Jahrgang 1963 Heft 11

NEUES JAHRBUCH

FÜR

Geologie und Paläontologie

BEGRÜNDET 1807

Monatshefte

(früher Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie Monatshefte Abteilung **B.** Geologie — Paläontologie)

herausgegeben von

Fr. Lotze
in Münster i. W.

O. H. Schindewolf
in Tübingen

STUTTGART 1963

E. SCHWEIZERBART'SCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG
(NÄGELE u. OBERMILLER)

N. Jb. Geol. Paläont. Mh.	1963	11	593—658	Stuttgart, November 1963

Umlagerung und Rolltransport von Cephalopoden-Gehäusen

Von **Adolf Seilacher,** Göttingen

Mit 9 Abbildungen im Text

Zusammenfassung: Cephalopoden-Gehäuse verhalten sich — über das nekroplanktonische Stadium hinaus — auch bei der Einbettung und Umlagerung noch weitgehend eigengesetzlich, aber verschieden je nach der herrschenden Wasserbewegung. In annähernd laminarer Strömung (z. B. Solnhofener Plattenkalke) haben sie fährtenartige Rollmarken, bei stärkerer Turbulenz dagegen (z. B. unterkarbonische Turbidite) nur ungeordnete Aufstoßmarken hinterlassen. Gelegentliche, wesentlich schwächere Wasserbewegung ist an umorientiertem Gehäuse-Bewuchs (z. B. Serpeln) abzulesen.

Frühere Einbettung und Rollverfrachtung kann sich auch in der Art der Zerbrechung ausdrücken, welche nicht nur an den fossilen Gehäusen selbst, sondern auch an ihren Roll- und Stoßmarken zu erkennen ist.

Summary: Secondary displacement of cephalopod shells varies according to environmental conditions. Jurassic ammonites were bowled along the floor of the shallow Solnhofen Bay by an almost laminar flow. Their peculiar tracks, varied according to shape and pivotability, have long been considered as biogenic. In the Mississippian Ouachita geosyncline, broken goniatite shells left distinct, but non-serial impact marks when they hit the ground from the turbulent waters of a turbidity current. Re-oriented epizoans, particularly serpulids, may record even a mere overturn by occasional slight turbulence. In addition, diagnostic types of fragmentation, or corrosion, of the shells may indicate previous deposition and displacement.

Daß sich die gekammerten Cephalopoden-Gehäuse selbst postmortal noch eigengesetzlich und abweichend von anderen tierischen Hartteilen verhalten, ist seit langer Zeit bekannt. Die früheren Untersuchungen in dieser Richtung hat REYMENT 1958 zusammenfassend referiert und experimentell weitergeführt. Im Mittelpunkt stand dabei stets die Schwimmfähigkeit und die Schwimmlage der toten Gehäuse und damit letztlich die Frage, wieweit die regionale Verteilung der fossilen Cephalopoden ökologische Areale oder nur die abiotischen Gesetze nekroplanktonischer Verfrachtung abbildet.

Die vorliegende Betrachtung hat ein anderes Ziel. Sie richtet sich auf Vorgänge, die zwischen nekroplanktonischem Stadium und end-

32577

gültiger Einbettung liegen. Im Vergleich zu der vorausgegangenen Verdriftung spielen sie sich zwar auf kleinerem Raum, dafür aber im Bereich der Lithosphäre ab und sind darum besser durch geologische Zeugnisse belegt. Solche Indizien werden im folgenden aus vier heteropischen Faziesbereichen beigebracht, um den Umlagerungsvorgang möglichst in seiner ganzen Vielfalt zu erfassen.

I. Ceratiten-Seifen des germanischen Muschelkalks

Wie jeder Sammler aus Erfahrung weiß, treten Ceratiten, ähnlich wie die meisten anderen Muschelkalk-Fossilien, gern in lokaler Häufung auf. Ansammlungen dieser Art pflegte man bisher als Spülsäume zu deuten, zu denen die treibenden toten Gehäuse von Wind und Wellen zusammengeschwemmt wurden.

Besonders schöne und dichte Pflaster von *Ceratites evolutus* sind in den letzten Jahren bei Bruchsal von der Karlsruher Landessammlung für Naturkunde in größerem Stile ausgegraben worden (G. Mayer 1956 u. 1961; Hölder 1960) und durch Tausch in verschiedene Museen gelangt. Eine dieser Platten (1 × 1,50 m), die sich im Göttinger Institut befindet, bildete den Ausgangspunkt unserer Beobachtungen.

Auf der freigelegten Schicht-Unterseite liegen die Ceratiten fast alle flach, d. h. mit der Medianebene mehr oder weniger parallel zur Schichtfläche. Dennoch zeigt über ein Drittel der Gehäuse eine eigentümliche Korrosion, welche zu dieser Einbettungslage in keiner ursächlichen Beziehung steht:
Gegenüber der Wohnkammer erscheint die Externseite tangential abgeschnitten, so als wenn das Gehäuse in seiner ursprünglichen Schwimmstellung gekappt worden wäre (Abb. 1).

Übereinstimmend verhält sich die noch größere Platte des Tübinger Institutes, deren genaues Inventar hier in Klammern hinter dem der Göttinger Platte angeführt sei.

Gekappte Gehäuse: 32 (128); ungekappte Gehäuse: 44 (98); Gehäuse, die wegen ungünstiger Einbettung oder fragmentärer Erhaltung nicht zu beurteilen sind: 85 (137).

Bei solcher Häufigkeit und Regelmäßigkeit kann es sich nicht um eine zufällige Erscheinung handeln. Wir sehen darin vielmehr das Erbstück einer vorausgegangenen vertikalen Einbettung, wie sie im Göttinger Muschelkalk, besonders bei Diemarden, nicht selten zu beobachten ist.

In allen mir vorliegenden Fällen (etwa 20) ist die Wohnkammer unten, und oft ragt der gegenüberliegende Gehäusescheitel so über die Bank, daß er durch Abtragung oder Subsolution (Hollmann 1962) genau die Kappung erlitten hat, welche uns auf dem Bruchsaler Ceratitenpflaster entgegentritt.

Der Prozeß glich also der Bildung von *Mya*-Pflastern im heutigen Wattenmeer. Auch bei *Mya* ist ja die ursprüngliche Gehäuselage verti-

kal, nur daß sie dort nach dem Tode unmittelbar erhalten bleibt, während das Ceratiten-Gehäuse sich allmählich mit Wasser füllte und umkippte, falls die Hochkantlage nicht durch entsprechend rasche Sedimentation schon vorher fixiert wurde. Besonders rasche Sedimentation herrscht aber in verschlickenden Prielschlingen, und so ist es kaum ver-

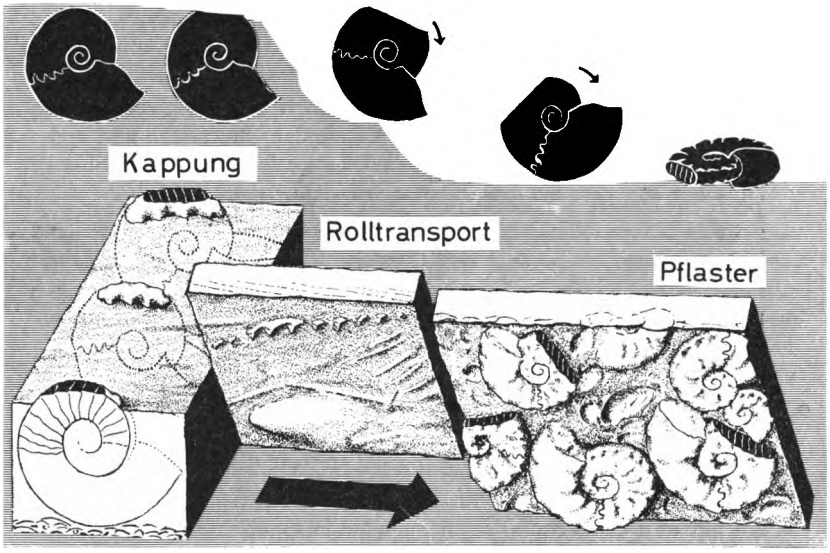

Abb. 1. Bei rascher Sedimentation in ursprünglicher Stellung fixierte Ceratiten wurden durch spätere flächenhafte Abtragung häufig gekappt, ohne daß das restliche Gehäuse darunter litt. Gelangte dieses schließlich durch rasche Auswaschung (z. B. an Priel-Rändern) in ein Schalenpflaster, so bleibt die stratinomische Vorgeschichte weiterhin an der Kappung zu erkennen. Eine kurze Rollmarke mit Eindrücken der Externknoten (Unterer Hauptmuschelkalk von Steinbach b. Schwäb. Hall; Göttinger Typenkatalog Nr. 551/1; 1/3) deutet an, daß die Gehäuse z. T. rollend in die Ceratiten-Seife gelangt sind.

