

## Untersuchungen über den Biotop der Solnhofener Plattenkalke

VON VOLKMAR JANICKE, München<sup>1)</sup>

Mit 21 Abbildungen und Tafeln 6—10

### Zusammenfassung

In den Plattenkalkbrüchen bei Daiting, Haunsfeld, Pfalzpaint, Painten und Hennhüll (Untertithon) wurden Untersuchungen auf Wasserbedeckung und Wasserbewegung, Einbettung von Fossilien und Lebensverhältnisse der Ablagerungsräume durchgeführt. Sichere Anzeiger für Trockenfallen wurden nicht gefunden. Durch Rippelmarken und eingeregelter Fossilien läßt sich Strömung und Oszillation nachweisen. Zahlreiche Formen von Schichtflächenstrukturen konnten als Synärese-Erscheinungen gedeutet werden. Bisher als Trockenrisse aufgefaßte polygonale Strukturen sind danach unter Wasserbedeckung entstanden. Als Folge von Synärese sind auch die rauhen Schichtflächen zu deuten. Die Kenntnis ihrer Ausbildung ermöglicht oft nachträgliche Hangend-Liegend-Orientierung von Plattenkalkstücken. Die Lage von Fossilien läßt häufig einen Auftrieb des Körpers im unverhärteten Sediment erkennen. Lebensspuren sind sehr selten. Lebensmöglichkeiten waren nur örtlich und zu gewissen, eng begrenzten Zeitabschnitten gegeben. Die im Ablagerungsbereich zu findenden Tierreste sind entweder bereits tot eingedrifftet oder starben innerhalb kurzer Zeit.

### Summary

This paper presents a biotope study of the lower Tithonian Solnhofen lithographic limestones. Investigations were directed at certain quarries near Daiting, Haunsfeld, Pfalzpaint, Painten and Hennhüll. Sedimentary structures and burial of fossils suggest continuity of the sea. Ripplemarks and current-oriented fossils present evidence of unidirectional water movement and oscillation. Structures on bedding planes were found to be created by syneresis. All structures thought to be mud cracks can be explained by subaquatic shrinkage. Syneresis-structures permit recognition of top and bottom even in dislocated slabs, a venture which is otherwise almost impossible. Due to differences in specific weight the animals carcasses

<sup>1)</sup> Dr. VOLKMAR JANICKE, Dipl.-Geologe, Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie, 8 München 2, Richard-Wagner-Straße 10/II.

frequently became uplifted while the sediment was still oozy. Ichnofossils are very scarce. Life was possible in restricted areas and at limited times only. The animal remains buried were either dead before they reached the bottom or were in the state of dying.

## Inhalt

A. Einleitung . . . . .	118
1. Historisches . . . . .	118
2. Abgrenzung der Untersuchungen . . . . .	121
B. Stratigraphie und Petrographie der Plattenkalkvorkommen . . . . .	121
1. Daiting . . . . .	123
2. Haunsfeld . . . . .	125
3. Pfalzpaint . . . . .	125
4. Painten . . . . .	127
5. Hennhüll . . . . .	127
C. Spezielle Untersuchungen . . . . .	128
1. Strömungsanzeiger . . . . .	128
a) Rippeln . . . . .	128
b) Roll- und Schleifmarken . . . . .	131
c) Eingeregelte Fossilien . . . . .	132
2. Synärese . . . . .	142
3. Fossil und Sediment . . . . .	145
a) Erhaltung . . . . .	145
b) Verteilung . . . . .	147
c) Einbettung . . . . .	150
d) Lebensspuren . . . . .	163
D. Auswertung der Ergebnisse . . . . .	164
1. Biotop . . . . .	164
a) Wasserbedeckung . . . . .	164
b) Wasserbewegung . . . . .	167
c) Lebensmöglichkeiten . . . . .	170
2. Sediment . . . . .	172
a) Beschaffenheit . . . . .	172
b) Genese . . . . .	172
c) Diagenese . . . . .	174
3. Hangend — Liegend — Orientierung . . . . .	175
E. Schriftenverzeichnis . . . . .	176

## A. Einleitung

### 1. Historisches

Wie kein anderes Steinbruchgebiet im süddeutschen Raum hat das der Solnhofener Plattenkalke seit langem das Interesse in- und ausländischer Geologen und privater Sammler gefunden.

Ausgrabungen beweisen, daß bereits zu Beginn unserer Zeitrechnung die hier vorkommenden Plattenkalke von den Römern genutzt wurden.

FRISCHMANN (1853), dem wir den ersten Überblick über Geschichte des Abbaues und bekanntgewordene Fossilien verdanken, erwähnt eine Urkunde aus dem

Jahre 1674, in der Abbaurechte bei Mörsheim geregelt werden. Aus diesem Dokument geht hervor, »... daß schon lange vorher der technische Betrieb dieser Steine im Gange war« (FRISCHMANN 1853, S. 2).

Von höchster Bedeutung für die Ausweitung des Abbaues der Kalk-Platten war die Entdeckung der Lithographie durch SENEFELDER, dessen erste Versuche in das Jahr 1793 fallen. Seine Technik wurde um 1796 entscheidend verbessert und fand in den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts ihre Anwendung im Großen.

Weiteren Aufschwung nahm der Steinbruchbetrieb, als 1828 WEITENHILLER begann, aus schwächeren, nicht für Hausbau oder Lithographie zu verwendenden Lagen, Dachplatten zu formatisieren.

Heute haben die Plattenkalkvorkommen für die Lithographie keine Bedeutung mehr, auch Dachplatten werden seit einigen Jahrzehnten kaum noch hergestellt. Ihre Verwendung beschränkt sich in jüngerer Zeit auf Wand- und Gartenplatten sowie „Mauersteine“. Hier sind sie ein in vielen Fällen bevorzugter Baustoff.

Die beim Abbau gelegentlich zu findenden, oft hervorragend erhaltenen Fossilien erregten schon früh das Interesse der Wissenschaftler. Erste Beschreibungen verdanken wir BAIER (1730) und KNORR & WALCH (1755). Im vorigen Jahrhundert waren es vor allem v. MEYER, Graf zu MÜNSTER und WAGNER, die durch zahlreiche Veröffentlichungen Kunde von den Funden aus den „lithographischen Schiefen“ gaben.

Gedanken zur Entstehung der Plattenkalke sprach als erster FRISCHMANN (1853) aus. Aus dem Fossilinhalt schließt er auf sehr ruhig sedimentierte marine Ablagerungen in Festlandsnähe. Ferner nimmt er an, daß die überlieferten Tiere meist schon tot waren, als sie auf dem Sediment zu liegen kamen.

Nach der Auffassung von NEUMAYR (1887) wurde das Material „... als feiner Kalkschlamm von einem benachbarten festen Lande herbeigebracht“ (S. 318) und in Buchten, die keine freie Verbindung zum offenen Meer hatten, abgelagert.

Die Ansicht einer organischen Entstehung der Plattenkalke wurde erstmals 1889 durch v. GÜMBEL geäußert. Er vermutete, daß „... auch das Material der dichten Kalksteine zum großen Teil aus einer Anhäufung solcher Coccolithen besteht, welche entweder so dicht aufeinander gepreßt sind, daß man sie in Dünnschliffen nicht mehr einzeln unterscheiden kann, oder durch den diagenetischen Umwandlungsprozess in krystallinische Kalktheilchen übergeführt worden sind“ (GÜMBEL 1889, S. 13). Diese Überlegungen konnten in jüngster Zeit FLÜGEL (1967) und FLÜGEL & FRANZ (1967) mit Hilfe von elektronenmikroskopischen Untersuchungen zum Teil bestätigen.

WALTHER (1904) gibt in seinem Werk einen damals umfassenden Überblick über Geologie und Paläontologie des Plattenkalkes. Hinsichtlich der Entstehung vertritt er die Meinung, daß in weite Lagunen Staub vom Festland eingeweht und Kalkschlamm von abgestorbenen Riffen eingeschwemmt wurde.

ROTHPLETZ (1909) kommt zu dem Schluß, daß die Ablagerungen in sehr kurzer Zeit (250—500 Jahren) erfolgt sein müßten und erklärt die Herkunft durch Einwehung gewaltiger Staubmassen von einem Festland. Zwischenzeitlich erfolgten

immer wieder Überflutungen, welche die Staublagen in Schlamm verwandelten und einebneten. Bei diesen Überschwemmungen wurden zahlreiche Meerestiere mit eingeschwemmt.

Ähnlicher Auffassung ist SCHWERTSCHLAGER (1919 u. 1926), der das Ablageungsgebiet mit einem rezenten Wattenmeer vergleicht. Außer der Theorie der Einwehungen und Einschwemmungen wird von ihm auch die Möglichkeit chemischer Ausfällung erörtert. Besonders für die dickbankigen, festen Ablagerungen bei Zandt möchte SCHWERTSCHLAGER diese Entstehung gelten lassen (1926, S. 153).

ABEL gab in seinen Arbeiten (vor allem 1927 u. 1935) Einblick in damalige Lebensbedingungen. Auch er spricht sich für Einwehung von Festlandsmaterial in flache Meeresbecken aus.

KRUMBECK (1928a) wendet sich gegen die Theorie festländischer Einwehungen und vermutet rein marine Entstehung des Sedimentes. Er lehnt sich an die Auffassung v. GÜMBEL's an.

WIMAN (1936) denkt an episodisches Trockenfallen des Lagunenbereiches und stützt sich dabei besonders auf die eigentümliche Erhaltung von *Leptolepis*.

1940 untersuchte ROLL die genaue stratigraphische und paläogeographische Stellung der Plattenkalke.

KOLB (1951, 1961 u. 1967) beschäftigt sich besonders mit der Deutung von Marken und Spuren, die durch organische Einwirkung auf das Sediment entstanden sind.

MAYR, der durch jahrzehntelange Aufsammlungen, besonders im Gebiet um Eichstätt, zur Erforschung der Plattenkalke beitrug, veröffentlichte 1966 eine Arbeit über Fossileinbettung und 1967 einen Überblick über Paläobiologie und Stratonomie der Plattenkalke.

In den letzten Jahren wurden in verschiedenen Arbeiten des Erlanger Geologischen Institutes Neukartierungen und feinstratigraphische Aufnahmen durchgeführt (STREIM 1961, FESEFELDT 1962, BAUSCH 1963a, v. FREYBERG 1964 u. 1968, ZEISS 1964, v. EDLINGER 1964 u. 1966).

BARTHEL (1964 u. 1966) unternahm es in neuerer Zeit als erster, die Entstehung der Solnhofer Plattenkalke nach modernen Gesichtspunkten zu diskutieren.

Vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Schwerpunktprogrammes „Sedimentforschung“ von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert, wofür ich an dieser Stelle danken möchte. Herrn Prof. Dr. R. DEHM und Herrn Priv.-Doz. Dr. K. W. BARTHEL gebührt für zahlreiche Anregungen und Ratschläge mein herzlicher Dank. Herrn Priv.-Doz. Dr. H.-E. REINECK vom Institut für Meeresgeologie und Meeresbiologie „Senckenberg“ in Wilhelmshaven danke ich für viele wertvolle Hinweise während meines Studienaufenthaltes an seinem Institut. Für zahlreiche kritische Diskussionen danke ich den Herren Drs. R. FÖRSTER, D. HERM, Chr. KLÖREN, W. JUNG, G. SCHAIRER und P. WELLNHOFER.

Schließlich ist es mir eine angenehme Pflicht, den Arbeitern der Plattenkalkbrüche zu danken, die Hinweise auf besonders interessante Lagen gaben oder mir für die Arbeit bedeutungsvolle Stücke überließen.

## 2. Abgrenzung der Untersuchungen

Ausgehend von den Ergebnissen BARTHEL's (1964) war es Aufgabe, weitere Erkenntnisse zur Bildung der untertithonischen Plattenkalke zu erarbeiten. Zur Untersuchung kamen die Brüche von Daiting (gröberes Material, fossilreich), Haunsfeld (zahlreiche Ammonitenreste und Grabgänge), Pfalzpaint (kräftige Rippeln, gut erhaltene Medusen), Painten (Rippeln und Rollmarken) sowie Hennhüll (Schill-Lagen, deutliche Anzeichen unruhiger Sedimentation). Verschiedentlich wurde auch auf andere Lokalitäten Bezug genommen, wenn diese besonders typisch oder für einen Vergleich von Interesse waren.

Es sollten lokale Eigentümlichkeiten der Ausbildung des Gesteins, Fossilinhalt der Bänke und die Erhaltung und Lage der Fossilien untersucht werden. Weiterhin war zu erhoffen, durch zahlreiche Richtungsmessungen von fossilen Resten klären zu können, inwieweit diese bei Wasserbewegung ihre Lage änderten und als Richtungsanzeiger zu verwenden sind.

Besonderes Augenmerk wurde auf die schon immer problematische Frage gerichtet, ob häufiges Trockenfallen oder stete Wasserbedeckung für den Ablagerungsraum typisch war. Die Geländearbeiten erstreckten sich über die Sommermonate 1964—1966. Alle folgenden Beobachtungen beschränken sich auf die während dieser Zeit zugänglichen Lagen.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Stücke befinden sich, soweit nicht anders vermerkt, im Besitz der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie in München und sind unter der Nummer 1964 XXIII inventarisiert.

### B. Stratigraphie und Petrographie der Plattenkalkvorkommen

Das Verbreitungsgebiet der untertithonischen Plattenkalke der südlichen Frankenalb liegt etwa zwischen Donauwörth und Treuchtlingen im Westen und Kelheim und Hemau im Osten (Abb. 1).

Wichtige Erkenntnisse über die stratigraphische Gliederung verdanken wir besonders v. GÜMBEL (1891), SCHNEID (1914), KRUMBECK (1928b) und ROLL (1940). Ihre Ergebnisse waren Ausgangspunkt weiterer Untersuchungen, die in den letzten Jahren besonders vom Geologischen Institut der Universität Erlangen durchgeführt wurden (FESEFELDT 1962, v. FREYBERG 1964 u. 1968, u. a.). Seither dürfte die stratigraphische Stellung der einzelnen Bruchreviere mit Sicherheit geklärt sein. Im folgenden wird auf die Ergebnisse Bezug genommen.

Obwohl die hellgrauen bis gelblichen, gut gebankten Ablagerungen des Weißjura zeta 1 bis zeta 3 der südlichen Frankenalb bei erster Betrachtung recht uniform wirken, ist es bei näherer Untersuchung des Materials meist möglich, unterschiedliche Ausbildung in einzelnen Bruchgebieten festzustellen. SCHWERTSCHLAGER (1919, S. 18) wies schon darauf hin, als er zur Herkunft von Fossilfunden bemerkte: »Die meisten Sachen kommen . . . von der näheren Umgebung Eichstatts, wäh-

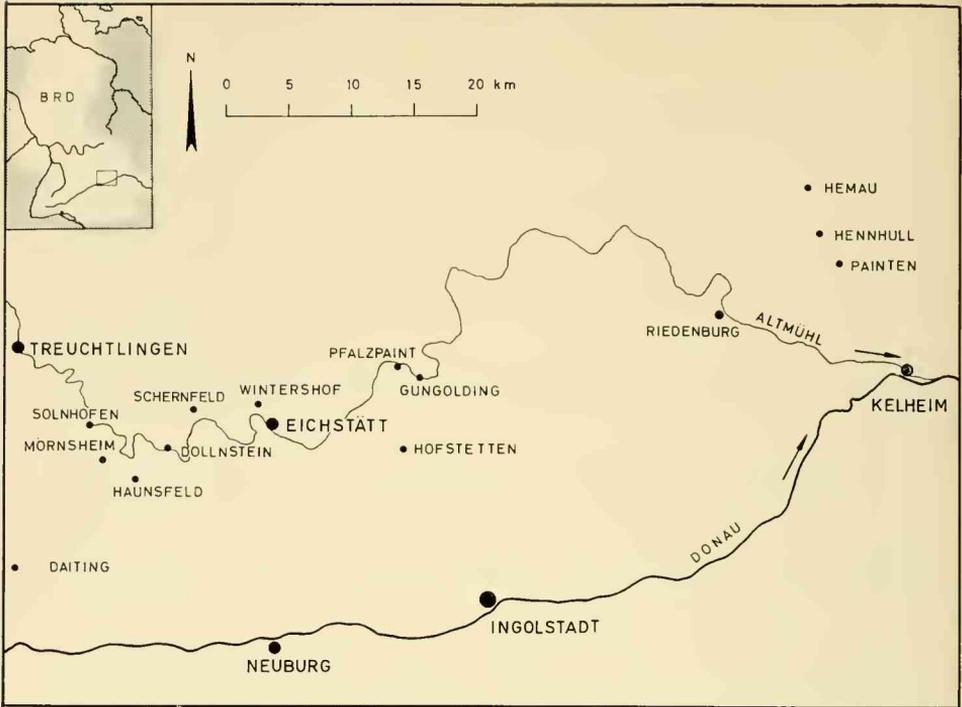


Abb. 1: Geographische Lage der wichtigsten Plattenkalk-Vorkommen in der südlichen Frankenalb.

