



**Diagenese, niedrig- und mittelgradige Metamorphose
in den südlichen Salzburger Kalkalpen –
Paläotemperaturabschätzung auf der Grundlage
von Conodont-Color-Alteration-Index-(CAI-)Daten**

Von HANS-JÜRGEN GAWLICK & PETER KÖNIGSHOF*)

Mit 4 Abbildungen

*Österreich
Salzburg
Nördliche Kalkalpen
Kalkalpensüdrand
Diagenese
Metamorphose
Conodont Colour Alteration Index
Karbonate
Hallstätter Zone
Trias
Jura*

*Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 94, 95*

Inhalt

| | |
|------------------------------------------------|----|
| Zusammenfassung | 39 |
| Abstract | 39 |
| 1. Einleitung | 40 |
| 2. Methodik | 40 |
| 3. Geologische und tektonische Übersicht | 40 |
| 4. CAI-Karten | 43 |
| 5. Diskussion der Ergebnisse | 45 |
| 6. Ausblick | 46 |
| Dank | 46 |
| Literatur | 46 |

Zusammenfassung

In den südlichen Salzburger Kalkalpen, zwischen Golling und Annaberg, kann unter Anwendung der Conodont Colour Alteration Index (CAI)-Methode eine Paläotemperaturzunahme von der Diagenese bis zur epizonalen Metamorphose in Richtung Kalkalpensüdrand verfolgt werden. Zur regionalen Temperaturabschätzung wurden mehr als 500 Conodontenproben herangezogen.

Die ermittelten Conodont Colour Alteration Index-Daten stimmen generell mit den bisher bekannten Illit-Kristallinitätswerten überein. Somit wird ein genaueres Erfassen des Diagenese- und Metamorphosegeschehens in den Nördlichen Kalkalpen möglich, besonders in den tethyal pelagisch beeinflussten Karbonatsedimenten des heutigen Kalkalpensüdrandes.

Das Vorliegen absoluter Isotopen-Bildungsalter der metamorphen Überprägung sowie detaillierte sedimentologische, fazielle und stratigraphische Untersuchungen in dem Gebiet der südlichen Salzburger Kalkalpen ermöglichen, den kausalen Zusammenhang zwischen früh-oberjurassischer Gleittektonik und unterkretazischer Isotopen-Bildungsalter (140 Ma) neu zu diskutieren.

**Diagenesis, Very Low Grade and Low Grade Metamorphism in the Southern Salzburg Area –
Paleotemperatures Based on Conodont Colour Alteration Index (CAI) Data –
(Northern Calcareous Alps, Austria)**

Abstract

The thermal maturity of the southern Salzburg area between Golling and Annaberg was estimated by using the Conodont Colour Alteration Index (CAI). These data indicate increasing thermal maturity from the diagenesis in the north to epimetamorphic conditions in the south. More than 500 conodont samples are used for estimation of regional thermal patterns.

*) Anschriften der Verfasser: Dr. HANS-JÜRGEN GAWLICK, Oberer Rotenberg 70, D-35041 Marburg/Lahn; Dr. PETER KÖNIGSHOF, Forschungsinstitut Senckenberg, Senckenberganlage 25, D-60325 Frankfurt/Main.

The observed CAI values of conodonts are in general agreement with illite-crystallinity data. It is possible to verify diagenetic and metamorphic conditions, especially within tethyan pelagically influenced carbonate rocks at the southern rim of the Northern Calcareous Alps.

The coherence of early Upper Jurassic gravitational tectonics and Lower Cretaceous metamorphism are discussed on the base of geochronological data, detailed stratigraphic analysis, facies characteristics and stratigraphic evidence.

1. Einleitung

Die Art, die Altersstellung, die Stärke und die Verbreitung des Metamorphosegeschehens in den Nördlichen Kalkalpen, vor allem am Südrand der Nördlichen Kalkalpen und der Grauwackenzone, wird seit Mitte der siebziger Jahre verstärkt untersucht (SCHRAMM, seit 1975; KRÁLIK, 1982, 1983a; KRÁLIK, THÖNI & FRANK, 1981; KRUMM, 1984). Die Kenntnis der metamorphen Überprägung, besonders am Kalkalpensüdrand ist u.a. wichtig für die Rekonstruktion der frühalpidschen Entwicklungsgeschichte der Nördlichen Kalkalpen.

Die heute vorliegende Metamorphosekarte der Nördlichen Kalkalpen von KRÁLIK, KRUMM & SCHRAMM (1987) basiert fast ausschließlich auf Daten, die mit Hilfe der Illit-Kristallinität ermittelt wurden. Oft unkontrollierbar wechselnde Anteile und Arten detritischer Zufuhren sowie eine langwierige Aufbereitung und Präparation großer Probenmengen besonders von karbonatischen Serien (KRUMM, 1984), deren stratigraphische Stellung gesondert untersucht werden muß, erschweren die Interpretation des gewonnenen Datenmaterials aus der Illit-Kristallinität. Darüber hinaus können nach FREY & NIGGLI (1971) und FREY (1987) verschiedene Faktoren, z.B. unterschiedliche Partialdrucke, Temperatur oder auch die Zusammensetzung der Porenlösung, auf die Diagenese- oder Metamorphosefortschritte der Zeolith- und Tonminerale einwirken. Bei organischen Bestandteilen ist das nicht der Fall; im wesentlichen sind Temperatur und Zeitdauer der thermischen Beanspruchung steuernde Faktoren (vgl. dazu auch OFFLER & PRENDERGAST, 1985). Das Ermitteln von Paläotemperaturabschätzungen mit Hilfe der Illit-Kristallinität ist auch immer an einen erheblichen präparativen Aufwand und Spezialuntersuchungen gebunden, zudem ist eine relativ einfach rekonstruierbare Paläogeographie notwendig. Paläotemperaturabschätzungen mit Hilfe von Conodont Colour Alteration Index (CAI)-Daten können direkt in Kombination mit geologischen und stratigraphischen Fragestellungen unabhängig von der tektonischen Deformation ermittelt werden.

In den Nördlichen Kalkalpen eignen sich besonders die tethyal pelagisch beeinflussten Karbonatsedimente am heutigen Kalkalpensüdrand gut für Paläotemperaturbestimmungen mit Hilfe der Conodontenfarben. Erste regionale CAI-Karten (Abb. 3 und Abb. 4) werden vorgestellt, die ermittelten Temperaturbereiche diskutiert.

2. Methodik

Farbänderungen von Conodonten wurden bereits von ELLISON (1940) und LINDSTRÖM (1964) beschrieben, aber erst von EPSTEIN, EPSTEIN & HARRIS (1977) systematisch untersucht. Die Alteration von Aminosäuren in Conodonten (z.B. PIETZNER et al., 1964; SAVAGE et al., 1990) wird im wesentlichen durch die Temperatur und die Dauer der Temperatureinwirkung beeinflusst. Der Farbveränderungsindex von Conodonten (Colour Alteration Index, CAI), der in acht Farbstufen (CAI 1 – CAI 8) unterteilt wird, wurde in Abhängigkeit von der thermischen Beeinflussung nume-

risch ermittelt und kann mit Hilfe eines Arrhenius-Diagramms auf geologische Zeiträume extrapoliert werden (vgl. EPSTEIN et al., 1977; REJEBIAN et al., 1987).

