Sedimentologie und Geochemie von Eisen-Mangan führenden Knollen und Krusten im Jura der Trento-Zone (östliche Südalpen, Norditalien)

Autor(en): **Drittenbass, Walter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **72 (1979)**

Heft 2

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-164840

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv.	Vol. 72/2	Seiten 313-345	10 Textfiguren und 5 Tabellen	Basel, Juli 1979

Sedimentologie und Geochemie von Eisen-Mangan führenden Knollen und Krusten im Jura der Trento-Zone (östliche Südalpen, Norditalien)[1])

Von WALTER DRITTENBASS[2])

ABSTRACT

In the Trento zone (Southern Alps, northern Italy) the Jurassic section shows a passage from Bahamian-type shallow-marine carbonates through encrinites and coquina composed of pelagic bivalves, red condensed and nodular limestones (Rosso Ammonitico) to pelagic limestones of deeper water. This sequence with an increasing pelagic influence and increasing aragonite solution upsection is interpreted as a deepening sequence deposited on a submarine high within the general frame of the subsiding southern continental margin of the expanding Tethyan Ocean. As elsewhere in the Alpine-Mediterranean area, the red stratigraphically condensed limestones (Rosso Ammonitico Inferiore and basal part of Rosso Ammonitico Superiore) are characterized by hardgrounds and ferromanganese crusts and nodules. These are very similar, both macroscopically and microscopically, to their Recent oceanic counterparts. They show a laminated, stromatolite-like, crenulated structure involving frequent sessile Foraminifera. Crusts and nodules are rich in calcite; goethite is the only other mineral phase determined by *x*-ray diffraction whereas the manganese-bearing phases could not be identified mineralogically. *X*-ray fluorescence and electron microprobe analysis reveal a large variability in chemical composition; however, the Fe/Mn ratio is always very high (mean 13 in the crusts, 32 in the nodules). There are positive correlations between Fe and Mn, Fe and Ti; in the nodules also between Fe and Co, Cr and Pb. The Ni/Pb and Cu/Pb ratios compare with those of Recent equivalents of intermediate water depths (e.g. Blake Plateau); however, no reliable absolute bathymetry can be inferred from these ratios, nor a relative bathymetry from other interelement relations. As no indications for a contemporaneous autochthonous volcanic or hydrothermal activity are found in the Southern Alps and as the permanently oxidizing conditions in the red limestones make a diagenetic origin of the nodules very improbable, a hydrogenous origin by inorganic or biochemical fixation of the metallic compounds from seawater is suggested.

RÉSUMÉ

Dans la zone de Trente (Alpes méridionales, Italie du Nord), la coupe du Jurassique montre le passage de carbonates marins peu profonds de type Bahamien à des calcaires pélagiques profonds, en passant par des encrinites et lumachelles à bivalves pélagiques et des calcaires rouges condensés et noduleux (Rosso Ammonitico). Cette succession, caractérisée par une augmentation de l'influence pélagique et de la dissolution de l'aragonite, est interprétée comme une séquence d'approfondissement sur un relief sous-marin, dans le cadre général de la subsidence de la marge continentale sud de la Téthys en expansion. Comme ailleurs dans le domaine alpino-méditerranéen, les calcaires rouges condensés

---

[1]) Beitrag Nr. 12 zu Projekt 105, «Continental Margins in the Alps», des International Geological Correlation Programme.

[2]) Geologisches Institut der Universität Basel. Jetzige Adresse: Caixa Postal 3630, 01000 São Paulo (Brasilien).

(Rosso Ammonitico Inférieur et partie basale du Rosso Ammonitico Supérieur) sont caractérisés par des «hardgrounds» et des croûtes et nodules ferromanganésifères. Ces croûtes et nodules sont très semblables; macroscopiquement et microscopiquement, à leurs équivalents océaniques récents. Ils montrent une structure laminée, crénelée, à aspect de stromatolite, dans laquelle se trouvent souvent des foraminifères sessiles. Croûtes et nodules sont riches en calcite; la goethite est le seul autre minéral déterminé par diffraction *X*, alors que les phases manganésifères n'ont pas pu être identifiées minéralogiquement. La fluorescence *X* et la microsonde révèlent une grande variabilité de composition chimique, mais le rapport Fe/Mn est toujours élevé (en moyenne 13 dans les croûtes, 32 dans les nodules). Fe montre une corrélation positive avec Mn et Ti; dans les nodules on note aussi une corrélation positive entre Fe et Co, Cr et Pb. Les rapports Ni/Pb et Cu/Pb sont comparables à ceux de leurs équivalents récents de profondeur intermédiaire (p.ex. Blake Plateau); cependant on ne peut pas déduire une bathymétrie absolue de ces rapports, ni une bathymétrie relative d'autres relations entre éléments. Comme on ne trouve dans les Alpes méridionales aucune indication d'une activité volcanique ou hydrothermale contemporaine, et comme les conditions continuellement oxydantes dans les calcaires rouges rendent une origine diagénétique des nodules très improbable, nous suggérons une origine par fixation inorganique ou biochimique de composés métalliques de l'eau de mer.

RIASSUNTO

Nella zona di Trento (Alpi meridionali) si osserva, durante il Giurassico, il passaggio da carbonati marini poco profondi del tipo Bahamiano a calcari pelagici profondi, passando per encriniti, lumachelle a bivalvi pelagici e calcari condensati e nodulosi (Rosso Ammonitico). Questa successione, caratterizzata dal basso verso l'alto dall'aumento dell'influenza pelagica e della dissoluzione dell'aragonite, è interpretata come una successione d'approfondimento, depositatasi su una soglia nel quadro generale della subsidenza del margine continentale meridionale della Tetide in espansione. I calcari condensati (Rosso Ammonitico Inferiore e parte basale del Rosso Ammonitico Superiore) sono caratterizzati - come altrove nel dominio alpino-mediterraneo - da hardgrounds e croste e noduli ferromanganesiferi. Queste croste e noduli sono molto simili ai loro equivalenti oceanici recenti, sia macroscopicamente che microscopicamente. Mostrano una struttura laminata e crenulata, simile alla struttura degli stromatoliti, nella quale si trovano spesso foraminiferi sedentari. Croste e noduli sono ricchi in calcite; come unico altro minerale è stato determinato goethite con diffrazione di raggi *X*, mentre non è stato possibile identificare mineralogicamente le fasi manganesifere. Dall'analisi attraverso la fluorescenza a raggi *X* e la microsonda risulta una grande variabilità nella composizione chimica, ma il rapporto Fe/Mn è costantamente alto (in media 13 nelle croste, 32 nei noduli). Fe possiede una correlazione positiva con Mn e Ti, nei noduli esiste una correlazione positiva tra Fe e Co, Cr e Pb. I rapporti Ni/Pb e Cu/Pb sono comparabili con equivalenti recenti di profondità intermedia (p.es. Blake Plateau); communque non è possibile utilizzare questi rapporti per la ricostruzione della batimetria assoluta, nè utilizzare altri rapporti tra elementi per ricostruire una batimetria relativa. Poichè nelle Alpi meridionali non è nota un'attività vulcanica o idrotermale contemporanea, e poichè prevalgono condizioni ossidanti nei calcari rossi che rendono improbabile un'origine diagenetica dei noduli, si propone qui una loro origine per fissazione inorganica o biochimica dei composti metallici dell'acqua marina.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort 315
1. Paläogeographisch-paläotektonische Übersicht und Problemstellung 315
2. Stratigraphischer Überblick 320
   2.1 Calcari Grigi 320
   2.2 San Vigilio-Oolith 320
   2.3 Lumachella a «Posidonia alpina» 320
   2.4 Rosso Ammonitico Inferiore 324
   2.5 Rosso Ammonitico Superiore 325
   2.6 Maiolica 325
3. Die Eisen-Mangan führenden Knollen und Krusten 326
   3.1 Geologisch-stratigraphische Verbreitung 326

3.2 Makroskopische Beschreibung und physikalische Eigenschaften 327
3.3 Innere Struktur 327
3.4 Mineralogie 328
3.5 Chemismus 329
3.6 Diskussion der geochemischen Daten 336
3.7 Bildungstiefe fossiler Knollen und Krusten 339
3.8 Entstehung der Knollen und Krusten 340
4. Schlussbetrachtung 342
Literaturverzeichnis 343

VORWORT

Die vorliegende Arbeit ist die gekürzte Fassung einer Dissertation, die auf Anregung von D. Bernoulli und H. Laubscher entstanden ist. D. Bernoulli, H. Schwander, W. Stern, S. Graeser, L. Hottinger und O. Kälin danke ich für die Unterstützung und Hilfe, die sie mir während der Ausarbeitung der Dissertation zukommen liessen.

Ebenso gilt mein Dank Frau L. Luginbühl und Frl. G. Haberkorn, die mir zahlreiche REM-Aufnahmen und einen grossen Teil der photographischen Arbeiten besorgten.

Schliesslich geht mein Dank an alle, die mich in irgendeiner Weise unterstützt haben.

Die Feldarbeiten wurden vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt Nr. 2.162-0.73) finanziert.

1. Paläogeographisch-paläotektonische Übersicht und Problemstellung

Seit 1968 führt das Geologisch-Paläontologische Institut der Universität Basel Untersuchungen über die sedimentäre und paläotektonische Entwicklung des südlichen Kontinentalrandes der Tethys durch. Das Ziel dieser Forschungen besteht darin, durch Vergleiche mit nichtdeformierten Kontinentalrändern und Ozeanbekken aktualistisch fundierte Rekonstruktionen der frühen alpinen Geschichte zu entwerfen. Die vorliegende Arbeit befasst sich in diesem Rahmen mit der paläogeographischen Entwicklung der Trento-Zone in den Südalpen während des Zeitabschnitts vom mittleren Lias bis unteren Malm. Während dieser Zeit wurden weite Gebiete der embryonalen Kontinentalränder der Tethys von intensiven Bruchbewegungen betroffen (Bernoulli 1964, Castellarin 1972, Kälin & Trümpy 1977). Als Folge der liasischen Bruchtektonik senkten sich Teile der ursprünglichen Flachwassergebiete ab, und nur in einzelnen isolierten Karbonat-Plattformen konnte die Produktion und Sedimentation von Flachwasser-Karbonaten mit der Subsidenz Schritt halten. Einige dieser abgesenkten Plattformen blieben als submarine Hochzonen mit reduzierter pelagischer Sedimentation über Zeiträume von bis zu 100 Millionen Jahren erhalten. Ein Beispiel für eine solche submarine Hochzone ist die Trento-Zone in den östlichen Südalpen. Figur 1 zeigt die stratigraphische Entwicklung der Trento-Zone, Figur 2 die tektonischen Einheiten und die jurassische Paläogeographie (Kimmeridgian) des südlichen Kontinentalrandes der

