

Die Differentiation in Minerallagerstätten, am Beispiel der zentralalpinen Vorkommen dargelegt.

Von **Joh. Koenigsberger.**

In der Petrographie ist Differentiation in und aus den Gesteinsmagmen eine bekannte für die Erklärung der Gesteinsvorkommen grundlegende Erscheinung. Die Differentiation der Mineralien bei der Auskristallisation aus dem Magma bildet die Grundlage für wichtige petrogenetische Theorien.

In den Minerallagerstätten der alpinen Klufftmineralien ist die Differentiation in relativ kleinen Räumen stark ausgeprägt; sie ist auch bei andern Typen von Minerallagerstätten wahrnehmbar. Zum Teil ist es eine Differentiation der Lösung, z. T. erfolgte die Differentiation erst bei der Auskristallisation, z. T. ist sie primär bedingt. An den Lagerstätten der alpinen Klufftmineralien kann man schon ohne statistische Untersuchung¹ durch oberflächliche

¹ Die Sonderung der Mineralien läßt sich etwa folgendermaßen exakt definieren: Die Differentiation ist die statistisch festzustellende Abweichung der Verteilung der einzelnen Mineralien auf der Aufwachsfläche von der durch das Wahrscheinlichkeitsgesetz gegebenen. Hierbei ist die Masse der betreffenden Mineralgattung auf einzelnen gleich großen Flächenstücken (endliche Elemente, Einheiten), am besten Quadraten, festzustellen. Die Zahl der darauf befindlichen Kristalle soll groß sein. Für viele praktische Zwecke genügt indes eine Zahl, die über 20, mitunter schon eine, die über drei hinausgeht. Trägt man die Zahl der Flächeneinheiten, die eine bestimmte Masse des Minerals aufweisen, als

Betrachtung der Naturvorkommen die Tatsache der Differentiation wahrnehmen¹.

Man kann Typen der Differentiation nach phänomenologischen und nach kausalen Gesichtspunkten aufstellen. Im folgenden ist ein Versuch in der ersten Richtung gemacht worden. Es bleibt dahingestellt, ob die Einreihung der einzelnen Mineralien in diese Typen nur für die Bedingungen der zentralalpinen Lagerstätten gilt. — Das Bild ist auch in den alpinen Vorkommen verschieden, wenn die relative Menge des betreffenden Minerals in den Klüften stark wechselt. Wir finden aber in den zentralalpinen Lagerstätten z. B. Zirkon, Phenakit immer nur in kleineren Mengen. Deshalb ist die Abhängigkeit des Differentiationstyps dieser Mineralien von der Konzentration aus den alpinen Lagerstätten allein nicht zu ermitteln.

Typus 1 der punktförmigen Differentiation. Einige Erze, wie Galenit, Sphalerit, kommen selbst in ganz großen Klüften und auch bei großer Menge nur in wenigen Kristallen oder Klumpen vor. Es ist nur ein anderer Ausdruck für dieselbe Tatsache, wenn man hervorhebt, daß diese Mineralien große Kristalle zu bilden streben.

Die Ursache für diese Anhäufung mögen z. T. elektrische Ströme in der Kluft gewesen sein, welche einige Ionen mit sich führten, und so deren Konzentration und Ausscheidung an bestimmten Stellen erleichterten. Z. T. ist diese Konzentration hervorgerufen durch erste zufällige Auskristallisation des Minerals an einer Stelle, wo im Gestein an der Kluft ursprünglich ein etwas größeres Korn saß, das die Kristallisationsverzögerung aufhob. Eine solche Stelle ist insbesondere der Ansatzpunkt für diejenigen gelösten Moleküle, die kolloidal gelöst, eine große Kristallisationsverzögerung aufweisen. War auch nur ein kleiner Kristall an der Wandung ausgeschieden, so schlossen sich die Moleküle derselben Art an.

