erhält man eine durchschnittliche 39fache Überbesetzung. Die Überbesetzung ist also nicht immer auf die Streuung direkt beziehbar.

Was die Verteilung längs des Gürtels betrifft, so ist die im allgemeinen gleichmäßig, jedoch sind einzelne kleine Maxima zu bemerken, die aber, wie der Vergleich verschiedener Diagramme zeigt, teilweise

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

zufälliger Entstehung sein dürften. Zum Teil wirken jedenfalls auch Einflüsse mit, die im Meßverfahren liegen (besonders durch die so stark verschiedenen Brechungsindizes des Kalzits) und die sich am stärksten in den Polhöhen auswirken. Dadurch kommen dann Verschiebungen innerhalb des Gürtels zustande.

Außer diesen hier angeführten wurden von Großoolithen noch Diagramme an Stücken von der Seegrube, bezw. Hafelekar (nördlich Innsbruck) und vom Kaisergebirge aufgenommen. Diese bestätigten nur die für den Großoolith des Brunnstein gewonnenen Ergebnisse. Sie zeigten alle das scharf ausgesprochene geschlossene Gürtelmaximum von 20—35° Breite mit nur ganz vereinzelt darüber hinausfallenden Kornlagen.

In Abb. 10 und 11 sind Diagramme dargestellt, die die Achsenregelung in verschiedenen Schichtlagen ein und desselben Stückes zeigen. Das Stück stammt vom Brunnstein. Der untersuchte Schliff (Skizze in Abb. 10) zeigt drei schon bei gewöhnlicher Beobachtung deutlich unterscheidbare Schichten, die hier mit *a*, *b*, *c* bezeichnet werden.

In der Lage *a*, 1 *mm* von der Anwachsfläche an, sind unter dem Mikroskop besonders nahe der Anwachsfläche stark divergente Büschel zu bemerken. Dementsprechend zeigt auch das bezügliche Diagramm eine starke Streuung der Achsenlagen nach allen Richtungen, nur die Lagen parallel zur Faserung fehlen auch hier vollständig. Das Gürtelmaximum ist schon deutlich erkennbar.

Die Lage *b* mit einer Breite von ungefähr $2^1/_4$ *mm* zeigt schon nur noch die charakteristischen schmalen Faserbüschel mit schwach divergenter Auslöschung. Nur am Rande gegen *a*, dessen Grenze durch einige schwärzliche Einlagerungen gekennzeichnet ist, sind noch einige wenige, stärker divergente Büschel zu bemerken, die aber in das Diagramm nicht mitaufgenommen wurden, da sie schon zu nahe am Rand lagen. Das Diagramm zeigt schon das schön geschlossene Maximum mit einer Breite von etwa 35°, mit nur vereinzelt darüber etwas hinausfallenden Kornlagen.

Bei Lage *c*, die von der vorhergehenden wieder durch eine aber etwas breitere Zone von Einlagerungen getrennt war (jedoch ohne divergente Büschel), zeigt sich eine noch stärkere Geschlossenheit im Gürtelmaximum (etwa 20° Breite). Es entspricht dies einer ungefähr 60 bis 70fachen Überbesetzung.

Die Regelung stellt sich also sehr bald ein, schon höchstens 1 bis 2 *mm* von der Anwachsfläche sind alle stärker divergierenden Büschel verschwunden, und sie bleibt auch dann weiterhin sehr gleichmäßig, mag auch die Korngröße Schwankungen unterworfen sein.

Lamellendiagramm.

Es wurden nun auch vom selben Schliff wie bei Abb. 9 ein Diagramm der Kalzitlamellen hergestellt (Abb. 12). Hiebei wurden sämtliche sichtbaren Lamellen vermessen, die sich jedoch auf die einzelnen Körner ganz ungleich verteilen. Entweder es waren zwei sichtbar, dann wurden beide eingemessen (sie schließen miteinander einen Winkel von 45°, bzw. 135° ein), oder nur eine oder, wie es bei etwa der Hälfte der Körner der Fall war, überhaupt keine. Letzteres

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

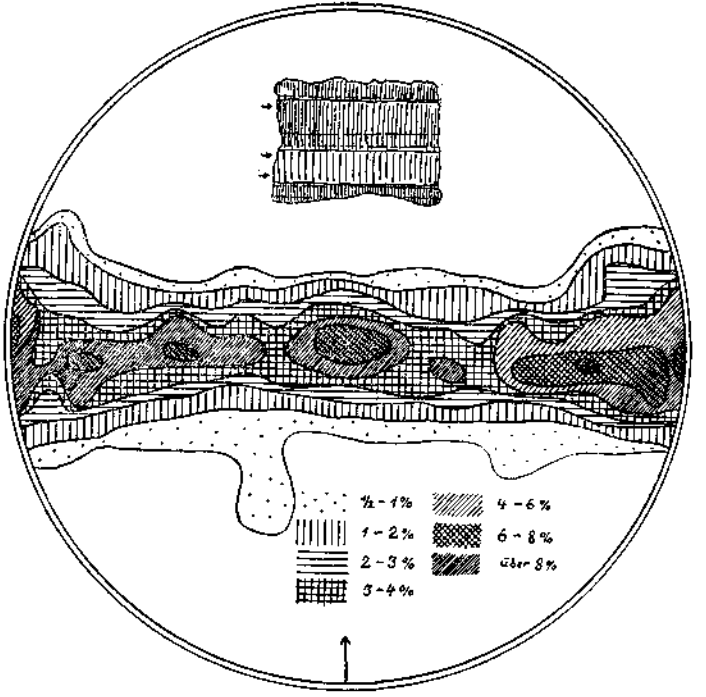


Abb. 9. Großoolith, Brunnstein, senkrecht *s*, 435 Achsenpole.

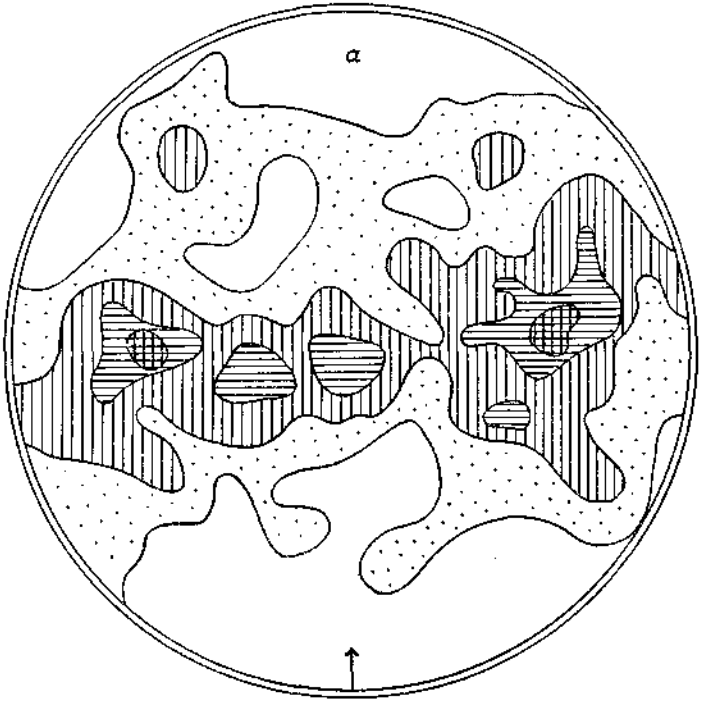


Abb. 10. Großoolith, Brunnstein, Lage *a*, 0—1 *mm* von der Anwachsfläche, 330 Achsenpole. Musterung wie in Abb. 9.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

hat seinen Grund darin, daß entweder die Zwillingslamellen schlecht oder nicht ausgebildet waren oder infolge ihrer Stellung nicht sichtbar sind. Es sind nämlich nur diese Lamellen sichtbar und einmeßbar, deren Ebenen mit der Schliffnormalen einen Winkel unter 30° einschließen. Darüber sind sie nur in den besonders günstigen Fällen zur Messung verwendbar. Bei den anderen treten bei der steilen Lage der Schlifffläche die Unebenheiten der Oberfläche so sehr bei dem starken Relief hervor, daß ein Einstellen der Lamellen zur Unmöglichkeit wird. Sie sind dann überhaupt nicht mehr erkennbar.

Der Bereich der Flächenpole der meßbaren Lamellen umfaßt also einen Gürtel von etwa 30—35° Breite, während ein Mittelfeld von 60—55° Radius freibleibt (mit einer Streuung von 15°).

Dem Achsendiagramm nach müßten die Lamellenpole auf einem Gürtel liegen, dessen äußerste Breite nach jeder Seite des Äquators 26° (Winkel zwischen *c*-Achse und Lamellennormale) plus 15° (Streuung) beträgt. Die Verteilung der Lamellenpole auf diesem Gürtel muß nun zwei Maxima haben: Denkt man sich die Achsenpole nicht längs eines Äquators angeordnet, sondern mit derselben Streuung um einen Punkt herum, so müssen die zugehörigen Lamellenpole auf einem Kreisring liegen, mit den Halbmessern 26±15° ist gleich 41°, bzw. 14°. Geht man nun wieder auf die Verteilung längs des Äquators über, so kommt für die Dichteverteilung der Lamellenpole, da die Abstände vom Äquator dieselben bleiben, die relative Zahl der auf den Querschnitten parallel zum Äquator liegenden Lamellenpole in Betracht. Hier ergibt sich nun ein Maximum in der Breite des inneren Halbmessers des Kreisringes, bei 11°. Außerdem nimmt die Dichte nach außen bedeutend langsamer ab als nach innen, so daß also der Schwerpunkt weiter vom Äquator weg zu liegen kommt.

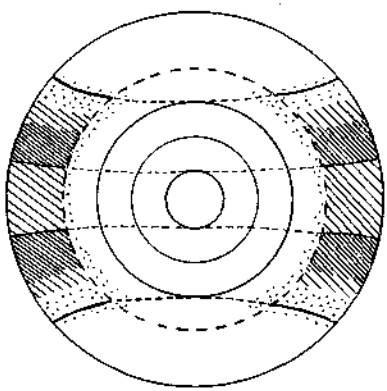


Abb. 13.

Zieht man nun von diesem Gürtel das Mittelfeld der nicht meßbaren Lamellenpole ab, so bleiben für die dichtest besetzten Gebiete vier ± trapezförmige Flächen übrig, die durch weniger dicht besetzte Gebiete zusammenhängen (Abb. 13).

Damit stimmen, wie Diagramm Abb. 12 zeigt, auch die Ergebnisse der U-Tischaufnahme überein.

Karlsbader Aragonitsinter.

Der Aragonitsinter des Karlsbader Sprudelsteines bildet ein gutes Beispiel eines primären Sinters, dessen Bildung sich auch jetzt noch vollzieht. In der Arbeit von F. E. Suess,[1]) „Die Bildung der Karlsbader

[1]) Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, II, 1909, S. 392.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

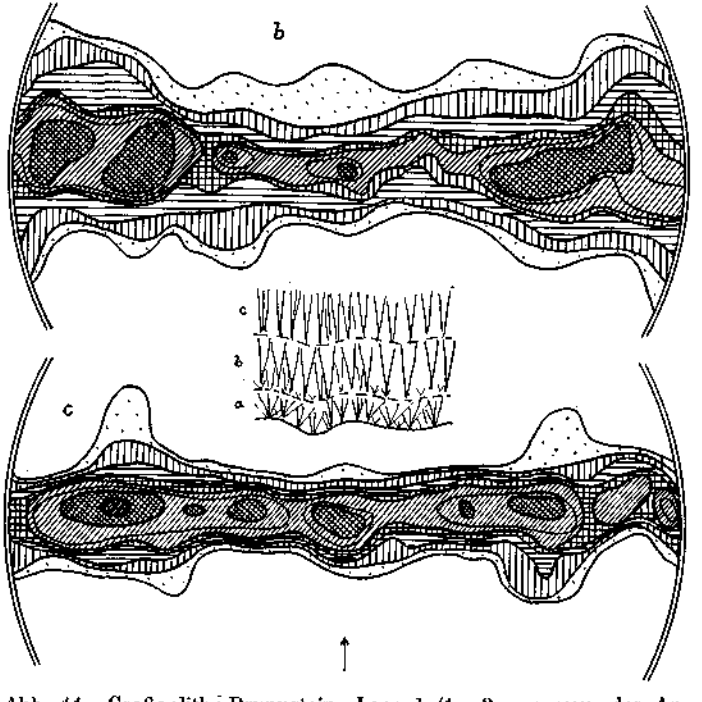


Abb. 11. Großoolith, Brunnstein, Lage *b* (1—3 *mm* von der Anwachsfläche, 230 Achsenpole) und Lage *c* (3—5 *mm* von der Anwachsfläche, 180 Achsenpole).

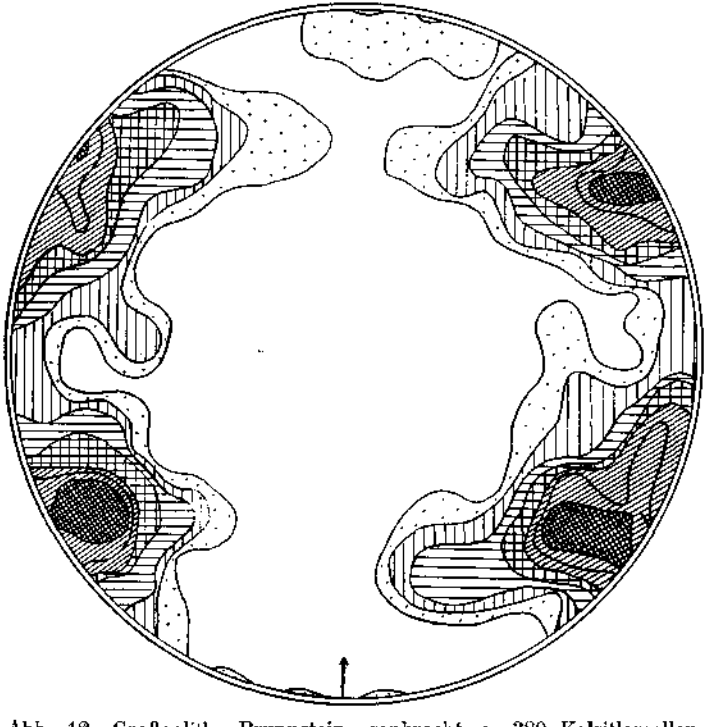


Abb. 12. Großoolith, Brunnstein, senkrecht *s*, 389 Kalzitlamellen. Musterung wie bei Abb. 9.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Sprudelschale", besitzen wir eine ausführliche Beschreibung des ganzen Vorkommens und Untersuchungen über die Bildungsbedingungen. Der Sprudelstein ist demnach ein Absatz warmer kalziumkarbonathaltiger Wässer vorwiegend in der Tiefe in Spalten und Höhlungen des Gesteins, wobei die Ausscheidung des Kalziumkarbonates bewirkt wird durch Abkühlung der Lösung und Entweichen von Kohlendioxyd.

Der Absatz erfolgte z. T. ungestört als rein weißer Aragonit ohne Ausbildung von Schichtung mit oft ziemlich großen divergenten Faserbüscheln.

In anderen Fällen treten Verunreinigungen von hauptsächlich Eisenoxyd auf, die, da sie schichtweise bald stärker, bald schwächer auftreten oder auch ganz fehlen, die bekannte braunrote Bänderung hervorrufen. Aber auch das Wachstumsgefüge der Aragonitkristalle kann sich ändern, so daß gröberkristalline Schichten mit makroskopisch oft ganz dichten Aragonitlagen abwechseln.

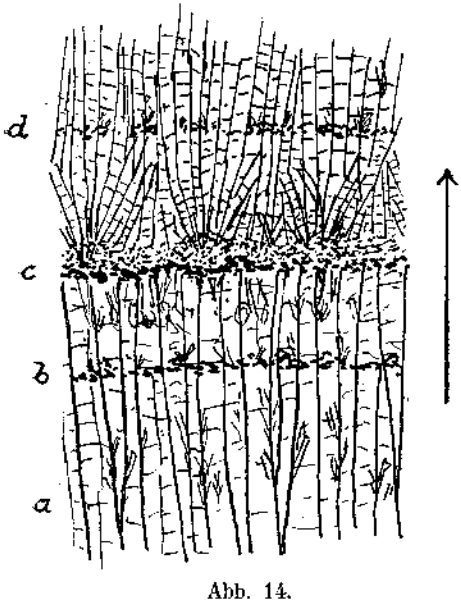


Abb. 14.

Im Dünnschliff läßt sich diese Änderung des Wachstumsgefüges sehr gut verfolgen. Der Schliff (Abb. 14) stammt aus einem schön gebänderten Aragonitsinter mit verhältnismäßig grobem Korn. Die Wachstumsrichtung geht von unten nach oben. Die im Schliff unterste Schicht *(a)* wird durch ziemlich grobe und nahezu genau parallellaufende Aragonitfasern gebildet, die also jedenfalls Zeit gehabt hatten, sich zu dieser Größe und Regelmäßigkeit auszubilden, ohne daß sie während des Wachstums durch den Absatz von Verunreinigungen gestört worden wären. Bei *b* tritt eine kleine Eisenoxydlage auf, ohne jedoch das Weiterwachsen des Kristallrasens wesentlich zu stören. Sie befördert nur die Anlage einiger neuer Kristallkeime, die zur Ausbildung von kleinen divergentstrahligen Kristallbüscheln führen, sich aber nicht weiter entwickeln, sondern bald von den größeren Kristallfasern überwuchert werden.