Fig. 1. Rapid sedimentation of the Upper Muschelkalk beds has often preserved dead Ceratite shells in their original vertical position and with their apertures pointing downcurrent. Such shells become easily corroded from the top through gradual erosion or non-deposition, as may occur in the vicinity of a tidal channel.
After the remaining part of the shell has eventually been reworked and accumulated in a shell bed, the traces of the primary position can still be recognized.

Short roll marks with impressions of the nodes suggest bouncing and rolling transport of the shells to the site of secondary burial.

wunderlich, daß hochkant stehende Ceratiten oft nachweislich in Prielfüllungen stecken, zumal diese zugleich als Fossilfallen gewirkt haben mögen.

Im Flachmeer ist Einbettung jedoch selten endgültig, denn außer Sturmfluten bewirken seitlich wandernde Priele eine fortwährende und tiefgreifende Umlagerung. Priel-Erosion vollzieht sich in zwei Phasen. Die erste Phase wirkt langsam und flächenhaft und betrifft die hohen Wattflächen außerhalb der eigentlichen Rinne. Aus den so vom weichen Oberflächenschlick entblößten Kleiflächen ragen an der Nordsee die senkrechten *Mya*-Gehäuse. Ihre klaffenden Hinterenden verbleiben in dieser Lage oft so lange, daß sie von Bohralgen zerfressen und von Balaniden und anderen Epöken überwachsen werden. Das entsprechende Stadium bewirkte bei den Ceratiten die Kappung.

Völlige Auswaschung hochkant eingebetteter Gehäuse wird meist erst dann erfolgen, wenn der steile Prallhang eines Prieles sie erreicht und ganze Kleischollen abbrechen läßt. Obgleich diese zweite Erosionsphase energiereicher abläuft als die erste, beschädigt sie die Gehäuse doch weniger, weil die Kürze des Ablaufs keine andere als bloß eine mechanische Zerstörung zuläßt.

Die so aufbereiteten Gehäuse bleiben nach verschieden langem Transport in flacher Orientierung am Grund der Stromrinne liegen und werden schließlich beim Nachlassen des Stromes — sei es am Gleithang oder in einem abgeschnürten Prielabschnitt — von feinerem Sediment überdeckt und als Sohlpflaster der entsprechenden Bank überliefert.

Leider war es mir unmöglich, das Bruchsaler Ceratitenpflaster auch in Vertikalschnitten zu untersuchen. So bleibt zunächst noch ungewiß, ob die Ceratiten bei ihrer Umlagerung völlig vom Schlamm befreit wurden oder ob die primäre Füllung das Umlagern überdauerte und sich nun durch abweichende Zusammensetzung und diskordantes Geopetalgefüge vom Stiefmuttergestein unterscheidet. Nach Analogie zu heutigen Vorgängen möchte ich aber den ersten Fall für wahrscheinlicher halten.

Was die Art des mit der Umlagerung verbundenen Transports angeht, so besitzen wir zwar nur einen kleinen, aber höchst bemerkenswerten Hinweis in einem Fund aus dem schwäbischen Muschelkalk (Abb. 1, Mitte). Eine dichte Kalkbank hat auf ihrer Sohlfläche zwar keine Schalenpflaster, aber — als wäre es nicht-bindiger Sand — neben zahlreichen Fährten und Strömungsmarken (Zapfenwülsten, Schleifmarken, Rinnenfüllungen) auch die kurze Rollmarke eines Ceratiten überliefert. Daß der dadurch registrierte Roll-Vorgang unter bestimmten Bedingungen die vorherrschende Transportform vollgelaufener Ammonoideen-Gehäuse darstellt, wird die Betrachtung der ober-jurassischen Plattenkalke zeigen, deren scharfe und unversehrte Schichtflächen Rollmarken in viel größerer Erstreckung und Mannigfaltigkeit erhalten haben.

Ergebnis:

1. Frisch abgesunkene oder gestrandete Ceratiten-Gehäuse wurden im Muschelkalk überraschend oft hochkant eingebettet. Das war nur möglich, wenn die umgebende Bank wesentlich rascher abgelagert wurde, als G. Wagner (1936) aus dem Wachstum von *Placunopsis*-Riffen geschlossen hat.
2. Ähnlich wie im heutigen Wattenmeer (Reineck 1960) stand der raschen Sedimentation auch im Muschelkalk eine intensive Umlagerung gegenüber. Ihr, und nicht nekroplanktonischem Zusammendriften, verdanken die meisten Ceratiten-Pflaster ihre Entstehung.

II. Rollmarken im oberjurassischen Plattenkalk

In den Plattenkalken des Altmühl-Gebietes sind Ammonoideen ungleich seltener als im Muschelkalk. Außerdem treten sie nie in Pflastern, sondern einzeln auf. Allenfalls die gebietsweise wechselnde Häufigkeit einzelner Arten oder gelegentliche Gruppenfunde (*Leptolepis;* Oppelien) deuten auf eine gewisse Frachtsonderung. Diese betraf aber in erster Linie nekroplanktonisch treibende Kadaver von Krebsen, Fischen und Cephalopoden, wie Aufsetzmarken (Rothpletz 1910; Abel 1927, Abb. 430 u. 431), senkrechte Einbettung (besonders bei den breitrückigen Aspidoceraten) und in situ erhaltene Aptychen (z. B. Schindewolf 1958, Taf. 7) beweisen.

Auch Fossil-Umlagerung hat im Plattenkalk-Lithotop nicht gefehlt. Seltsamerweise ist dieser Prozeß jedoch nur durch seinen vergänglichsten Ausdruck, nämlich durch Rollmarken belegt. Dagegen fehlen zugehörige Aufarbeitungs-Narben (z. B. Priele) ebenso wie die Schalenpflaster, welche man als Resultat der Umlagerung eigentlich erwarten sollte. Die Hintergründe dieser schwer verständlichen Lückenhaftigkeit der geologischen Dokumentation lassen sich vorerst nur vermuten. Wahrscheinlich ist sie durch ein ähnliches Zusammenspiel von spezifischer Pivotabilität (= Rollbarkeit) und geeigneten Repositorien bedingt, wie es Ph. H. Kuenen als Mechanismus der Sand-Sonderung anschaulich beschrieben hat (Vortrag beim Internationalen Sedimentologen-Kongreß in Amsterdam, 1963; nach freundlicher Mitteilung des Vortragenden zum Druck im Kongreßbericht vorgesehen). Es scheint sogar, daß dieser Mechanismus bei der Sortierung gestalteter organischer Hartteile eine noch größere Rolle spielt als bei unregelmäßigen Sedimentpartikeln.

Unsere Betrachtung richtet sich zunächst auf die Rollmarken, weil sie nicht nur den Rollvorgang klarer als in irgendeinem anderen Vorkommen abbilden, sondern als vermeintliche Tierfährten früher zu den verschiedensten Deutungen Anlaß gegeben haben.

Von diesen Marken besitzt die Bischöfliche Hochschule in Eichstätt ein sehr reiches Material von verschiedenen Fundorten (Solnhofen; Blumenberg; Wintershof-Ost; Painten). Ich verdanke es dem langjährigen Vorstand

der dortigen Sammlung, Prof. Dr. F. MAYR, daß er mich vor vielen Jahren auf dieses Material und seine mögliche Deutung aufmerksam gemacht und mir nicht nur die Untersuchung an Ort und Stelle, sondern auch die Anfertigung von Latex-Abgüssen freundlichst gestattet hat.

Zu den Abbildungen 2—6:

Um den Vergleich zu erleichtern, sind jeweils zwei Perioden einer Sequenz auf einheitliche Größe gebracht und, z.T. spiegelbildlich, in Parallel-Perspektive wiedergegeben worden. Daher die ungeraden Abbildungsmaßstäbe, die im folgenden zusammen mit dem Fundort (andere Fundorte desselben Typs in Klammern) und Quellenangaben angeführt sind.

Abb. 2a : x 0,4 ; Wintershof (Blumenberg, Painten)
b : Ohne Maßstab, nach Skizze; Wintershof
c : x 0,3 ; Wintershof (Blumenberg)
d : x 0,18 ; Wintershof
Abb. 3a : x 0,35 ; Wintershof
b : x 0,4 ; Wintershof
c : x 0,32 ; Blumenberg
Abb. 4a : x 0,22 ; Eichstätt (nach KLINGHARDT 1955)
b : x 0,25 ; Wintershof-Ost
Abb. 5a : x 0,3 ; Blumenberg
b : x 0,08 ; Fundort unbekannt (nach ABEL 1930, Taf. 30; Ähnliches von Wintershof u. Solnhofen)
Abb. 6 : x 0,55 ; Painten (nach TRUSHEIM 1934)

Die Originalstücke zu den Abbildungen, welche nicht früheren Arbeiten entnommen sind, befinden sich in der Sammlung der Eichstätter Hochschule.

Auf eine photographische Wiedergabe der Originalplatten oder der mir vorliegenden Abgüsse von über 25 Sequenzen konnte verzichtet werden, da die meisten zitierten Arbeiten solche Abbildungen enthalten. Ebensowenig brauchen experimentell gewonnene Rollmarken abgebildet zu werden, da sie sich mit körperlich erhaltenen Ammoniten auf einer geneigten Plastilin- oder Ton-Unterlage jederzeit reproduzieren lassen.

