©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Verh. Geol. B.-A.	Jahrgang 1976	Heft 2	S. 207—242	Wien, Oktober 1976

Petrographische und geochemische Untersuchungen an einer kondensierten Kalkbank des unteren Silurs der karnischen Alpen (Österreich)

Von Gerd-Friedrich Tietz, Erlangen [1])

Mit 7 Abbildungen (3 Fototafeln) und 1 Tabelle

Österreichische Karte
1 : 50.000
Blatt 197

Schlüsselwörter
Silur
Karnische Alpen
Geochemie
Kondensation

Inhalt

1. Zusammenfassung
Summary
2. Einleitung
Dank
3. Beschreibung der Profile
3.1. WO-Profil
3.2. WS-Profil
4. Zusammenfassung der Dünschliffuntersuchungen
5. Ergebnisse
5.1. Röntgenographische Ergebnisse
5.1.1. WO-Profil
5.1.2. WS-Profil
5.2. Geochemische Ergebnisse
5.2.1. WO-Profil
5.2.2. WS-Profil
5.3. Röntgen-Raster-Analysen
6. Interpretation
7. Literatur

1. Zusammenfassung

In einer Kalkbank des untersten Silurs der Zentralen Karnischen Alpen (Österreich) wechseln cm-mächtige Schuttkalklagen mit Hartgründen ab. Während der Sedimentationspausen kam es zur Bildung von Algenmatten (LLH-Typ) und Onkoiden (SS-Typ). Durch Algen wurden detritisch angelieferte Tone fixiert, ebenfalls angeliefertes Eisen teilweise in Limonit-Krusten auf Algenmatten abgeschieden. Umwandlung der Tone führte zu chamositischen und thuringitischen Chloriten.

[1]) Anschrift des Autors: Dr. Gerd-F. Tietz, Institut für Paläontologie der Universität Erlangen-Nürnberg, Loewenichstraße 28, D-852 Erlangen/Germany.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Während der Diagenese wurde Limonit zu Hämatit, Chlorit weitgehend zu Siderit (und Magnetit) umgewandelt. Heutige Verwitterung führt zu erneuter Limonitbildung, diesmal auf Kosten des Siderits.

Sedimentationspausen und Algenbildungen kennzeichnen das Sediment als küstennahe Flachwasserbildung des subtidal(-intertidal)-Bereiches. Dieses Ergebnis deckt sich mit geologischen und biostratigraphischen Befunden des gleichen Zeitabschnittes in anderen Profilen der Südalpen.

Summary

An extremely condensed Lower Silurian limestone bed of the Carnic Alps (Austria) has been studied by applying modern analytical methods of geochemistry. The following model based on the data available has thus been established:

During times of omission algal flats grew upon the sediment and formed LLH-type stromatolites and oncolites (SS-types). The algal flats fixed the clay derived from a nearby area. Fe also was fixed in limonitic crusts on algae and/or in the poorly cemented limestone detritus respectively. During a later stage clay altered to chamosite and thuringitic chlorite respectively; during diagenesis limonite altered to hematite, chlorite to siderite (and magnetite); weathering again has formed limonite (after siderite).

Omissions and algal flats suggest an subtidal to intertidal environment in the lowermost Silurian of the Carnic Alps; this assumption is in good accordance with geological and biostratigraphic observations.

2. Einleitung

Bei der Bearbeitung der zentralen Karnischen Alpen hat SCHÖNLAUB, 1970, am Fuß der Seewarte ein Profil vom Ordovizium bis ins Silur aufgenommen. Als tiefstes Silur fand er eine 20 cm dicke Schieferlage und darüber eine etwa 60 cm mächtige, rostbraun verwitternde Kalkbank mit Conodonten der celloni-Zone (= oberes Llandovery).

In einer darauffolgenden Arbeit (SCHÖNLAUB, 1971) bezeichnete er diese Kalkbank als Kondensationshorizont. An Kriterien nannte er: Wechselnde Lagen von Kalk und Fe-Mn-Krusten, zerbrochene Mn-Krusten, Pisolithe und Onkoide, mit Kalzit gefüllte Bohrgänge und starke Verwühlung.

Dieser Kondensationshorizont — als Hinweis auf eine Sedimentationsunterbrechung — ergab für SCHÖNLAUB eine willkommene Erklärung für das Fehlen der (normalerweise) untersten silurischen Conodontenzone (Icriodina irregularis Zone) über dem oberordovizischen Tonflaserkalk.

Eine Detailuntersuchung zweier Profile (kurz WO und WS genannt) durch diese Kalkbank soll nun versuchen, die folgenden Aussagen zu machen: Ablagerungsraum; Sedimentationsentwicklung; Diagenese der Kalkbank. Weiters liegt es nahe, besonders nach Hinweisen für eine Sedimentationsunterbrechung zu suchen.

Dank

Besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. H. P. SCHÖNLAUB, Geol. Bundesanstalt, Wien, für die Bereitstellung des Probenmaterials sagen. Weiters Herrn Prof. Dr. P. PAULITSCH (Darmstadt), durch dessen Entgegenkommen am dortigen Institut Röntgenaufnahmen angefertigt werden konnten.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die röntgenenergiedispersiven- und Elektronenraster-Untersuchungen wurden an dem von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) zur Verfügung gestellten ORTEC-X-ray und an dem CAMBRIDGE S 4/10-Gerät (DFG Projekt FL 42/25) am Institut für Paläontologie der Universität Erlangen-Nürnberg ausgeführt.

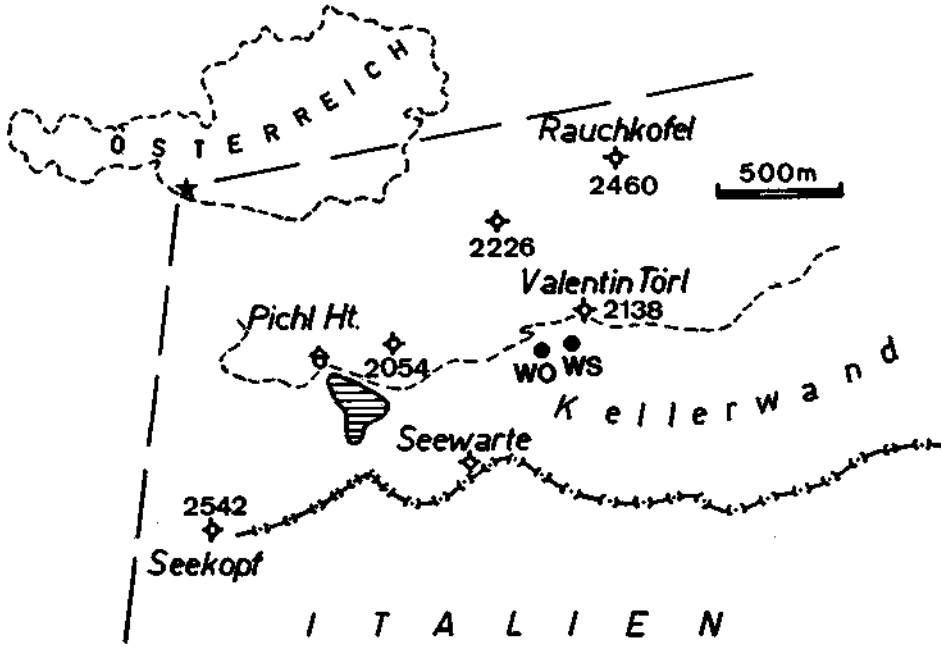


Abb. 1 a. Lageskizze der untersuchten Profile WS und WO in den Zentralen Karnischen Alpen.

3. Beschreibung der Profile

Die beiden untersuchten Profile liegen an der Basis der Seewarte zwischen Valentintörl und Wolayer See (Abb. 1 a). Das WO-Profil ist vom WS-Profil etwa 80 m in Richtung Wolayer See hin entfernt (vgl. SCHÖNLAUB, 1971).

Während die Proben des WO-Profils nach herkömmlicher Geologenart durch ± lückenloses Herausklopfen von Handstücken gewonnen wurden, wurde das WS-Profil eleganter und moderner als „Säulenprofil" mittels transportabler Schneidemaschine aus der Bank herausgeschnitten.

Beim Herausklopfen der WO-Proben gelang es nicht immer, möglichst unverwittertes Material zu gewinnen. Das Heraussägen des WS-Profils war hier günstiger und nur an der Oberfläche zeigt sich eine ± stark verwitterte Zone.

Das WO-Profil erfaßt zwar den unteren Bankabschnitt, nicht aber die Bankoberkante. Dem WS-Profil dagegen fehlt der untere Bankabschnitt; stattdessen wird aber hier die Bankoberkante erfaßt.

Um überhaupt etwas über die fortlaufende Sedimentationsentwicklung in beiden Profilen aussagen zu können, schien es unabdingbar, eine lückenlose Probeneinteilung vorzunehmen. Daneben durften die Proben möglichst nur e i n e

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

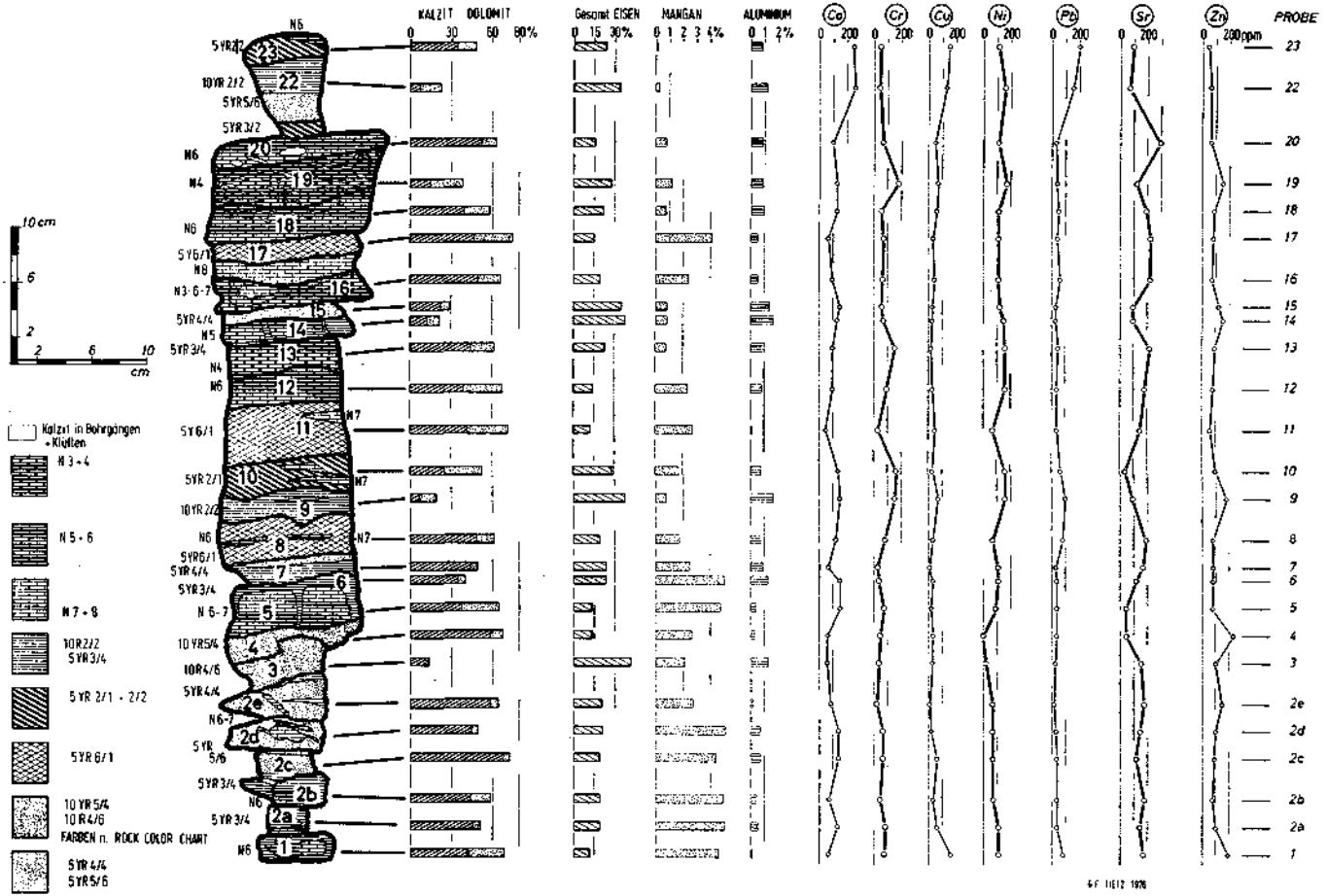


Abb 1: WO PROFIL Geochemie

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

makroskopisch erkennbare Schichtungseinheit umfassen, damit — trotz mechanischer Aufbereitung — noch einigermaßen repräsentative, chemische und röntgenographische Daten erhalten werden konnten.

Da bei der Einteilung der Proben sehr oft nach der Gesteinsfarbe vorgegangen werden mußte, sind die nach der „Rock-color-chart" ermittelten Farbbenennungen in Form der üblichen Kurzbezeichnung der Profil- und Schliffbeschreibung beigegeben worden.

3.1. WO-Profil: Probe 1 (liegend) — (hangend). Abb. 1

Probe 1: (2 cm), leicht mittelgrau (N 6) im Kern, mit mäßig brauner (5 YR 3/4) Randzone. Die Probe besteht im unteren Teil aus, durch Fe-Oxid-Einlagerungen rötlich braun gefärbtem, kalzitischem Mikrit mit undeutlichen, mikritisierten Crinoidenresten und einigen Schalenbruchstücken. Der Mittelteil ist aus dünnen, leicht welligen, mikritischen Kalkbändern aufgebaut. Diese Bänder oder Krusten sind durch Fe-Einlagerungen leicht gelblich gefärbt und ähneln stark Algenmatten. Internstrukturen sind nicht nachzuweisen (Abb. 6.3, 6.4).

Probe 2 a: (2 cm), leicht mittelgrau (N 6), Randzone: mäßig braun (5 YR 3/4).
Durch weitgehende Verwitterung ist die ursprüngliche Textur nicht mehr erkennbar. Nur im unverwitterten Kern liegt ein ungeschichteter Biokalkarenit mit einzelnen Onkoiden vor.