Weißer Jura

Unter-Tithon	Rennertshofener Schichten	zeta 5	
	Usseltal-Schichten	zeta 4	
	Mörnsheimer Schichten	zeta 3	Daiting
	Hangende Krumme Lage und Obere Solnhofener Plattenkalke	zeta 2 b	Haunsfeld, Pfalzpaint
	Trennende Krumme Lage u. Untere Solnhofener Plattenkalke	zeta 2 a	
	Röglinger Bankkalke (pars)	zeta 1	Painten, Hennhüll

Nach FESEFELDT (1962) u. v. FREYBERG (1964 u. 1968)

rend die . . . auf das Konto von Solnhofen geschrieben werden. Ein Kenner vermag den Irrtum an Farbe und Qualität des Gesteins zu beweisen.« In der Tat ermöglicht die Gesteinsausbildung in zahlreichen Fällen noch nachträglich Zuordnung zu einem Steinbruchrevier. Oft sind es aber nur einige Lagen, die lokal-typische Ausbildung zeigen.

## 1. Daiting

Die jüngsten der untersuchten Schichten sind im Gemeindebruch Daiting (Bl. 7238, R 21 383 — H 06 780) aufgeschlossen. FESEFELDT (1962, S. 41) stellt sie, im Gegensatz zu früheren Autoren, in den Horizont der Kalkschieferfazies der Mörsheimer Schichten, den Weißjura zeta 3r. Nach seinem Profil bilden die Tieferen Mörsheimer Schichten das Liegende und der Kalkschiefer (Blätterflinz) das Hangende des Bruches.

Die Brüche von Daiting fanden wegen ihrer reichen Fossilfunde bei vielen Autoren Erwähnung. Der Abbau selbst ist dort seit mehr als 60 Jahren eingestellt. WALTHER (1904, S. 139) schreibt: „. . . ist südwestlich von Mörsheim bei Daiting eine jetzt ganz verlassene, letzte Fundstelle von hohem Interesse.“ Weiter sagt der Autor über den Fossilreichtum: „Wenn man erwägt, daß alle diese Funde in kleinen, gelegentlichen Aufschlüssen gemacht worden sind, dann darf man wohl Daiting als eine der reichsten Fundstellen des ganzen Gebietes betrachten, und trotz ihrer Lückenhaftigkeit zeigt uns die Fossilliste das Bild einer reichbewaldeten Küste, belebt von Flugsauriern und räuberischen Reptilien, dicht neben dem tierreichen Meeresgrund“ (S. 153).

Der Bruch ist heute zum großen Teil von Haldenmaterial überdeckt. Erst in letzter Zeit wurde verschiedentlich Kalkschutt zum Auffüllen von Feldwegen abgefahren, wodurch wieder größere Flächen zugänglich wurden. Mehrere Grabungen des Institutes für Paläontologie und historische Geologie, München, ergaben folgendes Profil (s. auch Abb. 2):

Hangendes: Ackerboden mit Kalkschutt

- 180 cm sehr dünne, hellgraue Schichten, blättrig spaltend, fossilfrei (Blätterflinz nach FESEFELDT)
- 160 cm feste und weiche Kalkbänke im Wechsel. Pflanzen, Ammoniten, Fischreste
- 113 cm massige, sehr feste, kieselige Bank. Nicht in Platten zu spalten, muscheliger Bruch. Fossilfrei
- 20 cm feinschichtige Kalke, weich und gut spaltend. Ammoniten und vereinzelt Pflanzenhäcksel
- 32 cm feinschichtige Kalke mit Feinschutt. Fest, gut plattig spaltend. Ammoniten und Pflanzenhäcksel
- 12 cm weiche, mergelreiche Zwischenlage, nicht in Platten zu spalten. Fossilarm
- 18 cm zäher, grauer Kalk. Pflanzen, Ammoniten und Fischreste

- 23 cm feinschichtiger, weicher Kalk. Schlecht in den Schichtflächen zu spalten. Im Liegenden dunkelgraue Bänder. Pflanzen, Belemniten, Ammoniten, Fische
- ca. 30 cm sehr zäh, zahlreiche harte, dunkelgraue Bänder, schwer zu spalten, fossilfrei
- ca. 16 cm feingeschichteter Kalk, gut zu spalten
- ca. 40 cm nicht zugänglich
- 20 cm feinschichtige, gut zu spaltende Kalke. Die oberen 8 cm sehr fossilreich. Pflanzen, Ammoniten, Fische. Dann 4 cm Schichten mit Zwischenschaltung von dunkelgrauen, sehr harten Bändern (bis 1 mm dick). In diesem Bereich fossilfrei. Darunter wieder Fossilführung wie im hangenden Teil der Schicht
- 11 cm fester, gut spaltender Kalk. Ammoniten häufig. Über der Basis zahlreiche Lumbricarien-Reste.
- 21 cm sehr zäher, schlecht spaltender Kalk. Fossilien selten, aber gut erhalten. Pflanzen, Ammoniten, Krebse, Fische. 5 cm über der Basis besonders große Perisphinctiden.
- 3,5 cm feinstgeschichtete Kalklagen, gut spaltend. Zahlreiche Ammoniten
- 17 cm Kalk mit hohem Feinschuttanteil. Gut in dünnen Lagen spaltend. Oberster Teil fossilfrei. Dann Ammoniten häufig; Pflanzen- und Fischreste selten.

Darunter folgen, nur an einer Stelle im Hang zum Acker aufgeschlossen, feste und weiche Kalk- und Mergellagen im Wechsel. Sie scheinen fossilarm zu sein.

Das Material im Bruch bei Daiting ist also ein vorwiegend hellgrauer Kalk, der häufig lokale Verfärbungen durch Fe- oder Mn-Verbindungen aufweist. Die Bänke sind in sich feinstgeschichtet und lassen sich meist horizontal plattig spalten. Jedoch liegen die Spaltflächen häufig nicht genau in einer Schichtebene, es bleiben dann Reste einer Schicht sowohl auf der Oberfläche der liegenden, als auch auf der Unterfläche der hangenden Platte haften. Die Oberflächen zeigen dann ein rauhes, unruhiges Relief, bedingt durch zahlreiche, inselförmige Sedimentfetzen einer anderen Lage. Auf sauber gespaltenen Schichtflächen oder im Anschlag zeigen die Daitinger Platten eine rauhe Struktur. Auch FESEFELDT (1962, S. 41) wies auf einen gewissen Anteil an Feinschutt in diesen Kalken hin.

In einigen Lagen ist eine deutliche, bis 1,5 mm starke, dunkelgraue Bänderung zu beobachten. Diese Bänder sind härter und verwitterungsbeständiger als das übrige Material. Nach einer chemischen Analyse (Institut für Petrographie, München) bestehen sie aus 99,20%  $\text{CaCO}_3$  und 1,12%  $\text{MgCO}_3$  und unterscheiden sich somit chemisch nicht von den übrigen Schichten. Ihre Genese ist noch ungewiß.

## 2. Haunsfeld

Die Steinbrüche von Haunsfeld (Bl. 7132, R 30 390 — H 14 150 u. R 30 160 — H 15 000) liegen etwa 2 km NNE des Ortes. Bis vor wenigen Jahren wurde hier noch Stein gebrochen, seit 1962 ruht der Abbau. In unmittelbarer Umgebung befinden sich weitere, seit Jahrzehnten offengelassene Gruben.

ZEISS (1964) stellt die Haunsfelder Ablagerungen in die „Oberen Schiefer“ (Weißjura zeta 2b) und gibt genaue Profile der Brüche Haunsfeld I (zur Straße liegend) und Haunsfeld II (etwa 120 m weiter im Wald). Während im Bruch Haunsfeld II nur die gut gebankten Schichten des zeta 2b anstehen, ist bei Haunsfeld I im Hangenden noch der unterste Teil des zeta 3 (Mörnsheimer Schichten) erschlossen (Abb. 2). Dieser „Wilde Fels“ ist dickbankig und sehr zäh, mit rauhem bis muscheligen Bruch; er wurde in nachstehende Untersuchungen nicht einbezogen.

Die Kalke bei Haunsfeld sind gut gebankt, aber innerhalb der Bänke oft schlecht nach Schichtflächen zu spalten. Ihre Oberfläche ist leicht rau und in den hangenden Bänken von zahlreichen, dicken Grabgängen durchzogen (s. S. 163). Petrographisch erscheint die Ausbildung der Ablagerungen im gesamten Profil gleichförmig. Die Kalke sind meist von mittelgrauer Farbe, selten hellgrau oder rötlich grau, die Mergelzwischenlagen sind gelb. Die Flinze sind zäh und haben raue Bruchflächen. Vertikalschliffe zeigen verschiedentlich eine feine Bänderung, die vielleicht auf umkristallisierte Mikroorganismen zurückgeht (BARTHEL 1964, S. 54).

## 3. Pfalzpaint

Nach v. EDLINGER (1964, S. 51) liegt der erst nach 1945 in Betrieb genommene Bruch IMBERG bei Pfalzpaint (Bl. 7033, R 50 760 — H 19 680) zum überwiegenden Teil in den „Oberen Schiefen“ (zeta 2b). Die Grenze zum Liegenden bildet die Trennende Krumme Lage. Im oberen Teil des Bruches ist die Hangende Krumme Lage aufgeschlossen, über der teilweise noch die untersten Mörnsheimer Schichten (zeta 3) anstehen. In der Umgebung finden sich weitere, z. T. aufgelassene Brüche, die schon WALTHER bekannt waren (1904, S. 142).

Bedingt durch großflächigen Abbau sind die Schichten nur zum geringen Teil zugänglich. Etwa in halber Höhe des Profils wurde ein 365 cm dickes Schichtpaket auf Besonderheiten untersucht. Die Lage dieses Ausschnittes innerhalb des bei v. EDLINGER (1964, unveröffentlicht) gegebenen Profils zeigt Abb. 2.

Die Oberflächen der meist dickbankigen Schichten sind oft rau und ähneln dem Material aus Haunsfeld. Typisch ist die gelbliche Färbung der meisten Lagen. Die „Fäulen“-Schichten sind meist nur sehr schwach, oft bestehen sie nur aus einem dünnen Häutchen, das fest am Flinz haftet. Auf der Oberfläche einiger Lagen sind Kalkspatdrusen ausgebildet, die bis zu Haselnußgröße erreichen können, in der Regel liegen hier die Kristalle auf der Oberfläche der liegenden Platte und die Eindruckungen auf der Unterfläche der hangenden Platte. Gelegentlich sind auch einfache Eindruckungen auf Plattenoberflächen zu beobachten. Es ist möglich, daß diese Erscheinungen durch Synärese hervorgerufen wurden (s. S. 142 f.). Im Anschluß

HAUNSFELD I

DAITING

PFALZPAINT

RYGOL/PAIN TEN

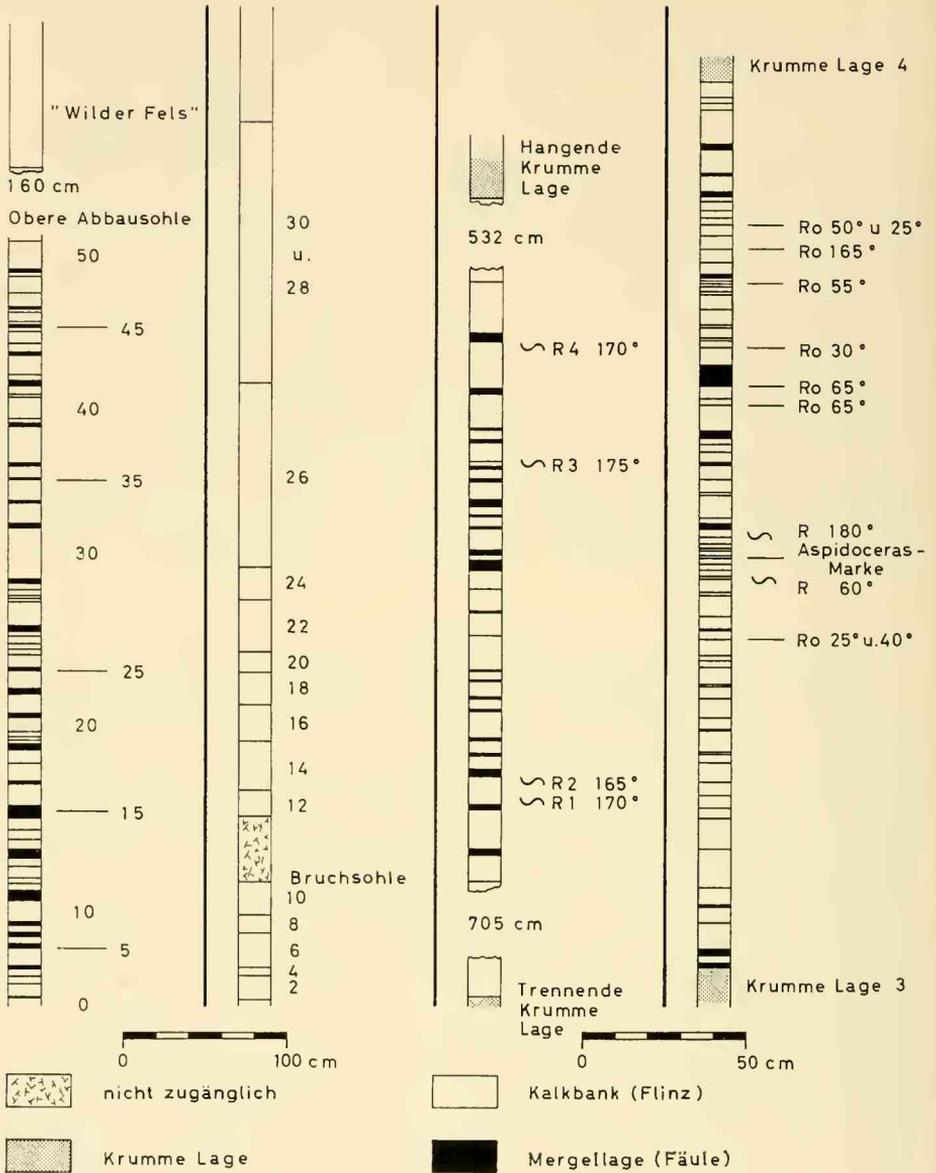


Abb. 2: Profile der Aufschlüsse Haunsfeld I, Daiting, Pfalzpaint und RYGOL/Painten. Gerade Nummern = Kalkbänke; ungerade Nummern = Mergellagen; R = Rippelmarken; Ro = Rollmarken (Profil Pfalzpaint vereinfacht nach v. EDLINGER 1964).

zeigen die Pfalzpaintener Kalke meist eine Struktur, die durch zahlreiche, sehr feine, helle Streifen deutlich wird und welche Aussagen über die Art der Wasserbewegung zur Zeit der Sedimentation zuläßt (s. S. 129, 166 u. Abb. 4).

#### 4. Painten

Der große Bruch des Kalkwerkes RYGOL bei Painten (Bl. 6936, R 87 240 — H 30 060) wurde von STREIM (1961) im Detail aufgenommen und in mehreren Profilen veröffentlicht. Aufgeschlossen sind die hangenden Schichten der Setatus-Zone (epsilon 2) und die liegenden Schichten des zeta 1. Die Lagen der Setatus-Zone stehen mit etwa 7 Metern an. Sie bestehen aus verschiedenen starken, in der Mächtigkeit nicht lange aushaltenden Kalk-, Mergel- und Kieselbänken, die in sich feinstgeschichtet sind. Beim Anschlagen riechen sie bituminös. Ihre hangende Grenze wird von einer Krümmen Lage, der dritten ab unterer Bruchsohle (= Straßen-Niveau) gebildet. Darüber setzen die Schichten des zeta 1 deutlich erkennbar ein. Es sind dünnbankige Kalke, deren Dicke in den unteren 1,50 Metern selten mehr als 2 cm erreicht, oft sogar darunter liegt. Dann beginnt eine Dickenzunahme der Platten, die nach etwa 3 Metern Gartenplatten- und Mauerstein-Stärke erreichen. Gelegentlich sind Krümme Lagen unterschiedlicher Mächtigkeit zwischengeschaltet.

Mir waren nur die Schichten zwischen den Krümmen Lagen 3 und 4, die noch von Hand abgebaut werden, teilweise zugänglich (Abb. 2). Darüber findet Großabbau durch Sprengungen statt.

Die Plattenoberflächen sind meist glatt und von einem feinen Mergelhäutchen bedeckt, welches schnell in festen, hellgrauen bis gelblichen Kalk übergeht. Dieser zeigt im Schliff keine Strukturen. Typisch sind in diesem Bruch vereinzelt Lagen, die auf ihrer Oberfläche ein polygonales Netz bis zu 1 mm hoher Wülste zeigen (s. S. 143). Im Anschliff sind auch hier keine Strukturen zu erkennen, das Material erscheint homogen.

#### 5. Hennhüll

Der Bruch HARTEIS bei Hennhüll (Bl. 6936, R 84 530 — H 31 460) wurde ebenfalls von STREIM (1961) geologisch aufgenommen und beschrieben. Er liegt im unteren Bereich des zeta 1. Der Abbau ist z. Zt. eingestellt und Untersuchungen waren nur auf wenigen Flächen möglich. Nach STREIM beträgt die gesamte Profilhöhe ca. 13,50 m und reicht, parallelisiert mit dem Bruch RYGOL, im Hangenden bis zur dortigen Krümmen Lage VII.