Bei *c* findet nun das ungestörte Wachstum der Aragonitfasern sein Ende. Es lagerte sich nämlich eine etwa $^1/_2$ *mm* breite Zone, bestehend aus einem regellosen Haufwerk fast submikroskopisch kleiner Aragonitkriställchen ab, die sich über die Spitzen des vorherigen Kristallrasens legten, dabei die noch vorhandenen Zwischenräume ausfüllend. Eingeleitet wird diese Ablagerung hier von geringeren Mengen von Eisenoxyd, das jedoch unwesentlich ist, wie aus anderen Beispielen hervorgeht, wo es fehlt. Aus dieser regellosen Zone entwickeln sich

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

dann bald wieder zunächst stark divergentstrahlige Büschel mit geringer Korngröße, die dann allmählich in ein gröberes parallelfaseriges Gefüge übergehen, indem die von der geraden Richtung abweichenden Körner nach und nach verschwinden. Eine später bei *d* auftretende schmale Schichte von Eisenoxydeinlagerungen vermag wieder keinen wesentlichen Einfluß auf das Gefüge auszuüben, außer dem Auftreten einiger kleiner, von der geraden Richtung abweichender Kriställchen.

Für die plötzliche Änderung des Gefüges, wie bei *c* ist also die Ursache jedenfalls nicht im Auftreten der Eisenoxydeinlagerungen zu suchen, sondern in einer vorübergehenden Änderung der Wachstumsbedingungen (Temperatur, Konzentration usw.), die die Keimbildungs- und Wachstumsgeschwindigkeit erhöhte, so daß ein langsames geregeltes Wachstum nicht mehr möglich war.

Durch größeren Absatz von Verunreinigungen können auch Veränderungen auftreten, die, wenn sie lokal vorkommen, oft die Gleichmäßigkeit in den Schichten stören. So kann man häufig Ansammlungen von Eisenoxydflocken beobachten, die auf einer örtlich begrenzten Stelle den Absatz des Aragonites unterbrechen. Es bildet sich dann um jede solche Flocke ein selbständiger Aragonitrasen und erst die neue Aragonitschichte, die sich nach Ablagerung dieser Flocken bildet, legt sich wieder gleichförmig darüber. Eine Ausbuchtung nach oben bleibt zurück, die aber im weiteren Verlauf des Schichtabsatzes allmählich ausgeglichen wird und verschwindet (Abb. 15).

Abb. 15.

Andere Unregelmäßigkeiten werden dadurch verursacht, daß vorübergehend ein Wiederauflösen von Aragonitsubstanz stattfindet, gewöhnlich unter schrägem Abschneiden der Schichten, und wenn der Absatz von Aragonit wieder beginnt, sich die neue Lage diskordant über die schräg abgeschnittenen Schichten legt.

Solche Stellen können bei derartigen Bildungen zur Deutung oft sehr wichtig werden, weil sie den Beweis liefern, daß sich die Schichten durch Absatz gebildet haben und nicht etwa nachträglich erst die Schichtstruktur entstanden ist (etwa durch Diffusionsvorgänge). Außerdem bilden sie einen Anhaltspunkt zur Feststellung, in welcher Richtung der Absatz der Schichten erfolgt ist, was oft besonders in einzelnen Handstücken schwierig oder gar unmöglich festzustellen ist.

An manchen Stellen kann man beobachten, daß schon gebildete Schichtteile teilweise abgelöst wurden und so gewissermaßen weghängen. Später wurden sie dann wieder normal übersintert, wobei manchesmal unter dem abstehenden Schichtstück Hohlräume bleiben können.

Untersuchung mit dem U-Tisch.

Es wurden sowohl Schliffe vermessen, die senkrecht zur Schichtung, also parallel zur Faserung geschnitten waren, also auch solche, die parallel zur Schichtung lagen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Da der Aragonit optisch zweiachsig ist, lassen sich die Methoden, wie sie beim einachsigen Kalzit verwendet wurden, nicht ohne weiteres anwenden. Es lassen sich aber infolge der Umstände, daß einerseits der Achsenwinkel sehr gering ist (18—19°), anderseits fast immer eine Zwillingsbildung nach einem einfachen Zwillingsgesetz vorhanden ist, wieder einfachere Methoden anwenden, als sie normalerweise bei zweiachsigen Mineralien gebraucht werden müssen.

Es sind hier zwei Fälle in den Kornlagen zu unterscheiden:

1. Die *c*-Achse liegt nahezu oder genau in der Schliffläche (Äquatorlage). Hier kann (und muß) der Aragonit als einachsig betrachtet werden, da bei der Kleinheit des optischen Achsenwinkels die Zweiachsigkeit bei den verwendeten Methoden nicht in Erscheinung tritt. Die Messung erfolgt also wie beim Kalzit.

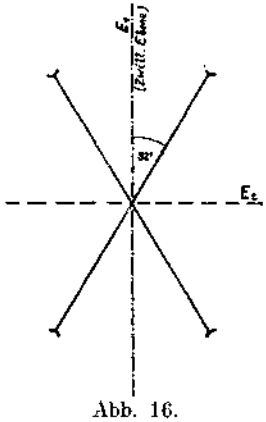


Abb. 16.

2. Die *c*-Achse liegt ungefähr senkrecht zur Schliffläche (Pollage). Hier läßt sich die fast immer vorhandene Zwillingsbildung mit Vorteil zur Kornlagenbestimmung verwenden, die stets nach demselben Gesetz, nämlich nach (110) als Zwillingsebene, erfolgt. Bei den Zwillingskörnern ist die spitze Bisektrix (*c*-Achse) gemeinsam, in der sich die Zwillingsebene (110) und die zu ihr senkrechte, durch die *c*-Achse gehende Ebene schneiden. Durch Bestimmung dieser beiden Ebenen ist dann die spitze Bisektrix und damit die *c*-Achse des Zwillingspaares vollständig bestimmt und damit eine wohl für die meisten Fälle hinreichende Orientierung gegeben, besonders da ja in der Äquatorstellung sich auch nur die Lage der *c*-Achse feststellen läßt. Die Lage der optischen Achsenebene bleibt damit noch unbestimmt. Man kann deren Lage jedoch auch leicht noch festlegen, indem man den Schliff so dreht, daß das Korn in die von der Zwillingsebene um den kleinsten Winkel (32°) abweichende Auslöschungsstellung bringt. Diese Richtung stellt dann die Lage der optischen Achsenebene des einen Kornes dar. Beim andern Korn verfährt man ebenso, womit die Lagen beider Individuen vollständig bestimmt sind (Abb. 16 und 17).

Ausführung der Bestimmung für die Polstellung.

1. Zunächst wurde durch Drehen um A_1 die Zwillingsgrenze genau parallel dem Vertikalfaden gebracht, wodurch man für die Lage der Zwillingsebene den Winkel α_1 erhält.

2. Dann wurde der Schliff um die Achse A_2 geneigt, bis bei jeder Stellung von A_4 beide Lamellen die gleiche Interferenzfarbe haben. Dies geschieht am besten, indem man vorher durch Drehen um A_4 eine möglichst kontrastreiche Stellung einstellt. Dadurch hat man jetzt die Zwillingsebene E_1 in eine Lage senkrecht zur Beobachtungsfläche (= die Ebene senkrecht zur Mikroskopachse) gebracht. Den Winkel links, bzw. rechts liest man ab.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

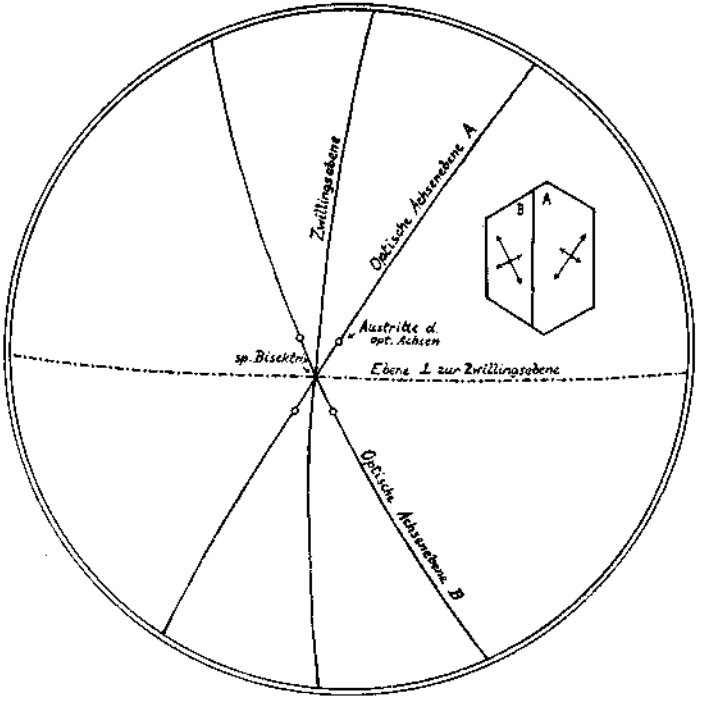


Abb. 17. Diagramm eines Aragonitzwillings.

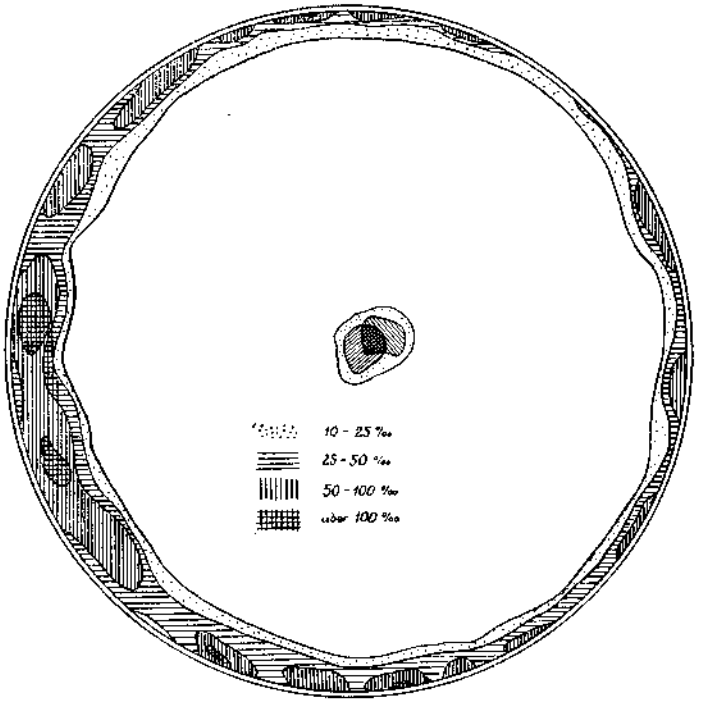


Abb. 19. Aragonitsinter, Karlsbad, parallel s, 154 Körner. Mitte: c-Achsenpole, Rand: Pole der Zwillingslamellen

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

3. Um nun auch die zur Zwillingsebene senkrechte Ebene E_2 in eine Lage senkrecht zur Beobachtungsebene zu bringen, verfährt man entsprechend wie bei 2., nur wird jetzt der Schliff so lange um A_4 gedreht, bis bei jeder Stellung von A_2 die Interferenzfarben gleich sind. Der erhaltene Winkel ist α_4.

Das Auftragen dieser hiemit erhaltenen Winkel auf der Oleate geschieht dann folgendermaßen:

1. Der Winkel α_1 wird wie gewöhnlich durch Drehen der Oleate und Ablesen an der Peripherie eingestellt.

2. α_2 wird am wagrechten Mittelbalken von der Mitte aus aufgetragen, u. z. bei Ablesung am linken Bügel nach rechts und umgekehrt.

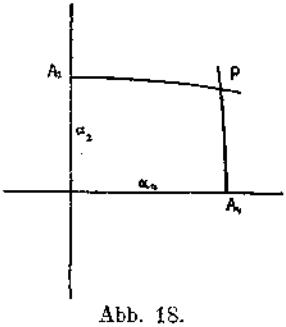


Abb. 18.

3. α_4 wird am senkrechten Mittelbalken aufgetragen in umgekehrter Richtung wie die Bezeichnung an der Trommelskala, nämlich in der Richtung von unten nach oben.

Der Schnittpunkt der Großkreise, die durch die nach 2. und 3. erhaltenen Punkte gelegt werden, ist dann der Austrittspunkt der spitzen Bisektrix (s. Abb. 18). Die Zwillingsebene E_1 ist gegeben durch die durch den Großkreis $A_2 P$ gehende Ebene, die zu ihr senkrechte E_2 durch die durch den Großkreis $A_4 P$ gehende Ebene.

Da die spitze Bisektrix mit der c-Achse zusammenfällt, so erhält man also dadurch wie bei den Einachsigen die Lage der c-Achse. Wenn man noch dazu die Lage der Zwillingsebene einmißt und verzeichnet, so ist damit die Orientierung des Zwillingspaares und damit jedes einzelnen Kornes vollständig bestimmt.

Diagramme.

Das Diagramm Abb. 19 wurde an einem Schliff parallel zur Schichtung aufgenommen. Er ging durch eine eisenoxydfreie Schicht mit einer Korngröße von 0·05—0·1 *mm*. Vermessen wurden 154 Körner. Das Diagramm besteht aus zwei Teilen, die eigentlich zwei verschiedene Diagramme darstellen.

1. Die beiden schraffierten Flecke in der Mitte umfassen das Gebiet der Austritte der spitzen Bisektrizen, bzw. der c-Achsen. Bei der Aufnahme des Diagrammes wurden sie als Striche dargestellt, die gleichzeitig die Richtung der Zwillingsebenen angaben. Da die Striche aber bei der Verkleinerung des Diagrammes schlecht sichtbar werden und die Lagen der Zwillingsebenen außerdem noch eigens dargestellt sind, wurden sie hier weggelassen und nur das Gebiet umgrenzt. Darüber hinaus fallen nur ganz vereinzelte Kornlagen. Die zwei Flecke geben die Achsenlagen in verschiedenen Bereichen des Schliffes an.

Die Streuung ist also äußerst gering. Sie wird außerdem noch etwas verwischt durch eine leichte Unebenheit der Schichtenfläche, die natürlich die Streuung des Gesamtbildes etwas vergrößert. Während der Aufnahme des Diagrammes konnte dies deutlich bemerkt werden durch das Wandern des Schwerpunktes der Eintragungen; z. T. wurde es durch verschiedene Farben der Eintragungen zum Ausdruck

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

gebracht. Zwei solcher Gruppen sind im abgebildeten Diagramm durch die Umgrenzung unterschieden. In kleineren Bereichen, in denen man annehmen kann, daß der Untergrund eben ist, beträgt die Streuung höchstens 5—10°, die Beziehung der Achsenlagen auf die Fläche des Untergrundes, was bei der Darstellung dessen Unebenheiten ausgleichen würde, scheitert daran, daß die Lage des Untergrundes hier nicht genügend genau faßbar ist.

2. Schon bei der vorhin erwähnten Darstellung der Richtung der Zwillingsebenen durch die Striche war keinerlei Regelmäßigkeit in deren Lage erkennbar. Um dies jedoch noch deutlicher darzustellen, wurden die Zwillingsebenen besonders eingemessen und deren Normalen im Diagramm eingetragen. Der Randteil des Diagramms stellt nun die Verteilung der eingemessenen Pole der Zwillingsebenen dar, u. z. derselben Körner, deren Achsenlagen in der Mitte angegeben sind. Die Besetzung ist ziemlich gleichmäßig, irgendein besonderes Maximum ist nicht erkennbar. Es ist also eine Regelung in bezug auf die *a*-, bzw. *b*-Achse nicht vorhanden, dagegen eine sehr ausgesprochene und scharfe in bezug auf die *c*-Achse.

Diagramm Abb. 20. Hier wurde ein Schnitt senkrecht zur Schichtung eines durch Eisenoxydeinlagerungen deutlich gebänderten Karlsbader Sprudelsteins vermessen. Es sind drei Diagramme zusammengefaßt, die um den Winkel von je 60° gegeneinander gedreht sind. Jedes Diagramm umfaßt die Achsenlagen der in einem gewissen, gleichbleibenden Abstand von der Anwachsfläche liegenden Körner. Dadurch soll die Änderung der Regelung im Verlauf des Wachstums ersichtlich gemacht werden.

Diagramm *a)*, in der Höhe von 1 *mm* von der Anwachsfläche. Vermessen 188 Körner. Die Korngröße betrug 0·02—0·05 *mm*. Es zeigt sich eine Streuung von rund 60°, was einer zehnfachen Überbesetzung entspricht.

Diagramm *b)*, in einem Abstand von 4 *mm*, vermessen 197 Körner, Korngröße: 0·1—0·2 *mm*. Die Streuung ist erheblich geringer geworden, sie beträgt nur mehr ungefähr 20°, nur einzelne Lagen sind noch außerhalb, aber auch nur bis höchstens 60°. Überbesetzung: 75fach.