Obgleich die Rollmarken-Deutung dieser Eindrücke von Anfang an als die wahrscheinlichste erschien, gaben mir doch erst die überraschenden Erkenntnisse von PAVONI (1959) den Schlüssel zur Entzifferung der komplizierteren Rollmuster in die Hand. Seine Experimente mit rollenden Fischwirbeln haben nämlich nicht nur die vermeintlichen Salpen aus den Glarner Fischschiefern entlarvt, sondern zugleich gezeigt, daß entsprechend gestaltete Körper auch quer zu ihrer Symmetrie-Ebene zu rollen vermögen und dabei ganz andere Rollmuster hinterlassen, als man nach dem geläufigen Vorbild des Rades oder orientalischer Rollsiegel erwarten sollte.

A. Rollmarken von Perisphincten

Intakte Perisphincten-Gehäuse bieten durch ihre Scheibengestalt dann den geringsten Rollwiderstand, wenn sie wie Wagenräder und in

der Weise abrollen, daß die Mündung bei Bodenberührung stromabwärts zeigt. So wird der Mundrand jedesmal mit kurzem Sprung überrollt, während er bei umgekehrtem Drehsinn frontal in den Schlamm stoßen und dadurch die Bewegung unterbrechen würde.

Dieser Bewegung zugeordnete Rollmarken (Abb. 2a) sind im Abstand des jeweiligen Gehäuseumfanges regelmäßig unterbrochen. Jedes Segment müßte eigentlich luvseitig gerundet beginnen, stromabwärts eine allmähliche Zunahme von Spurweite und Rippenabstand zeigen und leeseitig wie abgehackt mit dem Eindruck des ventralen Mundrandes enden. In Wirklichkeit bewirkt der Aufprall nach dem Mündungssprung jedoch einen kräftigeren Eindruck, der durch kurzes Abprallen sogar vom restlichen Rollsegment getrennt zu sein pflegt. Die Sequenz besteht dann aus zwei Form-Elementen in regelmäßigem Wechsel: Kurzen, aber tief eingedrückten Abprallmarken und den eigentlichen Rollmarken mit abgehacktem Lee-Ende.

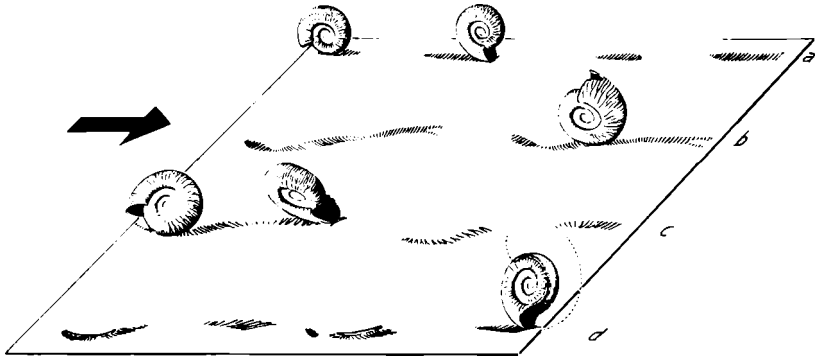

Abb. 2. Intakte oder nur von der Mündung her verletzte Perisphincten-Gehäuse rollen hochkant und in regelmäßigen Sätzen. Im Rollmuster sind die Rippen der Externseite, bei torkelnder Bewegung auch deren Gabelpunkte zu erkennen. Führung und Segmentierung der Rollmarken sind von der Strömungsintensität abhängig.
Bisherige Deutung: Tetrapodenfährte (*Ichnium trachypodium* J. WALTHER 1904) oder Schwimmfährte von *Undina* bzw. anderen Fischen (ABEL 1930 u. 1935).

Fig. 2. Water-logged, but otherwise complete Perisphinctid shells rolled like wheels, performing little jumps each time they passed over the aperture and after they bounced to the ground again.
Weaker currents allowed the shell to sway and to move along a sinuous track in which not only the ventral ribs but also their dividing points have left impressions. Markings of this type in the Solnhofen lithographic limestones were formerly interpreted as tracks of tetrapods or of fishes swimming in groups over the soft mud.

Diesen Typ hat J. Walther (1904, S. 204, Abb. 21) als *Ichnium trachypodium* beschrieben und, indem er zwei benachbarte Sequenzen verknüpfte, als Fährte eines unbekannten Vierfüßlers mit faltenbedeckten oder behaarten Füßen gedeutet.

O. Abel (1930), dem außerdem noch andere Platten mit unpaaren Sequenzen vorlagen, erblickte darin die Abdrücke der gegliederten Schwanzflosse eines klinonektonisch schwimmenden Fisches *(Undina)*, womit allenfalls die seriale Vergesellschaftung zweier Formelemente, aber nicht der gleichmäßige Abstand aller Elemente erklärt war. Seine Erwägung, ob die Doppelspur auf ein laichendes Fischpärchen zurückgehe und wie sich dieser Befund mit der vermutlichen Viviparie von *Undina* vertrage, sei hier nur aus historischem Interesse erwähnt.

Die Rollmarken-Natur wurde dann von Prof. F. Mayr vor fast zwei Jahrzehnten erkannt und in der Beschriftung zu den Stücken der Eichstätter Schausammlung niedergelegt. Diese Deutung ist inzwischen durch A. Kolb (1961, Abb. 2) publiziert worden.

Streng mediane Abrollung erfolgt nur in kräftiger Strömung, welche dem Gehäuse die nötige Führung gibt. Bei schwächerem Strom oder größeren Gehäusen ist die Führung weniger straff und der rollende Perisphinct gerät ins Torkeln. Daß er dabei nicht umkippt, ist wieder der gängelnden Wirkung der Strömung zu verdanken: Bei der Schräglage biegt der Ammonit seitlich aus seiner Bahn. Dadurch trifft der Strom schräg auf die überhängende Flanke und drückt die Scheibe über die Vertikallage in die Gegenrichtung, bis sich dort derselbe Vorgang gegensinnig widerholt.

Die Rollmarken torkelnder Perisphincten beschreiben eine flache Sinus-Kurve, die sich mit der Periode der alternierenden Form-Elemente in Phase befindet und in deren Kehren durch Schräglage des Gehäuses oft noch die Gabelpunkte der Rippen abgedrückt sind (Abb. 2b). Außerdem sind die Aufprall-Marken dieser Variante im allgemeinen flacher und länger ausgezogen als die der gestreckten Form, was gewiß mit der geringeren Wucht der Bewegung zusammenhängt.

Auch diese Abart wurde von Abel (1930, Taf. 27, Fig. 4 u. Taf. 29) als Fisch-Schwimmspur gedeutet, aber wegen der vermeintlichen Spaltung der Flossenstrahlen auf andere, nicht-coelacanthide Fische bezogen.

Während unbeschädigte Perisphincten-Gehäuse der einen oder anderen der beschriebenen Rollbewegungen gehorchen, wird der Vorgang bei zerbrochenem Rollgut mitunter sehr viel komplizierter und hinterläßt sehr individuelle und schwerer deutbare Rollmuster.

Solange die Verletzung nur darin besteht, daß die Wohnkammerwand von der Mündung her abbröckelt, wird sie in gestreckten Rollmarken gar nicht oder höchstens durch eine Kerbe im Lee-Rand erkennbar (Abb. 2b). Beim Torkeln drückt sich an Stelle der Gabelpunkte die stehengebliebene Wohnkammer-Naht ab, aber im übrigen bleibt die Rollbewegung unverändert (Abb. 2c).

Die Radbewegung wird erst dann unmöglich, wenn die Wohnkammer hinter der Mündung aufbricht. Verstärktes Schlingern mit gelegentlichen Überschlägen ist zunächst die Folge. Wenn aber schließlich der zweite Aufbruch so groß geworden ist, daß das Gehäuse statt dem runden einen länglichen Umriß besitzt, geht das Rollen in eine Wälzbewegung quer zur Aufrollungsachse des Ammoniten über.

Abb. 3. zeigt einige Beispiele solch aberranter Rollmarken und die rekonstruierten Erzeuger. Diese Gehäuseruinen gewinnen allgemeineres Interesse, wenn man sie nicht als zufällige Gebilde, sondern als Folgen des Rollvorganges selber betrachtet. Sobald nämlich die ventrale Abrollung durch queres Wälzen abgelöst ist, erfolgt die Abnutzung rascher und wirkt auf walzenförmige Ammoniten-Ruinen hin, wie sie bei anderer Abnutzung oder zufälligem Zerbrechen kaum auftreten würden. Sollte es gelingen, derartige Rumpfformen in einer Ammonitenlagerstätte zu finden, so wäre damit ein indirekter Beweis für vorausgegangenen Rolltransport gegeben.

