

# Verwischung der ursprünglichen Merkmale in kalkigen Sedimenten und Kalken bei der Dolomitisierung

VON MILAN MIŠEK, Bratislava \*)

Mit 2 Abbildungen und 2 Tafeln

## Abstract

### Einführung

Die optische Orientierung der Dolomitkristalle mit Hinsicht auf das Substrat

Die Abhängigkeit der Dolomitisierung von der Körnigkeit der einzelnen Komponenten des Sedimentes (Gesteins)

Beziehungen der Dolomitisierung zu den ursprünglichen Merkmalen (Allocheme, Orthomikrit, Orthosparit, frühdiagenetische Minerale)

Der Dolomitisierungsvorgang und die Möglichkeiten der Feststellung der Strömungsrichtung der Dolomitisierungslösungen

Relative Chronologie der Dolomitisierungerscheinungen nach dem Studium der Strukturen

Literatur

## Abstract

The original features are mostly destroyed by dolomitization; they are rarely preserved perfectly; exceptionally some of them may be even stressed.

With regard to the optical orientation of the dolomite crystal to its substratum the following cases may be discerned: 1. *Homoaxial replacement* ("pseudomorphic replacement" — F. J. LUCIA, 1962), preserving the optical orientation. This was frequently observed on the crinoidal segments and on the radiaxially oriented cement ("reef tufa" — pl. I, fig. 1) in the Triassic rocks of the West Carpathians. The opposite case — *homoaxial replacement of dolomite by calcite* (dedolomitization), is also common (pl. I, fig. 2). 2. *Syntaxial growth* on dolomite core or basement. It is carried out: a) at the expense of microcrystalline calcite (e. g. *two-phases dolomitization* — pl. I, fig. 3), b) at the expense of microcrystalline dolomite (aggrading neomorphism — R. L. FOLK, 1965), c) overgrowths oriented into the voids (fig. 1) or into the open cracks (pl. I, fig. 4). 3. *Heteroaxial replacement* without respecting the original optical orientation of calcite aggregate.

There is a close relation between the dolomitization and the granularity of the substratum. *Micrit s.l.* (orthomicrite, microsparite, pseudomicrite, microcrystalline aggregates of pellets and intraclaste and orgmicrite = microcrystalline skeletal calcite) mostly contains abundant but minute dolomite grains, resulting from the fact, that plenty of nucleation centres were available; the dolomite

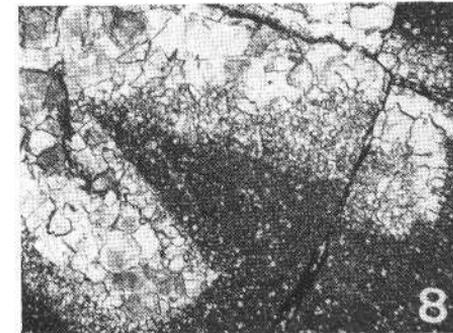
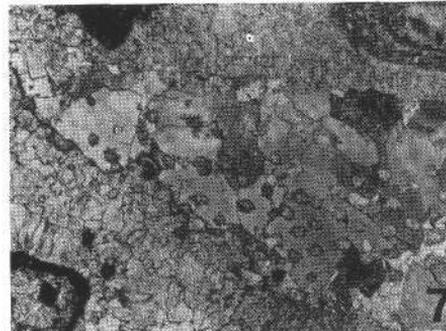
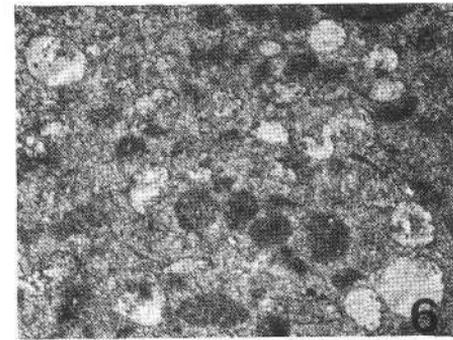
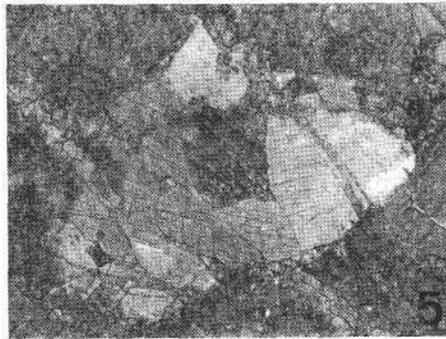
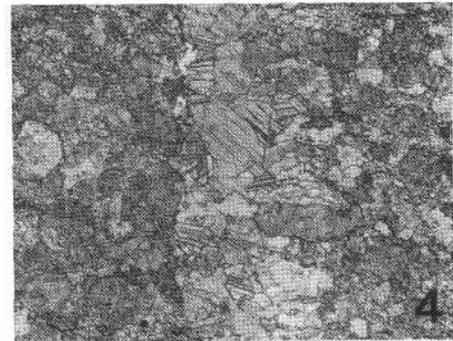
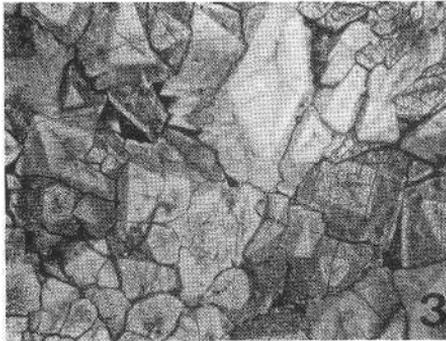
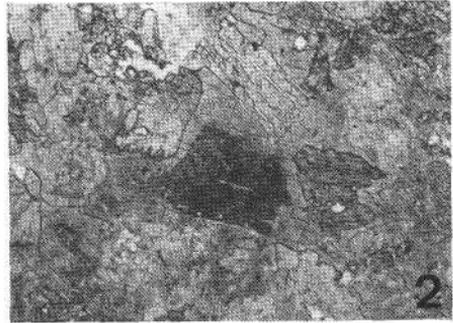
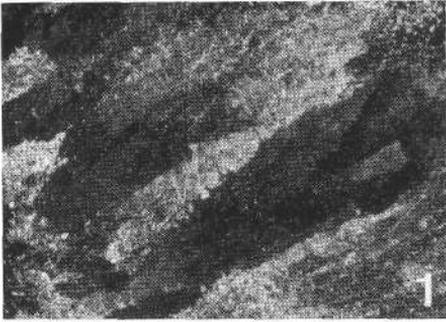
\*) Prof. Dr. MILAN MIŠEK, Lehrstuhl für Geologie der Komenský-Universität, Bratislava, Gottwaldovo nám. 2, Tschechoslowakei.