Diagramm *c)*, im Abstand von 8 *mm* von der Anwachsfläche, vermessen 120 Körner. Das Gebiet auf dem die Achsenpole liegen ist schon sehr klein und ziemlich geschlossen, die Streuung also sehr gering, etwa 5—10°. Die *c*-Achsen kann man also schon als nahezu parallel bezeichnen. Die Überbesetzung ist 150fach.

Gänge und Lagen von Kalzit in Seefelder Bitumenschiefer.

In den bituminösen Schiefern des Hauptdolomits von Seefeld und anderen alpinen Vorkommen sind oft sehr zahlreich von Kalzit erfüllte Gänge und gangartige Bildungen vorhanden.[1] Sie sind von weißer bis schwach gelblicher Färbung (Bitumengehalt). Sie laufen meist den Schichten parallel, durchbrechen sie aber auch häufig quer, sind also

[1]) Sander, Über bituminöse Mergel. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Wien 1921, S. 143 ff., hält einen Teil dieser „Kalzitrasen" nicht für eigentliche Gänge, sondern für Bildungen während der Sedimentation und Diagenese.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

dann sicher jüngere Bildungen. Die Breite schwankt von mikroskopischer Mächtigkeit bis zu mehreren Zentimetern. Es lassen sich auch häufig Gänge verschiedenen Alters unterscheiden, hiebei sind stets die quer zu den Schichten streichenden die jüngeren.

Unter dem Mikroskop erkennt man, daß diese Kalzitgänge aus hellen farblosen Kalzitstengeln bestehen, die mit ihrer Längserstreckung senkrecht zur Wandung des Ganges stehen, bisweilen auch wenig schief dazu, wie bei dem in Abb. 26 gezeigten Fall, wo der Winkel zwischen Stengelrichtung und Gangwand 81° beträgt. Die Hauptachsen der Kalzite fallen mit deren Längserstreckung zusammen, wie sich durch Bestimmung der Schwingungsrichtungen leicht feststellen läßt (siehe auch die Diagramme).

Die Wachstumsstruktur ist fast immer deutlich erkennbar: An der Stelle des Wachstumsbeginnes kleinere Körner mit verschiedenen diver-

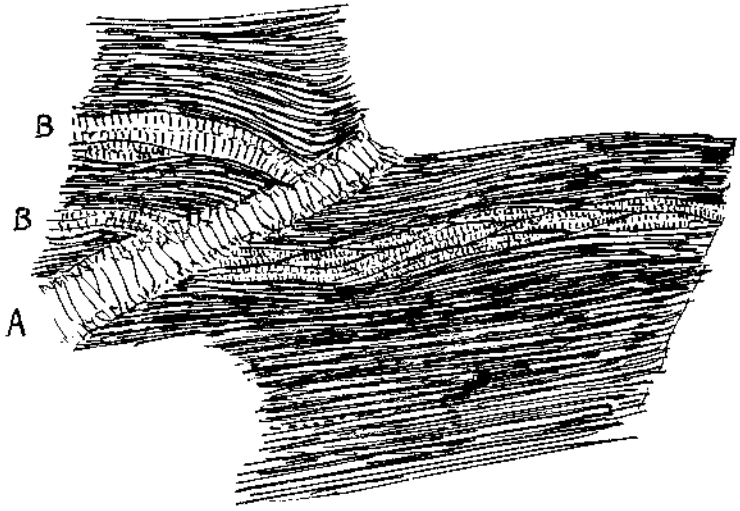


Abb. 21.

genten Achsenlagen und mehr rundlichem Querschnitt, aus denen dann die größeren, wandständigen, langgestreckten Kalzite herauswachsen. Was die Wachstumsrichtung in bezug auf die Gangwandung anlangt, so konnten hier folgende zwei Fälle beobachtet werden:

A. Von beiden Gangwänden gegen die Mitte zu gewachsen, mit mehr oder weniger symmetrischem Bau. Es bildet sich hiebei in der Mitte keine ausgeprägte gerade verlaufende Naht, wie es etwa bei den Großoolithen die Regel ist, sondern die von beiden Seiten kommenden Kalzitstengel greifen regellos ineinander, so daß nicht immer festgestellt werden kann, von welcher Seite des Ganges aus ein Korn gewachsen ist. Zu diesem Typus gehören Gänge, die zwar auch größtenteils in der Schichtung liegen, aber oft plötzlich ihre Richtung ändern und dann quer dazu die Schichten durchbrechend verlaufen (siehe Abb. 21, Gang *A*).

B. Bei den anderen gangartigen Bildungen, und das sind solche, die immer in der Schichtung liegen, sind die kleinkörnigen Kalzite, die den

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Beginn des Wachstums anzeigen und auch eine mehr regellose Achsenlage haben, nicht am Rande, an der Gangwandung, sondern in der Mitte gelegen. Man muß also annehmen, daß die Kalzite nicht von der jetzt vorhandenen Gangwand, sondern von der Mitte aus gewachsen sind. Als Ansatz für den Wachstumsvorgang sind manchmal noch ganz dünne, oft unterbrochene Lagen von bituminöser Substanz des Gesteines sichtbar. Vielfach ist aber überhaupt nichts mehr erkennbar, als ein Aggregat von kleinen Kalzitkörnern, aus welchem dann nach den Rändern hin die größeren, gut geregelten Kalzitstengel wachsen, die hier vielmehr in die Länge gestreckt und schmäler erscheinen als beim anderen Typus.

Auch die Form dieser Einschaltungen ist oft eigentümlich, besonders die kleineren treten nämlich meist mehr linsenförmig auf, wobei ganze Reihen solcher Linsen in einer Lage hintereinander folgt, deren Enden sich gegenseitig übergreifen (siehe Abb. 21, Gang *B* und Abb. 22). Die durch kleinere ungeregelte Körner immer deutlich gekennzeichnete Fläche des Wachstumsbeginnes geht hiebei immer in der Mitte oder nahe derselben hindurch, so daß diese Gebilde einen mehr oder weniger symmetrischen Bau erhalten.

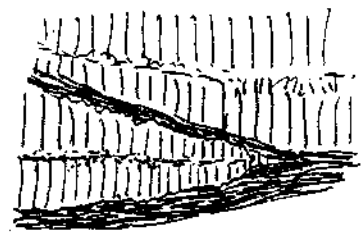


Abb. 22.

Die Diagramme, Abb. 23 und 24, stellen die Achsenlagen eines Kalzitganges dar, der die Schichtung des Gesteines schief, an der vermessenen Stelle unter einem Winkel von etwa 30° durchbricht. Er gehört dem unter *A* genannten Typus an.

Diagramm 24 umfaßt die in der Mitte des Ganges liegenden, hauptsächlich groß ausgebildeten und mehr stengeligen Kalzitkörner (es wurden jedoch auch kleinere mitvermessen). Das scharf ausgeprägte Maximum (mehr als 10% Überbesetzung) läßt die gute Einregelung der *c*-Achsen in die Stengelrichtung (die im Diagramm durch eine Linie bezeichnet ist), also senkrecht zur Gangwand erkennen.

Beim anderen Diagramm 23, das die Achsenlagen der am Rande liegenden Körner, die im allgemeinen viel kleiner und mehr rundlich ausgebildet sind, enthält, ist zunächst einmal eine bedeutend größere Streuung zu erkennen: Verteilung der Achsenpole über die ganze Lagenkugel, nur 6fache Überbesetzung im Maximum. Ferner zerfällt das Maximum deutlich in zwei Teilmaxima, von denen das kleinere wie beim früheren Diagramm die Achsenlagen in der Stengelrichtung, senkrecht zur Gangwandung angibt, während das andere besser ausgebildete zeigt, daß der größere Teil der Körner die Achsen nicht senkrecht zum Verlauf der Gangwandung hat, sondern senkrecht zur Schichtung des Gesteines.

Es tritt also bei den meist klein ausgebildeten Körnern nahe der Gangwand zunächst eine Regelung senkrecht zu den schief angeschnittenen Schichten des Gesteines auf, während die Richtung senkrecht zum Gangverlauf vorerst nur ganz untergeordnet vorhanden ist. Mit dem

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

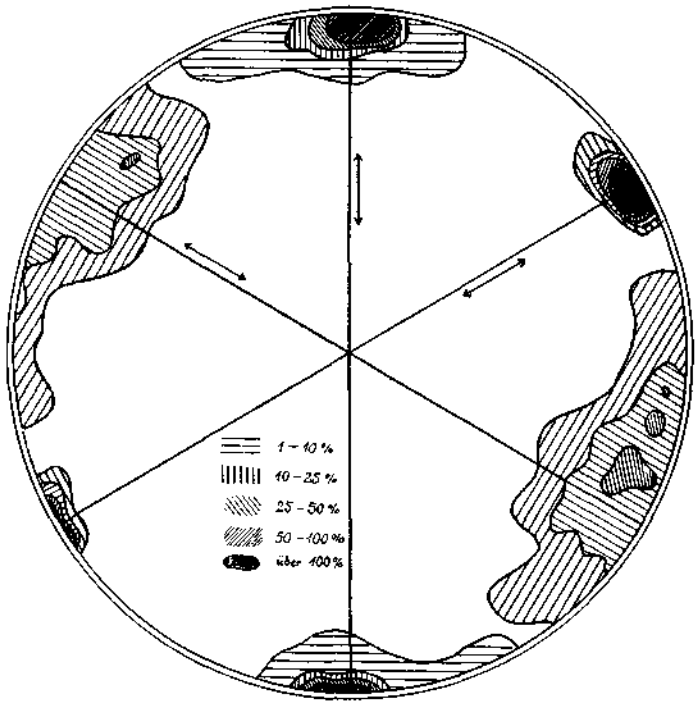


Abb. 20. Aragonitsinter, Karlsbad, senkrecht *s*, verschiedene Wachstumsschichten. Im Diagramm um je 60 gedreht, 190, 197 und 100 Achsenpole.

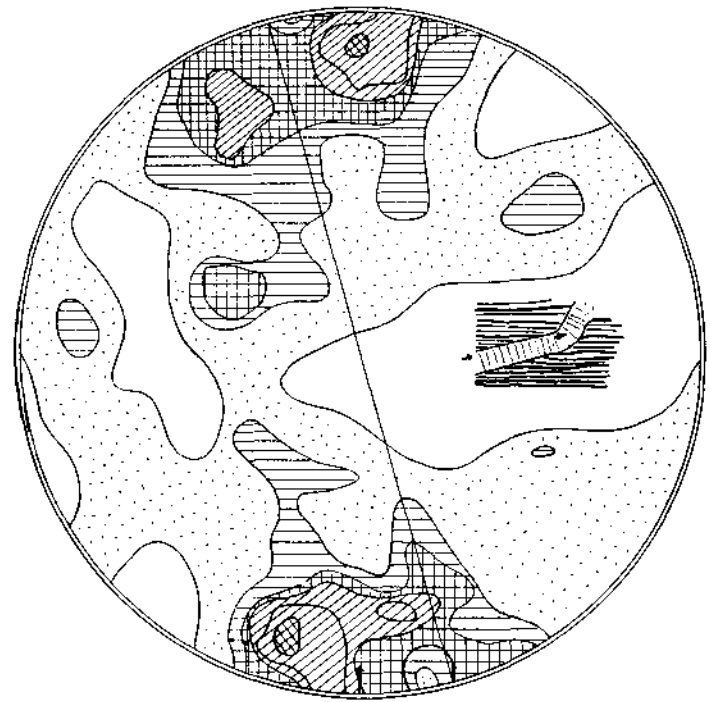


Abb. 23. Seefelder Kalzitgang, Rand, 355 Achsenpole. Musterung wie in Abb. 24.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

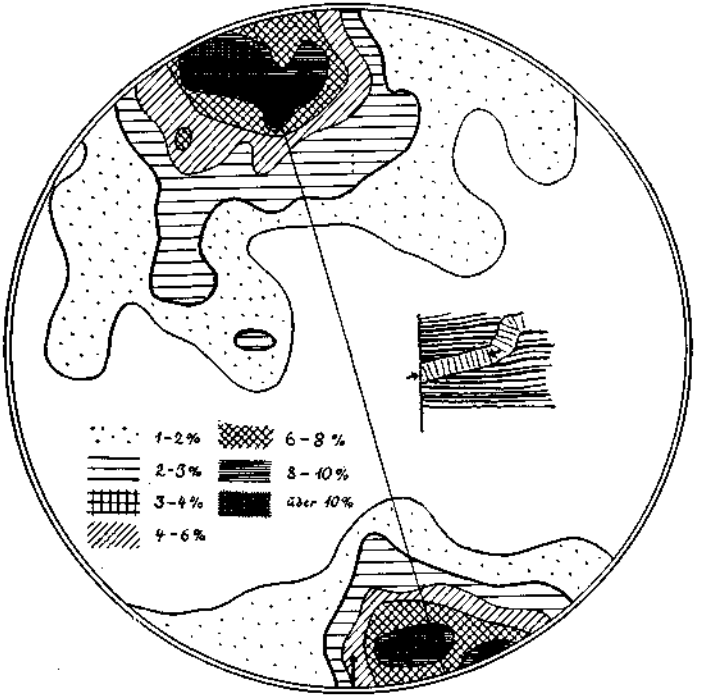


Abb. 24. Seefelder Kalzitgang, Mitte, 206 Achsenpole.

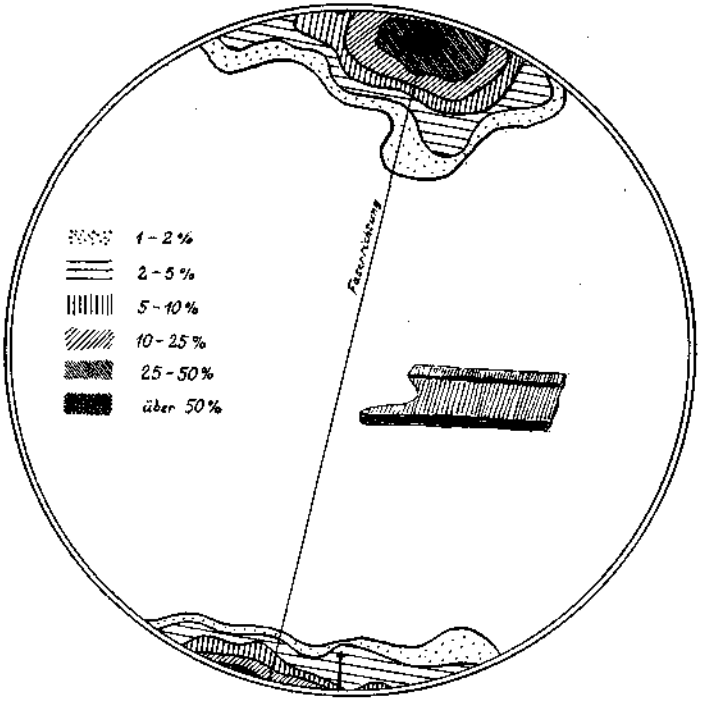


Abb. 26. Seefelder Kalzitrasen, senkrecht s, 190 Achsenpole.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Weiterwachstum tritt dann die erstere Regel ganz zurück, auf dem Diagramm ist davon gar nichts mehr zu bemerken, und die Regelung senkrecht zur Gangwand wird die allein herrschende.

Die Erklärung für die Regelung senkrecht zur Schichtung muß in einem richtenden Einfluß der Gangwand auf die erstgebildeten Kalzite zu suchen sein. Dieser kann darauf beruhen, daß die Gangwand nicht gerade in der Gangrichtung verläuft, sondern stufenförmig entsprechend der Schichtung des Gesteins. Das ist öfters auch ganz deutlich zu beobachten (siehe Abb. 25). Bei Beginn des Wachstums, solange die Korngröße noch gering ist, sind also die kleinen Unebenheiten der Unterlage, deren Hauptrichtung in diesem Fall nicht durch den durchschnittlichen Gangverlauf, sondern durch die Schichtflächen gegeben ist, für die Orientierung der Kalzitkörner maßgebend. Erst im weiteren Verlauf des Wachstums, wenn die Unebenheiten des Untergrundes schon ausgeglichen und die Körner größer ausgebildet sind, erfolgt auf Grund der geometrischen Auslese eine Einregelung der Kalzite entsprechend dem durchschnittlichen Verlauf der Gangwand ohne Rücksicht auf die kleineren Unregelmäßigkeiten derselben.

Abb. 25.

Das Diagramm 26 zeigt die Achsenlagen eines Kalzitrasens vom zweiten Typus. Die Regelung ist hier noch schärfer mit einem Maximum

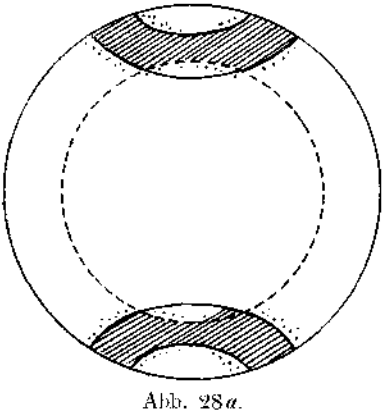


Abb. 28*a*.