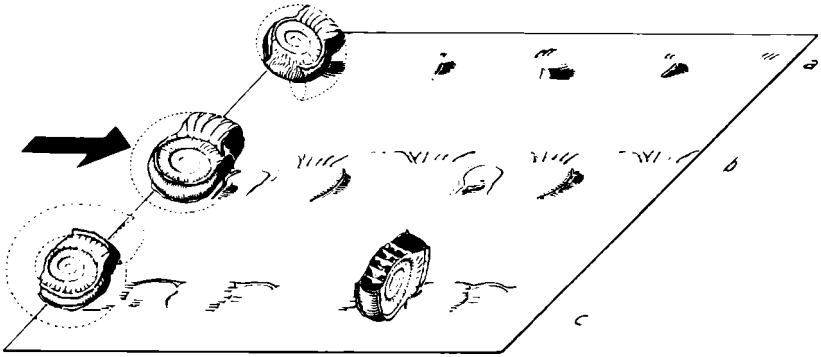

Abb. 3. Ein zweiter Durchbruch der Wohnkammer verhindert normales Abrollen. Solche Perisphincten-Gehäuse werden torkelnd quer zur Windungsebene gerollt und hinterlassen je nach Zerbrechungsgrad die verschiedensten Rollmuster. Die weitere Abrollung scheint auf walzenförmige Gehäuse-Ruinen hinzuwirken.

Fig. 3. If the body chamber breaks open apart from the aperture, wheel-like rolling becomes impossible. Such shells tumble laterally and produce puzzling tracks, the aspect of which depends largely on the state of fragmentation. Further wearing tends to produce elongate shell torsi.

B. Rollmarken von Aspidoceraten

Durch breit gerundeten Windungsquerschnitt und abweichende Lage der Angriffsflächen für die Strömung rollen *Aspidoceras*-Gehäuse schon im unverletzten Zustand anders als Perisphincten. Es ist eine

torkelnde Bewegung quer zur Windungsebene, bei der im wesentlichen zwei Varianten zu unterscheiden sind.

Das Abrollen über die breite Mündung (Abb. 4) ist zweifellos der stabilere und daher im Experiment leichter reproduzierbare Vorgang. Er vollzieht sich aber durch das Einstechen des Mundrandes mit erheblicher Reibung.

Beim zweiten Bewegungsmodus rollt das Gehäuse zwar mit geringerem Widerstand unmittelbar hinter der Mündung über die Externseite, befindet sich aber in diesem Augenblick in einer sehr labilen Lage. Rollmarken des zweiten Typs (Abb. 5) werden stets von größeren Sprüngen unterbrochen, wodurch sich die Periode des Musters verlängert. Außerdem sind die Knoten-Eindrücke schrammen- oder krallenförmig verlängert. Es hat also den Anschein, daß diese Variante einer höheren Strömungsgeschwindigkeit entspricht, in welcher die Gehäuse labiler, aber dafür rascher zu rollen vermochten. Der experimentelle Nachweis eines solchen Zusammenhanges in einem geeigneten Strömungskanal steht allerdings noch aus.

Eine Rollmarke (Abb. 4a, b) vom ersten Typ ist seit J. WALTHER (1904, Abb. 17) auf einen Dibranchiaten, von KLINGHARDT (1955) spezieller auf *Acanthoteuthis* bezogen worden. Dabei sollten die Knoten-Abdrücke (die bei abgebrochener Knotenspitze auch verdoppelt erscheinen können)

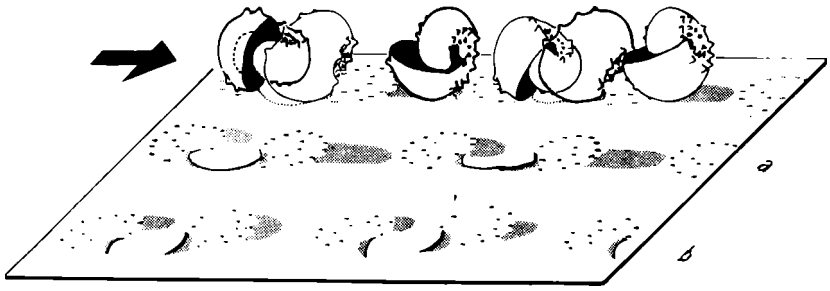

Abb. 4. Inflate Aspidoceraten werden auch unzerbrochen quer zur Windungsebene gerollt, wobei sich abwechselnd Lateral-Knoten, Mundrand und runde Extern-Seite abdrücken. Die bei mündungsseitiger Abrollung entstehende Marke wurde bisher als Fährte oder rhythmische Aufstoß-Marke eines Tintenfisches mit hakenbesetzten Armen *(Acanthoteuthis)* gedeutet. Die zweite Marke stammt von einem Gehäuse mit Scharte im ventralen Mundrand (unterbrochene Linie im linken Gehäuse).

Fig. 4. Due to their "inflated" shape, shells of *Aspidoceras* tumble and sway in lateral direction. The impressions of spines, aperture, and smooth ventral side alternate in the track which was formerly referred to *Acanthoteuthis*, a squid with hook-bearing arms.

auf die Haken-besetzten Arme, der Abdruck des Mundrandes auf einen fleischigen Fangtrichter oder (nach einer Bemerkung von H. SCHMIDT, ibid.) auf den ventralen Mantelrand zurückgehen. Die in diesem Fall sehr seichten, aber regelmäßigen Abrollungen der Externseite sind den früheren Bearbeitern offenbar nicht aufgefallen.

Noch mehr Aufsehen hat der zweite Markentyp erregt. Von J. WALTHER (1904, Abb. 10) als *Ichnium megapodium* auf einen großen, „flüchtigen" Vierfüßler bezogen, gaben derartige Funde Anlaß zur Anlage eines 20 m langen, nach NNW gerichteten Suchstollens. Natürlich stieß man weder auf den vermeintlichen, noch auf den wahren Erzeuger, weil die betreffenden *Aspidoceras*-Gehäuse entgegengesetzt gerollt sind. Immerhin hatte das Unternehmen den Erfolg, daß die bisher einzige Information über Erstreckung und ursprüngliche Orientierung solcher Rollmarken festgehalten wurden.

Später hat ABEL (1930 u. 1935, Abb. 164 = Abb. 5b der vorliegenden Arbeit) an Hand weiterer Stücke die alte Deutung weiter geführt und die Marke zur Schwimmfährte von *Eurysternum* erklärt. Auch in diesem Fall hat die zufällige, aber häufige Vergesellschaftung paralleler Rollmarken zur Fehldeutung beigetragen.

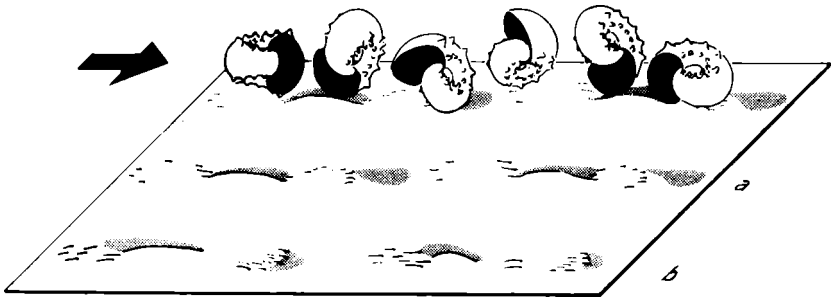

Abb. 5. Ein anderer Markentyp entsteht, wenn *Aspidoceras*-Gehäuse in stärkerem Strom ventral über die Mündung hinweg rollen. Die Eindrücke der Lateralknoten verlängern sich dann zu Schrammen und erinnern zusammen mit den beiden gerundeten Abrollungen der Extern-Seite an Eindrücke bekrallter Extremitäten. Daher galten parallel laufende Rollmarken dieses Typs („*Ichnium megapodium*") bisher als Schwimmfährten von Schildkröten.

Fig. 5. At higher velocities, an *Aspidoceras* shell rolls across the ventral rim, rather than the edge, of the aperture. In this case the smooth ventral side leaves two distinct impressions which may, in connection with the elongate impacts of the spines, look like the tracks of a claw-bearing tetrapod. So far they were referred to tortoises swimming near the sea floor.

C. Sonstige Rollmarken

Während man nach den bisher allein veröffentlichten Gelegenheitsfunden den Eindruck gewinnen mußte, es handle sich bei diesen Marken um seltene Ausnahme-Erscheinungen, so überzeugt die reiche Sammlung der Eichstätter Hochschule vom Gegenteil. Von den besprochenen Typen ist darin fast jeder durch mehrere Stücke und verschiedene Abwandlungen vertreten. Unter so buntem Rollgut sollte man eigentlich auch andere rollfähige Körper, wie Wirbel, Crinoiden-Stielglieder, Seeigel-Gehäuse, oder Belemniten erwarten.

Dennoch ist mir auf den Eichstätter Platten nur eine einzige wohldefinierte Rollmarke aufgefallen, welche mit Sicherheit nicht von einem Ammoniten-Gehäuse stammt. Sie besteht aus einer Folge von quer zum Strom verlaufenden Leisten unterschiedlicher Länge und Krümmung, welche in regelmäßigen Abständen mehrmals wiederkehren. Wahrscheinlich stammen die Eindrücke von den Kanten eines vollgesogenen Stücks Treibholz und haben darum kaum paläontologisches Interesse.