CAI-Werte sind zu einem wichtigen Hilfsmittel bei der Klärung regionalgeologischer Fragestellungen geworden und können besonders bei der Abschätzung von Paläotemperaturen und Metamorphosegrad wertvolle Hinweise liefern (vgl. BERGSTRÖM, 1980; BELKA, 1982; HARRIS et al., 1983; RAVEN & v.d. PLUIJM, 1986; NOWLAN & BARNES, 1987a; DOUGHERTY & UYENO, 1989; KÖNIGSHOF, 1991, 1992; NÖTH et al., 1991; NÖTH, 1991; JONES, 1992). Sogar aus regional-metamorphen Gebieten der Amphibolit-Fazies können Conodonten noch zu CAI-Bestimmungen herangezogen werden (SCHÖNLAUB & ZEZULA, 1975; SCHÖNLAUB et al., 1980; ELBERT et al., 1988). Allerdings können Conodonten bei der Regionalmetamorphose stärkeren mikromorphologischen Veränderungen unterliegen: Oft zu beobachten ist eine starke Verformung infolge tektonischer Deformation (KOVÁCS & ARKAI, 1987; KÖNIGSHOF, 1992) sowie Zerstörung der Oberfläche durch hydrothermale Alteration (REJEBIAN et al., 1987; KÖNIGSHOF, 1992). Mikromorphologische Veränderung, z.B. Zerstörung morphologischer Details und Vergrößerung der Conodontenoberfläche, stellen keine isolierte Erscheinung dar und sind auch an Conodontenproben aus den Alpen beschrieben worden (FLÜGEL & ZIEGLER, 1957; SCHÖNLAUB & ZEZULA, 1975; SCHÖNLAUB et al., 1980).

Das Probenmaterial stammt ausschließlich aus verschiedenen Kalk- und Dolomittypen, die mit verschiedenen Säuren (Essigsäure, Ameisensäure, Monochloressigsäure) aufbereitet wurden. Aufgrund der hohen Proben-dichte sowie der meist guten Conodontenfaunen ist die (Einzelfälle) negative Auswirkung auf den Erhaltungszustand der Conodonten durch die Verwendung von Monochloressigsäure (vgl. KÖNIGSHOF, 1992) zu vernachlässigen. Bei den meisten Conodontenproben konnte der Indexwert bestimmt werden. Die Bestimmung der CAI-Werte erfolgte auf einer weißen Unterlage im Vergleich zu einem Standard triassischer Conodonten aus dem Arbeitsgebiet. Dieser Index Standard ist mit paläozoischen CAI-Standards von A.G. HARRIS (U.S. Geological Survey, Reston) und eigenen Standards verglichen worden.

Soweit möglich, sind Conodonten gleicher Größe und gleichen Morphotyps zur CAI-Bestimmung herangezogen worden.

3. Geologische und tektonische Übersicht

Im Gebiet des Lammertales (Abb. 1), zwischen Golling an der Salzach im Westen und Annaberg im Osten, liegt ein Streifen mit verschiedenartigen, pelagisch beeinflussten Gesteinen aus dem kalkhochalpinen Faziesraum, der die Ostfortsetzung der Torrener-Joch-Zone über das Salzachtal hinweg darstellt. Die Hallstätter und hallstätterartigen Gesteine der Lammerzone lagern zwischen den, in kalkvoralpiner Dachsteinkalkfazies ausgebildeten, tektonisch zum Tirolikum gestellten Gebirgsstöcken des Tennengebirges im Süden und der Osterhorngruppe im Norden.



Abb. 1.
Tektonische Übersichtskarte des Mittelabschnittes der Nördlichen Kalkalpen.
Vereinfacht nach TOLLMANN (1985: 157, 161, 194) und GANSS et al. (1988), im Arbeitsgebiet verändert.

Aufgrund von neuen Geländebefunden, faziellen und stratigraphischen Untersuchungen (GAWLICK, LEUSCHNER & ZANKL, 1990; GAWLICK, 1991a,b, 1992) wird die Lammerzone als früh-oberrjurassische orogene Beckenfüllung interpretiert.

Das Material der Beckenfüllung stammt vom triassischen Kalkalpensüdrand – dem kalkhochalpinen Ablagerungsraum – und wurde von dort im Dogger/Malm-Grenzbereich nach Norden in das Lammerbecken geschüttet (GAWLICK, 1992).

Die tethyal pelagisch beeinflussten Hallstätter und hallstätterartigen Gesteine der „Lammereinheit“ sind somit nicht Teil des Hallstätter Nordkanales (z.B. ZANKL, 1967; HÄUSLER, 1979, 1980, 1981; TOLLMANN, 1985, 1987c), d.h. jenem obertriassischen „Hallstätter“-Intraplattformbecken, das dem Kalkvoralpin autochthon zwischengeschal-

tet ist (vgl. u.a. HÖCK & SCHLAGER, 1964; SCHLAGER, 1967a,b; HAMILTON, 1981), sondern verfallen als orogene Trogfüllung ein früh-oberrjurassisches Intraplattenbecken im kalkvoralpinen Raum zwischen dem Tennengebirgsnordrand im Süden und der Osterhorngruppe im Norden (GAWLICK, 1992).

Das Komponentenmaterial der in den früh-oberrjurassischen Strubbergsschichten (DIERSCHKE, 1980; PLÖCHINGER, 1990; GAWLICK, 1992) am Tennengebirgsnordrand eingelagerten polymikten Brekzienkörper und die einzelnen, teilweise in die Strubbergsschichtenfolge eingelagerten Schollen der Lammerzone unterscheiden sich in ihrem stratigraphischen Umfang und ihrer faziellen Ausbildung voneinander und können jeweils eigenständigen Ablagerungsbereichen des triassischen Kalkalpensüdrandes zugeordnet werden (Näheres in GAWLICK, 1992):