Von STREIM (1961, S. 26) wurde bei Beschreibung des Bruches HARTEIS und des benachbarten Bruches NIEBLER darauf hingewiesen, daß „... in verschiedenen Kalkbänken Schillanreicherungen auf(treten)“. Nach seinen Beobachtungen, die bei den neuerlichen Untersuchungen bestätigt werden konnten, besteht der Schill „... aus Resten kalkschaliger Organismen, unter denen besonders Trümmer von Crinoiden und Seeigeln auffallen“ (s. o.). Diese Schalenreste, die keine Sortierung erkennen lassen, beschränken sich immer nur auf kleinere Flächen. Sie sind dann aber der-

art gehäuft, daß sie, wie auch STREIM beschrieb, einen Teil einer Bank darstellen können.

Das Material hat rauhe Bruchflächen und zeigt feinstkörnige Struktur, unterscheidet sich also hierin von anderen Plattenkalkvorkommen, sogar von den Ablagerungen aus dem nahen Painten. Häufig wurden auch Rollmarken mit größerem Material ausgefüllt, dieses liegt dann, wenn die Platten gespalten sind, wulstförmig auf der Unterfläche der hangenden Platte.

Typisch für die Ablagerungen bei Hennhüll ist auch die unruhige Schichtenfolge, in der häufig ganze Stöße durch Aufarbeitung ausfallen. In anderen Fällen kommt es sehr schnell zu lokalen Mächtigkeitsänderungen, wobei einzelne Bänke gänzlich auskeilen können.

## C. Spezielle Untersuchungen

### 1. Strömungsanzeiger

#### a) Rippeln

Rippelmarken sind in den Plattenkalken seltene Oberflächenformen. WALTHER (1904, S. 142) erwähnt sie erstmals und zwar aus den Steinbrüchen bei Pfalzpainten. BARTHEL (1964, S. 44 f.) schildert Rippeln aus den Brüchen bei Painten, SCHAIRER (1968, S. 296) aus Aufschlüssen bei Kelheim.

Mir wurden im Bruch D a i t i n g zwei Schichten mit Rippelmarken bekannt. Sie waren als flache, höchstens 1 mm hohe, annähernd parallel laufende Wülste auf der Plattenoberfläche der Bänke 5 und 10 ausgebildet. Ihre Achse lag bei  $130^\circ$  bis  $140^\circ$ . Der Abstand der einzelnen Rippelkämme voneinander betrug im Durchschnitt 1 cm. Die Böschungswinkel waren auf beiden Seiten gleich, Luv- und Lee-Seiten also nicht zu unterscheiden. Vertikalschnitte zeigten keine inneren Strukturen. Wahrscheinlich liegen hier stationäre Oszillationsrippeln (REINECK 1961, S. 58) vor. Auch die Einregelung von Fossilien auf diesen Schichtflächen deutet auf oszillierendes Wasser (s. S. 134).

Bei H a u n s f e l d wurden nur im Bruch I auf der Oberfläche von Bank 50 Rippeln bekannt. Die Rippelachsen verliefen hier  $35^\circ$ — $40^\circ$ , die maximale Kammhöhe betrug 3 mm, der Abstand von Kamm zu Kamm lag bei 7—10 cm.

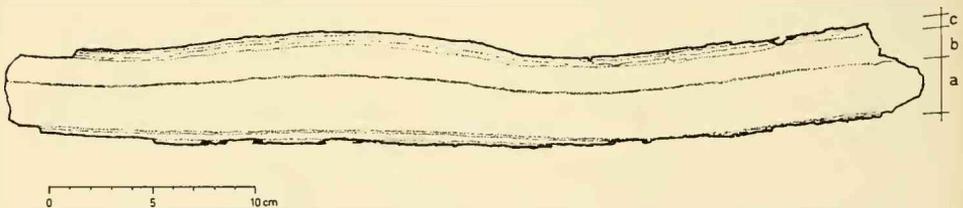


Abb. 3: Vertikal-Schnitt durch eine Rippel; Bruch Haunsfeld I, Bank 50.

Der symmetrische Bau spricht auch hier für stationäre Oszillationsrippeln. Die Rippen waren nur auf einer kleinen Fläche ausgebildet; vermutlich entstanden sie in einer kurzen Periode lokal stärkerer Wasserbewegung.

Ein Vertikalschnitt durch eine der Rippen (Abb. 3) läßt drei Schichten erkennen. Schicht „a“ reicht von der durch sekundäre Einflüsse z. T. erodierten Basis bis zu einem feinen, hellen Sedimentband, welches ungestört diese Zone nach oben abschließt. In „a“ ist die Rippellage ausgebildet, ihre Dicke schwankt daher zwischen 6,5 und 9,5 mm. Das ungestörte, gleichmäßige Durchlaufen der Trennschicht „a/b“ spricht für ruhige Sedimentation im Anschluß an die Entstehung der Rippen. Schicht „b“ ist überall gleich dick und in ihrem Relief der Morphologie der Rippen angepaßt. Schicht „c“ zeigt in schneller Folge einen Wechsel von feinen, hellen und dunklen Lagen (5 helle Lagen), die ebenfalls ohne Störung konkordant übereinander liegen. Dieser Schichtteil ist nicht vollständig erhalten.

Aus den Brüchen bei Pfalzpaint waren WALTHER (1904, S. 142) zwei Lagen mit südost/nordwest streichenden Rippelmarken bekannt. V. EDLINGER (1964, S. 51) erwähnt das besonders im Bruch IMBERG häufige Auftreten von „Wellenflächen“ und gibt ihr Streichen mit  $150^{\circ}$ — $170^{\circ}$  an. In dem rund 20 m hohen Profil sollen nach seiner Aussage etwa 50 derartige Flächen vorkommen. Diese Zahl ist wohl zu hoch gegriffen, denn in einem 3,65 m hohen Profilausschnitt, in dem sich, nach Aussagen der Arbeiter, die meisten „walzeten Lagen“ befinden sollen, konnte ich nur 4 Schichten mit Rippelmarken feststellen. Ihr Streichen betrug vom Liegenden zum Hangenden  $170^{\circ}$ ,  $165^{\circ}$ ,  $175^{\circ}$  und  $170^{\circ}$ .

Ein Schnitt durch die Rippen läßt Untersuchungen über ihre Genese zu (Abb. 4). Die Liegend-Grenze besteht aus einer ein bis zwei Millimeter dicken, feinstgeschichteten und ungestörten Mergelschicht. Darauf folgt eine horizontal feingeschichtete Kalklage. Diese hat eine gerippledte Oberfläche und ist 0—8 mm dick. Die Rippen entstanden durch Auskolkung des Sedimentes. Der Schnitt zeigt, daß die Ausräumung z. T. bis auf die liegende Mergellage hinuntergriff.

Diese Rippelform „... das liegende Sedimentgefüge zeigt keine Beziehungen zur Lage und Gestalt der Rippelfläche“ bezeichnet NIEHOFF (1958, S. 287) als „erosive Großrippeln“. Nach seiner Beschreibung sind sie auch im rezenten Watt recht häufig. REINECK (1961, S. 57) spricht dagegen von „Erosionsrippeln“ und gibt an, daß sie nur fossil bekannt sind. SCHAIRER (1968, S. 296) beschreibt Erosionsrippeln aus dem Untertithon der Kelheimer Gegend.

Darüber zeigt der Anschliff eine Lage mit schräger Feinschichtung, wie sie für geschnittene Leebblätter von Rippen typisch ist. Es liegen offenbar echte, nach Westen geschüttete Strömungsrippeln vor. Diese Rippen wurden dann im Laufe der

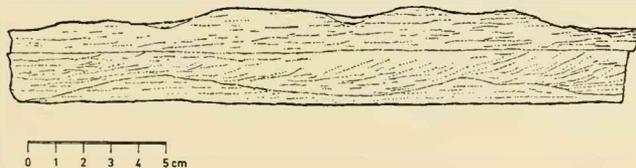


Abb. 4: Vertikal-Schnitt durch Rippen; Bruch IMBERG/Pfalzpaint.

Ablagerung eingeebnet. Ihre obere Grenze bildet ein horizontal durchlaufendes, dünnes, helles Kalkband. Dieser Wechsel von Rippel- zu Horizontal-Schichtung läßt Schlüsse auf die Wasserbedeckung zu (s. S. 166). Es folgen wieder Strömungsrippeln in gleicher Richtung. Die Leebblätter sind aber weniger stark geneigt als in der darunterliegenden Schicht. Die Oberfläche des Stückes schließlich zeigt kräftige Rippeln, die aber nicht im Zusammenhang mit den darunterliegenden Leebblättern stehen. Es liegen also nochmals Erosionsrippeln vor.

Auch in den nahegelegenen SCHÖPFEL-Brüchen sind Lagen mit Rippelmarken bekannt. Ein Bruch (Bl. 7033, R 50 560 — H 19 680) zeigt im Hangenden eine Oberfläche mit  $135^\circ$  streichenden Rippeln. Nur 11 cm darunter liegt die „obere Walzete“, eine Lage mit kräftigen,  $140^\circ$ — $145^\circ$  streichenden Marken. (Diese Schicht ist den Steinbrucharbeitern deshalb besonders bekannt, weil auf ihr sehr häufig Fährten von *Mesolimulus*, angeblich aber noch nie das Tier selbst, gefunden wurden). 3,20 m darunter steht eine weitere Lage mit Rippeln an, die nur schwach ausgebildet sind und  $145^\circ$  streichen.

BARTHEL (1964, S. 47—59) gibt in seiner Beschreibung einer Plattenunterfläche aus dem RASHOFER- und aus dem RYGOL-Bruch bei *Painten* Abbildung und Deutung von Rippelmarken. Die Richtung der Rippeln im RASHOFER-Bruch lag bei  $60^\circ$  NE. Die zweite, aus dem RYGOL-Bruch stammende Platte, die der ersten sehr ähnlich ist, wurde nicht orientiert entnommen.

Im Bruch RYGOL war ich bei der Freilegung einer Lage mit kräftigen,  $60^\circ$  NE streichenden Rippelmarken zugegen. Die Schicht lag 140 cm unter der Krümmen Lage IV (nach STREIM, 1961, S. 24 f.). Die Rippeln hatten die gleiche Ausbildung, wie von BARTHEL aus dem benachbarten RASHOFER-Bruch beschrieben. Auch das von dort erwähnte, feine Polygon-Muster war vorhanden. Die Oberfläche der hangenden Platte zeigte Ammoniten-Rollmarken, die sich im spitzen Winkel kreuzen. Die Messungen ergaben Werte von  $105^\circ$  und  $90^\circ$ , sie decken sich mit den Angaben BARTHEL's ( $100^\circ$  und  $90^\circ$ ) aus dem RASHOFER-Bruch. Wahrscheinlich stammen beide Platten aus der gleichen Schicht. Eine Überprüfung konnte wegen schlechter Aufschlußverhältnisse im Gelände nicht erfolgen. Die von BARTHEL (1964, S. 47—49) gegebene Beschreibung der Rippelmarken stimmt mit den eigenen Beobachtungen überein, es darf auf sie verwiesen werden. Die Form der Rippeln deutet nach BARTHEL auf „verwaschene Rippelmarken“ oder „Flachstwasserrippeln“. In Vertikal-Schnitten waren keine Strukturen zu erkennen, die nähere Aussagen über die Entstehung geben könnten.

Der Bruch NIEBLER bei *Henhüll* zeigt direkt über der Krümmen Lage IV (nach STREIM 1961, S. 24 f.) eine dünne Schicht mit sehr feinen Rippeln. Der Abstand der einzelnen Kämmen liegt bei 5 mm, die jetzige Kammhöhe zwischen 0,2 und 0,5 mm. Parallele Anordnung und symmetrische Ausbildung lassen auf Oszillationsrippeln schließen. Im Vertikal-Schnitt zeigte sich keine Struktur.

## b) Roll- und Schleifmarken

Marken auf der Schichtoberfläche, die durch ein Darüberrollen oder -schleifen eines Körpers entstanden sind, gehören im Bereich der Solnhofener Plattenkalke zu sicheren Anzeigern von Wasserbewegung (SEILACHER 1963, BARTHEL 1964). Erste Erwähnung und Abbildung fanden sie bei WALTHER (1904, S. 151 u. 201). Die dort beschriebene „Fährte eines noch unbekanntes, großen Tieres“ (*Ichnium megapodium*) sowie die „Kriechspur eines Dibranchiaten“ wurden von SEILACHER (1963, S. 602 f.) als Rollmarken von *Aspidoceras*-Gehäusen identifiziert. In ähnlicher Weise fand die von ABEL (1930, S. 403 f.) besprochene „Schwimmfährte einer *Thalassemydide*“ ihre Deutung (SEILACHER 1963, S. 603). Auch die Schwimmfährten von *Undina* (ABEL 1930) ließen sich zwanglos als Rollmarken torkelnder *Perrisphincten*-Gehäuse erklären (KOLB 1961). TRUSHEIM (1934, S. 14) spricht bei der Beschreibung einer Platte aus den Brüchen bei Painten von der „Schwimmfährte eines Fisches, Abdrücken der Externseiten von Ammoniten, Schleifspuren unbekannter Herkunft . . . (und) eine(r) sehr bezeichnende(n) Fährte“. Alle diese Eindrücke sind inzwischen als Marken von Ammonitenschalen erklärt (SEILACHER 1963, S. 604 f.).

Auf der Oberfläche von Bank 50 des Bruches Haunsfeld I wurde eine Marke freigelegt; sie war auf 8 Meter zu verfolgen. Ihre Richtung lag bei  $140^\circ$ , ihr Verlauf war etwas bogenförmig. Bei der sinusförmigen Marke zeigt ein Bogen einen kräftigen Doppeleindruck, der andere nur einen schwachen und schmalen Abdruck. Die Entfernung von Maximum zu Maximum beträgt 35–40 cm, die Höhe der Bögen 12–20 cm. Der Doppelabdruck besteht aus einem kräftigen Eindruck, neben dem noch ein zweiter, schwächerer läuft. Dieser trennt sich im spitzen Winkel von der Hauptlinie, läuft ihr dann annähernd parallel und vereinigt sich wieder im spitzen Winkel mit ihr. Dieser Bogenteil erreicht eine maximale Breite von 3–4 cm. Die Doppeleindrücke fanden sich immer nur auf einer Seite, die andere trägt nur die sehr schwache Fortsetzung des Haupteindruckes. Am Ende (oder am Anfang?) dieser Marke werden die Bogenabstände kürzer (ca. 20 cm), und beide Bogen sind nur als einfache, gleichmäßig tiefe Abdrücke erhalten. Es könnte sein, daß der Urheber dieser Marke ein mit der Spitze nach unten im Wasser treibendes, nicht mehr voll schwimmfähiges Holzstück gewesen war. Es ist dies die einzige Schleifmarke, die meines Wissens im Bruch Haunsfeld I gefunden wurde.

Sehr selten sind Schleifmarken auch in den Brüchen bei Pfalzpaint und Gungolding. Eine Platte aus dem Bruch SCHÖPFEL rechts der Straße von Gungolding nach Hofstetten zeigt Schleifmarken und Abdruck von *Rhizostomites admirandus* HAECKEL (Nr. 1962 I 102, Taf. 6, Fig. 1). Es sind Platte und Gegenplatte von je etwa 30 x 40 cm erhalten. Sie sind nicht orientiert.

Im rechten, oberen Teil der Platte beginnen die Eindrücke. Die nach unten hängenden Tentakel des Tieres hatten hier die weiche Sedimentoberfläche berührt und darin deutliche Marken hinterlassen. Sie liegen in verschiedenen Richtungen und sind offenbar bei leicht bewegtem Wasser entstanden. Dann folgt eine ca. 12 cm lange, deutliche Schleifmarke mit bis zu sechs parallelen Einzeleindrücken.

Sie endet etwa in der Mitte der Platte. Hier beginnt ein Gewirr feiner Eindrücke nach allen Richtungen, die sich allmählich nach links oben verlagern. Dort ist auch ein Teil vom Schirmrand des Tieres abgedrückt; er hat einen Durchmesser von nur 11 cm und ist unscharf in seinen Konturen. Über den linken Rand der Platte hinaus waren noch weitere Bewegungsmarken des Tierkörpers vorhanden, sie sind nicht mit geborgen worden. Nach der durch KOLB (1951) beschriebenen Meduse mit Schleifspur handelt es sich hier um den zweiten derartigen Fund.

Seit der Arbeit von TRUSHEIM (1934) sind markentragende Schichtflächen aus den Brüchen bei P a i n t e n bekannt. BARTHEL (1964, S. 43—47) gibt Beschreibung und Abbildung von Platten mit Ammoniten-Rollmarken aus den Brüchen RASHOFFER und RYGOL. Es handelt sich dabei um Platten, deren Unterflächen bei Besprechung der Rippelmarken behandelt wurden.