Typus 1a. Einige Mineralien neigen zu demselben Auftreten wie 1, wenn sie in der Kluft selten sind, also geringe Konzentration in der Lösung haben. In größerer Menge aber sind sie etwas anders differenziert: Diese seien pseudopunktförmig differenzierende Mineralien genannt. Zu diesen gehören Scheelit,

Ordinate, die Masse μ des Minerals pro Flächeneinheit als Abzisse auf, so muß sich bei gleichmäßiger Verteilung die bekannte Wahrscheinlichkeitskurve $Ae^{-\mu^2}$ ergeben. Trägt man andererseits die Länge der quadratisch zu nehmenden Flächenstücke, die sich längs einer beliebigen Linie kontinuierlich aneinander schließen, als Abzisse und die Masse pro Flächenelement als Ordinate auf, so muß die Kurve eine regellos verlaufende Zickzacklinie sein, deren Mittelwerte sich schon für wenige Flächen(oder Linien)elemente nicht stark von dem gesamten Mittelwert unterscheiden darf.

¹ Eine mit Zeichnungen versehene Beschreibung von Beispielen für die Differentiation in den zentralalpinen Minerallagerstätten erscheint a. a. O.

Chalkopyrit, Datolith, Zirkon, Perowskit, Baryt, Strontianit, Coelestin, Ilmenit. Die beiden erstgenannten stehen Gruppe 1 nahe.

Typus 2 der flächenförmigen Differentiation.

Das betreffende Mineral ist auf einen Teil der Kluftfläche konzentriert. Auf diesem Flächenstück aber sind die Kristalle ziemlich gleichförmig verteilt, und von nicht sehr verschiedener Größe. Nur gegen den Rand der Konzentrationsfläche werden sie seltener. Man hat Übergänge zur punktförmigen Differentiation insbesondere, sowie die Mineralien selten sind, d. h. ihre Konzentration in der Lösung niedrig ist. Die Kristalle überschreiten eine gewisse mittlere Größe¹ nicht, bilden auch keine ganz zusammenhängenden Klumpen. Hierher gehören u. a. Mineralien, die in nach einer Achse gestreckten Formen kristallisieren wie Turmalin, Danburit, Xenotim, Beryll (wohl auch Phenakit), Antimonit, Anhydrit, dann aber auch Pyrit, Magnetit, Anatas, Brookit, Axinit, Apatit, die meisten Zeolithe wie Desmin, Chabasit, Heulandit, Skolezit, Apophyllit, Faujasit, Milarit (der durchaus zeolithähnlich ist). Die meisten dieser Mineralien haben Neigung ein lockeres Haufwerk, aber nicht Klumpen, zu bilden, Fluorit, Hämatit stehen zwischen diesem Typus und 1 und 4a, Pyrit, Prehnit zwischen Typus 1a und 2. — Bei der flächenförmigen Differentiation ist Sonderung des Gelösten in der Lösung jedenfalls vorgekommen, die Ursache ist noch unbekannt.

Typus 3 der streifenförmigen Differentiation ist durch wechselnde Gesteinszusammensetzung bedingt. Die Mineralien, deren Löslichkeit nicht sehr groß ist, die aber zur Umkristallisierung und Bildung größerer Kristalle neigen, zeigen die Abhängigkeit ihres Auftretens von der Zusammensetzung der Anwachsstelle sehr deutlich, so insbesondere Albit, Skapolith, Hornblende-amianth, Granat, Idokras, Ripidolith, Diopsid. Epidot steht zwischen Typus 2 und 3.

Die streifenförmige Differentiation ist eine Sonderung, die bedingt ist durch die stark verschiedene Zusammensetzung des Gesteines an der Kluft. So sind z. B. auf leukokraten Lagen eines Gesteines der Tremolaserie Albit und auf den melanokraten Ripidolith streng gesondert auskristallisiert.

In solchen Fällen scheiden sich die gelösten Moleküle oder Komplexionen da ab, wo im Gestein dieselben oder nah verwandte Ver-

¹ Was man mittlere Größe eines Kristalls nennt, hängt vor allem ab von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Moleküls, dann von der Größe und Höhe der Kluft, von der Konzentration und Zusammensetzung der Lösung, von der auch durch die Gesteinsbeschaffenheit bedingten Zahl der Ansatzpunkte der Kristallisation, von den physikalischen Bedingungen bei der Auskristallisation. Letztere waren auf große Strecken für die alpinen Klüfte ziemlich einheitlich.

bindungen in größerer Menge kristallisiert sind. Manchmal sind die Gesteinsminerale vorher durch die Lösungen bei hoher Temperatur umgewandelt, z. B. Biotit in Chlorit oder Hornblende in Epidot. Chlorit bzw. Epidot sind dann auf diesen Gesteinsmineralien aus der Lösung als Kluftmineral auskristalliert. Es gibt alle Übergänge zwischen einfacher Umkristallisation in situ und Herbeiwandern der gelösten Moleküle von entfernten Stellen der Kluft.