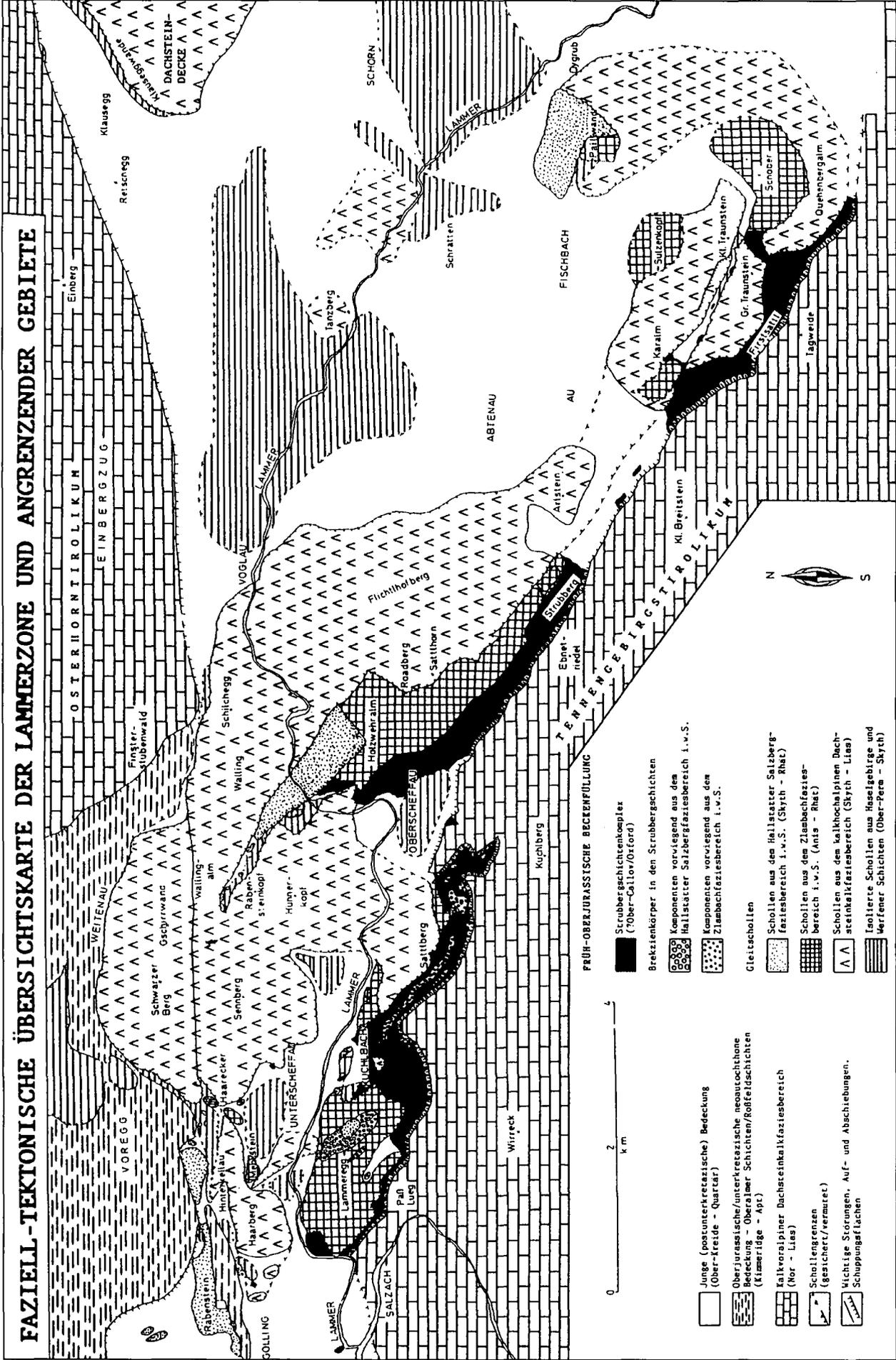


Abb. 2. Faziell-tektonische Übersichtskarte der Lammerzone und angrenzender Gebiete (aus GAWLICK, 1992).

4. CAI-Karten

- ① Hallstätter Salzbergfazies
sensu LEIN (1987a – vgl. Abb. 2)
 - a) Karbonatplattformrand-beeinflußte Hallstätter Salzbergfazies, z.B. Holzwehralmschollenkomplex (Karn – Lias); Komponentenmaterial eines Brekzienkörpers im Hangenden des Lammeregg-Schollenkomplexes (Karn – Nor).
 - b) Karbonatplattformrandferne Hallstätter Salzbergfazies, z.B. Gollinger Hallstätter Schollen (Anis – Rhät); Pailwand-Nordostscholle (?Ober-Perm – Rhät); Komponentenmaterial eines Brekzienkörpers im Hangenden des Lammeregg-Schollenkomplexes (Karn – Nor); Komponentenmaterial des Brekzienkörpers an der Basis des Rabensteines östlich Golling (Nor – Rhät).
- ② Zlambachfazies i.w.S.
sensu TOLLMANN (1985: 105 – vgl. Abb. 2)
 - a) Riffschutt-beeinflußte karbonatplattformrandnahe Zlambachfazies (= Zwieselalmfazies, vgl. MANDL, 1984; TOLLMANN, 1985: 105), z.B. Lammeregg-Schollenkomplex (Karn – ?Rhät); Roadberg-Hauptscholle (?Ladin – Nor); Mehlsteinscholle (Karn – Nor); Komponentenmaterial der Brekzienkörper im Bereich des Infanggrabens, des Sattlberges und des Rauhen Sommerecks.
 - b) Riffschutt-beeinflußte karbonatplattformrandferne Zlambachfazies, z.B. Roadberg-Nordscholle (Karn – Nor); Sattlberg-Liegendschollen (Anis – Nor); Schober-Liegendscholle (Karn – Nor); Komponentenmaterial der Brekzienkörper im Bereich der Infangalm, der westlichen Sattlberg-Liegendscholle und des Rauhen Sommerecks.
- ③ Kalkhochalpine Dachsteinkalkfazies (Abb. 2)
z.B. Schwarzenbergkomplex mit Haarberg, Gollinger Schwarzenberg, Schilchegg, Sattlberg-Hangendscholle, Flichthofberg und Arlstein (Ober-Perm-Lias); Traunsteinkomplex (Skyth-Lias).

Ursache für die frühe Zerlegung und Ablösung des kalkhochalpinen Faziesraumes, des triassischen Kalkalpensüdrandes, könnte das Schließen eines mesozoischen Ozeans (Tethysozean) im Süden der Nördlichen Kalkalpen sein, also die Existenz einer jurassischen Kollisionszone.

Die lithofazielle Ausbildung sowohl der Strubbergbrekzienkörper als auch der Strubbergschichten lassen auf eine Akkumulation des Komponentenmaterials der Brekzienkörper und der Gleitschollen am Hang eines sich generell nach Norden eintiefenden Ablagerungsraumes schließen und sind als Sediment eines intrakontinentalen Tiefseegrabens an einem Aktiven Kontinentalrand interpretierbar (GAWLICK, 1992).

Der Mechanismus dieser geodynamischen Entwicklung ist bisher noch nicht hinreichend geklärt: Diskutiert werden eine Subduktion Richtung Apulia (z.B. TRÜMPY, 1988; vgl. BRANDNER, 1984) oder eine Subduktion unter die kalkalpine Platte (z.B. LEIN, 1985, 1987b; POBER & FAUPL, 1988; FAUPL, 1991) mit Obduktion des kalkhochalpinen Materials. Generelle Dehnungstektonik am Kalkalpensüdrand (z.B. MOSTLER, KRÄINER & STINGL, 1989; WÄCHTER, 1987; VECSEI, FRISCH, PIRZER & WETZEL, 1989; TOLLMANN, 1985, 1986, 1987a – mit Seitenverschiebung; vgl. KRÁLIK, KRUMM & SCHRÁMM, 1987; FRANK, 1987) im frühen Ober-Jura ist aufgrund der sedimentären Entwicklungsgeschichte der Lammerzone auszuschließen (GAWLICK, 1992), obwohl im späten Dogger und frühen Malm im kalkvoralpinen Raum noch Dehnungsstrukturen dominieren.