## TAFEL 1

- Fig. 1. Dolomit verdrängt homoaxial Kalzit-Zement mit radiaxialer Struktur („reef tufa“). Wettersteinkalk, Ladin. Steinbruch bei Slatina, Strážov-Gebirge. Dünnschl. Nr. 3190, gefärbt, 41×, polarisiertes Licht.
- Fig. 2. Dedolomitisierung (Rekalzitisierung des Dolomits). Mittlere Trias der Križna-Decke, Jergaly bei Donovaly, Niedere Tatra, gefärbt, 41×.
- Fig. 3. Durch zweiphasige Dolomitisierung entstandener Dolomit. Steinbruch bei Donovaly, Niedere Tatra, Nr. 720, 32×.
- Fig. 4. Ader mit Kalzit/Dolomit-Füllung in dolomitischem Kalk. Mittlere Trias der Hüllenserie. Steinbruch bei Dúbravka, Kleine Karpaten, Nr. 2511, 15×.
- Fig. 5. Epitaxiales Anwachsen von Kalzit in drei, ein Dolomit-Aggregat durchkreuzenden Adern. Wettersteinkalk, Ladin der Veternik-Decke, Vajarská, Kleine Karpaten, Nr. 3188, gefärbt, 38×.
- Fig. 6. Selektive Dolomitisierung von Pseudooliten. Gutensteiner Kalk, Anis der Križna-Decke, Luboňianska dolina, Große Fatra, Nr. 2737, 20×.
- Fig. 7. Selektive Dolomitisierung von Dasycladaceen-Skeletten. Wettersteinkalk, Ladin, Veternik-Decke, Vajarská, Kleine Karpaten, Nr. 2920, 14×.
- Fig. 8. Dolomit-Pseudomorphosen nach Anhydrit-Kristallen in mitteltriassischem Kalk. Steinbruch Polom bei Žilina, Kleine Fatra, 17×.

## PLATE 1

- Fig. 1. Radiaxial cement ("reef tufa") homoaxially replaced by dolomite. Wetterstein Ls., Ladinian, Quarry near Slatina, Strážovská hornatina Mts. Thin section No. 3190, treated, 41×, crossed nicols.
- Fig. 2. Dedolomitization (recalcitization). Middle Triassic of the Križna Nappe, treated, 41×.
- Fig. 3. Dolomite originated by two-phases dolomitization. Quarry near Donovaly, Nízke Tatry Mts., No. 720, 32×.
- Fig. 4. Dolomitic limestone with selectively dolomitized pseudoolites containing a veinlet filled with calcite and dolomite. Middle Triassic of the Envelope Series. Quarry near Dúbravka, Malé Karpaty Mts. No. 2511, 15×.
- Fig. 5. Epitaxial growth of the calcite on dolomite in the three veinlets crossing the dolomitic aggregate. Wetterstein Ls., Ladinian of the Veternik Nappe, Vajarská, Malé Karpaty Mts. No. 3188, treated, 38×.
- Fig. 6. Selective dolomitization of pseudoolites. Gutenstein Ls., Anisian of the Križna Nappe, Luboňia valley, Velká Fatra Mts. No. 2737, 20×.
- Fig. 7. Selective dolomitization of the Dasycladacean skeleton. Wetterstein Ls., Ladinian of the Veternik Nappe. Vajarská, Malé Karpaty Mts. No. 2920, 14×.
- Fig. 8. Dolomitic pseudomorphs after the anhydrite crystals in the Middle Triassic limestone. Quarry Polom, Malá Fatra Mts. 17×.



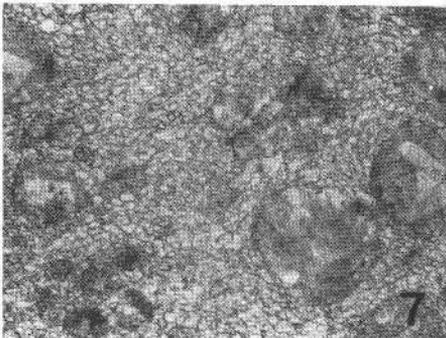
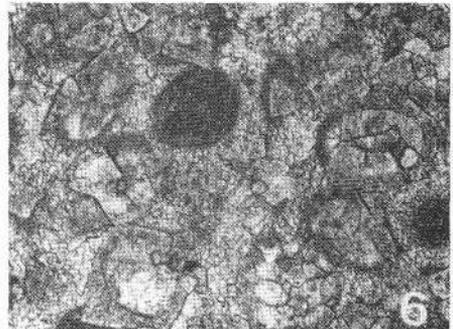
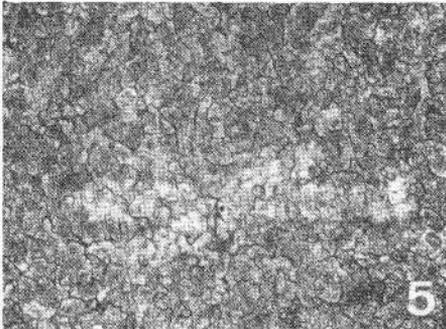
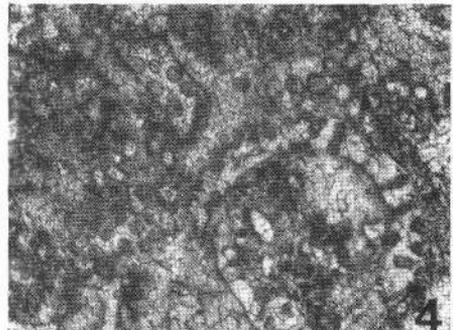
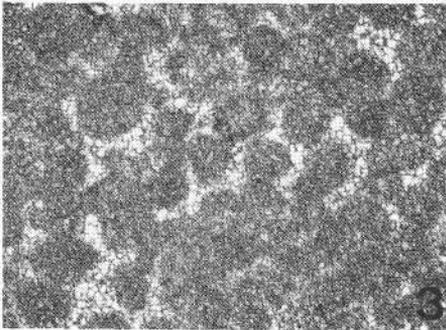
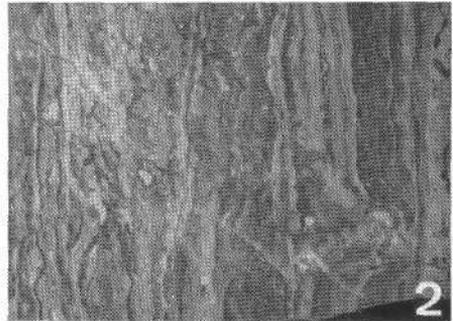
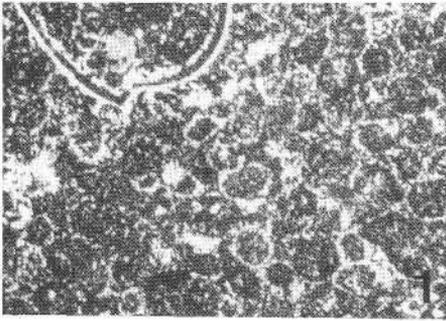
## TAFEL 2