Im übrigen steht bei diesen wie bei anderen, nicht näher bestimmbaren Sequenzen (z. B. auch aus dem Hunsrückschiefer) die Art des Transportes außer Zweifel. Trotz verschiedenster Natur tragen sie nämlich alle die

Kennzeichen echter Rollmarken:

1. Regelmäßige Repetition von zwei oder mehr Form-Elementen innerhalb der Sequenz, ähnlich wie bei Fährten; aber
2. Streng linearen Verlauf;
3. Parallele und gleichsinnige Ausrichtung mit vergesellschafteten Strömungsmarken verschiedener Art (anderen Rollmarken, gefiederten Schleifmarken, Einstoßmarken oder Zapfenwülsten)[1].

D. Die Trusheim'sche Ammoniten-Kriechspur

Nur in einem einzigen Fall, nämlich bei der von Trusheim (1934) beschriebenen und analysierten „Ammoniten-Fährte" scheint die oben gegebene Erklärung nicht auszureichen.

Zwar stimmen wir mit Kolb (1961), S. 10 darin überein, daß es sich auch hier nicht um eine Lebensspur, sondern um eine bloße Marke handelt, die ein totes Perisphincten-Gehäuse hinterlassen hat. Das geht aus der sehr regelmäßigen Wiederholung des Musters innerhalb der Sequenz und vor allem aus ihrer Vergesellschaftung mit eindeutigen Rollmarken (vom Typ der Abb. 2a) und ebenfalls gleichsinnigen Einstoßmarken hervor. Die vermeintliche Fährte scheint sogar den oben

[1] Als Gegenbeispiel seien die früher (Seilacher 1962) beschriebenen vermutlichen *Phacops*-Fährten des Hunsrückschiefers erwähnt: Sie verlaufen zwar linear und parallel zu vergesellschafteten Schleifmarken, aber gegen den Strom!

für Rollmarken geforderten Kriterien zu entsprechen. Dennoch läßt sie sich keiner Rollbewegung eines ganzen oder fragmentären Gehäuses zuordnen.

Die einzelnen Elemente der „Fährte" sind zwar in sich nicht gleichmäßig abgeformt, lassen sich aber zu einem symmetrischen Muster ergänzen. In diesem stammt der erste, tiefe Eindruck (von TRUSHEIM mit „c" bezeichnet und auf einen Arm bezogen) von der steilen Ventralkante eines Ohres. Durch den Aufstoß gehemmt, kippte das hochkant und quer zur Strömung treibende Gehäuse zunächst auf die Externseite und neigte sich zugleich stromab. Beim drehenden Abrollen und geringfügigen Schleifen prägten sich die ventralen Rippen und deren leeseitige Spaltpunkte ab. Da aber beim Abrollen auch die Torkel-Bewegung zurückpendelte, verlagerte sich das Gehäuse wieder auf die Mündung zu und setzte schließlich nach einem tiefen Einstich des anderen Ohres wieder vom Boden ab (Abb. 5).

Die Hauptschwierigkeit dieser Deutung liegt darin, daß sich dasselbe Muster in kurzem und sehr regelmäßigem Abstand wiederholt

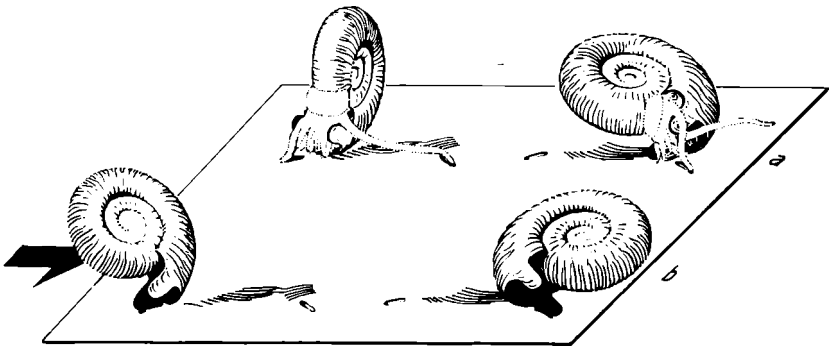

Abb. 6. Eine abweichend gestaltete Sequenz (Fundort: Painten) ist von TRUSHEIM als Kriechspur eines Perisphincten gedeutet worden. Dasselbe Muster kann aber auch durch wiederholtes Aufstoßen und seitliches Abrollen eines leeren, noch mit Ohren versehenen Gehäuses enstanden sein.
Die Rückkehr in die Ausgangsphase erfolgt für rollenden Überschlag zu rasch. Wahrscheinlich besaß das Gehäuse noch genug Gas-Auftrieb, um jeweils über die Schwimmstellung schrittweise weiter zu pendeln.

Fig. 6. This sequence of unusual impressions has been found together with ordinary ammonite roll marks in the Solnhofen limestones. It was originally interpreted as the track of a crawling ammonite (TRUSHEIM 1934). A shell drifting in vertical position may have produced equal patterns if it touched the ground intermittently and dragged, as well as rocked, down-current at every touch. In this case the specimen should be classified as a drag mark, rather than roll mark.

und daß die Mündung unmöglich durch einen rollenden Überschlag in die Ausgangsstellung der nächsten Phase gelangen konnte.

Vielleicht ist es nicht zufällig, daß nur bei dieser einen Marke die Ohren abgedrückt sind, obwohl sie eigentlich auch sonst, vor allem bei der Radbewegung, den Grund hätten berühren müssen. Dort sind sie aber als die exponiertesten Teile sicher schon nach kurzer Strecke abgebrochen.

Natürlich kann sich unter das Rollgut auch einmal ein frisches, aber nicht mehr voll schwebfähiges Gehäuse gemischt haben. In diesem Grenzstadium haben die Mündungen orthoconer Nautiloiden-Gehäuse z. B. im schottischen Silur symmetrische Aufsetzmarken hinterlassen (CRAIG & WALTON 1962, S. 111), und ich erinnere mich, solche Marken auch in regelmäßiger Sequenz gesehen zu haben. So weiß ich auch für die TRUSHEIM'sche Marke keine bessere Deutung als die eines frisch angetriebenen und noch aufrecht schwebenden Gehäuses, das nur intermittierend am Boden schleifte. Im gleichmäßigen Rhythmus des Aufsetzens mag sich der sanfte Wellengang einer dünnen Wasserschicht abbilden. Es wäre aber auch denkbar, daß allein Formgesetzlichkeiten des Gehäuses und die durch echte Rollmarken angedeutete gleichförmige, nahezu laminare Strömung einer solchen Repetition zugrunde liegen.

E. Geologische Auswertung

Durch ihre Polarität (die einzelnen Eindrücke haben wie alle Einstoßmarken flache Luv- und steilere Lee-Seite) liefern Rollmarken zuverlässige Strömungspfeile. Paläogeographische Vektoren dieser Art in den Plattenkalken zu kartieren und die Verteilung der Rollmarkenhorizonte im Profil zu ermitteln, wird die Aufgabe zukünftiger Geländebeobachtungen sein. Möglicherweise lassen sich auf diesem Weg Rahmen und Dynamik der Solnhofer „Lagune" besser fassen. Da die mit Marken bedeckten Oberflächen ganz bestimmte Ereignisse bezeichnen, könnten sie außerdem als scharfe Leithorizonte die genaue Parallelisierung benachbarter Profile ermöglichen.

Über die Richtungsangabe hinaus liefern die Rollmarken vielleicht sogar ein Maß für die Stromstärke, falls es gelingt, den exakten Zusammenhang zwischen dieser und der Roll-Weise einer bestimmten Gehäuseform und -Größe im Strömungskanal zu ermitteln.

Im Augenblick läßt sich nur sagen, daß die Vorkommen von Ammoniten-Rollmarken über das gesamte Gebiet der Solnhofer Schiefer verstreut liegen. Dabei scheinen sie im Westen (Solnhofen, Blumenberg, Wintershof) stets als Eindrücke auf der Oberseite der Flinze zu liegen, während sie im Osten (besonders bei Painten) als Ausgüsse auf Flinz-Unterseiten erhalten und mit gleichsinnig orientierten, flachen Zapfenwülsten (flute casts) vergesellschaftet sind, wie sie im übrigen nur subaquatisch entstehen. Beim Nachlassen der Strömung wurde im Westen eine tonige „Fäule", im Osten ein kalkiger Flinz abgelagert, der die Hohlformen getreu ausgoß. Wieweit dieser Gegensatz auch mit

einem regionalen Wechsel der petrographischen und stratinomischen Verhältnisse verbunden ist, bedarf ebenfalls noch der näheren Untersuchung.