Der weitaus größte Teil der triassischen Conodonten hat noch nicht das Diagenesestadium überschritten. Die niedrigsten Indexwerte mit CAI 1.0 treten im nordwestlichen und westlichen Bereich (Gollinger Hallstätter Schollenregion; PLÖCHINGER, 1984) des Untersuchungsgebietes auf (Abb. 3). Geringe Paläotemperaturen zwischen $<50\text{--}80^\circ\text{C}$ (nach EPSTEIN et al., 1977) sind wahrscheinlich. Vergleichbar sind die westlich von Golling im Kälbersteinbruch bei Berchtesgaden (Conodonten des Index 1.0) von RIECHE (1971) mit Hilfe von Tonmineralparagenesen ermittelten Paläotemperaturdaten von $40\text{--}80^\circ\text{C}$. In bezug auf die Kohlenwasserstoffgenese sind diese Gesteine als unreif zu bezeichnen (Abb. 4). Südlich der Lammer, im Bereich des nordwestlichen Lammeregg-Schollenkomplexes, steigen die Indexwerte zuerst auf CAI 1.5, im Bereich des südöstlichen Lammeregg-Schollenkomplexes und im Bereich des westlichen Sattlberg-Schollenkomplexes auf Indexwerte von CAI 2.0. Ähnliche CAI-Verteilungen treten auch weiter östlich auf, wo im nördlichen Abschnitt, südlich der Gschirrwand, Conodonten mit CAI 1.0 bestimmt wurden. Conodontenproben sowohl aus Salzbergfaziesschollen, Zlambachfaziesschollen als auch aus kalkhochalpinen Dachsteinkalkfaziesschollen zeigen keine signifikanten Unterschiede in den CAI-Werten, die hier generell bei CAI 1.5 und CAI 1.5–2.0 liegen. Südlich des CAI-Bereiches 1.5–2.0 steigen die Indexwerte weiter an (Abb. 4).

Die aus dem südöstlichen Untersuchungsgebiet vorliegenden Conodontenproben sind aus fazialen Gründen nicht mehr flächendeckend (Abb. 3), bestätigen aber den Trend einer allgemeinen Temperaturzunahme in Richtung Kalkalpensüdrand. Bisher konnte am östlichen Tennengebirgsnordrand (Perm – Skyth) eine beginnende epizonale Metamorphose nachgewiesen werden (HAMILTON, 1981; KRÁLIK, 1982; KRÁLIK et al., 1987). Dies wird auch durch die vorliegenden CAI-Werte bestätigt, die einerseits in die Anchizone (etwa „very low grade“ Metamorphose sensu WINKLER, 1979) fallen (CAI 4–5), andererseits aber auch schon epizonale Metamorphose („low grade“ Metamorphose sensu WINKLER, 1979) mit Indexwerten größer CAI 5 nahelegen (vgl. Abb. 3).

Im Bereich des westlichen und nordwestlichen Schober (Abb. 2) wurden ergänzend Temperaturen mit der Kalzit/Dolomit-Solvus-Thermometrie-Methode ermittelt (die Proben wurden gemessen auf SIEMENS DIFFRAC 500). Am Westfuß des Schober in 1500 m AN (Kalkhochalpine Dachsteinkalkfazies, kein CAI-Wert) ergab die Kalzit/Dolomit-Solvus-Thermometrie (Probe SCH9/91 – Paragenese Kalzit/Dolomit) für Kalzit $X_{\text{MgCO}_3} = 0.021$. Berechnet nach RICE (1977) ergibt sich eine Temperatur $\approx 425^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ bei 1kbar (ca. 390°C bei 5kbar). Im nordwestlichen Bereich des Schober in 1700 m AN (CAI-Bereich 6.0 bis 6.5) ergab die Kalzit/Dolomit-Solvus-Thermometrie (Probe SCH13/91 – Paragenese Kalzit/Dolomit) für Kalzit $X_{\text{MgCO}_3} = 0.034$, d.h. $\approx 470^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$.

Ausnahmen bilden die Pailwand-Ostscholle aus dem Zlambachfaziensbereich mit CAI-Werten von 3.0 und die Schober-Hangendscholle, die aufgrund der niedrigen Indexwerte (CAI 1.0 und CAI 1.5 – Abb. 3) zur Dachsteindexzone gerechnet werden kann (GAWLICK, 1992, vgl. dazu KRÁLIK et al., 1987 – Hofschoberscholle).

Im Bereich der westlichen Lammerzone zeigen kleine Schollen im Bereich von Unterscheffau, auf dem Lammeregg-Schollenkomplex und im Bereich des Strubberges höhere CAI-Werte (CAI 3.0 bis CAI 3.5 – vgl. Abb. 3) als die

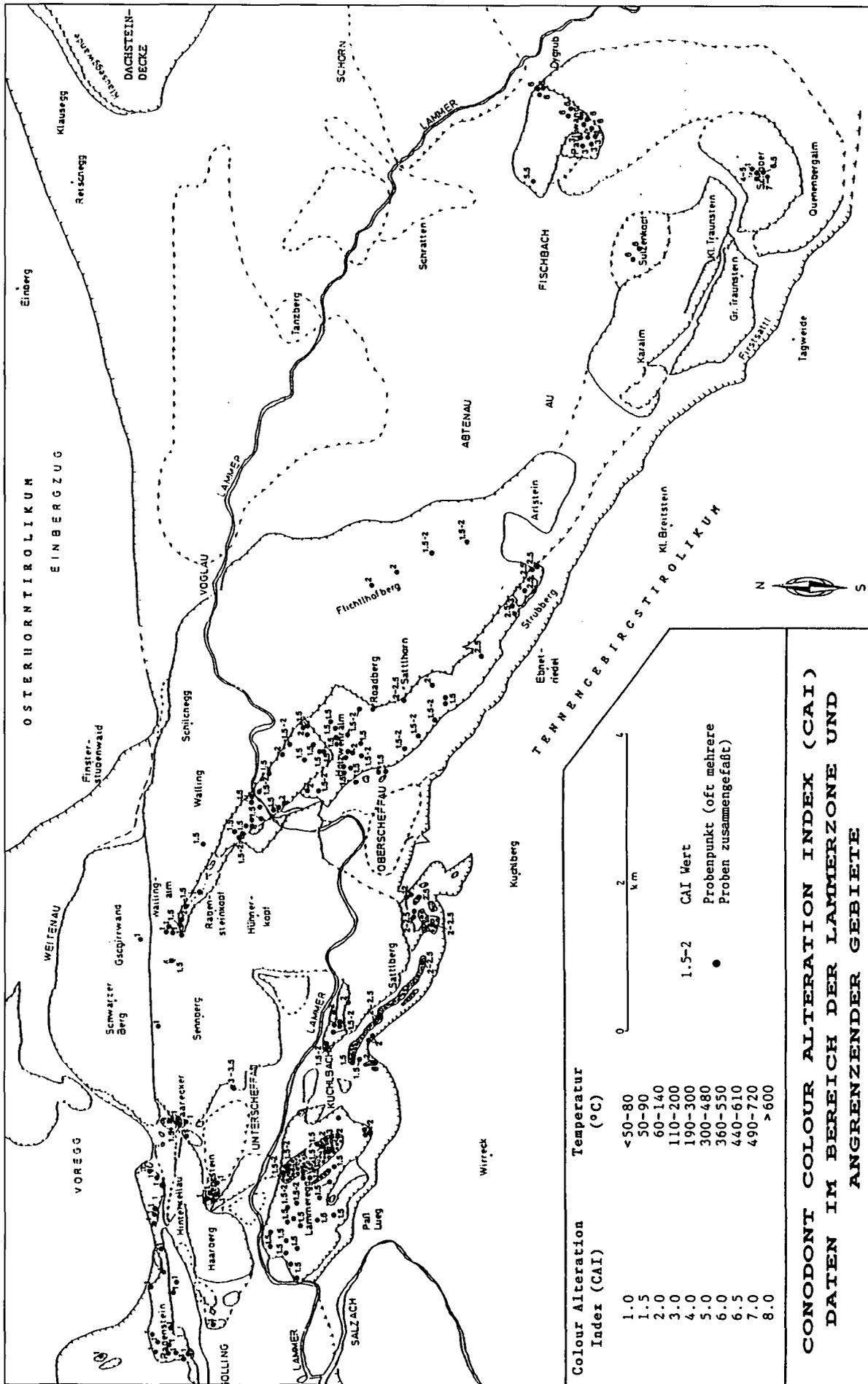


Abb. 3. Conodont Colour Alteration Index (CAI)-Daten im Bereich der Lammerzone und angrenzender Gebiete. Temperaturbereiche nach EpSTEIN et al. (1977) und REBEJAN et al. (1987).