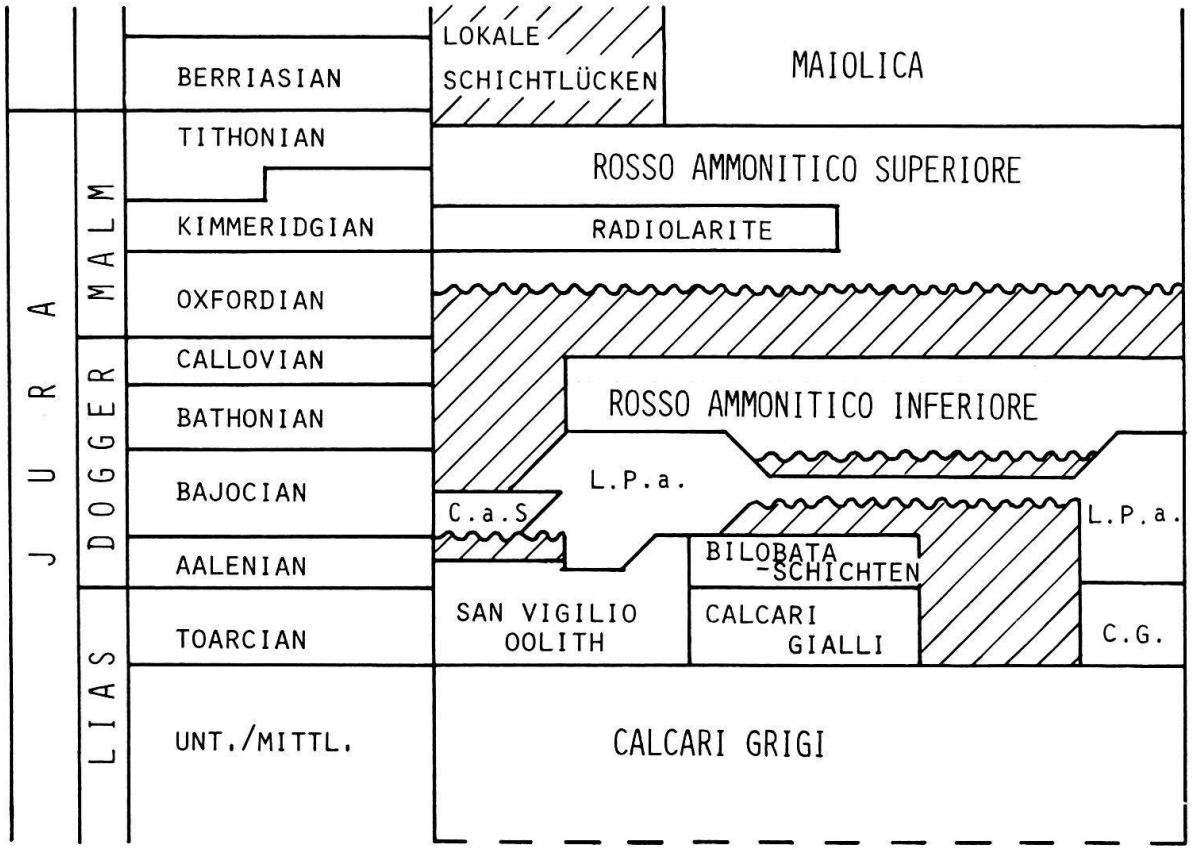


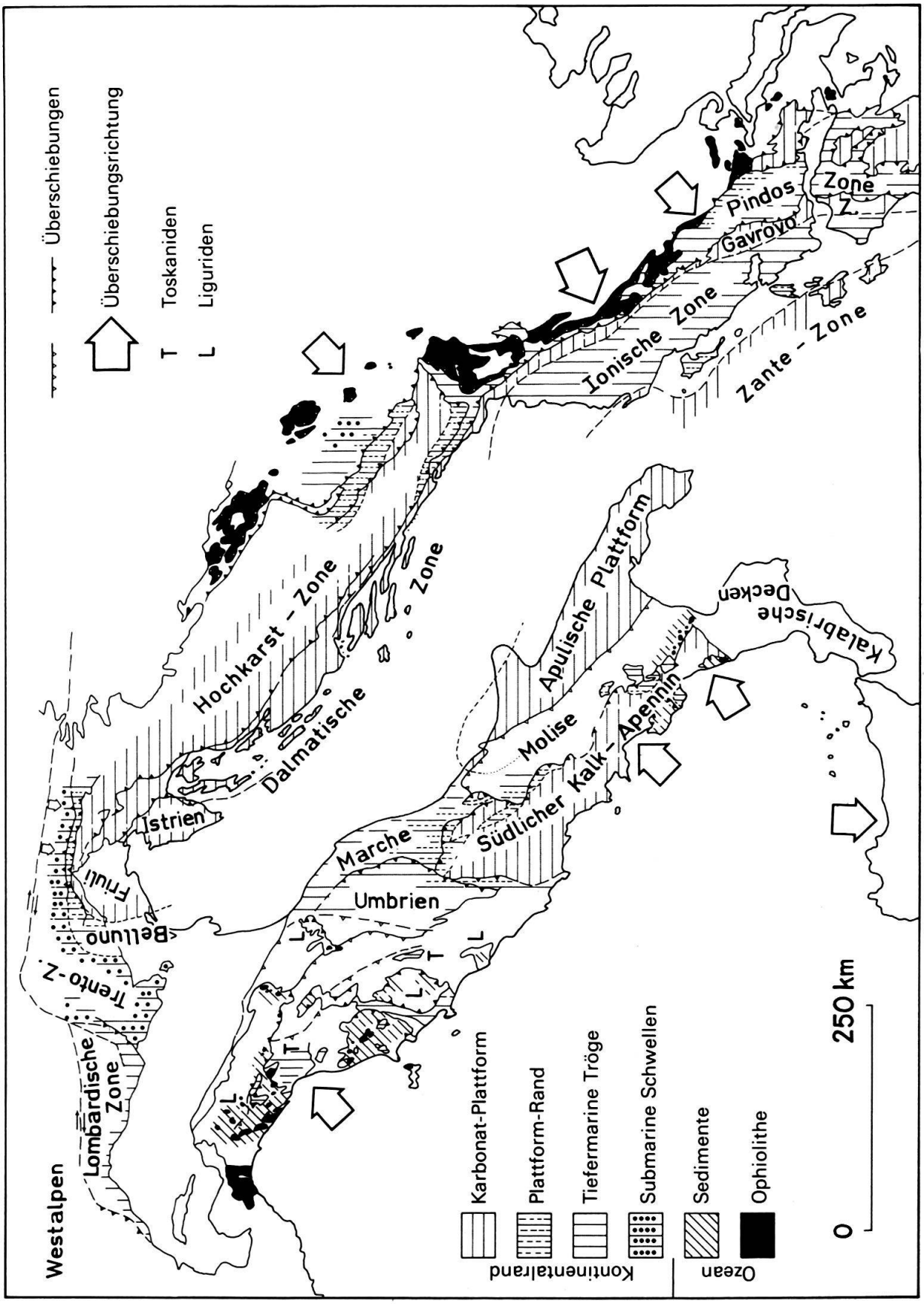
Fig. 1. Stratigraphische Übersicht über die jurassische Schichtreihe der Trento-Zone, nach STURANI (1964, 1971).

L.P.a. = Lumachella a «Posidonia alpina», *C.a.S.* = Calcari a Skirroceras, *C.G.* = Calcari Gialli.

Tethys und Figur 3 eine entsprechende palinspastische Rekonstruktion durch die Südalpen.

Die paläotektonische Situation erinnert an jene heutiger passiver Kontinentalränder, insbesondere an die Bahama-Bank mit mächtigen Karbonat-Plattformen und an das Blake-Plateau mit reduzierter pelagischer Sedimentation. Die Vorgeschichte solcher abgesunkener Kontinentalränder kann in einzelnen Fällen durch die Reflexionsseismik entziffert werden. So lässt zum Beispiel der Kontinentalrand von Nordwest-Australien unter einer «Transgression» pelagischer Sedimente ein Bruchschollenmuster gekippter Blöcke erkennen, welches ausserordentlich gut mit den paläotektonischen Rekonstruktionen von Kontinentalrändern im Bereich der alpin-mediterranen Tethys übereinstimmt (vgl. VEEVERS 1974, BERNOULLI et al. 1979).

Charakteristisch für submarine Hochzonen sind ihre stark reduzierten stratigraphischen Serien und die damit verknüpften Schichtlücken, Hardgrounds und Mineralisationen mit Fe-Mn-Oxiden und -Hydroxiden. Über die progressive Absenkung der Trento-Zone während des Mesozoikums besteht kein Zweifel: Plattform-Karbonate werden von bioklastischen Kalkareniten und schliesslich feinkörnigen pelagischen Karbonatfazies überlagert. Auch die Abfolge der Erhaltungszustände von Hartteilen kalkiger Organismen, insbesondere von Cephalopo-


Überschiebungen
Überschiebungsrichtung
T Toskaniden
L Liguriden
Westalpen
Lombardische Zone
Trento-Z.
Belluno
Friuli
Istrien
Hochkarst-Zone
Dalmatische Zone
Marche
Umbrien
Molise
Südlicher Kalk-Apennin
Apulische Plattform
Kalabrische Decken
Ionische Zone
Pindos
Gavrovo
Zone Z.
Zante-Zone
Karbonat-Plattform
Plattform-Rand
Tiefermarine Tröge
Submarine Schwellen
Sedimente
Ophiolithe
Kontinentalrand
Ozean
0
250 km

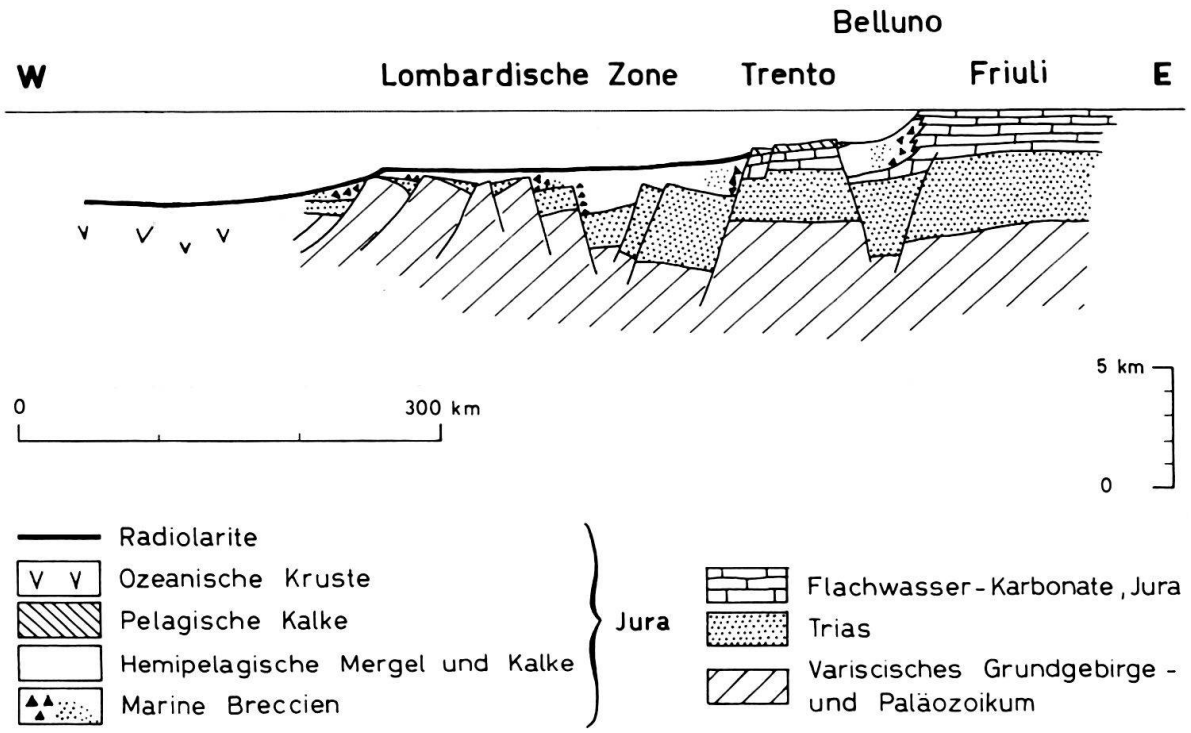


Fig. 3. Palinspastische Rekonstruktion des südlichen Kontinentalrandes des Tethys-Ozeans zur Zeit des Oberen Jura (nach LAUBSCHER & BERNOULLI 1977).

den-Schalen, deutet eine graduelle Zunahme der Meerestiefe an (solution facies). Problematisch ist jedoch die Frage nach der absoluten Bathymetrie. Hier bewegen sich die Interpretationen zwischen zwei Extremen:

Ein Teil der Autoren misst dem Vorkommen von stromatolithenartigen Strukturen im Rosso Ammonitico bathymetrische Bedeutung zu. Sie deuten diese Strukturen als Produkte von subtidalen Algenkolonien und schliessen daraus, dass der Rosso Ammonitico in der photischen Zone abgelagert wurde (STURANI 1969, JENKYNS 1971, WENDT 1970). Nach WENDTS ersten Arbeiten schien das Vorkommen sessiler Foraminiferen in Eisen-Mangan-Knollen eine solche Interpretation zu stützen.

Andere Autoren hingegen sehen keinen Zusammenhang zwischen den stromatolithischen Strukturen und der Bathymetrie. MONTY (1973) interpretiert sie als Pilz- oder Bakterienkolonien, deren organische Schleime feines karbonatisches Material binden können. Nach MONTY (1973) sollen Pilze und Bakterien auch an der Bildung von rezenten Mangan-Knollen in der Tiefsee beteiligt sein. Die Evidenz für diese letztere These ist noch nicht vollständig überzeugend. Hingegen haben neuere Untersuchungen von WENDT (1974) gezeigt, dass sessile Foraminiferen sich bis in grosse Tiefen an der Bildung von Mangan-Knollen beteiligen können. Für den Rosso Ammonitico wird auch von BOSELLINI (1973) und BOSELLINI & WINTERER (1975) eine relativ grosse Ablagerungstiefe angenommen. Diese Autoren stützen sich hauptsächlich auf die grossräumige Subsidenz des Kontinentalrandes. Sie glauben, dass diese Subsidenz in gleicher Weise wie diejenige von ozeanischen Lithosphärenplatten vor sich geht (Sclater-Kurven; vgl. BERGER & WINTERER 1974),

und konstruieren daraus analoge Subsidenzkurven. In der Tat zeigen auch heutige Kontinentalränder einen exponentiellen Zerfall der Subsidenz mit der Zeit (WATTS & RYAN 1976).

Die bathymetrische Zuordnung von Sedimenten unterhalb der photischen Zone und oberhalb der Karbonat-Kompensationstiefe ist ausserordentlich schwierig. In dieser Arbeit wurde nun versucht, eine Anzahl von Eisen-Mangan-Mineralisationen der Trento-Zone zu analysieren, mit Eisen-Mangan-Knollen und -Krusten heutiger submariner Hochzonen und Seamounts zu vergleichen, um ihre Brauchbarkeit zu bathymetrischen Interpretationen abzuklären.

Die Lage des Untersuchungsgebiets und der aufgenommenen Profile ist aus der Figur 4 ersichtlich. An 21 Lokalitäten wurden rund 30 Profile der Formationen zwischen Calcari Grigi und Rosso Ammonitico Superiore aufgenommen. An- und Dünnschliffe dienten sedimentologischen Untersuchungen.

An 80 Bruch- und Schliffpräparaten ist mit dem Raster-Elektronenmikroskop (REM) die Feinstruktur und mit Hilfe eines am REM eingebauten energiedispersiven Spektrometers die chemische Zusammensetzung der Fe-Mn-Knollen untersucht worden. Eine Auswahl von 60 Knollen und Krusten wurde pulverisiert und

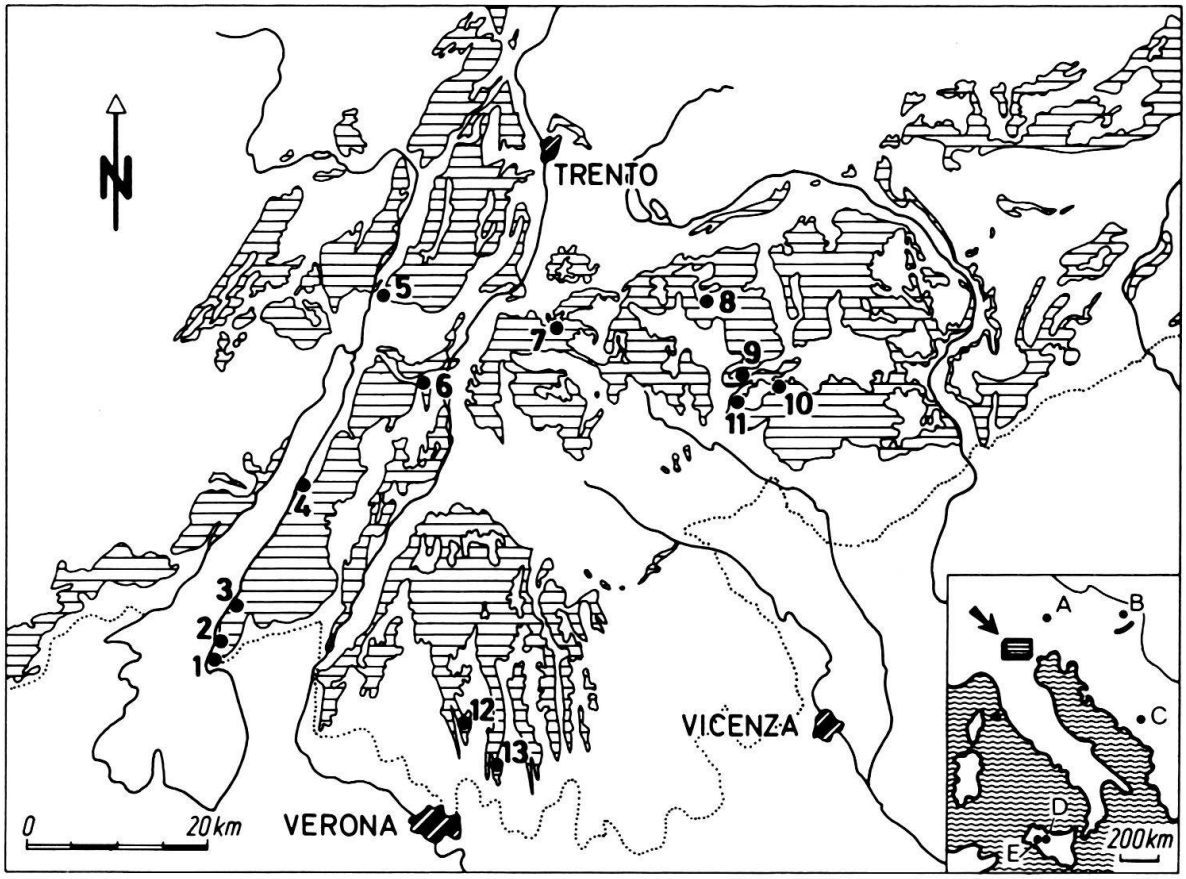


Fig. 4. Verbreitung der jurassischen Sedimente in den östlichen Südalpen (schraffiert) und Lage der untersuchten Profile.

A-E: Fundpunkte weiterer untersuchter Fe-Mn-Knollen. *A* = Kammerköhr Alm, Österreich; *B* = Harskut, Ungarn; *C* = Mihajloviči, Jugoslawien; *D* = Rocca Busambra, Sizilien; *E* = Mte S. Calogero di Sciacca, Sizilien.

mit den Methoden der Differential-Thermoanalyse (DTA), der Röntgen-Diffraktometrie und dem Debye-Scherrer-Verfahren sowie mit der Röntgenfluoreszenz-Methode (RF) analysiert. Schliesslich sind für Mikrosonden-Untersuchungen (RMS) von 9 Knollen, unter denen sich auch Exemplare des Tethys-Bereichs ausserhalb der Trento-Zone sowie Beispiele von Seamounts des Pazifiks (Mapmaker Seamounts, HEEZEN et al. 1973) befanden, polierte Anschliffe angefertigt worden. Ziel der RMS-Analysen war es, die Elementverteilung im mikroskopischen Bereich zu erfassen.

