

6 Kathodenlumineszenz

An einigen Proben aus den Westkarawanken wurden Kathodenlumineszenz-Untersuchungen durchgeführt. Zum einen handelt es sich um Sandsteine der Hochwipfel-Formation, die insbesondere auf die interne Struktur von Lithoklasten und die Natur und Abbau-Erscheinungen von Einzelmineral-Körnern untersucht wurden. Es konnten auch interessante Ergebnisse bezüglich der Struktur und Genese von Karbonat-Zementen in Kalken des Silur bis Devon erhalten werden. Zuletzt konnten noch interne Zonierungen in stark alterierten Plagioklasen lamprophyrischer Ganggesteine nachgewiesen werden.

Lumineszenz ist die Emission von Licht von einer festen Substanz, die durch die Einwirkung von Elektronenbeschuß zu Fluoreszenz und Phosphoreszenz angeregt wird (z.B. TUCKER, 1996; MANGE & MAURER, 1991). Als Fluoreszenz bezeichnet man den Fall, wenn die Emission nach dem Abschalten der Erreger-Quelle sofort erlischt und keine thermische Anregung beteiligt ist. Bei der Phosphoreszenz hält die Emission dagegen noch länger an (TUCKER, 1996). Da die Grenze recht fließend ist, spricht man im allgemeinen von Kathodenlumineszenz (KL). Die Wellenlänge der Emissionsstrahlung ist stets länger als die der Erregerstrahlung (TUCKER, 1996), wobei im Normalfall lediglich Emissionsspektren im Bereich des sichtbaren Lichts von Interesse sind. Lumineszenz-Intensitäten lassen sich jenseits des Sättigungsniveaus nicht mehr steigern. Es kommt dann eher zu thermischen Lumineszenz-Erscheinungen, die störend wirken. Im Fall von Kalt-KL-Geräten kommt es nach TUCKER (1996) zur Bildung von Ionen, die ebenfalls das Präparat erreichen und dort durch Remobilisierung und Homogenisierung der Lumineszenz-Aktivatoren zu Zerstörungen in den obersten Dünnschliff-Lagen führen. Einige Minerale zeigen aufgrund von Unreinheiten im Kristallgitter ein Lumineszenz-Verhalten (MANGE & MAURER, 1991). Unter den Lumineszenz-Zentren unterscheidet man intrinsische Gitterfehlstellen und extrinsische Oberflächen-Verunreinigungen, reguläre Gitterplätze und zonare Inhomogenitäten. Die extrinsischen Lumineszenz-Zentren können in Aktivator-Zentren (Lumineszenz entsteht durch die Rückkehr des angeregten Zentrums in den Grundzustand), Einfang-Zentren (zusätzliche Energie ist notwendig, um Lumineszenz anzuregen) und Auslösch-Zentren (der angeregte Zustand entspricht einem strahlungslosen Übergangsniveau) unterschieden werden (TUCKER, 1996). Die häufigsten Aktivatoren sind Ionen der Übergangsmetalle, insbesondere Mn, aber auch die SEE (Selten Erdenelemente; Ce^{3+} , Eu^{3+} , Sm^{3+} und Dy^{3+}) treten in Erscheinung. Fe^{2+} und andere Elemente können als Auslösch-Zentren die Emission verhindern. Ein einzelnes angeregtes Mineral kann mehrere verschiedene Wellenlängen emittieren. Apatit zum Beispiel kann je nach SEE-Aktivator grün, gelb, rosa, violett oder weiß erscheinen (TUCKER, 1996). Nach MANGE & MAURER (1991) zeigen Apatite alkalischer Plutonite eine lavendelblaue Lumineszenz, die präkambrischer Mikroklin-Perthite eine gelbliche und jene aus Pegmatiten sehr verschiedene Farben. Nach NICKEL (1978, in: MANGE & MAURER, 1991) sind bläuliche bis violette KL-Farben für Apatite aus Karbonatiten und mafischen bis ultramafischen Gesteinen typisch. Zartlila KL-Farben zeichnen Apatite aus alkalischen Gesteinen aus, und blassrosa-orange bis gelbe Farben sind Apatiten aus granitoiden Gesteinen zuzuordnen. Gelbe KL-Farben sind typisch für Apatite aus metasomatischen Phlogopit-Lagerstätten in metamorphen Gesteinen. Die KL findet insbesondere auch zur Unterscheidung von Calcit (gelborange KL-Farben) und Dolomit (dunkler karminrote KL-Farben) eine Anwendung. Zudem lassen sich in karbonatischen Gesteinen Struktur- und Gefügemerkmale wesentlich besser oder überhaupt erst erkennen.