Während des Abbaues eines größeren Plattenstapels zwischen den Krümmen Lagen III und IV (nach STREIM 1961) wurden im Bruch RYGOL in mehreren Schichten Bewegungsmarken eingemessen (s. Profilausschnitt Abb. 2). Die Richtungen in den verschiedenen Lagen differieren z. T. erheblich. Die Beobachtungen von BARTHEL, der auf seinen Platten zwei sich im spitzen Winkel kreuzende Systeme erkannte, konnten in weiteren Fällen bestätigt werden. Als Erzeuger der Marken dürfen wir nach BARTHEL Aptychen, Perisphincten- und Aspidoceraten-Schalen annehmen. 100 cm über der Krümmen Lage III ist eine Oberfläche mit Rollmarken förmlich übersät. Urheber waren hier wohl vor allem Perisphincten-Gehäuse sowie Bruchstücke von Molluskenschalen. Die Masse der Marken wird von einigen anderen Marken im spitzen Winkel von etwa  $15^\circ$  überlagert. Die Hauptrichtung liegt bei  $25^\circ$ , die andere bei  $40^\circ$ .

Im Bruch HARTEIS bei H e n n h ü l l fand ich zwei Schichtoberflächen mit Rollmarken von Ammoniten. Einmal über der Krümmen Lage I (nach STREIM) und zum anderen eine einzelne Rollmarke über der Krümmen Lage III (nach STREIM). Die Richtungen wurden mit  $160^\circ$  und  $165^\circ$  gemessen, waren also, trotz eines Höhenunterschiedes von fast drei Metern im Profil, etwa gleich.

Im benachbarten Bruch NIEBLER wurden aus dem Anstehenden keine Oberflächen mit Rollmarken bekannt. Lesesteine bezeugen aber, daß sie hier gleichfalls vorhanden sind.

---

Abb. 5: Längsrichtung von Fischresten; Bruch Daiting, Bank 10 (34 Meßwerte).

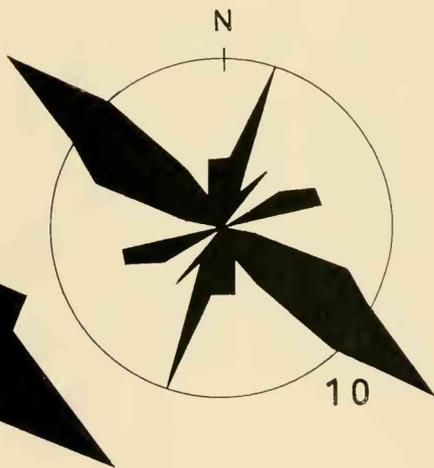
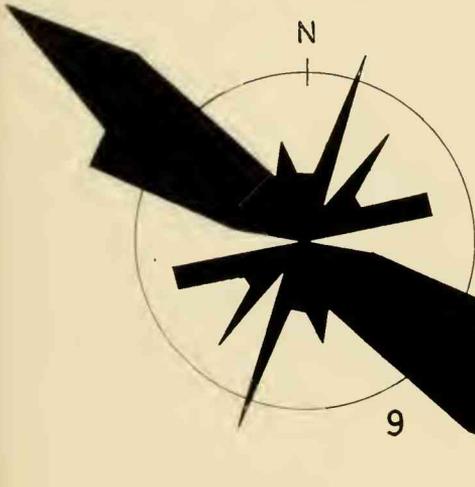
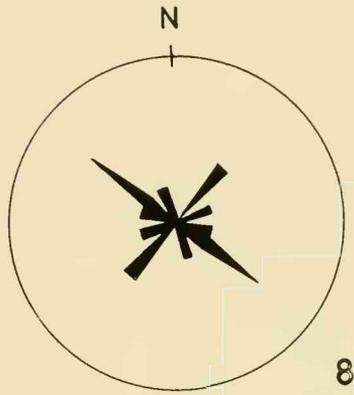
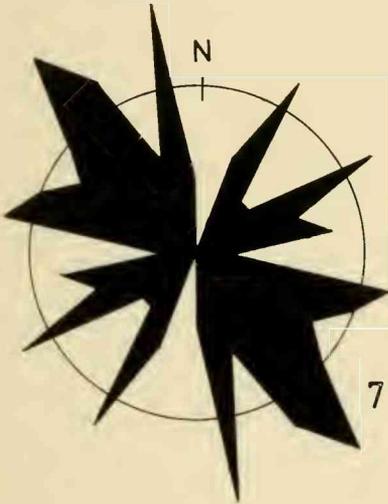
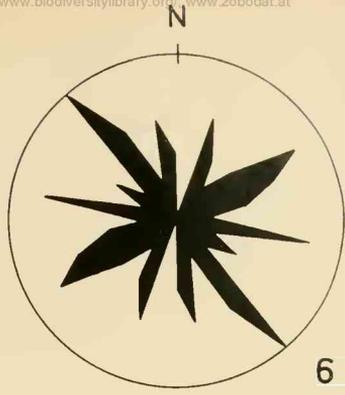
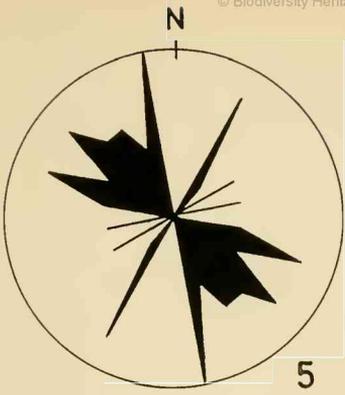
Abb. 6: Längsrichtungen von Pflanzenresten; Bruch Daiting, Bank 10 (40 Meßwerte).

Abb. 7: Längsrichtung aller Fisch- und Pflanzenreste; Bruch Daiting, Bank 10 (74 Meßwerte).

Abb. 8: Längsrichtungen von Fischresten; Bruch Daiting, Bank 22 (15 Meßwerte).

Abb. 9: Längsrichtungen von Pflanzenresten, Fischresten und Ammonitenrücken; Bruch Daiting, Bank 22 (72 Meßwerte).

Abb. 10: Längsrichtungen von Pflanzenresten; Bruch Daiting, Bank 22 (49 Meßwerte).



### c) Eingeregelter Fossilien

Aussagen über die Einregelung von Fossilien sind nur möglich, wenn diese in genügender Anzahl in gleicher Schicht eingemessen werden können. In den meisten Lagen der Plattenkalke ist das aber, wegen der großen Seltenheit fossiler Reste, nicht der Fall.

Eine der wenigen Ausnahmen bietet Bruch D a i t i n g. Hier kann bei systematischem Abbau eine ausreichende Zahl von Richtungen gemessen werden. In erster Linie sind es Fisch- und Pflanzenreste, die sich als Richtungsanzeiger anbieten. In Abb. 5—7 sind Meßwerte aus der besonders fossilreichen Bank 10 (Bruchsohle, s. Abb. 2) aufgetragen. Die freigelegte Fläche betrug 14 m<sup>2</sup>. Abb. 5 zeigt die an Fischresten (Längsachse) gemessenen Richtungen. In das Diagramm gingen 34 Meßwerte von vollständigen Tierkörpern, isolierten Köpfen, Schwänzen und verspülten Resten ein, sofern bei letzteren eine Messung noch sinnvoll erschien. Die Darstellung ergibt deutliche Häufung der Werte in NW-SE-Richtung. Annähernd senkrecht dazu liegt ein zweites, geringeres Maximum.

In Abb. 6 sind die Richtungen von 40 Pflanzenresten dargestellt. Es handelt sich dabei um Äste und Zweigteile von *Palacocypris* und *Brachyphyllum*. Die Streuung der Werte ist zwar größer, aber auch hier ergeben sich zwei bevorzugte, etwa rechtwinklig zueinander stehende Richtungen. Geht man davon aus, daß sich längliche Körper bei Einregelung im bewegten Wasser gleich verhalten, sofern sie nicht einen erheblichen Gewichtsunterschied aufweisen (s. S. 141), so ist ein zusammenfassendes Diagramm von Interesse (Abb. 7). Es vereint die 74 Messungen an Fisch- und Pflanzenresten der Bank 10 und ergibt ein NW-SE streichendes Maximum. Auf der gleichen Schichtoberfläche fanden sich auch Rippelmarken (s. S. 128), ihr Verlauf lag bei 140°, also in der Richtung, in der auch die meisten Fossilien lagen. Hieraus kann auf oszillierende Wasserbewegung geschlossen werden (s. S. 168).

Von Bank 22 wurden 8,5 m<sup>2</sup> abgebaut. In ihr waren 15 Fischreste (Abb. 8) und 49 Pflanzenreste (Abb. 10) einzumessen. Die Darstellungen ergeben ein Maximum in NW-SE-Richtung und ein zweites, schwächeres im annähernd rechten Winkel dazu, sie sind mit denen aus Bank 5 also fast identisch. Ferner wurden 8 Abdrücke von Perisphincten-Rücken in der Längsachse, quer zur Berippung, gemessen. Die Werte (20°, 110°, 110°, 120°, 130°, 140°, 140°, 150°), liegen mit einer Ausnahme im allgemeinen Maximum.

In Abb. 9 sind die gesamten Messungen an Fischen, Pflanzenresten und Ammonitenrücken der Bank 22 dargestellt (72 Werte). Ein Vergleich mit Abb. 7 (74 Werte) zeigt prinzipielle Übereinstimmung der Richtungen. Die Streuungen in Abb. 7 (Bank 10) sind größer als in Abb. 9 (Bank 22). Da der Grad der Einregelung von Stärke und Gleichmäßigkeit der Wasserbewegung abhängt, läßt sich auf stärkere Wasserbewegung bei Ablagerung von Bank 22 schließen.

Die häufigen, oft weniger als 1 cm langen Kotreste (Teile verspülter *Lumbricarien*?) eignen sich nicht als Richtungsanzeiger, sie sind zu kurz, um eingeregelt zu werden.

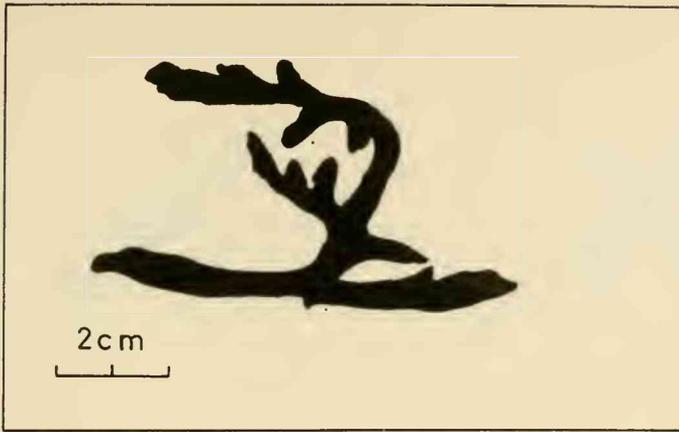


Abb. 11: *Palaeocyparis*, durch Oszillation eingeregelt; Bruch Daiting, Bank 10 (1964 XXIII 54).

Abb. 11 zeigt einen kleinen *Brachyphyllum*-Zweig aus dem oberen Bereich von Bank 10. Das Stück ist nicht vollständig erhalten. Von dem Hauptzweig gabelt sich ein Seitenzweig ab. Dieser ist etwa in der Mitte geknickt und liegt zum Hauptzweig parallel. Wahrscheinlich geschah das nach der Ablagerung. Vermutlich trieb der Rest zunächst längere Zeit im Wasser und faulte, bevor er sich auf den Grund legte. Schwache Wasserbewegung genügte dann, um ihn einzuregeln und dabei einen Teil abzuknicken. Die Richtung von  $170^\circ$  entspricht der allgemeinen Einregelung. Ein ähnliches Bild zeigt ein zweiter Fund aus der gleichen Schicht.

Bei diesen zwei Stücken handelt es sich um seltene Ausnahmen. Ähnliche Anzeiger für Wasserbewegung fanden sich bei anderen Pflanzenresten nicht.

In den Brüchen bei H a u n s f e l d sind nur Ammoniten in einzelnen Bänken häufiger und bieten Möglichkeit zur Auswertung. Gemessen wurde die Richtung einer gedachten, durch Mündungsrand und Nabel laufenden Achse.

56 Ammonitenreste der Gattung *Neobetoceras* wurden im Bruch Haunsfeld I auf  $14,5 \text{ m}^2$  der Bank 36 eingemessen. Es ergab sich Häufung in zwei etwa senkrecht zueinander stehenden Richtungen, nämlich NE-SW und NW-SE (Abb. 12).

Auf  $9,5 \text{ m}^2$  Oberfläche von Bank 50 wurden 62 *Neobetoceras* und 27 Aptychen eingemessen. Die Darstellung der Ammoniten-Meßwerte (Abb. 13) zeigt Häufung in NW-SE- und NE-SW-Richtung. Die Aptychen haben ihr Richtungsmaximum nach NE-SW (Abb. 14). Von den 27 Aptychen lagen 23 gewölbt unten und nur 4 gewölbt oben (s. S. 152). Der Vergleich ihrer Lage mit Richtung der Rippeln läßt auf oszillierendes Wasser schließen (s. S. 169 u. Abb. 15).

In den oberen Lagen des IMBERG-Bruches bei P f a l z p a i n t wurde eine Meduse (*Rhizostomites* sp.) im Anstehenden eingemessen. Der Abdruck ist fast rund, mit einer elliptischen Verlängerung nach einer Seite. Die Verlängerung liegt

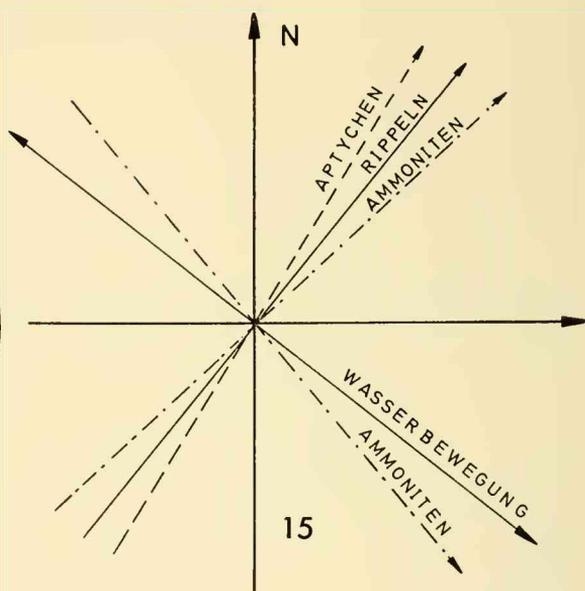
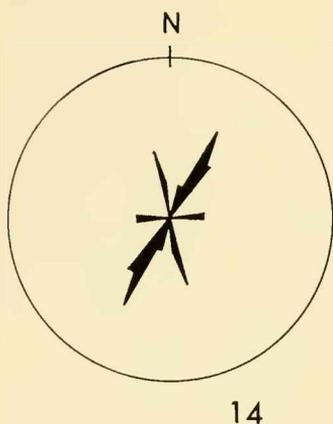
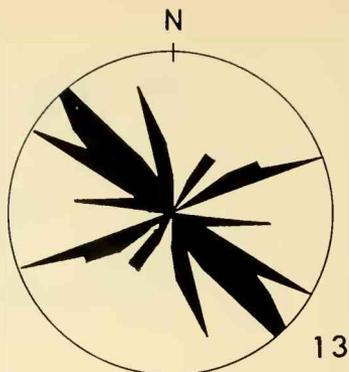
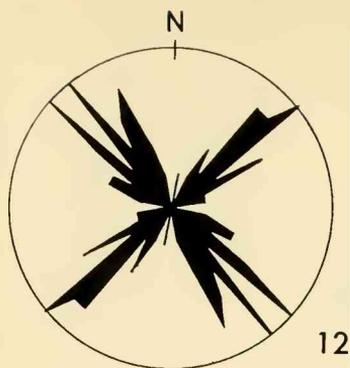


Abb. 12: Richtung der Achse Mündung/Nabel bei Ammoniten; Bruch Haunsfeld I, Bank 36 (56 Meßwerte).

Abb. 13: Richtung der Achse Mündung/Nabel bei Ammoniten; Bruch Haunsfeld I, Bank 50 (62 Meßwerte).

Abb. 14: Lage der Aptychen (Längsachse); Bruch Haunsfeld I, Bank 50 (27 Meßwerte).

Abb. 15: Auf der Oberfläche von Bank 50 (Bruch Haunsfeld I) gemessene Haupttrichtungen und Rekonstruktion der Wasserbewegung.

nach Osten, ihr Anfang ist 5,5 cm vom Beginn des Schirmrand-Abdruckes entfernt. Diese Struktur stellt offenbar einen Teilabdruck des Tieres dar. Dieser muß vor der endgültigen Absetzung der Qualle entstanden sein. Daraus folgt, daß Verlagerung des Körpers stattfand.

Aus dem Bruch RYGOŁ bei P a i n t e n stammt der Abdruck eines Perisphincten im Zusammenhang mit einer breiten und langen Marke (Taf. 7, Fig. 3). Aus Anzeichen, wie Aufwölbung der Schicht über dem Abdruck (s. S. 154) und im Gestein liegende, mit Kalkspat ausgefüllte Bläschen (s. S. 144) läßt sich schließen, daß eine Plattenunterfläche vorliegt. So ist leider nur das Negativ erhalten, das Positiv bestand angeblich aus „Fäule“ und wurde nicht geborgen. Der Ammonitenrest hat einen Durchmesser von 48 mm, die in eine Richtung weisende Marke eine maximale Breite von 60 mm und eine erhaltene Länge von 90 mm. Ihre schmalste Stelle, an der Externseite des Ammoniten, ist 46 mm breit. Hier hat sie die gleiche Höhe wie der Ammonit, sie wird mit zunehmender Entfernung vom Fossil immer flacher. MAYR (1967, S. 28) beschreibt, ebenfalls aus Painten, zwei ähnliche Stücke und erklärt die Marke durch Sedimentanhäufung im Strömungsschatten. Diese Deutung ist sicher nicht zutreffend, da sich das Sediment, wie rezente Versuche zeigen, in einem vom Körper fortgerichteten, spitzen Winkel abgelagert hätte. Die Größe der Marke spricht auch dagegen, daß ihre Entstehung durch Schleifen des Ammoniten-Gehäuses auf dem Grund oder beim Auftreffen der Schale fortgeschobenes Sediment zu erklären wäre.