2. Stratigraphischer Überblick

In Figur 1 ist die jurassisch-kretazische Schichtreihe der Trento-Zone schematisch zusammengestellt. Figur 5 zeigt die Stratigraphie der aufgenommenen Profile.

2.1 *Calcari Grigi*

Die Unterlage der pelagischen Serien der Trento-Zone wird überall durch die Calcari Grigi (Calcari grigi di Noriglio), eine Formation von Flachwasser-Kalken mit vertikal und lateral rasch wechselnder Fazies, gebildet. Im Zentrum der Trento-Zone sind es hauptsächlich grobzyklische Ablagerungen, welche in relativ geschützten Lagunen, Gezeiten-Ebenen und supratidalen Marschen abgelagert wurden, die von den tieferen Becken im Westen (Lombardisches Becken) und im Osten (Belluno-Becken) durch Barren von oolithischen und bioklastischen Sanden getrennt waren (BOSELLINI & LORIGA 1971).

2.2 *San Vigilio-Oolith*

Die Calcari Grigi werden von gelb bis rötlich gefärbten Oo- und Biospariten, den San Vigilio-Oolithen, überlagert. Ihr Alter umfasst das Toarcian und Aalenian; das obere Aalenian kann lokal fehlen. In den nördlichen Sette Comuni und in den östlichen Monti Lessini liegen Lumachella a «Posidonia alpina» oder Rosso Ammonitico Inferiore mit einer Schichtlücke auf den Calcari Grigi (STURANI 1971). Die Sedimentation der San Vigilio-Oolithe zeigt bereits einen deutlich offenmarinen Charakter; die Formation enthält zahlreiche Konkretionen von Eisenhydroxiden, die Makrofauna besteht vorwiegend aus Crinoiden, Brachiopoden und, entlang den Plattformrändern, aus Ammoniten (STURANI 1964, 1971). Die Rinde der Ooide enthält zuweilen Coccolithen (JENKYNS 1972).

2.3 *Lumachella a «Posidonia alpina»*

Auf die San Vigilio-Oolithe folgt die Lumachella a «Posidonia alpina», eine geringmächtige Formation, welche sich nur lokal zwischen die Flachwasser-Karbonate der San Vigilio-Oolithe und die pelagischen Kalke des Rosso Ammonitico einschaltet. Charakteristisch für die Formation sind fleckenweise auftretende, linsige Gesteinskörper, deren stratigraphischer Umfang von Lokalität zu Lokalität innerhalb der Zeitspanne Aalenian - unterstes Bathonian stark variiert. In den zentralen

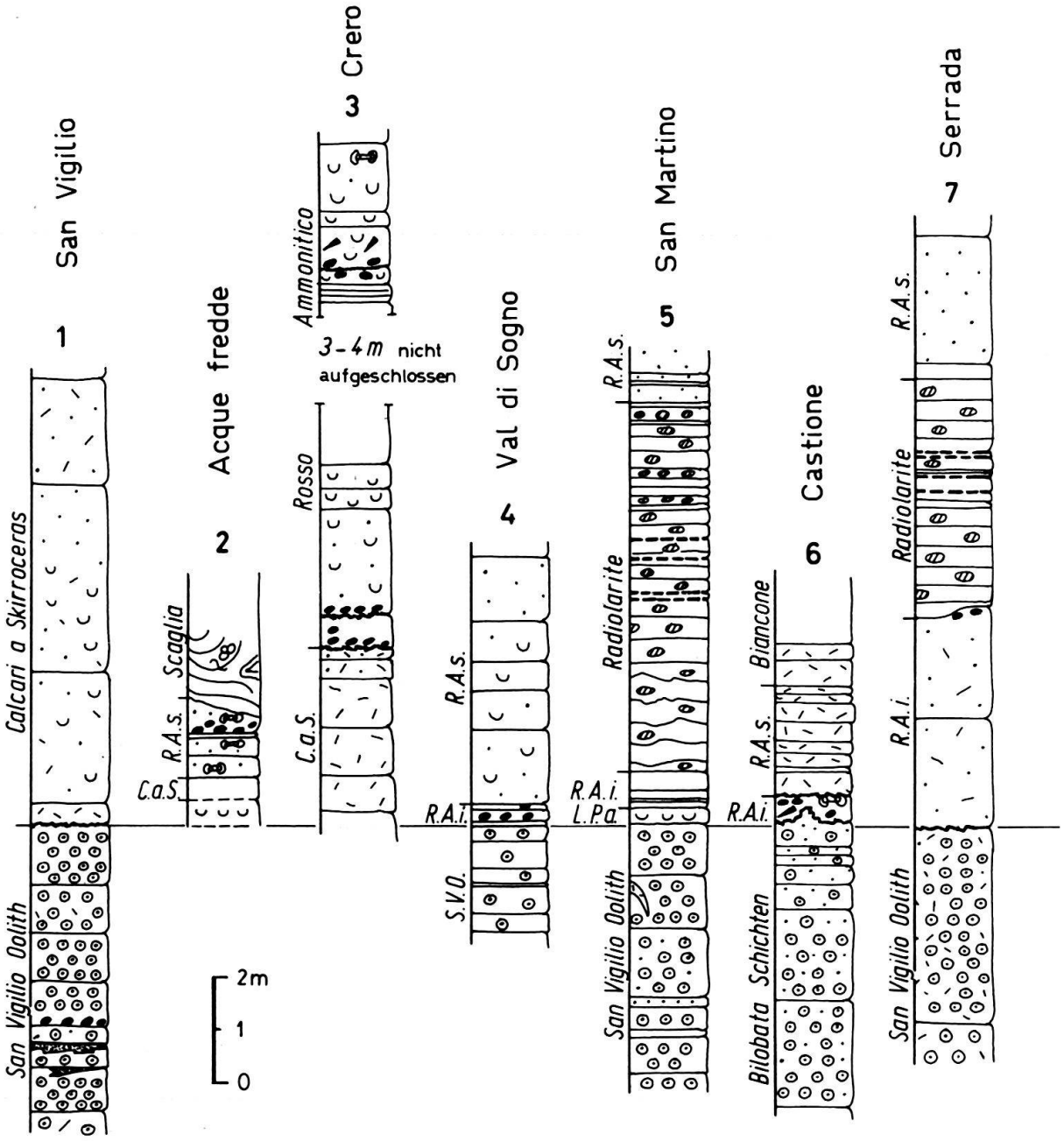
Teilen der Trento-Schwelle ist die Lumachella a «Posidonia alpina» auf verschiedene Abschnitte des Bajocian begrenzt; an den Rändern der Hochzone setzt die Fazies lokal bereits früher, während der Sedimentation der San Vigilio-Oolithe (M. Peller, M. Agaro, STURANI 1971), ein. Ebenso geht die Lumachelle gegen die tieferen Becken zu lateral in crèmefarbene bis rote Biomikrite mit Ammoniten des Bajocian über (Calcari a Skirroceras del Capitello, San Vigilio und Acque Fredde, STURANI 1964; Calcari di Campotorondo, Alpi Feltrine, CASATI & TOMAI 1969).

Innerhalb der Lumachella a «Posidonia alpina» lassen sich beträchtliche Fazieswechsel beobachten. Am Westrand der Trento-Schwelle (z.B. Profil San Martino nordöstlich Arco, Loppio) treten rote Biomikrite mit pelagischen Bivalven auf; diese finden sich auch als Sedimentfüllung in sedimentären Gängen in den unterliegenden Sedimenten (Loppio, CASTELLARIN 1966). In den zentralen Teilen der Schwelle umfasst das Faziesspektrum gut sortierte, ausgewaschene und mit sparitischem Kalzit zementierte Crinoiden-Sande (Acque Fredde, Umgebung von Rovereto, M. Agaro) bis bioklastische Kalkarenite mit Brachiopoden, pelagischen Bivalven *(Bositra)*, kleinwüchsigen Gastropoden und Ammoniten (Sette Comuni). Obwohl diese Kalksande mechanisch gut sortiert sind, scheint die Kleinwüchsigkeit der Faunen ein primäres Merkmal zu sein. Von STURANI (1967, 1971) werden die Assoziationen der Lumachella a «Posidonia alpina» als Epifauna von Algenrasen (algal meadows) interpretiert. In diesem Falle müsste die Produktion der Biogene in der photischen Zone erfolgt sein.

In den Sette Comuni ist die Lumachella a «Posidonia alpina» durch besonders komplexe Lagerungsverhältnisse gekennzeichnet, welche durch STURANI (1971) detailliert beschrieben wurden. Die Lumachelle tritt dort als geopetale Füllung von Hohlräumen und in sedimentären Gängen im Dach der Calcari Grigi auf. In den Hohlräumen folgen nacheinander Phasen von interner Sedimentation (Lumachellen und zum Teil kreuzgeschichtete Crinoiden-Sande), von Zementation und erneuter interner Sedimentation (Biomikrite und pelagische Bivalven). Ausserdem bildet die Lumachelle die Grundmasse von Brekzien, deren Komponenten aus in situ fragmentierten, nichttransportierten gelben, mergeligen Mikriten der obersten Calcari Grigi bestehen.

STURANI (1971) interpretiert die Sedimente der Lumachella a «Posidonia alpina» in den Randzonen der Trento-Schwelle als in der photischen Zone gebildete Flachwasser-Karbonate, welche seitlich, gegen die tieferen Becken zu, in pelagische Kalke übergehen. Die Brekzien der Sette Comuni deutet er als Produkte subaerischer Kalklösung und Verkarstung, die Lumachella a «Posidonia alpina» als Ablagerungen von Sturmfluten, welche die trockengelegte Plattform episodisch überfluteten. Argumente für eine solche Deutung sind nach STURANI die mechanische Sortierung der Sedimente, ihr nach Lokalitäten verschiedenes Alter und die als vadose Bildungen interpretierten radiaxialen Kalzit-Zemente.

Nach der Auffassung von D. Bernoulli (persönliche Mitteilung, 1977) stellen die Sedimente der Lumachella a «Posidonia alpina» von Strömungen sortierte bioklastische Sande dar, wie sie rezent als «sand-waves» auf submarinen Hochzonen (z.B. Blake Plateau) und Seamounts auftreten (vgl. JENKYNS 1971). Die Brekziierung des Substrats, der obersten Calcari Grigi, könnte durch Verkarstung noch während des Lias und/oder später durch submarine Kalklösung während Zeiten ohne Sedimentation erfolgt sein. Die Produktion der Sedimente, welche ausschliesslich aus Biogenen bestehen, mag wohl in der photischen Zone erfolgt sein; allerdings ist es denkbar, dass die kleinwüchsigen Ammoniten und herbivoren Gastropoden pseudoplanktonisch in treibenden Tangwiesen gelebt haben. Jedenfalls fällt auf, dass typische Flachwasser-Bewohner, Algen, Korallen usw. vollständig fehlen. Weiterhin sind zur Zeit des Bajocian an den Plateaurändern nirgends Flachwasser-Faunen oder -Sedimente nachweisbar, hingegen sind Brachiopoden und Crinoiden häufig.



R.A.s. = Rosso Ammonitico superiore
R.A.i. = Rosso Ammonitico inferiore
C.a.S. = Calcari a Skirroceras
L.P.a. = Lumachella a Posidonia alpina
B.S. = Bilobata Schichten
C.G. = Calcari Grigi
S.V.O. = San Vigilio-Oolith

Fig. 5a. Stratigraphische Profile der Jura-Serien der Trento-Zone (I).

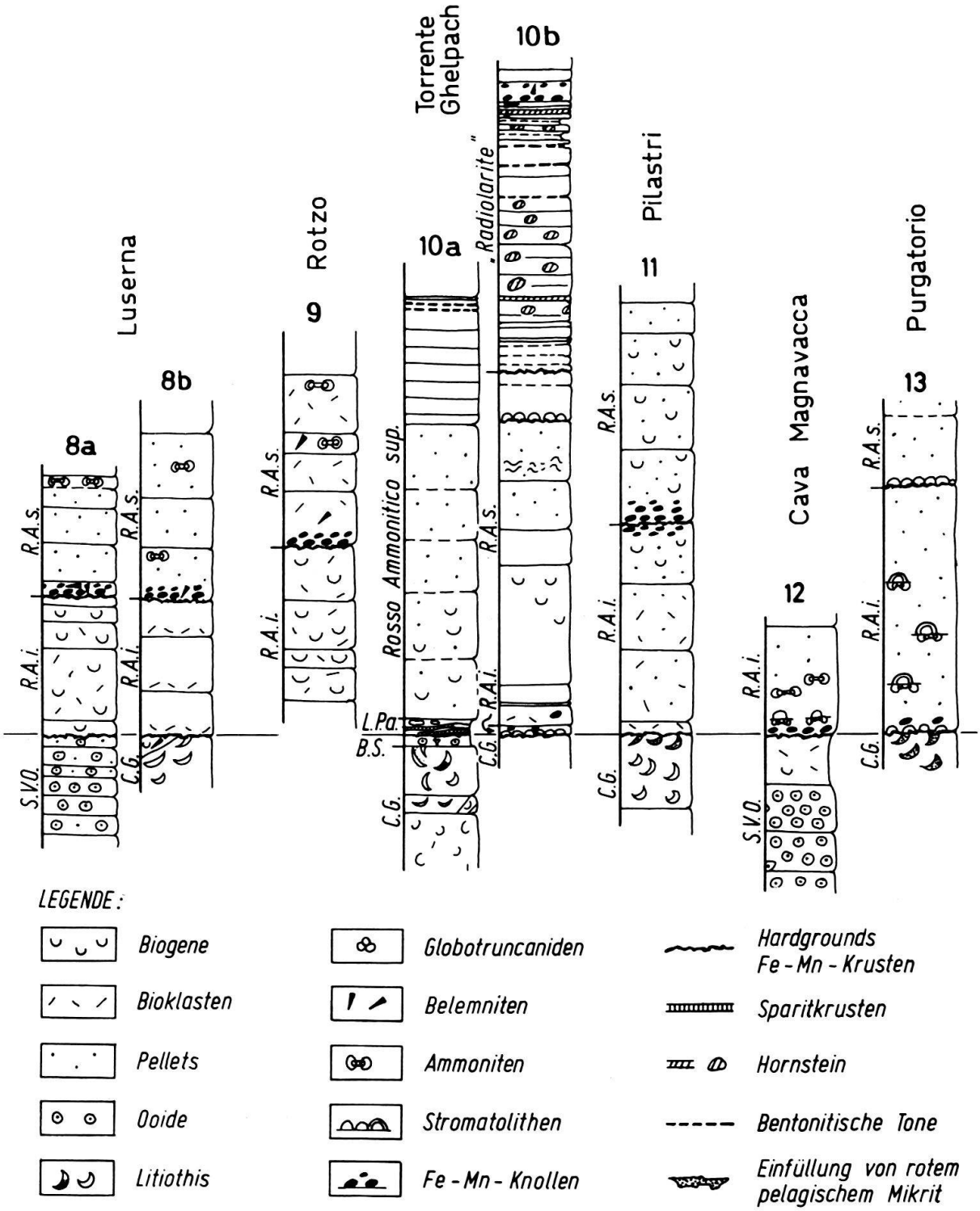


Fig. 5b. Stratigraphische Profile der Jura-Serien der Trento-Zone (II).