- Fig. 1. Dolomit konzentriert sich in Säumen um Pseudooide und Bruchstücke von Lamelli-branchiaten. Gutensteiner Kalk, Anis der Choč-Decke, Steinbruch bei Moštenica, Niedere Tatra, Nr. 1862, gefärbt, 32×.
- Fig. 2. Stromatolith-Dolomit (Loferit). Žarnovická dolina, Große Fatra. Polierter Anschliff, zwei Drittel nat. Größe.
- Fig. 3. Von der ursprünglichen Struktur unabhängige Dolomit-Struktur. Geröll triassischen Dolomits in paläogenen Konglomeraten. Červená Voda, Ostslowakei, Nr. 1231, 32×.
- Fig. 4. Von der ursprünglichen Struktur unabhängige Dolomit-Struktur. Geröll mitteltriassischen Dolomits aus paläogenen Konglomeraten. Hanigovce, Ostslowakei, Nr. 1338, 10×.
- Fig. 5. Xenotopische Dolomit-Struktur, von der ursprünglichen Struktur unabhängig. Dolomit in dem Anis der Hüllenserie. Velký Kriváň, Kleine Fatra, Nr. 2071, 32×.
- Fig. 6. Dolomitischer Kalk mit selektiver Dolomitisierung der Ooide. Gutensteiner Kalk, Anis der Križna-Decke. Hoblik, Kleine Fatra, 41×.
- Fig. 7. Selektiv dolomitisierte Ooide in dynamometamorphisiertem Kalk. Mittlere Trias der Hüllenserie, Steinbruch bei Dúbravka, Kleine Karpaten, Nr. 2512, 38×.
- Fig. 8. Epigenetische Dolomitisierung, nur die Styolithennähte und Adern im Gutensteiner Kalk verfolgend. Anis der Hüllenserie, Velký Kriváň, Kleine Fatra. Angewitterte Fläche, zwei Drittel nat. Größe.

Alle Aufnahmen aus dem Material des Verfassers wurden von L. OSVALD angefertigt, die Färbung erfolgte mit Alizarin.

## PLATE 2

- Fig. 1. Dolomite is concentrated around the pseudoolites and the pelecypod fragments. Gutenstein Ls., Anisian of the Choč Nappe. Quarry near Moštenica, Nizke Tatry Mts. No. 1862, treated, 32×.
- Fig. 2. Stromatolitic dolomite (loferite). Žarnovica valley, Velká Fatra Mts. Polished section,  $\frac{2}{3}$  nat. size.
- Fig. 3. Dolomitic structure independent on the original one. Pebble of the Triassic dolomite in the Paleogene conglomerates. Čierna Voda, East Slovakia, No. 1231, 32×.
- Fig. 4. Dolomitic structure independent on the original one. Pebble of the Middle Triassic dolomite in the Paleogene conglomerates. Hanigovce, East Slovakia, No. 1338, 10×.
- Fig. 5. Independent xenotopic structure of the dolomite. Anisian of the Envelope Series, V. Kriváň, Malá Fatra Mts. No. 2071, 32×.
- Fig. 6. Dolomitic limestone with the selective dolomitization of oolites. Gutenstein Ls., Anisian of the Križna Nappe. Hoblik, Malá Fatra Mts. 41×.
- Fig. 7. Selectively dolomitized oolites in the dynamometamorphosed limestone. Middle Triassic of the Envelope Series, Quarry near Dúbravka, Malé Karpaty Mts. No. 2512, 38×.
- Fig. 8. Epigenetic dolomite is filling only stylolitic seams and veinlets. Gutenstein Ls., Anisian of the Envelope Series, V. Kriváň, Malá Fatra Mts. Weathered surface,  $\frac{2}{3}$  nat. size.
- All pictures from the authors collection were taken by L. OSVALD, and treated with alizarin.



rhombohedrons are overfilled with inclusions. Sparite s.l. (othosparite, pseudosparite, orgsparite=coarse-grained skeletal fragments) regularly contains larger dolomite grains, relatively clear.

Two types may be observed concerning the relation to the original features (allochems, orthomicrite, orthosparite, early diagenetic minerals):

1. Structure dependent on the original one. The selective dolomitization must be mentioned here mainly (selective replacement of pellets — pl. I, fig. 6; of organic fragments — pl. I, fig. 7; pseudomorphs after the gypsum or anhydrite crystals — pl. I, fig. 8; selective dolomitization of the interstitial matter — e. g. dolomites with voids reproducing the shape of Dasycladaceae). The penecontemporaneous dolomites preserving perfectly the original structure (e. g. loferites — pl. II, fig. 2) are also to be ranged here.

2. Structure independent on the original one. The dolomite aggregate does not respect the outlines of allochems and replaced minerals. Their "ghosts" are visible in the dolomite mosaic due to the presence (p. II, fig. 3) or absence (pl. II, fig. 4; pl. II, fig. 5) of the pigment. Independent structure may originate in: a) recrystallization, b) frontal dolomitization, c) advancement from the dispersed centres by "impingement", d) selective dolomitization of allochems overcame their "superficial barrier" (pl. II, fig. 6).

The dolomitization caused by capillary concentration as well as by seepage reflux requires a constant stream of solutions. The direction of this stream might be reconstructed in the partly dolomitized rocks, if for instance the oolites are attacked by dolomite predominantly from one side (pl. II, fig. 7; fig. 6), or in biomicrite from the lack of dolomite rhombohedrons behind the pelecypod shells (protection analogous to the "umbrella effect").

In conclusion the observations concerning the time relations of the dolomitization to various sedimentary, diagenetic and metamorphic events are considered.

## Einführung

R. G. C. BATHURST, 1967 spricht von der Diagenese als dem „Erzdieb der Belege über das Sedimentationsmilieu“. Er weist darauf hin, daß „It is enormously more difficult to discover valid criteria which will work for that decomposed, distorted, disguised and largely disinherited relic that we call limestone“. Dies bezieht sich hauptsächlich auf zwei Komponenten der Diagenese: die Rekrystallisierung (Neomorphismus) und die Dolomitisierung, und gilt vor allem für geosynklinale Gebiete wie z. B. die Trias der Alpen und Karpaten, wo die Intensität der Diagenese besonders stark zu sein pflegt. Dieser pessimistische Eindruck muß allerdings überwunden werden und systematisch verfolgt werden, wann und welche Merkmale des Sedimentes verwischt, welche bestehen geblieben sind, beziehungsweise auch hervorgehoben wurden, und in welchen fortschreitenden Stadien dies geschieht. Die aus diesen Untersuchungen gewonnenen Erfahrungen wenden wir selbstverständlich zu der Interpretation der ursprünglichen Merkmale jener Gesteine an, die wir vorher für diesen Zweck als hoffnungslos angesehen hatten.

Bei unseren Untersuchungen werden wir uns zuerst mit der Frage der Beziehung zwischen der Gestalt und Orientierung der ursprünglichen Kalzitkristalle zu dem Dolomit durch welchen sie ersetzt werden, weiter mit der Beziehung der Dolomitierung zu der Körnigkeit der einzelnen ursprünglichen Komponenten, der Beziehung der Dolomitierung zu den ursprünglichen Strukturelementen und dem verschiedenen Vorgang der Dolomitierung befassen. Im Abschluß fassen wir die Angaben über die relative Chronologie der Dolomitierungserscheinungen mit Hinsicht auf andere Vorgänge zusammen und verallgemeinern die bisher festgestellten Beziehungen zwischen der ursprünglichen Struktur des kalkigen Sedimentes (bzw. Kalkes) und der Struktur des dolomitischen Gesteins.