Chemisch reiner Calcit sollte eine blaue KL-Farbe zeigen (TUCKER, 1996). Mn^{2+} ist bei Calcit das primäre Aktivator-Ion und führt zu gelben bis roten Emissionsfarben. Fe^{2+} und auch Ni^{2+} bilden dagegen das häufigste Auslöschungs-Zentrum. Bei Dolomiten und Calciten mit zunehmendem Ersatz von Mg^{2+} durch Mn^{2+} tendiert die KL-Farbe nach orange bis rot.

Für Feldspäte geben GÖTZE et al. (2000) eine typische leuchtend blaue KL-Farbe an, die wohl auf Ti^{4+} zurückzuführen ist. Es treten aber auch grünlichgelbe, violette und rote KL-Farben auf. Rote bis infrarote KL treten bei Fe^{3+} -Ersatz für Al^{3+} und grüne bei Mn^{2+} -Ersatz für Ca^{2+} auf (GÖTZE et al., 2000). Insbesondere Plagioklase zeigen stark variable KL-Farben, Kalifeldspat dagegen meist blaue und rote.

Quarz zeigt eine bläuliche oder rötlichbraune Lumineszenz. Hierfür reicht die Anregung des verwendeten Geräts jedoch nicht aus.

6.1 Methodik

Für die Untersuchungen wurde ein Gerät des Typs „Cold Cathode Luminescence 8200 mk 3“ der Firma Citl verwendet. Es handelt sich um eine Technosyn-Apparatur mit schräg auf die Probe auftreffendem Elektronenstrahl. Der Kammer-Arbeitsdruck betrug etwa $p = 0,15 \text{ Torr} \approx 20 \text{ Pa} = 2 \times 10^{-3} \text{ bar}$, der Kathodenstrom wurde auf $I_{\text{Kat}} = 260 - 270 \text{ mA}$ und die Beschleunigungsspannung auf $U_B = 23 \text{ kV}$ eingestellt. Für die Untersuchung wurden Gesteins-Dünnschliffe verwendet, die mit sehr feinem Schleifpulver der Körnung 1000 bearbeitet wurden. Eine Politur wurde nicht durchgeführt. Die angesprochenen Mineralphasen wurden lediglich qualitativ nicht aber quantitativ untersucht.

6.2 Sandsteine der Hochwipfel-Formation

Die Kathodenlumineszenz wurde zum einen zur genaueren Einordnung der Lithoklasten und zum anderen zur Untersuchung der Feldspäte verwendet. Die Plagioklase zeigen meist eine relativ blasser, grünlichblaue bis gräuliche Lumineszenz-Farbe. Blauviolette KL-Farben von Plagioklas (Eu^{2+}) treten in regionalmetamorphen Gesteinen der Amphibolit-Fazies sowie in Gesteinen hydrothermaler Lagerstätten und Greisen auf (GÖTZE et al., 2000). In granitoiden Gesteinen und Pegmatiten fehlen diese Farben. Rötliche KL-Farben würden für Ca-reiche Plagioklase sprechen und wurden insbesondere aus alkalinen Gesteinen und aus Gesteinen von Karbonatit-

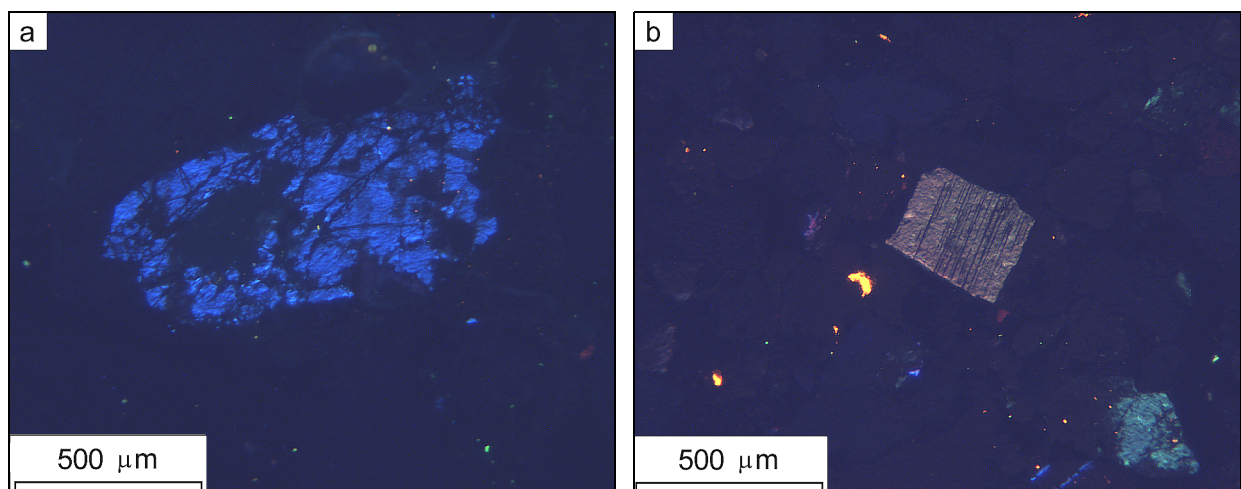


Abb. 6.1: Detritische Feldspäte in Hochwipfel-Sandstein; bei Elektronen-Bestrahlung a) Kalifeldspat mit tief blauer bis blauvioletter KL und b) Plagioklas mit blasser graugrünliger KL-Farbe von Mn^{2+} , rechts unten ein anderes Feldspat-Korn mit blaugrüner KL; Apatit erscheint leuchtend orange und bläulichviolett.