2.4 *Rosso Ammonitico Inferiore*

Zwischen Lumachella a «Posidonia alpina» und Rosso Ammonitico Inferiore liegt vielfach eine Schichtlücke, welche einem Teil des oberen Bajocian entspricht (STURANI 1971). Einzig bei Brentonico reicht die Lumachella a «Posidonia alpina» bis ins untere Bathonian. Lokal kann der Rosso Ammonitico Inferiore auch vollständig fehlen; der Rosso Ammonitico Superiore liegt dann unmittelbar auf der Lumachella a «Posidonia alpina» oder auf den Calcari Grigi. Der Rosso Ammonitico Inferiore umfasst verschieden lange Ausschnitte einer Zeitspanne, welche vom obersten Bajocian bis unteren Callovian reicht. Einzig im Profil Serrada ist oberes Callovian nachgewiesen (STURANI, unpubliziert). Die Obergrenze des Rosso Ammonitico Inferiore entspricht ebenfalls einer Schichtlücke. Die Mächtigkeit schwankt zwischen null und wenigen Metern, sie beträgt oft nur wenige Dezimeter.

Der Rosso Ammonitico Inferiore zeigt alle Merkmale einer extrem reduzierten und kondensierten Sedimentation. Lithologisch besteht er aus roten, feinkörnigen Biomikriten mit vorwiegend planktonischen Fossilien: Pelagische Bivalven, Radiolarien, Globigeriniden, daneben Belemniten, Crinoiden, Ostracoden und Foraminiferen. Die Ammonitenfaunen zeigen oft eine Mischung von Arten verschiedener Ammonitenzonen; Kondensation und Umlagerung sind die Regel (STURANI 1964). Submarine Anlösung der primär aragonitischen Schalen und Eisen-Mangan-Umkrustungen sind häufig. Ein Teil der Fauna benötigt festes Substrat, was auf frühe Lithifizierung deutet.

Vielerorts wird der Rosso Ammonitico Inferiore oben und unten durch Hardgrounds mit ausgeprägten Eisen-Mangan-Krusten begrenzt. Der Rosso Ammonitico selbst enthält, insbesondere in der Nachbarschaft der Hardgrounds, zahlreiche Eisen-Mangan-Knollen, deren Geochemie das Hauptthema dieser Arbeit bildet. Verknüpft mit dem unteren Hardground sind oft stromatolithische Strukturen: Über dem Hardground entwickeln sich halbsphärische Dome von bis über 10 cm Höhe, die eine feine mikritische Lamination aufweisen. Anzeichen von Austrocknungsstrukturen, wie sie oft mit intertidalen Algen-Stromatolithen verknüpft sind («birds eyes», «prism cracks» usw.), fehlen vollständig. Von STURANI (1969), JENKYNS (1971), BERNOULLI & JENKYNS (1974) wurden diese Stromatolithen deshalb als subtidale Algenmatten und als Anzeichen für eine Ablagerung in der photischen Zone angesehen; möglicherweise wird das feine laminierte Sediment jedoch auch durch Pilz- oder Bakterienkolonien gebunden (MONTY 1973), womit jeder bathymetrische Hinweis entfällt. Dass es sich um primäre Ablagerungsstrukturen handelt, geht eindeutig daraus hervor, dass zwischen die Dome oft gröberes bioklastisches Material eingefüllt ist. Auch sind die Stromatolithen auf die Hardgrounds beschränkt und an ein festes Substrat gebunden; ausserhalb der Hardgrounds kommen sie nur als Überwachsungen von Ammonitenschalen vor (STURANI 1971). Zuweilen beschränkt sich der Rosso Ammonitico Inferiore auf eine einzige stromatolithische Lage zwischen den Calcari Grigi und dem Rosso Ammonitico Superiore (M. Longara, Cava Voltascura beim T. Ghelpach, STURANI 1971).

In der bathymetrischen Entwicklung der Trento-Zone nimmt der Rosso Ammonitico Inferiore eine intermediäre Stellung zwischen Lumachella a «Posidonia alpina» und Rosso Ammonitico Superiore ein. Extreme Kondensation mit Eisen-Mangan-Mineralisationen deuten auf eine extrem reduzierte pelagische Sedimentation hin; im Unterschied zur Lumachelle waren die Strömungen jedoch nicht mehr stark genug, um alles feinkörnige Material zu erodieren. Gegenüber dem Rosso Ammonitico Superiore ist der Inferiore durch seine extrem niedrige Sedimentationsrate und stärkere submarine Lithifizierung (Substrat für sessile Organismen und Stromatolithen) ausgezeichnet; offenbar wurden mit noch stärkerer Absenkung die Strömungen und mit ihnen die submarine Erosion wieder weniger wirksam.

2.5 *Rosso Ammonitico Superiore*

Zwischen Rosso Ammonitico Inferiore und Superiore lässt sich vielerorts eine Schichtlücke, welche durch Hardgrounds gekennzeichnet ist, feststellen. Diese Schichtlücke entspricht grösstenteils dem oberen Callovian und unteren Oxfordian. In einzelnen Profilen lässt sich die Grenze zwischen Rosso Ammonitico Inferiore und Superiore nicht festlegen; an keiner Stelle sind jedoch Faunen des unteren Oxfordian bekanntgeworden (STURANI 1964, 1971).

Die Mächtigkeit des Rosso Ammonitico Superiore schwankt zwischen wenigen Metern und zwanzig Metern. An der Basis finden sich oft rote dichte Biomikrite mit Ammoniten des oberen Oxfordian, Belemniten und Crinoiden. Lithologisch sind sie identisch mit den unterlagernden Kondensationskalken des Rosso Ammonitico Inferiore, von denen sie durch einen Hardground getrennt sind. Wie diese enthalten sie zahlreiche Fe-Mn-Knollen (z.B. Profile Luserna, Castione, Rotzo). Andernorts folgt über dem Rosso Ammonitico Inferiore direkt die typische Fazies roter Knollenkalke, welche den Hauptteil der Formation ausmachen. In der Mitte der Formation befindet sich oft ein mehrere Meter dickes Paket von dünnbankigen roten Kalken mit Hornsteinen («Radiolarite»). Lokal können diese Hornsteine fehlen. Im obersten Teil dieses Pakets finden sich dünne, zentimeterstarke Einlagerungen smektitischer Tone, welche von BERNOULLI & PETERS (1970, 1974) als entglaste vulkanische Aschentuffe interpretiert wurden.

Über den plattigen Hornsteinkalken folgen wiederum rote Knollenkalke (nach STURANI 1964, Tithon), welche gegen oben in rosa und weisse Knollenkalke («Tithoniano bianco» - Berriasiano nach STURANI 1964) und in homogene weisse Kalzilutite der Maiolica (Untere Kreide) übergehen.

Am Ostufer des Gardasees fehlt die Maiolica teilweise vollständig; der Rosso Ammonitico wird dort unmittelbar von oberkretazischer Scaglia mit submarinen Rutschungen überlagert. Diese Schichtlücken sind als Ausbruchsnischen grosser submariner Rutschungen zu deuten, wie sie CASTELLARIN (1972) vom M. Peller (Val di Non) beschrieben hat; die Ausbruchsnischen stehen offenbar im Zusammenhang mit den grossen submarinen Rutschungen am Westufer des Gardasees (Tignale, CASTELLARIN 1964).

Der Rosso Ammonitico Superiore enthält vorwiegend pelagische Fossilien, Ammoniten, Belemniten, planktonische Crinoiden *(Saccocoma)*, kalkiges Nannoplankton und im Übergang zur Maiolica Calpionelliden. Stromatolithen sind im Vergleich zum Rosso Ammonitico Inferiore weit seltener, frühdiagenetische Lithifizierungen und feste Substrate scheinen, verglichen mit den Kondensationskalken des Rosso Ammonitico Inferiore, weniger ausgeprägt zu sein. Offensichtlich hat im Oberen Jura eine weitere Absenkung der Trento-Schwelle die Effizienz submariner Strömungen vermindert und die Akkumulation pelagischer Kalkschlamme begünstigt.

2.6 *Maiolica*

Mit der Sedimentation der weissen Kalzilutite der Maiolica setzen im grössten Teil der Südalpen homogene Ablagerungsbedingungen ein. Reduzierte Mächtigkeiten, lokale Hardgrounds im Bereich der westlichen Trento-Zone und der geringe Tongehalt der Kreide-Serien zeigen allerdings (im Vergleich mit der Lombardei oder dem Belluno-Becken) eine Persistenz der Trento-Zone als submarine Schwelle an.

3. Die Eisen-Mangan führenden Knollen und Krusten

3.1 *Geologisch-stratigraphische Verbreitung*

Im Jura des alpin-mediterranen Raums treten Eisen-Mangan führende Knollen und Krusten in mehreren Regionen auf. Über die geographische Lage der gegenwärtig bekannten Vorkommen informiert Figur 24 in JENKYNS (1970).

Abgesehen von wenigen Ausnahmen sind die Vorkommen an rote, stratigraphisch kondensierte, jurassische Knollenkalke gebunden (Rosso Ammonitico-Fazies), deren paläotektonische Situation derjenigen der Trento-Zone weitgehend entspricht (BERNOULLI & JENKYNS 1974). Nur wenige der in Figur 24 in JENKYNS (1970) angegebenen Vorkommen sind bis jetzt genauer untersucht worden. Detailliertere Studien liegen lediglich über die jurassischen Knollen und Krusten der Berchtesgadener Alpen (JURGAN 1969), des Sonnwendgebirges (GERMANN 1971) und Westsiziliens (JENKYNS 1967, 1970) vor. Das hier untersuchte Material stammt grösstenteils aus den Formationen des Rosso Ammonitico Inferiore und des Rosso Ammonitico Superiore, einige Proben wurden den San Vigilio-Oolithen entnommen.

Im Rosso Ammonitico ist das Verteilungsmuster der Knollen im allgemeinen von Lokalität zu Lokalität verschieden. Häufig sind die Knollen in den Kalkbänken regellos verstreut. In selteneren Fällen lassen sich Linsen aus enggepackten Knollen unterschiedlicher Grösse beobachten, und gelegentlich sind Omissionsflächen ausserordentlich dicht mit kleinen Knollen belegt (Fig. 6). Neben eigentlichen Knollen treten auch bis zu dezimetermächtige Horizonte auf, in denen Kalkfragmente unterschiedlichster Grösse und Form von millimeter- bis wenigen Zentimeter dicken Eisen-Mangan-Krusten umgeben sind. Eine Regelmässigkeit in der Variation der Knollengrösse konnte in den untersuchten Aufschlüssen weder in horizontaler noch in vertikaler Richtung festgestellt werden.

Fig. 6. Omissionshorizont mit kleinen Fe-Mn-Knollen. Basis des Rosso Ammonitico Superiore (Oberer Jura). Cima Campo di Luserna, Lokalität 8 in Figur 4.

Die laterale Verbreitung der Knollen ist begrenzt, wogegen sich Krusten über grössere Gebiete verfolgen lassen. So wird zum Beispiel der Kontakt des Rosso Ammonitico Inferiore zu den älteren Serien vielerorts durch einen charakteristischen, Eisen-Mangan haltigen Hardground markiert. Ebenso trennen vererzte Omissionsflächen den Rosso Ammonitico Inferiore vom Rosso Ammonitico Superiore.

3.2 *Makroskopische Beschreibung und physikalische Eigenschaften*

Die kugeligen bis ellipsoiden Eisen-Mangan-Knollen entsprechen der Form nach den rezenten und andern fossilen Vorkommen. Die mittleren Durchmesser liegen zwischen 1,5 und 2,0 cm. Die Krusten bestehen aus leicht gewellten, dünnen Lagen und variieren in ihrer Dicke von einigen Millimetern bis zu zentimetermächtigen Horizonten dunkelbrauner und metallischgrauer Farbe. Das Material ist im allgemeinen weich. Hohe Porosität und grosser Kalzit-Anteil bedingen, dass die durchschnittliche Dichte der Knollen lediglich um 2,5 liegt. GERMANN (1971) hat für Knollen der nördlichen Kalkalpen bei etwas geringeren Kalzit-Anteilen Dichten von 3,0 bis 3,55 ermittelt. Sehr grosse Porositäten müssen rezente Knollen aufweisen; sie enthalten praktisch keinen Kalzit und besitzen Dichten von nur 2,4 (MERO 1960). Bei einer vorwiegenden Zusammensetzung der Krusten und Knollen aus Pyrolusit und Goethit wären Dichten um 4,5 zu erwarten.

3.3 *Innere Struktur*

Der Innenaufbau fossiler Knollen stimmt mit dem der rezenten Bildungen in den Grundzügen überein. Die Knollen bestehen aus einem Kern, um den sich eine Hülle aus konzentrisch angeordneten Schalen legt. Aufgrund der Hüllenstrukturen kann man die Knollen in folgende drei Typen aufgliedern:

1. Knollen mit vom Kern bis zum Rand durchgehend konzentrischer Struktur;
2. Knollen mit durchgehend wolkig-radialstrahliger Struktur;
3. Knollen bestehend aus einer Kombination von 1 und 2, wobei der konzentrische Schalenbau meistens aussen auftritt.

Die Mehrzahl der Knollen gehört dem dritten Strukturtyp an. Während der Kern der jurassischen Knollen in der Regel aus einem mikritischen Sedimentrest besteht, der mit dem Mikrit der umgebenden pelagischen Kalke übereinstimmt, sind es bei den rezenten ozeanischen Bildungen Fragmente älterer Knollen, vulkanisches Material und Otolithe von Walfischen (MERO 1965).

Der strukturelle Feinbau ist ausserordentlich kompliziert. Die Schalen bestehen aus einer Vielzahl feinster, parallel verlaufender Lamellen. Diese Lamellenbündel sind durch Einschnürungen charakterisiert und erinnern an stromatolithische Strukturen. JURGAN (1969) hat solche Einschnürungen, die makroskopisch das Bild intensiv gekräuselter Schalen ergeben, an hämatitreichen Krustenlagen beobachtet. Er führt diese Strukturen auf Schrumpfungsprozesse während der diagenetischen Entwässerung von Goethit und der damit verbundenen Volumenverminderung zurück. Am hier vorliegenden Material konnte Hämatit allerdings nicht nachgewiesen werden. Da das Eisen auch in rezenten Knollen mit vergleichbarer Innenstruk-

tur mehrheitlich an Goethit gebunden ist, muss angenommen werden, dass die Struktur nicht auf die Entwässerung von Goethit zurückzuführen ist.

Am Aufbau der meisten Knollen und Krusten sind Mikrofossilien beteiligt. Vermutlich handelt es sich um tolypamminide Foraminiferen (Fig. 7; vgl. auch WENDT 1969, Tf. 25, Fig. 1). Diese sessilen Foraminiferen sind im normalen Sediment nicht vorhanden. Sie benötigen ein festes Substrat und sind als autochthone Bestandteile der Eisen-Mangan-Knollen zu betrachten. Aus der allseitigen Besiedlung ergeben sich Hinweise auf den Wachstumsmechanismus der Knollen, die während ihrer Genese von Zeit zu Zeit gedreht wurden. Nach WENDT (1974) ist das Auftreten sessiler Foraminiferen in rezenten Fe-Mn-Bildungen von der Wassertiefe und der submarinen Topographie unabhängig.