Probe 2 b: (2,5 cm), Kern: leicht mittelgrau (N 6), Randzone: mäßig braun (5 YR 3/4).
In der Randzone sind noch Fe-reiche Krusten erkennbar. Gegen den Mittelteil der Probe werden diese Krusten von ungeschichtetem (Bio)-Kalkarenit abgelöst.
Die obere Randzone besteht anscheinend wieder aus Krustenlagen.

Probe 2 c: (2—4 cm), mäßig braun (5 YR 3/4) bis leicht braun (5 YR 5/6).
Erkennbar ist nur ein stark verwitterter, grobsparitischer Kalkarenit mit Onkoiden. Die fehlende Horizontierung der überwiegend länglichen Onkoide deutet auf Bioturbation hin.

Probe 2 d: (3 cm), leicht braun (5 YR 5/6) mit unregelmäßig begrenztem, leicht mittelgrauem (N 6) Kern.
Im Kern sind wieder — durch kalzitgefüllte Kleinklüfte stark gestört — algenähnliche Krustenbildungen erkennbar. Die Krusten haben im Schnitt eine Dicke von 0,5 mm; sie weisen keinerlei Internstruktur auf. An ihrer Oberkante sind sie durchweg von einer sehr dünnen (Ø 0,1 mm), schwarzen Kruste bedeckt, die keinerlei Verbindung oder Vermischung mit den unterlagernden Kalkkrusten zeigt.

Probe 2 e: (2—3,5 cm), leicht- bis mittelgrau (N 6—N 7) mit mäßig brauner (5 YR 4/4) Verwitterungsrinde.
Der völlig limonitisierte Siderit läßt — bis auf mit Kalzitsparit gefüllte Poren — keinerlei Textur erkennen.

Probe 3: (2—3 cm), mäßig braun (5 YR 4/4) bis mäßig rotbraun (10 R 4/6).
Bis auf einige, chamositische Onkoide, vererzte Crinoiden- und undeutliche Schalenreste ein ungeordnetes Gemenge von Limonit und wenig Kalzit. Vereinzelt sind detritische, eckige Quarze zu sehen (2 Exemplare).

Probe 4: (1—2 cm), mäßig geblich braun (10 YR 5/4).
Die Probe ist im unverwitterten Teil sehr stark rekristallisiert. In der Nähe von limonitisierten Bereichen sind häufig Pflaster von Dolomitrhomboedern zu sehen. Im Schliff etwa kreisförmige bis ovale Kristallanordnungen werden als Bohrgänge interpretiert.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Zur Probenobergrenze verdichten sich die Limonitflecken zu einer ungegliederten, Fe-oxid-reichen Kruste. Oberhalb dieser Kruste liegen leicht wellige, mikritische Kalkbänder, die, ihrer Ähnlichkeit mit Algenbildungen wegen, als Algenmatten gedeutet werden.

Probe 5: Die Proben 5 und 6 stammen aus dem gleichen Handstück (4 cm) und wurden makroskopisch getrennt in: eine untere, krustenreiche Probe 5 und eine mehr derbe, ungegliederte, obere Probe 6.
mäßig gelblich braun (10 YR 5/4) mit leicht grauem Mittelteil (N 7).
Die Probe besteht aus einer Vielzahl von einzelnen, sehr dünnen, mikritischen Krusten, die durch feinverteiltes Fe ab und zu leicht gelblich gefärbt sind. Diese Krusten werden wieder als Algenbildungen gedeutet. Mehrfach ist zu beobachten, daß die nur leicht gewellte Krustenoberfläche überlagert wird von einer dünnen Kalzitmikrit-Lage mit einigen, sehr kleinen Schalenresten (?). Allmählich geht der Mikrit in Sparit über. Dann bildet sich auf dem Sparit eine neue, mikritische Kruste aus (Abb. 6.1, 6.2).
In Richtung zur Probe 6 setzt schließlich eine Fe-reiche, nur anfangs noch Krustenbildungen erkennen lassende Dolomit-Siderit-Limonit-Zone ein.

Probe 6: mäßig braun (5 YR 3/4).
Die Probe besteht aus einem kalzitischen Mikrit mit sehr viel Schalendetritus. Allmählich werden nach oben Chamositonkoide zahlreicher. Stellenweise sind längliche Onkoide (bis 8 mm) mit teilweise vererzten Krusten zu beobachten. Darüber beginnt eine fleckenhafte Dolomitisierung vorzugsweise in der Umgebung chamositischer Onkoide. Gleichzeitig werden durch Rekristallisation der Matrix Onkoide und Schalenreste teilweise zerstört.

Probe 7: (2 cm), mäßig braun (5 YR 3/4—4/4).
Im unteren Teil besteht die Probe aus Mikrosparit, der demjenigen im oberen Teil der Probe 6 entspricht.
Dann beginnt der Mikrosparit in einen schalenreichen Biokalkarenit, der durch Kalzit-Siderit-Klüfte stark gestört ist, überzugehen. Nach oben hin nimmt die Anzahl chamositischer Onkoide langsam zu. Die Onkoide haben teilweise vererzte Krusten, die Kerne bestehen oft aus Bruchstücken ehemaliger Fe-Krusten.
Stellenweise sind isolierte, nierig-traubige Mikritkrusten (Algenbildungen?) zu beobachten.

Probe 8: (3 cm), leicht olivgrau (5 Y 6/1) bis leicht grau (N 6—N 7).
Die Probe ist durch Kalzit-Siderit-Klüfte sehr gestört. Wahrscheinlich bestand sie ursprünglich aus einem Biokalkarenit mit Schalen- und Crinoidendetritus.
Zwei — bis 3 mm dicke — lagig aufgebaute Fe-Krusten sind durch die Klüftung so stark gestört, daß eine Orientierung nicht möglich ist.

Probe 9: (2 cm), dunkel gelblich braun (10 YR 2/2).
Im unteren Teil besteht die Probe aus einem verwühlten Kalkarenit mit vereinzelten Mikritkrusten (Algenbildungen) und teilweise vererzten Onkoiden. Die Kerne der Onkoide bestehen durchweg aus einem mikrosparitischem Intraklast. Dann folgen insgesamt 5 ± zerbrochene Fe-Krusten, die durch Kalzitsparit getrennt sind. Strukturen innerhalb der Fe-Krusten sind nicht mehr zu erkennen.
Darüber folgt ein stark rekristallisierter Kalkarenit mit Resten chamositischer Onkoide.

Probe 10: (2—3 cm), braun schwarz (5 YR 2/1).
Ein sehr viel Schalendetritus enthaltender Biokalkarenit wird von einer Lage zerbrochener Chamosit- und Fe-oxid-Krusten durchzogen. Daneben treten noch große Onkoide auf. Entlang der Krusten und in der Nachbarschaft der Onkoide sind Flecken von Dolomitrhomboedern häufig.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Probe 11: (4 cm), leicht olivgrau (5 Y 6/1).
Im unteren Teil ist die Probe als mikritisierter Biokalkarenit mit Bohrgängen anzusprechen, teilweise liegen auch mikritisierte Schalenreste vor.
Etwa ab Probenmitte nimmt der Anteil an feinverteiltem Fe zu. Gleichzeitig kommt es zu fleckenhafter Dolomitisierung, die stellenweise bis zum oberen Ende der Probe hinaufreicht.

Probe 12: (3 cm), leicht mittelgrau (N 6).
Die Probe besteht aus einem crinoidenreichen Biokalkarenit mit einem sedimenterfüllten Orthocerenrest (mit Wasserwaage!). Während die Unterseite der Schale glatt ist, zeigt der obere Teil eine starke Fe-Umkrustung.
Das Füllsediment ist als Biokalkarenit anzusprechen.

Probe 13: (2—3 cm), mittleres Dunkelgrau (N 4).
Es ist ein onkoidreicher Kalkarenit mit nur wenigen, erkennbaren Schalenresten. Sowohl vererzte als auch rein chamositische Onkoide sind vorhanden. Die Größe der Onkoide differiert von kleiner 1 mm bis etwa 8 mm. Das Fehlen einer ± schichtparallelen Einregelung der meist länglichen Onkoide und das Auftreten von kalzitgefüllten Bohrgängen spricht für Bioturbation.
Im Bereich chamositischer Onkoide ist wiederum Siderit und Dolomit häufig.

Probe 14: (1,5 cm), mittelgrau (N 5).
Der stark verwühlte Biokalkarenit der Probe 13 setzt sich fort. Die Chamositonkoide sind oft stark rekristallisiert und in Siderit umgewandelt.

Probe 15: (1 cm), mäßig braun (5 YR 4/4).
Außer einer durch Kalzitklüfte stark gestörten Fe-Kruste ohne Innenstruktur ist nichts zu erkennen.

Probe 16: (1—2,5 cm), dunkel- bis hellgrau (N 3—N 7).
Der untere Teil der Probe enthält große, ± stark limonitisierte Onkoide, teilweise mit umgebendem Dolomitpflaster.
Im oberen Teil finden sich Fe-Krusten, die durch grobsparitischen Kalzit zerschert sind.

Probe 17: (2—3 cm), sehr hellgrau (N 8) bis leicht olivgrau (5 Y 6/1).
Ein breites (1—1,5 cm) Kalkspatband — nicht untersucht — bildet den unteren Teil der Probe.
Über diesem Kalkspatband folgt ein stark rekristallisierter Kalkarenit, der Dolomit und Siderit enthält.
Entlang vertikaler Spalten hat eine Limonitisierung des Siderits eingesetzt. Nach oben hin häufen sich im Kalkarenit vererzte Onkoide. Die Matrix wird langsam zu einem flasrigen Siderit-Mikrit mit Resten dünner Fe-Krusten.

Probe 18: (2—3 cm), leicht mittelgrau (N 6).
Im unteren und mittleren Teil der Probe liegt mikritisierter Biokalkarenit mit lagenweise auftretenden, teilweise vererzten Onkoiden vor. Die Onkoide enthalten aufgearbeitete Fe-Krusten, Chamosit und Schalenreste als Kerne. Im Biokalkarenit sind vereinzelt Schalenreste (mit Ausnahme der Trilobitenreste) randlich vererzt. Außerdem sind Onkoide von den (üblichen) Dolomitpflastern umgeben. Der obere Teil der Probe besteht aus Mikrit (Siderit) mit kalziterfüllten Bohrgängen.

Probe 19: (3—4 cm), mittleres Dunkelgrau (N 4).
Der obere Teil der Probe 18 setzt sich nach 19 fort: die ganze Probe besteht aus mit Bohrgängen durchzogenem, sideritischem Mikrit, mit einigen grobkörnigeren Dolomitflecken, oft durch Zwischenlagen aus dünnen Fe-Krusten getrennt.
Als Hinweise auf ursprünglichen Biokalkarenit gelten Reste von chamositischen Onkoiden und unveränderte Teile von Trilobitenschalen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Wolayer SEE

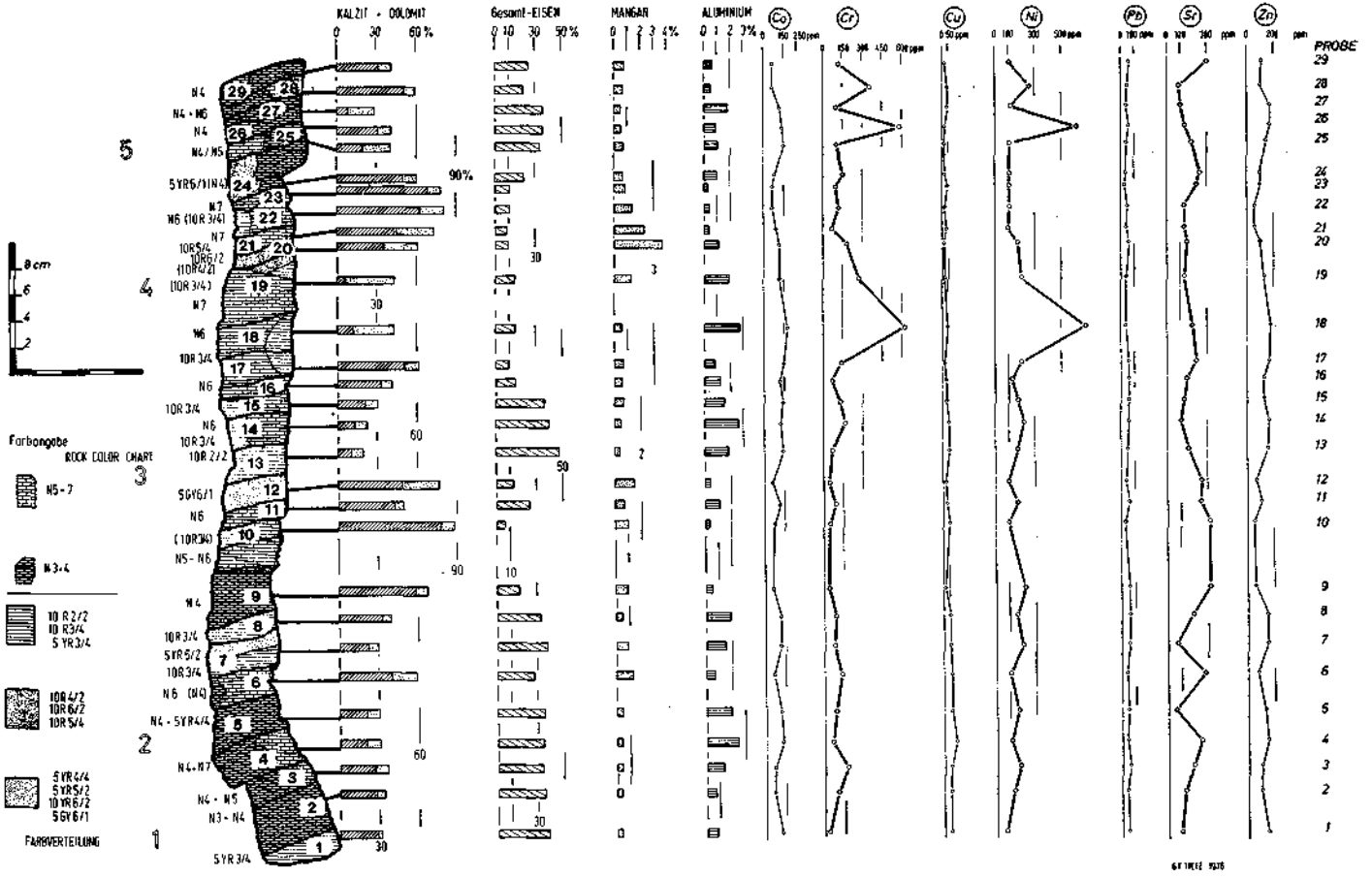


Abb 2: WS PROFIL Geochemie

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Probe 20: (2 cm), leicht mittelgrau (N 6).
Im unteren Teil der Probe endet der Bioturbationshorizont der Proben 18 und 19 allmählich: neben und in fleckenhaft verteiltem Siderit liegen Schalen- und Crinoidenreste. Vereinzelt sind große, umkrustete, arenitische Biointraklaste zu erkennen. Diese Entwicklung wird durch Ausbildung einer Chamosit-Fe-Kruste, die mit leicht welligem Relief teilweise Fossilreste kappt, abgeschlossen.
Die Kruste wird von einem nur sehr schwach mikritisiertem Biokalkarenit mit teilweise vererzten Komponenten überdeckt.
Zwei Kriterien sprechen dafür, daß die Kruste bei Neubeginn der Sedimentation noch nicht völlig verfestigt war: zwei größere Onkoide tauchen mit ihren Rändern gerade noch in die Kruste ein, durch biogene (?) Aufarbeitung der Kruste und des Untergrundes sind bereits angelöste Komponenten (meist Crinoidenreste) in den „frischen", überlagernden Arenit gelangt. Zu diesem Ergebnis muß man gelangen, da die angelösten Crinoidenteile regellos über den ganzen Arenit verteilt sind.