Ergebnis:

1. Auch in den Plattenkalken begegnen wir den Cephalopoden-Gehäusen in zwei gegensätzlichen Situationen.
   a) Primär eingebettete Gehäuse sind bis auf diagenetische Veränderungen unverletzt und oft noch mit Aptychen versehen. Sie sanken in vertikaler Schwimmstellung zu Boden und wurden entweder in dieser Stellung eingebettet (breitrückige Aspidoceraten und Waagenien), oder sie kippten um (scheibenförmige Perisphincten), wobei von der Hochkantlage oft eine schmale Aufsetzmarke neben dem horizontal eingebetteten Gehäuse zurückblieb. Absatz und Einbettung erfolgen also in völlig unbewegtem Medium.
   b) Rollmarken dagegen stammen von Gehäusen, deren Gaskammern bereits mit Wasser oder Schlamm gefüllt und deren Wohnkammern häufig schon zerbrochen waren. Sie bezeugen eine kräftige, aber fast laminare Strömung, welche im Plattenkalkgebiet weder Erosionsrinnen, noch Schalenpflaster hinterließ, aber anderwärts aufgearbeitete Gehäuse als Rollgut durchschleuste, um sie erst in einem unbekannten Repositorium wieder abzulagern. Richtung und vielleicht sogar Stärke dieser Strömung sind aus den Rollmarken abzulesen.
2. Der Rolltransport hat seine Spuren nicht nur im Sediment, sondern auch an den Gehäusen selbst hinterlassen, die dabei in charakteristischer Weise abgenutzt und zerbrochen wurden. Derartige Gehäuse-Ruinen sind zunächst nur aus den Marken rekonstruierbar, könnten aber in Schalenpflastern vorausgegangene Rollverfrachtung beweisen.
3. Mit der Umdeutung vermeintlicher Fährten in Roll- und Schleif-Marken entfallen die Kronzeugen ortsständigen Lebens in der Solnhofener Lagune. Die angebliche Reptilfährte *Kouphichnium* wurde bereits durch Caster (1940) als *Limulus*-Fährte erkannt. Ferner ist *Ichnites rhamphorhynchiphylluri* Winkler (Walther 1904, Abb. 19) sicher nicht die Flugspur eines Flugsauriers, sondern eine Schleifmarke ähnlich derjenigen, welche durch Kolb (1951) im Zusammenhang mit einer undeutlichen Meduse gefunden wurde. Die Solnhofener Lagune erscheint nun mehr denn je als ein Ort des Todes, in dem nur die resistentesten Arten (*Limulus*, *Mecochirus* und einige Mollusken) noch eine Strecke weit zu kriechen vermochten, ehe auch sie zugrunde gingen.
4. Die Umdeutung macht auch die Kategorie der Schwimmfährten (Natichnia) gegenstandslos, durch welche die ichnologische Systematik eben erneut belastet werden sollte (A. H. Müller 1963).

III. Aufstoßmarken korrodierter Goniatiten im karbonischen Flysch der Ouachitas

Als drittes Beispiel seien Erscheinungen angeführt, welche sich zwar thematisch mit den oben beschriebenen eng berühren, die aber zeitlich und faziell einem völlig anderen Rahmen entstammen.

Die hier mitgeteilten Beobachtungen sind bei einer Exkursion angefallen, an der ich als Gast der Jersey Production Research Company (Tulsa) im Herbst 1961 teilnehmen konnte. Dieser Institution, mit der zusammenzuarbeiten ich auch im folgenden Jahr das Glück hatte, danke ich für diese Möglichkeit und für die Erlaubnis zur Publikation.

Persönlichen Dank schulde ich meinen beiden Begleitern, Dr. Ch. W. Campbell und Dr. C. Hoskins, ohne deren sachkundige Führung diese Untersuchungen unmöglich gewesen wären.

Die Schichtfolge des Ouachita-Troges, von der nachfolgenden Orogenese nur geringfügig verändert und durch Straßenanschnitte und Bohrungen gut erschlossen (vgl. Cline, Hilseweck & Feray 1959), könnte als Musterbeispiel eines geosynklinalen Sedimentationszyklus gelten. Im höheren Unterkarbon und tiefen Oberkarbon enthält sie eine mächtige Serie klastischer Sedimente, welche nach Lithologie, regelmäßiger Bankung und Gefügebestand völlig dem alpinen Flysch gleichen (Cline & al., 1959, S. 205). Auch die Ichnocoenose, welche ich in ausgezeichneter Erhaltung besonders in der Johns Valley Formation nachweisen konnte (Seilacher, im Druck, Abb. 2), ist nach Artenbestand (u. a. *Nereites*, *Lophoctenium*, *Phycosiphon*, *Chondrites*, *Paleodictyon*) und Erhaltung (viele sekundäre Hyporeliefs; Abhängigkeit von Bankdicke, vgl. Seilacher 1962) die einer bathyalen Turbidit-Fazies.

In Gesellschaft solcher Spuren fanden sich an der Südseite der „Hairpin Curve" (Oklahoma Highway 2, sec. 3, T. 3 N, R. 19 E, vgl. Cline & al. 1959, S. 197) eigentümliche Reihen scharfer, gewellter Eindrücke, welche sich durch ihre Regelmäßigkeit deutlich von den biogenen Sedimentstrukturen unterscheiden. Weitere Funde ergaben dann, daß es sich um Septenabdrücke von Goniatiten-Gehäusen handelt, welche in ganz bestimmter Weise beschädigt waren. Während die Ceratiten vor der Umlagerung ventralseitig gekappt und die Solnhofer Ammoniten offenbar beim Transport selber von der Wohnkammer her abgenützt wurden, handelt es sich hier vorwiegend um laterale Korrosion. Ähnliche Lobenmuster, wie sie hier abgedrückt sind, erhält man beim seitlichen Anschleifen körperlich erhaltener Goniatiten. Solche Beschädigung kann nicht beim Transport entstehen, sondern muß auf eine frühere Einbettung in Horizontal-Lage zurückgehen; denn auch in dieser Lage werden Goniatiten-Gehäuse — vor allem in bindigem Schlamm — leicht von der Schichtfläche her chemisch oder mechanisch korrodiert und bilden dann Ruinen von der Art, wie sie den beschriebenen Eindrücken zugrunde liegen.

Auch die im Ceratiten-Pflaster (Abb. 1) häufig zu beobachtende laterale Korrosion mag vielfach das Erbstück einer früheren horizontalen Einbettung sein. Infolge gleicher Orientierung lassen sich aber die ererbten Beschädigungen in diesem Fall nicht von denen unterscheiden, welche erst bei der jetzigen Einbettung entstanden sind.

Die Septenabdrücke aus den Johns Valley Shales haben also nicht nur paläontologisches Interesse als Hinweis auf Faunenelemente,

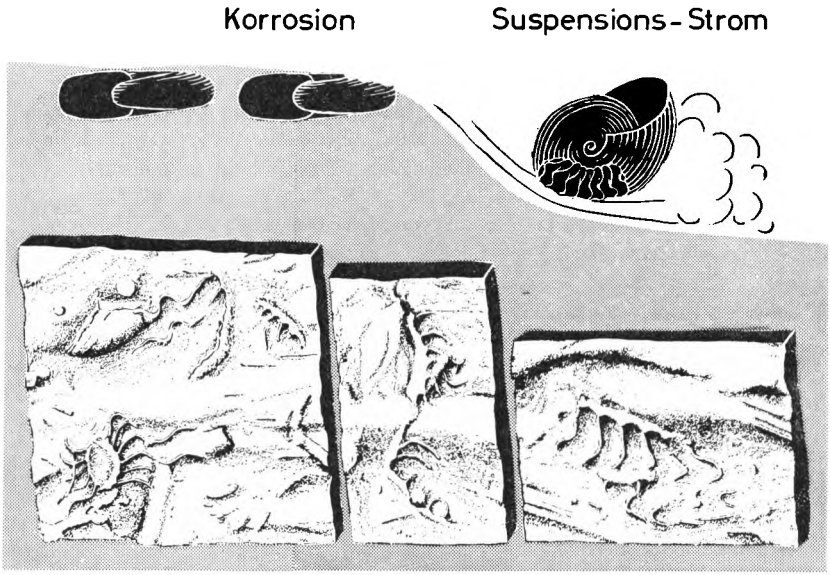

Abb. 7. Bei turbulentem Aufprall von Goniatiten-Ruinen entstandene Stoßmarken auf der Unterseite unterkarbonischer Turbidite (Stücke aus den Johns Valley Shales der Ouachita-Berge in Oklahoma; Göttinger Typenkatalog Nr. 551/2—4; 1/2). — Die schräg eintauchenden Gehäuseränder erscheinen zackig ausgebrochen, die Loben und Sättel der Septen je nach Abtrag ausgeflacht. Vorwiegend laterale Korrosion deutet auf längere Einbettung der Gehäuse in horizontaler Lage vor ihrer Verfrachtung durch den Suspensions-Strom.

