

- 1940 Das Erdgas bei Hamburg und sein in 1937 entdecktes Ölfeld. (Dänisch.) Bericht über geologische Kurse mit Exkursionen in Fredericia, Ringsted, Haderslev, Gram, Faaborg. (Dänisch.) Folk. Univ. Nr. 42.
Die magnetische Vermessung von Sjælland. Wie man zur Zeit Öl aufspürt. (Dänisch.)
- 1942 Geologie als Freizeitbeschäftigung. (Dänisch.)
Rögle Kliff, ein natürlicher Schnitt durch einen eozänen Horst und sein quartäres Vorland. (Dänisch.) Naturens Verden.
Die Strandwälle bei Hornbæk und ihr Alter. (Dänisch.)
Die Strandwälle auf Hesselø. (Dänisch.) Med. D. G. F. Bd. 10, H. 2.
Der Bau der Erdkruste. (Dänisch.) Naturens Verden.
- 1943 Gerard Jacob De Geer, 2. Oktober 1858 bis 23. Juli 1943. Med. D. G. F. Bd. 10, H. 3.
Die Entwicklung der Geologie in den letzten 50 Jahren. (Dänisch.) Med. D. G. F. Bd. 10, H. 3.
- 1944 Frühere und derzeitige Grundprobleme der Geologie. Naturens Verden.
- 1945 Versuch der Anwendbarkeit des Leucits zur Herstellung von Kunstdünger. (Dänisch.) Med. D. G. F. Bd. 10, H. 5.
Ein bis jetzt übersehener Austerfund von der Litorinazeit im Öresund bei Limhamn. (Dänisch.) Med. D. G. F. Bd. 10, H. 5.
Das Erdgas bei Hamburg und sein Ölfeld. (Dänisch.) Naturens Verden.
Über das Vorkommen der Auster im Öresund während der Steinzeit. (Dänisch.) Naturens Verden.
- 1946 Die tiefsten Bohrungen der Erde. (Dänisch.) Naturens Verden.
Das Ölfeld bei Heide in Holstein. (Dänisch.) Naturens Verden.
In Holland ist Öl gefunden. (Dänisch.) Naturens Verden.

Abkürzungen:

- G. F. F. = Geologiska Föreningens Förhandlingar, Stockholm.
S. G. U. = Sveriges Geologiska Undersökning, Stockholm.
Med. D. G. F. = Meddelelser Dansk Geologisk Forenings, København.
D. G. U. = Danmarks Geologiske Undersøgelse, København.
Folk. Univ. = Folketing Universitetsundervisning, København.

W. Schwarzacher (Innsbruck), Über die sedimentäre Rhythmik des Dachsteinkalkes von Lofer. (Vorläufige Mitteilung.)

Problemstellung und Einleitung.

Die Dachsteinkalke (im besonderen der Loferer Steinberge) zeigen eine ausgeprägte Schichtung. Diese Gliederung wird durch Wechselagerung massiver Kalkbänke mit z. T. feingeschichteten dolomithaltigeren Bereichen bewirkt (Sander, 3). Während die Feinschichtung (mm-Rhythmen) hier eingehend beschrieben wird, sei über die Bankung (Rhythmen der Größenordnung Meter bis Meterzehner) vorläufig nur folgendes gesagt:

Rein morphologisch ist der Stufenbau der Steinberge auffällig. Den ca. 15 bis 20 m mächtigen Stufen entspricht ein sedimentärer Rhythmus, der noch weiter durch eine Gliederung in meist fünf Teilbänke gekennzeichnet ist. Nach den bisherigen Beobachtungen ist die Anzahl der Unterteilungen konstant fünf, nur kann durch ungleiche Anwitterung die eine oder andere der Unterteilungen im Aufschluß nicht gleich sichtbar sein. Folgende Abfolge ist also die Regel: mm-geschichteter Kalkdolomit-Rhythmit, im Terrain meist eine deutliche

Gehängestufe bildend, dann fünf Kalkbänke jeweils durch ein dünnes Kalkdolomit-Rhythmitband unterteilt, dann erneut eine Stufe.

Die Hauptfrage lautet, wie weit gehen alle diese Erscheinungen auf ein exakt periodisches Zeitdiktat zurück. Wie an Hand der mm-Rhythmen gezeigt wird, läßt sich diese Frage mit angebbarer Wahrscheinlichkeit aus der statistischen Bearbeitung von Rhythmenmessungen beantworten. Die weitestgehend mögliche Klärung dieser Frage ist unumgänglich notwendig, bevor sich der Stratigraph wie auch der Geophysiker mit den Problemen der in Sedimenten aufgezeichneten Rhythmen befassen kann. Die nachfolgende Arbeit wurde am Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Innsbruck unter der Leitung von Prof. B. Sander durchgeführt. Neben Felduntersuchungen wurden als petrographische Grundlage 53 Handstücke mit insgesamt 79 Anschliffen und 25 z. T. sehr große Dünnschliffe untersucht. Alle Präparate wurden in sehr dankenswerter Weise vom Präparator des Instituts, Herrn Gruber, angefertigt.

Um eine Weiterbehandlung vieler von Sander (3) angeregter Probleme zu geben, ist die petrographische Beschreibung so kurz als möglich gehalten, und es muß bezüglich mancher Frage auf diese Arbeit verwiesen werden, wie überhaupt, dem vorläufigen Charakter dieser Mitteilung entsprechend, manches unterdrückt werden mußte. Eine ausführlichere sowie auch bezüglich der Großrhythmen abgeschlossene Mitteilung mit detailstratigraphischer Anwendung, wenigstens in kleinen Bereichen, hoffe ich später bringen zu können.

Mein besonderer Dank gilt meinem Lehrer Prof. B. Sander für sein lebendiges Interesse an meiner Arbeit.

I. Allgemeines über Rhythmik von Anlagerungsgefügen.

Um das Verständnis der hier gefaßten Problemstellung zu erleichtern, sollen die bei der Untersuchung primär angelegter rhythmischer Sedimentation auftretenden Fragen allgemein behandelt werden. Der räumlich gegebene geologische Körper wird von seiner genetisch zeitlichen Deutung getrennt betrachtet. Der Zusammenhang des Raum- und Zeitgefüges wurde zuerst von Sander in (3) und (4) behandelt, H. Korn (1) führen allgemeine Überlegungen zu ähnlichem.

a) Raumgefüge.