Typus 4 der räumlichen Differentiation in einer Kluft betrifft vor allem die in größerer Menge auftretenden, in ihrer Löslichkeit vom Kohlensäuregehalt der Lösung stark abhängigen Mineralien, so Quarz, Calcit, in geringerem Maß, Adular und noch weniger Albit.

Die Mineralien dieser Gruppe haben Neigung, größere derbe Massen, sog. Band, zu bilden. Adular steht zwischen Typus 4 und 5. Albit zwischen 3 und 4. Diese Differentiation erfolgt in größerer, oft in gebogener Kluft, in verzweigten Klüften, in Kluftsystemen, oder in Klüften mit starkem Wechsel der Querdimensionen. Sie betrifft häufige und in andern Klüften gleichmäßig verteilte Mineralien. Als Ursachen kommen verschiedene Konzentration der Lösung und verschieden rasche Abkühlung in Frage. Vor allem aber folgendes: Langsames Entweichen der Kohlensäure oder anderer gasförmiger Bestandteile an einem undicht gewordenen Ende der Kluft bei der Abkühlung und beim Aufhören der Zufuhr der Gase aus der Tiefe kann wegen der langsamen Diffusion in den schmalen aber flächenhaft weit ausgedehnten Kluftsräumen Unterschiede in der Konzentration (Partialdruck) an diesem Bestandteil verursachen. Wenn z. B. der Kohlensäuregehalt an einer Stelle der Kluft geringer ist, als an einer andern, so sind an dieser, wie die synthetischen Versuche verschiedener Forscher zeigen, die Lösungs- und Ausscheidungsbedingungen für Quarz, manche Silikate und wohl auch für andere Mineralien wie Calcit geändert. Dadurch kann also Differentiation der Paragenese zustande kommen. So können sich dann dort z. B. derber Quarz, sog. Quarzband, Calcit u. a. ausscheiden. Für diesen Fall trifft vielleicht die Ansicht von W. MAUCHER über plötzliche Ausscheidung (Bildungsreihe der Mineralien. Freiberg i. S. 1914) einigermaßen zu, für die gut kristallisierten Mineralien in alpinen Klüften dagegen nicht. Sonst wäre u. a. der Differentiationstypus 2 nicht verständlich.

Typus 4b der räumlichen Differentiation in benachbarten Spaltrissen. Diese verursacht die mitunter zu beobachtende Verschiedenheit der Mineralassoziationen von „Ober“- und „Unter“-Seite einer Museumsstufe. Sie betrifft Mineralien aller Gruppen.

Die Nebenkluft ist zu anderen Zeiten aufgerissen und zwar später als die Hauptkluft, als infolge gesunkener Temperatur nur die späteren Mineralien, z. B. Hämatit oder Chlorit usw. gelöst waren. Es wurde dann nur noch der Stoff zu diesen Mineralien aus dem

Nebengestein entnommen. Häufiger ist aber wohl der Fall, daß die Lösung aus der Hauptkluft, die nur mehr die späteren Mineralien gelöst enthielt, in die neu geöffneten Nebenrisse eindrang.

Eine weitere Ursache für die Verschiedenheit der Mineralassoziationen in der Hauptkluft und in den Nebenrisen könnte folgende sein: Die Lösungen in den Mineralklüften waren wohl nicht ganz gesättigt; sie wirkten nur eine bestimmte Zeit bei der hohen Temperatur auf das Gestein ein; dabei konnte in den kleinen Rissen, deren Gesteinsoberfläche, verglichen mit dem Rauminhalt, größer ist als in den Hauptklüften, die Konzentration an manchen aus dem Gestein gelösten Bestandteilen auch größer werden. Das mußte Menge und Art der betreffenden ausgeschiedenen festen Substanzen beeinflussen. Man findet z. B. häufig, daß Quarz vor allem in der Hauptkluft, in den Nebenrisen die Feldspäte auftreten.