### Die optische Orientierung der Dolomitkristalle mit Hinsicht auf das Substrat

1. **Homoaxiale Verdrängung.** So bezeichnen wir jene Fälle, bei denen ein Dolomitkristall einen Kalzitkristall verdrängt und dessen optische Orientierung ererbt. Nach R. C. MURRAY, 1964 pflegen auf diese Weise Monokristalle von Crinoidengliedern bzw. auch orientierte Zement-Aggregate verdrängt zu werden („acicular patterns“, seine Abb. Nr. 6). Die optisch identische Ersetzung der Kalzit-Monokristalle von Crinoidengliedern durch Dolomit nennt F. J. LUCIA, 1962 „pseudomorphic replacement“. B. J. BLUCK, 1965 nimmt an, daß auch große Kalzit-Kristalle aus der Drusenfüllung von Hohlräumen durch gleich große Dolomit-Kristalle ersetzt werden. Im ganzen werden die Möglichkeiten der homoaxialen Verdrängung bisher selten diskutiert, obwohl sie für die Erhaltung und Rekonstruktion der ursprünglichen Merkmale des Sedimentes einen idealen Fall darstellen. In den dolomitischen Kalken des Mesozoikums der Westkarpaten kommt häufig eine teilweise homoaxiale Verdrängung von Echinodermengliedern, manchmal auch von syntaxialen, ursprünglich Kalzit-Säumen vor. Auch die homoaxiale Verdrängung des radiaxialen Drusenmosaiks (auch als „Krustifikationszement“, „reef tufa“, „Evinospongia“ bezeichnet) kann mit Sicherheit nachgewiesen werden (Taf. I, Fig. 1). Es ist leicht verständlich, daß die homoaxiale Verdrängung für grobkörnigere Aggregate gut nachweisbar ist. Für feinen Schlamm kann sie bisher nicht nachgewiesen werden, obwohl ihr Vorhandensein in Schlamm-Dolomiten und in Dolomiten mit einem detaillierten Kopieren des feinen Aufbaues sehr wahrscheinlich ist. Vollständigkeitshalber muß bemerkt werden, daß auch der umgekehrte Vorgang — die homoaxiale Verdrängung von Dolomit durch Kalzit bei der Dedolomitierung, der Kalzitisierung von Dolomit (Taf. I, Fig. 2) häufig ist, doch werden wir uns mit diesen Prozessen hier nicht befassen.

2. **Syntaxiales Anwachsen** — so können wir das optisch identische Anwachsen von Dolomit auf ein älteres Dolomitkorn (also nach einer zeitweiligen, gewöhnlich lang andauernden Unterbrechung seines Wachstums) nennen.

a) **Syntaxiales Anwachsen der Dolomite auf Kosten des Schlamm-Kalzits.** Diese Art ist z. B. in dem Fall der sogenannten zweiphasigen Dolomitierung ersichtlich (Taf. I, Fig. 3). In der ersten Phase wuchsen in dem Schlammkalk klare Dolomit-Rhomboeder an, welche die Kraft besaßen, Unreinheiten auszu-

drängen. In der zweiten Phase wuchs der Dolomit syntaxial auf diese Kerne an, doch unterscheidet er sich von ihnen durch häufige Einschlüsse; das Ergebnis der kompletten Dolomitisierung ist ein grobkörniges Mosaik. Zwischen der ersten und zweiten Phase der Dolomitisierung muß hier keine bedeutende zeitliche Unterbrechung stattgefunden haben, doch zeigt sich eine ausgeprägte Änderung der physikalisch-chemischen Bedingungen.

b) Syntaxiales Anwachsen größerer Dolomitkörner auf Kosten winziger Dolomitkörner. Es handelt sich um eine progressive Rekrystallisierung des Dolomitgesteins („aggrading neomorphism“ R. L. FOLK, 1965); die Auflösung winziger Dolomit-Kristalle und das optisch identische Anwachsen zu großen Dolomitkörnern ist der „Sammelkristallisation“ der Kalke analog.

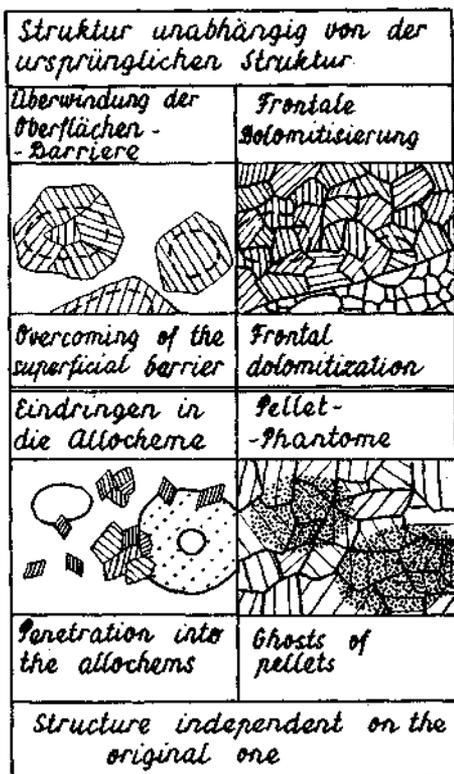
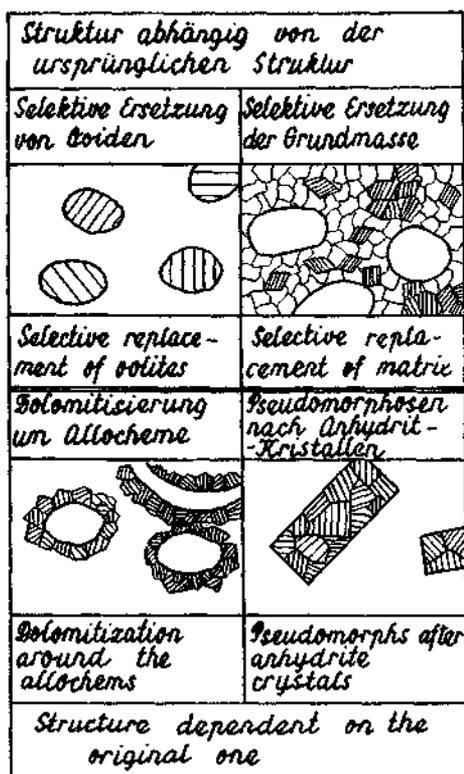
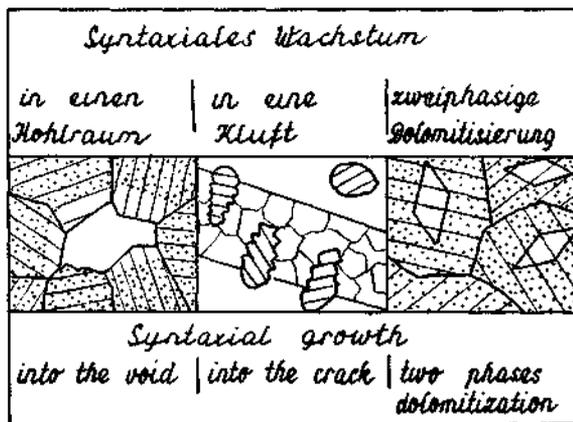
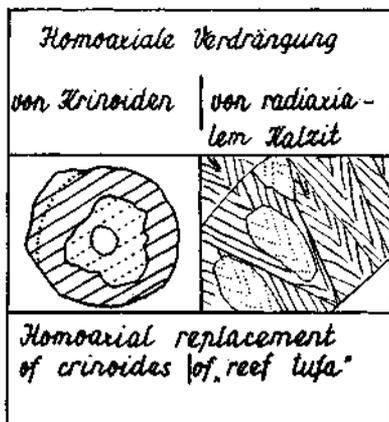
c) Syntaxiales Anwachsen in leere Räume (Hohlräume, Poren, Klüfte). R. C. MURRAY, 1964 weist darauf hin, daß von dem Dolomit-Aggregat immer die Verdrängung der Kalk-Masse vor einer Ausfüllung von Hohlräumen bevorzugt wird. Nach Erschöpfung des Kalzit-Substrates kommt es allerdings auch zu der Ausfüllung von Hohlräumen („void filling“). In den mitteltriassischen Dolomiten und dem Hauptdolomit der Westkarpaten ist die teilweise Ausfüllung von Hohlräumen durch syntaxiales Anwachsen häufig. In den Hohlraum (Pore) ragen klare, idiomorphe Rhomboeder-Enden, die in optischer Identität auf die pigmentierten Körner des Dolomit-Mosaiks aus dem Saum der Pore ansetzen (Abb. 1). Auch in sekundären Gängen machten sich Dolomitkörner aus den Wänden der Kluft als Diktatoren der optischen Orientierung des Dolomits in der Gangfüllung geltend; dies ist besonders in kalzitisch-dolomitischen Adern aus dolomitischen Kalken sichtbar (Taf. I, Fig. 4). Derartig die optische Orientierung diktieren können Dolomit-Kristalle sogar der Kalzit-Füllung der Gänge (Taf. I, Fig. 5). Dieser Fall repräsentiert natürlich bereits ein epitaxiales Anwachsen.