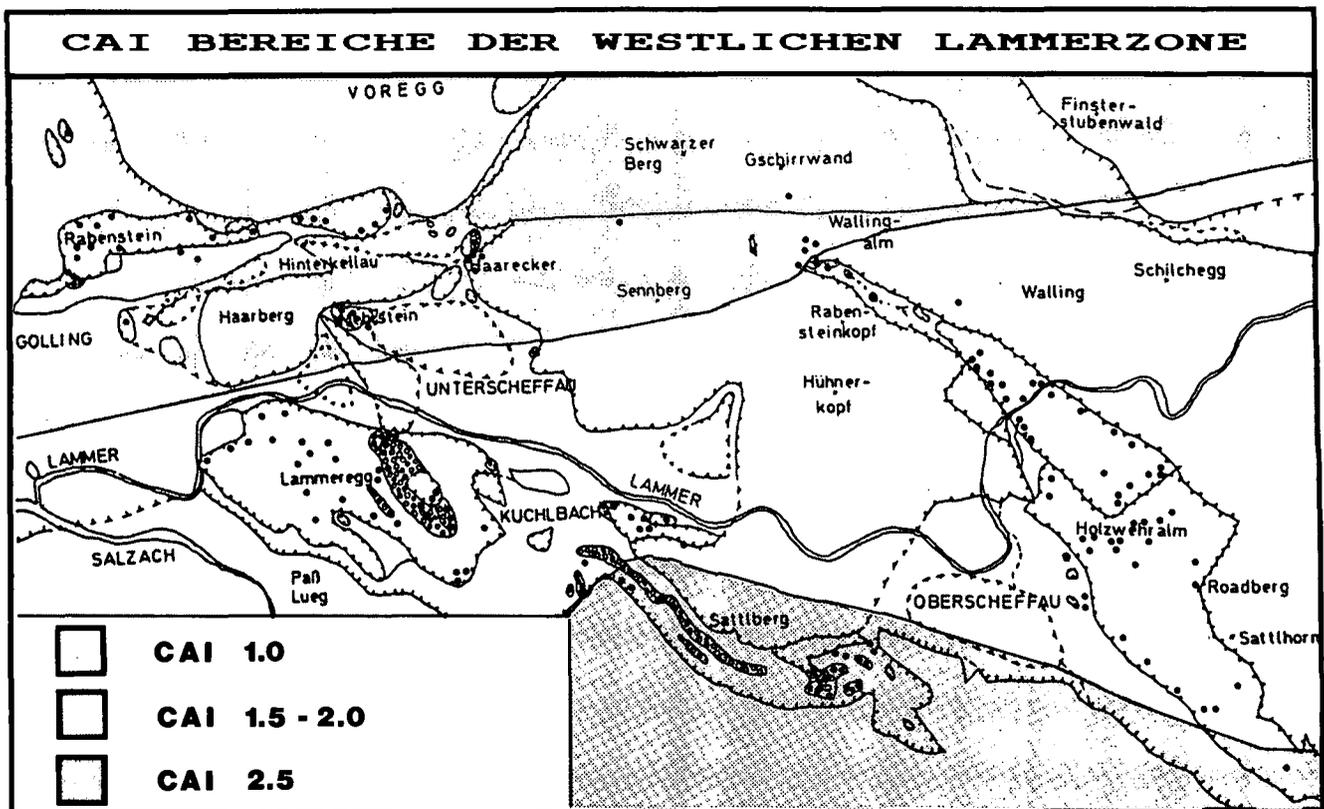


Abb. 4.
CAI-Bereichskarte der westlichen Lammerzone. Große Bereiche der westlichen Lammerzone liegen in dem für die Erdölgenese (CAI 1.5 und CAI 2.0) relevanten Temperaturbereich.
Diagenetische Überprägung des Dachsteinkalkes am Tennengebirgsnordrand interpretiert.

regionalen CAI-Werte (Abb. 4). Ein Transport aus den höher temperierten (Übergang Diagenese – anchizonale Metamorphose) Bereichen im Süden und Südosten ist wahrscheinlich.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die Verteilung der CAI-Werte (Abb. 3 und Abb. 4) und die daraus abgeleiteten Paläotemperaturen zeigen eine Temperaturzunahme Richtung Kalkalpensüdrand und bestätigen den generellen Trend (vgl. KRALIK et al., 1987): Die Gesteine der inneren Osterhorngruppe sind ausschließlich diagenetisch beeinflusst (KRALIK, KRUMM & SCHRAMM, 1987). Im Bereich des Tennengebirgsnordrandes ist eine beginnende anchizonale Metamorphose nachgewiesen (BERAN, FAUPL & HAMILTON, 1981), am östlichen Tennengebirgsnordrand an der Basis (Permo-Skyth) eine beginnende epizonale Metamorphose (HAMILTON, 1981; KRALIK, 1982; KRALIK, KRUMM & SCHRAMM, 1987).

Große Bereiche der westlichen Lammerzone liegen somit innerhalb des Diagenesestadiums (Abb. 4), wobei der überwiegende Anteil der Conodonten (CAI 1.5 und CAI 2.0) den für die Erdölgenese relevanten Temperaturbereich (60–120°C, liquid window) anzeigt.

Der Temperatureinfluß an tektonischen Lineamenten, der sowohl an Störungen als auch Überschiebungen aufgezeigt werden kann (Abb. 3), ist für den generellen Trend vernachlässigbar: Die CAI-Werte an tektonischen Lineamenten liegen generell einen halben Indexwert näher als die regionalen CAI-Werte (vgl. Abb. 2; Holzwehralmscholle).

Die metamorphe Überprägung der Schollen im Bereich des östlichen Tennengebirgsnordrandes erfolgte nach

Rb-Sr-?Abkühlungsaltern (ungefähr 140 Ma – KRALIK 1983a,b; KRALIK, KRUMM & SCHRAMM, 1987; KRALIK, & RIEDMÜLLER, 1987) wahrscheinlich vor der Jura/Kreide-Grenze (vgl. u.a. HARLAND et al., 1982 – 144 Ma; BMR 1991 – 140 Ma).

Im Ober-Jura, zum Zeitpunkt der Metamorphose, ist also eine erhebliche Überdeckung des östlichen Bereiches des Tennengebirgsnordrandes und der östlichen Lammerzone anzunehmen. Das Metamorphosegeschehen im höheren Jura steht deshalb wahrscheinlich in kausalem Zusammenhang mit der früh-oberjurassischen orogenen Beckenfüllung der Lammerzone (Kap. 3). Auch die von KRALIK, KLIMA & RIEDMÜLLER (1987: 316) ermittelten und nicht interpretierten Modellalter von 155 Ma und 152 Ma sind somit gut zu erklären. Die Existenz einer früh-oberjurassischen Kollisionszone am Kalkalpensüdrand (vgl. Kap. 3) und die zeitlich der flyschoiden Beckenfüllung folgende Metamorphose erlauben die Diskussion einer beginnenden Subduktion des Kalkalpensüdrandes im Ober-Jura.