Nehmen wir aber an, daß die Ammoniten-Schale dicht mit Algenfäden bewachsen war, würde dies eine Erklärung ermöglichen. Als sich nach geraumer Driftzeit die Luftkammern der Schale mit Wasser füllten und diese auf den Grund sank, regelten sich die Algenfäden mit der Wasserbewegung ein. Diese braucht nur schwach gewesen zu sein. Sedimentpartikel blieben zwischen den Fäden bevorzugt haften. Am Schalenrand war der Bewuchs am dichtesten, die Ablagerung von Sediment am größten (Leeseite). Deshalb ist die Marke hier am dicksten. Auch die rauhe Oberfläche ließe sich so mit gröberen, eingefangenen Sedimentpartikeln erklären.

In einigen Plattenkalk-Schichten ist *Leptolepis sprattiformis* AG. sehr häufig. WALTHER (1904) erwähnt solche Lagen aus Brüchen bei Langenaltheim. Inzwischen wurden sie auch aus anderen Aufschlüssen bekannt, z. B. Maxberg bei S o l n h o f e n oder, nach Angaben der Arbeiter, nahe der Sohle des Bruches IMBERG bei P f a l z p a i n t.

Herrn Generaldirektor ZEHNTNER vom Solnhofer Aktienverein verdankt das Münchener Institut für Paläontologie eine etwa 210 x 120 cm große Platte vom Maxbruch (1955 I 321). Auf ihrer Oberfläche wurden 266 *L. sprattiformis* gezählt (Abb. 16). Um ihre Lage auf Einregelung zu untersuchen, waren zunächst Beobachtungen an rezenten Objekten über ihr Verhalten in bewegtem Wasser notwendig.

Gute Möglichkeit dafür bot der nach REINECK konstruierte Strömungskanal des Institutes für Meeresgeologie und Meeresbiologie „Senckenberg« in Wilhelmshaven. Nachstehend sollen die Versuche geschildert werden.

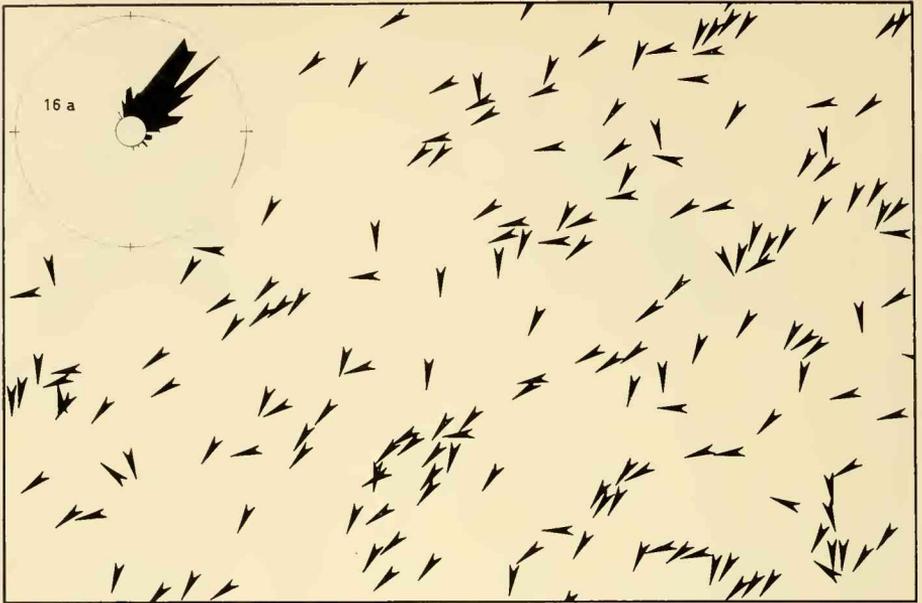


Abb. 16: Ausschnitt aus einer Platte mit 266 Exemplaren von *Leptolepis sprattiformis* AG.; Bruch Maxberg bei Solnhofen. Pfeilspitze markiert die Lage des Kopfes. Nr. 1955 I 321.

16a: Lage der 266 *L. sprattiformis* im Diagramm. Der Kopf ist zum Zentrum gerichtet. Der innere Kreis zeigt null, der äußere 30 Exemplare.

#### Technisches:

Länge des Strömungskanales:	150 cm
Breite des Strömungskanales:	43 cm
Wassertiefe	: 35 cm
Untergrund	: Feinsand
Strömungsart	: annähernd laminar
Strömungsgeschwindigkeit	: regelbar, im Versuch 12—14 cm/sec

#### Versuchsordnung:

Einregelung wurde an toten Fischen (*Sprattus sprattus* LIN.), Garneelen und nicht mehr schwimmfähigem Holz (= Totholz) verschiedener Gestalt beobachtet. Die Objekte wurden etwa in Beckenmitte der Wasserbewegung ausgesetzt.

#### Ablauf der Versuche:

I. Bei Strömung (Abb. 17).

1. Sprotten (Körperlänge zwischen 5 und 8 cm) wurden regellos in mit ca. 12 cm/sec. strömendes Wasser geworfen. Sie sanken innerhalb von 3—4 Sekunden ab und regelten sich schon im Sinken in Strömungsrichtung ein. Von 13 Exempla-

ren lagen 10 mit dem Kopf entgegen der Strömung, drei in Richtung der Strömung. Zahlreiche Parallel-Versuche brachten ähnliche Ergebnisse. Die bevorzugte Lage des Kopfes gegen die Strömung erklärt das höhere Gewicht desselben, er wirkt wie ein Anker. Ferner bieten die Brustflossen in dieser Lage der Strömung am wenigsten Anhalt.

Danach wurde, ebenfalls regellos, Totholz in das Becken geworfen. Die einzelnen Stücke regelten sich noch während des Sinkens mit ihrer Längsachse in Richtung der Strömung ein und legten sich parallel zu den Fischen. Durch gegenseitige Behinderung der zahlreichen am Grund liegenden Objekte kamen Schräglagen zustande. Eine etwa in der Beckenmitte erfolgte Anhäufung der Objekte ist auf die nicht ganz laminare Strömung zurückzuführen; die Stücke kamen in weniger bewegten Zonen bevorzugt zur Ruhe.

2. Im mittleren Teil des Kanals wurden 18 Sprotten in 4 Reihen parallel zueinander und senkrecht zur erwartenden Wasserbewegung auf den Boden gelegt. Alle Tiere lagen auf der Seite, den Kopf zur Rückwand und den Bauch gegen die Strömung gerichtet. Der Abstand der Reihen voneinander betrug 12,5 cm. Das Becken wurde gefüllt und Strömung erzeugt. Bei Geschwindigkeiten unter 10 cm/sec gab es keine Lageänderung. Um Überlastung des Motors zu vermeiden, konnte diese niedrige Geschwindigkeit nur für kurze Zeit beibehalten werden. Bei Steigerung auf 12—14 cm/sec kamen die Fischkörper in Bewegung und drehten sich langsam in Strömungsrichtung. Eine Anhäufung in verschiedenen Bereichen des Beckens ist auch hier mit teilweiser Turbulenz zu erklären. Einigemal kamen zwei Fische dicht nebeneinander zu liegen, Ursache dafür waren Stromschatten und Wirbelbildung (s. S. 141 f.). Körper, die einmal eingeregelt waren, wurden nur selten weiterverfrachtet, sie hatten ihre stabilste Lage erreicht. Kam es ausnahmsweise zu erneutem Transport, so nahm der Körper anschließend wieder die stabile Lage ein. Bei solchen Umlagerungen hinterließen die Sprotten auf dem Feinsand schwache Marken.

Nach 20 Minuten wurde der Versuch abgebrochen, alle Fische hatten sich parallel zur Strömung eingeregelt. 13 lagen mit dem Kopf gegen und 5 in Stromrichtung.

3. Die Fische wurden in ihrer stabilen Lage (Kopf gegen die Strömung) in vier parallelen Reihen auf den Grund gelegt. Gleich nach dem Einsetzen der Strömung (13 cm/sec) drehten sich die Körper in die stabilste Seitenlage, je nachdem, ob der Kopf etwas nach rechts oder links gebogen war, auf die rechte oder linke Seite. So wurde der Strömung eine möglichst geringe Ansatzfläche geboten. Durch unterschiedliche Strömungsverhältnisse kam es zu Zusammenlagerungen von Körpern an einigen Stellen. Die Ausgangsrichtung wurde aber nur in einem Fall geändert, als ein Fisch gegen einen zweiten trieb und dann quer vor diesem Hindernis liegen blieb. Die zuvor ausgeführte Seitwärtsbewegung war ein schräges Rollen um die eigene Achse in Strömungsrichtung. Versuche mit Totholz und Garneelen zeigten gleiche Ergebnisse.

4. Ließ man die Körper in stehendem Wasser absinken und erzeugte erst Strömung, wenn sie auf dem Grund Ruhelage eingenommen hatten, so kam es eben-

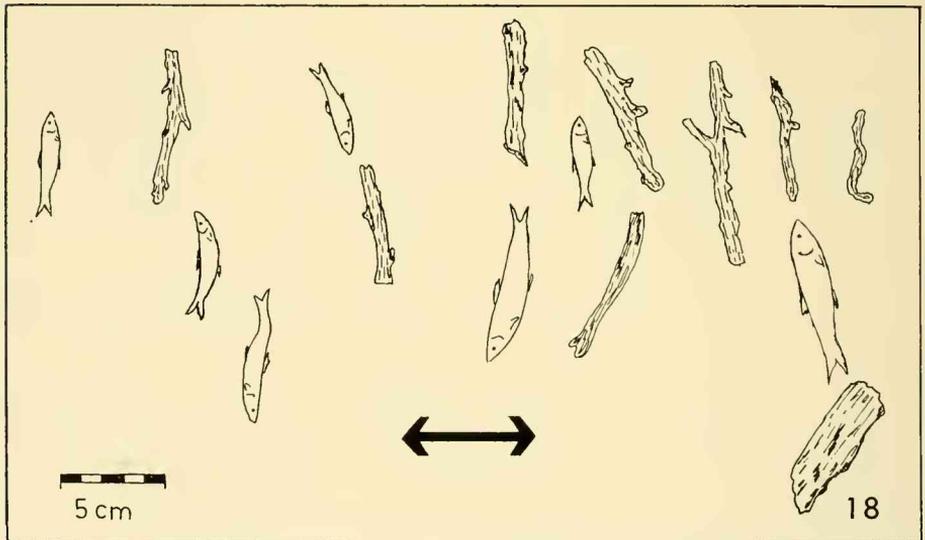
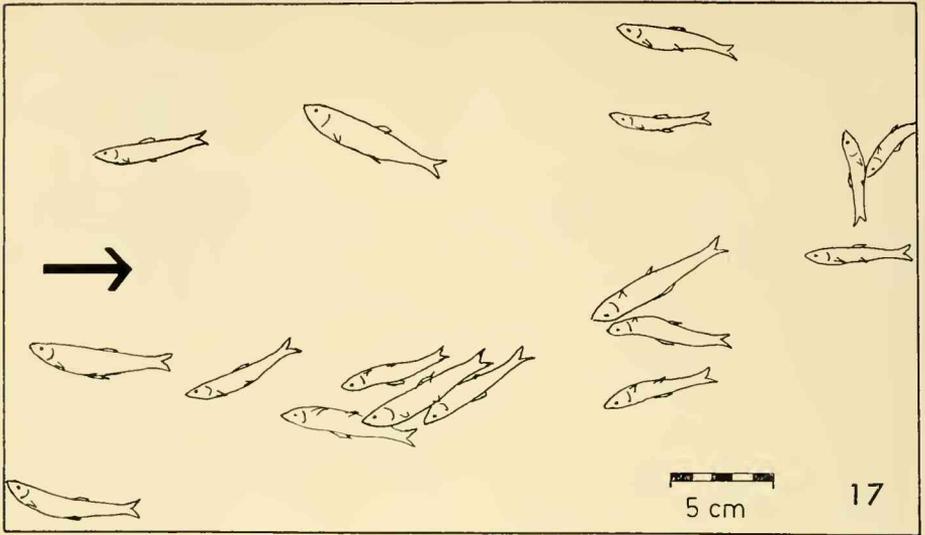


Abb. 17: Einregelung von Sprotten im Strömungskanal. Der Pfeil zeigt die Strömungsrichtung.

Abb. 18: Einregelung von Sprotten und Totholz im Strömungskanal. Die Pfeile zeigen die Richtung der Oszillation.

falls zu schneller Einregelung. Das Ergebnis unterschied sich nicht von den vorhergehenden Versuchen.

## II. Bei Seegang (Oszillation), Abb. 18.

1. Verschiedene Körper (Sprotten, Garneelen, Totholz) wurden in Längsrichtung des Strömungskanals parallel zueinander auf den Grund gelegt. An einem Ende des Versuchsbeckens wurde mit Hilfe eines senkrecht im Wasser stehenden Brettes, welches rhythmisch vorwärts und rückwärts geneigt wurde, Seegang simuliert. Schon nach wenigen Sekunden drehten sich die Körper um  $90^\circ$  und hatten dann ihre stabile Lage erreicht. Sie rollten nun um ihre eigene Achse. Lediglich sehr ungleichmäßig geformte Stücke regelten sich nicht ganz senkrecht zur Wasserbewegung ein.

2. Die Körper wurden quer in das Becken gelegt. Bei Beginn der Oszillation gerieten sie in Bewegung und rollten um ihre Achse, ohne die Richtung ihrer Lage zu ändern, sie blieb etwa senkrecht zur Wasserbewegung.

3. Wurden die Körper in bereits oszillierendes Wasser geworfen, so regelten sie sich schon während des Sinkens quer zur Bewegungsrichtung ein und behielten auch auf dem Beckengrund diese Lage bei.

Aus den Versuchen folgt also

1. Alle länglichen Körper regeln sich im bewegten Wasser ein, sofern die Wasserbewegung stark genug ist, diese Körper zu bewegen.

2. Für die Einregelung ist die Ausgangslage ohne Bedeutung.

3. Bei Strömung erfolgt Einregelung parallel zur Strömungsrichtung. Der Schwerpunkt des Körpers liegt ihr entgegen.

4. Bei Oszillation erfolgt Einregelung senkrecht zur Wasserbewegung.

Auf der Platte vom Maxbruch bei Solnhofen wurden alle Exemplare von *L. sprattiformis* eingemessen. Die Werte wurden auf einen  $360^\circ$ -Kreis bezogen. In Abb. 16a sind sie derart aufgetragen, daß die Köpfe zum Zentrum gerichtet sind. Da die Platte nicht orientiert ist, wurde die rechte äußere Begrenzungslinie der Zeichnung (Abb. 16) als Nordsüdachse angenommen.

Die starke Häufung der Werte in einer Richtung läßt auf Einregelung durch Wasserbewegung schließen. Die fast ausschließlich in eine Richtung weisenden Köpfe machen es wahrscheinlich, daß es sich bei dieser Wasserbewegung um gleichmäßige Strömung aus einer Richtung handelte.

Bemerkenswert ist, daß verschiedentlich zwei Fischkörper dicht beieinander liegen. Diese Erscheinung wurde schon von früheren Autoren beschrieben. WALTHER (1904, S. 151) erklärt sie mit paarweisem Schwimmen der Tiere. Gleicher Ansicht ist ABEL (1927, S. 543), wenn er schreibt: „Die großen Platten . . . auf denen die Exemplare paarweise nebeneinander zu liegen pflegen . . . stellen den Todesort der in der Laichzeit paarweise die seichten Küstengewässer aufsuchenden Fische dar.“ Nach seiner Auffassung wurden die Tiere „ . . . von einer aus der Lagune von Solnhofen zurückflutenden Welle auf das Trockene gesetzt . . . und verendeten“ (Sci-

te 521). WEIGELT (1928, S. 346) spricht von „... im Flachwasser angedrifteten, Strömungsorientierung zeigenden Leptolepis-Schwärmen“ und weiter „Die paarweise Lage beruht auf der gegenseitigen Anziehung, die schwimmende Körper aufeinander ausüben.“ Er nimmt also Eindriften toter Tierkörper und ihre Einregelung durch Strömung an. WEIGELT vertritt die Meinung, daß „Die Fische ... sich im allgemeinen senkrecht zur Wasserbewegung ein(stellen)“, vermutete jedoch Strömung und nicht Oszillation (S. 346). Das trifft aber, wie Rezent-Versuche zeigen, nicht zu. Die bei WEIGELT (Fig. 11) abgebildeten Exemplare liegen fast ausnahmslos mit dem Kopf in gleicher Richtung. Sicher sind sie durch Strömung, die aber senkrecht zu der vom Autor vermuteten verlief, eingeregelt worden.