Die restlichen Proben des Profils (Nr. 22 und 23) sind so stark verwittert, daß keine Dünnschliffe angefertigt werden konnten. Aus den übriggebliebenen, ± punktförmigen Schliff„resten" war nur auf dichtes bis krustenartiges Gemenge aus Kalzit, Limonit und Siderit zu schließen.

3.2. WS-Profil (Probe 1 liegend — 29 hangend), Abb. 2:

Probe 1: (1—2 cm), mäßig braun (5 YR 3/4).
Starke Verwitterungseinflüsse.
Unregelmäßig verteilte, fleckenhafte Fe-oxid-Anreicherungen werden als Relikte ehemaliger Fe-Krusten angesprochen.
Rundliche Fe-Anreicherungen in einer grobsparitischen Kalzitmatrix deuten auf ehemalige Onkoide hin.
Ursprünglich bestand das Material wahrscheinlich aus einem onkoidreichen Bio-Kalkarenit.

Probe 2: (3—4 cm), dunkel- bis mittelgrau (N 3—N 4).
Da hier stärkere Verwitterungseinflüsse fehlen, ist der ursprüngliche Kalkarenit weitgehend erhalten geblieben: schichtungsparallel angeordnete Onkoide mit chamositischen und teilweise mikritischen (Kalzit) Anwachskrusten liegen in einer grobsparitischen Kalzitmatrix (Abb. 5.3). Die Kerne der Onkoide bestehen vorwiegend aus Chamosit und Fe-oxiden. Stellenweise sind um Fe-Krusten und Onkoide Flecken von Dolomitrhomboedern zu finden.
Gegen die Probenoberkante häufen sich die Onkoide und sind schließlich zu einer kalzitfreien Kruste zusammengelagert. Diese Kruste mit unregelmäßiger, welliger Oberkante wird von dichtem, sideritischem Mikrit mit hellen, rundlich-ovalen Kalzitflecken (= Bohrgängen) durchsetzt.

Probe 3: (2 cm), dunkel- bis mittelgrau (N 4—N 5).
Der eben beschriebene Mikrithorizont mit Bohrgängen bildet den unteren Abschnitt dieser Probe.
Darauf folgt eine deutlich schichtungsparallele Anordnung chamositischer Onkoide. Allmählich nimmt der sideritische Mikrit ab, die Onkoide werden häufiger und schwimmen schließlich in einem Kalzitsparit. Dieser Sparit wird recht bald wieder von einem sideritischen Mikrit abgelöst, dabei bleiben chamositische Onkoide (teils mit mikritischen Kalzitkrusten) erhalten. Nach einem scharfen, krustenfreien Übergang folgt abermals ein onkoidfreier Sideritmikrit mit kalzitischen Bohrgängen.

Probe 4: (2,5—3 cm), mittel- bis hellgrau (N 4—N 7).
Die Probe besteht nur aus einer Wechsellagerung von Siderit und Chamosit. Erst gegen die Oberkante hin setzt scharf ein ungeschichteter Kalkarenit mit Onkoiden und wenigen Crinoiden- und Schalenresten ein. Durch Verwitterung ist die Matrix weitgehend in Limonit und Fe-oxid umgewandelt worden.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Probe 5: (3 cm), mittelgrau bis mäßig braun (5 YR 4/4).
Der bei 4 beschriebene Kalkarenit wird onkoidreicher, Schalenreste nehmen ab. Die Matrix besteht aus Chamosit und Siderit.

Probe 6: (2 cm), mittel- bis hellgrau (N 4—N 6).
Es ist nur ein Biokalkarenit mit Brachiopoden-, Crinoiden-, und vereinzelten Trilobitenresten zu beobachten. Relativ wenige, bis cm-große Onkoide mit deutlich gegliederten Anwachskrusten, die zum Teil vererzt sind, sind regellos über die Probe verteilt. Die Kerne bestehen aus Chamosit oder aus kalzitischen Intraklasten (Abb. 5.1).
Vorwiegend Crinoidenreste sind randlich und in den Stromakanälen mit Fe-oxiden und Fe-hydroxiden vererzt (Abb. 5.2, 5.4). Randlich vererzte Trilobitenreste sind seltener.
Nach oben hin wird die Vererzung stärker und erfaßt die gesamte Matrix.

Probe 7: (3 cm), dunkel rotbraun (10 R 3/4) nach fahlbraun (5 YR 5/2) übergehend.
Im vererzten Kalkarenit nimmt die Anzahl der Chamosit-Onkoide zu und geht schließlich in eine Fe-Kruste mit Chamosit-Linsen über. Die Fe-Kruste ist teilweise zerbrochen (Bioturbation?). Nach oben hin wird sie allmählich durch schichtparallel angeordnete, chamositische Onkoide (Länge bis 1 mm) aufgelockert.

Probe 8: (1,5—2 cm), dunkelrotbraun (10 R 3/4).
Die Chamositonkoide (Länge steigt auf etwa 3 mm) setzen sich in sparitischer Kalzitmatrix bis zur Mitte der Probe fort.
Darüber wird die Matrix Fe-ärmer und besteht in Probe 9

Probe 9: (4—5 cm), mittelgrau (N 4).
nur noch aus sparitischem Kalzit mit wenigen chamositischen Onkoiden.
Darüber folgt ein stark durch Bohrgänge und Bioturbation gekennzeichneter Biokalkarenit. Die vereinzelten Onkoide sind wahrscheinlich durch Wühltätigkeit aus dem Liegenden in den sonst onkoidfreien Kalk gelangt.

Probe 10: (4—5 cm), mittelgrau (N 5) — leicht grau (N 6), gegen 11 hin mit rotbraunen (10 R 3/4) Einsprenglingen.
Der Biokalkarenit von Probe 9 geht jetzt langsam in einen onkoidreicheren Teil über. Die einzelnen Onkoide (bis 1 cm Länge) bestehen aus umkrusteten, arenitischen Intraklasten. Darüber hat sich eine 0,1 mm dicke Fe-Kruste gebildet. Leicht gewellte Oberfläche, scharfkantige Begrenzung und nachfolgende Überdeckung mit biogenhaltigem Kalzitmikrit sprechen für eine Sedimentationsunterbrechung.

Probe 11: (1,5—2 cm), mittelhellgrau (N 6).
Grober, nahezu Fe-freier Biokalkarenit wird durch einen Fe-reichen Lösungshorizont, der gekappte Crinoidenreste enthält, im oberen Teil der Probe abgeschnitten.
Dies wird als neuerlicher Hinweis für eine Sedimentationsunterbrechung gedeutet.

Probe 12: (bis 2 cm), leicht olivgrau (5 GY 6/1).
Im unteren Teil ist die Probe durch Chamositschlieren grünlich gefärbt, nach oben geht sie in einen stark rekristallisierten, Fe-freien Biokalkarenit über.

Probe 13: (2,5—3 cm), dunkelrot (10 R 2/2).
Bis auf einige unveränderte, phosphatische Trilobitenreste besteht die Probe aus einer nahezu kalkfreien, strukturlosen Fe-Kruste.

Probe 14: (2,5—3 cm), dunkelrot (10 R 2/2).
Die in 13 beschriebene Fe-Kruste reicht etwa 1,5 cm weit in die Probe hinein. Dann lassen sich in einer vererzten Matrix Schalenreste erkennen (Gastropoden und Crinoidenreste).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Probe 15: (1,5—2 cm), im unteren Abschnitt mittelgrau (N 6), nach oben hin dunkelrotbraun werdend (10 R 3/4).
Der sich in 14 andeutende Kalkarenit wird langsam Fe-ärmer, jetzt sind häufig Schalenreste zu erkennen, die nur noch randlich vererzt sind.
Allmählich geht der Schalenanteil zurück, stark rekristallisierte Strukturen lassen ehemalige Algenbildungen vermuten. Gleichzeitig steigt der Gehalt an Chamosit und Fe-oxid. An der Obergrenze der Probe werden alle Strukturen plötzlich von einer ca. 1 mm breiten Fe-Kruste gekappt. Darüber folgt — scharf an der Krustenoberkante beginnend — ein Kalzitmikrit mit einzelnen Chamositschlieren (+ Siderit und Dolomit-Flecken).
Ausbildung der Kruste sowie das Kappen der Strukturen und übergangsloses Einsetzen eines neuen Sedimenttyps sprechen für eine Sedimentationsunterbrechung.

Probe 16: (1 cm), im unteren Bereich dunkelrotbraun (10 R 3/4), nach oben hin mittelgrau (N 6).
Der untere Probenteil besteht aus einem matrixvererztem Kalkarenit mit Bohrgängen (heller Kalzit!) und unvererzten Schalenresten. Darüber folgt übergangslos ein sparitischer Kalkarenit mit einzelnen Chamositflasern und kleinen Schalenresten. Dieser scharfe Sedimentwechsel und die nicht vererzten Bohrgänge im vererzten Kalkarenit sprechen für eine erneute Sedimentationsunterbrechung.

Probe 17: (2—2,5 cm), mittelgrau (N 6) mit dunkelrotbraunen (10 R 3/4) Einschlüssen (siehe auch Abb. 7).
Es liegt ein sehr stark rekristallisierter Kalkarenit mit schichtparallel angeordneten Onkoiden vor. Die bis 7 mm langen Onkoide haben oft aufgearbeitete Onkoide oder Teile von Fe-Krusten als Kerne. Die Arenitmatrix ist im oberen Teil oft in Dolomitpflaster umgewandelt.

Probe 18: (bis 2,5 cm), mittelgrau (N 6) mit dunkelrotbraunen (10 R 3/4) Lagen.
Im unteren Teil der Probe finden sich teilweise zerbrochene Onkoide in einer Chamositlage.
Darauf folgen in der Mächtigkeit stark schwankende, flasrige Lagen von Chamosit, Siderit und Kalzitmikrit mit Dolomitrhomboedern. Nach oben hin werden die Flasern allgemein dünner und enthalten ab und zu Schalenreste.

Probe 19: (bis 5 cm), hellgrau (N 7) mit dunkelrotbraunen (10 R 3/4) und rötlichgrauen (10 R 4/2) Partien.
Durch Dolomitisierung nahezu völlig rekristallisierter Kalkarenit mit sehr wenigen, erkennbaren Schalenresten. Nur im oberen, Fe-reichen Teil sind ± unverändert gebliebene Trilobitenreste auszumachen.

Probe 20: (1 cm), rötlichgrau (10 R 4/2) — schwach rotbraun (10 R 5/4).
Es liegt ein Kalkarenit mit kleinen Schalenresten und limonitisierten Krusten vor. Die traubig-nierige Ausbildung und die rechte dünne Bänderung sprechen für Algenbildungen.

Probe 21: (1,5 cm), blaßrot (10 R 6/2) mit schwach rotbraunen (10 R 5/4) Krusten.
Die Probe besteht aus einem, durch feinverteiltes Fe rosa gefärbtem, sehr grobsparitischem Kalzitband mit eingelagerten, isolierten Fe-Krusten (1—2 mm dick).

Probe 22: (2 cm), leicht- bis mittelgrau (N 7—N 6) mit dunkelrotbraunen (10 R 3/4) Schlieren.
Im unteren Teil durchziehen grobsparitische, helle Bohrgänge einen mikrosparitischen Kalkarenit mit vereinzelten Schalenresten. Der obere Teil enthält limonitisierte, wellige Krusten, die wiederum auf Algenmatten hindeuten.

Probe 23: (1 cm), sehr hellgrau (N 7).
Die in 22 begonnenen Algenmatten setzen sich — durch grobsparitische Kalzitklüfte gestört — fort. Der obere Teil besteht aus biogenfreiem Mikrosparit.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Probe 24: (2—3 cm), leicht bräunlich grau (5 YR 6/1).
Der biogenfreie Mikrosparit der Probe 23 bildet den unteren Teil der Probe. Allmählich treten 3 bis 4 mm lange Onkoide auf, deren Anzahl nach oben hin zunimmt. Die Kerne der Onkoide bestehen aus kalzitischen Intraklasten, Chamosit und aus Teilen wiederaufgearbeiteter Onkoide. Größe und Form der Kerne führen zu starken Abweichungen vom üblichen, länglichen Querschnitt der Onkoide.