3. Heteroaxiale Verdrängung — so können wir die häufigsten Fälle nennen, in denen Dolomit Kalzit ohne Rücksicht auf die optische Orientierung und Begrenzung der ursprünglichen Körner verdrängt.

#### **Die Abhängigkeit der Dolomitisierung von der Körnigkeit der einzelnen Komponenten des Sedimentes (Gesteins)**

Die Bildung von Dolomit-Kristallen, ihre Größe, Gestalt, ihre Aggregate inmitten der Kalzit-Masse, sind am stärksten von der Körnigkeit des verdrängten Materials abhängig. Auf die Dolomitisierung reagieren grobkörniger und mikrokörniger Kalzit unterschiedlich, und zwar in der Regel ohne Rücksicht auf die Genese. Wir können sie also mit nichtgenetischen, deskriptiven Termini bezeichnen: Mikrit s. l. und Sparit s. l. Diese Begriffe umfassen folgendes:

Mikrit s. l. schließt alle mikrokörnige Aggregate, also Mikrit s. s. (Orthomikrit=Automikrit und Allomikrit), Mikrosparit, Orgmikrit (diesen Terminus schlage ich für mikrokörnigen Kalzit von Organismenskeletten, z. B. agglutinierte Gehäuse von Foraminiferen vor), mikrokörniges Aggregat von Pellets und Interklasten und Pseudomikrit (entstehend aus Sparit s. l. durch Degradationsrekrystallisierung, Degradationsneomorphismus) ein.



*Kalzit*  
*Calcite*

*Dolomit (mit optischer Orient.)*  
*Dolomite (optical orientation)*

*Kalzit (mit optischer Orient.)*  
*Calcite (optical orientation)*

*Dolomit mit Einschlüssen*  
*Cloudy dolomite*

Abb. 1. Strukturelle Beziehungen in den dolomitischen Gesteinen.  
Structural relations in the dolomitic rocks.

Sparit s. l. umfaßt grobkörnige Aggregate über  $30\mu$  ohne Rücksicht auf die Genese, also Sparit s. s. (Orthosparit, Zement-Kalzit) Orgsparit (diesen Terminus schlage ich für Skelett-Bruchstücke aus grobkörnigen Aggregaten vor, z. B. prismatische Schicht bei Lamellibranchiern, Monokristalle bei Echinodermengliedern) und Pseudosparit (entstehend aus Mikrit s. s. durch progressive Rekristallisierung — Aggradationsneomorphismus).

Anmerkung: Die Erläuterung der übrigen hier verwendeten Termini sind bei R. L. FOLK, 1965, und G. V. CHILINGAR, H. J. BISSEL, K. H. WOLF, 1968, zu finden.

In Kalzit-Mikrit s. l. finden wir in der Regel kleinere und zahlreichere Körner (Rhomboder) von Dolomit, da das Substrat eine Fülle von Nukleationszentren darbot; die Körner pflegen, von Einschlüssen überfüllt, stark verunreinigt zu sein. In Kalzit-Sparit s. l. treffen wir in der Regel größere Körner (Rhomboder) von Dolomit an, wahrscheinlich als Folge einer geringeren Anzahl von Nukleationszentren; die Körner pflegen infolge eines homogenen Substrates klarer zu sein, oft weisen sie eine skelettige, gegebenenfalls bis zu poikilotopische Entwicklung auf. Z. B. in den Wettersteinkalken der Kleinen Karpaten können deutlich zwei Assoziationen von Dolomit-Kristallen unterscheiden werden: a) winzige Rhomboderchen  $0,07-0,15$  mm in dem Mikrit von Interklasten und dem Pseudomikrit der granulierten Dasycladaceen, b) große Rhomboder-Körner  $0,5-1,2$  mm, welche auf Kosten des radiaxialen Drusenmosaiks und der grobkörnigen Ausfüllung von Dasycladaceen entstehen. Die übereinstimmende Verdrängung von Ortho- und Pseudomikrit weist auf den „nichtgenetischen Zutritt“ dieser spät-diagenetischen Dolomitisierung hin.

### **Beziehungen der Dolomitisierung zu den ursprünglichen Merkmalen (Allocheme, Orthomikrit, Orthosparit, frühdiagenetische Minerale)**

In Beziehung zu den ursprünglichen Merkmalen schlage ich die Unterscheidung einer von den ursprünglichen Strukturmerkmalen abhängigen und einer von diesen unabhängigen Dolomitisierung vor.

1. Die **abhängige** Struktur stellt in der Regel eine selektive Dolomitisierung dar, welche die ursprüngliche Struktur, die Anordnung der Allocheme, Konturen der Fossilien u. dgl. respektiert, nachahmt, gegebenenfalls auch hervorhebt. In einem gewissen Bereich kann sie sich mit der unklar definierten „Belteroporen“-Dolomitisierung B. SANDERS, 1936 decken; nach ihm entstehen die „Belteroporen“-Merkmale durch „Ausnützung der Wegsamkeit“.