WIMAN (1936) schließt sich der älteren Auffassung des paarweisen Schwimmens zur Laichzeit an. Besonders enges Zusammenliegen der Fossilien deutet er, daß „... der Boden so plötzlich trocken lief, daß die beiden nicht einmal Zeit hatten zu erschrecken ... und sinnlos die Flucht zu ergreifen“ (S. 220).

In Experimenten zeigte sich, daß Einregelung und paarweises Liegen von Körpern unter bestimmten Strömungsbedingungen zustande kommen kann. Darüber hinaus wäre es unwahrscheinlich, daß in das überwiegend lebensfeindliche Milieu der Solnhofener Lagunen (BARTHEL 1964, S. 62; SCHAIRER 1968, S. 303, diese Arbeit, S. 170 f) Fischschwärme zum Laichen gezogen sind.

## 2. Synärese

„Synärese ist die besonders bei thixotropen Gelen beobachtete, unter Bedeckung durch das Solvationsmittel oder auch außerhalb desselben erfolgende Ausstoßung von Lösungsmitteln bei Verminderung des Volumens unter annähernder Erhaltung der äußeren Gestalt.“ (JÜNGST 1934, S. 320).

Die von JÜNGST geschilderten Vorgänge beim Absatz von kolloidalen Schlammern können auch zur Erklärung von Schichtflächen-Reliefs in den Plattenkalken dienen. Polygonale Strukturen auf Schichtoberflächen wurden hier von früheren Autoren (SCHWERTSCHLAGER 1919, S. 12; MAYR 1964, S. 23 u. 1967, S. 25; BARTHEL 1964, S. 48) als Trockenrisse gedeutet.

Zwei Schichtflächen der Bänke 4 und 9 im Bruch bei Daiting zeigen polygonale Strukturen, die von Wülsten auf der Plattenoberfläche gebildet werden. Während sie in Bank 4 nur aus einfachen, 4–6 cm langen, flachen Wülsten bestehen, ist die Ausbildung in Bank 9 komplizierter. Die Kantenlänge der Polygone beträgt hier bis zu 25 cm und die bis zu 2 cm breiten Wülste sind durch feine, parallele Längsstreifung in sich gegliedert. Die großen Polygone lassen sich noch in 5 mm tiefer liegenden Schichten erkennen, sie sind hier aber als Vertiefungen ausgebildet. Im Netz der großen Polygone liegt ein weiteres Netz feiner Wülste, das wesentlich enger ist. Diese dünnen Marken sind nur auf der Oberfläche erkennbar, in tieferen Lagen sind sie nicht mehr zu bemerken.

BARTHEL (1964, S. 47 f.) beschreibt aus dem RASHOFER- und aus dem RYGOL-Bruch bei Painten Lagen mit angeblichen Trockenrissen. Sie konnten erneut in

einigen Schichten nachgewiesen werden, gleicherweise auch in den Brüchen HARTEIS und NIEBLER bei Hennhüll. In ihrer Ausbildung entsprechen sie den von Daiting bekannten Marken, haben jedoch ein kräftigeres Relief. Liegt in dieser Schicht ein Fremdkörper, z. B. ein Ammonit, so laufen die Wülste sternförmig von ihm fort (Taf. 6, Fig. 2). Auf den Kämmen der Wülste sind kleine Kalzit-Drusen zu beobachten (s. auch BARTHEL 1964).

Diese Erscheinungen wurden bisher als Trockenrisse gedeutet. Auch BARTHEL, der sich für Bildung der Ablagerungen vorwiegend unter Wasserbedeckung ausspricht, hielt in diesen Fällen ein Trockenfallen des Ablagerungsbereiches für gegeben. Die Besonderheit, daß die „Trockenrisse“ auf der Plattenoberfläche als Wülste ausgebildet sind, erklärt er wie folgt: „Bei erneuter Überflutung wurden die Sprünge mit Material ausgefüllt, das der Setzung widerstandsfähiger gegenüberstand als das, in dem die Sprünge klawten. Deshalb erscheinen die Trockenrisse auf der Oberseite der Liegendplatte positiv anstelle von negativ“ (1964, S. 48). Würde diese Deutung zutreffen, so wäre zu erwarten, daß im senkrechten Schliif durch einen derartigen „Trockenriß“ und das umgebende Sediment ein Unterschied im Material festzustellen ist, etwa in der Art der bei VAN HOUTEN (1964) beschriebenen „crackcasts“. Dies ist aber nicht der Fall.

JÜNGST (1934) gibt durch seine Untersuchungen über Synärese eine andere Deutungsmöglichkeit. Er beschreibt die „Ausbildung der Oberfläche eines zum Absatz gelangenden kolloidalen Gesteins durch den Sedimentationsakt selbst“, dem man bisher stillschweigend „ursprüngliche Ebenheit und Glätte“ zubilligte (S. 312). In zahlreichen Versuchsreihen wird gezeigt, daß viele Erscheinungen, die bisher auf sekundäre, äußere Einflüsse zurückgeführt werden, die Flachwasser oder Trockenlage zur Voraussetzung hatten, ebenso durch Synärese unter Wasser entstanden sein können. Besonders gilt das für sog. „fossile Regentropfen“ und „Trockenrisse“. Aus Versuchen, die sich z. T. über Monate hinzogen, ergab sich: „Kalte und heiße Aufschlammungen mehr oder minder kolloidaler Tone zeigen beim Absatz alle Arten von Eindrücken flachster und unscheinbarer Gestalt übergehend zu typischen „Regentropfeneindrücken“ mit scharfen Rändern bis zu mächtigen, der Oberfläche auflagernden, vulkanartigen Kegeln. Die Art der Gebilde ist abhängig vom Elektrolytgehalt des Wassers, von der mechanischen Verunreinigung der Tone und der Menge der auf einmal herniedersinkenden und absitzenden Substanz. Sie ist völlig unabhängig von äußeren Einflüssen, verdankt lediglich dem Sedimentwerden ihren Ursprung“ (S. 314). Häufig kann es dabei auch zu polygonalen Riß-Strukturen kommen, die von echten Trockenrissen nicht zu unterscheiden sind. „In besonders günstigen Fällen ließ sich die . . . Rißbildung durch reihenartig angeordnete kleine Wasseraustritte von der Gestalt ‚fossiler Regentropfen‘ verfolgen“ (S. 323).

Man darf annehmen, daß auch bei der Verfestigung des Kalkschlammes, aus dem sich die Plattenkalk-Ablagerungen bildeten, Kolloidalterung eine Rolle spielte und daher die „Trockenrisse“ subaquatische, synäretische Erscheinungen darstellen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die o. a. feinen Kalzit-Drusen-Schnüre auf den Rücken der Polygon-Leisten. Nach JÜNGST können sie als Öffnungen für

den Wasseraustritt bei Alterung des Kolloides gedeutet werden. Später wurden diese Hohlräume mit Kalzit ausgefüllt. Die Abhängigkeit der Synärese von verschiedensten Faktoren (s. o.) erklärt auch, daß es nur in wenigen Lagen und dann u. U. in unterschiedlicher Ausbildung zu diesen „Trockenriß-Strukturen“ kam.

Polygonale Strukturen wurden auch im Bruch *H a u n s f e l d* II in drei verschiedenen Mergelhorizonten (M 9, M 17 und Mergelfugen in Bank 18) gefunden. Besonderheit bei diesen Rissen ist, daß sie offenbar erst nach Auffrieren in Erscheinung treten. In geschützten, dem Frost nicht zugänglichen Stellen sind die Oberflächen dieser Schichten glatt und ohne Struktur. Vielleicht wirkt sich die Wasser- ausstoßung in mergeligen Lagen anders aus als in Schichten, die vorwiegend aus Kalk bestehen. Aus der Literatur sind mir hierzu keine vergleichbaren Beispiele bekannt. „Trockenrisse“ im Hauptmuschelkalk erklärt HÖLDER (1961) unter Bezugnahme auf Synärese als subaquatisch entstanden. VAN HOUTEN (1964, S. 515) beschreibt aus den Kalk-Dolomit-Ablagerungen der Lockatong Formation (ob. Trias, New Jersey) subaquatische Schrumpfrisse, die vermutlich auf Synärese zurückgehen und sich bei Setzung und Verfestigung noch weiter vergrößerten. SCHAR- RER (1968, S. 298 f.) beobachtete polygonale Synärese-Strukturen in Plattenkalken bei Herrnsaal/Kelheim.

Ein anderes Phänomen, das besonders deutlich auf Plattenunterflächen der Eichstätter Gegend häufig zu beobachten ist, sind zahlreiche rundliche Kalzit-Kristalle von 0,5—1 mm Durchmesser. In bestimmten Lagen sind die Plattenunterflächen damit in besonders großer Zahl bedeckt. Die Oberflächen der liegenden Platten zeigen entsprechend viele, leichte Erhöhungen, die in ihrer Mitte eine kraterförmige Einsenkung haben, in der ursprünglich, vor Trennung der Platten, der nun auf der Unterfläche der darüber liegenden Platten haftende Kalzit-Kristall lag (Taf. 7, Fig. 1, 2). Eine Deutung dieser Erscheinung wurde bisher nicht versucht. Sehr wahrscheinlich ist auch sie auf synäretische Vorgänge zurückzuführen. Nach JÜNGST entstehen bei langsamst absinkenden Schlammen nadelstichartige Vertiefungen mit z. T. randlichen Aufwölbungen (Abb. 19), Formen also, die gut den Gebilden auf den Plattenoberflächen entsprechen. Die Kalzit-Kristalle wären als sekundäre Ausfüllungen der Hohlräume zu deuten.

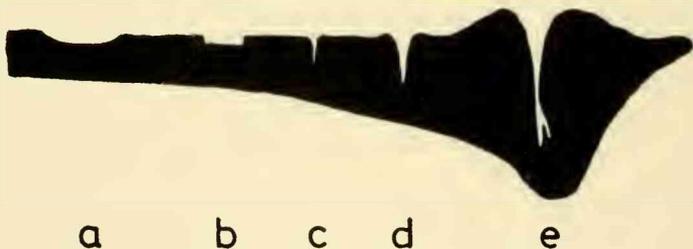


Abb. 19: Auswirkungen von Synärese auf die Oberfläche (aus: JÜNGST 1934, S. 315).  
 a und b = regentropfenartige Eindellungen, c = nadelstichartige Vertiefungen,  
 d = „Maarbildung“, e = „Kegelbildung“.

In anderen Fällen sind keine Kalzit-Kristalle ausgebildet, Ober- und Unterflächse unterscheiden sich nur durch ihr  $\pm$  positives bzw. negatives Relief (s. S. 175), mit dessen Hilfe von den Arbeitern Ober- und Unterflächen der Platten mit Sicherheit unterschieden werden. Auch dieses Relief läßt sich durch Synärese erklären. Ursprünglich sehr deutliche Synärese-Marken können, wie JÜNGST angibt, bereits durch leichte Erschütterungen wieder verfließen. Auf diese Weise kann sogar eine scheinbar glatte Oberfläche zustande kommen.

Die Erscheinungen der Synärese sind nach JÜNGST derart vielfältig, daß die Aufstellung von Regeln für ihre Ausbildung kaum möglich ist. Leichte Schrägneigung des Sedimentes, Beanspruchung durch Wasserbewegung oder jegliche Änderung des Kolloidgehaltes führe zu immer neuen Oberflächenformen, von denen viele Wochen oder Monate zur Entstehung bräuchten. Dabei könnten sie von wieder neuen Formen überlagert oder abgelöst werden. Das erklärt, warum in den einzelnen Horizonten der Plattenkalke so unterschiedliche Synärese-Erscheinungen auftreten. Auch die bei MAYR (1964, S. 23 u. 1967, S. 25) beschriebene Oberflächenform, „... die man erhält, wenn man auf feuchten Schlamm ... regnen läßt“, kann unter dem neuen Gesichtspunkt auf kolloidale Alterung und somit subaquatische Entstehung zurückgeführt werden.

### 3. Fossil und Sediment

#### a) Erhaltung

Es sollen besonders die Fossilien untersucht werden, die bei Grabungen in einzelnen Schichten häufiger anzutreffen waren, da nur hier genügend Vergleichsmaterial gewonnen werden konnte.

Im Bruch bei Daiting sind dies bei der Flora *Palaeocyparis* und *Brachyphyllum* und bei der Fauna Ammoniten, Belemniten, Fische und, als Ausnahme, Krebse.

Pflanzenreste, die in einigen Schichten recht häufig sind, waren je nach Fundhorizont verschieden erhalten. Die Bänke 6 und 8 (s. Profil, Abb. 2), die sich durch größere Festigkeit auszeichnen und nur schwer in Schichtebenen spalten, lieferten besonders gut erhaltene Reste, die z. T. noch Einzelheiten der Blattmorphologie erkennen lassen. In der sehr fossilreichen Bank 10 ist die Erhaltung weniger gut. Die Fossilien zeigen hier fast nur noch die äußere Form, ihr Feinbau ist nur in Ausnahmefällen zu erkennen. Diese Bank hat die für den Bruch typische Oberflächenstruktur (s. S. 124). Das rauhe, weiche, nicht in einer Ebene spaltene Material eignete sich weniger gut zur Erhaltung von Fossilien. Offenbar besteht hier zwischen Erhaltung und Sediment ein unmittelbarer Zusammenhang. Gelegentlich findet man in weicheren, mergeligen Schichten auch Pflanzenreste, die durch Anlösung zerstört wurden und kaum mehr als solche zu erkennen sind.

Von der Fauna sind am zahlreichsten die Ammoniten vertreten. Von der organischen Substanz der Schale ist außer des phosphatischen Siphos nichts erhalten. Die Aptychen (Kalzit) sind in ursprünglicher Zusammensetzung überliefert. Die

Ammoniten sind meist durch Setzung papierdünn zusammengedrückt. Eine „Sokkelbildung“ (s. S. 154) wurde nur bei zwei besonders großen Exemplaren von Perisphincten beobachtet. Vertikalschnitte zeigen aber gleiche Erscheinungen wie bei eingebetteten Ammoniten anderer Brüche (s. S. 154 f.). Nur war in Daiting die Setzung offenbar so stark, daß es zum völligen Zusammenpressen der Schale und Ein-ebnen der Flächen kam.

Gut erhalten sind die widerstandsfähigen Belemniten-Rostren, von denen mehrere Vertreter der Gattung *Hibolithes* gefunden wurden. In zwei Fällen war noch der Phragmokon vorhanden, allerdings stark verdrückt.

Fische findet man in Daiting fast immer beschädigt. Oft sind es nur einzelne Körperteile oder wirr durcheinander liegende Reste. Schuppen sind selten noch im Verband mit dem Körper. Zahlreiche Reste sind skelettiert. Auf einigen Schicht-flächen findet man einzelne Fischschuppen in großer Zahl.

Erheblich besser waren zwei Krebse aus Bank 6 erhalten. Die Chitin-Substanz ist noch vorhanden, und die Körperteile liegen noch im ursprünglichen Zusammen-hang.

Die Brüche bei H a u n s f e l d liefern eine reiche Ammoniten-Fauna (ZEISS 1964, S. 25). Die Fossilien sind zusammengedrückt, aber noch körperlich erhalten, die Setzung war, im Gegensatz zu Daiting, hier weniger stark. Nach ZEISS sind von Haunsfeld auch körperlich erhaltene Krebse bekannt. Diese liegen dann in den Schichten und nicht auf deren Oberflächen. Fische befinden sich im Bruch Hauns-feld „meist im Zustand des Zerfallens“ (ZEISS 1964, S. 25). In den im Hangenden von Haunsfeld I erschlossenen, unteren Lagen des Weißjura zeta 3 (Wilder Fels) sind die Ammoniten nur wenig verdrückt und häufig in schräger oder senkrechter Lage erhalten.

Fossile Medusen sind für die Brüche von P f a l z p a i n t und G u n g o l - d i n g typisch. Erste Beschreibungen der in diesem Gebiet meist ausgezeichnet er-haltenen Stücke geben HAECKEL (1866) und AMMON (1883). Nur hier kommen Me-dusen in scharfen Abdrücken vor (KIESLINGER 1924). Aus anderen Bruchgebieten des Plattenkalkes kennen wir allenfalls undeutliche, nicht sicher bestimmbare Reste. Der Grund dafür dürfte in unterschiedlichen Fossilisationsbedingungen liegen.

Fische sind bei Pfalzpaint sehr selten, aber gut erhalten. Ausgezeichnet über-liefert ist bei Pfalzpaint auch Mesolimulus, der hier etwas häufiger ist, als beispiels-weise im Eichstätter Gebiet.

Sehr unterschiedliche Erhaltung der Fossilien ist im Bruch RYGOŁ bei P a i n - t e n anzutreffen. Das gilt besonders für Fische, von denen *Leptolepis knorri* AG. und *L. sprattiformis* AG. recht häufig sind. Die zahlreichen vorliegenden Stücke lassen sich nach ihrer Erhaltung etwa in drei Gruppen einteilen:

1. Das Fossil ist vollständig mit Schuppenkleid erhalten, es ist nicht oder nur wenig deformiert.
2. Nur das Skelett ist erhalten. Keine Verdrückungen oder Verformungen haben stattgefunden. Weichteile oder Schuppen sind nicht mehr vorhanden. In einigen Fällen ist das Skelett verkrümmt, aber auch dann liegen die einzelnen Elemente fast ausnahmslos noch im ursprünglichen Verband.