Probe 25: (1,5 cm), dunkel- bis mittelgrau (N 4—N 5).
Den unteren Teil der Probe bildet ein onkoidhaltiger, flasriger Siderit-Mikrit. Nach oben hin nimmt die Anzahl der Onkoide zu, bis schließlich eine onkoidreiche, stark vererzte Kruste entsteht. Die Kruste hat eine leicht gewellte Oberfläche. Das Kleinrelief dieser Oberfläche wird übergangslos durch eine Dolomit- und Siderit-reiche Matrix mit kleinen, chamositischen Onkoiden ausgeglichen. Oft sind mehrere Kleinonkoide zu einem größeren Onkoid zusammengewachsen. Trotz dieses Zusammenwachsens ist deutlich eine schichtparallele Einregelung der Onkoide festzustellen.

Probe 26: (1,5 cm), dunkel-mittelgrau (N 4).
Sehr viele, bis 3 mm lange Onkoide liegen in einer grobsparitischen Matrix. Schichtparallele Einregelung ist nicht festzustellen. Aufgearbeitete Onkoid(reste) als Kerne neuer Onkoide sind häufig zu beobachten.

Probe 27: (1 cm), dunkles Mittelgrau (N 4).
Die Probe ist eine Fortsetzung von 26 mit allmählicher Dolomitisierung der Mikritmatrix. Häufig sind zerbrochene, regellos verteilte Chamositkrusten zu finden.

Probe 28: (1,5 cm), dunkles Mittelgrau (N 4), nach oben leicht mittelgrau (N 6).
Es sind weniger Onkoide als in 27 zu finden. Ebenfalls sinkt der Dolomitgehalt zugunsten eines sideritischen Mikrits mit vereinzelten Flecken von Kalzitsparit. Nach oben nimmt der Kalzitsparit zu. Vereinzelte dünne Krustenbildungen aus kalzitischem Mikrit werden als Algenkrusten gedeutet.

Probe 29: (2 cm), dunkles Mittelgrau (N 4).
Bis zur Probenmitte setzt sich die Entwicklung aus Probe 28 fort. Dann folgt eine teilweise stark vererzte Kruste. Einzelne, weniger stark vererzte Flecken innerhalb der Kruste lassen eine dünne, leicht wellige Algenkruste aus Mikrit erkennen.

4. Zusammenfassung der Dünnschliffuntersuchungen:

Insgesamt sind nur 4 Sediment-Typen unterscheidbar, die in unterschiedlicher Reihenfolge mehrmals auftreten:

1: Chamosit- und Fe-arme Kalkkrusten, vermutlich Algenbildungen. Die geringe Ausschnittbreite der Profilproben von nur 5—8 cm erlaubt nur eine vorsichtige Einstufung als LLH (= laterally linked hemispheroids)-Formen (Def. nach LOGAN et al., 1964). Deutlichstes Beispiel: Probe WO 5, Abb. 6.1 + 6.2 (Ausschnitt!).

2: Kalkarme, eisenreiche Chamosit- bis chamositische Fe-Krusten. Wahrscheinlich durch Halmyrolyse (Umwandlung Montmorillonit, ?, nach Chlorit, verbunden mit Fe-Aufnahme) des Tonmaterials aus Typ 1 entstanden.

3: Biokalkarenit, vorwiegend Crinoidenschuttkalk mit Brachiopoden- und Trilobitenschalenresten. Meist schlecht sortiert. Mächtigkeit dieser Bio-Sparite: bis maximal 5 cm.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Nochmals untergliederbar in:

3 a: onkoidfreier Biosparit,

3 b: onkoidführender Biosparit, Onkoide horizontal eingeregelt und/oder nicht eingeregelt,

3 c: Onko-Bio-Sparit. Die Zahl der Onkoide übersteigt die Zahl des Biogendetritus.

4: Mischform aus Typ 2 und Typ 3 c: onkoidreiche, meist chamositische Fe-Krusten.

Abgesehen von diagenetisch bedingten Umwandlungen und teilweisen Imprägnierungen mit Fe ist Typ 3 (mit Untertypen a + b) der vorherrschende Sediment-Typ.

Die Onkoide (nach obiger Definition als SS-Algentypen anzusprechen) erlauben eine Unterteilung in drei Gruppen:

Gruppe 1: ein im Querschnitt ± runder Kern aus ungegliedertem Chamosit und/oder Kalzitmikrit (zum Teil mit Detritusresten) wird durch Anwachsen von Krusten (Chamosit oder Mikrit) vergrößert. Dabei bildet sich bevorzugt ein Längenwachstum heraus: der Querschnitt wird elliptisch. Das maximale Achsenverhältnis liegt bei 11 : 3 und 8 : 2 (in *mm*). Abb. 5.3.

Gruppe 2: Als Kerne finden sich chamositische Krustenteile oder Bruchstücke der Gruppe 1. Beim Weiterwachsen werden meist rundliche Querschnitte beibehalten.

Gruppe 3: Als Kerne treten unregelmäßig begrenzte, biosparitische Intraklaste auf. Die Anwachskrusten sind nicht sehr dick. Meist werden nur mäßig verrundete Querschnitte gefunden.

5. Ergebnisse

5.1. Röntgenographische Ergebnisse:

Von den gepulverten Proben wurden — mit Fe-Kα-Strahlung — an einem PHILIPS-Goniometer texturarme Diffraktometeraufnahmen angefertigt.

Nach Identifizierung der vorkommenden Minerale wurde ihr Anteil innerhalb der Probe nach Höhe des jeweils stärksten Reflexes grob abgeschätzt (Abb. 3 und 4).

Tonminerale werden bei texturarmen Präparaten nur in geringem Maße erfaßt. Daher blieben sie bei der Abschätzung unberücksichtigt. Somit beziehen sich die unten gemachten Angaben auf tonmineralfreie Proben.

Die auftretenden Tonminerale wurden in texturierten, auf Objektträgern aufsedimentierten Präparaten identifiziert.

Es treten allgemein nur Chlorite auf, hauptsächlich Fe^{3+}-reicher Chamosit und thuringitischer Chlorit. Als Angaben ihres Anteils innerhalb der einzelnen Proben wird der Al-Gehalt (s. u.) angesehen.

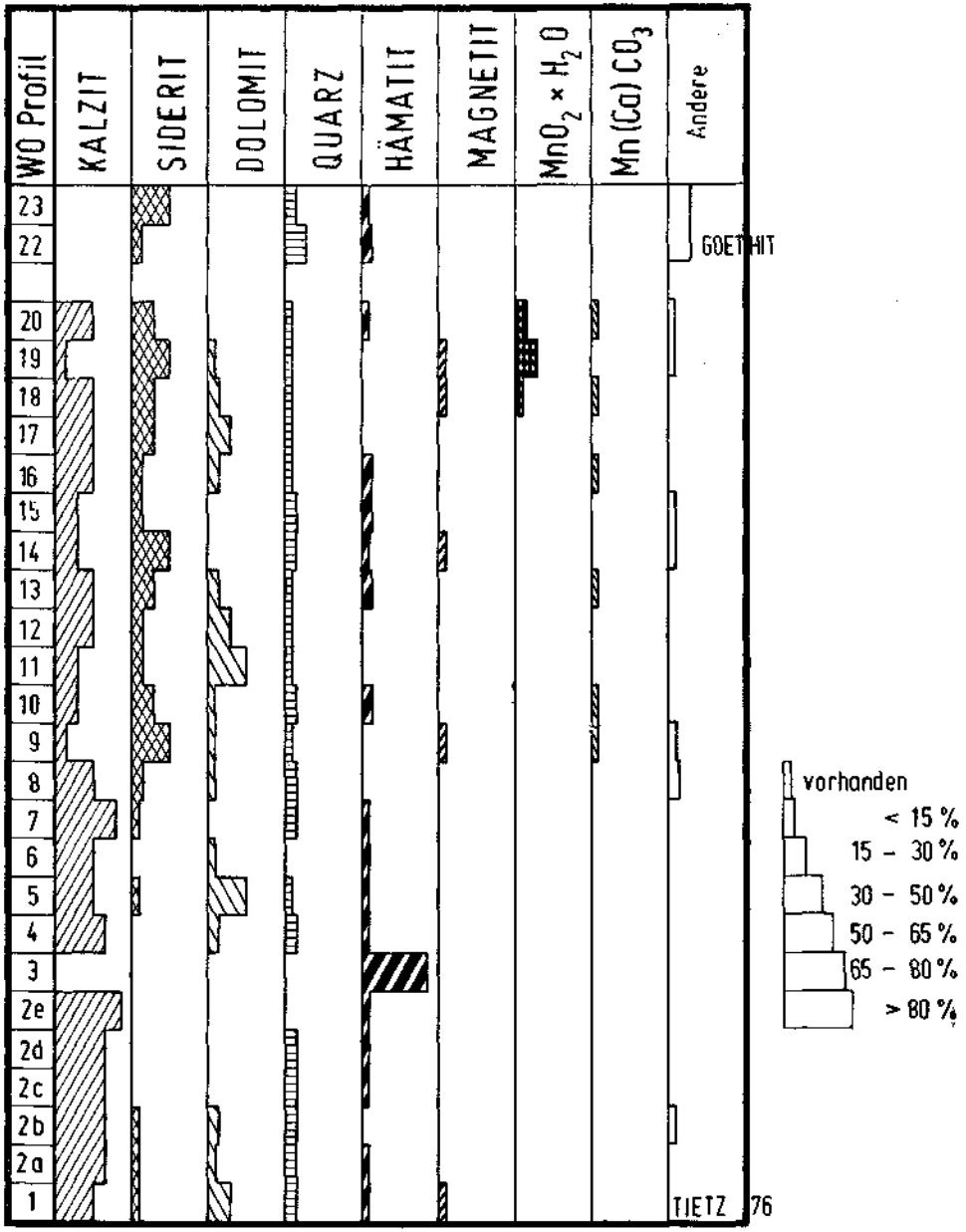


ABB 3: MINERLVERTEILUNG im WO Profil

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Kalzit und Dolomit wurden außerdem aus chemischen Analysenwerten für Ca und Mg berechnet (s. u.).

In der Rubrik „Andere" in Abb. 3 + 4 sind nur sporadisch auftretende Minerale wie Pyrit, Rhodonit (?), Goethit und Lepidokrokit aufgeführt. Die Anteile liegen meist gerade über der röntgenographischen Nachweisgrenze.

5.1.1. Das WO-Profil: Abb. 3

Auf chloritfreies Material bezogen, ließ sich nachstehende Reihenfolge vorkommender Minerale aufstellen. Die jeweiligen Durchschnittsgehalte sind in Klammern angegeben:

Kalzit (36%, errechnet 37%), Siderit (20%), Dolomit (12%, errechnet 15%), Hämatit (10%), Quarz (5%), Magnetit (2%), Mangano-Kalzit (2%) und Manganomelan (knapp 2%).

Die Karbonate:

Bei Betrachtung der Karbonate fällt auf, daß etwa die untere Profilhälfte (Probe 1—8) durch recht hohen Kalzitgehalt gekennzeichnet ist. Mit durchschnittlich 45% liegt der Kalzitgehalt deutlich über dem Durchschnittswert für das Profil.

Der Sideritanteil beträgt in der unteren Profilhälfte dagegen durchschnittlich nur 5%, was einem Viertel des Gesamtdurchschnitts entspricht.

Beim Dolomitgehalt ergeben sich kaum Abweichungen vom Profildurchschnitt.

Die obere Profilhälfte (Probe 9—23) ist gekennzeichnet durch etwa gleiche Gehalte an Siderit (knapp 30%) und Kalzit (geschätzt etwa 25%, errechnet 31%).

Der Siderit erreicht in diesem Profilteil seine höchsten Gehalte. In 4 Proben (Probe 9, 14, 19, 23) liegt er deutlich über 30%, in 5 Proben (10, 13, 17, 18, 20) deutlich über 15%.

Auch der Dolomitanteil liegt mit 12% (errechnet 18%) knapp über dem Profildurchschnitt.

Die Nichtkarbonate:

Zwar sind Mn-Minerale nur in sehr geringen Mengen vorhanden, in der unteren Profilhälfte liegen sie jedoch noch unter der röntgenographischen Nachweisgrenze (oder fehlen ganz).

Demgemäß beträgt ihr Durchschnittsgehalt in der oberen Profilhälfte jeweils etwa 4%.

Während Hämatit (mit Ausnahme der Probe 3: etwa 80%) durchweg gleichmäßig auf das ganze Profil verteilt ist, tritt Magnetit in der oberen Profilhälfte etwas häufiger auf.

Der Quarz ist mit etwa 5% gleichmäßig über das ganze Profil verteilt. Aus Dünnschliffen läßt sich ersehen, daß er selten detritisch, sondern meist als Neubildung (Kalzitverdrängung) zu finden ist.