Eine jüngere, schwächere metamorphe Überprägung des Kalkalpensüdrandes (basales Oberostalpin), nach K-Ar-Isotopen-Bildungsaltern (ungefähr 110-90 Ma, KRALIK et al., 1987; KRALIK, mündl. Mitt.) in der höheren Unterkreide, steht wahrscheinlich in engem Zusammenhang mit dem Metamorphosegeschehen beim Überschub des Oberostalpins über den basalen ostalpinen Deckenstapel (vgl. u.a. FRANK, 1987, cum lit.). Dabei könnte auch der sekundäre Transport der höher temperaturbeanspruchten Kleinschollen im Bereich der westlichen Lammerzone (Abb. 2 – vgl. dazu: sekundäres Nordwärtsgleiten des Gollinger Schwarzenbergkomplexes – GAWLICK, LEUSCHNER & ZANKL, 1990) und der Versatz an der Störung der Pail-

wand-Ostscholle (CAI 5.5-6.0) zur Pailwand-Westerscholle (CAI 3.0) erfolgt sein. Das Alter der Störung geben KRÁLIK, KLIMA & RIEDMÜLLER (1987) nach Rb-Sr- und K-Ar- Modellaltern mit ungefähr 100 Ma an.

6. Ausblick

Eine detaillierte Analyse des Diagenese- und Metamorphosegeschehens mit Hilfe des Conodont Colour Alteration Index (CAI) in den gesamten Nördlichen Kalkalpen wird u.a. in Verbindung mit geochronologischen Daten, Illit-Kristallinitätsdaten, sedimentologischen, faziellen und stratigraphischen Untersuchungen die Kenntnis der Baugeschichte der Nördlichen Kalkalpen weiter verbessern.

Das Erfassen des Metamorphosegeschehens mit Hilfe des CAI-Index kann zur Paläotemperaturabschätzung der mittel- und obertriassischen Karbonatsedimente der Nördlichen Kalkalpen unabhängig von dem heutigen tektonischen Bauplan und ursprünglichen paläogeographischen Fazieszonierungen durchgeführt werden. Bisher unerkannte tektonische Lineamente und Deckengrenzen können lokalisiert werden.

Die Möglichkeit der Kartierung von Paläotemperaturbereichen kann auch für die Exploration auf Kohlenwasserstoffe von Bedeutung sein.

Dank

Wir danken dem Institut für Geologie der Universität Wien für die Möglichkeit, das Conodontenmaterial aus dem Bereich der Lammerzone (Material HÄUSLER, Material HAMILTON) einzusehen. Univ.-Doz. Dr. R. LEIN und Univ.-Doz. Dr. L. KRÝSTYN ermöglichten Einsicht in ihr Conodontenmaterial aus den Nördlichen Kalkalpen, so daß der in den südlichen Salzburger Kalkalpen festgestellte Trend überregional getestet werden konnte. Herrn Dr. M. KRÁLIK (Wien) danken wir für die Diskussion und Hinweise im Rahmen neuer Daten. Herr Dipl.-Min. N. HÖPFER (Marburg) bearbeitete die Proben für die Kalzit/Dolomit-Solvus-Thermometrie.

Literatur

BELKA, Z. (1982): Upper Visean conodonts from Orlej in the Cracow Upland: stratigraphical and paleothermal implications. – *Acta Geol. Pol.*, **32** (1–2), 57–67, Warschau.

BERAN, A., FAUPL, P. & HAMILTON, W. (1981): Anchizonale Metamorphose am Nordrand des Tennengebirges (Nördliche Kalkalpen, Salzburg). – *Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., Abt. 1*, **118**, 63–66, Wien.

BERGSTRÖM, S.M. (1980): Conodonts as paleotemperature tools in Ordovician rocks of the Caledonides and adjacent areas in Scandinavia and the British Isles. – *Geologiska Fören. i Stockholm Förhandl.*, **102/4**, 377–392, Stockholm.

BMR (1991): Phanerozoic Timescales Series. Age control on sedimentary sequences. – *BMR Research Newsletter*, **15**, 14–16, Canberra.

BRANDNER, R. (1984): Meeresspiegelschwankungen und Tektonik in der Trias der NW-Tethys. – *Jb. Geol. B.-A.*, **126**, 435–475, Wien.

DIERSCHKE, V. (1980): Die Radiolarite des Oberjura im Mittelabschnitt der Nördlichen Kalkalpen. – *Geotekt. Forsch.*, **58**, 1–217, Stuttgart.

DOUGHERTY, B.J. & UYENO, T.T. (1989): A conodont based thermal maturation study of some Lower and Middle Devonian rocks, northwestern District of Mackenzie and Yukon Territory. – *Current Res., Part G, Geol. Surv. Can., Paper 89-1G*, 37–42, Calgary.

ELBERT, D.C., HARRIS, A.G. & DENKLER, K.E. (1988): Earliest Devonian conodonts from the marbles of the Fitch Formation, Bernardson nappe, North-Central Massachusetts. – *Am. J. Sci.*, **288**, 684–700, New Haven.

ELLISON, S. (1940): The composition of conodonts. – *J. Paleont.*, **18/2**, 133–140, Tulsa.

EPSTEIN, A.G., EPSTEIN, J.B. & HARRIS, L.D. (1977): Conodont Colour Alteration – An Index to Organic Metamorphism. – *Geol. Surv. Prof. Pap.*, **995**, 1–27, Washington.

FAUPL, P. (1991): Subduction and Continent Collision in the Jurassic and Cretaceous History of the Eastern Alps. – *Terra abstracts*, **3**, 259, Strasbourg.

FLÜGEL, H. & ZIEGLER, W. (1957): Die Gliederung des Oberdevons und Unterkarbons am Steinberg, westlich von Graz mit Conodonten. – *Mitt. natw. Ver. Steiermark*, **87**, 25–60, Graz.

FRANK, W. (1987): Evolution of the Austroalpine Elements in the Cretaceous. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 379–406, Wien (Deuticke).

FREY, M. (1987): Very low grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. – In: FREY, M. (Ed.): *Low temperature Metamorphism*, 9–57, London.

FREY, M. & NGGLI, E. (1971): Illitkristallinität, Mineralfazies und Inkohlungsgrad. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, **51**, 229–234, Zürich.

GANSS, O., HEJL, E., MANDL, G.W. & PAVLIK, W. (1988): CC 8742 Bad Reichenhall: Geologische Übersichtskarte 1 : 200.000 der Bundesrepublik Deutschland. – Hrsg.: *Geol. Bundesanstalt f. Geowiss. u. Rohstoffe*, Hannover.

GAWLICK, H.-J. (1991a): The Hallstätter Zone of the Lammer unit – a Jurassic Trough Filling (Northern Calcareous Alps – Austria, Salzburg Area). – *Terra abstracts*, **3**, 259–260, Strasbourg.

GAWLICK, H.-J. (1991b): Die Lammereinheit – eine oberjurassische Beckenfüllung (Nördliche Kalkalpen, Salzburger Land, Österreich). – *Nachr. dt. Geol. Ges.*, **46**, 23–24, Hannover.