Wir gehen im Sinne der Gefügekunde von der Beschreibung des Raumgefüges aus. Unser Hauptinteresse ist die Untersuchung der Gesteinsänderung senkrecht s in sedimentären Schichtgesteinen, zunächst nur als räumliche Änderung betrachtet, später genetisch zeitlich.

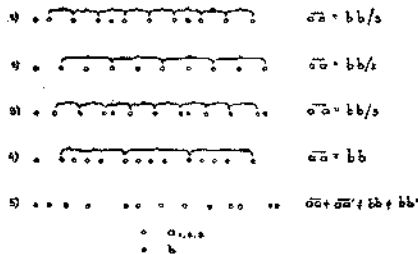
Die Beschreibung irgendeines 1-, 2-, 3-dimensionalen Bereiches kann man sich immer dann wesentlich erleichtern, wenn es gelingt, Teilbereiche ausfindig zu machen, welche durch fortlaufend ausgeführte Deckoperationen den Gesamtbereich beschreiben, oder noch allgemeiner, wenn es gelingt, im Gesamt- oder Teilraum Gleiches in gleichen Abständen aufzufinden. Letzteres ist die allgemeinste De-

inition des Raumrhythmus, der, im Gegensatz zur Symmetrie, keine Deckoperation mehr voraussetzt (z. B. bei rhythmischen konzentrischen Kreisen).

Wir verstehen daher unter raumrhythmischen Sedimenten Gefüge, die sich durch petrographische Kennzeichnung des als gleich bezeichneten (was nicht immer stoffliche Gleichheit bedeuten muß) und durch Angabe des konstant bleibenden Raumabstandes vollkommen beschreiben lassen, wobei wir mit Sander Rhythmik jeder Größenordnung von μ bis Meterzehner als etwas Gemeinsames behandeln.

Es sei besonders darauf hingewiesen, daß wir dem Merkmal konstanter Raumabstand eine größere Bedeutung zulegen als dies sonst im Schrifttum üblich ist, nicht nur weil wir Raumrhythmik messend wirklich erfassen können, sondern auch, weil sie später bei der genetischen Deutung der Gefüge wichtige Hinweise gibt. Ähnlich weist auch Wanless (7) auf die Bedeutung dieser Frage hin, und L. Strauß (5) spricht von einer Notwendigkeit zu untersuchen, wie weit Rhythmik in Sedimenten wirklich vorhanden ist.

Abb. 1 ANORDNUNGEN DER GRUPPE 3 ob



Es liegt in der Natur der Sache, daß, zumal es sich oft um große Bereiche handelt, sich diese nur mehr oder weniger gut durch einen exakten Raumrhythmus darstellen lassen, wir fügen daher zur Angabe eines Raumrhythmus der und der Größenordnung hinzu, wie gut dieser den Gesamtbereich beschreibt. Wir entgehen so der jetzt sinnlosen Frage, wo endet rhythmisches und wo beginnt arrhythmisches Gefüge.

Die anschauliche Darstellung der Raumdaten des Bereiches erfolgt durch eine Häufigkeitsverteilungskurve der Mächtigkeiten, wie dies für die mm-Rhythmen von Lofer gezeigt werden soll.

Der Scheitelwert dieser Kurve gibt uns direkt den Mächtigkeitswert, der als Raumrhythmus den untersuchten Bereich am besten beschreibt. Die diesem Werte zukommende Wahrscheinlichkeit dient als Maß der Beschreibbarkeit.

Weitere petrographisch belegbare Raumgefüge sind Rhythmen von zwei oder mehr Merkmalen in gleicher und ungleicher Phase. Sie sind von besonderem Interesse, da sie im Fall der Schichtung mit Unterteilung häufig verwirklicht sind. Wir machen uns die hier

auftretenden Verhältnisse mit Abb. 1 anschaulich. Gegeben ist eine Abfolge des Merkmales a und b in der Form $a a a b a a a b \dots$, b sei raumrhythmisch und a innerhalb b irgendwie festgelegt. Zwei Arten der Gruppierung lassen sich unterscheiden, Fall 1 u. 2 (Abb. 1), b ist zweizählige Symmetrieachse (naturgemäß auch a_2), und Fall 3, 4; die Gruppe $3 a b$ läßt sich nur durch Translation ineinander überführen. Sollen alle a untereinander identisch sein, kann ihr Rhythmus \overline{aa} nur gleich $\overline{bb}/3$ sein, Fall 1 u. 3 (dies geht unmittelbar aus der Bedingung hervor $b \supseteq 3 a \supseteq b$). Bei anderer Gruppierung werden die a untereinander ungleichwertig und es sind dann nur Identitätsperioden von $\overline{bb}/2$ und \overline{bb} möglich (Fall 2, 4).

Nehmen wir b jetzt nicht mehr rhythmisch, nur das Verhältnis $a : b$ konstant, oder noch allgemeiner a innerhalb b verschieden, also nur $3 a b, 3 a b \dots$ (Abb. 1, Fall 5), haben wir ein weiteres häufiges Gefüge, das nach dem Gesagten als nicht rhythmisches Gefüge nicht mehr voll beschreibbar ist, sich aber doch durch die Angabe der Zahl der Glieder zwischen b weitgehend charakterisieren läßt und, wie wir sehen werden, auch in seinem genetisch zeitlichen Zusammenhang bevorzugt gedeutet werden kann.

b) Gefüge und Zeit.

Während, wie dies vom Geologen seit je gehandhabt, statistisch gesehen, die Sedimentationsgeschwindigkeit über geologisch zeitlich nicht mehr gegliederte Zeiträume (geologisches Interim, Sander, 2) als konstant betrachtet werden kann, wird in durch Rhythmik je nach Größenordnung mehr und mehr gegliedertem Raum die Konstanz der Sedimentationsgeschwindigkeit, bzw. das stetige Wachstum des Sedimentes einer eingehenden Kontrolle zu unterwerfen sein.