3.4 *Mineralogie*

Sowohl die Knollen und Krusten der Trento-Zone als auch die zum Vergleich herangezogenen Knollen aus Sizilien, Jugoslawien, Ungarn und Österreich enthalten als mineralogische Hauptkomponenten Kalzit und Goethit. Kalzit ist als eingeschlossenes pelagisches Sediment und/oder als diagenetische Bildung im ursprünglichen Porenraum aufzufassen. Die Bestimmung von Mangan-Mineralien bereitet bei den fossilen und bei den rezenten Bildungen wegen der schlechten Kristallinität der Mangan-Phasen grosse Schwierigkeiten. Der Mangan-Gehalt der fossilen Konkretionen ist relativ gering, womit die entsprechenden Mineralkonzentrationen unterhalb der röntgenographischen Nachweisgrenze liegen. Quarz und Kalifeldspat sind mengenmässig von untergeordneter Bedeutung. Im Raster-Elektronenmikroskop (REM) lassen sich die Feldspäte ausnahmslos als euhedrale, ineinander verwachsene und verzwillingte Kristalle erkennen (vgl. DE VECCHI

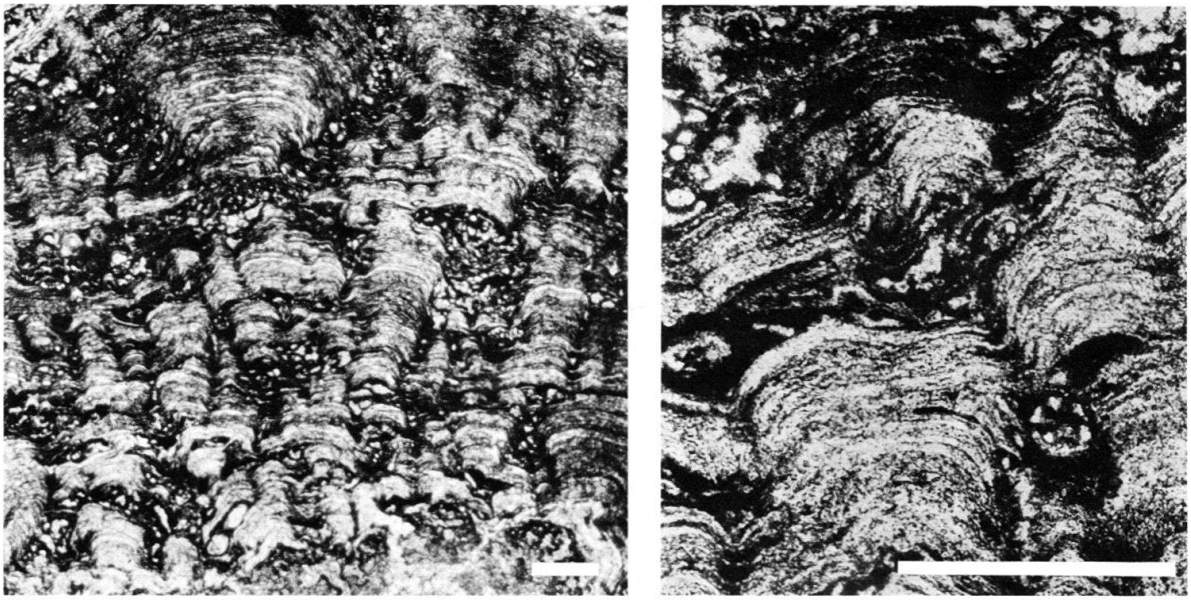


Fig. 7. Stromatolithenähnliche Mikrostruktur einer Fe-Mn-Knolle. Am Aufbau der Laminae sind tolypamminide Foraminiferen beteiligt. Rosso Ammonitico Inferiore. Rotzo, Lokalität 9 in Figur 4. Dünnschliff, WD410, Maßstab: 0,2 mm.

& DIENI 1974). Vermutlich handelt es sich um diagenetische Umwachsungen vulkanischer Sanidine durch Kalifeldspat (BERNOULLI & PETERS 1970, 1974).

3.5 *Chemismus*

In den Tabellen 1 bis 3 sind die mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz-Methode ermittelten Elementgehalte zusammengestellt. Mit der Angabe des Pauschalchemismus soll eine Vergleichsmöglichkeit mit den publizierten Pauschalanalysen fossiler Knollen und Krusten in den Arbeiten anderer Autoren ermöglicht werden. Die mittleren Ca-Gehalte betragen für die Knollen und Krusten 25,6% bzw. 17,2% und bewirken eine entsprechende Verdünnung der übrigen Elementkonzentrationen. Aus Korrelationsberechnungen zwischen Kalzium und dem Glühverlust geht hervor, dass Ca praktisch ausschliesslich an Kalzit gebunden ist. Der aus den Ca-Gehalten errechnete mittlere $CaCO_3$-Anteil beträgt für die Knollen 63,7% und für die Krusten 43,1%. Es darf angenommen werden, dass der grösste Teil des Kalzits diagenetisch gebildet wurde und nicht zum ursprünglichen Chemismus der Fe-Mn-Bildungen gehört: nach MERO (1965) führen rezente Bildungen nur geringe Kalzit-Mengen von 2 bis 5%. An rezenten Vorkommen des Blake Plateau konnten PRATT & MCFARLIN (1966) und MCFARLIN (1967) Kalzit- und Aragonitnadeln feststellen. Es handelt sich dabei um frühdiagenetische, anorganische Ausfällungen, die als erste Zementphasen betrachtet werden können.

Um die vorliegenden Analysenergebnisse mit Literaturdaten über rezente Fe-Mn-Bildungen vergleichen zu können, müssen die Elementquotienten ermittelt werden (Tab. 3, 4*a* und 4*b*).

Die Fe/Mn-Quotienten der Knollen und Krusten aus dem Gebiet der Trento-Zone liegen im Durchschnitt um einen Wert von 13 (Tab. 3). Die Variation der Quotienten ist bei den Knollen grösser als bei den Krusten, wird aber in beiden Fällen durch die grössere Schwankungsbreite der Mn-Gehalte bestimmt (Tab. 1, 2, 4*a* und 4*b*). Die Fe/Mn-Verhältnisse je einer Knolle aus dem Mittleren bis Oberen Jura von Jugoslawien und Ungarn liegen ebenfalls über 1, während die entsprechenden Werte dreier Knollen aus dem Dogger von Sizilien und einer aus dem Dogger der nördlichen Kalkalpen (Österreich) <1 sind (Tab. 3). Die zum Vergleich untersuchten Knollen aus dem Pazifik besitzen Fe/Mn-Quotienten um 1 (Tab. 5).

Mikroanalysen entlang radialen Traversen auf Flächen halbierter Knollen zeigen eine sehr unterschiedliche Elementverteilung, wobei die Elementquotienten auf den ganzen Radienlängen mit den RF-Daten in guter Übereinstimmung stehen (Fig. 8). Vom Zentrum zum Rand der Knollen ist eine Zunahme der Mn- und mit wenigen Ausnahmen auch eine solche der Fe-Konzentrationen zu beobachten (vgl. Fig. 9*b*).

Korrelationsberechnungen anhand der RF-Analysen ergeben sowohl bei Knollen als auch bei Krusten mit zunehmendem Fe-Gehalt auch eine Anreicherung von Mn und Ti. Bei den Knollen ist Fe ausserdem mit Co, Cr und Pb positiv korreliert, während bei den Krusten zusätzlich positive Beziehungen zwischen Fe-Ni und Fe-Al vorliegen. Im Mikrobereich (RMS) können für Elementbeziehungen, die aufgrund der Pauschalanalysen positiv korreliert sind (Fig. 9*a*), auch signifikant negative Korrelationen ermittelt werden (Fig. 9*b*). Punktanalysen zeigen ferner,

Tabelle 1: *Statistische Daten des Chemismus von 10 (bzw. 27)* Fe-Mn-Knollen aus dem Jura der Trento-Zone.*

Element		Maximum	Minimum	Mittel	Stand.Abw.	VC %
Fe	%	34.3	% 3.6	% 13.94	10.59	76
Fe*		34.3	3.6	12.35	8.56	69
Si		10.2	0.5	3.47	2.75	79
Al		2.9	0.5	1.01	0.75	74
Mn		4.1	0.1	0.88	1.2	136
Mn*		4.1	0.06	1.04	1.1	106
P		2.5	0.1	0.55	0.9	164
P*		3.0	0.1	0.98	0.9	94
Mg		1.0	0.4	0.54	0.19	35
K		1.6	-	0.48	0.47	98
Ti		0.6	0.1	0.19	0.15	79
Ti*		0.9	0.07	0.26	0.23	88
Ni	ppm	1540	145	493	410	83
Pb		330	75	187	93	50
Co**		400	50	170	101	59
Zn		225	110	168	33	20
Ba		375	30	121	94	78
Ba*		2350	30	757	714	94
Cr		295	30	101	95	94
Cr*		490	10	104	119	114
Cu		185	5	85	59	69
Sr		60	5	34	22	65
Sc		35	5	20	11	55
Rb		20	5	13	5	38
S**		2000	150	550	587	107
Ca	%	34.0	1.2	25.55	9.68	38
$CaCO_3$***		85.0	3.0	63.74	24.2	38
GV		38.7	11.8	29.84	8.27	28
GV*		39.0	11.8	30.59	6.7	22

* Werte aus 10 Proben einer Voranalyse und aus 17 Proben der Hauptanalyse.

** qualitativ

*** aus den Ca-Werten berechnet.

VC Variationskoeffizient: $\frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}} \times 100$

Tabelle 2: *Statistische Daten des Chemismus von 7 (bzw. 13)* Fe-Mn-Krusten aus dem Jura der Trento-Zone.*

Element		Maximum	Minimum	Mittel	Stand.Abw.	VC %
Fe	%	31.4	2.2	21.16	9.97	47
Fe*		36.3	2.2	21.72	8.63	40
Si		7.3	4.0	5.76	1.29	22
Al		2.1	1.0	1.6	0.32	20
Mn		4.6	0.1	2.51	1.69	67
Mn*		4.6	0.1	2.29	1.29	56
P		0.6	-	0.14	0.08	57
P*		0.6	-	0.25	0.17	68
Mg		0.5	0.4	0.44	0.05	11
K		0.9	0.5	0.71	0.15	21
Ti		0.5	0.1	0.37	0.14	38
Ti*		0.5	0.1	0.39	0.12	31
Ni	ppm	1560	100	1060	573	54
Ni*		1560	100	904	462	51
Pb		1300	65	536	529	99
Co**		650	50	329	189	57
Zn		390	125	269	85	32
Ba		2250	120	486	787	162
Ba*		2770	120	1249	1069	86
Cr		90	20	54	24	44
Cr*		295	20	117	83	71
Cu		950	25	339	388	114
S**		250	100	164	56	34
Ca	%	33.5	8.0	17.23	8.99	52
$CaCO_3$***		83.8	20.0	43.1	22.48	52
GV		37.2	16.8	23.41	7.05	30
GV*		37.2	13.9	21.97	6.53	30

* Werte aus 7 Proben einer Voranalyse und aus 6 Proben der Hauptanalyse.

** qualitativ

*** aus den Ca-Werten berechnet.

VC Variationskoeffizient: $\frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}} \times 100$

Tabelle 3: *Mittlere Elementkonzentrationen und Elementquotienten fossiler Fe–Mn-Knollen und -Krusten; Vergleich der Daten dieser Arbeit mit solchen aus der Literatur.*

Element	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fe	13.94	12.35	8.95	10.8	8.1	3.7	9.5	8.2	0.41	17.18	13.13	21.16	21.72	7.2	3.27	25.20
Si	3.47	-	1.70	3.70	3.50	2.10	-	-	20.64	-	14.00	5.76	-	-	-	-
Al	1.01	-	1.00	2.00	2.30	0.80	-	-	2.41	2.50	6.80	1.60	-	-	-	-
Mn	0.88	1.04	10.65	4.00	1.40	6.50	1.80	5.00	10.13	9.00	12.60	2.51	2.29	7.50	2.55	18.60
P	0.55	0.98	0.20	0.10	0.20	0.20	-	-	0.88	0.89	0.07	0.14	0.25	-	-	-
Mg	0.54	-	1.55	0.70	0.80	0.40	-	0.90	1.34	3.53	0.97	0.44	-	0.50	-	-
K	0.48	-	0.05	0.20	-	-	-	-	-	-	-	0.71	-	-	-	-
Ti	0.19	0.26	0.25	0.30	0.30	0.10	-	-	0.05	0.54	1.08	0.37	0.39	-	-	-
Ni	0.049	-	0.173	0.155	0.215	0.013	0.038	0.150	0.990	-	0.163	0.106	0.090	0.080	-	-
Pb	0.019	-	0.067	0.035	0.091	0.014	-	0.070	-	-	-	0.054	-	0.040	-	-
Co	0.017	-	0.190	0.120	0.140	0.015	-	0.070	0.150	-	0.104	0.033	-	0.040	-	-
Zn	0.017	-	0.036	0.030	0.030	0.011	-	0.027	1.950	-	0.026	0.027	-	0.018	-	-
Ba	0.012	0.076	0.027	0.032	0.230	0.210	-	-	0.020	-	0.163	0.049	0.125	-	-	-
Cr	0.010	0.010	0.002	0.004	0.004	0.009	-	0.002	0.009	-	0.002	0.005	0.012	-	-	-
Cu	0.009	-	0.002	0.001	0.026	0.035	-	0.033	0.018	-	0.227	0.034	-	0.050	-	-
Sr	0.003	-	0.045	0.010	0.030	0.021	-	0.055	0.010	-	0.320	0.002	-	0.038	-	-
Sc	0.002	-	0.002	0.001	0.001	0.002	-	-	0.001	-	-	0.002	-	-	-	-
Rb	0.001	-	0.001	0.002	0.001	0.001	-	-	-	-	-	0.001	-	-	-	-
Na	-	-	0.200	-	-	-	-	-	0.040	-	-	-	-	-	-	-
Mo	-	-	0.005	-	0.005	-	-	-	0.006	-	0.042	-	-	-	-	-
Ca	25.55	-	18.70	15.70	25.80	28.66	-	24.20	9.93	11.95	1.25	17.23	-	21.20	-	-

Tabelle 3: *Fortsetzung.*

Quotienten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fe/Mn	60.3*	32.7*	0.8	2.7	5.8	0.6	6.5	2.6	0.05	2.2	1.04	13.2	12.3	34.5	1.3	1.4
Ni/Co	3.2	-	1.8	1.3	1.5	0.9	-	2.4	7.2	-	1.6	3.1	-	2.0	-	-
Ni/Pb	2.9	-	2.7	4.5	2.4	0.9	-	2.4	-	-	-	2.8	-	1.8	-	-
Ni/Ba	4.1	-	6.8	4.8	0.9	0.06	-	-	76.3	-	1.0	2.9	-	-	-	-
Cu/Co	0.7	-	0.1	-	0.2	2.3	-	0.6	0.1	-	2.2	1.0	-	1.5	-	-
Cu/Pb	0.6	-	0.1	-	0.3	2.5	-	0.8	-	-	-	0.6	-	1.4	-	-
Cu/Ba	1.0	-	0.08	0.03	0.1	0.2	-	-	1.3	-	1.4	1.0	-	-	-	-
Fe/Co	771.0	-	39.8	90.0	57.9	246.7	-	164.0	3.3	-	134.0	681.0	-	630.0	-	-
Mn/Ni	13.6	-	46.0	25.8	6.5	500.0	43.0	43.0	10.2	-	78.5	20.9	-	223.0	-	-