GAWLICK, H.-J. (1992): Die früh-oberrjurassischen Brekzien der Strubbergsschichten im Lammertal – Analyse und tektonische Bedeutung (Nördlichen Kalkalpen, Österreich). – *Diss. Univ. Marburg*, 1–149, Marburg/Lahn.

GAWLICK, H.-J., LEUSCHNER, K. & ZANKL, H. (1990): Neuinterpretation eines Querprofils durch die westliche Lammereinheit (Nördliche Kalkalpen, Österreich). – *Jb. Geol. B.-A.*, **133**, 561–566, Wien.

HÄUSLER, H. (1979): Zur Geologie und Tektonik der Hallstätter Zone im Bereich des Lammertales zwischen Golling und Abtenau. – *Jb. Geol. B.-A.*, **122/1**, 75–141, Wien.

HÄUSLER, H. (1980): Zur tektonischen Gliederung der Lammer – Hallstätter Zone zwischen Golling und Abtenau. – *Mitt. österr. geol. Ges.*, **71/72**, 403–413, Wien.

HÄUSLER, H. (1981): Über die Einstufung der Hallstätter Schollen im Bereich der westlichen Lammermasse (Salzburger Kalkhochalpen). – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, **27**, 145–159, Wien.

HAMILTON, W. (1981): Die Hallstätter Zone des östlichen Lammertales und ihre geologischen Beziehungen zum Tennengebirgstirolikum (Nördliche Kalkalpen, Salzburg). – *Unveröff. Diss. Univ. Wien*, 1–226, 7 Beil., Wien.

HARLAND, W.B., COX, A.V., LLEWELLYN, P.G., PICKTON, C.A.G., SMITH, A.G. & WALTERS, R. (1982): A geological timescale. – *Cambr. Earth Sci. Ser.*, 1–131, Cambridge.

HARRIS, A.G., HATCH, N.L. jr. & DUTRO, J.T. jr. (1983): Late Silurian Conodonts Update the Metamorphosed Fitch Formation, Littleton Area, New Hampshire. – *Am. J. Sci.*, **283**, 722–738, New Haven.

HÖCK, V. & SCHLAGER, W. (1964): Einsedimentierte Großschollen in den jurassischen Strubbergbrekzien des Tennengebirges (Salzburg). – *Anz. österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., Abt. 1*, **101**, 228–229, Wien.

JONES, G.L. (1992): Irish Carboniferous conodonts record maturation levels and the influence of tectonism, igneous activity and mineralisation. – *Terra nova*, **4**, 238–244 (Blackwell).

- KÖNIGSHOF, P. (1991): Conodont colour alteration adjacent to a granitic intrusion, Harz mountains. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **2**, 84–90, Stuttgart.
- KÖNIGSHOF, P. (1992): Der Farbänderungsindex von Conodonten (CAI) in paläozoischen Gesteinen (Mitteldevon bis Unterkarbon) des Rheinischen Schiefergebirges – eine Ergänzung zur Vitrinitreflexion {Conodont colour alteration index (CAI) in Paleozoic rocks (Middle Devonian to Lower Carboniferous) of the Rhenish Massif – a completion to vitrinite reflectance}. – *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*, **146**, 1–118, Frankfurt.
- KOVÁCS, & ARKAI, P. (1987): Conodont alteration in metamorphosed limestones from northern Hungary, and its relationship to carbonate texture, illite-crystallinity and vitrinite reflectance. – In: AUSTIN, R.L. (Ed.): *Investigative techniques and applications*, Brit. Micropal. Soc. Ser., 209–230, Chichester.
- KRALIK, M. (1982): Geochronologie der kretazischen Metamorphose in den Kalkalpen und der Grauwackenzone im Bereich von Bischofshofen. – *Frühpalpine Gesch. Ostalpen, Hochschulschwerpunkt S15*, **3**, 9–22, Graz, Leoben.
- KRALIK, M. (1983a): Geochronologie schwach metamorpher Ton-schiefer und Karbonatgesteine am S-Rand der Nördlichen Kalkalpen. – *Frühpalpine Gesch. Ostalpen, Hochschulschwerpunkt S15*, **4**, 7–16, Leoben.
- KRALIK, M. (1983b): Interpretation of K-Ar and Rb-Sr Data from Fine Fraction of weakly Metamorphosed Shales and Carbonate Rocks at the Base of the Northern Calcareous Alps (Salzburg, Austria). – *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* **32**, 49–67, Wien.
- KRALIK, M., KLIMA, K. & RIEDMÜLLER, G. (1987): Dating fault gouges. – *Nature*, Vol. **327**, No. 6126, 315–317, London.
- KRALIK, M., KRUMM, H. & SCHRAMM, J.-M. (1987): Low Grade and Very Low Grade Metamorphism in the Northern Calcareous Alps and in the Greywacke Zone: Illit-Crystallinity Data and Isotopic Ages. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 164–178, Wien (Deuticke).
- KRALIK, M., THÖNI, M. & FRANK, W. (1981): Metamorphoseuntersuchungen in den feinklastischen und karbonatischen Sedimenten der Nördlichen Kalkalpen im Salzburger Bereich. – *Frühpalpine Gesch. Ostalpen, Hochschulschwerpunkt S15*, **2**, 37–43, Graz, Leoben.
- KRUMM, H. (1984): Anchimetamorphose im Anis und Ladin (Trias) der Nördlichen Kalkalpen zwischen Arlberg und Kaisergebirge – ihre Verbreitung und deren baugeschichtliche Bedeutung. – *Geol. Rdsch.*, **73**, 223–257, Stuttgart.
- LEIN, R. (1985): Das Mesozoikum der Nördlichen Kalkalpen als Beispiel eines gerichteten Sedimentationsverlaufes infolge fortschreitender Krustenausdünnung. – *Arch. f. Lagerstättenforsch. Geol. B.-A.*, **6**, 117–128m, Wien.
- LEIN, R. (1987a): Evolution of the Northern Calcareous Alps During Triassic Times. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 85–102, Wien (Deuticke).
- LEIN, R. (1987b): Zur Verbeitung der Hallstätter Zone beiderseits des Pyhrn-Passes. – *Oö. Geonachrichten*, **2**, Folge 2, 21–37.
- LINDSTRÖM, M. (1964): *Conodonts*. – 1–196, Amsterdam – London – New York (Elsevier).
- MANDL, G. (1984): Zur Trias des Hallstätter Faziesraumes – ein Modell am Beispiel Salzkammergut (Nördliche Kalkalpen, Österreich). – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, **30/31**, 133–176, Wien.
- MOSTLER, H., KRAINER, K. & STINGL, V. (1989): Juraentwicklung (unterjurassische Gleittektonik und Beckensedimente) im Raum Lofer. – *Sediment 89, Exkursionsführer zur Exkursion C am 21. Mai 1989*, 1–5, Innsbruck.
- NEUBAUER, F., FRISCH, W. & HANSEN, B.T. (1987): Time Relations Between Eoalpine Metamorphism and Thrusting: Evidence from the Crystalline Basement of the Eastern Greywacke Zone. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 263–271, Wien (Deuticke).
- NÖTH, S. (1991): Die Conodontendiagenese als Inkohlungsparameter und ein Vergleich unterschiedlich sensibler Diageneseindikatoren am Beispiel von Triassedimenten Nord- und Mitteleuropas. – *Boch. geol. u. geotech. Arb.*, **37**, 1–169, 3 Taf., Bochum.
- NÖTH, S., BRUCKSCHEN, P. & RICHTER, D.K. (1991): Conodont colour alteration and microdolomite composition – implications to the Muschelkalk limestone (Upper Triassic) overlying the Upper Cretaceous intrusive body of the Vlotho Massif (Weserbergland, Northwest Germany). – *Geol. Mijnbouw*, **70**, 265–273, s'Grevenhage.
- NOWLAN, G.S. & BARNES, C.R. (1987): Thermal maturation of Paleozoic strata in eastern Canada from conodont colour alteration index (CAI) data with implications for burial history, tectonic evolution, hot spot tracks and mineral and hydrocarbon exploration. – *Bull. Geol. Surv. Can.*, **367**, 1–47, Ottawa.
- OFFLER, R. & PRENDERGAST, E. (1985): Significance of illite crystallinity and b_0 values of K-white mica in low-grade metamorphic rocks, North Hill End Synklinorium, New South Wales, Australia. – *Mineral. Mag.*, **49**, 357–364, London.
- PIETZNER, H., VAHL, J. & ZIEGLER, W. (1968): Zur chemischen Zusammensetzung und Mikromorphologie der Conodonten. – *Palaeontographica*, Abt. A, **128**, 115–152, Stuttgart.
- PLÖCHINGER, B. (1984): Zum Nachweis jurassisch-kretazischer Eingleitungen von Hallstätter Gesteinsmassen beiderseits des Salzach-Quertales (Salzburg). – *Geol. Rdsch.*, **73**, 293–306, Stuttgart.
- PLÖCHINGER, B. (1990): Erläuterungen zu Blatt 94 Hallein im Salzkammergut der Österr. Karte der Republik Österreich 1:50.000, 1–76, Wien (Geol. B.-A.).
- POBER, E. & FAUPL, P. (1988): The chemistry of detrital chromian spinels and its implications for the geodynamic evolution of the Eastern Alps. – *Geol. Rdsch.*, **77**, 641–670, Stuttgart.
- RAVEN, J.G.M. & v.d. PLUIJM, B.A. (1986): Metamorphic fluids and transition in the Cantabrian Mountains of northern Spain: an application of the conodont colour alteration. – *Geol. Mag.*, **123/6**, 673–681, London.
- REJEBIAN, V.A., HARRIS, A.G. & HUEBNER, J.S. (1987): Conodont colour and textural alteration: An index to regional metamorphism and hydrothermal alteration. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, **99/4**, 471–479, Boulder.
- RICE, J. (1977): Contact metamorphism of impure dolomitic limestone in the Boulder Aureole, Montana. – *Contr. Min. Petr.*, **59**, 237–259, New York (Springer).
- RIECHE, J. (1971): Die Hallstätter Kalke der Berchtesgadener Alpen. – *Diss. Techn. Univ. Berlin*, 1–173, Berlin.
- SAVAGE, N.M., LINDORFER, M.A. & McMILLEN, D.A. (1990): Amino Acids from Ordovician Conodonts. – *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg* **118**, 267–275, Frankfurt.
- SCHLAGER, W. (1967a): Fazies und Tektonik am Westrand der Dachsteinmasse (Österreich). II. Geologische Aufnahme von Unterlage und Rahmen des Obertriasriffes im Gosaukamm. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, **17**, 205–282, Wien.
- SCHLAGER, W. (1967b): Hallstätter und Dachsteinkalk-Fazies am Gosaukamm und die Vorstellung ortsgebundener Hallstätter Zonen in den Ostalpen. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1967**, 50–70, Wien.
- SCHÖNLAUB, H.P., FLAJS, G. & THALMANN, F. (1980): Conodontenstratigraphie am Steirischen Erzberg (Nördliche Grauwackenzone). – *J. Geol. B.-A.*, **123**, 169–229, Wien.
- SCHÖNLAUB, H.-P. & ZEJULA, G. (1975): Silur-Conodonten aus einer Phyllonitzone im Muralpen-Kristallin (Lungau/Salzburg). – *Verh. Geol. B.-A.*, **1975**, 253–269, Wien.
- SCHRAMM, J.-M. (1975): Vorbericht über Untersuchungen zur Metamorphose im Raum Bischofshofen – Dienten – Saalfelden (Grauwackenzone/Nördliche Kalkalpen, Salzburg). – *Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-natw. Kl.*, **111** (1974), 199–207, Wien.
- SCHRAMM, J.-M. (1977): Über die Verbreitung epi- und anchimetamorpher Sedimentgesteine in der Grauwackenzone und in den Nördlichen Kalkalpen (Österreich) – ein Zwischenbericht. – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, **7/2**, 3–20, Innsbruck.