Welche Rolle die Stetigkeit des Sedimentwachstumes spielt, wollen wir uns in einer schematischen Darstellung verdeutlichen (s. Abb. 2).

Ist die Sedimentationsgeschwindigkeit konstant (also linear), Fall a, dann ist eindeutig Raumrhythmik gleich Zeitrhythmik. Trotzdem ist über größere Zeitbereiche nur Stetigkeit ausreichend, da sich im Fall von Rhythmik daraus von selbst die durchschnittliche Konstanz der Sedimentationsgeschwindigkeit als geologisch wahrscheinlichster Fall ergibt. (Ein Beispiel für nicht lineares aber stetiges Wachsen des Sedimentes in kleinen Zeitbereichen wäre Saigerung aus einem homogen mit Schwebstoffen erfüllten Becken ohne Strömungsstörung (Stokes Gesetz!).

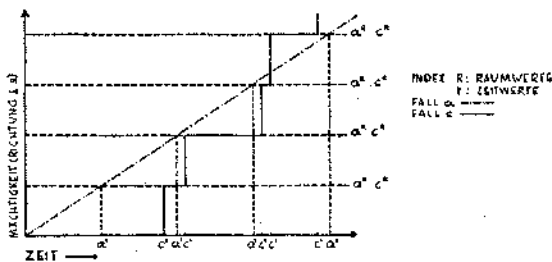
Innerhalb einer Rhythmeneinheit stören auch Schwankungen der Sedimentationsgeschwindigkeit und sogar Unstetigkeiten nicht.

Letzterer Fall könnte nur durch einen, als unwahrscheinlich auszuschließenden, autonom vielgliedrigen, räumlich vorgeschriebenen, aber nicht zeitperiodischen Vorgang, zu zeitlich nicht kontrollierten Raumrhythmen führen. Wenn es sich erweist, daß Raumrhythmen durch stoßweises Anwachsen jeweils gleicher Mengen Sedimentes entstehen (Fall c), oder mit anderen Worten, daß sich je eine Rhythmeneinheit einzellig bildet, dann wird jegliche Zeitkontrolle unmöglich (Beispiele bei Sander, 4).

Kommt dem Raumrhythmus irgendwie ein zeitliches Korrelat zu, so wird die Zeitaufzeichnung meistens durch unkontrollierbare Schwankungen der Sedimentationsgeschwindigkeit gestört. „Man kann also wohl aus Raumrhythmen dieser Art eindeutig auf Zeitperiodizität schließen, nicht aber umgekehrt aus Fehlen derselben, auf Fehlen periodischen Zeitdiktates.“ (Regel der rhythmischen Abbildung, Sander, 3.)

Diese Regel läßt sich nun genau so auf Gefüge beziehen, die durch einen exakten Raumrhythmus nur angenähert dargestellt werden, allerdings kann hier auch der Zeitperiode nur eine Wahrscheinlichkeit zugeteilt werden, von der man nur sagen kann, daß sie größer ist als die Wahrscheinlichkeit des Raumrhythmus. Größer, da eine absolute Konstanz der Sedimentationsgeschwindigkeit nicht zu erwarten ist. Wie groß der Anteil ist, welchen eine Änderung der Sedimentationsgeschwindigkeit und wie groß der Teil ist, den ein eventuelles Ändern des Zeitdiktates zur Gesamtschwankung beiträgt, läßt sich nicht entscheiden. Es ist daher für zukünftige Arbeiten wichtig, geologische Erfahrung über mögliche Schwankungen der Sedimentationsgeschwindigkeit zu sammeln.

ABB 2 SCHEMATISCHE ÜBERSICHT ZUM ZUSAMMENHANG
SEDIMENTWACHSTUM ZEIT



Für die in Abb. 1 behandelten rhythmischen Gruppen gilt: symmetrischen Anordnungen (Fall 1; 2) entspricht symmetrisches Zeitdiktat, Fall 3, 4 nichtsymmetrisches oder symmetrisches Zeitdiktat. Phasenkonstanz, auch rhythmisch nicht gleichwertiger Punkte (a_1 und a_2 gegenüber a_2 in Abb. 1, Fall 2, und a gegenüber b in Fall 1, 3, 4) weist immer auf Zuordenbarkeit zu gleichwertigem (homogenem) Zeitdiktat.

Wir betrachten noch die nicht raumrhythmischen Gefüge (Abb. 1; Fall 5) von Schichten mit gleichbleibender Zahl von Unterteilungen, also Abfolgen der Form na_b, na_b, \dots . Die Regel der rhythmischen Abbildung läßt sich auch hierfür modifizieren und man kann sagen, wenn stetiges Wachstum gewährleistet ist, entspricht n -facher Raumgliederung n -fache Zeitgliederung, nicht unbedingt aber n -facher Zeitgliederung n -fache Raumgliederung. Durch die Anzahl der Unterteilungen ist ein Teilbereich viel besser gekennzeichnet, als durch die Mächtigkeit, da Aufzeichnungsfehler weitgehend wegfallen, es ist

so die Möglichkeit gegeben, solche Schichtgruppen als genetisch zusammengehörig zu erkennen, bzw., was für den Stratigraphen wichtig ist, sie auch außerhalb des Zusammenhanges wiederzuerkennen¹⁾.

Des weiteren untersuchen wir na-b-Gruppen genau so wie andere Straturitgefüge. Weil wir uns zwar Sedimentationsakte, die immer eingliedrig, zur Not auch zweigliedrig (Saigerungsschichten) verlaufen, vorstellen können, schwer aber solche, die aus innerer Gesetzmäßigkeit des Diktators vielgliedrig verlaufen müssen, mit Ausnahme eben von zeitperiodisch gesteuerten Vorgängen, ist für solche unterteilte Schichtgruppen Zeitperiodizität a priori wahrscheinlicher.