Ausgezeichnete Beispiele der abhängigen Dolomitisierung finden wir in den teilweise dolomitierten Gutensteiner Kalken (Taf. I, Fig. 6) in Pelmikriten und Oomikriten, wo der Dolomit nur Pellets (resp. Ooide) verdrängt und deren Umrisse genau einhält. Das Gestein enthält auffällig runde Dolomitmikriner, oft zu einem optischen Individuum gehörend. In dolomitierten Kalken ist die Pellet-Struktur durch diesen Umstand manchmal viel ausdrucksvoller als in den nicht-dolomitierten Partien, wo die Pellets fast in der mikritischen Grundmasse verschwinden. In Wettersteinkalken befinden sich manchmal selektiv dolomitierte Bruchstücke von Dasycladaceen (Taf. I, Fig. 7). In diese Kategorie können

wir wohl auch Dolomit-Pseudomorphosen nach Gips- und Anhydrit-Kristallen in Gutensteiner Kalken reihen (Taf. I, Fig. 8).

Eine selektive Dolomitisierung der schlammigen Grundmasse (Orthomikrit) finden wir noch häufiger vor als die selektive Dolomitisierung von Allochemen. Auch aus den rezenten Dolomit-Rinden der Insel Bonaire führt F. J. LUCIA, 1968 an, daß die Schlamm-Matrix zuerst dolomitiert wird und erst dann Pellets und erst am Ende Skelett-Bruchstücke dolomitiert werden. Falls die Dolomitisierung nur die Interstitialmasse selektiv betroffen hat und die Kalzit-(Aragonit-) Skelette der Dasycladaceen umging, kam es oft zu einer nachträglichen Auslaugung der letztgenannten. Dolomite aus der mittleren Trias der Westkarpaten mit vollkommen erhaltenen Dasycladaceen-Negativen sowie von R. C. MURRAY aus den USA beschriebene Dolomite mit Negativen von Crinoidengliedern (1964, Fig. 4) gehören auch zu den Fällen einer abhängigen Dolomitisierung.

Als abhängige Dolomitisierung können wir auch jene Fälle ansehen, wenn die Dolomitisierung zwar die Allocheme nicht betrifft, um diese jedoch Säume bildet (Taf. II, Fig. 1).

Vollkommene Fälle der abhängigen Dolomitisierung bilden einige penekontemporane Dolomite mit einer Schlamm-Struktur und einer detaillierten Nachahmung der feinsten Merkmale des Sedimentes; hiebei können wir natürlich nicht von einer selektiven Verdrängung irgendeiner Komponente reden. Aus dem fossilen Material bietet sich uns jedoch keine Möglichkeit ihre Entstehung zu beleuchten; nähere Informationen kann nur das Studium rezenter Dolomit-Rinden bieten.

Als Beispiel solcher Dolomite mit einer detailliert erhaltenen Struktur des ursprünglichen Sedimentes können die, ursprünglich von A. G. FISCHER, 1964 aus den Ostalpen beschriebenen „Loferite“ angesehen werden; sie kommen auch in der Mitteltrias der Westkarpaten vor (Taf. II, Fig. 2). Es handelt sich um Dolomite aus ebenen Algen-Stromatolithen mit typischen „shrinkage pores“. Sie sind ungewöhnlich feinkörnig (0,3—3,5  $\mu$ ). Die Anwesenheit dieser Strukturen, zahlreiche Dolomit-Interklaste, Pseudomorphosen nach Kristallen und Konkretionen von Gips und Anhydrit sowie ein Palygorskit-Gemengteil zeigen, daß ein bedeutender Teil der Dolomite der mittleren Trias der Westkarpaten in einem hypersalinen Milieu, in supralitoral und litoral Verhältnissen ausgehnter Flachseegebiete, analog den Vorkommen rezenter Dolomit-Krusten in dem karibischen Gebiet und dem Persischen Golf, entstanden ist. Die Fossilarmut in Dolomiten pflegt in solchen Fällen nicht durch ihre Vernichtung während der Dolomitisierung bewirkt zu sein, sondern ist durch ihr primäres Fehlen bedingt (vgl. auch R. C. MURRAY, 1964, S. 396).

2. Die von der ursprünglichen u n a b h ä n g i g e Struktur umfaßt jene Fälle, in denen die Dolomitmörner und -Aggregate von der ursprünglichen Struktur unabhängig gebildet sind, und die Umrisse der Allocheme und der ersetzten Minerale nicht berücksichtigt werden. Den häufigsten Fall repräsentiert das Dolomit-Mosaik, in welchem die Allocheme dank ihrem Pigment nur in der Gestalt von Phantomen („phantoms, ghosts“) erhalten sind; die Konturen des Pellets, Pseudoids, organischen Resten u. ä. verlaufen durch die Mitte der einzelnen

Dolomitmörner des Mosaiks (Taf. II, Fig. 3, 4) Es existieren auch entgegengesetzte Fälle, wenn das ursprüngliche Strukturelement dank seiner Pigmentarmut zum Unterschied von der pigmentierten umgebenden Masse als Phantom zu sehen ist, z. B. Phantome nach Verwachsungen von Gips- bzw. Anhydrit-Kristallen in Dolomit (Taf. II, Fig. 5).

Eine derartige unabhängige Struktur konnte auf folgende Weisen entstehen:

a) Durch Rekrystallisierung (Aggradations-Neomorphismus) des Dolomitgesteins.

b) Durch frontales Fortschreiten der Dolomitisierung in dem Kalk-Substrat.

c) Durch ein Fortschreiten der Dolomitisierung aus zerstreuten Zentren, und zwar in Fällen, wenn die „Barriere“ an dem Kontakt der Allocheme mit der Interstitialmasse nicht zur Geltung kam (z. B. Eindringen von Dolomit-Rhomboedern mit ihren Spitzen in Skelett-Bruchstücke — „impingement“).

d) Durch das Überwinden der „Oberflächen-Barriere“ bei der selektiven Dolomitisierung von Allochemen, z. B. Ooiden (Taf. II, Fig. 6) bzw. Pellets. Dieser letzte Fall besitzt einen gewissen Übergangscharakter — es handelt sich um eine unabhängige Dolomitisierung mit selektivem Ansatz.

### Der Dolomitisierungsvorgang und die Möglichkeiten der Feststellung der Strömungsrichtung der Dolomitisierungslösungen

Durch den Vergleich verschiedener Stadien der Dolomitisierung aus Dünnschliffen können zwei Vorgänge der Dolomitisierung ausgegliedert werden:

1. **Frontales Fortschreiten.** Das Dolomit-Aggregat bildet eine zusammenhängende Masse, seine Begrenzung gegenüber dem Kalk ist verhältnismäßig scharf, es berücksichtigt keine strukturellen Merkmale, z. B. Allocheme, Feinschichten u. ä.

2. **Fortschreiten aus zerstreuten Zentren mit Hilfe von „Stoßtrupps“.** Der Dolomit bildet sich inmitten der Kalke in verstreuten Zentren, in Inselchen, die sich verbreitern und allmählich miteinander verschmelzen. Dieser Vorgang scheint der weitaus verbreitetere zu sein.

Wie schon erwähnt wurde, können wir aus dem Studium von Dünnschliffen fossiler Gesteine den Vorgang der detaillierten Nachbildung der ursprünglichen Merkmale des Sedimentes bei einigen penekontemporanen Dolomiten nicht erklären.