Fig. 7. Septa and sharp edges of corroded goniatite shells have left clear impact marks when they hit the ground in a turbidity current. As most of the shells show lateral corrosion, they must have been embedded in a horizontal position previous to turbidity displacement. — Specimens from Lower Johns Valley (U. Mississippian), south side of Hairpin Curve Locality, Ouachitas sec. 3, T. 3 N, R. 19 E; 1/2.

welche wegen ihrer aragonitischen Zusammensetzung selbst nicht mehr erhalten sind, sondern sie beleuchten zugleich den Sedimentationsmechanismus, welcher diese Bänke nach heutiger Auffassung abgelagert hat. Als Resedimente schließen sie auch sonst vielfach Fossilien ein, welche bereits eine andere stratinomische Vorgeschichte hinter sich haben. Diese Körper aber wurden durch die turbulente Strömung nicht wie in Solnhofen kontinuierlich gerollt, sondern sie stießen ohne erkennbare Regel auf die freigefegte Unterlage.

Ergebnis:

1. Beim Aufprall von Ammonoideen-Gehäusen in stärker turbulenter Strömung entstanden kurze, ungeordnete Eindrücke.
2. Intakte Gehäuse hinterließen dabei ungerollte und oft bestimmbare Abdrücke der Außenskulptur (*Proshumardites* im Oberkarbon von Menorca, vgl. SCHINDEWOLF 1958; *Schlotheimia* in Stromrinnen des Lias-Sandsteins von Hüttlingen in Württemberg und der Helmstedter Gegend).
3. Korrodierte Gehäuse haben vor allem die freien Bruchränder von Außenwand und Septen im tonigen Substrat abgedrückt. Die hier beschriebenen Beispiele stammen aus einem Turbidit, wo sie die Rolle aufgearbeiteten Materials unterstreichen. Wieweit entsprechende Marken auch in Lithotopen geringerer Turbulenz vorkommen, bleibt abzuwarten.
4. Es bleibt ferner zu prüfen, ob die aus Flyschgebieten beschriebenen Rollmarken von Fischwirbeln (PAVONI 1959; STANISLAW & SLACZKA 1959) und Ammoniten (DZULYNSKI & SANDERS, Conn. Acad. Arts Sci, **42**, 1962) nicht etwa den randlichen Bereichen angehören, in denen die Suspensions-Ströme in weniger turbulenter Bewegung ausgeklungen sind.

IV. Nachweis schwacher Umlagerung durch umorientierten Bewuchs

Dem Wortsinn nach braucht Umlagerung keineswegs mit Verfrachtung verbunden zu sein. Auch geringfügige Lageveränderungen gehen meist auf Wasserbewegung zurück und verdienen dadurch stratinomisches Interesse. Solche Umlagerungen nachzuweisen, gelingt nach F. SCHMID (1949) mit Hilfe böschungs-orientierter Epöken.

Aus der spezifischen Orientierung der Aufsiedler (vgl. auch SEILACHER 1954 und 1960, Abb. 1) läßt sich das Inkrustationszentrum (= höchster Punkt) und damit die einstige Lage eines fossilen Körpers eindeutig bestimmen. Hat sich diese Lage in einem durch Befall und Wachstum der Epöken registrierbaren Zeitabstand geändert, so besitzen die verschiedenen Siedlergenerationen am selben Körper abweichende Inkrustations-Zentren.

Diese Erkenntnis, von F. SCHMID an kretazischen Echiniden gewonnen, läßt sich ohne weiteres auf Cephalopoden-Gehäuse übertragen. Diese wurden zwar gelegentlich schon zu Lebzeiten (SCHINDEWOLF

1934, SEILACHER 1960), in weit stärkerem Maß jedoch nach dem Tode des Tieres von allerlei Epöken befallen. Dabei wird — dem Angebot an steilen Siedlungsflächen entsprechend — der prämortale Bewuchs bei hochmündigen, der postmortale dagegen bei breitmündigen Ammoniten die beste Orientierung zeigen.

So ist es nicht ganz zufällig, wenn hier als Beispiel gerade ein *Teloceras* erscheint (Abb. 8). In Seitenlage bot sein breiter Rücken eine ideale Ansatzfläche, auf der sogar so unregelmäßige Epöken wie die Serpeln durch Steilheit und Rippen-Raster zu orientiertem Wachstum gezwungen wurden. Außerdem waren Epizoen durch geringe Sedimentation, gute Durchlüftung und reiches Angebot an suspendierter Nahrung im Bildungsraum der Coronaten-Schichten offenbar besonders begünstigt, und nicht zuletzt werden ihre Reste von dem weich abbröckelnden Gestein leichter freigegeben, als etwa von glatt abspringenden Kalken.

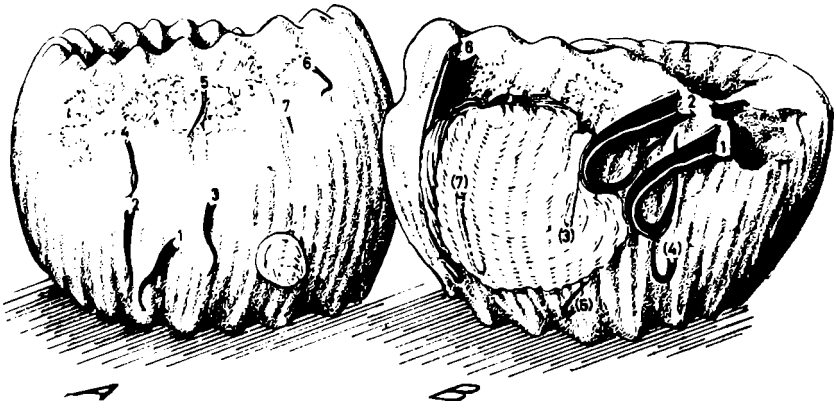

Abb. 8. Kalzitische Aufsiedler, jetzt infolge diagenetischer Auflösung der Aragonit-Unterlage dem Steinkern aufsitzend, registrieren durch böschungs-orientierten Wuchs die einstige Lage des toten *Teloceras*-Gehäuses. Als dieses durch Wasserbewegung umgewendet wurde, konnten die Serpeln durch U-förmige Krümmung erneut dem Licht und der Nahrung entgegenwachsen, während die Auster in der alten Orientierung weiterwuchs. — Nach einem Stück aus dem Dogger δ von Boll; Göttinger Typenkatalog Nr. 551/5.

Fig. 8. Calcitic shells of epizoans (they now adhere to the internal cast because the aragonitic ammonite shell was dissolved during diagenesis) indicate by their slope orientation how the dead *Teloceras* lay at the sea floor. After a turnover, most of the serpulids (numbered 1—7, according to time of attachment) managed to turn their apertures back to an upward direction, while the oyster could not help to grow on with a wrong slope orientation.
was unable to secondary adjustment.

Ergebnis:

1. Die aus umorientierten Epöken ablesbaren Umlagerungen waren zu geringfügig, um sonstige Spuren zu hinterlassen.
2. Solche Umlagerung hat bei Ammoniten, deren beide Flanken als Liegeflächen gleichwertig sind, häufiger als bei polar gebauten Muschelklappen oder Echiniden die geopetale Orientierung verändert.
3. Das angeführte Beispiel deutet auf einen Biotop, in welchem eine dauernde Wasserbewegung zwar den Schlickabsatz verzögerte und auf geeigneten Unterlagen eine reiche Epifauna aus inkrustierenden und schalenbohrenden Organismen entstehen ließ, wo aber die Turbulenz selten ausreichte, die am Grund liegenden Gehäuse auch nur geringfügig zu bewegen.

V. Umlagerung von ordovizischen Endoceren-Gehäusen

(Abb. 9)

Da die vorstehenden Betrachtungen zunächst nur eingerollte Cephalopoden-Gehäuse betrafen, seien als Nachtrag einige Beobachtungen an orthoconen Endoceraten des norwegischen Ordoviziums mitgeteilt, welche erst nach Abschluß des Manuskripts bei einer Instituts-Exkursion angefallen sind.

Wie schon länger bekannt (z. B. Geol. Guide to Oslo and District, 1957, S. 48), liegen *Endoceras*-Gehäuse fast immer so im Gestein, wie sie wahrscheinlich auch im Leben orientiert waren, nämlich horizontal und mit der Ventralseite nach unten gerichtet. Freilich handelt es sich dabei nicht um eine fixierte Schwimmstellung, sondern um die natürliche Gleichgewichtslage auch des vollgelaufenen Gehäuses, das mit den randständigen und durch Endokone zusätzlich beschwerten Sipho wie ein Stehaufmännchen gebaut war.

In dieser primären Einbettungslage ging die ohnehin dünnere Dorsalwand des Gehäuses vor der endgültigen Eindeckung meist durch Korrossion oder Abtrag verloren, so daß im vertikalen Bruch nur die Sipho-Querschnitt geschlossen erscheint, während das Gehäuse eine offene Schale bildet.

Würden solche, in dachrinnenförmige Gebilde verwandelte Endoceren nach Art der Ceratiten umgelagert, so würde ihre sekundäre Einbettungslage nicht mehr durch die Schwergewichts-Verteilung, sondern durch den Reibungswiderstand bestimmt. Wie Muschelklappen müßten die gekappten Gehäuse nun mit den scharfen Bruchkanten im Schlamm und mit der Wölbung nach oben am Grunde des verfrachtenden Wasserstromes liegenbleiben, also genau umgekehrt wie bei der ersten Einbettung.