5.1.2. Das WS-Profil: Abb. 4

Ähnlich wie im WO-Profil sind Kalzit mit 27% (errechnet 34%) und Siderit mit 24% die häufigsten Minerale. Danach folgen Dolomit mit 9% (errechnet 14%),

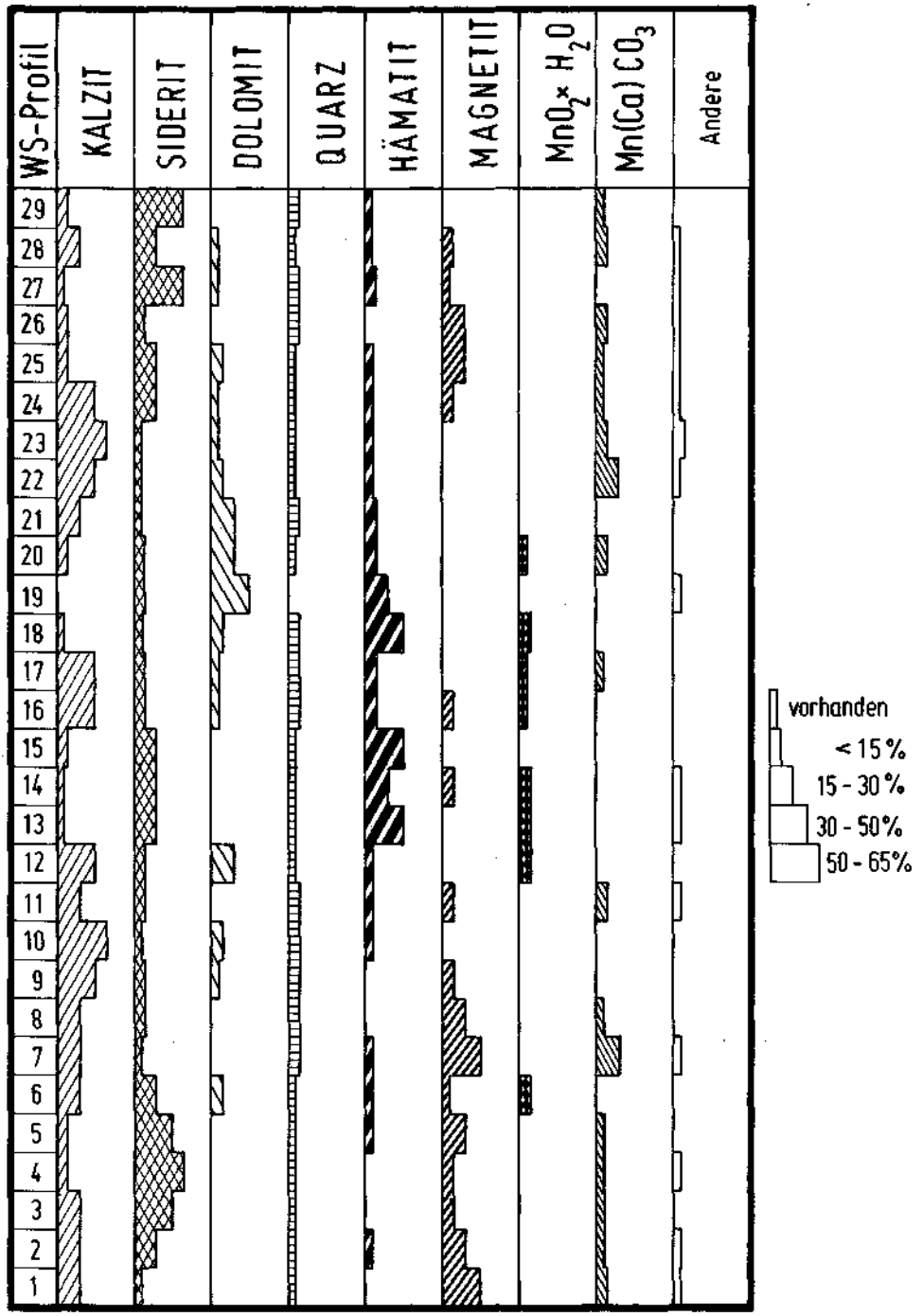


ABB. 4 MINERALVERTEILUNG im WS Profil TIETZ 1976

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Magnetit mit 10%, Hämatit mit etwa 10%, Mangano-Kalzit mit 7% und Manganomelan mit 4%.

Der Quarzgehalt liegt wiederum bei etwa 5%, gleichmäßig über das Profil verteilt.

Eine Zweigliederung der Mineralverteilung wie im WO-Profil ist hier nicht festzustellen. Deutlich ist nur, daß sich Kalzit und Siderit gegenläufig verhalten. Der Dolomit nimmt eine „mittlere" Stellung ein, etwa entsprechend den Dolomitpflastern in der Profilbeschreibung.

Bei einem Vergleich der Verteilungen zeigt sich:

Im unteren Profilabschnitt (etwa Probe 1—9) haben Siderit mit durchschnittlich 27% und Kalzit mit 26% (errechnet 30%) etwa gleiche Mittelwerte, die Abbildung macht aber die Gegenläufigkeit beider Minerale deutlich. Magnetit (!) ist mit 24% das 3. häufigste Mineral dieses Profilabschnitts. In zwei Proben (1,7) liegt der Magnetit sogar deutlich über 30%.

Der Hämatitgehalt liegt mit durchschnittlich 4% klar unter dem Profildurchschnitt, ebenso der Dolomitanteil mit 3% (errechnet: 8%).

Der mittlere Profilabschnitt (Probe 10—19) zeigt stark wechselnde Kalzitgehalte mit einem Durchschnitt bei 26% (errechnet 31%). Der Siderit ist recht gleichmäßig verteilt, liegt aber mit 17% klar unter dem Profildurchschnitt.

Bemerkenswert ist, daß in diesem Abschnitt Hämatit mit 23% seinen höchsten Mittelwert aufweist. Damit ist Hämatit hier das 2. häufigste Mineral nach Kalzit. In 3 Proben (13, 15, 18) liegt Hämatit sogar deutlich über 30%.

Der Dolomitgehalt entspricht mit 10% etwa dem Profildurchschnitt (errechnet 15%).

Im obersten Profilabschnitt (Probe 20—29) liegen ähnliche Verhältnisse vor wie im unteren Abschnitt.

Kalzit hat hier den höchsten Mittelwert mit 30% (errechnet 39%). Siderit erreicht nur in den obersten 3 Proben hohe Gehalte (etwa 60%) und liegt sonst unter 25%.

Hämatit und Magnetit weichen mit durchschnittlich 10% nicht vom Profilmittelwert ab. Magnetit ist jedoch auf 5 zusammenhängende Proben (24—28) beschränkt, während Hämatit durchweg gleichmäßig verteilt ist.

Der Dolomit liegt mit 12% (errechnet 16%) knapp über dem Profildurchschnitt.

Die beiden abschätzbaren Mn-Minerale verhalten sich ähnlich wie die beiden Fe-Minerale:

Manganomelan ist bei hohen Hämatitgehalten, Mangano-Kalzit dagegen bei hohen Magnetitgehalten häufiger.

5.2. Geochemische Ergebnisse:

Alle Proben wurden durch Messung der Atomabsorption auf nachstehende Elemente analysiert: Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn. Die Bestimmung des Calciums erfolgte komplexometrisch.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Tab. 1. Durchschnittsgehalte und Extremwerte der beiden Profile und der Vergleichsprofile.

	Al %	Ca %	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	Mg %	Mn %	Ni ppm	Pb ppm	Sr ppm	Zn ppm
W-O-Profil												
ϕ	0,80	18,53	119	73	50	22,70	1,95	2,52	106	54	145	103
unt. Teil	0,62	20,19	103	53	41	20,42	1,40	3,82	75	41	140	112
ober. Teil	0,95	17,11	133	90	56	24,67	2,44	1,41	143	65	149	49
(Extremwerte)	0,06—	4,77—	50—	20—	10—	11,70—	0,52—	0,09—	0—	20—	40—	40—
	1,70	28,16	260	180	160	41,66	4,02	5,13	170	200	295	230
W-S-Profil												
ϕ	1,15	16,72	107	149	45	25,31	1,85	0,88	188	49	179	120
unt. Drittel	1,29	14,23	97	88	70	32,90	1,23	0,63	149	51	177	119
mittl. Drittel	1,40	16,12	125	165	33	22,38	2,13	0,80	214	50	192	130
ober. Drittel	0,78	19,55	98	188	37	21,42	2,14	1,19	181	47	169	111
(Extremwerte)	0,30—	6,01—	67—	27—	13—	6,14—	0,36—	0,37—	70—	30—	60—	50—
	2,70	33,28	180	620	130	47,98	5,05	3,67	680	60	320	180
Cellon	1,14	n. b.	64	41	108	3,42	1,26	1,53	78	n. b.	346	100
Bodentörl	2,00	n. b.	87	56	70	10,51	0,84	1,19	114	n. b.	255	115

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Zur Lokalisierung der verschiedenen Elemente in ausgewählten Proben erfolgte eine röntgendispersive Analyse der Proben im Rasterelektronenmikroskop. Der „Gehalt" folgender Elemente wurde gemessen: Al, Ca, Fe, Mg, Mn, P, Si.

Vor der Analyse wurden die Proben mit Kohle besputtert. Bei der Auswertung ergab der Inhalt eines 8 Kanäle messenden Intervalls pro Element (= counts/Zeiteinheit) etwa ein halbquantatives Maß für die relative Verteilung des jeweiligen Elements in der Probe. Um annähernd gleiche Meßbedingungen zu gewährleisten, wurde die Beschleunigungsspannung und die Stellung des Meßpunktes zum Röntgendetektor weitgehend konstant gehalten.

Schließlich wurden zum Vergleich Proben aus anderen Silur-Profilen der Karnischen Alpen auf die oben angeführten Elemente untersucht. Es handelte sich um 8 Proben aus dem höheren Teil des Cellon-Profils (Conodontenzonen: celloni — ploeckensis) und um 10 Proben eines Profils vom Bodentörl (FENNINGER & SCHÖNLAUB, 1973).

5.2.1. Das WO-Profil:

Es wurde versucht, die bei der Mineralverteilung deutlich gewordene Zweiteilung des Profils mit Hilfe der Elementverteilung zu bestätigen. Die Verteilung der Elemente Al, (Ca), Cr, Fe, Mg, Mn, Ni paßte sich dieser Zweiteilung recht gut an (s. u.).

Aluminium:

Aluminium ist unter den aufgefundenen Mineralen hauptsächlich im Chlorit zu finden. Damit sind die Aluminium-Gehalte ein indirektes Maß für die Menge der vorhandenen Chlorite.

Der Durchschnittsgehalt des Profils beträgt 0,80% Al bzw. 1,51% Al_2O_3. Bei einem mittleren Gehalt eines Fe^{3+}-reichen Chamosits von etwa 17% Al_2O_3 (Angaben nach C. E. WEAVER & L. D. POLLARD, 1973) würde der Mittelwert des Profils für etwa 6 bis 8% Chamosit ausreichen.

Im unteren Profilabschnitt (Probe 1 bis 8) liegt der Mittelwert für Al bei nur 0,62%, der Minimalwert beträgt 0,06% (Probe 1, 2 e); der Maximalwert 1,26%. Nur in zwei Proben werden Gehalte über 1% gefunden (Probe 3, 6).

Im oberen Profilabschnitt sind höhere Gehalte häufiger, entsprechend steigt der Mittelwert auf 0,95%. Der Minimalwert liegt bei 0,07% (Probe 11), der Maximalwert mit 1,70% in Probe 14. Gehalte über 1% treten in 6 Proben auf (Nr. 9, 13, 14, 15, 18, 22).

Calcium:

Die Calcium-Gehalte repräsentieren in erster Linie Kalzit und Dolomit. In geringerem Maße ist Ca auch in Siderit (als Ankerit) und in Mangano-Kalzit eingebaut.

Bei der Berechnung des Kalzits und Dolomits wurden diese Minerale jedoch nicht berücksichtigt. Ein solches Vorgehen schien vertretbar, da die Absolutgehalte für Mangano-Kalzit sehr niedrig sind. Eine Herkunft der bestimmten Ca-Werte aus Siderit scheint unwahrscheinlich zu sein, da die Proben für die Ca-Bestimmung nur in kalter, 0,1 n HCl gelöst wurden. Bei dieser Säurekonzentration ist

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

nicht mit merklicher Auflösung des Siderits zu rechnen. Im Durchschnitt liegt der Ca-Gehalt im Profil bei 18,53%. Der Minimalwert von 4,77% wurde in Probe 3, der Maximalwert von 28,16% in Probe 2 c gefunden.

Insgesamt enthalten 13 (von 26) Proben Gehalte über 20%, 7 Proben Gehalte zwischen 14% und 20%.

Kobalt:

Als Trägerminerale für Kobalt kommen wohl in erster Linie Chlorite in Betracht, geringe Gehalte können auch im Manganomelan enthalten sein.

Der Durchschnitt ist mit 119 ppm sehr niedrig, der Minimalwert (Probe 11) beträgt 50 ppm, der Maximalwert (Probe 22) 260 ppm.

Aus Abb. 1 ist zu ersehen, daß die Co-Werte etwa parallel zu den Al-Gehalten und damit auch annähernd parallel zu den Fe-Gehalten verlaufen. Dieses Verhalten spricht für einen Co-Einbau in Chloriten. LANDERGREEN (1948) gibt einen mittleren Co-Gehalt von 200 bis 300 ppm für marin-oolithisch-chamositische Eisenerze an.

Eine Zweiteilung der Co-Verteilung innerhalb des Profils ist deutlich: der untere Profilabschnitt weist einen Mittelwert von 103 ppm, der obere Profilabschnitt einen Mittelwert von 133 ppm auf. Dieser höhere Mittelwert im oberen Abschnitt paßt sehr gut zu den ebenfalls erhöhten Al-Gehalten dieses Abschnitts.

Chrom:

Die Chrom-Gehalte sind nur etwa halb so hoch wie die Kobalt-Gehalte. Durchschnittlich enthalten die Proben des Profils 73 ppm Cr. Der Maximalwert beträgt 180 ppm (Probe 19), der Minimalwert 20 ppm (Probe 2 e, ebenfalls Minimalwert für Al!).

Insgesamt werden nur viermal Werte über 100 ppm erreicht (9, 10, 13, 19). Wahrscheinlich ist Chrom an Chlorite und an Fe-Minerale gebunden. Für Cr ist die Zweiteilung des Profils noch klarer zu sehen als bei den Co-Werten: im unteren Abschnitt liegt der Mittelwert bei 53 ppm; im oberen Abschnitt jedoch bei 90 ppm.

LANDERGREEN (1948) gibt als Durchschnittsgehalt marin-oolithischer-chamositischer Fe-Erze 240 ppm Chrom an.

Kupfer:

Mit durchschnittlich nur 50 ppm sind die Cu-Gehalte im Profil sehr gering. Das Minimum liegt in zwei Proben (7, 2 e) bei 10 ppm, das Maximum in Probe 1 bei 160 ppm.

In diesen geringen Konzentrationen ist eine Lokalisierung des Kupfers nicht möglich. Geringe Cu-Mengen (nach verschiedenen Autoren ∅ 20 ppm, zusammengefaßt bei MILLIMAN, 1974) können in den Karbonaten eingebaut sein, daneben ist Kupfer sicher adsorptiv an Chlorite gebunden und schließlich noch in — vermutlich aus Gelen entstandenen — Fe-Krusten zu finden.

Eisen:

Eisen tritt im Profil auf als: Siderit, Magnetit, Hämatit, Chlorit und Limonit. Über die Verteilung dieser Minerale innerhalb des Profils wurde bereits berichtet.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Aus Abb. 1 geht deutlich hervor, daß Fe und Al weitgehend parallel verlaufen. Dieser Befund ist eine weitere Bestätigung für die Fixierung des Aluminiums in Fe-reichen Chloriten.