	Autoren	Anzahl	Proben	Geographische Lage	Stratigraphisches Alter
1	DIESE ARBEIT	10	Knollen	Norditalien, Südalpen, Trento Zone	Dogger-Malm
2	-	27**	-	Norditalien, Südalpen, Trento Zone	Dogger-Malm
3	-	3	-	Westsizilien, Rocca Busambra & Mt.S.Calogero di Sciacca	Dogger
4	-	1	-	Jugoslawien, Montenegro, Mihajloviči, N Plevlja	Dogger-Malm
5	-	1	-	Ungarn, Bakony-Gebirge, Harskut, NW Veszprém	Dogger
6	-	1	-	Oesterreich, Kammerköhr Alm, Tirol, SW Salzburg	Dogger
7	TUCKER (1973)	21	-	Südfrankreich, Montagne Noire	Oberdevon
8	GERMANN (1971)	8	-	Oesterreich, Nördliche Kalkalpen	Jura
9	GULBRANDSEN & REESER (1969)	2	-	USA, Montana, Dillon	Perm
10	SIGAL & TRUILLET (1966)	2	-	Ostsizilien, Taormina	Dogger-Malm
11	AUDLEY-CHARLES (1965)	3***	-	Indonesien, West-Timor	Oberkreide
12	DIESE ARBEIT	7	Krusten	Norditalien, Südalpen, Trento Zone	Dogger-Malm
13	-	13**	-	Norditalien, Südalpen, Trento Zone	Dogger-Malm
14	GERMANN (1971)	11	-	Oesterreich, Nördliche Kalkalpen	Jura
15	HALLAM (1967)	1	-	Oesterreich, Tirol, Lofer	Lias
16	LECHNER & PLÜCHINGER (1956)	1	-	Oesterreich, Steiermark, Aultausse	Jura

* Bei Vernachlässigung von 3 Extremwerten ergeben sich Werte von knapp 13
** Knollen: Werte aus 10 Proben einer Voranalyse und aus 17 Proben der Hauptanalyse
** Krusten: Werte aus 7 Proben einer Voranalyse und aus 6 Proben der Hauptanalyse
*** Probe-Nr. F 7889/90, 7891/92 und 7893; Tab. 1, S. 1156

Tabelle 4a: *Statistische Daten einiger Elementquotienten von 10 (bzw. 27)* Fe-Mn-Knollen aus dem Jura der Trento-Zone.*

Quotienten	Maximum	Minimum	Mittel	Stand.Abw.	VC %
Fe/Mn	304	7.1	60.3	101.42	168
Fe/Mn*	304	5.6	32.7	65.03	199
Ni/Co	5.4	0.6	3.2	1.7	53
Ni/Pb	5.1	0.4	2.9	1.6	55
Ni/Ba	5.8	1.6	4.1	1.45	35
Cu/Co	1.2	0.02	0.7	0.5	75
Cu/Pb	1.2	0.02	0.6	0.4	68
Cu/Ba	1.5	0.1	1.0	0.41	58
Fe/Co	1216	570	771	199	26
Mn/Ni	24.6	6.5	13.6	6.1	45

* Werte aus 10 Proben einer Voranalyse und aus 17 Proben der Hauptanalyse.

Tabelle 4b: *Statistische Daten einiger Elementquotienten von 7 (bzw. 13)* Fe-Mn-Krusten aus dem Jura der Trento-Zone.*

Quotienten	Maximum	Minimum	Mittel	Stand.Abw.	VC %
Fe/Mn	29.4	5.2	13.2	9.08	69
Fe/Mn*	29.4	5.2	12.3	6.65	54
Ni/Co	4.5	2.0	3.1	0.98	31
Ni/Pb	4.8	1.1	2.8	1.7	61
Ni/Ba	9.2	0.2	2.9	3.83	77
Cu/Co	2.4	0.1	1.0	0.9	90
Cu/Pb	0.7	0.2	0.6	0.2	34
Cu/Ba	2.1	0.2	1.0	0.67	70
Fe/Co	1047	354	681	267	39
Mn/Ni	33.8	10	20.9	8.9	42

* Werte aus 7 Proben einer Voranalyse und aus 6 Proben der Hauptanalyse

VC Variationskoeffizient: $\frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}} \times 100$

Tabelle 5: *Elementanalysen und -quotienten von Fe-Mn-Knollen, Mapmaker Seamounts, Pazifischer Ozean.*

Element		DB 27-1	DB 20-2	DB 26-1.1. (Kern)	DB 26-1.2. (Hülle)
Fe	%	8.5	% 10.1	13.9	-
Si		4.3	12.9	5.5	0.7
Al		1.3	4.8	1.0	0.2
Mn		11.6	8.1	15.3	0.2
P		0.7	0.6	0.8	27
Mg		1.0	4.2	0.9	0.1
K		0.3	0.8	0.4	-
Ti		1.4	1.7	0.6	-
Ni	ppm	2250	1750	1750	170
Pb		640	520	1090	20
Co		4700	2700	4300	50
Zn		350	480	305	110
Ba		2800	1350	2100	300
Cr		55	500	45	40
Cu		485	300	160	40
Sr		400	250	480	1000
Sc		10	25	10	35
Rb		10	20	10	15
Na	%	1.0	-	0.7	1.1
Mo	ppm	150	100	200	10
Ca	%	2.5	1.7	2.1	35.6
Quotienten					
Fe/Mn		0.7	1.3	0.9	-
Ni/Co		0.5	0.7	0.4	3.4
Ni/Pb		3.5	3.4	1.6	8.5
Ni/Ba		0.8	1.3	0.8	0.6
Cu/Co		0.1	0.1	-	0.8
Cu/Pb		0.8	0.6	0.2	2.0
Cu/Ba		0.2	0.2	0.1	0.1
Fe/Co		18.1	37.4	32.3	-
Mn/Ni		51.6	46.3	87.4	11.8

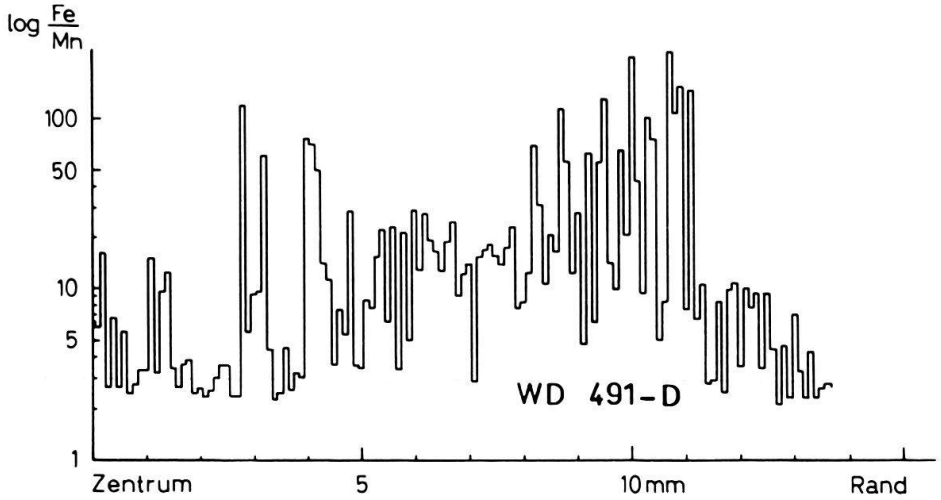


Fig. 8. Schwankungen der Fe/Mn-Verhältnisse entlang einer radialen Traverse durch eine halbierte Fe-Mn-Knolle. RMS-Punktanalysen; Distanz der Messpunkte etwa 100 µm. Rosso Ammonitico Superiore. Castione, Lokalität 6 in Figur 4.

dass die Fe-Mn-Beziehung nicht nur von Knolle zu Knolle, sondern auch innerhalb einer Konkretion wechseln kann (Fig. 9*b*).

3.6 *Diskussion der geochemischen Daten*

Die zum Teil beträchtlichen Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Knollen und Krusten aus dem Gebiet der Trento-Zone lassen keine Ausscheidung von Provinzen mit ähnlichem Chemismus zu. Die Proben variieren in ihren Elementgehalten nicht nur von Lokalität zu Lokalität, sondern auch innerhalb des gleichen Aufschlusses. Selbst Exemplare, die in Handstücken eng benachbart auftreten, weisen chemische Unterschiede auf; zu analogen Befunden sind auch JENKYNS (1970) und TUCKER (1973) gekommen. Ebenso besteht zwischen Beispielen aus stratigraphisch gleichen Horizonten kaum eine chemische Übereinstimmung. Ausnahmen bilden nur die erhöhten Ba-Gehalte der Knollen und die grösseren Ni-Konzentrationen der Krusten an der Basis des Rosso Ammonitico Inferiore.

Die bei den Knollen festgestellten grösseren Variationsbreiten von Eisen und Mangan im Vergleich zu den Krusten (Tab. 1 und 2) stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen von GERMANN (1971), wonach die Fe- und Mn-Konzentrationen bei den Krusten grössere Schwankungen aufweisen. Der Autor führt die variablen Gehalte dieser Elemente auf mineralogisch unterschiedlich zusammengesetzte Krusten-Typen zurück, die einerseits mehrheitlich aus Goethit und Kalzit, andererseits vorwiegend aus Pyrolusit und Kalzit bestehen. Es mag sein, dass für die einzelnen Lagen von Knollen der Trento-Zone analoge Verhältnisse vorliegen; ein Nachweis bestimmter Mangan-Mineralien konnte wegen des röntgenamorphen Charakters dieser Phasen allerdings nicht erbracht werden.

Mit etwas grösserer Sicherheit dürften die Variationsbreiten von Kalium, Aluminium und Silizium auf unterschiedliche Feldspat- und eventuelle Tonmineral-Anteile in den Knollen zurückzuführen sein. Kalifeldspäte konnten im Rahmen

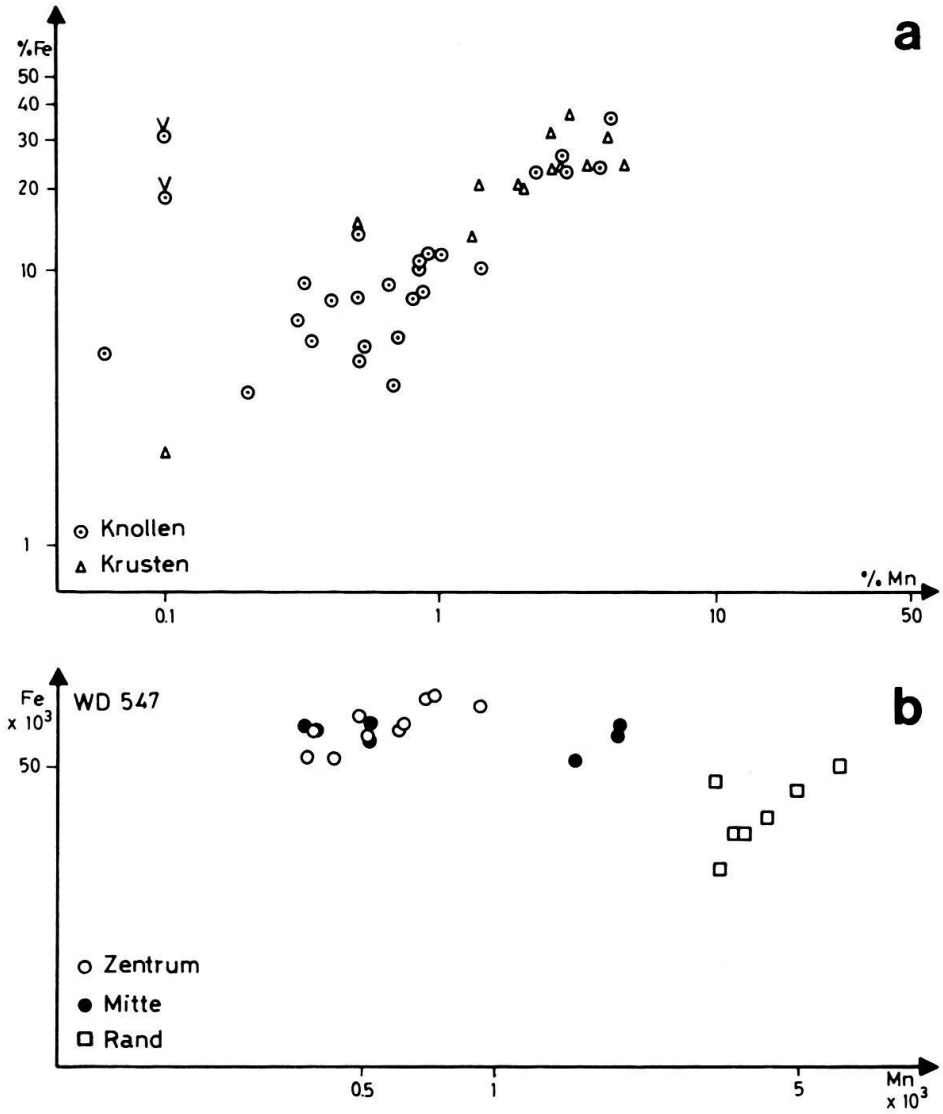


Fig. 9a. Positive Fe-Mn-Korrelation in 27 Knollen und 13 Krusten aus dem Jura der Trento-Zone. *V* = San Vigilio-Oolith; übrige Analysen: Rosso Ammonitico Inferiore und Superiore.

Fig. 9b. Negative Fe-Mn-Korrelation entlang einer radialen Traverse durch eine halbierte Fe-Mn-Knolle. Positive Fe-Mn-Korrelation im Bereich zentraler, mittlerer und randlicher Radienabschnitte. RMS-Punktanalysen; Messpunkte mit maximaler Fe-Intensität. Rosso Ammonitico Inferiore. Torrente Ghelpach, Lokalität 10 in Figur 4.

der mineralogischen Untersuchungen an einigen Knollen festgestellt werden, während sie in den Krusten entweder fehlen oder unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

Die in den Krusten im Vergleich zu den Knollen feststellbare Anreicherung von Eisen, Nickel, Kobalt und anderen Metallen dürfte bis zu einem gewissen Grad mit den geringen $CaCO_3$-Gehalten im Zusammenhang stehen. Eine andere Ursache der höheren Metallkonzentrationen in den Krusten könnte aus den Beobachtungen von CASTELLARIN et al. (1974) abgeleitet werden. Im Bereich von Hardgrounds der Oberkreide und der Kreide/Tertiär-Grenze der Trento-Zone haben diese Autoren grössere Mengen metallischer Kügelchen nachweisen können, die sich durch

erhöhte Fe-, Ni- und Co-Gehalte auszeichnen, und für die CASTELLARIN et al. (1974) kosmischen Ursprung annehmen. Aufgrund der Korrosionserscheinungen an den Oberflächen der sphärischen Körperchen wurde die Vermutung geäussert, dass zumindest ein Teil der Fe-, Ni- und Co-Anreicherungen in den mit Kondensationshorizonten assoziierten Krusten auf diagenetischen Lösungsvorgängen an den metallischen Kügelchen beruht. Aus den kondensierten Jura-Serien der Lokalitäten Serrada, Castione und San Martino sind mehrere Proben auf kosmische Partikel hin untersucht worden. In den essigsäureunlöslichen Fraktionen der Grössenordnung <100 µm konnten jedoch mit Hilfe der Raster-Elektronenmikroskopie keine Kügelchen festgestellt werden.

