

# **Tektonisch kontrollierte Alterationen und Neubildungen in Prae- und Syn-Rift-Sedimenten der westlichen Nörd- lichen Kalkalpen**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Peter Jodok Kindle  
dipl. geol. Universität Zürich

geboren am 8.9.1957, von Liechtenstein

angenommen auf Antrag von:

Referent Prof. Kenneth Jingwah Hsü (ETH Zürich)  
Korreferent PD Dr. Helmut Jürg Weissert (ETH Zürich)

1990

## Zusammenfassung

Die Nördlichen Kalkalpen zeigen an der Wende Trias/Jura die Entwicklung von einem flachmarinen Sedimentationsraum mit Karbonatplattformen zu einem strike-slip dominierten Kontinentalrand mit Bildung von Becken und Schwellen, sowie Riedel-Scherbrüchen (synsedimentäre Spalten) in Prae- und Syn-Rift-Sedimenten als direkte Evidenz dafür. Während dieser Zeit zerbrachen die obertriadischen Plattformen und tauchten ab.

Diese Entwicklung steht im weiteren Zusammenhang mit dem Zerschneiden der Pangaea und der späteren Bildung eines ligurisch-piemontesischen Ozeans. Die Konsequenzen auf die Fluidgeschichte innerhalb der abtauchenden Plattformen, äusserten sich geochemisch in der Veränderung obertriadisch-liassischer Sedimente und Neubildungen in syntektonischen Spalten und Hohlräumen.

In synsedimentären Spalten ("Neptunian Dikes") und Hohlräumen finden sich neben Internsedimenten auch verschiedene unterschiedlich ausgebildete Calcitgenerationen. Aus mikrogranularen Calciten (Generation C1), entwickeln sich in einer kaum gestörten Abfolge zuerst aggradierende fibröse Kristalle (Generationen C2a) und schliesslich grobe fibröse bis blattförmige Calcite (C3). Eine örtlich auftretende Wechsellagerung mit liassischen marinen Sedimenten lässt dabei auf eine synsedimentäre Bildung schliessen. In breiteren Hohlräumen entwickeln sich zuerst prismatische Calcitkristalle in Lamellen (C2b). Die Werte für Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen mit Werten im  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  zwischen -0.4 und -2.0‰ und im  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  zwischen +2 und +3.5‰ für die Generationen C2a und C3 weisen ebenfalls auf eine marine Bildung dieser Calcite hin, gestützt durch (vorläufige) Sr-Isotopensignaturen mit einem  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von .70727. Diese Sr-Signaturen sind korrelierbar mit der Zusammensetzung mittelliassischen Meerwassers. Die fibrösen Kristalle werden schliesslich von blockigen Calciten (C4a) und blockigen Ferro-Calciten (C4b) verdrängt. Die Generation C4a zeigt eine wesentlich negativere Sauerstoffisotopensignatur mit Werten bis -8‰, in Ferro-Calciten C4b bis -10‰. Sie wurden aus wesentlich wärmeren Lösungen ausgefällt (ca. 70-80°C) und sind möglicherweise Bildungen aus konvektiv durch den Sedimentstapel transportiertem und aufgeheiztem Meerwasser. Eine Bildung im Zusammenhang mit einer ersten kompressiven Phase in den NKA ist allerdings nicht auszuschliessen. Als letzte Generation verdrängen Ankerite alle vorhergehenden Generationen. Sie sind vermutlich auf alpine Fluidtransporte zurückzuführen.

Liassische Sedimente zeigen z.T. disseminierte Fe- und Mn-Vererzungen, mit oxidischen und karbonatischen Vererzungen auf Hochzonen und sulfidischen und karbonatischen Mineralisationen in z.T. anoxischen Beckenbereichen. Maximale Eisengehalte liegen bei 25, maximale Mn-Gehalte bei 11%. Die vererzten Sedimente zeigen ein Al/(Al+Fe+Mn)-Verhältnis < 0.4, was vergleichbar ist mit hydrothermal beeinflussten Sedimenten an Mittelozeanischen Rücken. Auch im Boström- und im Bonattidiagramm zeigen die Sedimente hydrothermale Signaturen auf. Weitere Anreicherungen erfolgen in Form von FeMn-Krusten und -Knollen mit Ni-Anreicherungen bis zu 2500 ppm, neben erhöhten Co, Zn und

Sr-Gehalten, die eine hydrogene Signatur i.S. Bonatti's aufweisen. Mit Ammonitenfunden (*Aegoceras* sp. indet.) überlagernder Sedimente können diese Vererzungen z.T. in den frühen bis mittleren Lias gestellt werden. Sie sind daher Bildungen vor der Öffnung des ligurisch-piemontesischen Ozeans und parallel den (frühen) Calcitkristallisationen. Fibröse Calcite (C2a, C3) wachsen dabei auf Krusten auf.

An Störungen erfolgte eine stratiforme Verkieselung kondensierter Sedimente, deren Isotopensignatur in Quarz mit  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ -Werten zwischen +31.4 und +34.5‰ mit jurassischen Verkieselungen vergleichbar ist. Diese Phänomene klingen mit zunehmender Distanz von den Störungen ab. Verkieselungen in den Allgäuschichten werden auf diffusiven Transport von Kieselsäure durch die Sedimentsäule erklärt.