Die Bestimmung des Gesamt-Eisens erlaubt keinerlei Aussagen über die Verteilung von Fe^{2+} und Fe^{3+}.

Im Mittel beträgt der Fe-Gehalt der Proben 22,70%. Als Minimalwert wurde ein Gehalt von 11,70% in Probe 1 gefunden. Der Maximalwert liegt mit 41,66% in Probe 3. Insgesamt enthalten 9 (von 26) Proben Fe-Gehalte über 20%, 5 Proben sogar Fe-Gehalte über 30%.

Bezüglich der oft zitierten Zweiteilung des Profils ist in Abb. 1 zu erkennen, daß im oberen Abschnitt allgemein höhere Fe-Gehalte häufiger sind als im unteren Profilabschnitt.

Trotz des Maximalwertes in Probe 3 beträgt der Mittelwert im unteren Abschnitt des Profils nur 20,42% gegenüber dem deutlich höheren Mittelwert von 24,67% im oberen Abschnitt.

Magnesium:

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die berechneten Dolomitgehalte teilweise Mg aus Chloriten enthalten und dadurch die Dolomitangaben etwas zu hoch sind. Ein ungefähres Maß dieses Fehlers ist aus den Unterschieden zwischen berechneten und aus Diffraktometeraufnahmen abgeschätzten Dolomitgehalten ersichtlich. Die Abweichung beträgt zwischen 3 und 6%. Da jedoch die errechneten und die abgeschätzten Minimal- und Maximalgehalte stets zusammenfallen, werden Aussagen über Dolomitverteilung innerhalb der Proben nicht beeinträchtigt.

Im Mittel liegen die Mg-Gehalte der Proben bei 1,95%. Der Minimalwert von 0,52% wurde in Probe 3, der Maximalwert von 4,02% in Probe 11 gefunden. Insgesamt weisen 7 (von 26) Proben Mg-Gehalte über 3% und 8 Proben Mg-Gehalte zwischen 1,5 und 3% auf.

Auf einen leicht erhöhten Dolomitanteil im oberen Profilabschnitt wurde bereits hingewiesen. Da nach den bisherigen Aussagen ebenfalls im oberen Profilabschnitt ein höherer Chloritanteil vorliegt, müssen die Mg-Gehalte für den oberen Profilabschnitt einen deutlich höheren Mittelwert aufweisen: er beträgt 2,44%. Der Mittelwert für den unterene Profilabschnitt liegt nur bei 1,40%.

Mangan:

Neben Mangano-Kalzit und Manganomelan ist Mangan oft in Fe-Mineralen, in Kalzit und (in geringerem Maße) in Dolomit zu finden.

Im Profil schwanken die Mn-Gehalte beträchtlich. So liegt der Minimalwert bei 0,09% in Probe 23, der Maximalwert mit 5,13% in Probe 2 d. Als Mittel ergibt sich ein Gehalt von 2,52%. Der untere Profilabschnitt enthält die meisten der hohen Mn-Gehalte: 7 Proben enthalten mehr als 4% Mn. Entsprechend ist der Mittelwert mit 3,82% sehr hoch. Keine Probe weist Gehalte unter 1,7% auf. Der obere Profilabschnitt ist dagegen relativ arm an Mangan. Nur in Probe 17 werden 4,18% erreicht. 9 von 14 Proben haben Gehalte unter 1%, dadurch erreicht der Mittelwert nur 1,41% Mn.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

In Abb. 1 ist zu erkennen, daß hohe Mn-Gehalte nie zusammen mit hohen Eisengehalten auftreten. Besonders im unteren Profilabschnitt lassen sich die Mn-Gehalte sehr gut mit dem Kalzitanteil korrelieren.

Der obere Profilabschnitt zeigt in den Proben 11, 12, 16, 17 noch eine deutliche Korrelation von Mn mit Kalzit.

Dieses Verhalten und das Fehlen röntgenographisch nachweisbarer Mn-Minerale im unteren Profilabschnitt lassen vermuten, daß das Mangan hauptsächlich an Kalzit gebunden ist.

Die sehr geringen Mn-Gehalte der stark verwitterten, jetzt kalkarmen Proben 22 und 23 sind bedingt durch die hohe Beweglichkeit des Mangans. In diesen 2 Proben (vgl. Abb. 1) sind nur die wenig beweglichen Spurenelemente Co, Cu und Pb relativ angereichert.

Nickel:

Die Gehalte an Nickel liegen im Mittel bei 106 ppm. Der Minimalwert beträgt in Probe 4 : 0%. Der Maximalwert mit 170 ppm liegt in Probe 19.

Ähnlich wie Kobalt ist bei Nickel auch eine vorwiegende Bindung an Chlorite und Magnetit + Hämatit anzunehmen. Deshalb fallen nicht immer hohe Ni-Gehalte mit hohen Aluminium-Gehalten zusammen.

Trotzdem ist auffällig, daß im unteren (Al-armen) Profilteil der Mittelwert für Ni bei 75 ppm liegt, während im oberen (Al-reicheren) Profilteil der Mittelwert für Ni bis auf 143 ppm ansteigt.

Blei:

Auf die relative Anreicherung des wenig beweglichen Bleis in den beiden obersten Profilproben wurde bereits hingewiesen.

Außer in diesen beiden Proben (22 : 157 ppm Pb, 23 : 200 ppm Pb) liegen die Pb-Gehalte stets unter 100 ppm mit einem Durchschnittsgehalt von 54 ppm. Der Minimalwert mit 20 ppm liegt in Probe 2 e. Auf Grund der recht gleichmäßigen Verteilung der niedrigen Bleigehalte ist eine Zugehörigkeit zu bestimmten Mineralen nicht möglich.

Strontium:

Strontium ist als Spurenelement häufig in Karbonat (Kalzit) fixiert. Dementsprechend gehen „hohe" Sr-Gehalte etwa parallel mit hohen Kalzit-Gehalten.

Der mittlere Sr-Gehalt liegt bei 145 ppm, der Minimalwert beträgt 40 ppm (Probe 10), der Maximalwert 295 ppm (Probe 20).

In der kalkärmsten Probe 3 finden sich immerhin noch 157 ppm Sr. Es ist anzunehmen, daß bei der Kalklösung das Strontium in die Fe-Minerale (Hämatit + wenig Limonit) eingebaut wurde.

Allgemein entsprechen die geringen Sr-Gehalte jedoch den für alte Kalksteine üblichen Gehalten.

Zink:

Die Zink-Gehalte liegen im Mittel bei 103 ppm. Den Minimalwert mit 40 ppm enthält Probe 23 (hohe Zn-Beweglichkeit!), den Maximalwert mit 230 ppm die Probe 4.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

In diesem Profil zeigt Zink keinerlei Abhängigkeit von den untersuchten Mineralen. Wahrscheinlich ist dieses Verhalten auf die schon in der Profilbeschreibung erwähnte relativ starke Verwitterung der Profilproben zurückzuführen.

5.2.2. Das WS-Profil (siehe Abb. 2):

Es wurden die gleichen Elemente wie im WO-Profil untersucht. Bei Besprechung der Minerale (s. o.) war auf Grund der Kalzit : Siderit- und der Magnetit : Hämatit-Verteilung eine Dreiteilung des Profils vorgenommen worden.

Ähnlich wie im WO-Profil wird auch hier versucht, diese Einteilung durch die Art der Elementverteilung innerhalb des Profils zu bestätigen.

Aluminium:

Der mittlere Al-Gehalt beträgt 1,15%, das Minimum liegt bei 0,3% (Probe 10, 23), das Maximum bei 2,70% (Probe 18).

Verglichen mit den Al-Gehalten des WO-Profils liegen im WS-Profil die Al-Gehalte deutlich höher. Dieses Ergebnis deutet auf höhere Chloritgehalte im WS-Profil hin. (Die Chlorit-Minerale sind die Gleichen geblieben!)

Die meisten niedrigen Al-Gehalte sind im obersten Profildrittel (Probe 20 bis 29) zu finden. Hier liegt der Durchschnitt bei 0,78%, das Minimum in Probe 23 mit 0,3%, das Maximum in Probe 27 mit 1,77%. Im mittleren Drittel liegen die höchsten Al-Gehalte mit einem Mittelwert von 1,40% (Maximum: 2,70%, Probe 18; Minimum: 0,3%, Probe 10). Insgesamt liegen die Gehalte bei 6 (von 10) Proben über dem Profildurchschnitt von 1,15% Al.

Das untere Drittel hat zwar noch einen höheren Mittelwert als das Gesamtprofil: 1,29%, doch erreicht das Maximum nur 2,36% (Minimum: 0,45%, Probe 9) und nur 5 (von 9) Proben liegen über dem Gesamtdurchschnitt.

Calcium:

Im WS-Profil liegt der Ca-Gehalt mit durchschnittlich 16,72% unter dem Mittelwert des WO-Profils (18,53%).

Der Minimalwert des WO-Profils von 4,77% wird nicht erreicht, er beträgt im WS-Profil 6,01%. Verglichen mit dem WO-Profil liegt allerdings der Maximalwert im WS-Profil mit 33,28% deutlich höher (WO: 28,16%).

Wenn trotz höherer Extremwerte ein niedrigerer Durchschnittswert auftritt, so müssen allgemein im WS-Profil die meisten Gehalte niedrig sein: von den 29 Proben des WS-Profils enthalten nur 10 Proben mehr als 20% Ca (WO: 13 von 26) und nur 6 (WO: 7) Proben Werte zwischen 14% und 20%.

Im unteren Profildrittel beträgt der Durchschnitt 14,23% Ca; nur 3 (von 9) Proben haben höhere Werte.

Das mittlere Drittel enthält durchschnittlich 16,12% Ca; hier liegen schon 4 (von 10) Proben über diesem Gehalt.

Das oberste Drittel hat den höchsten Durchschnitt mit 19,55% Ca; hier liegen insgesamt 6 (von 10) Proben noch über dem Mittelwert.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Kobalt:

Der Profildurchschnitt liegt mit 107 ppm knapp unter dem Durchschnitt des WO-Profils (119 ppm). Als Minimum wurden 67 ppm (WO: 50 ppm) als Maximum 180 ppm (WO: 260 ppm) gefunden.

Wie schon im WO-Profil beschrieben ist eine deutliche Korrelation mit Al-Gehalten (und Fe-Werten) auch im WS-Profil zu erkennen: das mittlere Drittel hat mit 125 ppm den höchsten Mittelwert, im oberen Drittel sinkt der Mittelwert auf 98 ppm, im unteren Drittel schließlich auf 97 ppm.

Chrom:

Verglichen mit dem WO-Profil liegen die Cr-Gehalte mit durchschnittlich 149 ppm um das Doppelte höher (WO: 73 ppm).

Dieser starke Unterschied wird durch insgesamt 4 Proben hervorgerufen: 270 ppm (Probe 19), 350 ppm (Probe 28), 580 ppm (Probe 26), 620 ppm (Probe 18). Dementsprechend liegen die Mittelwerte im unteren Drittel bei 88 ppm. In diesem Abschnitt ist auch der Minimalwert des Profils mit 27 ppm zu finden.

Das mittlere Drittel hat einen Mittelwert von 165 ppm, das obere Drittel einen Mittelwert von 188 ppm.

Die erwähnten Maximalwerte fallen zweimal mit hohen Al-Werten und zweimal mit niedrigen Al-Werten zusammen. Ein ähnlicher Zusammenhang ergibt sich für den Vergleich mit Fe-Gehalten.

Daher ist eine Zuordnung dieser hohen Cr-Gehalte nicht möglich. Die restlichen Cr-Gehalte korrelieren deutlich mit den Al-Gehalten.

Kupfer:

Kupfer ist mit durchschnittlich 45 ppm (Minimum 13 ppm), (Maximum 130 ppm) etwa gleich häufig wie im WO-Profil.

Nur im unteren Drittel liegen 8 von 9 Proben über dem Profildurchschnitt, entsprechend hoch ist hier der Mittelwert mit 70 ppm. Im mittleren Drittel (∅ 33 ppm) wird der Profildurchschnitt nur bei 3 von 10 Proben überschritten, im oberen Drittel (∅: 37 ppm) sogar nur von 1 Probe.

Trotz dieser Unterschiede zur Verteilung der Al-Gehalte wird — wie auch im WO-Profil — eine adsorptive Bindung an Chlorite angenommen.

Eisen:

Die auffällige Verteilung der Fe-Minerale wurde bereits berichtet. Im Vergleich zum WO-Profil weist das WS-Profil deutlich höhere Eisengehalte auf.

Im Profildurchschnitt beträgt der Fe-Gehalt 25,31% (WO: 22,70%). Der Minimalgehalt liegt zwar mit 6,14% unter dem Vergleichswert des WO-Profils (11,70%), doch liegt der Maximalwert mit 47,98% Fe klar über dem entsprechenden WO-Wert (41,66%).

Bei einer Gesamtzahl von 29 Proben wird der Durchschnittswert von 14 Proben überschritten, 13 Proben haben sogar Fe-Gehalte über 30%! Entsprechend den hohen Siderit- und Magnetitgehalten des unteren Profildrittels liegt der Mittelwert hier bei 32,9% Fe.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Das durch hohe Hämatit- und mäßigen Sideritgehalt gekennzeichnete mittlere Drittel weist einen Durchschnittswert von 22,38% Fe auf. Im oberen Drittel mit mäßig hohen Hämatit- und Magnetitgehalten und nur stellenweise hohen Sideritgehalten sinkt der Mittelwert mit 21,42% Fe deutlich unter den Profildurchschnitt ab.

Während im WO-Profil — wahrscheinlich durch den Mn-Anteil im Kalzit bedingt — die Gegenläufigkeit von Eisen gegen Kalzit + Dolomit nicht immer deutlich wurde, ist sie im WS-Profil besonders stark ausgeprägt.

Magnesium:

Für den Profildurchschnitt ergibt sich ein Gehalt von 1,85% Mg. Dies ist etwas niedriger als im WO-Profil.

Das Minimum liegt mit 0,36% Mg in Probe 1 (WO: 0,52%), das Maximum in Probe 19 bei 5,05% Mg (WO: 4,02%).

Nur 5 Proben (WO: 7) enthalten mehr als 3% Mg und nur 4 Proben (WO: 8) zwischen 1,5 und 3%.