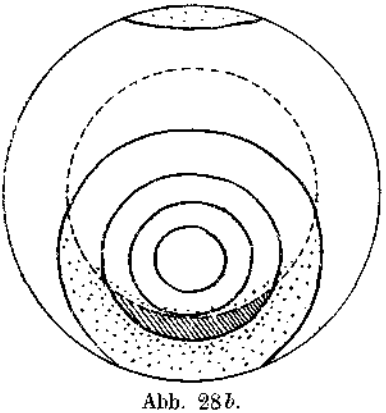


Abb. 28*b*.

von über 50%, bei sehr geringer Streuung. Die Achsenlagen stehen entsprechend der Stengelrichtung zu den Schichtenlagen schief unter einem Winkel von 80°.

Von den hier sehr zahlreich vorkommenden und deutlich ausgebildeten Zwillingslamellen wurden auch Diagramme ausgemessen. Diagramm 27 stellt die dem Achsenlagendiagramm 23 entsprechenden Lamellenpole dar. (Schliff parallel zur Stengelung.)

Theoretisch sollen hier die Lamellenpole einen Gürtel um die Hauptachse bilden, dessen Mittellinie im Abstand von $26^1/_4$° von der Haupt-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

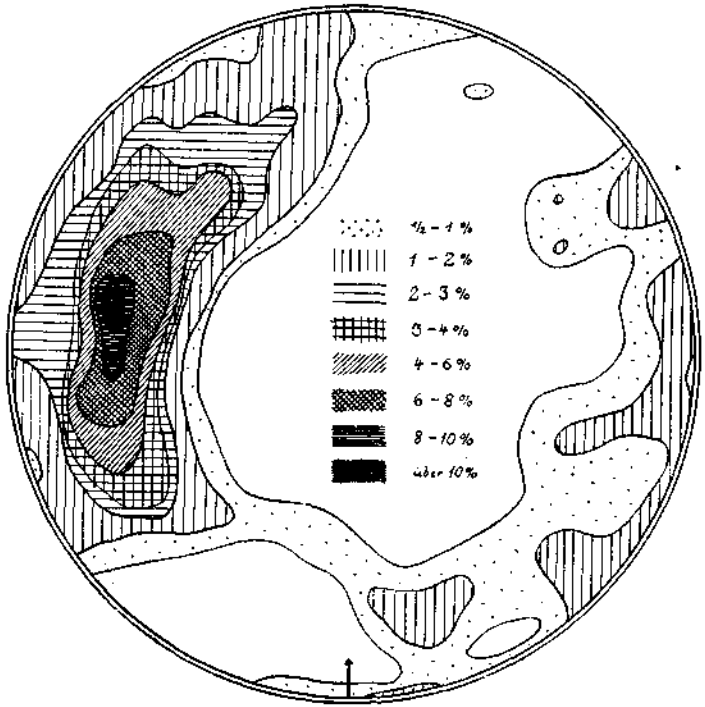


Abb. 27. Seefelder Kalzitrasen, senkrecht s Rand, 248 Pole der Zwillingslamellen. Musterung wie in Abb. 29.

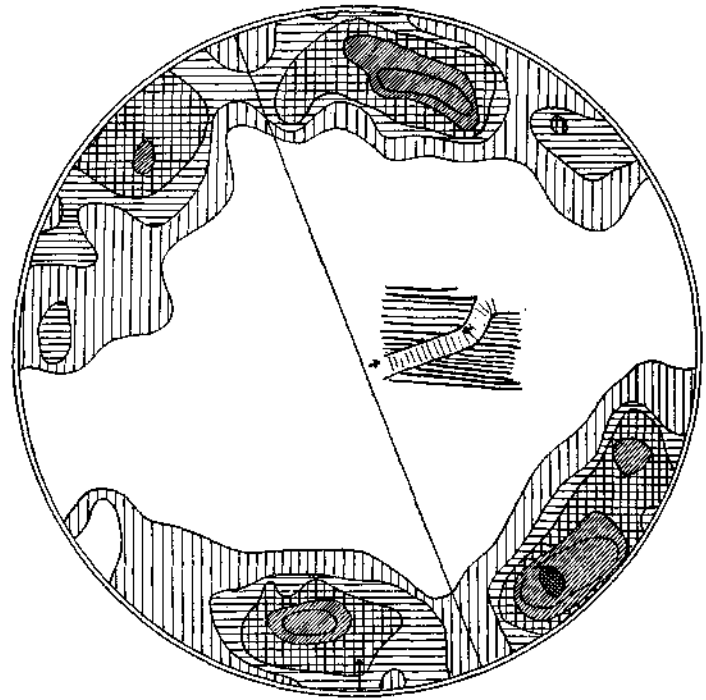


Abb. 29. Seefelder Kalzitgang, parallel s, 394 Pole der Zwillingslamellen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

achse verläuft; die Breite dieses Gürtels wird dann durch die Streuung bedingt, also gemäß dem Achsendiagramm hier etwa 30°. Der mittlere Teil des Diagrammes mit einem Radius von 50 bis 60 fällt als nicht meßbar weg (siehe Abb. 28 *a*).

Damit stimmen auch im wesentlichen die ausgemessenen Diagramme überein. Nur sind die Maxima gewöhnlich etwas weiter nach außen gerückt als der Schwerlinie des Gürtels entspricht, auch sind die Zusammenhänge der Maxima mit zu wenig Punkten besetzt. Diese Abweichungen zeigten auch die anderen vermessenen und hier nicht abgebildeten Lamellenpoldiagramme.

Die Lamellenpole eines senkrecht zur Stengelung geschnittenen Schliffes stellt Diagramm 29 dar. Es ist derselbe Kalzitgang, wie bei Diagramm 26, wo also die *c*-Achsen schief (unter 80°) auf die Schichtenflächen stehen und damit auch schief auf den Schliff, der parallel den Schichten geschnitten ist. Die Pole der Lamellen besetzen also einen Gürtel, der exzentrisch liegt und von dem dann nach Abzug des nicht beobachtbaren Mittelfeldes ein halbmondförmiges Maximum übrigbleibt (siehe Abb. 28 *b*).

Kalzitgänge in den oberrhätischen Kalken von Zürs.

In den oberräthischen Kalken an der Valluga (Arlberggebiet, anstehend an der Felsschwelle unterhalb des Pazielferners) gibt es Bildungen, die z. T. den großoolithischen äußerlich sehr ähnlich sehen und auch schon damit verwechselt wurden. Sie durchziehen entweder in langen 1—3 *cm* breiten Gängen das Gestein in verschiedenen Richtungen oder bilden die Zwischenmasse von eckigen Bruchstücken.

Sie bestehen aus sehr grobkristallinem Kalzit mit einer Korngröße von 1 bis 2 *mm* im Querschnitt bei normaler Ausbildung. Die Farbe ist hellgrau gefleckt und geht in der Wachstumsrichtung allmählich in Weiß über.

Unter dem Mikroskop läßt sich leicht erkennen, daß diese Gangbildungen mit der Großoolithstruktur nichts zu tun haben. Es unterscheidet sie davon vor allem die Lage der optischen Achsen, die nämlich parallel zur Faserachse ist. Es sind gewöhnliche Kalzitgänge, die vielmehr den (querlaufenden) Seefelder Kalzitgängen ähneln.

Sie bestehen aus grobkörnigen, länglich (senkrecht zur Wand) gestreckten Kalziten, mit mehr eckigem Umriß, die mit sich allmählich verbreiternden Korndurchmesser aus den am Rande befindlichen Zonen kleiner, mehr regelloser Körner, gegen die Mitte des Ganges zusammenwachsen. Zur Ausbildung einer Mittelnaht kommt es hiebei nicht. Deutliche Zwillingslamellierung ist reichlich vorhanden. Die Körner sind durch beigemengtes bräunliches Pigment und Trübungen meist etwas trübe, u. zw. verschiedene Kristalle in verschiedenem Maße, daher auch das fleckige Aussehen.

Diese Bildungen sind also mit Kalzit verheilte Risse und Hohlräume, deren Entstehung in schon verfestigtem Gestein erfolgt ist, wie die eckigen Bruchstücke zeigen. Die zugeführte Karbonatlösung war mit feiner toniger Substanz verunreinigt, die manchmal vorübergehend so zunahm, daß eine Unterbrechung der Kalzitrasenbildung eintrat. Es kam dadurch zur Ausbildung geschichteter Gänge. Siehe Abb. 30.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die Wachstumsrichtung geht von links nach rechts. Das Wachstum der ersten Schicht wurde durch Absatz von toniger Substanz unterbrochen, die sich als dünne Schicht darüberlegte, dabei auch etwas in die an der Oberfläche vorhandenen Zwischenräume eindrang, so daß eine girlandenartige Grenzfläche entstand. Die Entwicklung der sich über dieser tonigen Schicht neu ansetzenden Kalzitkristalle wurde bald wieder (nach 0·1 *mm* Breite) durch eine tonige Ablagerung unterbrochen. Erst die nächste Lage konnte sich dann ungestört entfalten (3 *mm* Breite). Dasselbe vollzog sich auf der anderen Seite des Ganges. In der Mitte stießen beide Kristallrasen in einer zickzackförmigen unregelmäßigen Linie mit den Kristallenden zusammen.

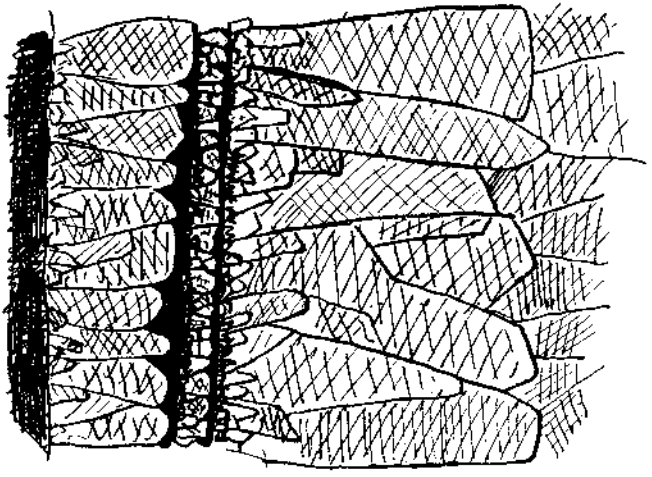


Abb. 30.

Verheilter Zugriß in einem Silurkalk.

Das mir von Herrn Dr. Ohnesorge freundlich überlassene Stück besteht aus paläozoischem Kalk (Silur) der Kitzbüchler Alpen und enthält einen mit Kalzit und Quarz verheilten Zugriß. Der Fundort war nach Angabe Dr. Ohnesorges in einem Graben auf der Nordseite des vom Klein-Rettenstein gegen Paß Thurn ziehenden Rückens. Der Kalk gehörte einem in engem Verband mit der Grünschieferdecke stehenden, von N nach S geschuppten Komplex an.

Das im Handstück dunkelgraue Gestein besteht aus $^1/_2$—1 *mm* großen Kalzitkörnern, die unter dem Mikroskop starke undulöse Auslöschung und zerbröselte Ränder zeigen. In den Intergranularen ist reichlich graphitische Substanz enthalten.

Um festzustellen, ob die Kalzite des Grundgesteins schon irgendeine bevorzugte Richtung besitzen und dadurch auf die Regelung der Gangfüllung einwirken, wurde von ihnen ein Diagramm aufgenommen. Wie dieses zeigt (Diagramm 31) ist keine bevorzugte Orientierung zu bemerken. Den geringen (nur 2—3% Übersetzung) ziemlich gleichmäßig verstreuten Dichteanhäufungen kann, besonders in Anbetracht des relativ kleinen vermessenen Gebietes, wohl keine Bedeutung zugemessen werden.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Bei Ausmessung eines größeren Bereiches könnte vielleicht noch eine Regelung aufgefunden werden, die aber infolge der jedenfalls geringen

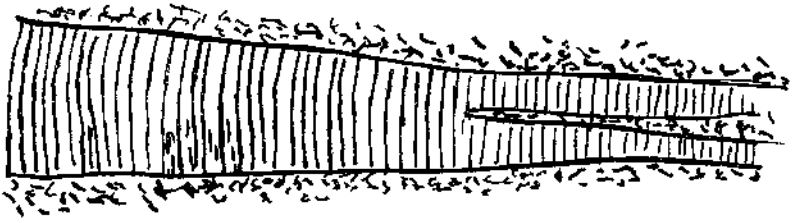


Abb. 32.

Ausprägung für einen Einfluß auf die Orientierung der Gangfüllung nicht in Betracht kommt. Wohl ist jedoch eine andere Feststellung von Wichtigkeit, die während der U-Tisch-Aufnahme gemacht wurde, nämlich

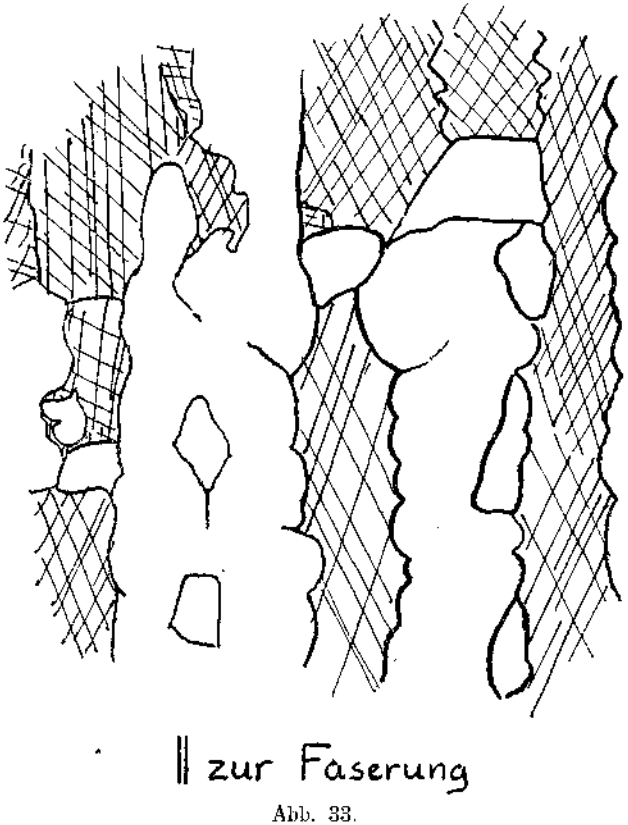


Abb. 33.

daß Gruppen von nebeneinander liegenden Körnern annähernd dieselben Achsenlagen haben. Aus dem fertigen Diagramm ist dies nicht mehr zu ersehen, da sich diese Gruppen gegenseitig überdecken.

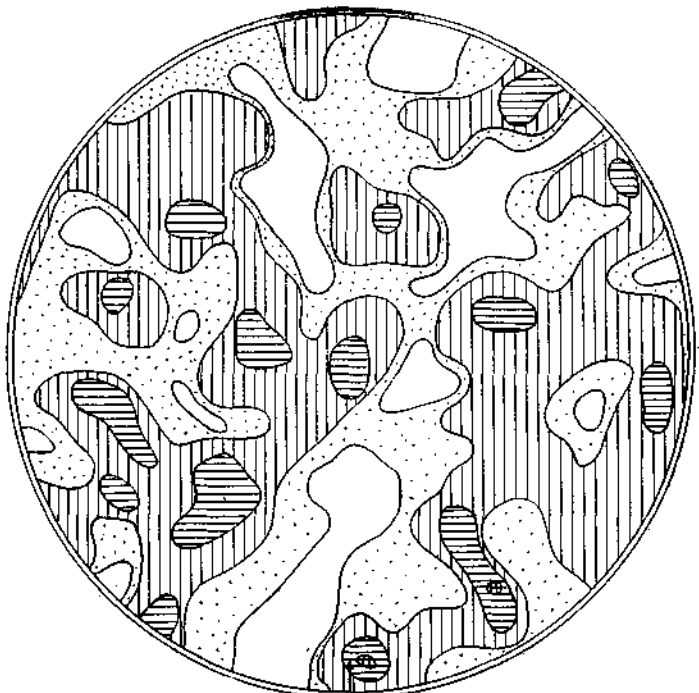


Abb. 31. Silurkalk, Paß Thurn, Kalzite im Gestein, 330 Achsenpole.