Eine derartige Umorientierung ist in den *Endoceras*-Kalken Skandinaviens offenbar nur selten eingetreten, denn Kappung und Sipho-Lage gelten dortzulande als zuverlässiges Kriterium für Ober- bzw. Unterseite einer Bank. Eigene Beobachtungen in anstehendem *Endoceras*-Kalk (Stufe 3cγ) des Oslo-Gebietes haben diese Regel durchaus

bestätigt, und zudem gezeigt, daß die Gehäuse dort in Streulage und ohne deutliche Einsteuerung, also wahrscheinlich in recht stillem Wasser abgelagert wurden.

Indessen machte mich Herr Kollege PLESSMANN in der Klosterruine von Hovedøya auf einen Block von Endoceren-Kalk aufmerksam, in dem zumindest eines der angeschnittenen Gehäuse nach Kappung und Sipho-Lage gegensinnig zu den Endoceren im tieferen Teil der selben Bank eingekippt ist. Während „verkehrte" Einkippung hier als Ausnahme-Erscheinung auftritt, ist sie in Lithotopen mit stärkerer Wasserbewegung häufiger oder sogar als Regelfall zu erwarten. Entsprechende Untersuchungen an anderen Endoceren-Kalken, zumal an solchen mit pflasterartiger Anreicherung und paralleler Einsteuerung der orthokonen Gehäuse sind jedoch noch erforderlich, um diese Hypothese zu erhärten.

Ergebnis

Endoceren-Gehäuse wurden vermutlich gegensinnig eingekippt, je nachdem sie bei der endgültigen Einbettung noch unverletzt oder von einer früheren Einbettung her bereits in typischer Weise gekappt gewesen sind. Sie erfahren dadurch zwar als Geopetal-Gefüge eine gewisse Abwertung, können aber als sedimentologische Testkörper zur Unterscheidung heteropischer Kalke herangezogen werden.

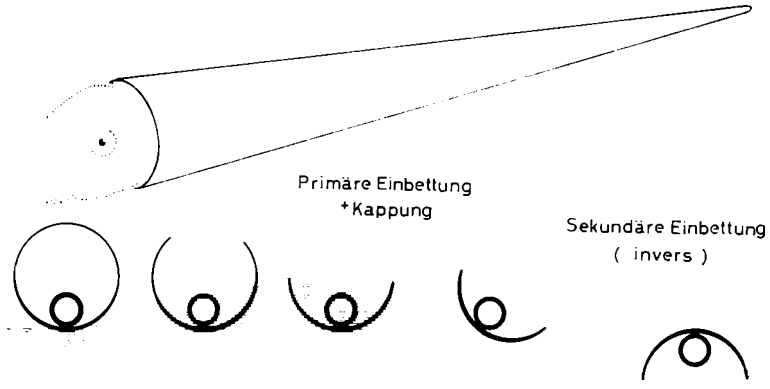

Abb. 9. Die primäre Einbettungslage intakter *Endoceras*-Gehäuse entsprach der vermutlichen Schwimmstellung. In dieser Lage gekappte Gehäuse blieben jedoch bei Umlagerung überkippt liegen.

Fig. 9. Orientation of complete *Endoceras* shells in the sediment is controlled by the position of the heavy siphuncle. If corroded in this state, the shells will be inverted during subsequent re-deposition.

Schriften

Abel, O.: Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit, 2. Aufl. — 643 S., 507 Abb., 1 Taf., Jena 1922.

— Fährtenstudien. I. Über Schwimmfährten von Fischen und Schildkröten aus dem lithographischen Schiefer Bayerns. — Palaeobiologica, **3**, 371—412, Taf. 25—30, Wien und Leipzig 1930.

— Vorzeitliche Lebensspuren. — 644 S., 530 Abb., Jena 1935.

Caster, K. E.: Die sogenannten „Wirbeltierspuren" und die Limulus-Fährten der Solnhofener Plattenkalke. — Paläont. Z., **22**, 12—29, Berlin 1940.

Cline, L. M., Hilseweck, W. J. & Feray, D. E.: Ouachita Symposium. — Dallas Geol. Soc. Ardmore Geol. Soc., 208 pp., Dallas, Texas, 1959.

Craig, G. Y. & Walton, E. K.: Sedimentary Structures and Palaeocurrent Directions from the Silurian Rocks of Kirkcudbrightshire. — Trans. Edinburgh Geol. Soc., **19**, (1), 100—119, Edinburgh 1962.

Hölder, H.: Alter Meeresboden im Museum. — Aus der Heimat, **68**, 131 bis 139, Öhringen 1960.

Hollmann, R.: Über Subsolution und die „Knollenkalke" des Calcare Ammonitico Rosso Superiore im Onte Baldo (Malm; Norditalien). — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1962**, 163—179, 8 Abb., Stuttgart 1962.

Klinghardt, F.: Neue Deutung einer scheinbaren Kriechspur eines Tintenfisches aus dem Solnhofener Plattenkalk. — Paläont. Z., **29**, 79—82, Taf. 7, Stuttgart 1955.

Kolb, A.: Die erste Meduse mit Schleifspur aus den Solnhofener Schiefern. — Geol. Bl. NO-Bayern, **1**, 63—69, Taf. 1, Erlangen 1951.

— Die Ammoniten als Dibranchiata. Untersuchung einer Schleifmarke aus den Solnhofener Schiefern. — Geol. Bl. NO-Bayern, **11**, 1—26, 2 Taf., 5 Abb., Erlangen 1961.

Kuhn, O.: Die Tier- und Pflanzenwelt des Solnhofener Schiefers. — Geologica Bavarica, **48**, 68 S., 1 Abb., München 1961.

Mayer, G.: Bruchsaler Ceratiten. — Der Aufschluß, **7**, 41—44, 1956.

Müller, A. H.: Zur Ichnologie, Taxiologie und Ökologie fossiler Tiere. — Freib. Forsch.-H., C **151**, 1—30, 21 Abb., 9 Taf., Berlin 1962.

Pavoni, N.: Rollmarken von Fischwirbeln aus den oligozänen Flyschschiefern von Engi-Matt (Kt. Glarus). — Eclogae geol. Helvet., **52**, 941—949, Basel 1959.

Reineck, H.-E.: Über Zeitlücken in rezenten Flachsee-Sedimenten. — Geol. Rdsch., **49**, 149—161, 3 Abb., 5 Tab., Stuttgart 1960.

Reyment, R. A.: Some factors in the distribution of fossil cephalopods. — Stickholm Contr. Geol., **1**, (6), 97—184, 24 Abb., 7 Taf., Stockholm 1958.

Rothpletz, A.: Über die Einbettung der Ammoniten in den Solnhofener Schichten. — Abh. bayer. Akad. Wiss., 2. Kl., **24**, München 1910.

Schindewolf, O. H.: Über Epöken auf Cephalopoden-Gehäusen. — Paläont. Z., **16**, 15—31, Taf. 2, Berlin 1934.

SCHINDEWOLF, O. H.: Über eine Namur-Fauna von Menorca. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1958, 1—8, 9 Abb., Stuttgart 1958.

— Über Aptychen (Ammonoidea). — Paleontographica, Abt. A, **111**, 1—46, Taf. 1—9, 6 Abb., Stuttgart 1958.

SCHMID, F.: Orientierte Anheftung von *Ostrea vesicularis* LAMARCK, *Dimyodon nilssoni* HAGENOW und *Crania parisiensis* DEFRANCE. — Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, **19**, 53—66, 2 Taf., Hamburg 1949.

SEILACHER, A.: Ökologie der triassischen Muschel *Lima lineata* (SCHLOTH.) und ihrer Epöken. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1954, 163—183, 8 Abb., Stuttgart 1954.

— Epizoans as a Key to Ammonoid Ecology. — J. Paleont., **34**, 189 bis 193, 3 Abb., Tulsa, Okla., 1960.

— Form und Funktion des Trilobiten-Daktylus. — Paläont. Z. (H. SCHMIDT-Festband), 218—227, 2 Abb., Taf. 24—25, Stuttgart 1962.

— Biogenic sedimentary structures. — Palökologie-Symposium der Paleont. Soc. in Cincinnati, 1961 (im Druck).

STANISLAW, D. & SLACZKA, A.: Directional structures and sedimentation of the Krosuo Beds (Carpathian flysch). — Ann. Soc. geol. Pologne, **28**, Warschau 1959.

TRUSHEIM, F.: Eine neue Lebensspur aus den lithographischen Schiefern Süddeutschlands. — Paläont. Z., **16**, 1—14, Taf. 1, 2 Abb., Berlin 1934.

WAGNER, G.: Riffbildung als Maßstab geologischer Zeiträume. — Aus der Heimat, **49**, 157—160, 5 Abb., Taf. 49—51, Öhringen 1936.

WALTHER, J.: Die Fauna der Solnhofener Plattenkalke. — Jenaische Denkschr. Mediz. naturwiss. Ges., **11**, 135—214, Taf. 8, 21 Abb., 1904.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 29. Mai 1963.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. A. SEILACHER, Geol.-Paläont. Institut der Universität, 34 Göttingen, Berliner Straße 28.