Im unteren Drittel sind die niedrigsten Mg-Werte zu finden, der Mittelwert erreicht nur 1,23% Mg. Das mittlere Drittel hat mit 2,13% etwa den gleichen Mittelwert wie das obere Drittel mit 2,14%.

Mangan:

Im Durchschnitt sind die Mangan-Gehalte im WS-Profil wesentlich geringer als im WO-Profil. Der Mittelwert liegt bei 0,88% Mn (WO: 2,52%). Als Minimalgehalte sind gleich in 5 Proben Werte zwischen 0,37 und 0,39% zu nennen. (WO: zwei Werte unter 0,4%.)

Der Maximalgehalt beträgt 3,67% (WO: 5,13%), aber nur zwei Proben (20, 21) erreichen Gehalte über 2%.

Während im WO-Profil eine Korrelation zwischen Kalzit und Mangan zu beobachten war, ist das im WS-Profil nicht der Fall.

Hier treten — wenn auch nur in geringen Mengen — Mangan-Minerale auf.

Nickel:

Genauso auffällig wie die Chromverteilung ist die — zumindest im mittleren und oberen Drittel — parallel verlaufende Nickelverteilung.

Mit über 600 ppm Ni fallen zwei Proben (18 : 680 ppm; 26 : 610 ppm) eindeutig aus dem Pulk der übrigen Werte heraus. Natürlich beeinflussen diese Werte die Durchschnittsgehalte.

Der Profildurchschnitt liegt mit 188 ppm sehr hoch (WO: 106 ppm). Im unteren Drittel tritt der niedrigste Mittelwert mit 149 ppm auf, hier ist auch der Minimalwert mit 70 ppm (Probe 1) zu finden. Das mittlere Drittel enthält mit 214 ppm den höchsten, das obere Drittel mit 181 ppm einen mäßig hohen Mittelwert.

Wie schon bei Chrom angedeutet, kann keinerlei Erklärung für die sehr hohen Ni (+ Cr)-Gehalte dieser Proben gegeben werden.

Die übrige Verteilung der Ni-Gehalte verläuft etwa parallel mit der Aluminium-Verteilung.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Blei:

Wie auch im WO-Profil (dort zwei Ausnahmen!) liegen im WS-Profil die Pb-Gehalte stets unter 100 ppm, mit einem Mittelwert von 49 ppm. Die gleichmäßige Pb-Verteilung innerhalb des Profils drückt sich auch in den Mittelwerten der drei Profiluntergruppen aus: die Werte betragen — von unten nach oben — 51 ppm — 50 ppm — 47 ppm. Zwei Proben enthalten den Minimalgehalt von 30 ppm, in insgesamt 12(?!) Proben tritt der „Maximalwert" von 60 ppm auf.

Strontium:

Trotz der niedrigeren Kalzitgehalte des WS-Profils liegen die Strontium-Gehalte merklich über denen des WO-Profils. Vermutlich ist die Strontium-Armut im Kalzit des WO-Profils mit diagenetisch entstandenem Kalzit erklärbar. Der Profildurchschnitt beträgt 179 ppm (WO: 145 ppm), zweimal tritt der Maximalwert von 320 ppm (Probe 9, 10) auf (WO: 295 ppm).

Auch das Minimum von 60 ppm (WO: 40 ppm) liegt höher. Von insgesamt 29 Proben enthalten 10(!) Sr-Werte über 200 ppm. Diese — gegen WO — recht hohen Gehalte sind wahrscheinlich auf eine geringere Beeinflussung des Kalzits durch Diagenese (Rekristallisation, Dolomitisierung, Sideritisierung) zurückzuführen.

Zink:

Die Zink-Gehalte liegen mit durchschnittlich 120 ppm über dem Vergleichswert (103 ppm) des WO-Profils. Als Minimalwert wurden 50 ppm (Probe 10), als Maximalwert in Probe 18 nur 180 ppm (WO: 230 ppm) gefunden. Insgesamt liegen 15 (von 29) Proben über dem Mittelwert (WO: 7 von 26).

Während im WO-Profil die Zn-Gehalte nicht mit anderen Elementen korreliert werden konnten, ist im WS-Profil eine sehr gute Korrelation mit den Al-Werten zu beobachten.

Dies spricht wieder für eine — zumindest adsorptive — Bindung an die Chlorite.

3.5. Punktförmige Elementverteilungen in ausgewählten Proben:

(Röntgen-Raster-Analysen)

Die Ergebnisse der Elementanalysen im Rastermikroskop werden in Zahlen ausgedrückt, die nur annähernd den Gehalt der Elemente wiedergeben, wie es dem bestenfalls halbquantitativen Charakter dieser Methode entspricht. Auf jeder (frischgebrochenen) Probe wurden 3 Punkt- und eine „Flächen"-Verteilung der Elemente gemessen.

Die Ergebnisse lassen sich in A: kalkreiche Proben (WO 17, WS 21, 23, 17) und B: eisenreiche Proben (WO 22, 23, WS 18, 24, 27) aufteilen.

Zu A: die kalkreichen Proben haben im Mittel nachstehende Verteilungen:

Ca : 73;	Fe : 9;	Al : 6;	Si : 5;
Mg : 3;	Mn : 2;	P : 2	

Als Spuren ließen sich nachweisen: Cd, Cu, S.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Zu B: die eisenreichen Proben haben eine mittlere Verteilung von:

Ca : 10;	Fe : 62;	Al : 12;	Si : 11;
Mg : 1;	Mn : 3;	P : 1	

Als Spuren ließen sich nachweisen: Cu, Cr, K, Ni, Ti, V

Die Unterschiede der beiden Gruppen sind klar zu erkennen:

Der Mn-Gehalt ist in eisenreichen Proben nicht wesentlich höher als in kalkreichen Proben. Etwa umgekehrt liegen die Verhältnisse für Mg. In eisenreichen Proben sind die untereinander etwa gleichen Al- und Si-Anteile auf das Doppelte der Anteile in kalkreichen Proben angewachsen. Dies spricht für einen geringeren Chloritgehalt in kalkreichene Bereichen. Der leicht höhere P-Gehalt in Kalken ist auf Reste von Trilobitenschalen zurückzuführen.

Neben diesen beiden Großgruppen wurden verschiedentlich (weniger häufig) Verteilungen mit veränderten Al : Si-Verhältnissen registriert:

Die angegebenen Werte entsprechen dem Mittel aus 8 Meßpunkten:

Ca : 38;	Fe : 33;	Al : 8;	Si : 12;
Mg : 3;	Mn : 5;	P : 1.	

Diese Veränderung im Al : Si-Verhältnis ist wohl auf ein anderes (wenig häufiges) Chloritmineral zurückzuführen.

In stark verwitterten Bereichen wurden in 4 Meßpunkten nachstehende Durchschnittsverteilungen angetroffen. Ca : 7; Fe : 25; Al : 10; Si : 54; Mg : 2; Mn : 1; P : —.

Diese Meßpunkte sind wohl diagenetisch bedingten SiO_2-Anreicherungen zuzuordnen.

6. Interpretation

Als Ergebnis der Untersuchungen läßt sich nachstehendes Sedimentationsmodell aufstellen:

In einem breiten, flachmarinen — subtidal bis (intertidal) — Bereich kommt es periodisch zu Anlieferungen biogener Schuttkalke meist sehr schlechter bis schlechter Sortierung.

Während der dazwischenliegenden Ruhezeitene werden die lockeren bis schwach zementierten Bio-Kalkarenite von Algenmatten (etwa Typ LLH) überwachsen. Diese Matten erreichen maximal einige cm Mächtigkeit. Durch erneute Anlieferung biogener Schuttkalke werden die Algenmatten überdeckt. In der nachfolgenden Sedimentationspause (= Omission) erfolgt eine neuerliche Bildung von Algenmatten. Nur für marine Sedimentation sind Pausen nachzuweisen. Parallel zu diesen Sedimentations- und Omissions-Perioden erfolgt vom nahegelegenen Festland eine ± gleichmäßige Anlieferung tonhaltiger, eisenreicher Wässer (Grobdetritus ist nicht nachzuweisen).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Dieses Eisen kann sowohl kolloidal als auch an Tonoberflächen gebunden geliefert werden (FÜCHTBAUER & MÜLLER, 1970).

Während der Omissionszeiten herrscht diese Anlieferung vor. Die Algen wirken jetzt als Sedimentfänger für die Tone (MILLIMAN, 1974).

Obwohl heute keinerlei Angaben über die Art dieser Tone gemacht werden kann, ist doch zu vermuten, daß weitgehend Montmorillonite beteiligt waren (rezente Vergleiche: Guadelupe-Fluß, GRIM & JOHNS, 1954; Niger-Delta, PORRENGA, 1966). Für beide Beispiele wurde von den Autoren eine marine Umwanlung von Montmorillonit zu Chlorit bewiesen. Das mitgelieferte Eisen — vermutlich aus intensiver Verwitterung des Festlandes stammend oder von zeitgleich ablaufendem Vulkanismus — kann direkt in die Chlorite eingebaut oder zunächst als Limonit-Überzüge ausgeschieden worden sein. (Entstehung etwa Minette-Typ, Hartgründe im Dogger von Calvados, FÜRSICH, 1971, und v. GAERTNER & SCHELLMANN, 1965).

Für eine — zumindest zeitweise — Beteiligung von Bakterien bei dieser Limonit-Bildung spricht das gehäufte Auftreten von Crinoidenresten, deren Stromakanäle und Randzonen stark vererzt sind (TIETZ, 1970), Probe WS 6. Abgesehen von geringen Lösungsspuren (besonders an Crinoidenresten) im Bereich von Fe- und Chamositkrusten (Proben: WS 11, 15, WO 20) finden sich in beiden Profilen keine Hinweise für ein Trockenfallen und einer damit verbundenen Erosion des Materials.

Angelöste Crinoidenreste treten — mit einer Ausnahme (Probe WO 20) — nur im Bereich chamositischer Krusten auf. Damit ist eine diagenetisch bedingte Auflösung dieser Reste nicht auszuschließen.

Schon die Bildung von Algenmatten oder -krusten beweist eine zeitweise überwiegende Omission. Ein weiteres Beispiel für Sedimentationspausen sind die Anzeichen von Bioturbation. Im Bereich des Onko-Bio-Sparits kann nur auf Grund der unregelmäßig, teilweise senkrecht zur Schichtung (anderer Profileinheiten) stehenden, flachen Onkoide auf Bioturbation geschlossen werden. Biogenfreie, meist rundliche Flecken von Kalzit deuten zwar auf Bohrgänge hin, können aber auch diagenetisch entstanden sein.

Bei den zweifelsfreien Bohrgängen sind zwei Möglichkeiten zu unterscheiden:

A: Ein oberflächlich durch Limonit imprägnierter und ± schwach zementierter Biosparit wird von der Grenze imprägnierter : nicht imprägnierter Biosparit aus von kalzitgefüllten Bohrgängen (∅: 1bis 2 mm) durchsetzt. Am unteren Ende der Bohrgänge sind oft mikritische Kalkdetritusanhäufungen zu finden.

B: Algenmatten wurden angebohrt (∅ wie oben), die Bohrgänge anschließend mit Sparit gefüllt. Im Verlaufe der Diagenese wurden gerade diese Algenmatten völlig zu Siderit- und Chamositflasern umgewandelt, nur der Kalzit der Bohrgänge blieb weitgehend unverändert. Diese bevorzugte Umwandlung ist auf den primär recht hohen Tonanteil dieser Algenmatten zurückzuführen.

Der relativ tonarme, limonit-zementierte Biosparit wurde nicht oder nur in sehr geringem Umfange (Limonit zu Hämatit) diagenetisch verändert.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Aus der Entwicklung dieses Sedimentationsschemas ist nicht auf langdauernde Sedimentationsunterbrechungen zu schließen. Gerade die geringe Mächtigkeit von nur 1—2 cm (vermutlich bis max. 4 cm) der Algenmatten spricht gegen eine länger andauernde Sedimentationsunterbrechung.

Wenn trotzdem im Bereich der untersuchten Kalkbank eine Conodontenzone extrem reduziert ist, deutet dies darauf hin, daß die Sedimentanlieferung nur sporadisch, in geringem Umfange (Mächtigkeiten nur bis 5 cm) und nur als Grobschuttanlieferung erfolgte.

Eine Kombination beider Profile ist nur mit einigen Vorbehalten möglich, da es nicht immer gleichzeitig zur Bildung von Algenmatten gekommen sein muß.

Im unteren Bereich des WO-Profils herrschen Algenmatten weitgehend ohne Bioturbation und Onko-Bio-Sparite vor (WO 1—5). Darüber folgt eine Zone, die aus onkoidführendem Biosparit mit teilweiser Bioturbation und aus wenig Algenmatten besteht (Probe WO 8—12). Ab Probe 13 nimmt die Zahl der Onkoide stark zu, etwa ab WO 16 finden sich sehr gering-mächtige Algenmatten. Erst in Probe WO 18 + 19 ist eine ausgeprägte Algenmattenbildung vorhanden. Diese (diagenetisch umgewandelten) Matten sind intensiv durchbohrt. Damit haben diese Proben eine auffallende Ähnlichkeit mit WS 2 + 3. Entsprechend läßt sich WO 20 gut mit WS 4 + 5 vergleichen. Ein Aneinanderhängen beider Profile im Bereich WO 18—20 mit WS 2—5 würde außerdem etwa der Lage beider Profile innerhalb der Kalkbank (s. o.) entsprechen.

Diagenese und unterschiedlich starke Verwitterung in beiden Profilen läßt einen Vergleich der mineralogischen und geochemischen Zusammensetzung der Proben nicht zu.

Oberhalb des stark verwühlten Bereiches der Proben WS 2 + 3 schließt sich eine vorwiegend biosparitische Zone mit wechselnden Onkoidanteilen an. Ab WS 10 läßt die Anlieferung des Schuttkalkes merklich nach, die Mächtigkeiten liegen bei nur 2 cm. Sedimentationspausen mit Bildung von Algenmatten sind häufig.