Auch hier wird petrographische Untersuchung Hinweise geben können. Konstant bleibende Anzahl von Unterteilungen in einer Schicht ist also kein absoluter Beweis für Zeitperiodizität, aber diese bleibt die einleuchtendste Erklärung für solche Gefüge. Das ist auch der Grund, warum Wanless (7) vollkommen berechtigt ist, in den Moorschen „Megacyclothems“ (wenn diese reell sind), die man als Gruppe von fünf Cyclothems auffassen kann, einen Beweis für die Zeitperiodizität der nordamerikanischen Pennsylvanien-Sedimente zu sehen.

Neben der Wichtigkeit, die die Untersuchung dieser Fragen für den mit Rhythmen arbeitenden Stratigraphen hat, ist die Möglichkeit eines zeitperiodischen Diktates ein ganz wesentlicher Hinweis für die genetische Deutung, so daß folgerichtig eine Einteilung der Ursachen von Schichtung erst nach Gewinnen dieser Begriffe, Raumrhythmik einerseits, Zeitperiodizität andererseits, erfolgversprechend wird.

Eine ähnlich vielsagende Bedeutung kommt neben der Rhythmik vorwiegend der Feststellung ihrer regionalen Verbreitung zu, vor allem dann, wenn sich Rhythmik über weiteste Areale verfolgen läßt. Darauf wird jedoch im Laufe dieser Arbeit nicht mehr eingegangen, da sich die Untersuchung nur auf ein kleines Gebiet beschränkt. Es sei nur vorweggenommen, daß die zu beschreibende Rhythmik verschiedener Größenordnung im ganzen Gebiet wirksam ist, daß ich aber, wie Sander, vermute, daß ihr zumindest im gesamt-kalkalpinen Raum größte Bedeutung zukommt.

II. Die mm-Feinschichtung des Dachsteinkalkes von Lofer.

Die hier zu untersuchenden Fragen sind in Kürze folgende: Was ändert sich petrographisch gesehen, wenn es im Gestein zur Ausbildung eines Straturitgefüges kommt? Wiederholen sich petrographisch gekennzeichnete Bereiche und wie läßt sich die räumliche Anordnung dieser Bereiche, also das Gesamtgefüge beschreiben? Wie weit kann

¹⁾ Die Unzufälligkeit solcher Gruppierungen läßt sich mit vereinfachten Vorstellungen direkt zeigen, sie wächst selbstverständlich mit der Zahl der Wiederholungen N, einer Gruppe na b, im ununterbrochenen Aufschluß. Die Wahrscheinlichkeit, daß Nna- und Nb-Elemente sich in der vorgefundenen

$$\text{Anordnung durch Zufall reihen} = \frac{Nn! \cdot N!}{(Nn + N)!}$$

für den Fall der fünf Unterteilungen errechnet sich für N=2 eine Wahrscheinlichkeit von 1/330, für N=3 1/4050.

man diese Beschreibung durch einen Raumrhythmus vereinfachen? Lassen sich Anhaltspunkte über das dem Raumgefüge korrelierte Zeitgeschehen finden? Und zuletzt, kann man die Schichtung genetisch genauer deuten? Hier im besonderen ist es möglich, daß die zu beschreibenden Feinschichten Jahresschichten, also richtige Varven sind.

a) Petrographische Kennzeichnung.

Die Feinschichten treten, wie in einer späteren Mitteilung noch eingehend zu besprechen, gliedernd als Zwischenschichten zwischen den homogenen Dachsteinkalkbänken auf (Sander, 3). Die prozentmäßige Beteiligung dieser Zwischenschichten im Profil beträgt rund 20%. Da gerade die Fazies dieser Zwischenschichten von Sander eingehend untersucht wurde, kann ich mich hier auf die Beschreibung weniger Feinschichttypen beschränken. Wiederholungen lassen sich hier nicht ganz vermeiden. Es ist gerade bezeichnend für die gute Typisierbarkeit solcher Gesteine, daß ich kaum wesentliche Neubeobachtungen zu Sander hinzuzufügen habe, dagegen immer wieder schon beschriebene Gefügebilder auffinden konnte.

Als häufigster Fall wird das Gefüge durch polare Änderung der Korngröße eines primär mechanisch angelagerten D.-Pelites²⁾ gegliedert.

Pelit a): Auf der Unterlage liegend, setzten D.-Körner 40 bis 50 μ ein, stellenweise größere Komponenten 150 μ liegen dabei so schön polar, daß sie sich als geopetale Gefüge handhaben lassen. Die durchschnittliche Mächtigkeit dieser Schicht ist 0.75 mm. Die D.-Körner selbst sind meist gut gerundet und bestehen aus feinstem D.-Pelit nicht auflösbaren Korns $< 1 \mu$, sie dürften also selbst Wiederaufbereitungsprodukt und Resediment darstellen. Meist sind die längeren Achsen der Komponenten in s eingeregelt. Oft kleben Körner aneinander, daß die Grenzen verschwinden und daraus größere, zusammenhängende, krümelig aussehende Partien entstehen. Mit diesem Pelit a) gehen D.-Schälchen organischer Herkunft 80 bis 150 μ Durchmesser im Schnitt oft kreisrund. Die Zwickel zwischen den oft sehr locker liegenden Körnern, sowie Hohlräume in den Schälchen sind von Kalzitkristallen ausgefüllt, wobei zu beachten ist, daß K.-Kristalle den D.-Pelit metasomatisch auffressen.

Auf die Lage a) folgt mehr oder weniger gut abgrenzbar eine zweite Lage b): Durchschnittliche Mächtigkeit 0.38 mm, feinsten D.-Pelit 6 bis 9 μ , stellenweise auch kleiner, 1 μ nicht mehr auflösbar, also stofflich gleich den Komponenten von a), als homogene D.-Bänkchen. An der Grenze gegen das Liegende a) füllt b) alle Unebenheiten aus, während das Dach von b) meist scharf ist (dadurch Polarität, graded bedding). Diese Grenze wird zweckmäßig als Grenze der Abfolge betrachtet, selbstverständlich ohne daß es möglich ist, ihr mikrostratigraphisch eine bevorzugte Bedeutung zuzuschreiben.