Vergesellschaftungen beschrieben (GÖTZE et al., 2000). Rote KL-Farben bei Feldspäten treten in den Sandsteinen der Hochwipfel-Formation nicht auf. In Abb. 6.1a und 6.1b kann ein ziemlich frisches, eckiges Plagioklas-Korn erkannt werden, das eine sehr blasse graugrünliche KL-Farbe aufweist. Sie könnte auf Ce^{3+} oder Ga^{3+} und eventuell auch auf Mn^{2+} als Aktivator zurückzuführen sein. Körner mit leuchtend oranger und bläulich-violetter KL-Farbe dürften Apatite sein. Die leuchtend orange Farbe weist auf granitoide Gesteine und Mineralisationen hin, die bläulich-violetten dagegen auf Karbonatite und mafische bis ultramafische Gesteine (MANGE & MAURER, 1991). Zudem

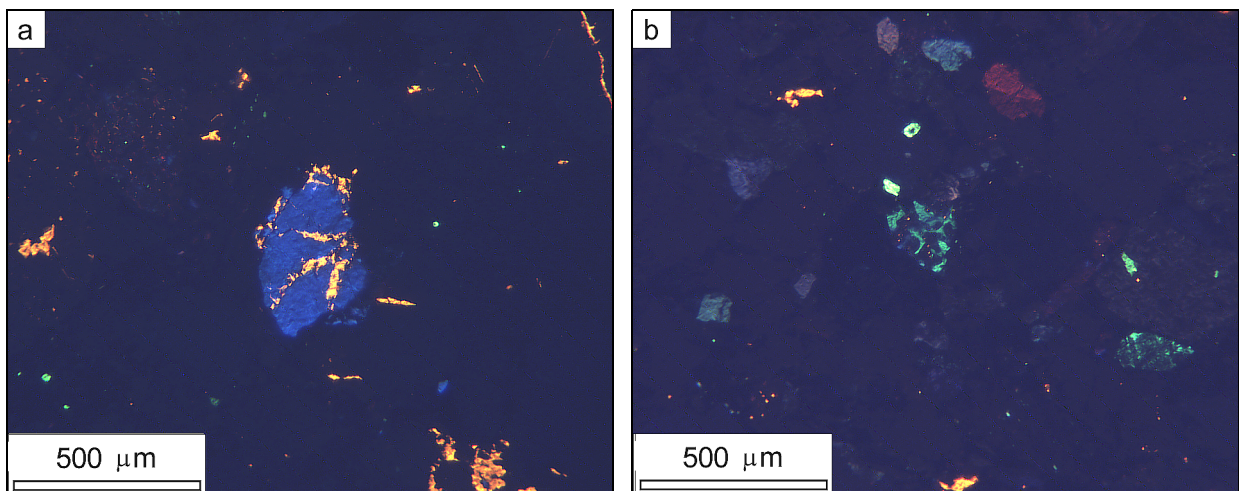


Abb. 6.2: a) Decalcifizierung von Anorthit-reichem Plagioklas mit Bildung von Calcit; b) Innige Feldspat-Quarz-Verwachsung (in der Bildmitte) bei Elektronen-Bestrahlung mit blasser graugrüner KL-Farbe des Plagioklas und dunkel blauvioletter KL bei Kalifeldspat, unten und links oben zeigt Calcit leuchtend orange KL-Farben; Apatit springt durch seine sehr helle grüne KL hervor; Quarz (oben) zeigt blassviolette und auch braunrötliche KL.

lassen sich innige Verwachsungen verschiedener Mineralphasen oder bei Abbaureaktionen gebildete Minerale mit Hilfe der Kathodenlumineszenz trennen (Abb. 6.2a). In Abb. 6.2b kann eine Verwachsung von Plagioklas (grünliche bis blassgrünliche KL-Farben), Kalifeldspat (dunkel blauviolette KL) und Quarz (ohne Lumineszenz) erkannt werden. Zudem sind Apatite eingesprengt (orangerötliche KL). Ein Quarz-Einzelkorn zeigt eine schwache braunrötliche KL, vermutlich stammt es aus einer