Im oberen Teil von WS 15 beginnt wieder eine biosparitreiche Zone, die zwar auch Sedimentationspausen (WS 16) enthält, aber kaum Algenkrusten aufweist. Etwa ab WS 18 werden Algenmatten wiederum häufiger und wechseln jetzt ständig mit geringmächtigen Schuttkalkalgen ab. In WS 24 nehmen Algenbildungen zu, hier sind Onkoide der Gruppe 3 häufig. Diese Entwicklung hält bis zum Profilende an, stellenweise deuten zerbrochene Chamositkrusten auf verstärkte Bioturbation hin.

Diagenetische Entwicklung:

Neben hohen Fe-Gehalten spricht das Fehlen grobklastischer Anteile (bis auf seltene, eckige Quarze im unteren Teil von WO) für eine intensive Verwitterung auf dem Festland und damit für hauptsächliche Anlieferung von Tonen und Ionenfracht. In den als Sedimentfänger wirkenden Algenmatten entstand eine Tonmineralanreicherung im Vergleich zu den relativ tonarmen Schuttkalken. In den Bereichen dünner Algenmatten (meist als leichtgewellte Krusten vorkommend) finden sich häufiger Fe-Krusten als in Bereichen mächtigerer Algenbildungen. Die-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

ser Befund deutet an, daß das Algenwachstum mitunter wohl durch Limonitkrusten auf den Algenmatten gebremst oder gar gestoppt wurde. Ein Auftauchen und Oxidieren des Eisens in diesem Bereich ist nicht auszuschließen.

Während der Diagenese wurde der Limonit allmählich zu Hämatit umgewandelt (WS-Profil, mittleres Drittel). Im Bereich mächtiger Algenmatten ohne Limonitabdeckung kam es wohl nach Überlagerung der Algenmatten zur weitgehenden, verstärkten Chamositbildung. Dadurch wurde die Innenstruktur der Algenmatten zerstört. Durch diagenetische Veränderungen innerhalb dieser Chamosit-reichen Zonen (gilt auch für chamositische Onkoide) kam es hier teilweise zur Bildung von Magnetit und Siderit oder nur zu Siderit (WS-Profil, unteres und oberes Drittel). Dabei wurden aus den Chamositen SiO_2 und Mg freigesetzt. Das Magnesium bewirkte eine Dolomitisierung im umgebenden Kalkbereich (siehe Profilbeschreibung und Dolomitverteilung), während die Kieselsäure teilweise entfernt oder auf gut wegsamen Rissen oder Klüften zu einer Verdrängung des Kalzits durch Quarz führte.

Schließlich geht die Zerstörung des Chamosits so weit, daß auch Kalzit der Bohrgangfüllungen allmählich zu Siderit umgewandelt wird.

Durch die heute wirksame, intensive Oberflächenverwitterung wird hauptsächlich Siderit wieder zerstört. An seine Stelle tritt Limonit, teilweise auch Hämatit. Dieser Vorgang hat zu weitgehender Verarmung des Siderits (und Magnetits) im unteren Teil des WO-Profils geführt.

7. Literatur

FENNINGER, A., & SCHÖNLAUB, H. P. (1972): Das Paläozoikum der Karnischen Alpen. — Exk.-Führer, Tagung Paläont. Ges. 1972, 18—60, Graz 1972.

FÜCHTBAUER, H., & MÜLLER, G.: (1970): Sedimente und Sedimentgesteine. — Sediment-Petrologie, Teil II. — E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 726 p., Stuttgart.

FÜRSICH, F. (1971): Hartgründe und Kondensation im Dogger von Calvados. — N. J. Geol. Palaäont. Abh., *138*, Nr. 3, 313—342, Stuttgart.

GAERTNER, H. R. v., & SCHELLMANN, W. (1965): Rezente Sedimente im Küstenbereich der Halbinsel Kaloum. Guinea. — Tschermaks miner. petrogr. Mitt. (3. Folge), *10*, 349—367, Wien.

GRIM, R. E. & JOHNS, W. D. (1954): Clay mineral investigation of sediments in the northern Gulf of Mexico.— In: Clays & Clay Minerals, Proc. Nat. Conf. Clays and clay minerals *2*, 81—103.

LANDERGREN, STURE (1948): On the geochemistry of Swedish iron ores and associated rocks. A study on iron-ore formation. — Sveriges Geol. Undersök., Ser. C., Avhandl. och Uppsat, No. 496, Årsbok 42, No. 5, Stockholm.

LOGAN, B. W., REZAK, R., & GINSBURG, R. N. (1964): Classification and environmental significance of algal stromatolites. — J. Geol., *72*, p 68—83, Chikago.

MILLIMAN, J. D. (1974): Marina carbonates. Recent Sedimentary carbonates Part I. — Springer-Verlag, 375 p., Berlin-Heidelberg-New York.

PORRENGA, D. H. (1966): Clay minerals in recent sediments of the Niger Delta. — In: Clays and clay minerals Proc. 16 th Nat. Conf. on Clays and clay miner. — p. 221—233, Pergamon Press, Oxford. New York.

ROCK-COLOR-CHART. (1963): The rock-color-chart committee. — Geol. Soc. of Amarika, New York.

SCHÖNLAUB, H. P. (1970): Vorläufige Mitteilung über die Neuaufnahme der silurischen Karbonatfazies der Zentralen Karnischen Alpen (Österreich). — Verh. Geol. B. A., *1970*, Heft 2, 306—315, Wien.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

SCHÖNLAUB, H. P. (1971): Zur Problematik der Conodonten-Chronologie an der Wende Ordoviz/Silur mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Llandovery. — Geologica et Palaeontologica, *5*, 35—57, Marburg.

TIETZ, G. F. (1969): Mineralogische, sedimentpetrographische und chemische Untersuchungen an quartären Kalkgesteinen Fuerteventuras (Kanarische Inseln, Spanien). — Diss. Heidelberg, 149 p., Heidelberg.

WEAVER, C. E., & POLLARD, L. D. (1973): The chemistry of clay minerals. — Develop. in Sedimentology, *15*, 213 p., Elsevier, Amsterdam, London, New York 1973.

Manuskript eingereicht im März 1976

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

5.1: dichtgepackte Onkoide mit chamositischen Kernen in grobsparitischem Kalzit.
well-packed oncolites with chamositic nuclei in sparry calcite.

5.2: Biokalkarenit mit Crinoiden- und Schalenresten. Bioklaste teilweise vererzt.
Biocalcarenite with tests of crinoids and gastropods. The bioclasts are partly limonitized.

5.3: Langgestrecktes Onkoid mit Eisenoxid- und Chamositkrusten in einem Biosparit.
Biosparite with an ellipsoidal oncolite. The oncolite consists of Fe- oxidic and chamositic crusts

5.4: Crinoidenreste mit vererzter Randzone und vererzten Stromakanälen.
oxidized crinoid

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

5.1 WS 6

5.2 WS 6

5.3 WS 2

5.4 WS 17

Abb.: 5

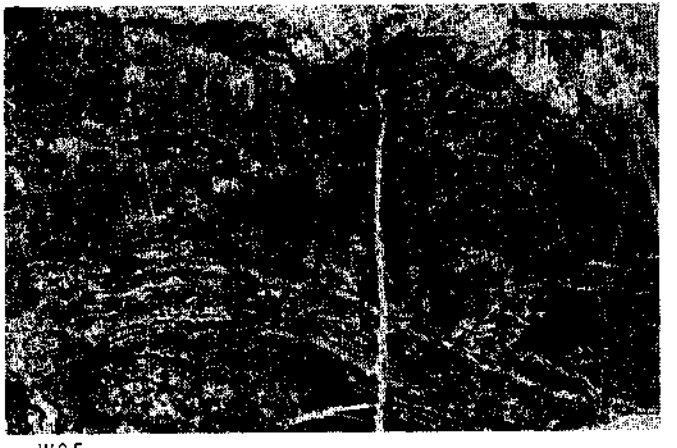
©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

6.1: Algenmatten mit Limonitkrusten (oberer Bildteil: L).
partly limonitized algal structures (L)
6.2: typischer LLH-Typ.
typical LLH-type
6.3: teilweise zerstörte Algenstrukturen (Bildmitte)
partly destroyed algal structures
6.4: Algenkrusten mit zwischengelagerten Kalzitbändern.
Algal structures interlayered by calcite

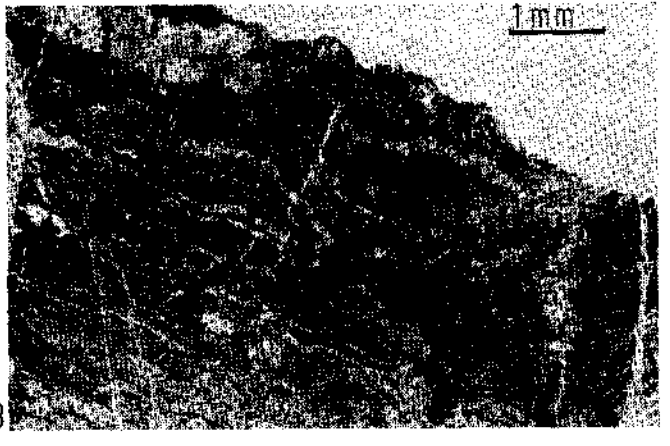
©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Abb. 6 ALGENMATTEN

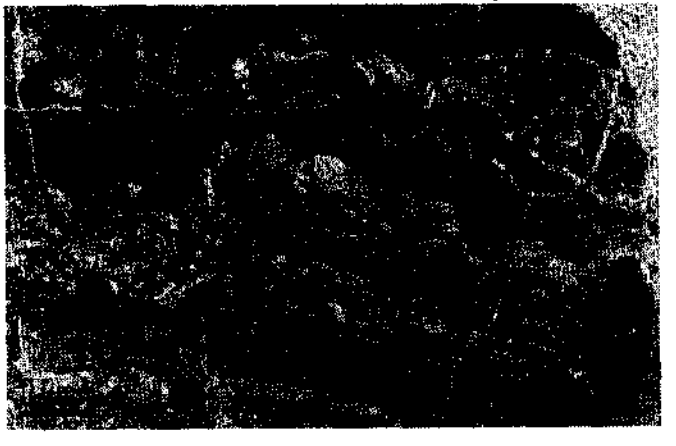
6.1 W05



6.2 W05



W01 6.3



W01 6.4

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

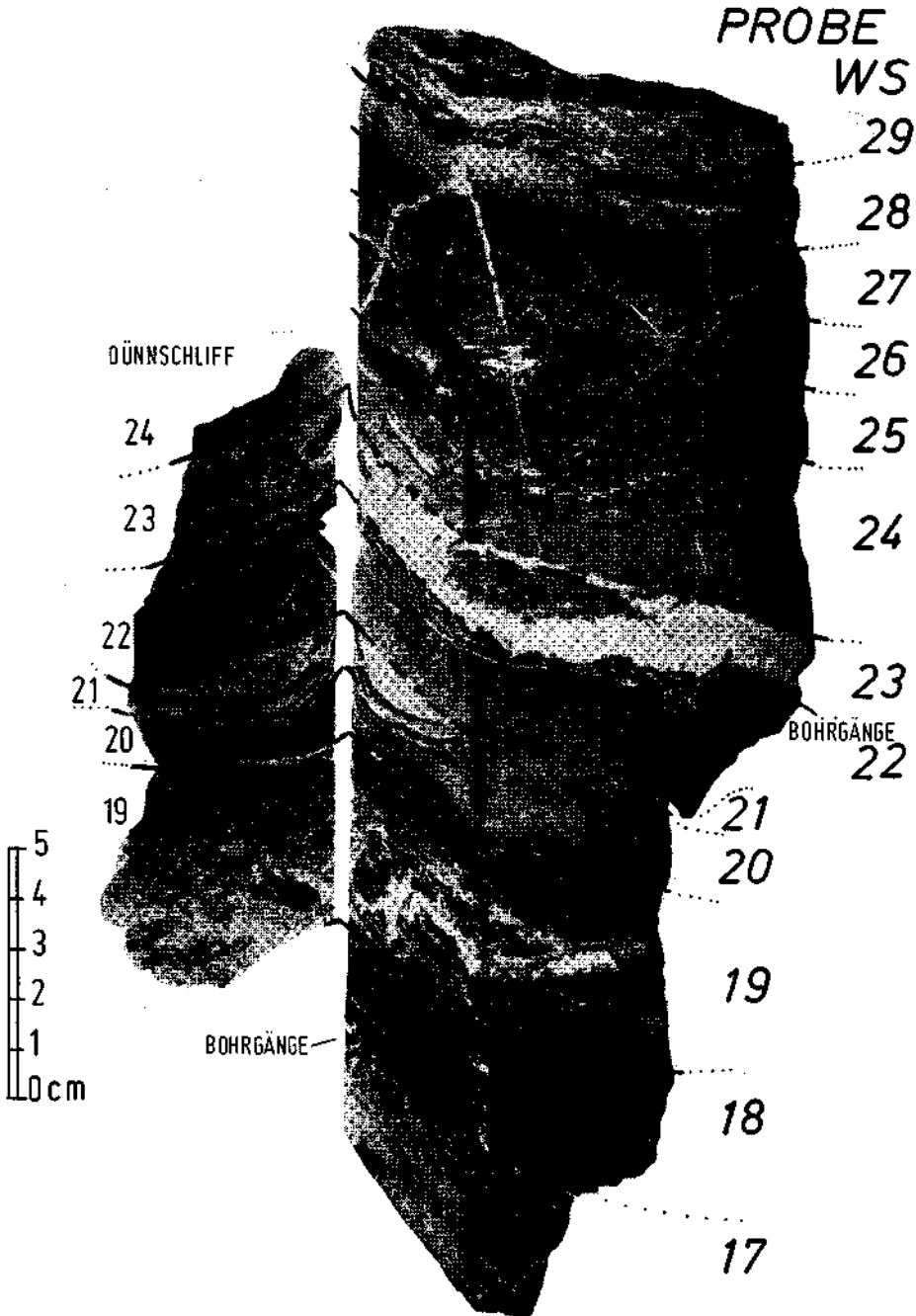


Abb. 7 oberer Teil des WS Profils in Originalgröße TIETZ 1976

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: 1976

Autor(en)/Author(s): Tietz Gerd Friedrich

Artikel/Article: Petrographische und geochemische Untersuchungen an einer kondensierten Kalkbank des unteren Silurs der Karnischen Alpen (Österreich) 207-242