An manchen Stellen lassen sich schon im Dünnschliffbereich innerhalb einer Feinschichte Fazieswechsel beobachten, so daß z. B. a

²⁾ D. = Dolomit, K. = Kalk; die Differenzierung erfolgt im An- und Dünnschliff mittels Lemberg'scher Färbung. Korngrößen werden durch den mittleren Durchmesser im Dünnschliff gekennzeichnet.

stark reduziert wird, dafür das mächtiger werdende b seine Stelle einnimmt. Im allgemeinen ist das Verhältnis $a : b = 2 : 1$.

Während in der beschriebenen Abfolge Pelit a-, Pelit b-K. eine ganz untergeordnete Rolle als Verdrusung von Hohlräumen einnimmt (höchstens bis 20% im Schliff), tritt K. in den Vordergrund bei Feinschichttypen mit stofflichem Wechsel. Die Abfolge setzt dann mit einer Schicht von K.-Kristallen ein, darauf folgt der D.-Pelit a und dann b.

Die K.-Kriställchen sind 60 bis 80μ groß und zeigen nur undeutliche Regelung c parallel s oder senkrecht s, vermutlich vorwiegend parallel s. Sie löschen bei gekreuzten Nicols nur schlecht aus und sind wegen ihrer Kleinheit nicht einzumessen. Stellenweise unverdaute Reste von a-Pelit, sowie auch der unregelmäßige Verlauf der Grenze Pelit a—Kalzit läßt vermuten, daß diese K.-Kristalle metamorphisch an Stelle des a-Pelits treten. Stellenweise läßt sich im Dünnschliffbereich verfolgen, wie die K.-Kristallisation in derselben Feinschicht an Mächtigkeit zunimmt und a ja sogar b völlig verdrängen kann. Bei stärker ausgebildeter K.-Spatisierung stehen die 250 bis 300μ langen Kalzite in strenger Regel c senkrecht s. Sander (3) konnte den Umschlag anfänglicher Regel c parallel s in c senkrecht s in K.-Schichtchen durch ein Diagramm belegen.

Unselten werden auch Fälle gefunden, wo die K.-Spatisierung aus dem Liegenden wie auch aus dem Hangenden gegen die Lage a erfolgt, so daß Abfolgen K.-Kristalle a, K.-Kristalle b zustande kommen. Besonders bei gefärbten Schliffen kommt es dabei zu einer Zergliederung der Feinschichten, die auf den ersten Blick oft schwer zu deuten ist.

Auch als Pelit spielt K. in manchen Typen eine Rolle. So liegt z. B. auf 0.8 mm a eine stellenweise ausgeilende, aber bis 0.5 mm mächtige K.-Pelitschicht mit Körnern 15 bis 30μ und darüber 0.5 mm b. Der K.-Pelit kann a vollkommen ersetzen und hat dann dieselbe Korngröße 40 bis 50μ und liegt wie a mit von unten nach oben abnehmender Korngröße, doch kommen auch Mischungen von K.- und D.-Peliten in allen Verhältnissen vor.

Neben diesen deutlich polaren Abfolgen wurden auch nicht polare Feinschichten gefunden. Es folgt auf 0.8 mm D.-Pelit 15μ (als Zwickelfüllung sehr feiner D.-Pelit und wenig D.-Verdrusung kleiner Hohlräume) 0.3 mm K.-D.-Pelitgemisch, D.-Körner 13 bis 16μ , K.-Körner 9 bis 16μ im Verhältnis 1 : 3. Die Grenzen sind im Liegenden und Hangenden gleich unscharf. Unentscheidbar ist, ob die Unschärfe der Grenze zwischen a und b auf Aufwirbeln von b bei Einsetzen der a-Sedimentation, oder auf primär unpolares Diktat zurückgeht. b kann oft überhaupt ganz fehlen und nur durch eine dichtere Packung der a-Körner vertreten sein.

Man sieht, daß obwohl sich viele Feinschichten nach einfachem Schema typisieren lassen, sich diese Typen auch mannigfach abwandeln und dadurch die Deutung erschweren. Trotzdem herrscht im Dünnschliffbereich meist ein Typ gleichbleibend vor, am häufigsten a b, eventuelle Wechsel vollziehen sich nur langsam.

Bedeutend erschwert wird die Deutung der Feinschichten dadurch, daß in manchen Fällen zusammengehörige Schichten durch Aufgliederung in dünnere Schichten noch viel komplizierter unterteilt werden. Es sei vorweggenommen, daß diese Schichtung (Straturierung) meist unrhythmisch ist, da weder die Mächtigkeit noch die Anzahl der Unterteilungen konstant bleibt. Die Zahl dieser Unterteilungen schwankt zwischen 5 und 9. Nur in wenigen Fällen sind die Unterteilungen scharf, der Wechsel erfolgt hier dann auch raumrhythmisch, wieder Typ K. a b, die Gesamtmächtigkeit der Feinschicht ist etwas übernormal. Im allgemeinen läßt Wechsel der D.-Korngröße so wie Wechsel von K.- und D.-Peliten kristallisiertes K. die Unterteilungen wahrnehmen.

Diese untergeordnete Schichtung läßt sich also nicht von der nur durch ihre Größenordnung gekennzeichneten, zuerst beschriebenen Feinschichtung abheben. Oft aber ist die ursprüngliche Zusammengehörigkeit noch durch eine etwas mächtigere b-Lage kenntlich. Allerdings treten auch eindeutig Fälle auf, wo die Mächtigkeit der Gesamtschicht und mit ihr auch die Mächtigkeiten der Unterteilungen so stark anwachsen, daß die untergeordnete Schichtung Mächtigkeitsgrößen der gewohnten Feinschicht erreicht und unter Umständen zwei im Zusammenhang als ungleichwertig erkennbare Schichttypen gefügemäßig ununterscheidbar werden.

Durch unsorgfältige Untersuchung solcher Bereiche können für uns, da wir später auf das zeitliche Gefüge übergehen wollen, beträchtliche Fehler zustande kommen.

b) Räumliche Abmessungen des Gefüges.