- SCHRAMM, J.-M. (1980): Bemerkungen zum Metamorphosegeschehen in klastischen Sedimentgesteinen im Salzburger Abschnitt der Grauwackenzone und der Nördlichen Kalkalpen. – Mitt. Österr. Geol. Ges., **71/72**, 379–384, Wien.
- SCHRAMM, J.-M. (1981): Alpines Metamorphosekonzept und Bauprinzip der Nördlichen Kalkalpen – Konträre Paradigmen? – Frühalp. Gesch. Ostalpen, Hochschulschwerpunkt S15, **2**, 96–99, Graz, Leoben.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich, Band 2. – 1–710, (Deuticke) Wien.
- TOLLMANN, A. (1986): Geologie von Österreich, Band 3. – 1–718 (Deuticke) Wien.
- TOLLMANN, A. (1987a): Neue Wege in der Ostalpengeologie und die Beziehungen zum Ostmediterrän. – Mitt. österr. geol. Ges. **80**, 47–113, Wien.
- TOLLMANN, A. (1987b): Late Jurassic/Neocomian Gravitational Tectonics in the Northern Calcareous Alps in Austria. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): Geodynamics of the Eastern Alps, 112–125, Wien (Deuticke).
- TOLLMANN, A. (1987c): Geodynamic concepts of the Evolution of the Eastern Alps. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): Geodynamics of the Eastern Alps, 361–378, Wien (Deuticke).
- TRÜMPY, R. (1988): A possible Jurassic-Cretaceous transform system in the Alps and the Carpathians. – Geol. Soc. of America, Spec. Pap., **218**, 93–109.
- UTTIG, J., GOODARZI, F., DOUGHERTY, B.J. & HENDERSON, C.M. (1989): Thermal Maturity of Carboniferous and Permian Rocks of the Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago. – Geol. Surv. Can., Paper **89-19**, 1–20, Calgary.
- VECSEI, A., FRISCH, W., PIRZER, M. & WETZEL, A. (1989): Origin and tectonic Significance of Radiolarian Chert in the Austroalpine Rifted Continental Margin. – In: HEIN, J.R. & OBRADOVIC, J. (Eds.): Siliceous Deposits of the Tethys and Pacific Regions), 65–80, (Springer) New York.
- WÄCHTER, J. (1987): Jurassische Massflow- und Internbreccien und ihr sedimentär-tektonisches Umfeld im mittleren Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen. – Bochumer geol. und geotechn. Arb., **27**, 1–239, Bochum.
- WINKLER, H.G.F. (1979): Petrogenesis of metamorphic rocks. – 5th. E., 1–348, Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- ZANKL, H. (1967): Die Karbonatsedimente der Obertrias in den Nördlichen Kalkalpen. – Geol. Rdsch., **56**, 128–139, Stuttgart.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 17. Mai 1992