Fossile Knollen und Krusten scheinen – im Gegensatz zu rezenten Vorkommen – typischerweise mehr Eisen als Mangan zu enthalten. Die Werte für die Fe/Mn-Verhältnisse liegen für die hier untersuchten Proben aus der Trento-Zone wesentlich über 1 und stehen im Einklang mit den Ergebnissen anderer Autoren (Tab. 3). Deshalb ist für solche fossile Bildungen der Ausdruck «Ferromangan»- statt «Mangan»-Knollen vorzuziehen. Ein Grund für die höheren Fe-Gehalte könnte in der besseren Löslichkeit oxidisch-hydroxidischer Mn-Verbindungen liegen. Entsprechend wäre Mn^{+2} während der Diagenese abgewandert (LEPP 1963, LYNN & BONNATTI 1965, STUMM & MORGAN 1970). Ob die mit Hilfe von Punktanalysen (RMS) auf allen untersuchten Knollenradien festgestellte Zunahme der Mn-Konzentration gegen aussen auf einer diagenetischen Mn^{+2}-Wanderung beruht, ist fraglich. TUCKER (1973) deutet braunschwarze, diffuse Ringe, die sich im Nebengestein konzentrisch um die Knollen herum lagern, als Indiz für eine solche Mn-Mobilität, doch liegen die Fe/Mn-Quotienten, welche an Punkten maximaler Mn-Intensität derartiger Aureolen gewonnen wurden, um mindestens eine Zehnerpotenz höher als innerhalb der Knollen. Aufgrund von Analysen an den knollenführenden Rotkalken der nördlichen Kalkalpen Österreichs hat HALLAM (1967) ebenfalls auf eine deutliche Vormacht der Fe-Gehalte im Matrixgestein hingewiesen. Gegen eine diagenetische Abwanderung von schwach oxidiertem Mn^{+2} spricht auch die Tatsache, dass die Rosso-Ammonitico-Fazies aufgrund der vorwiegend rötlichen Färbung (Hämatit) während der Ablagerung und Diagenese oxidierenden Verhältnissen unterworfen war (JENKYNS 1974, SCHLAGER 1974).

Neben den Fe-reichen fossilen Knollen treten vereinzelt auch Mn-reiche Exemplare auf. Solche Ausnahmen konnten JENKYNS (1970) im Jura Westsiziliens, AUDLEY-CHARLES (1965) in der Oberkreide von Osttimor und GULBRANDSEN & REESER (1969) im Perm von Montana nachweisen. Nach NIINO (1955) steht der hohe Mn-Gehalt im Zusammenhang mit lokalen, manganreichen hydrothermalen Quellen, und CHENEY & VREDENBURGH (1968) schlagen eine diagenetische Mn-Zufuhr vor. Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Knollen aus dem Jura Siziliens sowie die eine Knolle aus den nördlichen Kalkalpen Österreichs sind aufgrund ihrer nur wenig unter 1 liegenden Fe/Mn-Quotienten den rezenten Vorkommen am ähnlichsten.

Die für die rezenten Knollen und Krusten charakteristischen Spurenelemente Ti, Co, Ni, Cu und Zn treten auch in den fossilen Bildungen auf. Relativ hohe Ca-Konzentrationen haben jedoch zur Folge, dass die Elementgehalte um ein 3- bis 60faches niedriger liegen.

Rezente ozeanische Knollen und Krusten zeichnen sich im allgemeinen durch Fe/Mn-Verhältnisse <1 aus. Einzig MERO (1965) hat an Knollen aus den kontinentnahen Bereichen des Pazifiks und vom Blake Plateau Fe/Mn-Verhältnisse >1 nachgewiesen. Nach KRAUSKOPF (1957) wird Fe aus Verwitterungslösungen vor Mn ausgefällt. Darin sieht MERO (1965) eine plausible Erklärung für die geochemische Differenzierung in Fe-reiche Knollen, wie sie entlang den Küsten von Nord- und Südamerika vorkommen, einerseits und in Mn-reiche Konkretionen der küstenfernen Regionen des Pazifiks andererseits.

3.7 *Bildungstiefe fossiler Knollen und Krusten*

An rezenten ozeanischen Mangan-Knollen sind von verschiedenen Autoren Zusammenhänge zwischen dem Chemismus und der Bildungstiefe postuliert worden (MENARD 1964, MERO 1965, BARNES 1967 und CRONAN & TOOMS 1969). Mögliche bathymetrische Kriterien können für rezente ozeanische Knollen und Krusten des Pazifischen und Indischen Ozeans aus den statistischen Befunden in der Arbeit von CRONAN & TOOMS (1969) gewonnen werden. Die beiden Autoren haben die analytischen Daten von 99 Knollen mit den jeweiligen Ablagerungstiefen verglichen und für Nickel und Kupfer eine positive, für Kobalt, Blei und Barium eine negative Korrelation mit zunehmender Wassertiefe ermittelt. Nach CRONAN & TOOMS (1969) sollten demnach die Ni/Co-, Ni/Pb-, Ni/Ba-, Cu/Co-, Cu/Pb- und Cu/Ba-Verhältnisse als Tiefenindikatoren betrachtet werden dürfen. GERMANN (1971) hat die von CRONAN & TOOMS ermittelten Abhängigkeiten auf fossile Knollen und Krusten der nördlichen Kalkalpen übertragen und festgestellt, dass die Ni/Pb- und Cu/Pb-Quotienten Meerestiefen von weniger als 3000 m, die Ni/Co-Verhältnisse solche um 4000 m andeuten.

Überträgt man die aus den Analysen der vorliegenden Arbeit errechneten Ni/Pb- und Cu/Pb-Quotienten in das System «Meerestiefe/Elementquotienten» von CRONAN & TOOMS (1969), so ergeben sich für die Knollen und Krusten der Trento-Zone, Siziliens, Jugoslawiens, Ungarns und der Ostalpen je nach den verwendeten Quotienten Tiefen von einigen 100 m bis 3000 m (Fig. 10*a* und 10*b*). Ein derart weiter bathymetrischer Bereich führt jedoch zu keiner Präzisierung der sich bereits aus den sedimentologischen Befunden ergebenden bathymetrischen Intervalle.

Zwei Knollen aus der San Vigilio-Oolith-Formation (Profil San Vigilio) und zwei Krusten aus dem Dach der Lumachella a «Posidonia alpina» (Profil San Martino) zeichnen sich durch hohe Pb-Werte aus. Die entsprechenden Ni/Pb- und Cu/Pb-Verhältnisse liegen für diese Proben so niedrig, dass sie im Diagramm (basierend auf CRONAN & TOOMS 1969) bathymetrischen Bereichen von nur einigen Zehnern von Metern zugeordnet werden müssten. Dieses Ergebnis entspricht annäherungsweise den sedimentologischen Befunden.

Ein Vergleich unserer Daten und derjenigen von GERMANN (1971) mit denen von CRONAN & TOOMS (1969) zeigt deutlich die Problematik einer Integration von Daten fossiler Fe-Mn-Mineralisationen aus dem Bereich der jurassischen Tethys in die postulierte bathymetrische Zonierung. Nach unseren Daten und denen von GERMANN (1971) ergäben sich je nach den berücksichtigten Elementquotienten für

ein und dieselbe Fe-Mn-Bildung sehr verschiedene Wassertiefen (vgl. auch GERMANN 1971, Abb. 7).

Auch die chemischen Daten rezenter ozeanischer Knollen und Krusten passen nicht in das bathymetrische Korrelationssystem von CRONAN & TOOMS (1969). Überträgt man nämlich die aus den Tabellen 30 und 35 in MERO (1965) errechneten Quotienten aus bekannten Meerestiefen in die Diagramme (Fig. 10*a* und 10*b*), so zeigt sich, dass sich eine *allgemeine* Korrelation zwischen Chemismus und Bathymetrie nicht aufstellen lässt (vgl. z. B. Fig. 10*a*). Die beste Korrelation ergibt sich für die Cu/Pb-Verhältnisse (Fig. 10*b*).

Möglicherweise lassen sich aus der mineralogischen Zusammensetzung Hinweise auf die relative Bathymetrie und die submarine Topographie gewinnen. Die beiden wichtigsten Mn-führenden Mineralphasen rezenter Bildungen sind Birnessit und Todorokit. Birnessit ist höher oxidiert und tritt vorwiegend in oxidativen, flachermarinen Gebieten und submarinen Hochzonen auf (BARNES 1967, CRONAN & TOOMS 1969). Nach CRONAN & TOOMS (1967) sind in Birnessit (δ-MnO_2)-reichen Knollen die Elemente Blei und Kobalt signifikant positiv korreliert. Diese Elementbeziehung existiert auch bei den Knollen der Trento-Zone. Möglicherweise deutet die positive Pb-Co-Korrelation auf Pyrolusit (β-MnO_2), die stabile Form des MnO_2, hin, womit bestätigt würde, dass schon zur Zeit der Knollenbildung oxidative Verhältnisse vorhanden waren.

3.8 *Entstehung der Knollen und Krusten*

Über die Entstehung der Fe-Mn-Mineralisationen gibt es unterschiedliche Meinungen und zahlreiche Hypothesen, deren Gültigkeit in vielen Fällen nicht hinreichend belegt ist. Beim Studium fossiler Bildungen fällt auf, dass im Kontaktbereich zum Nebengestein zwar sekundäre Verdrängungserscheinungen vorhanden sein können, dass aber viele Beobachtungen auf ein primäres Wachstum an der Sediment/Wasser-Grenze hinweisen. Insbesondere die Besiedlung schon vorhandener Knollen durch sessile Foraminiferen spricht eindeutig für eine primäre Bildung.

Legende zu Figur 10:

⊙ Knollen aus dem Dogger der Trento-Zone.

⊙ Knollen aus den San Vigilio-Oolithen (Trento-Zone).

△ Krusten aus dem Dogger der Trento-Zone.

S Knollen, Dogger-Malm, Sizilien.

Y Knollen, Dogger-Malm, Jugoslawien.

U Knolle, Dogger, Ungarn.

Oe Knolle, Dogger, Österreich.

○ Knollen, rezent, Blake Plateau, Atlantik (MERO 1965, Tab. 35).

• Knollen und Krusten, rezent, Pazifik und Indischer Ozean (MERO 1965, Tab. 30).

| Knollen, rezent, Pazifik (CRONAN & TOOMS 1969, Tab. 5).

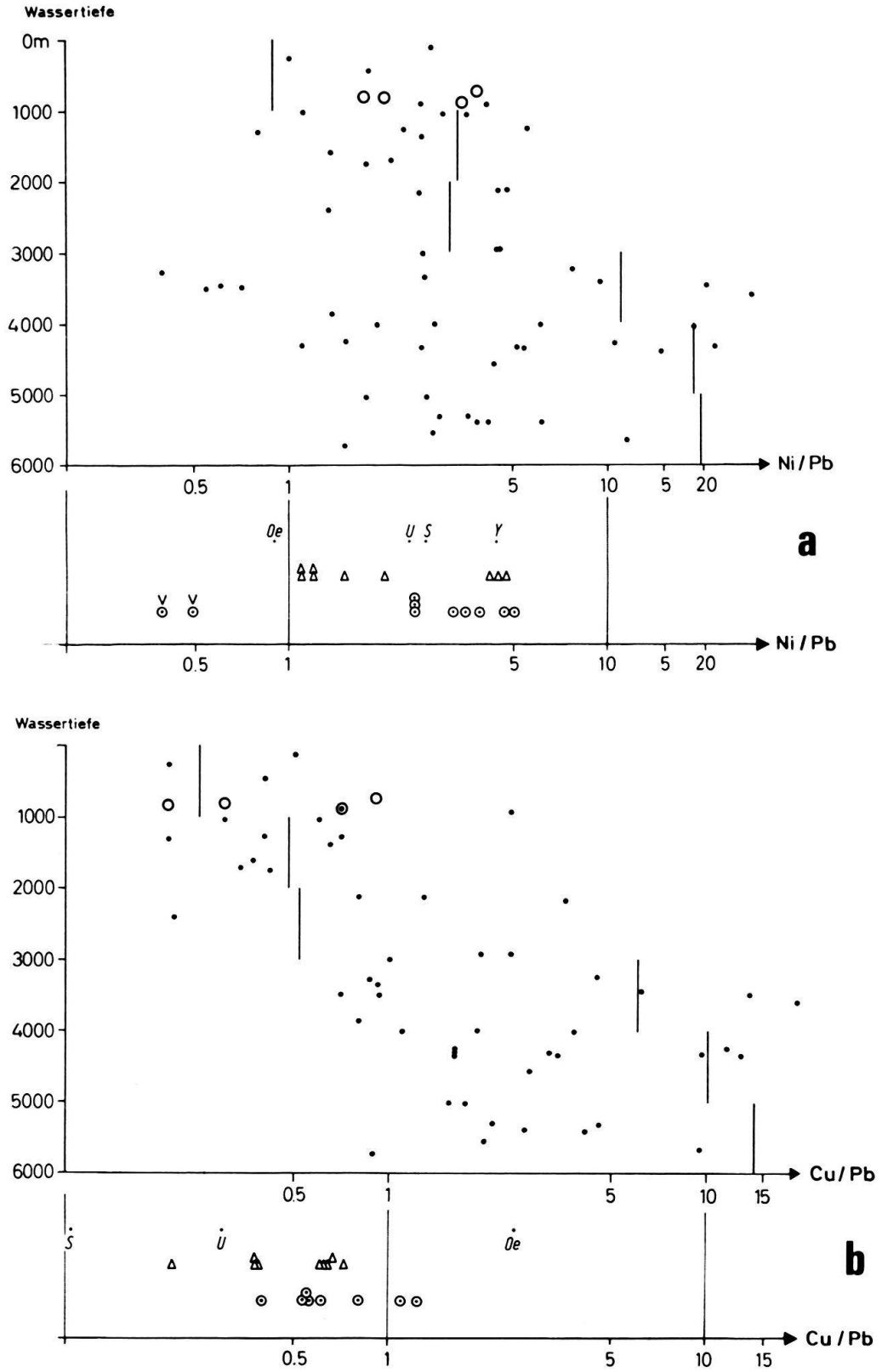


Fig. 10. Ni/Pb- (*a*) und Cu/Pb-Quotienten (*b*) in rezenten Mangan-Knollen des Pazifiks in Abhängigkeit von der Wassertiefe (aus Daten von CRONAN & TOOMS 1969 und MERO 1965). Die jurassischen Knollen und Krusten der Trento-Zone sind nach ihren Elementquotienten unter der Abszisse, ohne eine bathymetrische Interpretation, eingetragen (Legende siehe nebenstehende Seite).

Ausserdem muss angenommen werden, dass die Kerne von Zeit zu Zeit bewegt worden sind. Die Entstehung konzentrischer Hüllen ist auf anderem Wege kaum vorstellbar.

Im Zusammenhang mit der Frage nach der Entstehung der Knollen und Krusten steht das Problem der Stoffzufuhr. BONATTI et al. (1972) schlagen diesbezüglich vier Genesetypen vor, wobei vor allem mögliche Quellen für Eisen und Mangan zur Diskussion stehen. Neben der Hypothese, dass die Knollen und Krusten ihr Material aus vulkanischen Produkten, die submarin aufgelöst wurden (Halmyrolyse), beziehen, werden auch ausströmende hydrothermale Lösungen als Lieferanten von Haupt- und Spurenelementen betrachtet (hydrothermale Bildungen). Als weitere Quelle sehen die Autoren das Substrat, aus dem den Konkretionen im Rahmen von Diffusionsprozessen Stoffe zugeführt werden. Schliesslich wird die Ausfällung chemischer Verbindungen aus dem Meerwasser angenommen, wobei diesem seinerseits Produkte terrestrischer und submariner Verwitterung sowie vulkanischen Ursprungs zugeführt werden (hydrogenous deposits). Da (mit Ausnahme der Einschaltungen von Aschentuffen) keinerlei vulkanische oder hydrothermale Produkte im Jura der Trento-Zone bekannt sind, kommt für die Entstehung der Fe-Mn-Knollen und -Krusten am ehesten eine «hydrogene» Entstehung, eventuell unter Beteiligung von Mn-fixierenden Organismen (MONTY 1973), in Frage. Eine diagenetische Entstehung kann in Anbetracht der hohen Fe/Mn-Verhältnisse (vgl. BONATTI et al. 1972) ausgeschlossen werden.