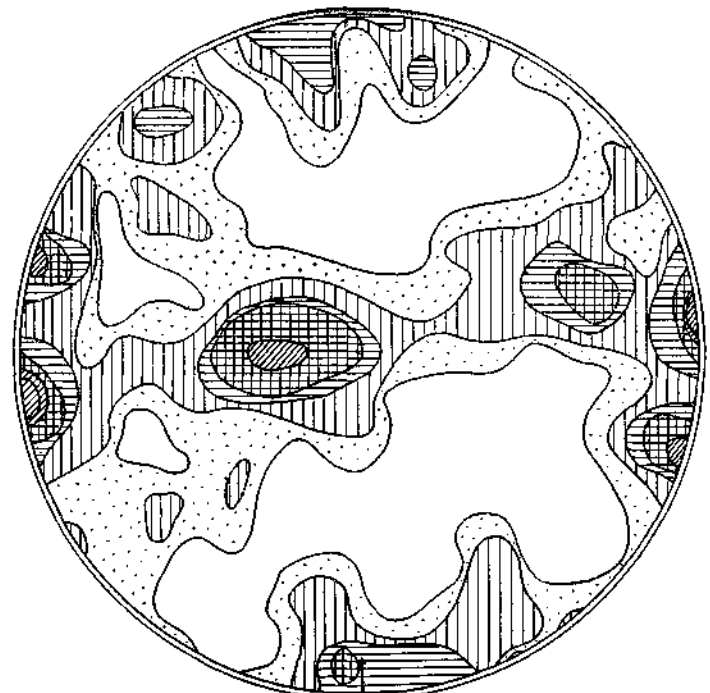
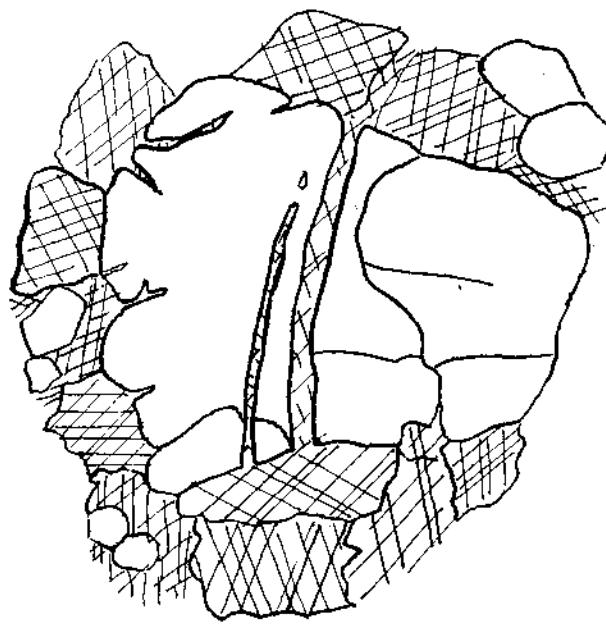


Abb. 35. Silurkalkgang, Paß Thurn, Quarze, 394 Achsenpole.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Der Zugriß (Abb. 32) ist erfüllt von faserigem Kalzit mit der Faserrichtung senkrecht zur Gangwand und dazwischen eingelagerten Quarzkörnern, die soweit sie stengelige Form besitzen, auch dieselbe Längserstreckung haben. Graphitische Substanz ist hier nicht mehr vorhanden, der Zugriß hebt sich deshalb auch mit seinem reinen Weiß deutlich vom umgebenden Gestein ab. Die Faserrichtung verläuft fast genau senkrecht zur Wandung, so daß bei nicht parallelen Gangwänden, wie bei dem vorliegenden Stück, bei dem der Gang auskeilt, in der Mitte ein Knick entsteht. Sonst ist aber das Zusammentreffen der von beiden Wänden herkommenden Fasern durch nichts gekennzeichnet. Fehlt nun



⊥ zur Faserung

Abb. 34.

dieser Knick, laufen also die Fasern beiderseits zueinander parallel, so läßt sich nicht erkennen, wo die Grenze zwischen den von der einen und von der anderen Wand kommenden Fasern ist; sie gehen allmählich ineinander über. Unter dem Mikroskop zeigt sich auch im Falle des Knickes keine scharfe Grenze, etwa eine Naht. Der Knick zeigt sich hier nur als Umbiegung der durchlaufenden Fasern. Die Auslöschungsrichtung macht diese Umbiegung auch nicht mit, sondern bleibt einheitlich. Es sind also sozusagen Pseudomorphosen nach mechanisch deformierten Kristallen gleicher Art.

Die Quarze sind immer mehr rundlich geformt, wenn auch sehr zahlreiche stengelförmige Querschnitte vorkommen. Die Umgrenzung ist jedoch stets deutlich abgerundet, besonders gegen den Kalzit. (Abb. 33 und 34.)

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

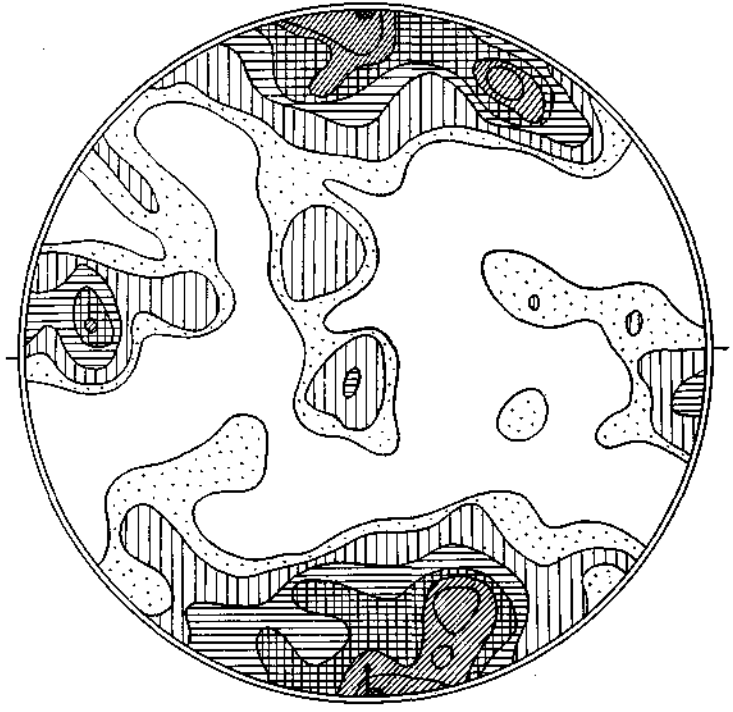


Abb. 36. Silurkalkgang, Paß Thurn, Kalzite, 430 Achsenpole.

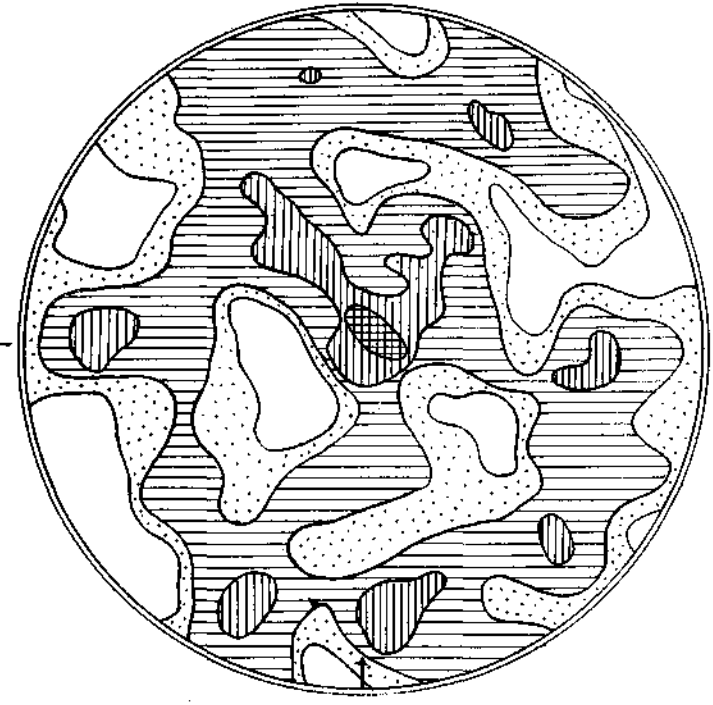


Abb. 39. Buntsandstein, Ellmau, Quarze im Gestein. 280 Achsenpole.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Der Kalzit tritt immer in langstengeligen Formen auf, deren Querschnitt häufig nur sehr schmal ist. Ihre Begrenzung untereinander ist unregelmäßig zackig. Dem Quarz gegenüber besitzt er nie eigene Formen. Er füllt nur immer mit rundlich konkaver Begrenzung, entsprechend den Umrissen der Quarzkörner, deren Zwischenräume aus, und dringt hiebei in Form von Ausläufern in alle Unebenheiten der Oberfläche der Quarzkörner ein. Auch ganz durchlaufende Risse und Sprünge sind oft davon erfüllt.

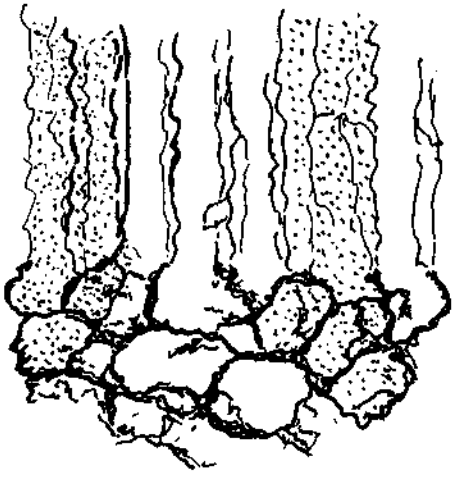


Abb. 37.

Aus dem Diagramm 35 ist zu ersehen, daß der größte Teil der Quarze (62%, also ungefähr $^2/_3$) mit der *c*-Achse senkrecht zur Wand angeordnet sind, wie es der normalen Wachstumsregel entspricht. Das restliche Drittel der Achsenlagen verteilt sich mit mehreren Häufungsstellen auf einen äquatorialen Gürtel. Dazwischen bleiben dann zwei unterbesetzte Zonen. Die Ursache der abweichenden Regel: *c*-Achse parallel zur Wand könnte auf Zwillingsbildung beruhen.

Bei den Kalziten (Diagramm 36) ist die Mehrzahl mit den *c*-Achsen parallel zur Wand eingestellt. Auf dem Diagramm erscheint also ein äquatorialer Gürtel. Wieder deutlich davon durch ein unterbesetztes Gebiet abgetrennt ist dann ein Polmaximum vorhanden, das Kalzitkörnern entspricht, die mit ihren c-Achsen senkrecht zur Gangwand eingestellt sind.

Betrachtet man die Grenze Gestein—Gang im Dünnschliff, so sieht man, daß zwischen beiden Bereichen, abgesehen von der weiter ab von der Wand erfolgten stengeligen Ausbildung der Gangkalzite, keine weitere Trennung vorhanden ist, als daß an der Grenze gegen den Gang die graphitische Substanz des Gesteines aufhört. Die Kalzitkörner greifen jedoch unverändert vom Gestein in den Gang über. Im Gestein sind nun, wie schon erwähnt Gruppen von Körnern vorhanden, deren Achsen annähernd gleich gerichtet sind, und aus solchen am Rande des Ganges befindlichen Gruppen wachsen gleichgerichtet die Kalzitstengel des Ganges gruppenweise heraus. Besonders deutlich ist dies bei solchen Körnergruppen zu sehen, die mit ihren Achsen senkrecht zur Schliffläche stehen und sich daher durch ihre niederen Interferenzfarben deutlich herausheben. Die Gangkalzite wurzeln also gewissermaßen im Gestein. (Abb. 37.)

Es ist also die Regelung der Gangkalzite abhängig von der Orientierung der Kalzite im Gestein.

Würde weiter keine Auslese mehr stattfinden, so müßten die Gangkalzite ungeregelt sein und sich nur Gruppen homoaxer Körner bilden.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Nun sind aber beim Wachstum der Kalzite im allgemeinen zwei Richtungen der *c*-Achsen bevorzugt: *c*-Achse senkrecht zur Wand und *c*-Achse parallel zur Wand. In diesem Sinne findet nun eine Auslese statt.

Nimmt man an, daß von allen möglichen Richtungen (Lagen auf der Kugeloberfläche) nur die Lagen mit der Abweichung vom Winkel α von den bevorzugten Richtungen Pol und Äquator zur Ausbildung kommen, so entfallen auf die Gürtelzone um den Äquator $\sin \alpha$ Lagen, auf die Polkappen $\sin^2 \alpha/_2$ Lagen, bezogen auf alle möglichen Lagen (Kugeloberfläche = 1). Da $\sin^2 \alpha/_2 < \sin \alpha$ ist, so muß die Einstellung parallel zur Wand überwiegen, und zwar um so mehr, je kleiner der Winkel α, also die Streuung ist. (Abb. 38.)

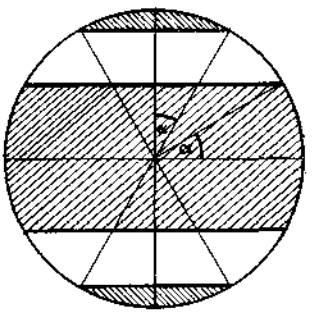


Abb. 38.

Kommen bei der Auslese nur die Körner zur Entwicklung mit einer Abweichung bis zu 30° von der Lage Achse parallel bzw. senkrecht zur Wand, so verhalten sich dann die wandständigen zu den wandparallelen Lagen wie 21 : 79, wie eine einfache Rechnung zeigt. Im Diagramm muß also der äquatoriale Gürtel viermal mehr Achsenpole zählen als die Polmaxima.

Das ausgemessene Diagramm ergab hiefür das Verhältnis 1 : 2·5. Die Abweichung kann davon herrühren, daß die Auslese in einer Richtung (Achse senkrecht zur Wand) nicht so scharf erfolgte, also die Streuung größer war als in der anderen, wie es der Fall ist, wenn die Wachstumsform etwa ein Grundrhomboeder (1011) ist. Denn da ist der Durchmesser in der Richtung senkrecht *c* größer und diese daher mehr bevorzugt.

Gang im Buntsandstein von Ellmau.

Das Stück stammt aus dem Buntsandstein südlich des Kaisergebirges. Der Fundort war bei Ellmau.

Das Grundgestein besteht aus Quarz und Kalzitkörnern mit eingestreuten Glimmerschüppchen, die in einer Richtung *s* etwa 60° schief zum Gang liegen. Die Quarze sind in 0·1—0·2 *mm* großen, unregelmäßig umgrenzten Körnern vorhanden mit undulöser Auslöschung. Körner, bei denen man eine Längserstreckung feststellen kann, liegen mit dieser ungefähr in der *s*-Richtung entsprechend den Glimmerschüppchen. Trotzdem ist, wie das Diagramm (Abb. 39) zeigt, die optische Orientierung der Quarze im allgemeinen ungeordnet. Von einer bevorzugten Richtung ist hier nichts zu bemerken. Der Kalzit ist in kleinen unregelmäßigen Fetzen vorhanden, deren Einmessung nicht möglich war.

Der Gang besteht aus stengeligem Quarz und Kalzit in ziemlich gleichmäßiger Verteilung. Er zerfällt durch einen Streifen mit Resten von Buntsandstein in zwei ungleiche Teile, die sich bezüglich Wachstumsgefüge selbständig verhalten. Auch der mittlere Teil zeigt neben den Buntsandsteinresten dazwischen sekundär gebildetes Wachstumsgefüge.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die Quarze zeigen deutlich keulenförmige Wachstumsformen; am Rande des Ganges noch kleiner Querschnitt, dann in der Richtung des Wachstums breiter werdend. Die Wachstumsrichtungen gehen im allgemeinen von beiden Seiten des Ganges aus, eine Richtung, nämlich vom schmäleren zum breiteren Gang hin, herrscht jedoch bei weitem vor (Abb. 40).

Beim Kalzit lassen sich selbständige Wachstumsformen schwerer feststellen, hingegen macht es öfters den Eindruck, als würde er nur Zwischenräume ausfüllen. Vereinzelt sieht man auch Risse im Quarz von Kalzit ausgefüllt.

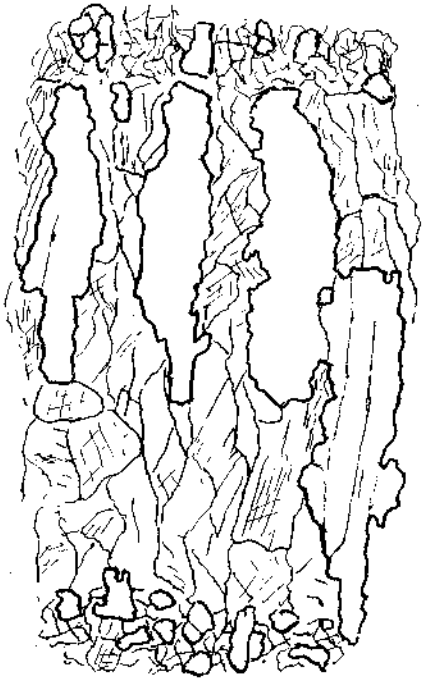


Abb. 40.

Aus dem Diagramm (Abb. 41) geht hervor, daß der größte Teil der Quarze wieder wandständig geregelt ist, jedoch auch ein beträchtlicher Teil der Körner in wandparalleler Achsenlage vorhanden sind. Darunter sind auch große, schön ausgebildete. Im Diagramm ist infolge der schiefen Schnittlage des Schliffes zur Stengelrichtung das Polmaximum sowie auch der Äquatorgürtel um etwa 10° verschoben.

Der Kalzit zeigt hier hingegen (Diagramm Abb. 42) ausnahmslose Regelung der Achse parallel zur Wand, auch bei ganz rundlichen Körnern. Doch ist die Regelung im breiteren Gangteil viel besser als im schmäleren, wo auch die Stengel nicht so schön ausgebildet sind, ist aber jedenfalls deutlich vorhanden.