Es wird ein Modell vorgeschlagen, um diese Veränderungen und Neubildungen zu erklären. Die Anlage von strike-slip Brüchen verursachte dabei die Freisetzung tiefer Formationswässer aus Zonen hoher interner Fluiddrucke, die entlang dieser Flächen mit ihren hohen Permeabilitäten fokussiert wurden und warme, metallreiche Fluide an die Sediment-Wasser-Grenze brachte. Oxidierende Bedingungen an Hochzonen führten zur raschen Ausfällung oxidischer Fe-Erze. Aus in Spalten abtauchenden Wässern kristallisierten an Kluft- oder Hohlraumwänden verschiedene Generationen von Calciten, die eine marine Signatur aufweisen. Verkieselungen sind ein letzter, verdrängender Prozess und sind möglicherweise gekoppelt mit der Kristallisation später blockiger Calcite. Die zeitliche Gliederung ist noch schwierig, Fluidmobilisationen an strike-slip-Flächen dürften jedoch längere Zeit angehalten haben. Ankerite werden dabei einer alpinen Deformationsphase zugeschrieben.

## Abstract

The Northern Calcareous Alps (NCA) show at the Triassic/Liassic-boundary a transition from shallow marine sedimentary environment with carbonate platforms to a strike-slip-dominated continental margin with formation of basin and swells, and Riedel-shear-fractures (syndimentary fissures) in the Pre- and Syn-Rift-sediments as direct evidence. During this time, the Upper Triassic to Liassic platforms broke up and were drowned.

This evolution is in a further context with the break-up of Pangaea and the later formation of an Ligurian-Piemontesian Ocean. The consequences on the fluid-history of the breaking and drowning platforms manifests geochemically in the alteration of Upper Triassic to Liassic sediments and newly formed minerals in syntectonic fissures and cavities.

In syndimentary fissures ("Neptunian Dikes") occur beside internal sediments different generations of distinct Calcite crystal generations. Beginning from microgranular Calcites (generation C1) there is an evolution in a nearly non disturbed sequence from primarily aggrading fibrous crystals (generation C2a) to fibrous to bladed crystals (C3). A locally occurring interbedding with Liassic marine Sediments may conclude with an syndimentary, marine formation. The values for oxygen and carbon isotopes with values between -0.4 and -2.0‰ in  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  and between +2 und +3.5‰ in  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  for generation

C2a and C3 show also marine formation of these crystals, supported by preliminary Sr-isotopic signatures with a  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -ratio of .70727. This value may be correlated with the composition of seawater of mid-Liassic age. Fibrous crystals were displaced finally by blocky Calcites (C4a) and blocky Ferro-Calcites (C4b). The generations C4a and C4b show distinctly more negative oxygen isotopic signatures with values up to -8‰, respectively -10‰ in Ferro-Calcites. The precipitation was out of a distinctly warmer solution (around 70-80° C) and may reflect seawater, which was convectively transported through the sedimentary pile and heated up. A formation in a first compressive stage in the NCA is also not excludable.

Liassic sediments show partially synsedimentary disseminated Fe- and Mn-ore formation, with oxic and carbonaceous formations on swells and sulfidic and carbonaceous mineralisation in locally anoxic basins. Maximum iron content is about 25%, maximum manganese content is about 11%. Ore-bearing sediments show a Al/Al+Fe+Mn-ratio of < 0.4. This is comparable to hydrothermal influenced sediments on Mid Ocean ridges. Bostrom- and Bonatti-diagrams reflect also hydrothermal signature for the ore formation. Further enrichments are within FeMn-nodules and crusts with Ni-enrichments up to 2500 ppm, beside enrichment of Co, Zn and Sr, which reflects an hydrogenetic signature according to Bonatti. Ammonite findings of overlying sediments (with *Aegoceras* sp. indet.) may situate the ore formation in the early to mid Liassic. They are therefore formations before the opening of the Ligurian-Piemontesian ocean and coincidence with (early) Calcite mineralisation. Fibrous Calcites (C2a, C3) grow on such FeMn-crusts.

Along fractured zones results a stratiform silicification of condensed sediments, which isotopic signature in Quartz lies between +31.4 und +34.5‰ in  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ , comparable to Jurassic siliceous sediments. Such silicification fade away with greater distance of these fractures. Silicifications in the Allgäu Schists are explained by diffusive transport of silicic acid.

A model is proposed, to explain such alterations and new formations. The installation of strike-slip fractures caused the liberation of deep formation waters from zones of high internal fluid pressure, which were focussed along high permeability planes and brought warm, metal-rich fluids to the sediment-water interface. Oxidizing conditions on swells caused a fast precipitation of oxic iron ores. From submerging waters in Neptunian dikes crystallized on fracture- and cavity walls distinct generations of Calcite with a marine isotopic signature. Silicification is a last displacing process and may be connected to the crystallization of late blocky calcite. Timing ist still difficult, but mobilisation of fluids on strike-slip fractures may be kept on for a longer time. Ancerites are considered products of alpine deformation.