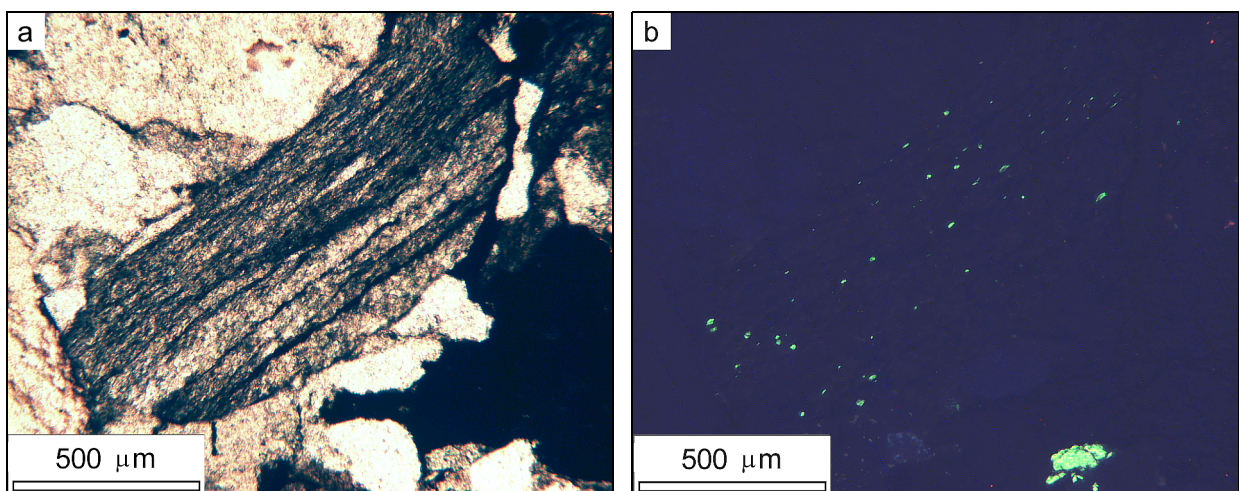


Abb. 6.3: Metasedimentärer Lithoklast in Hochwipfel-Sandstein; a) im Hellfeld; b) bei Elektronen-Bestrahlung mit kräftig grünlicher KL-Farbe von authigenem Apatit; rechts unten sticht ein großer detritischer Apatit durch seine leuchtend grüne KL hervor.

metamorphen Quelle oder es zeigt sich der Kollaps des blauen KL-Peaks durch thermische Beanspruchung durch den Elektronenstrahl während der Aufnahme. In niedrigmetamorphen Lithoklasten konnten leuchtendgrüne und wohl authigene Apatit-Körner nachgewiesen werden. Sie zeigen eine Einregelung in die Foliationsebene der Klasten. Es handelt sich meist um feinkörnige Metasedimente. Zum Vergleich finden sich des öfteren auch detritische Apatite mit derselben KL-Farbe. Sie könnten auf Pegmatite im Liefergebiet oder eine Aufarbeitung von Metasedimenten hinweisen (Abb. 6.3a und 6.3b). Quarz zeigt bei Verwendung der Kalt-KL im allgemeinen keine Lumineszenz-Farben (Ausnahme s.o.), da die Anregung mittels des verwendeten Geräts nicht ausreicht, um die Spektralbänder von Quarz zu emittieren. Plutonitische Klasten zeichnen sich durch die lebhaften und meist verschiedenen KL-Farben der Feldspäte aus. Magmatische Feldspäte dürften einen höheren Mn-Gehalt aufweisen, was die grünlichen Farbtöne erklären würde. Vulkanogene Lithoklasten