Praktisch wird in allen Fällen der penekontemporanen frühdiagenetischen und epigenetischen Dolomitisierung eine Strömung der Dolomit-führenden Lösungen („hypersaline brines“) angenommen. Die Entstehung rezenter Dolomit-Rinden wird zumeist der kapillaren Konzentration „capillary concentration“ (Näheres siehe G. M. FRIEDMANN & J. E. SANDERS, 1967), resp. „evaporative pumping“ (K. J. HSÜ & C. SIEGENTHALER, 1969) zugeschrieben. Sedimente des Grundes der Lagune und ihrer Barriere werden nach überwiegender Meinung durch den „seepage reflux“-Prozeß dolomitiert (J. E. ADAMS & M. L. RHODES, 1960). Die

an tektonische Linien gebundene epigenetische Dolomitierung geschieht durch das Strömen von Lösungen entlang der Bruchflächen bzw. durch „Einsickern“ in ihre Umgebung. Beachten wir, daß alle diese Vorstellungen ziemlich genau die angenommene Strömungsrichtung definieren. Ist es möglich, aus dem Studium fossiler dolomitischer Gesteine die Strömungsrichtung der Dolomit-führenden Lösungen zu rekonstruieren? Zu der Dolomitierung sind sehr große Mengen von Lösungen notwendig (vgl. z. B. K. J. HSÜ & C. SIEGENTHALER, 1969), wobei die Richtung ihrer Strömung als ziemlich konstant angenommen werden kann. In teilweise dolomitisierten Gesteinen könnte sich dies z. B. als bevorzugtes attackieren der Allocheme aus der Strömungsrichtung äußern.

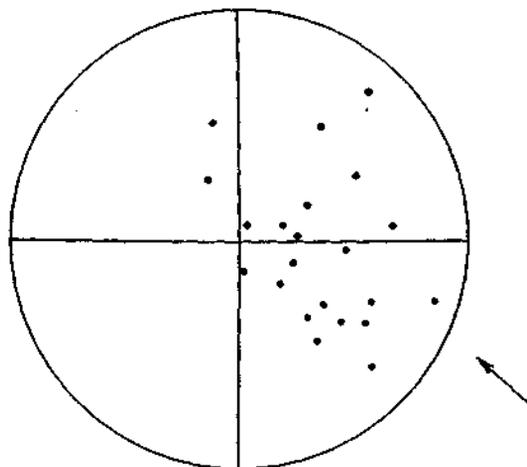


Abb. 2. Lage der Wachstumszentren der Dolomickörner in den verdrängten Ooiden (Dünnschliff Nr. 2512, vgl. Taf. II, Fig. 7). Der Pfeil zeigt die wahrscheinliche Strömungsrichtung der Dolomitierungslösungen.

Position of the growth centres of the dolomite grains with regard to the centre of replaced oolites (thin section No. 2512, compare pl. II, fig. 7). The arrow indicate the probable stream direction of dolomite-bearing solutions.

Zu einer Prüfung dieser Voraussetzung könnte z. B. der oolithische Kalk mit selektiv dolomitisierten Ooiden aus der mittleren Trias der Hüllenserie der Kleinen Karpaten dienen. Die Verdrängung der Ooide verlief in zwei Phasen. in der ersten Phase begann in dem Ooid ein klarer Rhomboeder zu wachsen, in der zweiten Phase wuchs in optischer Übereinstimmung der stärker pigmentierte Dolomit bis zu der Verdrängung des gesamten Ooids an (Taf. II, Fig. 7). Leider ist geeignetes Material bisher nur in Proben aus Schutt gefunden worden, doch ist auch in diesen Dünnschliffen das Vorherrschen einer bestimmten Richtung der Zufuhr sichtbar (Abb. 2). Ich nehme an, daß nach einer Auswertung in orientierten Dünnschliffen die Richtungen der anfänglichen Attackierung der Ooide ein statistisch bedeutendes Maximum aufweisen werden, welches der Richtung entspräche aus der die Lösungen strömten. Besonders aussichtsreich könnte zu diesen Zwecken der Modell-Beweis sein, bei welchem Dolomit-Rin-

Tab. 1. Beziehungen zwischen der ursprünglichen Struktur des Kalkes (bzw. kalkigen Sedimentes) und der Struktur des Dolomits (bzw. der Verteilung des Dolomits in dolomitischem Kalk)

Dolomitische Kalke		Dolomite
Struktur abhängig von der ursprünglichen	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selektive Verdrängung der Allocheme (z. B. Ooide, Dasycladaceen)</li> <li>2. Selektive Verdrängung der Schlamm-Matrix               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) aus unregelmäßig verteilten Zentren</li> <li>b) bevorzugt in Säumen um Allocheme</li> </ol> </li> <li>3. Selektive Verdrängung des Zement-Kalzits</li> <li>4. Selektive Auslaugung von Kristallen und Knollen von Gips-Anhydrit und Ausfüllung des Hohlraumes durch eine Dolomit-Druse</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Detaillierte Nachahmung des Feinbaues (Schlammdolomite) homoaxiale Verdrängung von Crinoidengliedern, womöglich auch von Zement-Kalzit</li> <li>2. Die Körnigkeit berücksichtigt die Konturen der ursprünglichen Allocheme (Körnigkeit in Interklasten verschieden von der Körnigkeit der Grundmasse, Pellet-Phantom immer innerhalb eines Kornes)</li> <li>3. Selektive Auslaugung der Allocheme in die Form von Hohlräumen (z. B. Hohlräume in der Gestalt von Dasycladaceen)</li> </ol>
Struktur unabhängig von der ursprünglichen	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Die Dolomitisierung wurde zwar selektiv in den Allochemen (z. B. Ooiden) angelegt, die Kristalle überwand die Barriere und wuchsen weiter in die Interstitialmasse</li> <li>6. Die Dolomitisierung schreitet aus wahllos angeordneten Zentren fort, die Rhomboeder dringen aus der Grundmasse in die Allocheme ein („impingement“)</li> <li>7. Frontal vordringende Dolomitisierung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Phantome von Allochemen (mit mehr oder mit weniger Pigment als die Interstitialmasse) unabhängig von dem Dolomitmosaik. Ihre Konturen verlaufen inmitten der Dolomitköner. Entstehungsmöglichkeit: durch Vollendung der Dolomitisierung aus verstreuten Zentren, durch frontale Dolomitisierung oder durch Rekristallisierung des Dolomits</li> </ol>

den durch Kapillarwirkung entstehen. Das vertikale Aufsteigen sollte sich bei der Auswertung von senkrecht zu der Schichtigkeit orientierten Dünnschliffen äußern. Für die „seepage refluxion“ kann eine bevorzugte Orientierung in der subhorizontalen Ebene erwartet werden, die vorwiegende Richtung müßte sich durch ein Maximum bei der Auswertung von orientierten Dünnschliffen, die parallel zu der Schichtigkeit angefertigt wurden, äußern.