Auch im Grundgestein zeigt der Kalzit an Körnern, die eine deutliche Längserstreckung besitzen, immer eine Achsenlage senkrecht zu dieser Richtung, mag auch die Längsrichtung dieser Körner im Gestein ganz beliebig liegen. Wahrscheinlich sind diese Körner auch erst nachträglicher Entstehung und haben sich unter denselben Bedingungen wie die Gangkalzite durch Wachstum unter Lösungszufuhr gebildet, wobei die bessere Wegsamkeit im Intergranularennetz bestimmend war für die Richtung der Längserstreckung der Körner und damit auch (senkrecht dazu) für die Lage der *c*-Achse.

Daß die *c*-Achsenrichtung hier und bei den Gangkalziten senkrecht auf die Hauptwachstumsrichtung steht, deute ich als Folge der Wachstumsbedingungen, die bewirkten, daß die Richtung größter Wachstumsgeschwindigkeit senkrecht zu *c* liegt.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

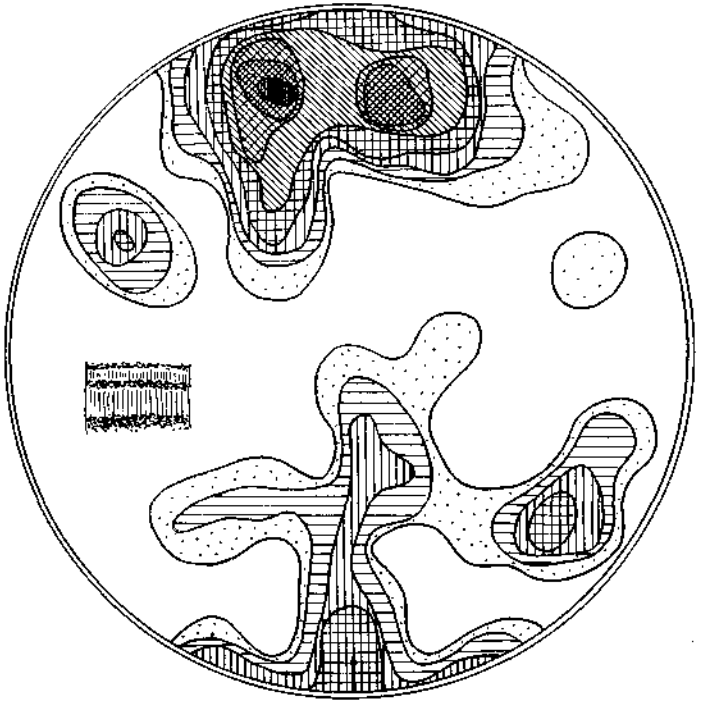


Abb. 41. Gang im Buntsandstein, Ellmau, parallel *f*, Quarze, 172 Achsenpole.

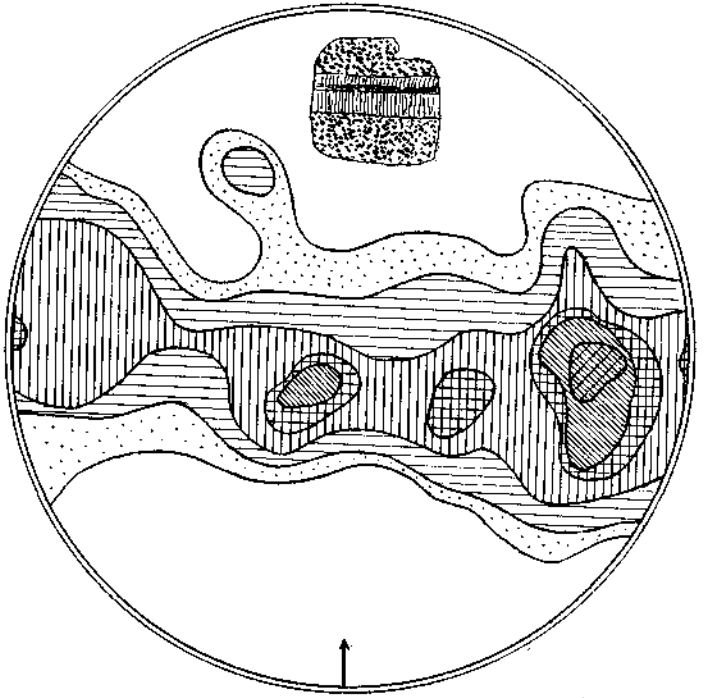


Abb. 42. Gang im Buntsandstein, Ellmau, parallel *f*, Kalzite, 313 Achsenpole.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Erzbergit.

Zu den Sinterbildungen, die nebeneinander Aragonit und Kalzit enthalten, gehört der im steirischen Erzberg vorkommende, von Hatle[1]) beschriebene und „Erzbergit" genannte Sinter.

Er besteht in der Hauptsache aus weißem, hie und da auch dunkelgefärbtem, sehr feinfaserigem Aragonit, in dem bräunliche und farblose Kalzitzwischenlagen eingeschaltet sind. Die bräunlichen Lagen sind, wie später gezeigt wird, primärer, die farblosen sekundärer Natur.

Sowohl die Aragonit- als auch die Kalzitlagen schwanken oft in ihrem Verlauf sehr in ihrer Mächtigkeit, dabei können die Verdickungen der einzelnen Lagen einander entsprechen, so daß eine außerordentlich höckerige und mit tiefen Furchen versehene Oberfläche zustande komme, wie das die Abbildungen in der angeführten Arbeit von Hatle schön zeigen (siehe auch Abb. 43) oder die Dickeschwankungen sind in den einzelnen Schichten ganz unregelmäßig verteilt, so daß sich die Dickeschwankungen gegenseitig wieder ausgleichen, wie das an dem untersuchten Stück der Fall war.

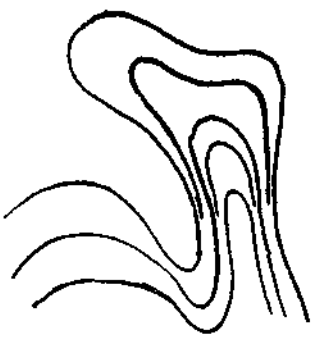


Abb. 43.

Der Nachweis von Aragonit und Kalzit, bzw. ihre Trennung wurde mit Hilfe der bekannten Färbemethoden durchgeführt, mit Eisensulfat- und mit Kobaltnitratlösung. Letztere Methode wurde, da ein Kochen der Schliffe sich als nicht vorteilhaft erweist, dahin abgeändert, daß die Schliffe (und auch Anschliffe) in eine etwa 5—10%ige Kobaltnitratlösung eingelegt und darin (ohne Erwärmung) ungefähr 24 Stunden belassen wurden. Die Färbung war dann hinreichend stark, so daß auch in feinen Einzelheiten unter dem Mikroskop Aragonit und Kalzit unterschieden werden konnten. Sie ist auch genügend haltbar, um die gefärbten Schliffe als Dauerpräparate aufbewahren zu können.

Auf Grund dieser Feststellungen ließen sich in den untersuchten Schliffen der stets sehr feinfaserige, meist weiße Aragonit leicht auch ohne Anfärbung vom bräunlichen durchsichtigen bis durchscheinenden Kalzit, bzw. vom farblosen sekundären Kalzit leicht unterscheiden. Ein anderes gutes Unterscheidungsmerkmal bot auch die Form der einzelnen Fasern, deren prismatische Natur beim Aragonit immer deutlich zu erkennen war, während beim Kalzit die Fasern sich nach oben hin verbreitern, wenn er nicht überhaupt grobkörnig ausgebildet ist.

Ein Übersichtsbild eines Dünnschliffes von Erzbergit gibt Abb. 44.

Der sehr feinfaserige Aragonit (Faserbreite etwa 2—5 μ) ist zu schwach divergenten Büscheln angeordnet, nur beim Neuansatz der Aragonitschichten (Wachstumsbeginn) ist stärkere Divergenz vorhanden.

---

[1]) Dr. E. Hatle, Fünfter Beitrag zur mineralogischen Topographie der Steiermark, 1892, S. 4. — Leitmeier, Aragonit in Doelter, Handbuch der Mineralchemie, I., S. 349.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Außerdem ist der Aragonit noch von feinen bräunlichen Schichten durchsetzt, die aus schichtweise angeordneten eisenoxydhaltigen Einlagerungen zwischen den Aragonitfasern bestehen.

Der primäre Kalzit, der makroskopisch bräunlich erscheint, ist unter dem Mikroskop ganz farblos bis auf die feine braune Schichtung, die hier ähnlich, nur meist etwas schwächer, wie beim Aragonit gir-

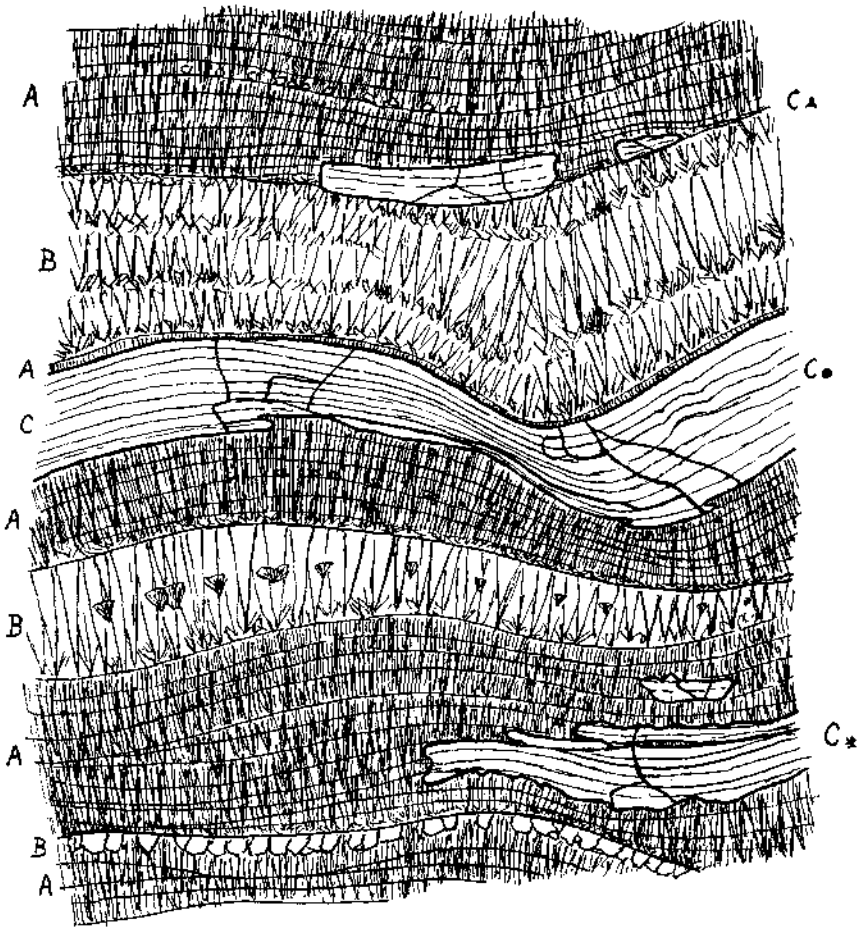


Abb. 44. Dünnschliff von Erzbergit.
A = Aragonit, *B* = primärer Kalzit, *C* = sekundärer Kalzit.

landenartig die Büschel durchzieht. Das Korn ist beim Kalzit bedeutend gröber als beim Aragonit: die Büschel auch viel breiter, mehr fächerförmig. Am Beginn der Büschel ist die regellose Anordnung der zuerst ausgebildeten Kristalle immer deutlich ausgeprägt.

An den Grenzen — Kalzit (unten), Aragonit (oben) — ist deutlich die primäre Aufeinanderfolge der beiden Bildungen zu erkennen. Auf der durch einzelne hervorstehende Kristallenden von Kalzit unregelmäßigen

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Oberfläche der Unterlage haben sich Wachstumsbüschel von Aragonit angesiedelt, u. zw. zunächst nicht überall gleichmäßig, sondern nur an einzelnen Stellen, so daß sie genügend Platz hatten, um sich selbständig breit zu entwickeln. Erst im weiteren Verlauf wuchsen sie dann zusammen und lieferten wieder die gewöhnliche parallelfaserige Struktur. Die Kalzite wuchsen noch, solange zwischen den Aragonitbüscheln Platz war, weiter, wurden aber dann bald vom Aragonit überwuchert.

Dasselbe Bild ergibt sich auch beim Übergang Aragonit-Kalzit, nur bilden sich vom Kalzit gleich viel gröbere Körner aus. Das Fortwachsen der feinen Aragonitfasern in die Kalzitzwischenräume ist auch hier ganz gut zu sehen (siehe Abb. 45).

Abb. 45.

Häufig kommt es nur zu einer ganz vorübergehenden Modifikationsänderung, es vermögen sich z. B. nur einzelne Keime zu Aragonitbüscheln auszubilden, während sonst die Kalzite unverändert weiterwachsen. In der untersten Kalzitlage des abgebildeten Schliffes ist eine solche Reihe vereinzelter Aragonitbüschel vorhanden.

Auch zu vorübergehender Kalzitausscheidung innerhalb der Aragonitschichten kommt es öfters. Der Kalzit tritt aber dabei immer in einzelnen größeren Kristallen oder in Aggregaten von nur wenigen Kristallindividuen auf. Da die Breite der Körner in der Wachstumsrichtung zunimmt, so erhalten sie im Querschnitt eine dreieckige Form, deren Spitze nach unten gerichtet ist. Auch im Schnitt parallel zur Schichtung haben sie gewöhnlich die Form eines (gleichseitigen) Dreieckes, die hier vom Wachstums-Rhomboeder (-Skalenoeder) herrührt.

Im Diagramm, Abb. 46, ist die Verteilung der in der untersten Aragonitschichte des Schliffes eingelagerten Kalzite dargestellt. Die Einstellung der *c*-Achsen senkrecht zur Schichtung ist sehr ausgeprägt, besonders in Anbetracht dessen, daß die Kalzite hier erst den Beginn einer Wachstumsperiode darstellen.

Für die anderen Kalzitlagen des Schliffes sowie für die Aragonitschichten ergaben sich auf Grund von vier ausgemessenen, aber hier nicht dargestellten Diagrammen ganz entsprechende Verteilungen der Achsenlagen: *c*-Achsen senkrecht zur Schichtung mit einer Streuung von ungefähr 50—70°.

Der sekundäre Kalzit, der farblos und durchsichtig bis stark durchscheinend ist, ist in verschiedenlangen, oft plötzlich unterbrochenen Schichten im Aragonit eingelagert. Im Handstück fällt schon die Grobspätigkeit auf. Die Einlagerungen bestehen nämlich in der Regel aus nur wenigen großen Körnern, die die ganze Schicht zusammensetzen, manchmal nur aus einem einzigen Kristall.

Dieser Kalzit liegt nur innerhalb des Aragonits, nie im primären Kalzit und zeigt noch deutlich die Reliktstruktur des Aragonits, nämlich die feine braune Schichtung, die unverändert hindurchgeht, sowie auch oft noch eine Andeutung der Faserung. Im ganzen folgt er ziemlich

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

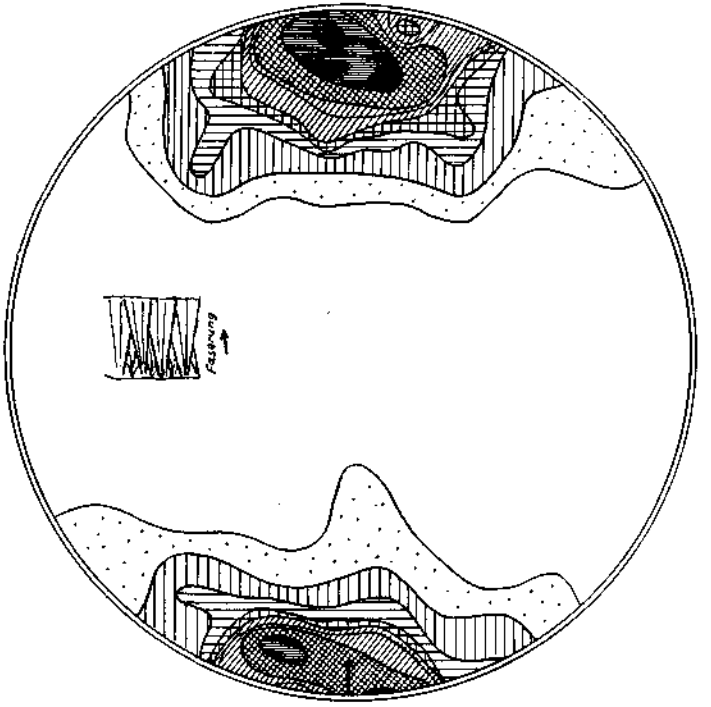


Abb. 46. Erzbergit, 328 Achsenpole der primären Kalzite.