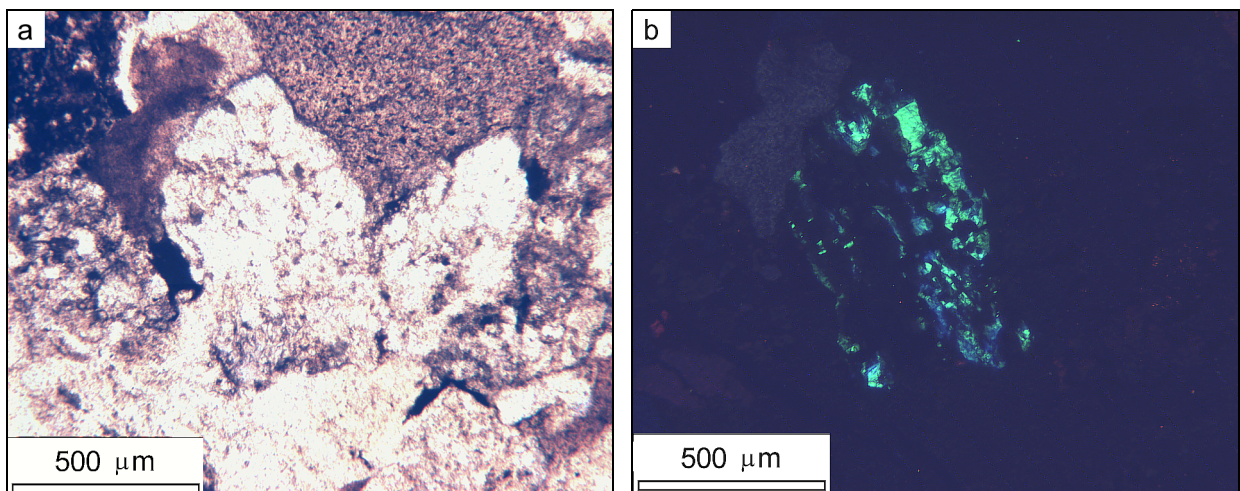


Abb. 6.4: Plutonitischer Lithoklast in Hochwipfel-Sandstein; a) im Hellfeld; b) bei Elektronen-Bestrahlung mit kräftig grünlicher KL-Farbe von Feldspat (vermutlich Mn^{2+} -reicher Plagioklas) und dunkleren blauen bis blauvioletten Lumineszenz-Farben in internen Bereichen (wahrscheinlich durch schwere Elemente bedingte Farbe des Kalifeldspats); Quarz zeigt keine Lumineszenz.

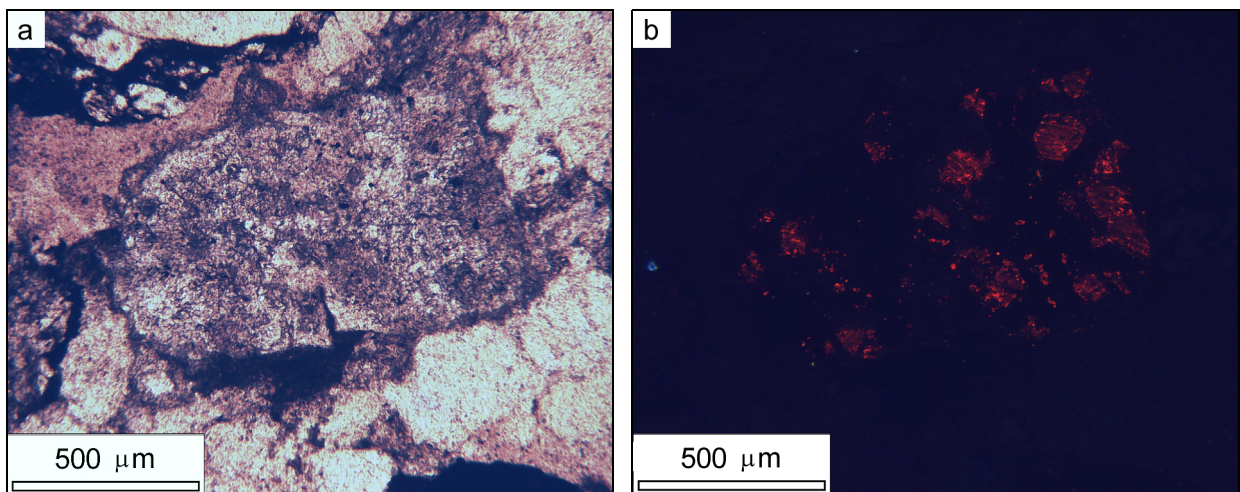


Abb. 6.5: Vulkanogener Lithoklast (Tuff ?) in Hochwipfel-Sandstein; a) im Hellfeld mit alteriertem Amphibol-Querschnitt; b) bei Elektronen-Bestrahlung mit roter und tief dunkelroter KL-Farbe der Sekundärminerale Mg-Calcit und Dolomit aus der Decalcifizierung mafischer Minerale.

zeigen aufgrund einer oft starken Alteration vor und während der Diagenese der Sandsteine nur selten interne Strukturen. Mittels der KL können jedoch geringste Spuren ehemaliger Minerale noch nachgewiesen werden (TUCKER, 1996). Die durch Decalcifizierung gebildeten Mg-reichen Calcite oder Dolomite können durch ihre Lumineszenz nachgewiesen werden (Abb. 6.5). Apatit tritt in fast allen Sandsteinen der Hochwipfel-Formation in teils bedeutender Zahl auf. Neben seiner typischen lebhaften orangefarbenen KL können aber auch grünliche Farbtöne erkannt werden (Abb. 6.6b). SMITH & STENSTROM (1965, in: MANGE & MAURER, 1991) weisen diesen Apatiten eine pegmatoide Genese zu. Das Schwermineral-Spektrum der Hochwipfel-Sandsteine wird demnach nicht unbedeutend von Apatit mitbestimmt. Eine schonende Behandlung während der Analyse der Schwerminerale wäre demnach von Vorteil gewesen (insbesondere ohne Kochen in 20 %-iger HCl). Zirkon zeigt ebenfalls eine grünliche KL-Farbe, tendiert aber meist entweder noch in gelbliche oder blassbläuliche Untertöne mit randlich abweichender Farbe.