Die Strömungsrichtung der Lösungen könnte sich zum Beispiel auch durch das Fehlen von Dolomit-Rhomboedern in Partien die durch Hindernisse beschattet wurden, äußern. Als solche Hindernisse erscheinen z. B. in Reiflinger Kalken „Fasern“ — juvenile Lamellibranchier-Schalen, hinter denen manchmal Partien von ungestörtem Kalzit-Schlamm zu beobachten sind, während die umgebende Masse dicht von Dolomit-Rhomboedern besät ist. Wenn diese Interpretation richtig ist, würde es sich um eine gewisse Analogie des „umbrella effect“ handeln. Vielleicht könnte auch in Mosaiken von Dolomit-Kristallen die z. B. Hohlräume nach ausgelaugten Dasycladaceen ausfüllten, eine statistisch bedeutende, durch das raschere Anwachsen des Mosaiks aus der Richtung der Zufuhr der Lösungen bedingte Asymmetrie gefunden werden.

### **Relative Chronologie der Dolomitierungserscheinungen nach dem Studium der Strukturen**

1. Dolomitisierung gleich nach dem Absatz (penekontemporane Dolomitisierung): detaillierte Nachahmung des Feinbaues bei der Dolomitisierung (als Beispiel kann Loferit dienen — Taf. II, Fig. 2).

2. Dolomitisierung vor der Zerstörung der Dolomit-Rinden durch Wellen: Dolomit-Interklaste („flat — pebble conglomerate“) in Kalkmilieu. Gradationsschichtung im Dolomit.

3. Dolomitisierung sofort nach der Auslaugung von Gips- und Anhydrit-Kristallen und Konkretionen: Dolomit-Pseudomorphosen nach Kristallen und Konkretionen von Gips und Anhydrit (Taf. II, Fig. 4).

4. Dolomitisierung nach der Bildung eines Krustifikations-(fibrösen)-Zements: Dolomitmörner, gebildet auf Kosten des Krustifikations-Zements, gegebenenfalls auch mit homoaxialer Verdrängung (Taf. I, Fig. 1).

5. Dolomitisierung vor einer Silifizierung: Überreste von Mikro-Organismen in Hornstein-Konkretionen in Dolomiten; im Dolomit blieben die Mikro-Organismen und relikte Strukturen nicht mehr erhalten (z. B. Hornstein-Dolomite im Liegenden der Lunzer Schichten des Choč-Prosečno-Gebirges).

6. Dolomitisierung nach der Stylolithisierung — epigenetisch: Dolomit verfolgt die Stylolithen (Taf. II, Fig. 8) oder Mikro-Stylolithen.

7. Dolomitisierung nach dem Zerklüften der Gesteine: Klüfte mit Dolomit gefüllt, Dolomitadern in Kalken.

8. Dolomitisierung nach progressiver Rekristallisierung: skelettartige Dolomit-Rhomboeder mit poikilitischen Einschlüssen des Kalzits annähernd in der Größe der Kristalle des rekristallisierten Mosaiks.

9. Dolomitisierung nach regressiver Rekristallisierung: selektive Bildung von Dolomit-Rhomboederchen auf Kosten des Pseudomikrits (z. B. granulierter Partien von Dasycladaceen).

10. Dolomitisierung vor der Dynamometamorphose: Kalzit-Aggregat mit in der Schieferungsebene gedehnten Körnern umfließt rigidere Dolomit-Aggregate (Taf. II, Fig. 7), Dolomit-Interklaste sind oft senkrecht auf die Verschiebungsebene zerklüftet.

11. Dolomitisierung nach der Dynamometamorphose: mit Dolomit ausgefüllte Klüfte durchdringen unter einem bestimmten Winkel die Ebene der dynamometamorphen Verschiebung.

12. Hypergene Dolomitisierung: Anreicherung der peripheren Teile von Kavernen (Höhlungen) durch Dolomit. Anwesenheit von Dolomit in Speleothemen (z. B. J. THRAIKILL, 1968). In hypergenen Verhältnissen ist allerdings die Rekalzifizierung (Dedolomitisierung, Taf. I, Fig. 2) ein weitaus häufigerer Fall.

Gewisse Merkmale, wie die selektive Verdrängung von Allochemen, können sowohl bei der penekontemporanen wie auch bei der epigenetischen Dolomitisierung vorkommen. Die Zeitspanne zwischen der Einführung des Dolomits in das Sediment (Gestein) und der Ausbildung seiner jüngsten Strukturelemente kann sehr groß sein. Z. B. in Gesteinen aus der Kleinen Fatra, in denen Feinschichten von Dolomit und Kalk wechseln, die wir als einen Fall der penekontemporanen Dolomitisierung ansehen können, kommt auch eine epigenetische Umgruppierung des Dolomits in vertikale Adern und Stylolithen vor.

#### Literatur

- ADAMS, J. E., & RHODES, M. L., 1960: Dolomitization by seepage refluxion. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 44, p. 1912—1920.
- BATHURST, R. G. C., 1967: Depth indicators in sedimentary carbonates. — *Marine geology*, 5, 5—6, p. 447—471.
- BLUCK, B. J., 1965: Sedimentation of Middle Devonian carbonates, southeastern Indiana. — *Journ. Sedim. Petrology*, 35, 3, p. 656—682.
- CHILINGAR, G. V., BISSEL, H. J., & WOLF, K. H., 1967: Diagenesis of carbonate rocks. In: G. LARSEN & G. V. CHILINGAR: *Diagenesis in sediments*. — Elsevier, Amsterdam, p. 179—322.
- FOLK, R. L., 1965: Some aspects of recrystallization in ancient limestones. In: L. C. PRAY & R. C. MURRAY: *Dolomitization and limestone diagenesis*. — *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. No. 13*, p. 14—48.
- FRIEDMAN, G. M., & SANDERS, J. E., 1967: Origin and occurrence of dolostones. In: G. V. CHILINGAR, H. J. BISSEL, & R. W. FAIRBRIDGE: *Carbonate rocks I*. — Elsevier, Amsterdam, p. 267—348.
- HSÜ, K. J., & SIEGENTHALER, C., 1969: Preliminary experiments on hydrodynamic movement induced by evaporation and their bearing on the dolomite problem. — *Sedimentology*, 12, 1—2, p. 11—26.
- LUCIA, F. J., 1962: Diagenesis of a crinoidal sediment. — *Journ. Sedim. Petrology*, 32, p. 848—865.
- LUCIA, F. J., 1968: Recent sediments and diagenesis of South Bonaire, Netherlands Antilles. — *Journ. Sedim. Petrology*, 38, 3, p. 845—858.
- MURRAY, R. C., 1964: Preservation of primary structures and fabrics in dolomite. In: J. IMBRIE & N. D. NEWELL: *Approaches to paleoecology*. — Wiley, New York, p. 388—403.
- MURRAY, R. C., & LUCIA, F. J., 1967: Cause and control of dolomite distribution by rock selectivity. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 78, 1, p. 21—35.
- SANDER, B., 1936: Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge. Rhythmische Kalke und Dolomite aus der Trias. — *Miner. Petr. Mitt.*, 48, p. 27—209.
- THRAIKILL, J., 1968: Dolomite cave deposits from Carlsbad Caverns. — *Journ. Sedim. Petrology*, 38, 1, p. 141—145.