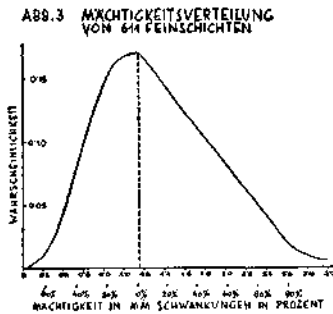
Das Gefüge der feingeschichteten Zwischenschichten soll jetzt genauer durch die Angabe der Mächtigkeitswerte der Feinschichten gekennzeichnet werden, wobei unser Hauptaugenmerk der Frage gilt, wie weit sich die feingeschichteten Abfolgen durch einen Raumrhythmus beschreiben lassen. Es wurden zu diesem Zweck an 40 Handstücken Messungen von 611 Feinschichtenmächtigkeiten vorgenommen. Die Messungen erfolgten vorwiegend im ungefärbten Anschliff mit Binokularlupe auf $\frac{1}{20}$ mm genau und nur zur Kontrolle im Dünnschliff.

Schon aus dem Vorhergehenden ist erkennbar, daß die petrographische Kennzeichnung oft Schwierigkeiten macht. Obwohl nur möglichst klar definierte Feinschichtbereiche gemessen wurden, können dadurch Fehler hereinkommen, um so mehr, da bei Anschliffen die genauere Kontrolle naturgemäß fehlt. Weitere Fehlerquellen sind ungleiche Setzung (differential compaction) und primär ungleiche Mächtigkeiten der Einzelschichten. Wie später noch gezeigt werden soll, lassen sich die letzteren Fehler durch Parallelmessungen ermitteln.

Alle Fehler vergrößern bei statistischer Auswertung die Streuung. Als Kriterium dafür, daß das Kollektiv durch die Zahl der Messungen gut erfaßt ist, kann die beim Messen fortlaufend verfolgte Persistenz des Häufigkeitsmaxismus dienen, dabei wurde die Erfahrung gemacht,

daß ein Handstück meist nicht ausreicht, um den Teilbereich durch die Angabe einer mittleren Feinschichtenmächtigkeit näher zu charakterisieren, da sich meist innerhalb des Handstückes zu große Schwankungen ergeben und es, wenn man das Gesamtergebnis nicht verfälschen möchte, unstatthaft ist, nur einzelne brauchbare Feinschichten auszuwählen. Eine regionale Verfolgung der Feinschichtenmächtigkeiten, z. B. Änderung im Profil, muß daher mit einer größeren Zahl von Proben arbeiten, die demselben Horizont entnommen sind; dies sei einer eventuellen späteren Arbeit vorbehalten.

Es wurde auch unter anderem versucht, die schon beschriebenen, petrographisch verschiedenen Feinschichtentypen auch durch ihre Mächtigkeiten zu kennzeichnen, indem für Handstückbereiche getrennte Verteilungskurven gezeichnet wurden; aber auch hier ergibt es sich wieder, daß die eventuellen Verschiedenheiten wegen der breiten Streuung solcher Kleinbereiche nicht faßbar sind. Man muß es daher als ein weiteres Resultat nehmen, daß die petrographisch differenzierbaren Feinschichttypen, bei der hier gehandhabten Schärfe der Betrachtung, in bezug auf räumliche Daten gleichwertig sind.



In diesem Sinne ist auch die räumliche Beschreibung durch die gewählte Darstellung (Abb. 3) zu verstehen; sie repräsentiert, da die Proben ziemlich gleichmäßig im Gesamtgebiet der Loferer Steinberge in allen Höhenlagen entnommen wurden, den Gesamtbereich aller feingeschichteten Zwischenschichten.

Durch folgende Raumdaten wird das Gefüge beschrieben:

Mittlere Mächtigkeit der Feinschichten 1345 mm, häufigste Mächtigkeit 1125 mm, die ihr zukommende Wahrscheinlichkeit beträgt 0.1687; mittlere Schwankung: 0.5829, für die theoretisch zugehörige Gauss-Kurve (aus der Scheitelwahrscheinlichkeit gerechnet) 0.5913, Lexisscher Dispersionskoeffizient: 0.985 (der Dispersionskoeffizient gibt an, wie weit die Verteilung die Form einer Gauss-Kurve hat, bei vollständiger Übereinstimmung ist er gleich 1).

Die Kurve Abb. 3 zeigt uns, in welchem Ausmaß sich der Gesamtbereich durch einen exakten Raumrhythmus beschreiben läßt, mit anderen Worten, wir lesen für jeden beliebig herausgegriffenen Mächtigkeitswert die Wahrscheinlichkeit ab, daß wir mit ihm das Raum-

gefüge richtig beschreiben. Es ist also der Scheitelwert $1/5.93$ das Maß für die Beschreibbarkeit durch einen Raumrhythmus von 1.125 mm.

c) Gefüge und korrelatives Zeitgeschehen.

Schon die Tatsache, daß sich das Gefüge durch einen bevorzugten Raumrhythmus beschreiben läßt, ist unter allen Umständen erklärungsbedürftig. Die Form der Verteilungskurve weist darauf hin, daß eine gewisse konstante Grundwahrscheinlichkeit vorhanden ist, während Abweichungen davon in Gestalt von Zufallsfehlern verteilt sind. Eine geringe linksseitige Asymmetrie der Kurve bedingt im linken Teil sogar leicht unternormale Verteilung. Ohne eine weitere Analyse der Kurve vorzunehmen, sei darauf hingewiesen, daß diese Asymmetrie ein bei Schichtdickenmessungen immer wieder auftretendes Merkmal solcher Kollektive ist, die als größere Schwankung bei erhöhter Sedimentationstätigkeit geologisch durchaus verständlich ist. Es liegen auf der linken Seite 50% aller Fälle in einem Schwankungsbereich von 0 bis 28% vom wahrscheinlichsten Wert, auf der rechten Seite 50% aller Fälle in einem Bereich von 0 bis 64 %.