3. Vom Fischkörper ist nur ein mehr oder weniger regelloser Haufen von Skelettteilen überliefert. Schuppen und Rippen sind in der Umgebung verstreut.

Auch Ammoniten, besonders die Gattungen *Perisphinctes* und *Neohetoceras* sind im Bruch RYGOŁ nicht selten. Sie können in zwei Erhaltungsweisen überliefert sein:

1. Körperliche Erhaltung. Die Stücke sind nur wenig verdrückt. Man findet sie besonders in den festeren „Kernsteinen“. Ein Vertikal-Schnitt läßt Aufsteigen und damit verbundene Deformation umliegender Schichten erkennen (s. S. 154 f.).
2. Verdrückte Stücke. In den „Fäulen“ sind die gleichen Gattungen stark deformiert und häufig bis auf eine Dicke von etwa einem Millimeter zusammengedrückt. Deformation der umliegenden Schichten ist auch hier im Vertikal-Schnitt nachzuweisen.

Die Seelilie *Saccocoma*, das bezeichnende Megafossil der Plattenkalke, findet sich im RYGOŁ-Bruch bevorzugt in einem feinen Mergelhäutchen auf der Unterfläche der Flinze. In diesem Material wurden anatomische Einzelheiten gut konserviert.

In den Brüchen bei H e n n h ü l l wurden auf den wenigen zugänglichen Flächen nur vereinzelt Fossilien gefunden und zwar ausschließlich *Saccocoma* und *Lumbricaria*. Die Erhaltung dieser wenigen Reste ist normalerweise gut, nur gelegentlich waren sie derart von Kalkspat ersetzt, daß keine Details mehr zu erkennen waren. Bei Hennhüll sind Lagen mit zerbrochenen Resten von Echinodermen, Gastropoden und Lamellibranchiaten häufig. Vermutlich wurden sie von nahen Riffen eingeschwemmt (s. S. 170).

## b) Verteilung

Im Bruch bei D a i t i n g wurden die Bänke 6, 8 und 10 auf einer Fläche von 3,5 m<sup>2</sup> abgebaut und alle gefundenen Fossilien registriert. Die besonders reiche Bank 10 wurde in einen hangenden und einen liegenden Abschnitt von je 8 cm und einer Zwischenschicht von 4 cm unterteilt. Folgende Fossilien wurden dabei gefunden:

1. Pflanzenreste	<i>Brachyphyllum</i>	<i>Palaeocypris</i>	unbestimmt	
Bank 10 oben	11	3	2	
Zwischenschicht	—	—	—	
Bank 10 unten	3	3	—	
Bank 8	1	1	—	
Bank 6	1	2	1	
2. Cephalopoden	<i>Neohetoceras</i>	<i>Perisphinctes</i>	Aptychen	Sonstiges
Bank 10 oben	14	20	2	Belemnit
Zwischenschicht	—	—	—	—
Bank 10 unten	1	1	—	—
Bank 8	7	8	—	—
Bank 6	7	20	—	Krebs

3. Fischreste	vollständig	vollständig (verspült)	Köpfe	Schwänze	unvollst. Reste
Bank 10 oben	—	5	10	1	4
Zwischenschicht	—	—	—	—	—
Bank 10 unten	4	1	1	1	4
Bank 8	3	3	—	1	1
Bank 6	1	2	—	—	—

Auffallend ist der große Fossilreichtum der obersten, 8 cm dicken Lage von Bank 10. Hier wurden mehr Tier- und Pflanzenreste gefunden als in den darunterfolgenden Bänken (mit einer Gesamtdicke von 44 cm) zusammen. Bemerkenswert sind die zahlreichen Fischreste. In der Aufstellung wurden nur solche berücksichtigt, bei denen noch ein großer Teil des Skelettes vorhanden war. Einzelne Schuppen und Skeletteile finden sich darüber hinaus sehr häufig, sie wurden nicht mit erfaßt.

Nach einer fossilfreien Zwischenschicht, die durch harte, dunkelgraue Bänder gekennzeichnet ist (s. S. 124), werden wieder Fossilien in der Bank gefunden, jedoch erheblich weniger. Bemerkenswert ist, daß in diesem Teil die Fische weniger zerfallen sind als in dem fossilreicheren, oberen Abschnitt. So fanden sich hier 4 vollständige, nur wenig verspülte Exemplare (3 *L. knorri*, 1 *Aspidorhynchus* sp.).

Auffallend ist die Abnahme von Ammonitenresten. Das obere Schichtpaket von Bank 10 brachte 34, das untere nur 2 Reste. Erst in Bank 6, und hier nur in den unteren 5 cm, wurden Ammoniten wieder häufiger gefunden. Diese Lage zeichnet sich besonders durch die Größe der hierin enthaltenen Ammoniten aus. Es wurden Exemplare mit einem Durchmesser bis zu 25 cm gefunden, die auf diese Schicht beschränkt zu sein scheinen.

Höher im Profil wurden 6 m<sup>2</sup> von Bank 20 systematisch nach unten abgebaut. Die Höhe des abgebauten Plattenstapels betrug 83 cm und umschloß die Bänke 20—14. Auf die einzelnen Schichten verteilen sich folgende Fossilien:

1. Pflanzenreste	<i>Brachyphyllum</i>	<i>Palaeocyparis</i>	unbestimmt
Bank 20	—	7	—
Bank 18	—	2	—
Bank 16	—	18	2
Bank 14	—	5	5

2. Fischreste	vollständig	vollständig (verspült)	Köpfe	Schwänze	unvollst. Reste
Bank 20	—	1	—	—	—
Bank 18	—	—	—	—	—
Bank 16	—	1	3	1	1
Bank 14	1	1	1	—	—

Ferner stammen aus Bank 16 noch 3 Belemniten-Rostren (*Hibolithes*) und ein *Plesiotheutis*. Auch hier wird unterschiedlicher Fossilinhalt der Bänke deutlich. Bank 16 lieferte überdurchschnittlich viele Reste, die ausschließlich in den obersten 10 cm der Lage gefunden wurden. Mit Einsetzen der harten, dunkelgrauen Bänder wird die Bank, ähnlich wie die 4 cm Zwischenlage von Bank 10, fossilfrei. Vergleich mit den Funden aus den Bänken 6 bis 10 zeigt, daß kein Vertreter von *Brachyphyllum* in den höheren Bänken gefunden wurde. In den unteren Lagen dagegen war *Brachyphyllum* der häufigste Pflanzenrest. Nur eine spätere Grabung lieferte neben zahlreichen *Palaeocypris*-Resten auch ein *Brachyphyllum* aus den höheren Lagen.

Weiterhin stellte sich heraus, daß die Größe der Pflanzenreste von Bank zu Bank unterschiedlich sein kann. So wurden besonders aus den Bänken 10 und 18 größere Äste und Zweige bekannt. Die Bänke 6, 8 und 20 enthielten zumeist nur kleinere Zweige und Pflanzenhäcksel. Die Ursache dafür kann in unterschiedlichen Verdriftungsbedingungen, z. B. Änderung von Windstärke oder Wasserströmung, liegen.

Die Brüche von Hausfeld sind besonders im Hangenden fossilreich. Hier durchziehen zahlreiche Grabgänge das Sediment, und Ammoniten sind vor allem auf der Oberfläche von Bank 50 häufig (s. S. 135). Zum Liegenden nehmen Lebensspuren und Fossilien schnell ab, nur Bank 36 birgt wieder Ammoniten in größerer Anzahl.

Bereits WALTHER (1904, S. 142) beschreibt das Vorkommen von Quallen in bestimmten Horizonten der Brüche bei Pfalzpaint. Nach seinen Angaben kommen sie in vier verschiedenen Lagen vor, die sich in ihrer petrographischen Ausbildung nicht von den übrigen unterscheiden. Ein weiterer Horizont ist nach WALTHER durch ein eigentümliches Fossil, *Anthonema problematicum*, ausgezeichnet. Dieser soll etwa 3 m unter dem obersten Medusen-Horizont liegen, war im Gelände aber nicht wieder aufzufinden. Das Fossil wurde aber aus einem Bruch bei Schernfeld bekannt. ABEL (1927) möchte nur drei Medusen-Horizonte bei Pfalzpaint gelten lassen. Er vermutet, daß hier, wie auch bei *Leptolepis*-Platten, Ablagerungsperioden zu rekonstruieren sind, also periodische Masseneinschwemmungen von Medusen bzw. während der Laichzeit umgekommener Fische.

Nach Aussagen der Arbeiter vom Bruch IMBERG werden Quallen gelegentlich wohl in allen Schichten gefunden, bevorzugt aber in vier verschiedenen Lagen. Dem entgegen steht die Angabe von MAYR (1967, S. 22), der nach Aussagen von Arbeitern eine gleichmäßige Verteilung der Medusen im Profil annimmt. Leider sind die Angaben nicht nachzuprüfen, da die entsprechenden Lagen schon seit geraumer Zeit nicht mehr zugänglich sind.

Im Bruch RYGOL bei Painten wurde mir nur eine Schicht (160 cm über der Krümmen Lage III) mit gehäuften Vorkommen von Fossilien bekannt. Es handelt sich hier um *Saccocoma*, von der auf einer Fläche von 2,8 m<sup>2</sup> 226 Exemplare ausgezählt wurden. In den Brüchen bei Hennhüll sind einige Schichten durch Lebensspuren gekennzeichnet (s. S. 163). Von den Schillanreicherungen in einzelnen Bänken abgesehen, wurde Fossilanhäufung hier nicht beobachtet.

Wohl überzeugendstes Beispiel für massenhaftes Vorkommen von Fossilien in bestimmten Lagen in *Saccocoma*. Zwar wird sie in unterschiedlicher Erhaltung und Häufigkeit in allen Plattenkalkbrüchen gefunden, ist aber besonders zahlreich in den Brüchen um Eichstätt, wo sie in zwei Lagen, der „unteren Knopffeten“ und der „oberen Knopffeten“, milliardenfach auftritt. Sie ist dort derart häufig, daß diese Platten meist nicht verwendet werden; sie gehen mit dem Abraum auf die Halde.

Im Liegenden der „unteren Knopffeten“ findet man im Gebiet von Schernfeld eine Schicht, deren Oberfläche mit Resten von Jugendexemplaren von *Saccocoma* bedeckt ist (Taf. 7, Fig. 5, 6). Nur vereinzelt liegen dazwischen auch adulte Formen. Die Anzahl der jungen *Saccocomen* ist erstaunlich hoch. An mehreren Stellen wurden Flächen von 30 cm<sup>2</sup> ausgezählt. Der Mittelwert lag bei 169 Exemplaren, das bedeutet also rund 56 000 pro Quadratmeter! Ebenfalls aus dem Schernfelder Bruchgebiet ist in bestimmten Lagen gehäuftes Vorkommen von *Phalangites priscus* MÜNSTER bekannt (von MÜLLER 1962 als Pantopode gedeutet, wahrscheinlich aber eine Decapoden-Larve [*Phyllosoma*]).

Auch in dem großen Bruch des Wittelsbacher Ausgleichsfonds bei Zandt (Bl. 7035, R 64 280 — H 20 100) liegen die Fossilien nicht gleichmäßig verteilt. Den Arbeitern sind genau die Schichten bekannt, in denen das typische Fossil des Bruches, *Geocoma carinata* GF., häufiger zu finden ist. Auch Krebsreste (*Eryma* sp.) werden angeblich meist in den gleichen Lagen gefunden.

Aus dem Solnhofen-Langenaltheimer Bruchrevier erwähnt LANGE (1968, S. 9) das Vorkommen mehrerer, etwa gleich großer und gleichartig eingebetteter Vertreter von *Urocles elegantissimus* (WAGNER) in vermutlich gleicher Bank.

Leider lassen es die Abbauverhältnisse in den einzelnen Brüchen meist nicht zu, durch systematische Freilegung und Auswertung größerer Flächen genaues Zahlenmaterial zu erhalten. Die Angaben mußten sich auf einzelne Bänke, sowie die Aussagen anderer, mit dem Abbau betrauter Personen beschränken. Dennoch darf wohl in noch stärkerem Maße als bisher die Ansicht vertreten werden, daß in den Plattenkalken des untersuchten Gebietes bestimmte Fossilien bevorzugt in gewissen Horizonten vorkommen.

### c) Einbettung

Untersuchungen von Lage der Fossilien zum umgebenden Sediment können Aussagen über die Art ihrer Einbettung und zur Hangend-Liegend-Orientierung ermöglichen. Erster derartiger Hinweis findet sich bei WALTHER (1904, S. 209). Hier wird davon gesprochen, daß „... die meisten Fossilien auf der Unterseite der Kalkplatten beobachtet werden“. ROTHPLETZ (1909) läßt diese Meinung nur mit Einschränkungen gelten und verweist darauf, daß „Die Verhältnisse ... viel mannigfaltiger“ sind (S. 321). Untersuchungen an vielen hundert in der Bayerischen Staatssammlung befindlichen Stücken ergeben, daß generell WALTHER zustimmen ist. Durch ihre typische Lage ermöglichen die Fossilien fast immer die Hangend-

Liegend-Orientierung der betreffenden Platte. Im folgenden soll die Einbettung der häufigsten Fossilien beschrieben werden.

## 1. Belemniten

Rostren von Belemniten (vorwiegend *Hibolithes* sp.), z. T. noch in Verbindung mit dem Phragmokon, werden gelegentlich in allen Plattenkalkbrüchen gefunden. Erste ausführliche Beschreibung ihrer Einbettung sowie Folgerungen auf Sedimentbeschaffenheit und Wasserbedeckung gibt BARTHEL (1964, S. 39 f.).

Bei den Geländearbeiten wurden im Bruch bei Daiting 7 Belemniten (*Hibolithes* sp.) in situ gefunden, 5 davon in Bank 16. Alle diese Stücke lagen nicht horizontal auf einer Schichtfläche, sondern waren schräg eingebettet. Der Phragmokon war bei 4 der 7 Stücke noch mit dem Rostrum verbunden.

Nach BARTHEL wird sich ein absinkendes Rostrum oder das System Rostrum-Phragmokon meist mit der Spitze in das Sediment einbohren. Hierbei ist es vom Winkel des Auftreffens abhängig, wie tief die Spitze ins Sediment eindringt. Ein Handstück mit einem schräg eingebetteten Belemniten läßt also Hangend-Liegend-Orientierung zu. Ferner spricht diese Art der Einbettung, worauf auch BARTHEL hinwies, unbedingt für Wasserbedeckung. Bei Rückgang des Wassers zurückbleibende Tiere würden nicht in Schräglage eingebettet. Senkrechte Einbettung, wie sie BARTHEL aus Haunsfeld beschreibt, wurde in Daiting nicht bekannt. Die Schräglage der dort gefundenen Belemniten liegt zwischen  $10^\circ$  und  $20^\circ$ . Durch Schnitte wurde versucht, Näheres über Art der Einbettung und ursprüngliche Lage im Sediment zu ergründen.

Taf. 7, Fig. 4 zeigt einen solchen Schnitt durch einen vom Sediment umgebenen *Hibolithes*. Die Art der Verdrückung der Alveole läßt vermuten, daß er ohne den Phragmokon eingebettet wurde. Betrachten wir zunächst die unter dem Fossil liegenden bzw. bei seinem Eindringen in das Sediment durchstoßenen Schichten. An der Alveole sind die Schichten nach oben gebogen. Gleich darunter biegen sie nach unten um und laufen entlang des Rostrums spitz aus. Am unteren Drittel des Fossils sind die Schichten nur nach unten gebogen und etwas ausgedünnt, sie wurden offenbar nicht mehr durchbohrt. Die feinen Lagen vor und direkt oberhalb der Rostrenspitze wurden gestaucht. Etwa 5 mm von der Rostrenspitze in Richtung Alveole laufen die Schichten leicht nach oben und dünnen in sehr spitzem Winkel am Fossil aus. Von besonderem Interesse ist die Verdrückung des äußersten Teiles der Alveole. Der untere Teil der Alveolar-Begrenzung ist abgeknickt und nach oben gerichtet. Der obere Teil ist nach unten geknickt. Dafür bietet sich folgende Erklärung:

Der Belemnit traf ursprünglich in steilerer Lage auf das Sediment und drang in dieses ein. Im Laufe der Zeit (über die Dauer lassen sich keine Aussagen machen) neigte er sich immer mehr. Dabei wurden die Lagen an der Rostrenspitze gestaucht. Zum anderen mußte bei Absinken des Belemniten ein gewisser Widerstand des Sedimentes überwunden werden. Die Festigkeit der dünnen Alveolar-Begrenzung reichte dabei nicht aus, und es kam zu ihrer Abknickung. Es scheint möglich, aus

der Lage der Alveolar-Begrenzung Schlüsse auf die ursprüngliche Einbettung zu ziehen. Das Fossil hat jetzt eine Neigung von etwa  $15^\circ$ , der abgeknickte Alveolar-  
teil von  $40^\circ$ . Unterstellt man, daß dieser, bevor er abknickte, zusammen mit dem  
Rostrum noch etwas geneigt wurde, so kommt man auf einen ursprünglichen Ein-  
sinkwinkel von  $45^\circ$  bis  $50^\circ$ . Dieses schräge Auftreffen und Einsinken erklärt  
dann auch, warum das Rostrum nicht sonderlich tief in den Schlamm eindrang. Der  
obere Teil der Alveolar-Begrenzung ist ebenfalls abgeknickt, und zwar nach innen.  
Das geschah vermutlich erst später, infolge von Setzung.