Typus 5 der gleichmäßigen undifferentiierten Verteilung und der Höhendifferentiation.

Zu den Mineralien, die wenig Neigung zur Differentiation zeigen, gehören insbesondere Sphen, Chlorit, auch Muscovit; sie haben vielfach keine gut ausgebildeten Flächen. Diese Mineralien scheiden sich oft schwebend aus der Lösung aus. Daher wurden sie manchmal durch Schwerkraftswirkung differentiiert und sind dann nur auf der unteren Fläche der Kluft anzutreffen. Die beiden ersten unterliegen bei verschiedenem Wechsel in der Gesteinszusammensetzung der streifenförmigen Differentiation. Ihre Moleküle wandern also in größerer Menge nicht weit; ihre Löslichkeit ist daher wohl gering. Diese Mineralien füllen auch den Hohlraum als „Sand“. Im Sand, also schwebend, gebildet findet man noch gelegentlich Rutil, Antimonit, Calcit, Siderit, Quarz bisweilen groß und in Gruppen, selten Apatit. Nur in einzelnen Fällen Adular, Albit. Siderit steht zwischen Typus 4 und 5.

Die in der Beschreibung schon oben erwähnten Ursachen der Differentiation seien hier nochmals kurz zusammengestellt.

1. Anhäufung an einer Stelle bei Kristallisationsverzögerung und z. T. durch Ionenwanderung (Bildung einzelner großer Kristalle).
2. Differentiation durch Wechsel in der Verteilung der Gesteinsmineralien im einheitlichen Gestein, also in der Verteilung der Ansatzpunkte für die Kristallisation.
3. Differentiation durch Wechsel in der makroskopischen Gesteinszusammensetzung, bei langsam diffundierenden Molekülen merklich.
4. Anhäufung durch Schwerkraftswirkung bei Mineralien ohne starke Kristallisationsverzögerung, die sich schwebend ausscheiden können.
5. Differentiation durch lokale Temperaturunterschiede, wohl selten.

6. Lokale Ausscheidung in großer Menge durch verschiedenes Verhalten einzelner Stellen der Kluft, z. B. Undichtwerden der Kluft und dadurch bedingtes Entweichen der Kohlensäure bei der Abkühlung. Eckenwirkung.
7. Räumliche Differentiation bei der Abkühlung, verursacht durch zeitliche Temperaturunterschiede beim ersten Aufreißen und Füllen der verschiedenen Spalten.

Die intramagmatischen, pneumatolytischen, plutonischen und vulkanischen Mineralbildungen (nach der Einteilung von P. NIGGLI) zeigen Differentiation derselben Art, in geringerem Maß doch bisweilen recht deutlich. Die kleineren Räume und wohl auch kürzeren Zeiten der Auskristallisation erklären die schwächere Differentiation. Bei den peri- und apomagmatischen Lagerstätten läßt sich die in situ aus oder in der Lösung erfolgende Differentiation kaum trennen von der zeitlich wechselnden Zufuhr der verschiedenen Stoffe. Es mag aber einiges von dem, was man bei Erzgängen wechselnder Zufuhr zuschreibt, auf echter Differentiation beruhen.

Es bleibe dahingestellt, ob die Einreihung der einzelnen Mineralien in die hier gegebenen Differentiationstypen nur für die Bedingungen der zentralalpiner Kluftmineralien gilt, und inwieweit sie von der durch die Gesteinszusammensetzung bedingten Häufigkeit, also der Konzentration der betreffenden Moleküle oder Ionen in der Lösung abhängt. — Die Differentiation gestaltet natürlich auch das Sukzessionsdiagramm um, weil dieses von dem Konzentrationsverhältnis der Lösung an der Ausscheidungsstelle abhängig ist.

Man wird beim Studium der Minerallagerstätten der Differentiation Beachtung schenken müssen, um einwandfreie physikalisch-chemische Schlußfolgerungen ziehen zu können. Bei den synthetischen hydrothermalen Versuchen ist Differentiation noch nicht beobachtet worden.