Um die Regel der rhythmischen Zeitabbildung auf unseren Fall anwenden zu können, genügt, wie wir allgemein gezeigt haben, der Nachweis, daß die Feinschichten nicht durch einen einheitlichen auch zeitlich nicht untergliederten Akt gebildet wurden (etwa wie Fall c in Abb. 2). Daß dies nicht der Fall ist, wird, wie schon beschrieben, dadurch bewiesen, daß der allgemeine Verlauf der Korngrößenabnahme innerhalb eines mm-Rhythmus noch durch weitere Schwankungen unterteilt ist. Nicht sagen läßt sich aber, wie weit an der Bildung der unterteilten Feinrhythmen entweder einmaliger Sedimentschub, mit gelegentlich durch Neuaufwirbelung gestörter, sonst ruhiger Sedimentation, also rhythmische und nichtrhythmische Resedimentation, oder Belieferung in mehrmaligen Schüben, beteiligt sind. Ferner ist nicht auszuschließen, daß die Sedimentation durch unkontrollierbare Zeiträume überhaupt stillstand oder negative Beiträge annahm, das scharfe Dach der Rhythmeneinheiten scheint dafür zu sprechen.

Für das Zustandekommen der Mächtigkeitsschwankungen sind zwei allgemeine Fälle möglich:

1. Die Rhythmik wird durch eine exakte Zeitperiode diktiert, Abweichungen kommen nur durch fehlerhafte räumliche Zeitaufzeichnung, also durch Schwankungen der Sedimentationsgeschwindigkeit zustande.
2. Die Änderungen der Sedimentationsgeschwindigkeit sind untergeordnet, dafür schwankt das Zeitdiktat unregelmäßig um einen bestimmten Mittelwert. In beiden Fällen muß das Zeitgeschehen durch eine gewisse bevorzugte Periode beschreibbar sein. Das heißt auch, daß die Feinschichten auf alle Fälle für eventuelle regionalstratigraphische Untersuchungen verwertbar wären.

Zu 1. Faßt man das Gefüge als Abbild einer exakten Zeitperiode auf, so geben die Prozenzahlen auf der Abszisse in Abb. 3 direkt die Änderungen der Sedimentationsgeschwindigkeit.

Zu 2. Nimmt man an, daß das Zeitdiktat Schwankungen unterliegt, so können wir sicher sagen, daß diese Schwankungen kleiner sein müssen als die der gemessenen Raumdaten.

Da das Diktat der Raumrhythmik aus dem Zeitdiktat und den Änderungen der Sedimentationsgeschwindigkeit zusammengesetzt ist und wir keine der beiden Größen genau kennen, können wir nicht sagen, welchen Teil das eine oder andere zur Schwankung der Raumrhythmik beiträgt.

Nur einen Teil der Schwankung können wir allerdings direkt erfassen, indem wir Mächtigkeitsänderungen an ein und derselben Feinschicht messen und so in definiertem Zeitbereich Sedimentationsgeschwindigkeitswechsel und überlagerte differential compaction ermitteln. Leider kann man diese Messungen nur über kleine Bereiche durchführen, so wurden an einem Anschliff über eine Strecke von 10 cm alle 0.5 cm an einer Feinschicht Mächtigkeitmessungen ausgeführt. Das Mittel aus 20 Messungen ergibt Schwankungen von 20%; aus zwei anderen Bereichen Mittel aus je 21 Messungen 26% und 25%. Messungen an 13 Feinschichten im Dünnschliffbereich ergeben Schwankungen von 11%.

Ein Gesamtfehler der räumlichen Zeitaufzeichnung von 40 bis 50% erscheint daher sehr wahrscheinlich und man sieht, daß dann für ein eventuelles Schwanken des Zeitdiktates kein allzu großer Spielraum mehr bleibt. Die Untersuchung zeigt also, daß zeitperiodisches Diktat für die mm-Rhythmen außerordentlich wahrscheinlich ist und sicher ist, daß nichts gegen solches sprechen kann.

d) Zur genetischen Deutung der Feinrhythmen.

Nachdem wir für die mm-Feinrhythmen wahrscheinlich machen konnten, daß sie das Abbild eines zeitperiodischen Diktates sind, erhebt sich die Frage, ob sich irgendwelche Hinweise über die Dauer dieser Periode finden lassen. Ohne diese Frage weiter zu diskutieren, deutet Sander (3) die Feinschichten als Varven.

Eine ganz grobe Schätzung soll versuchen zu zeigen, mit welchen Zeitgrößen wir überhaupt zu rechnen haben. Als Grundlage dienen Angaben über die Dauer der Trias, die aus radioaktiven Zerfallszeiten gewonnen wurden. Umbrige (6) gibt eine gute Zusammenstellung bekannter Werte, ihr entnehmen wir für die Gesamttrias zwei He-Werte von Holmes $12 \cdot 10^6$ und $25 \cdot 10^6$ und ein Pb-Wert von Holmes $30 \cdot 10^6$ Jahre. Wir nehmen die Grenzen absichtlich weit und lassen einen Spielraum von $10 \cdot 10^6$ bis $40 \cdot 10^6$ Jahre gelten, die Grenzen sind dann einigermaßen sicher. Da wir keinerlei Angaben darüber haben, wie groß der Zeitanteil ist, der von dieser Zeit der Gesamttrias auf das Nor des Dachsteinkalkes fällt, wollen wir diesen abschätzen. Das Mächtigkeitsverhältnis von Dachsteinkalk zu Gesamttrias ist im Profil von Lofer ca. 1:3.5. Wir wollen auch hier möglichst weite Grenzen einführen, vor allem auch, weil wir nichts über die Sedimentationsgeschwindigkeit in den unkontrollierten Gesteinen kennen und Verhältnisse von 1:10 bis 1:1.5 gelten lassen. Unter diesen Voraussetzungen kann man für die 800 m Dachsteinkalk leicht

ermitteln, daß ihnen eine zeitliche Dauer innerhalb der Grenzen $1 \cdot 10^6$ bis $30 \cdot 10^6$ zukommt. Aus dieser Zeit wollen wir die Zeit, die einem mm-Rhythmus zukommt, ermitteln. Nachdem unser Mittelwert einer Feinschicht 1345 mm beträgt, fallen auf 800 m Dachsteinkalk $59 \cdot 10^4$ Rhythmen. Das Verhältnis der Sedimentationsgeschwindigkeit in den zwei Fazies, feingeschichtete Zwischenschichten und Bank, kennen wir nicht, der Anteil, den wir kontrollieren können, beträgt nach Profilmessungen nur etwa 20%. Daraus ergeben sich unter Annahme, daß die Sedimentationsgeschwindigkeit der Zwischenschichten ein Drittel bis doppelte Werte der Sedimentationsgeschwindigkeit Bank annehmen kann, für die zeitliche Dauer eines 1.125 mm-Rhythmus Zeitwerte von rund 100 bis 0.5 Jahren.