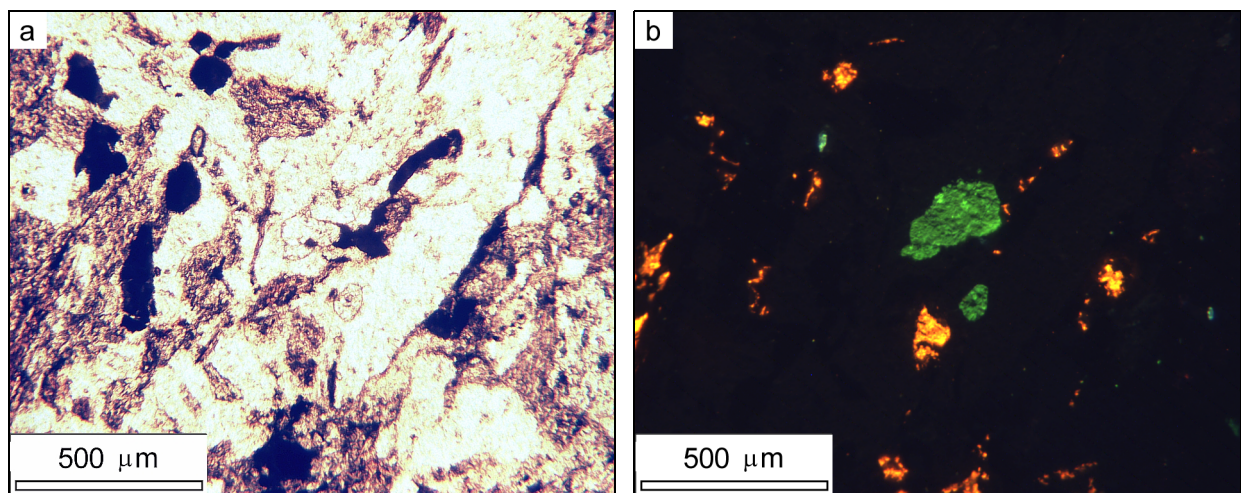


Abb. 6.6: Detritische Apatite in Hochwipfel-Sandstein; a) im Hellfeld; b) bei Elektronen-Bestrahlung mit grüner bis tiefgrüner KL-Farbe; Zirkon oben links zeigt blassere, grünliche bis randlich bläulichgrüne KL; Calcit weist orange KL-Farben auf.

6.3 Karbonat-Zemente in altpaläozoischen Kalken

Die obersilurischen bis mitteldevonischen Kalke der Karnischen Alpen zeigen nach SCHÖNLAUB et al. (1991) sehr deutliche Anzeichen einer subaerischen Verkarstung. In den Westkarawanken sollte eine solche Verkarstungsphase ebenfalls nachzuweisen sein. Es konnten unterschiedliche Zement-Generationen unterschieden werden, die in der Kathodenlumineszenz sehr unterschiedliche KL-Farben zeigen. Grobspätige nahezu isopache Zemente vom „bladed-Typ“ sind auf den Oberflächen eines mikritischen bis mikrosparitischen Karbonatgesteins in mehreren Zyklen aufgewachsen (rechte Seite von Abb. 6.7b). Dunkle nichtlumineszierende Zemente mit alternierenden hellen und dumpfen Bändern schieden sich aus leicht oxidierenden bis moderat reduzierenden Fluiden in der seicht-phreatischen Zone ab (SCHÖNLAUB et al., 1991). Diese Zemente wurden von einer Generation radialfibröser Zemente überwachsen, die sehr lebhaftere KL-Farben zeigen. Im Zentrum des ehemaligen Hohlräume bildete sich schließlich ein granularer Blockzement aus. Die gegenüberliegende Seite des Hohlräume wurde kontinuierlich von Kalkschlämmen verfüllt, die nur eine geringe Zement-Bildung erlaubten. Dampf lumineszente Zemente bildeten sich in größeren Tiefen aus stagnierenderen Aquiferen (SCHÖNLAUB et al., 1991). In Abb. 6.8a und 6.8b ist ein Ausschnitt eines großen „bladed-Typ“-Zements abgebildet. Sehr feine Bänder