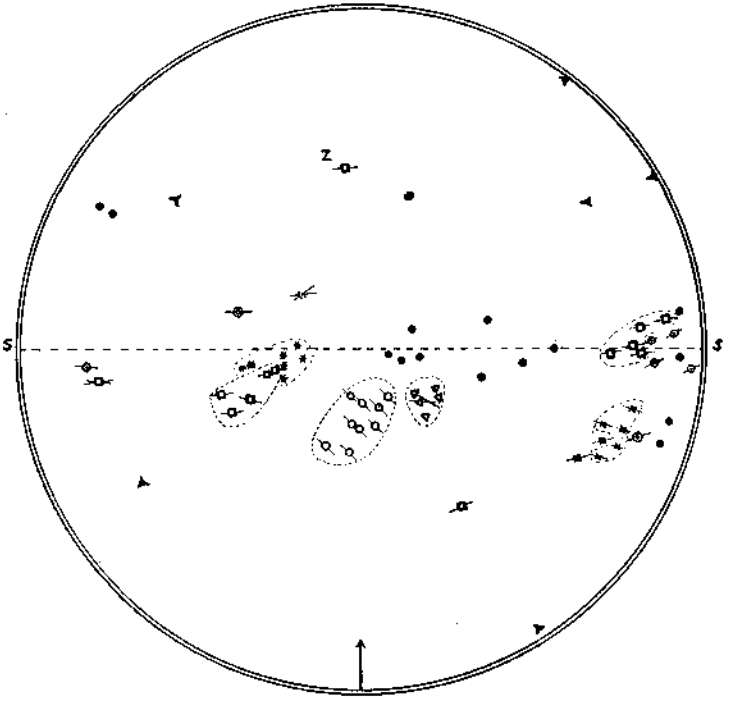


Abb. 48. Erzbergit, Achsenpole der sekundären Kalzite.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

der Schichtung, bricht aber dann plötzlich ab. Die Grenze gegen den unveränderten Aragonit ist immer etwas abgerundet, sie folgt meist mit kleinen Unregelmäßigkeiten den Schichtenlinien, geht aber häufig auch quer hindurch. Kennzeichnend ist das Übergreifen auf eine andere Schichtenlage, wobei vielfach noch unveränderte Reste von Aragonit dazwischen erhalten geblieben sind, wie es Abb. 47 darstellt.

Die Achsenlagen des sekundären Kalzits sind im (verschiedenen Schliffen entnommenen) Diagramm, Abb. 48, dargestellt. Gleiche Signaturen entsprechen hiebei zusammenhängenden Korngruppen, sie sind nach Möglichkeit auch durch eine strichlierte Umgrenzungslinie zusammengefaßt. Die Achsenlagen der dem abgebildeten Schliff entnommenen Körner (bezeichnet durch Punkte, Sternchen und Kreise, diese Zeichen sind auch in der Abbildung den entsprechenden Schichten beigesetzt) wurden alle auf die in ihnen enthaltene Schichtung bezogen und dann auf eine gemeinsame Horizontale zurückgeführt. Die angegebenen Achsenlagen stellen also immer die Lage in bezug auf die

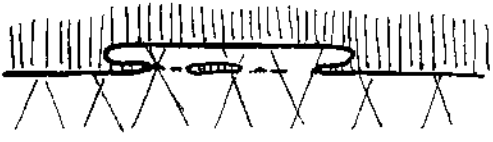


Abb. 47.

zum Korn gehörige Schichtung dar. Bei den Körnern, die anderen Schliffen entnommen sind, ist die jeweilige Schichtung durch längere Querstriche dargestellt, die die Richtung des Schichtenverlaufes angeben. Hier wurden die Lagen nicht auf eine einheitliche Ebene zurückgeführt, sondern nur auf eine mittlere Schichtenlage bezogen, weil in einem einzigen Korn die Schichtenlage oft sehr stark wechselte. Ein Korn hätte so mehrfach dargestellt werden müssen und die zusammengehörigen Gruppen wären dann ganz auseinandergerissen worden. Nicht berücksichtigt konnten in diesem Diagramm die Abweichungen der Schichtenlagen aus der Richtung normal zum Schliff werden, da diese nur schwierig feststellbar waren.

Aus diesem Diagramm ergibt sich somit eine bevorzugte Lage der *c*-Achse parallel zur Schichtung. Ferner, daß die Körner einer Gruppe meistens, allerdings nicht immer, mit ihren Achsen eine annähernd parallele Lage haben. Manchmal ergeben sich ziemlich starke Abweichungen in der Achsenrichtung benachbarter Körner. Hier können möglicherweise Zwillingsverwachsungen eine Rolle spielen, so schließt das eine mit einem *z* bezeichnete Korn, als Einschluß in einem größeren, mit diesem einen Winkel von rund 50° ein. Der Zwillingswinkel für (0112) als Zwillingsebene beträgt 52° 30½′.

Wie aus dem häufigen Wechsel von Aragonit- und Kalzitschichten hervorgeht, ging die Entstehung des Erzbergites unter stets schwankenden Bedingungen vor sich. Hiebei können sich nun Temperatur, Konzentration, Lösungsgenossen und vielleicht aus Gasdruck geändert haben. Ob auch

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

der Wechsel der Jahreszeiten eine Rolle spielt, wie Leitmeier meint, erscheint bei der Unregelmäßigkeit der Schwankungen wenigstens bei den untersuchten Stücken unwahrscheinlich.

Wir haben aber hier nicht nur ein Aufeinanderfolgen von Aragonit und Kalzit in verschiedenen Schichten, sondern die beiden Modifikationen treten auch nebeneinander, also gleichzeitig in ein und derselben Schicht auf. Die Bedingungen müssen bei dieser gleichzeitigen Entstehung dieselben gewesen sein, denn daß diese in derselben Schicht nebeneinander so rasch gewechselt haben, ist doch nicht gut anzunehmen. Aragonit und Kalzit sind in diesem Fall also unter Bedingungen entstanden, die einem gemeinsamen Bildungsbereich entsprechen (zum Unterschied vom Stabilitätsbereich, der bei Aragonit erst bei über 400° beginnt).[1])

Der gemeinsame Bildungsbereich kann sich nun entweder nur darauf beziehen, daß beide Modifikationen nebeneinander weiterwachsen können (gemeinsamer Wachstumsbereich) oder daß sich auch Keime beider Modifikationen stets bilden können (gemeinsamer Keimbildungsbereich), also z. B. neben bisher gebildetem Kalzit auch Aragonitkeime, die dann natürlich auch zur Bildung von Kristallbüscheln führen. Je nach der Zahl der gebildeten Keime im Verhältnis zur Wachstumsgeschwindigkeit des schon vorhandenen Kristallrasens und der neugebildeten Büschel werden dann die letzteren nur vereinzelt auftreten oder zahlreicher, so daß ein gemischtes Kristallaggregat entsteht. Auch die wahrscheinlich vorhandene Verschiedenheit von gemeinsamem Wachstums- und Keimbildungsbereich muß hier eine wesentliche Rolle spielen. Es werden beim Übergang von Kalzit- zu Aragonitbildungsbedingungen, wenn der gemeinsame Keimbildungsbereich erst spät beginnt, wo der gemeinsame Wachstumsbereich sich schon dem Ende nähert, zwischen beiden Modifikationen eine viel schärfere Grenze zu erwarten sein, als wenn sich die erwähnten Bereiche mehr decken.

Für die Ausbildung einer scharfen Grenze sind also günstig:

1. rascher Wechsel in den Bedingungen,
2. geringe Breite der gemeinsamen Bildungsfelder,
3. geringe Deckung beider,
4. geringe Keimbildungsgeschwindigkeit gegenüber der Wachstumsgeschwindigkeit.

Bezieht sich der gemeinsame Bildungsbereich nur auf den gemeinsamen Wachstumsbereich, so kommt für das vereinzelte Auftreten einer Modifikation in der anderen, z. B. Aragonitbüschel in Kalzit, folgende Erklärungsmöglichkeit in Betracht:

Die Aragonitkeime haben sich noch außerhalb des Absatzgebietes, wo die Lösung andere Bedingungen bot, z. B. noch wärmer, also für die Aragonitbildung günstiger war, gebildet und wurden dann erst niedergeschlagen. Hier standen die Bedingungen im gemeinsamen Wachstumsbereich (aber nicht mehr Keimbildungsbereich). Es konnte daher sowohl der Kalzit fortwachsen, als auch der Aragonit sich aus

---

[1]) Niggli, Lehrbuch der Mineralogie, Bd. I, 2. Aufl., 1924, S. 523 (Untersuchungen von Allen und Crenshaw an Zinkblende-Wurtzit).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

den von außen niedergeschlagenen Keimen neubilden, bis sich entweder die Verhältnisse wieder soweit änderten, daß ein Fortwachsen der Aragonitbüschel nicht mehr möglich war (Aufhören des gemischten Wachstumsbereiches) oder die Zufuhr von Aragonitkeimen hörte auf.

Genauere Kenntnis dieser Bildungsbereiche kann nur eine experimentelle Untersuchung über die Bildungsbedingungen geben. Doch zeigt dieses Beispiel, daß es bei Aragonit-Kalzit wenigstens einen gemeinsamen Wachstumsbereich gibt.

Der grobspätige farblose Kalzit kann, wie schon aus der Beschreibung hervorgeht, nur als sekundäre Bildung gedeutet werden. Es ist hiebei an Stelle des feinfaserigen büschelförmigen Aragonits mit den *c*-Achsen senkrecht zur Schichtung größtenteils einheitlich orientierter Kalzit getreten, dessen Hauptachsen parallel zur Schichtung liegen. Die durch Einschlüsse bedingte Feinstruktur, wie Schichtung und Faserung, blieb hiebei deutlich und unverzerrt erhalten.

An Anzeichen einer Volumvermehrung, wie sie mit der Umwandlung von Aragonit in Kalzit notwendigerweise verbunden ist (+ 5·5%), fehlt

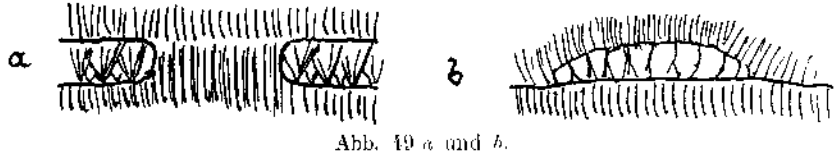


Abb. 49 *a* und *b*.

es jedoch gänzlich, so geht die feine Bänderung unverändert hindurch. Das überschüssige Kalziumkarbonat muß also in Lösung gegangen sein, was für eine Mitwirkung von Lösungen bei der Umwandlung spricht.

Zu solchen gemischten Aragonitkalzitsintern ist auch der von Berckhemer[1]) beschriebene „Aragonit" der Ulrichshöhle zu rechnen. Er zeigt auch abwechselnde Bildung von feinfaserigem seidenglänzendem Aragonit mit gleichzeitig ausgeschiedenem Kalzit. Beide sind an ihren büscheligen Wachstumsformen sicher als primär zu erkennen. Häufiger noch als bei Erzbergit läßt sich hier beobachten, wie Aragonit und Kalzit in ein und derselben Schicht nebeneinander, also gleichzeitig, gebildet wurden (Abb. 49 *a*). Der Kalzit ist dabei oft viel stärker entwickelt, so daß linsenartige Anschwellungen entstehen (Abb. 49 *b*).

Aber auch hier läßt sich nie eine vollständige Mischung von Aragonit und Kalzit beobachten, sondern immer treten beide Modifikationen deutlich getrennt, mindestens in Büscheln, auf.

Lagengefüge (Allgemeines).

An Unregelmäßigkeiten beim Kristallwachstum und überhaupt bei jedem schichtweise erfolgendem Absatz muß man unterscheiden zwischen lokalen Änderungen (verschiedene Dicke der einzelnen Schichten durch verschieden schnellen Absatz zur selben Zeit) und zeitlichen Änderungen

---

[1]) F. Berckhemer, Eine neue fossile Therme im Rhätsandstein der „Ulrichshöhle" bei Hardt O. A. Nürtingen. Jb. u. Mitt. d. Oberrhein. Geol. Ver., N. F., XII, 1923.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

(verschiedene Dicke der nacheinander sich bildenden Schichten, die Dicke ein und derselben Schicht bleibt gleich). Letztere haben auf das Lagengefüge weiter keinen Einfluß und können daher hier unberücksichtigt bleiben. Schichtung bedeutet ja an sich schon eine Änderung im Absatz und wird hier nur als räumliche Vorzeichnung der zeitlichen Aufeinanderfolge des Absatzes angesehen, die die verschiedenen Stadien des letzteren erkennen läßt. Von lokalen Änderungen wird hier abgesehen und die Annahme eines lokal ganz gleichmäßig erfolgenden Absatzes gemacht.

Da der Absatz immer senkrecht auf die Unterlage erfolgt, so muß also die Dicke der einzelnen Schicht normal auf die Schichtflächen gemessen, überall die gleiche sein. An ebene Schichtlagen legen sich daher wieder ebene Schichtlagen an. Bei gekrümmten Flächen ändert sich jedoch die Krümmung, u. zw. wird sie bei konvexen Flächen schwächer, der Krümmungsradius also größer, und bei konkaven Flächen,

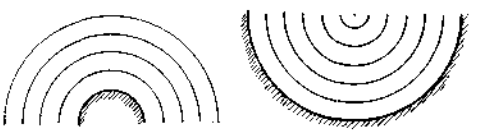


Abb. 50.

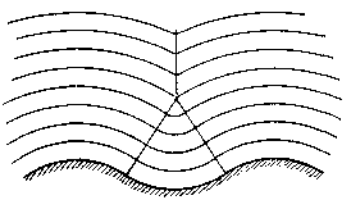


Abb. 51.

z. B. Ausfüllung eines Hohlraumes, stärker, also der Krümmungsradius kleiner bis Null, bis eben der Hohlraum vollständig ausgefüllt ist. Es ergibt sich also ein konzentrisch schaliges Gefüge (Abb. 50).

Wechseln auf der Unterlage erhabene und hohle Flächen ab, so verbreitert sich im Verlauf des Schichtabsatzes der Bereich der erhabenen Formen unter Verflachung derselben, während der Bereich der Hohlform, wenn deren Grenzlinie ursprünglich kreisförmig war, die Gestalt eines Kegels annimmt. Der konkave Teil der Lagen wird immer kleiner, bis er schließlich bei der Spitze des Kegels ganz verschwindet (Abb. 51). Ist die Begrenzung der hohlen Flächen ein Keil statt des Kegels, so bildet die Stelle des Verschwindens eine Linie. Die erhabenen Flächen stoßen dann hier mit einem Knick unmittelbar zusammen. Der Knickwinkel wird im Verlauf des Weiterwachsens zwar immer flacher, kann aber theoretisch wenigstens nie verschwinden, sondern nähert sich asymptotisch dem Winkel 180°, also der Ebene. Es entsteht im Querschnitt die für Sinterbildungen u. ä. typische sogenannte Girlandenstruktur. Die Spitzen zeigen dabei immer entgegengesetzt zur Wachstumsrichtung.

Der Verlauf dieser Knicke wird als Naht bezeichnet. Sie lassen sich vergleichen mit den Gratbahnen beim Wachstum der Kristalle,[1]) unterscheiden sich aber davon u. a. dadurch, daß sie dort durch erhabene Kanten gebildet werden, während es hier immer einspringende Winkel sind.

---

[1]) Groß, Zur Theorie des Wachstums- und Auflösungsvorganges kristalliner Materie, Abh. d. math.-phys. Kl. d. sächs. Ges. d. Wiss., 1918, S. 143.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Stoßen zwei Nähte zusammen, so verschwindet das zwischen ihnen liegende Teilstück und die beiden Nähte verlaufen als eine gemeinsame weiter (Abb. 52).

In Wirklichkeit vollzieht sich aber die Bildung des Lagengefüges mehr oder weniger abweichend von diesem theoretischen Schema. Es kommen durch die Korngröße bedingt Abweichungen zustande, die sich in einer rascheren Ausgleichung der Flächen äußern. Besonders die Nähte werden, wenn der Winkel nahe an 180° gekommen ist, zum Verschwinden gebracht. An ihre Stelle tritt dann nur eine flache Einbuchtung, bis auch diese schließlich verschwindet und die Schichtflächen ganz eben verlaufen (Abb. 53).

Ein gutes Beispiel hiefür bieten die Großoolithe, bei denen die Nähte immer sehr scharf ausgebildet sind. Dagegen sind bei den meisten sonstigen Kalksintern wegen dem meist beträchtlich groben Korn Nähte

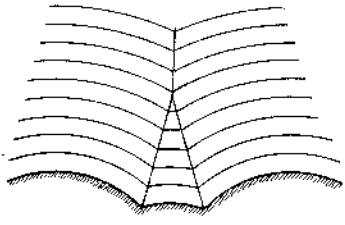


Abb. 52.

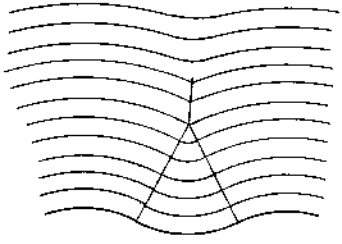


Abb. 53.

oft überhaupt nicht ausgebildet. Es kommt dann eben gleich zum raschen Ausgleich der Knicke, oder es stoßen, bei kleineren Winkeln, die beiden gegenüberliegenden Seiten des Sinters ganz unregelmäßig zusammen, indem die einzelnen Körner zahnförmig ineinander eingreifen.

Allgemeine Bemerkungen zum Wachstumsgefüge.