4. Schlussbetrachtung

Die Fe-Mn-führenden Knollen und Krusten aus den Jura-Serien der Trento-Zone stimmen in ihrer Form, in ihrer inneren Struktur, an der sich sessile Foraminiferen wesentlich beteiligen, und in ihrer grossen chemischen Variabilität mit den rezenten und anderen fossilen Bildungen überein. Unterschiede ergeben sich hauptsächlich in der mineralogischen Zusammensetzung; die fossilen Vorkommen zeichnen sich durch hohe Kalzit- und Goethit-Gehalte aus, die eine wesentliche Verdünnung der anderen Haupt- und Spurenelemente bedingen. Die Elementquotienten von Ni/Pb und Cu/Pb lassen jedoch Vergleiche mit rezenten Bildungen aus relativ geringen Wassertiefen (Blake Plateau) zu: Es scheint, dass hohe Pb-Gehalte auf nicht abyssale Wassertiefen hinweisen. Wegen der äusserst variablen Konzentrationen der beteiligten Elemente lassen sich aber aus dem Chemismus keine Aussagen über die absolute Bathymetrie ableiten (Fig. 10*a* und 10*b*). Andere Faktoren, welche mit der Bathymetrie nur indirekt verknüpft sind, scheinen die chemische Zusammensetzung von Fe-Mn-Knollen zu bestimmen. Diese wiederum stehen vermutlich im Zusammenhang mit a) der Art der Stoffzufuhr [Halmyrolyse von vulkanischem Material, hydrothermale Aktivität, Fixierung aus dem Meerwasser (hydrogenous) oder aus aufsteigenden Porenlösungen (diagenetisch)], b) dem Ablagerungsmilieu (Redox-Potential), c) der Art der Fixierung (anorganische Fällung aus dem Meerwasser oder aus Porenlösungen, Ausfällung unter Mitwirkung von Mikroorganismen) und d) eventueller späterer diagenetischer Mobilisationen. Entsprechend wären verschiedene Elementkonzentrationen in Fe-Mn-Bildungen verschiedener Ablagerungsmilieus («Spreading Ridges», ozeanische Sea-

mounts, Gebiete mit reduzierter Sedimentation innerhalb von Kontinentalrändern) zu erwarten.

Im Fall der Knollen und Krusten aus den jurassischen Serien der Trento-Zone lässt sich eine vulkanische oder hydrothermale Stoffzufuhr ausschliessen. Da auch keine Hinweise auf eine diagenetische Entstehung vorliegen, scheint eine Fixierung der Fe-Mn-Hydroxide/Oxide aus dem Meerwasser, möglicherweise unter Beteiligung von Organismen, die einzige Interpretationsmöglichkeit. Eine solche Interpretation steht in guter Übereinstimmung mit dem Auftreten der Mineralisationen in kondensierten pelagischen Sedimenten eines passiven Kontinentalrandes.

LITERATURVERZEICHNIS

AUDLEY-CHARLES, M.G. (1965): *A geochemical study of Cretaceous ferromanganiferous sedimentary rocks from Timor.* - Geochim. cosmochim. Acta *29*, 1153-1173.

BARNES, S.S. (1967): *Minor element composition of ferromanganese nodules.* - Science *157*/3784, 63-65.

BERGER, W.H., & WINTERER, E.L. (1974): *Plate stratigraphy and the fluctuating carbonate line.* In: HSÜ, K.J., & JENKYNS, H.C. (Ed.): *Pelagic Sediments: on Land and under the Sea.* - Spec. Publ. int. Assoc. Sedimentol. *1*, 11-48.

BERNOULLI, D. (1964): *Zur Geologie des Monte Generoso (Lombardische Alpen).* - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *118*.

— (1972): *North Atlantic and Mediterranean Mesozoic facies: a comparison.* In: HOLLISTER, C.D., EWING, J.I., et al. (Ed.): *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. 11* (p. 801-871). - U.S. Govt. Print. Office, Washington.

BERNOULLI, D., & JENKYNS, H.C. (1974): *Alpine, Mediterranean and Central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys.* In: DOTT, R.H., & SHAVER, R.H. (Ed.): *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation, a Symposium.* - Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral. *19*, 129-160.

BERNOULLI, D., KÄLIN, O., & PATACCA, E. (1979): *A sunken continental margin of the Mesozoic Tethys: the Northern and Central Apennines.* In: BEAUDOIN, B., & PURSER, B.H. (Ed.): *La sédimentation jurassique ouest-européenne.* - Publ. spéc. Assoc. Sédimentol. franç.

BERNOULLI, D., & PETERS, T. (1970): *Traces of Rhyolitic-Trachytic Volcanism in the Upper Jurassic of the Southern Alps.* - Eclogae geol. Helv. *63*/2, 609-621.

— (1974): *Traces of Rhyolitic-Trachytic Volcanism in the Upper Jurassic of the Southern Alps: Reply.* - Eclogae geol. Helv. *67*/1, 209-213.

BONATTI, E., KRAEMER, T., & RYDELL, H. (1972): *Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits.* In: HORN, D. (Ed.): *Ferromanganese deposits on the Ocean Floor.* - Office int. Decade Ocean Explor., Washington.

BOSELLINI, A. (1973): *Modello geodinamico e paleotettonico delle Alpi Meridionali durante il Giurassico-Cretacico. Sue possibili applicazione agli Appennini.* In: ACCORDI, B., et al. (Ed.): *Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino.* - Quad. Accad. naz. Lincei *183*, 163-205.

BOSELLINI, A., & LORIGA, C. (1971): *I Calcari Grigi di Rotzo e loro inquadramento nella paleogeografia e nella evoluzione tettono-sedimentaria delle Prealpi Venete.* - Univ. Ferrara Ann. Sez. *9*, Sci. geol. paleont. *5*, 1-61.

BOSELLINI, A., & WINTERER, E.L. (1975): *Pelagic limestone and radiolarite of the Tethyan Mesozoic: a genetic model.* - Geology *3*/5, 279-282.

CASATI, P., & TOMAI, M. (1969): *Il Giurassico ed il Cretacico del versante settentrionale del Vallone Bellunese e del gruppo del M. Brandol.* - Riv. ital. Paleont. *75*/2, 205-340.

CASTELLARIN, A. (1964): *Geologia della zone di Tremosine e Tignale (Lago di Garda).* - G. Geol. *32*/2, 291-346.

— (1965): *Filoni sedimentari nel Giurese di Loppio (Trentino meridionale).* - G. Geol. *33*/2, 528-554.

— (1972): *Evoluzione paleotettonica sinsedimentaria del limite fra la piattaforma veneta e il bacino lombardo a nord di Riva del Garda.* - G. Geol. *38* (1970), 11-212.

CASTELLARIN, A., DEL MONTE, M., & FRANCA FRASCARI, R.S. (1974): *Cosmic fallout in the hardgrounds of the Venetian Region.* - G. Geol. *39/2*, 333-346.

CHENEY, E.S., & VREDENBURGH, L.D. (1968): *The role of iron sulphides in the diagenetic formation of iron-poor manganese nodules.* - J. sediment. Petrol. *38/4*, 1363-1365.

CRONAN, D.S., & TOOMS, J.S. (1967): *Geochemistry of manganese nodules from the NW Indian Ocean.* - Deep-Sea Res. *14/2*, 239-249.

— (1969): *The geochemistry of manganese nodules and associated pelagic deposits from the Pacific and Indian Oceans.* - Deep-Sea Res. *16/4*, 335-359.

DE VECCHI, G.P., & DIENI, I. (1974): *Il significato del sanidino nei presunti livelli piroclastici neogiurassici della Valle del Ghelpach (Altipiano di Asiago-Italia settentrionale).* - Eclogae geol. Helv. *67/1*, 197-207.

GERMANN, K. (1971): *Mangan-Eisen-führende Knollen und Krusten in jurassischen Rotkalken der Nördlichen Kalkalpen.* - N. Jb. Geol. Paläont. [Mh.] *1971*, 133-156.

GULBRANDSEN, R.A., & REESER, D.W. (1969): *An occurrence of Permian manganese nodules near Dillon, Montana.* - Prof. Pap. U.S. geol. Surv. *650-C*, 49-57.

HALLAM, A. (1967): *Sedimentology and palaeogeographic significance of certain red limestones and associated beds in the Lias of the Alpine region.* - Scott. J. Geol. *3*, 195-220.

HEEZEN, B.C., MATTHEWS, J.L., CATALANO, R., NATLAND, J., COOGAN, A., THARP, M., & RAWSON, M. (1973): *Western Pacific guyots.* In: HEEZEN, B.C., MAC GREGOR, J.D., et al. (Ed.): *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. 20* (p. 653-723). - U.S. Govt. Print. Office, Washington.

JENKYNS, H.C. (1967): *Fossil manganese nodules from Sicily.* - Nature (London) *216*, 673-674.

— (1970): *Fossil manganese nodules from the west Sicilian Jurassic.* - Eclogae geol. Helv. *63/3*, 741-774.

— (1971): *The genesis of condensed sequences in the Tethyan Jurassic.* - Lethaia *4/4*, 327-352.

— (1972): *Pelagic «oolites» from the Tethyan Jurassic.* - J. Geol. *80/1*, 21-33.

— (1974): *Origin of red nodular limestones (Ammonitico Rosso, Knollenkalke) in the Mediterranean Jurassic: a diagenetic model.* In: HSÜ, K.J., & JENKYNS, H.C. (Ed.): *Pelagic Sediments: on Land and under the Sea.* - Spec. Publ. int. Assoc. Sedimentol. *1*, 249-271.

JURGAN, H. (1969): *Sedimentologie des Lias der Berchtesgadener Kalkalpen.* - Geol. Rdsch. *58/2*, 464-501.

KÄLIN, O., & TRÜMPY, D.M. (1977): *Sedimentation und Paläotektonik in den westlichen Südalpen: Zur triasisch-jurassischen Geschichte des Monte-Nudo-Beckens.* - Eclogae geol. Helv. *70/2*, 295-350.

KRAUSKOPF, K.B. (1957): *Separation of manganese from iron in sedimentary processes.* - Geochim. cosmochim. Acta *12/1-2*, 61-84.

LAUBSCHER, H., & BERNOULLI, D. (1977): *Mediterranean* and *Tethys.* In: NAIRN, A.E.M., KANES, W., & STEHLI, F.G. (Ed.): *The Ocean Basins and Margins.* 4A: *The Eastern Mediterranean* (p. 1-28). - Plenum Publ. Corp., New York.

LECHNER, K., & PLÖCHINGER, B. (1956): *Die Manganerzlagerstätten Österreichs.* In: REYNA, J.G. (Ed.): *Symposium sobre yacimientos de manganeso, 5, Europa.* - 20th int. geol. Congr., 299-313.

LEPP, H. (1963): *The relation of iron and manganese in sedimentary iron formations.* - Econ. Geol. *58*, 515-526.

LYNN, D.C., & BONATTI, E. (1965): *Mobility of manganese in diagenesis of deep-sea sediments.* - Marine Geol. *3/6*, 457-474.

MCFARLIN, P.F. (1967): *Aragonite vein fillings in marine manganese nodules.* - J. sediment. Petrol. *37/1*, 68-72.

MENARD, H. (1964): *Marine Geology of the Pacific.* - McGraw-Hill, New York.

MERO, J.L. (1960): *Minerals on the ocean floor.* - Sci. American *203*, 64-72.

— (1965): *The mineral resources of the sea.* - Elsevier, Amsterdam/London/New York.

MONTY, C.L.V. (1973): *Les nodules de manganèse sont des stromatolithes océaniques.* - C.R. Acad Sci. (Paris) *276D*, 3285-3288.

NIINO, H. (1955): *On a manganese nodule and Petrochus dredged form the banks near the Izu Islands, Japan.* - Rec. Oceanogr. Works (Japan) *2*, 1-5.

PRATT, R.M., & MCFARLIN, P.F. (1966): *Manganese pavements on the Blake Plateau.* - Science *151/3714*, 1080-1082.

SCHLAGER, W. (1974): *Preservation of cephalopod skeletons and carbonate dissolution on ancient Tethyan sea floors.* In: HSÜ, K.J., & JENKYNS, H.C. (Ed.): *Pelagic Sediments: on Land and under the Sea.* - Spec. Publ. int. Assoc. Sedimentol. *1*, 49-70.

SIGAL, J., & TRUILLET, R. (1966): *Etude micropaléontologique et illustration des filons-couches granoclassés du Capo Sant'Andrea (Sicile).* - Bull. Soc. géol. France (7), *8*, 986-993.

STUMM, W., & MORGAN, J.J. (1970): *Aquatic chemistry. An introduction emphasising chemical equilibria in natural waters.* - Wiley-Interscience, New York.

STURANI, C. (1964): *La successione delle faune ad ammoniti nelle formazioni medio-giurassiche delle Prealpi Venete occidentali (Regione tra il Lago di Garda e la Valle del Brenta).* - Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova *24*, 1-63.

— (1967): *Reflexions sur les faciès lumachelliques du Dogger mésogéen («Lumachelle à Posidonia alpina» auctt.).* - Boll. Soc. geol. ital. *86*/3, 445-467.

— (1969): *Intercalazione di vulcaniti mediogiurassiche nel «Rosso ammonitico» dei Lessini Veronese.* - Boll. Soc. geol. ital. *88*/4, 589-602.

— (1971): *Ammonites and stratigraphy of the «Posidonia alpina» beds of the Venetian Alps (Middle Jurassic, mainly Bajocian).* - Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova *28*, 1-190.

TUCKER, M.E. (1973): *Ferromanganese nodules from the Devonian of Montagne Noire (S. France) and West Germany.* - Geol. Rdsch. *62*/1, 137-153.

VEEVERS, J.J. (1974): *Western continental margin of Australia.* In: BURK, C.A., & DRAKE, C.L. (Ed.): *The Geology of Continental Margins* (p. 605-616). - Springer, Berlin/Heidelberg/New York.

WATTS, A.B., & RYAN, W.B.F. (1976): *Flexure of the lithosphere and continental margin basins.* In: BOTT, M.H.P. (Ed.): *Sedimentary basins of continental margins and cratons.* - Tectonophysics *36*/1, 25-44.

WENDT, J. (1969): *Stratigraphie und Paläogeographie des Roten Jurakalks im Sonnwendgebirge (Tirol, Österreich).* - N. Jb. Geol. Paläont. [Abh.] *132*, 219-238.

— (1970): *Stratigraphische Kondensation in triadischen und jurassischen Cephalopodenkalken der Tethys.* - N. Jb. Geol. Paläont. [Mh.] *1970*, 433-448.

— (1974): *Encrusting organisms in deep-sea manganese nodules.* In: HSÜ, K.J., & JENKYNS, H.C. (Ed.): *Pelagic Sediments: on Land and under the Sea.* - Spec. Publ. int. Assoc. Sedimentol. *1*, 437-447.