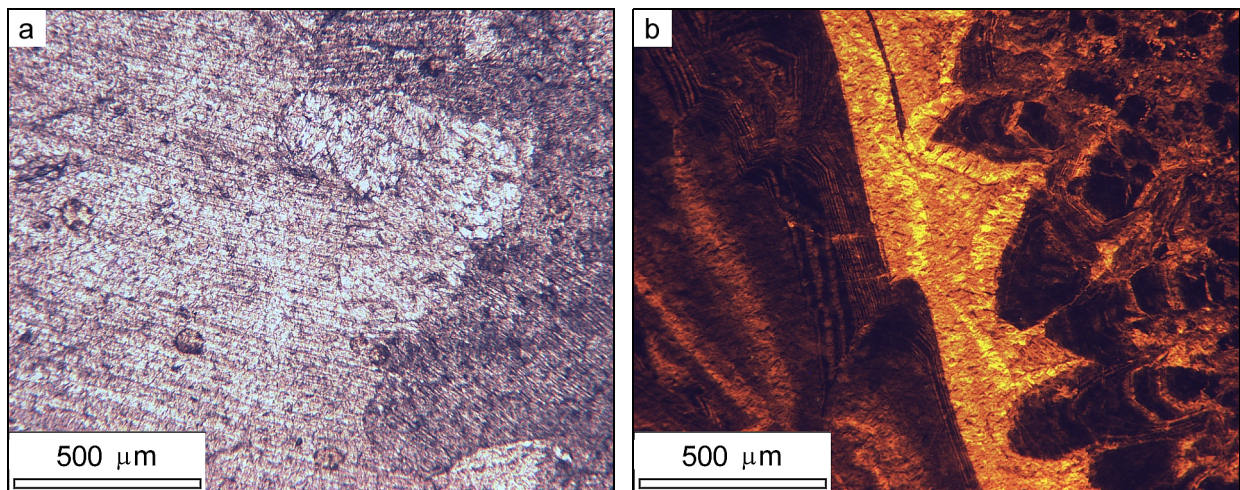


Abb. 6.7: a) Hellfeldaufnahme, b) Ausbildung von mindestens vier unterschiedlichen Karbonat-Zementen in einem ehemals seicht-phreatischen Hohlraum (rechts ist oben).

Mn^{2+} -reicherer Lagen zeichnen sich durch sehr lebhafte Lumineszenz-Farben aus, dunkle Bereiche des Calcits weisen relativ hohe Konzentrationen des Auslösch-Zentrums Fe^{2+} auf. Der Wechsel im Mn^{2+}/Fe^{2+} -Verhältnis ist bei Konzentrationen von $Fe^{2+} < 1$ der bestimmende Faktor für die KL-Intensität (FAIRCHILD, 1983).

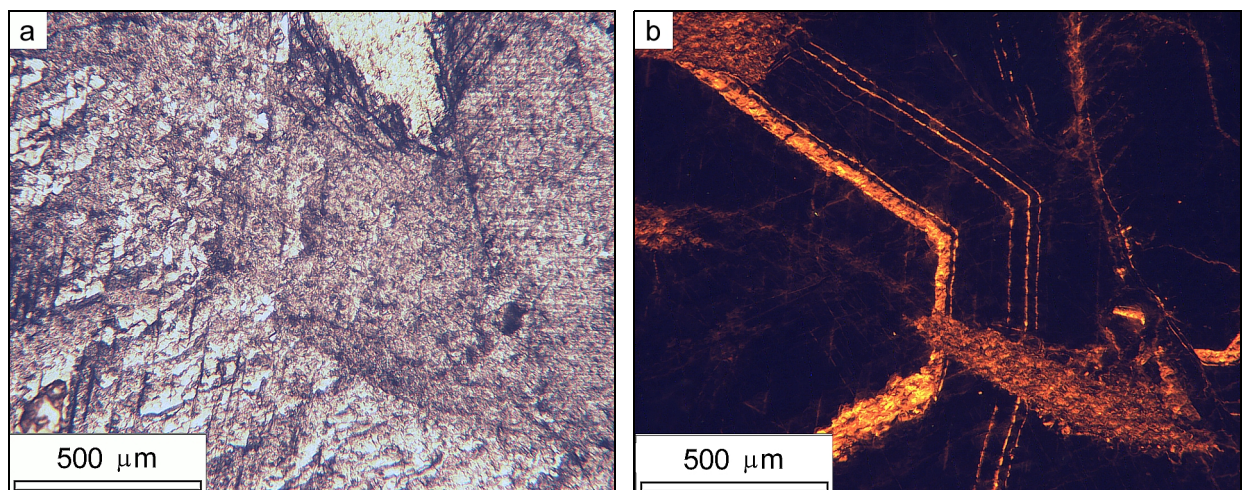


Abb. 6.8: Sehr groß ausgebildeter „bladed-Typ“-Zement; a) Hellfeld-Aufnahme; b) Aufnahme bei Elektronen-Beschuß, es zeigen sich typische schmale Bänderungen Mn^{2+} -reicherer Lagen in einem ansonsten dumpf oder nicht lumineszierenden Calcit; rechts grenzt ein weiterer „bladed-Zement“ an, der aber eine rundliche Lösungsoberfläche zeigt und auf eine Aufarbeitung vorheriger Zemente hinweist; von oben reicht ein nahezu vollständig nichtlumineszenter Calcit als letzte Generation herein.