Für die Untersuchung der Wachstumsgefüge ist zu unterscheiden:

a) Äußere Form der Kristalle;
b) Lage der kristallographischen Hauptrichtungen (des Raumgitters) in ihnen, bezogen auf *a)*. } Bestimmend für die „Gefügetracht".
c) Anordnung der Kristalle im Gefüge, bezogen auf ihre äußere Form (radialfaserig z. B., Struktur im gewöhnlichem Sinne).
d) Anordnung der Kristalle im Gefüge, bezogen auf das Raumgitter, gegeben durch die Lage der kristallographischen, bzw. optischen Hauptrichtungen. (Regelung).

Als Ursachen für die Verschiedenheiten des Gefüges, namentlich in bezug auf *c)* kommen in Betracht:

1. Die Verteilungsdichte der Ansatzstellen für das Wachstum. Einzelne Stellen führen zur Ausbildung von breiten, stark divergenten Büscheln (Beispiel: Aragonit im Kalzit des Erzbergits) oder zu größeren Kristallen (Kalzit im Aragonit des Erzbergits). Bei zahlreichen, eng an-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

einander gelagerten Ansatzstellen entstehen nur schmale Büschel (zusammenhängender Aragonit im Erzbergit, Großoolith) oder streng parallele Fasern (Karlsbader Sprudelstein, Großoolith, Silurkalkgang).

2. Form der Anwachsfläche in bezug auf die Größe der gebildeten Kristalle. Ist sie mehr eben und glatt, so entsteht ein mehr parallelfaseriges Gefüge (Sprudelstein), ist die Unterlage hingegen uneben, so daß, auch wenn alle Kristalle senkrecht darauf angelagert sind, sie mit ihren Hauptachsen nach allen Richtungen auseinanderstreben, so entstehen mehr büschel- und fächerförmige, radialstrahlige Anordnungen (Karlsbader Aragonitsinter auf Granitgrus).

3. Raumgitter richtender Einfluß der Unterlage, besonders beim Bestehen aus gleicher Mineralart (Silurkalkgang, neuverheilte, schiefliegende Gänge im Aragonitsinter).

4. Verhältnis von Keimbildungs- zu Wachstumsgeschwindigkeit. Relativ starke Keimbildung verursacht kleinkristallines Korn (Aragonit im Erzbergit), geringe Keimbildung dagegen grobes Korn.

5. Wachstumsgeschwindigkeiten in verschiedener Richtung (siehe auch später unter geom. Auslese). Starkes Vorherrschen einer Richtung führt zu feinfaserigem, parallelem Gefüge (Aragonit), während nur schwaches Vorherrschen zu breit ausgebildeten Kristallen führt (Kalzit in der Regel).

6. Äußere Einwirkungen auf das Wachstum, die meistens zu einer Schiefstellung der Kristalle führen, wie Strömung des sedimentierenden Mediums (Sinter in Leitungsröhren), gegenseitige Verschiebung der Gangwände und dadurch Schleppung des Ganginhaltes (Buntsandsteingang.)

Je nach dem stärkeren oder schwächeren Wirken dieser Ursachen ergeben sich dann die verschiedenen Ausbildungen der Wachstumsgefüge.

Für die Ausbildung der Gefügetracht und die Entstehung der Regelung erwiesen sich folgende zwei Umstände als grundlegend:

1. Die Art des Aufwachsens der Kristallkeime auf die Unterlage.

Von Becke[1]) wurde festgestellt, daß die Kristalle so aufwachsen, daß ihre Oberfläche der Mutterlauge den größtmöglichen Lösungswiderstand entgegensetzt, sie umgeben sich also mit Flächen kleinster Lösungsgeschwindigkeit.

Kalb[2]) hat diese Beziehungen weiter untersucht und gefunden, daß die Kristalle auf ihrer Unterlage meist mit solchen Stellen ihrer Oberfläche aufwachsen, die besonders große Oberflächenspannung (bezogen auf die Grenzfläche Kristall—Lösung) besitzen. Diese Ergebnisse von Becke und Kalb wurden von Johnsen[3]) in zahlreichen Fällen be-

---

[1]) Becke, Die Kristallform des Traubenzuckers und optisch aktiver Substanzen im Allgemeinen. Tsch. min.-petr. Mitt. 1889, S. 494.

[2]) Kalb, Herrscht Zufall oder Gesetz beim Festwachsen der Kristalle auf ihrer Unterlage? Zbl. f. Min. 1920, S. 65.

— Gesetzmäßige Aufwachsung der Kristalle und Zwillingsverwachsung. Zbl. f. Min. 1920, S. 285.

— Gesetzmäßige Aufwachsung der Kristalle und die Kristallstruktur. Zbl. f. Min. 1920, S. 321.

[3]) Johnsen, Untersuchungen über Kristallzwillinge und deren Zusammenhang mit anderen Erscheinungen. N. Jb. B. B. 23, 1907, S. 237.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

stätigt. Die Aufwachsungsfläche lag immer annähernd an einer solchen Richtung, die einen größten Durchmesser des Kristalls bildet.

Diese Ergebnisse können jedoch nur das geregelte Aufwachsen der Kristalle erklären. Für die Ausbildung der Regelung während des Weiterwachsens, wie sie ja fast durchwegs eintritt, sind diese Prinzipien nicht anwendbar.

2. Art des Weiterwachsens benachbarter Kristalle.

Hier ist nun die von Groß[1]) und Möller[2]) untersuchte, nach geometrischen Grundsätzen erfolgende Auslese der Kristalle während des Wachstums auf Grund der linearen Wachstumsgeschwindigkeit im Einzelkristall in verschiedener Richtung maßgebend. Die linearen Wachstumsgeschwindigkeiten, die auch die Tracht des freiwachsenden Einzelkristalles bedingen, sind außer natürlich vom Bau des Raumgitters bedingt von den äußeren Wachstumsverhältnissen: Temperatur, Konzentration, Lösungsgenossen, Druck, ferner Strömungen, Kraftfelder u. a. Die Auslese wirkt sich nun darin aus, daß solche Kristalle in der Entwicklung im Gefüge begünstigt werden, bei denen die größte lineare Wachstumsgeschwindigkeit in das Lot zur Unterlage fällt.

Kommen nur Flächen mit gleicher normalen Wachstumsgeschwindigkeit in Betracht, so fällt die Richtung größter linearer Wachstumsgeschwindigkeit mit dem größten Durchmesser zusammen.

Ist also ein Mineral nach einer Hauptrichtung gestreckt (langprismatischer Habitus, spitzpyramidal oder ähnlich; beim Kalzit z. B. Skalenoeder), so stellt sich diese Hauptrichtung im Gefüge senkrecht zur Unterlage.

Ist ein Mineral aber nach einer Hauptrichtung erheblich schwächer entwickelt als nach den anderen Richtungen (tafeliger, blätteriger Habitus, z. B. Glimmer, beim Kalzit flache Rhomboeder), so stellt sich das Mineral mit dieser Richtung parallel zur Unterlage, die Tafeln werden also auf die Schmalseiten gestellt. Ob von den anderen Richtungen eine bevorzugt wird, hängt davon ab, ob eine dieser Richtungen gegenüber den anderen stärker entwickeltes Wachstum zeigt.

Daher sind auch in Drusen, bei denen der Kalzit in flachen Rhomboedern ausgebildet ist, die Kristalle fast immer auf die scharfe Kante gestellt, mit den *c*-Achsen also parallel der Unterlage, während bei der gewöhnlichen Wachstumsform des Skalenoeders die Achse senkrecht zur Unterlage steht.

Eine entsprechende Erscheinung wie beim Kalzit, nämlich eine verschiedene optische Orientierung eines feinkristallinen Fasergefüges, findet sich auch beim Quarz, bzw. Chalcedon. Beim gewöhnlichen Chalcedon entspricht die Faserrichtung der *c*-Achse, während sie beim Quarzin senkrecht dazu liegt.[3]) Die Ursache der anders gerichteten Faserung beim

---

[1]) Groß und Möller, Über das Kristallwachstum in röhrenförmigen Hohlräumen. Zsch. f. Phys. 1923, S. 375.

[2]) Möller, Die Gesetze des Keim- und Kristallwachstums mit besonderer Berücksichtigung der Keimauslese und des orientierten Kristallwachstums. Inaug.-Diss. Greifswald, 1924.

[3]) Wetzel, Untersuchungen über die Verhältnisse von Chalcedon und Quarzin zu Quarz. Cbl. f. Min. 1913, S. 356.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Quarzin wird wohl auch in einer Ausbildung des Quarzins liegen, bei der der größte Kristalldurchmesser (= die größte Kantengeschwindigkeit) senkrecht zur Hauptachse liegt, wenn auch entsprechende Flächen, die wenig gegen (0001) geneigt sind, bei freiwachsendem Quarz nur selten sind [(1012) und (1013) selten, (0001) überhaupt nicht].

Geometrische Auslese beim Gefügewachstum.

Für ein Kristallgefüge lassen sich ganz dieselben Gesetzmäßigkeiten anwenden, wie sie Groß für den Einzelkristall aufgestellt hat: Gratbahnen, Verschwinden von Flächen, wenn die sie begrenzenden Gratbahnen konvergieren; Vergrößerung der Flächen, wenn die Gratbahnen divergieren usw.

Wird also ein Kristall des Gefüges von Wachstumsflächen begrenzt, die im Verlauf des Wachstums verschwinden, so verschwindet auch der ganze Kristall und wird von den andern überwachsen.

Unter der Voraussetzung, daß alle vorkommenden Flächen gleiche Wachstumsgeschwindigkeit (W. G.) haben, bewegen sich die Gratbahnen immer auf den Winkelsymmetralen (im Raume also auf Symmetrieebenen, die den Winkel zwischen den Wachstumsflächen halbieren). Ist die Wachstumsgeschwindigkeit verschieden, so wird der Winkel durch die Gratbahn so geteilt, daß die Sinus der beiden durch die Teilung entstehenden Winkel sich verhalten wie die zugehörigen Wachstumsgeschwindigkeiten. Die Gratbahn wird also näher der Fläche mit kleinerer Wachstumsgeschwindigkeit verlaufen.

In Abb. 54 ist ein Teil eines Kristallgefüges dargestellt, der aus den drei Kristallen *A*, *B* und *C* besteht. *A* und *C* stehen lotrecht auf die Unterlage, während *B* schief dazu gegen *C* geneigt ist. In der Phase 1 sind alle drei mit ihren Spitzen gleich weit vorgerückt. Die Gratbahnen der Spitze von *B* und *C* und der Grenze *B*—*C* konvergieren, bei ihrem Zusammentreffen muß daher eine Spitze verschwinden, und zwar die, die zuerst auf die Winkelsymmetrale trifft, also die, deren Spitze weiter zurück ist, und das ist natürlich die schiefliegende, da diese einen größeren Weg zurückzulegen hat. Von der Schichte 2 ab, biegt die Grenze *B*—*C* (= Winkelsymmetrale zwischen den entspechenden Flächen) scharf gegen *B* um, wodurch sie jetzt stark gegen die Grenze *A*—*B* konvergiert und daher auch dieses dazwischen liegende Flächenstück zum Verschwinden bringt und damit den ganzen Kristall *B*, der somit von beiden Nachbarkristallen überwachsen wird. *A* und *C* wachsen nun parallel ohne gegenseitige Störung weiter.

Auf diese Weise vollzieht sich also die Ausscheidung von Kristallen, die nicht in der günstigsten Wachstumsrichtung liegen, nämlich mit der Richtung größter Wachstumsgeschwindigkeit in der Hauptwachstumsrichtung, also senkrecht zur Unterlage. Nur solche bilden dann in den höheren Lagen das Wachstumsgefüge. Vollständig parallel werden sie jedoch nie, sondern es werden immer mehr oder weniger starke Abweichungen vorhanden sein.

Die durch die geometrische Auslese erfolgte Regelung in immer höheren Wachstumsschichten konnte in dieser Arbeit durch Diagramme

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

gezeigt werden, die in verschiedenen Schichtenabstand von der Anwachsfläche aufgenommen wurden. Es ist damit, durch Feststellung der Streuung ein objektiver Maßstab für den Grad der Regelung gegeben.

Hiebei wurde festgestellt, daß die Regelung, die im Anfang mehr oder weniger schwach ausgeprägt ist, zunächst rasch zunimmt und schließlich einen für das entsprechende Gefüge charakteristischen Grenzwert erreicht, der sich dann nur mehr noch wenig ändert (s. auch S. 12).

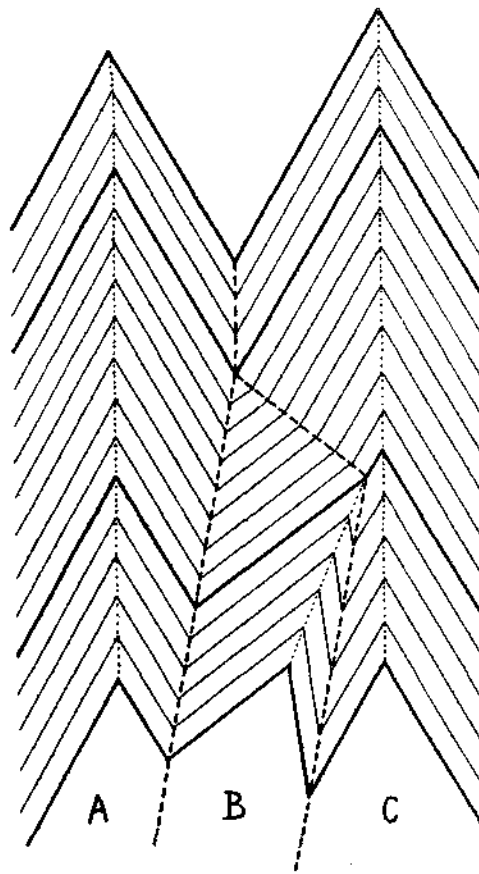


Abb. 54. Schema eines Wachstumsgefüges.

Es läßt sich somit den Kristallen im Wachstumsgefüge, auch wenn sie keinerlei Eigenformen haben, allein aus der Art der Regelung, eine gewisse Gefügetracht zuweisen, die den Trachten freigebildeter Kristalle zuordenbar ist, da sie ebenfalls wie diese ihre Grundlage in den in verschiedenen Richtungen verschiedenen Wachstumsgeschwindigkeiten hat.

Durch Untersuchungen der Bedingungen, unter denen eine gewisse Tracht entsteht, lassen sich dann weitere Rückschlüsse auf die Ent-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

stehung der Wachstumsgefüge ziehen, womit dann auch für die Sedimentpetrographie wichtige Grundlagen geschaffen werden.

Während der Korrektur bekam ich noch eine Arbeit von Mügge, „Die Vorgänge in der Gesteinswelt und ihre Messung" (Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen 1919, S. 78), in die Hand, worin er S. 94 über das Wachstum von Fasermineralien in sich öffnenden Gängen schreibt. Mügge behauptet hier, daß alle Kristalle mit derselben Geschwindigkeit wachsen, wenn die Geschwindigkeit, mit der sich die Kluft öffnet, kleiner ist als die kleinste Wachstumsgeschwindigkeit der Faserkristalle, sich also eine Gegenwand als Hindernis in den Weg stellt. Daher entstehe ein ungeregeltes parallelfaseriges Kristallaggregat.

Hiezu möchte ich bemerken, daß die Regelung im Gefügewachstum ja hauptsächlich durch gegenseitige Behinderung der einzelnen Kristalle beim Wachstum in die Breite (nicht senkrecht zur Wand) erfolgt und daher eine entgegenstehende Wand keinen Einfluß auf die Regelung besitzt, sofern sie nicht Anlaß zu Kristallneubildungen gibt.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 1
Untersuchungsmethoden 1
Großoolith 3
Aragonitsinter, Karlsbad 14
Gänge und Lagen von Kalzit in Seefelder Bituminenschiefern 21
Kalzitgänge in den oberrhätischen Kalken von Zürs 28
Kalzit-Quarzgang im Silurkalk von Paß Thurn 29
„ „ „ Bundsandstein von Ellmau 35
Erzbergit (Kalzit-Aragonitsinter) 38
Lagengefüge 44
Allgemeine Bemerkungen zum Wachstumsgefüge 46
Geometrische Auslese beim Gefügewachstum 49

Sachverzeichnis.

Seite

Aragonit, Methode der U-Tisch-Untersuchung 17ff
„ Unterscheidung von Kalzit durch Färbung 38
Bildungsbereich, gemeinsamer 43
Diagramme, Orientierung 2
„ Musterung 2
Gefügetracht 50
Geometrische Auslese 49
Geschichtete Gänge 28
Girlandenstruktur 45
Gratbahnen 45
Grenzwert der Regelung 12, 50
Keimbildungsbereich, gemeinsamer 43
Korngröße 46
Kornzahl 2
Lagengefüge 4, 44ff
Nähte 45
Orientiertes Aufwachsen 47
Richtender Einfluß der Unterlage 26, 34, 47
Schichten, verschiedener Regelungsgrad 12, 21
Schleppung 47
Strömung des sedimentierenden Mediums 47
Wachstumsbereich, gemeinsamer 43
Zwillingslamellen im Diagramm 12, 26

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: 78

Autor(en)/Author(s): Schmidegg Oskar

Artikel/Article: Über geregelte Wachstumsgefüge 1-52