Die gefundenen Werte geben einen wertvollen Hinweis für die aktualistische Deutung dieser Zeitperiode. Wir wissen, daß es in der Natur keinen derartigen Rhythmus neben dem Jahresrhythmus gibt, der der Größenordnung nach in Frage kommt. Von metrologisch-klimatologischer Seite her ist außer dem Sonnenzyklus keine höhere Periode dieser Größenordnung bekannt, die Aussicht hätte über größere Zeiten persistent aufgezeichnet zu werden. Über in Frage kommende autonom biologische Rhythmen ist meines Wissens nicht nur nichts bekannt, es fehlen auch alle petrographischen Hinweise für derartige Rhythmik in unseren Bereichen. Bei metrologisch bedingter Periode wird immer Jahresschichtung am ausgeprägtesten sein.

Diese Gründe sprechen dafür die 1.125 mm-Rhythmen als Varven aufzufassen.

Für eine weiter ins Detail gehende Deutung (etwa Sommerschicht—Winterschicht) fehlen alle Anhaltspunkte. Genau so wenig wie wir die Unterteilungen als Gezeitschichten oder ähnliches deuten können.

Nur soviel scheint sicher, auf eine unruhige Sedimentationszeit (a) folgt eine ruhige (b), vielleicht sogar Sedimentationsstillstand. Während letzterer Zeit scheint feiner D.-Pelit bevorzugt vor K.-Pelit angelagert worden zu sein.

Zusammenfassung zur mm-Rhythmik.

Der Gang der statistischen Untersuchung der Rhythmenenergebnisse war also folgender:

1. Aufstellung der Verteilungskurve, aus deren Form ein konstant bleibendes Diktat erschließbar war.
2. Nachweis, daß die Anlagerung nicht in einem einzigen Akt, also nicht stoßweis erfolgt. Die Regel der rhythmischen Zeitabbildung läßt sich daher auf das Gefüge anwenden.
3. Sicher kann man aussagen, daß das Zeitdiktat eine bevorzugte Periode besessen hat.
4. Schon Messungen kleiner Bereiche zeigen, daß ungefähr 50% der Raumrhythmenschwankungen auf Kosten ungleicher Anlagerungs-

geschwindigkeit zu setzen sind. Es wird daher angenommen, daß das Zeitdiktat der mm-Schichten ein exakt periodisches war.

5. Eine überschlägliche Zeitabschätzung ergibt, daß für die Bildungsdauer einer 1:125 mm-Schicht eine Zeit von 0.5 bis 100 Jahre in Frage kommt. Dies mit Punkt 4 zusammen macht es außerordentlich wahrscheinlich, daß die mm-Schichtung Jahresschichtung entspricht.

Literatur.

1. Korn, H., Schichtung und absolute Zeit. — N.-Jb. f. Min. etc., 74. Beil., Bd. Abt. A, S. 50—138. Stuttgart 1938.
2. Sander, B., Zur petrographisch-tektonischen Analyse. — II. Teil, S. 184, Jb. d. Geol. B.-A., Bd. 75, H. 1, 2. Wien 1925.
3. Sander, B., Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge. — Min. Petr. Mitt. 48, S. 27—139. Leipzig 1936.
4. Sander, B., Einführung in die Gefügekunde geologischer Körper. — Teil I. Verlag Springer, Wien 1948.
5. Strausz, L., Rhythm in sedimentation in the Miocen & Pliocene of Transdanubia. In: Titles & Abstracts. International Geological Congress, XVIII. London 1948.
6. Umbgrove, J. H. F., The pulse of the earth. Sec. edd. The Hague 1947.
7. Wanless, H. R. u. Shepard, Sea level and climatic changes related to late paleozoic cycles. — Bull. of Geol. Soc. of America, Vol. 147; besonders p. 1201. New York 1936.

H. Flügel (Graz), Einige Bemerkungen zur Stellung des Ludlows und zur Frage des Downton in den Karnischen Alpen.

Im folgenden sei der Versuch unternommen, die Schichten des Ludlows der Karnischen Alpen mit der neuen böhmischen Stratigraphie in Einklang zu bringen.

Die Graptolithenstratigraphie Englands endet mit der Zone des *Monograptus leintwardinensis* Hopkinson, das ist zugleich die höchste Zone des Lower Ludlows. Aymestry Limestone und Upper Ludlow haben in England keine Graptolithenfaunen mehr geliefert.

Im Laufe der letzten Jahre zeigte es sich, daß in Böhmen die Graptolithen bedeutend höher hinaufreichen und erst im E-gamma mit der Zone des *Monograptus hercynicus* Perner erlöschen. Přibyl (1946) gliedert auf Grund der reichen Faunen das Ludlow in oberes, mittleres und unteres. Sein oberes Ludlow entspricht dem böhmischen E-gamma. Das mittlere Ludlow (E β_2) umfaßt sieben Graptolithenzonen und entspricht, mit Ausnahme der Basiszone, die noch dem englischen Lower Ludlow angehört, dem Aymestry Limestone und dem Upper Ludlow. Přibyls unteres Ludlow (E β_1) ist dem Lower Ludlow mit Ausnahme der Zone des *Monograptus leintwardinensis* Hopkinson gleichzusetzen.

In den Karnischen Alpen basiert die Gliederung ganz auf der englischen Stratigraphie. Dabei wurden von Gaertner (1931), dem alle anderen Arbeiten dann folgten, nur die Graptolithen führenden