6.4 Kathodenlumineszenz an Magmatiten

In lamprophyrischen Ganggesteinen (Spessartite bis Kersantite) der Westkarawanken, die in Tonsteine der Hochwipfel-Formation intrudiert sind, können aufgrund einer sehr starken spätintrusiven bis postintrusiven Alteration nur selten deutliche Strukturen erkannt werden. Mittels der KL konnte aber eine Zonierung in Plagioklas sichtbar gemacht werden (Abb. 6.9). Es handelt sich wohl um relativ Anorthit-reiche Kerne mit einer mehr oder weniger stark an Ca-reichem Plagioklas abgereicherten äußeren Schale, um die sich eine Rinde aus Kalifeldspat gebildet hat (vergleiche auch Abschnitt 8 – Tonalit-Intrusionen und Lamprophyr-Gänge). Calcit ist als Sekundärmineral fein verteilt vorhanden. Randlich werden die Plagioklase von feinem bis dispers verteiltem

Epidot begleitet. Dies wurde durch Analysen mittels der Elektronenstrahlmikrosonde bestätigt. Er dürfte ebenfalls sekundärer Natur sein.

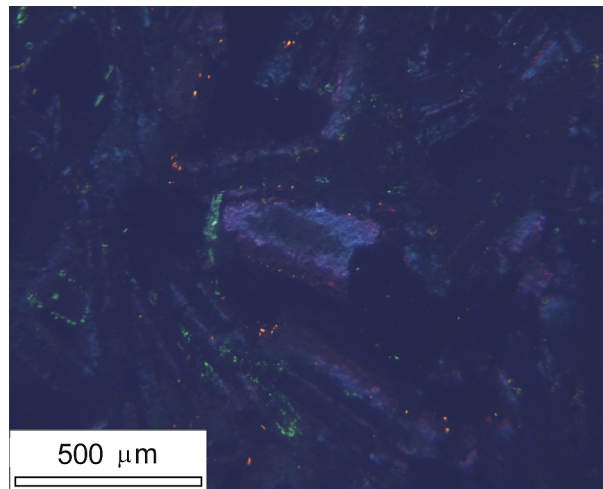


Abb. 6.9: Alterierter Lamprophyr mit Zonierung in Plagioklas (blaue KL-Farben) und einer Kalifeldspat-Rinde (blau-violette KL). Epidot (bläßgrün) und Calcit (orange) sind fein verteilte Sekundär-Minerale.

6.5 Fazit

Mit Hilfe der Kathodenlumineszenz, speziell auch schon mit der Kalt-KL, können akzessorische Minerale wie Apatit und Karbonate besser und schneller in siliziklastischen Sedimenten erkannt und in ihrer Bedeutung eingeschätzt werden. Unterschiedliche KL-Farben beim Apatit erlauben unter Umständen eine Provenienz-spezifische Beurteilung der Liefergesteine. Aus diesem Grund sollte bei der Herstellung von Schwermineralpräparaten unbedingt auf das Kochen in Säure verzichtet werden, da ansonsten der Apatit aufgelöst wird. Eine granitoide oder pegmatoide Provenienz für die detritischen Apatite der Hochwipfel-Formation (orangene KL-Farben) lässt sich zum einen gut mit den plutonischen Lithoklasten vereinbaren. Die geringe Anzahl von Turmalinen aus Quarz-Turmalin-Gesteinen könnte dies bestätigen (vgl. Abschnitt 5.2 Schwermineralchemie). Authigene Apatit-Bildungen in metasedimentären Klasten können erkannt werden. Feldspäte lassen durch ihre oft sehr differenzierten KL-Farben weitergehende petrogenetische Vermutungen zu. So handelt es sich in den Hochwipfel-Sandsteinen meist um Feldspäte aus regionalmetamorphen Liefergesteinen. Enge bis innige Verwachsungen können sichtbar gemacht werden. Sie unterstreichen die Vermutung einer untergeordneten magmatogenen Liefergesteins-Komponente. Ein sehr leistungsstarkes Hilfsmittel bietet die KL vor allem im Hinblick auf die Erkennung und Beurteilung von Karbonat-Zementen und deren Entstehungsmilieu. Da die Kathodenlumineszenz bereits auf geringste Veränderungen in der Konzentration verschiedener Aktivatoren und Auslösch-Zentren reagiert, kann sie Veränderungen in der geochemischen Zusammensetzung aquatischer Karbonat-Bildungsräume sichtbar machen. So dürften die seicht-phreatischen Zemente, welche von SCHÖNLAUB et al. (1991) in den Karnischen Alpen erkannt wurden, durch diese Arbeit auch in den Westkarawanken nachgewiesen worden sein. Insbesondere wird hierdurch die These der Ausbildung von Paläokarst-Strukturen im Unterkarbon unterstrichen und in ihrer Bedeutung gefestigt.