## 2. Aptychen

Fast ausnahmslos findet man in den Plattenkalken die Aptychen in der Lage  
„gewölbt unten“ eingebettet. Während der Gelände-Untersuchungen wurden 103  
Aptychen in situ beobachtet und nur in 5 Fällen abweichende Einbettung, nämlich  
„gewölbt oben“, festgestellt. Die Lage „gewölbt unten“ ist für die Aptychen im  
Untersuchungsgebiet so typisch, daß auch sie als ein Kriterium für die Unterschei-  
dung von Liegend- und Hangend-Fläche herangezogen werden kann. Als Ursache  
für diesen „Nebenfall der Regelmäßigkeit“ (RICHTER, 1942, S. 188) ist mit RICHTER  
das Sinken im Stillwasser anzunehmen. Schon FUCHS (1895, S. 12) zeigte in seinen  
Fallversuchen, daß schüsselförmige Körper, im ruhigen Wasser absinkend, aus-  
nahmslos die Ruhelage „gewölbt unten“ einnehmen. QUENSTEDT (1927, S. 389) und  
LÜDERS (1929, S. 140) konnten in weiteren Versuchen an Lamellibranchiaten-Scha-  
len diese Beobachtungen bestätigen. RICHTER (1942, S. 190) prägte dafür die Be-  
zeichnung „Sinken aus dem Wurf“. Die bisher nur auf Lamellibranchiaten, Gastro-  
poden und Arthropoden angewandten Erkenntnisse sind auch, wie ein Experiment  
zeigt, auf Aptychen zu übertragen.

Ein Lamell-Aptych wurde in einem 25 cm tiefen Wasserbecken zum Ab-  
sinken gebracht. Er kam stets mit der Wölbung nach unten auf dem Boden des  
Gefäßes zu liegen, unabhängig davon, ob die Ausgangsstellung „gewölbt unten“  
oder „gewölbt oben“ gewesen war. Schon nach einem Sinkweg von 5—8 cm hatte  
der Aptychus die Endlage „gewölbt unten“ eingenommen und sank hin- und -her-  
pendelnd zu Boden.

Die fast ausschließliche Einbettung der Aptychen in der Lage „gewölbt unten“  
in den Plattenkalken ist also auf Absinken im ruhigen oder nur schwach bewegten  
Wasser zurückzuführen. Nur in Sonderfällen wird die bei BARTHEL (1964, S. 48)  
vertretene Ansicht des „Einsinkens im Schlamm“ als Nebenfall der Einkippungsre-  
gel (RICHTER 1942, S. 189) zutreffen, was eine nachträgliche Lageänderung bedeu-  
ten würde.

Einen typisch eingebetteten Aptychus zeigt Abb. 20. Das Stück stammt aus  
dem Bruch H a u n s f e l d II, Oberfläche der Bank 50 und zeigt im Vertikal-  
Schnitt deutliche Schichtung. Im einzelnen liegt nachstehende Abfolge vor (von un-  
ten nach oben gemessen):

1. ca. 2,5 mm Lage mit zahlreichen Radiolarien(?)-Resten. Die Oberfläche dieser  
Schicht zeigt leichtes Relief.

2. 0,5 mm Kalkbänckchen
3. sehr dünne, helle Kalklage
4. 4,8 mm hellgraue Kalklage
5. 0,5 mm Lage mit zahlreichen Radiolarien-Resten
6. 1,3 mm heller Kalk
7. Aptych

Die Werte wurden an den äußeren Enden des Stückes, nicht unter dem Fossil, gemessen. Der Schnitt zeigt, daß der Aptych bei Auftreffen auf das Sediment die Oberschicht eingedrückt hat und auch die darunterliegenden Lagen noch verformte. Im vorliegenden Fall ist ein ca. 10 mm dickes Schichtpaket durch den Aptychen verändert worden. Naturgemäß am stärksten war die Deformierung der Kalklage 6. Diese ursprünglich 1,3 mm dicke Lage wurde zur Seite gedrückt. Sie ist rechts vom Fossil 3,5 mm und links 3,0 mm stark. Scheinbar problematisch ist hierbei, daß die Mächtigkeit dieser Schicht auch unter dem Aptychen noch 1,3—1,5 mm beträgt, also nicht schwächer ist, als im ungestörten Sedimentteil des Schnittes. Aufschluß geben weitere parallele Schnitte, bei denen sich ergab, daß der Aptych etwas schräg eingebettet ist. Dies deckt sich mit der Beobachtung im Experiment, daß ein sinkender Aptych hin und her pendelt und durch den Schwung oft noch einige cm auf dem Grund entlangrutscht. Dabei kann es zu einer leichten, in der Aufsicht kaum zu bemerkenden Schrägeinbettung kommen und ferner kann ein sehr weiches Sediment vor dem Aptychen hergeschoben werden. Beide Fälle dürften bei vorliegendem Stück gegeben sein. — Die nach unten folgende Radiolarien(?)—Lage (5) ist stark verformt. Unter dem Fossil ist sie sehr dünn (0,2 bis 0,3 mm). Sie wurde seitlich ausgequetscht und erreicht hier eine Mächtigkeit von etwa 1 mm, und erst in ca. 2,5 cm Entfernung von der äußeren Grenze des Fossils hat sie wieder ihre normale Dicke von 0,5 mm erreicht. Die Kalklage (4) ist in gleicher Weise verformt. Sie ist unter dem Aptychen 3,5—4,3 mm dick, an den Seiten ausgequetscht und 5,4—6,0 mm stark. Erst in einigen Zentimetern Entfernung wird die normale Dicke von 4,8 mm wieder erreicht. Die im Liegenden folgenden Lagen (3, 2 und 1) sind unter dem Aptychus nicht mehr ausgedünnt, sondern lediglich leicht nach unten gebogen. Vermutlich wurde bei späterer Überlagerung mit weiterem Sediment der in sich starre Aptych noch etwas tiefer in den Schlamm gedrückt. Auch hierbei wurde Materie unter dem Körper verdrängt und an den Seiten angereichert. Es ist nicht anzunehmen, daß alle beobachteten Verformungen sofort beim Auftreffen auf das Sediment erfolgten. — Zahlreiche weitere Schnitte und Anschliffe zeigten im Prinzip das gleiche Bild.

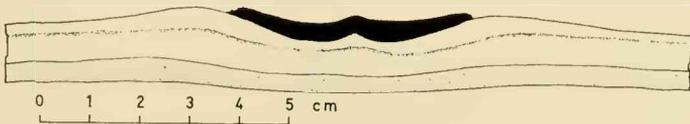


Abb. 20: Lamella aptychus im Querschnitt, Verformung des darunterliegenden Sediments zeigend. Bruch Haunsfeld I (1964 XXIII 71).

### 3. Ammoniten

Die Ammoniten stellen, nach der milliardenfach vorkommenden *Saccocoma*, die häufigsten Megafossilien der Plattenkalke. Vorwiegend liegen sie flach auf den Schichtflächen, nur selten findet man Stücke in senkrechter Lage.

Das Problem der Einbettung der Cephalopoden in den „Solnhofener Plattenkalken“ wurde erstmals von ROTHPLETZ (1909) ausführlich diskutiert. Er vertritt die Ansicht, daß die Gehäuse im Augenblick der Einbettung noch die Weichteile enthielten und führt als Stütze dafür die Tatsache an, daß häufig noch die Aptychen zusammen mit der Schale gefunden werden. Die Deformation kam dann dadurch zustande, daß Verwesungsgase und in den Luftkammern eingeschlossene Luft einen Auftrieb im weichen Sediment erzeugten. Bei größer werdendem äußerem Druck zerbrach später häufig die Schale des Cephalopoden, und ein Einsinken der darüberliegenden Schichten war die Folge. STAFF & RECK (1911) führten aus, daß vermutlich leere Gehäuse eingeschwemmt und eingebettet wurden. Der Auftrieb erfolgte dann durch die in den Luftkammern eingeschlossene Luft. MÜLLER (1951) vertritt in strenger Anlehnung an ROTHPLETZ die Einbettung der Schalen mit Weichkörper, anschließendem Auftrieb durch Fäulnisgase und spätere Setzung. REYMENT (1957) nimmt tägliche Gezeiten an, bei denen ein großer Lagunenbereich trocken fiel. Ammoniten blieben dabei zunächst mit der Wohnkammer auf dem Grund aufrecht stehen, bis sie sich mit ablaufendem Wasser auf die Seite legten. Dabei entstanden in manchen Fällen Ventraleindrücke neben der Schale (ROTHPLETZ 1909, MAYR 1964 u. 1967). Die Anwesenheit von Aptychen in einigen Schalen deutet nach REYMENT an, daß zumindest noch ein Teil der Ammoniten mit ihrem Weichkörper eingebettet wurden. Auch GĘCZY (1958) spricht sich dafür aus, daß die Weichkörper bei Einbettung noch in den Schalen waren. Nach seiner Ansicht findet beim Tod des Tieres Kontraktion der Muskeln und somit völliger Rückzug in die Wohnkammer statt. BARTHEL (1964) kommt durch Experimente zu dem Schluß, daß es sich bei den Cephalopoden der Plattenkalke um leere Schalen handelt. Der „Auftrieb“ im Sediment kam durch eingeschlossenes Wasser zustande, da dieses spezifisch leichter ist, als der umgebende, sich allmählich verdichtende Schlamm. Später kam es häufig zum Zerbrechen der Schale und damit verbundenen Setzungserscheinungen. Anderer Ansicht ist MAYR (1966). Nach seiner Meinung wurden die Schalen mit den Weichteilen eingebettet. Bei dem folgenden Fäulnisprozeß fand verstärkte Kalkausfällung statt, wodurch, besonders unter der Wohnkammer, ein Sedimentsockel entstand: „... ein Auftrieb im Sinne von ROTHPLETZ braucht nicht angenommen zu werden“ (MAYR 1966, S. 107).

Zahlreiche Schnitte durch noch vom Sediment umgebene Ammoniten sollten dazu beitragen, die eine oder andere Theorie zu bestätigen. Ein typisches Beispiel für die Einbettung zeigt Abb. 21. Die Schichten unter dem Fossil sind leicht nach oben gebogen. Sie werden von mehreren feinen Klüften, vermutlich Zerrklüften, durchzogen. Der Ammonit selbst liegt als Positiv in der Unterfläche der hangenden Platte. Er ist nicht zerbrochen. Die Luftkammern sind mit Kalkspat ausgefüllt, die Wohnkammer zeigt im höchsten Teil eine Kalkspatausfällung, die vertikale Orien-

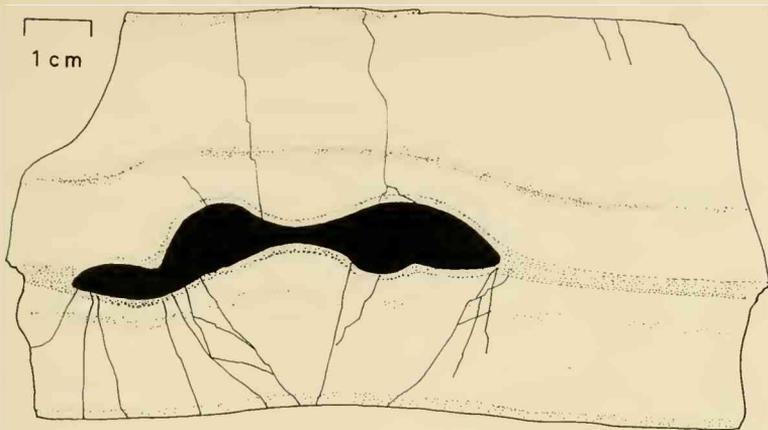


Abb. 21: *Perispinctes* sp., Querschnitt durch ein flachliegendes Exemplar und Nebengestein. Bruch Haunsfeld I (1964 XXIII 69).

terung zuläßt („geologische Wasserwaage“). Der übrige und größere Teil der Wohnkammer ist mit dem gleichen Sediment ausgefüllt, welches das Fossil von außen umgibt. Von besonderer Bedeutung ist dabei, daß sich in diesem die Wohnkammer ausfüllenden Sediment Schichtung erkennen läßt. Diese Erscheinung — sie wurde auch bei anderen Schnitten durch körperlich erhaltene Ammoniten beobachtet — ist als Beweis dafür zu werten, daß diese Gehäuse bei der Einbettung keine Weichteile mehr enthielten. Eine von MAYR angenommene, durch Fäulnisstoffe verstärkte Kalkfällung würde sicher nicht zu schichtiger Ablagerung führen. Das über dem Fossil liegende Sediment ist nach oben gewölbt. Es kam in diesem Fall also nicht zum Zerbrechen der Schale mit nachfolgendem Einsinken der hangenden Schichten. Ursache dafür kann langsamere Sedimentation und schnellere Verfestigung des Schlammes sein.

In anderen, besonders im Bruch bei Daiting häufigen Fällen ist die Ammoniten-Schale nicht mehr körperlich, sondern nur als flacher Abdruck erhalten. Ein Vertikal-Schnitt durch solche Stücke zeigt, daß die unter dem Fossil liegenden Schichten nach oben gewölbt, die darüberliegenden nach unten eingesenkt sind. Dazwischen liegt flach und papierdünn der Ammonitenrest; das gilt nach meinen Beobachtungen auch für Stücke, bei denen der Aptych in der Schale erhalten ist. Die Dicke der durch die Auftriebs- und Setzungserscheinungen beanspruchten Schichten hängt von der Größe des eingebetteten Fossils ab. Es kam aber in der Regel offenbar nicht zu einer vermehrten Kalkausscheidung und Verdickung der Schichten um das Fossil.

Der Schnitt durch einen *Aspidoceras* sp. aus Haunsfeld I (Taf. 8, Fig. 1) zeigt hellgrauen Kalk mit deutlicher Schichtung. Es folgen im Wechsel dichter Kalk und Lagen größeren Materials. Im oberen Teil des Schnittes liegt der Ammonit, von ihm ist der vordere Wohnkammerteil mit Aptych und der hintere Wohnkammerteil (u. U. aber auch bereits die letzte Luftkammer) angeschnitten. Darüber

folgen im Wechsel wieder Kalk- und Radiolarien(?) -Schichten. Das Stück hat eine Gesamthöhe von 8 cm. Seine Basis ist unter dem Fossil leicht nach oben gewölbt (um ca. 1 mm). Die Oberfläche zeigt über dem *Aspidoceras* deutliche ringförmige Setzungsmarken. ROTHPLETZ (1909, S. 321) hat diese chaldera-artigen Einsenkungen über vielen Ammoniten beschrieben.

Das untere Schichtpaket (a) von normal 16 mm Dicke zeigt unter dem Fossil eine Dickenänderung der einzelnen Schichtglieder. Sie sind nach oben gewölbt und zwar um so stärker, je näher sie zum Aptychus liegen. Ihr größter Dickenzuwachs beträgt 5 mm, das Schichtpaket erreicht also eine maximale Dicke von 21 mm unter dem vorderen Wohnkammerteil des Ammoniten. Darüber folgt, 15,5 mm dick, eine gröbere (Radiolarien-Reste?) Schicht „b“, in deren oberem Drittel eine 1 mm dicke Kalklage und darunter mehrere, sehr dünne Kalkbänder zwischengeschaltet sind. Auch dieses Schichtpaket ist so nach oben gewölbt, daß das Wölbungsmaximum unter dem Aptychus liegt. Bemerkenswert ist eine teilweise Abnahme der Mächtigkeit in diesem Schichtpaket; unter den Externseiten des Ammoniten sind die Lagen nur insgesamt 14 mm dick. Unter dem linken Wohnkammerteil erfolgt dann wieder eine Verdickung auf 15,5 mm, die rasch wieder abnimmt und nach 13 mm in Richtung des Nabels wieder auf die Dicke von 14 mm zurückgeht. Unter dem internen Teil des linken Wohnkammerabschnittes sowie unter dem Nabel bis zum internen Teil des rechten Wohnkammerabschnittes behalten die Schichten diese Dicke bei. Dann erfolgt ein Anwachsen bis auf 16,5 mm (Wölbungsmaximum) und allmähliches Abschwächen auf 14 mm. Der 14-mm-Bereich ist 19 mm lang, danach nehmen die Schichten wieder auf die Normaldicke von 15,5 mm zu. Unter den externen Grenzen des Fossils sind in dieser Lage geringe Störungen zu beobachten, der Betrag der Verwerfung liegt bei 1 mm. Die nach oben folgenden Schichten sind stark verformt. Zunächst soll nur der Teil „c“ betrachtet werden, der unter der Kalklage mit dem Ammoniten liegt. Es ist ein Wechsel von 6 mm Kalk, 2 mm Radiolarien(?) -Schichten, 1 mm Kalk, 5 mm Radiolarien(?) -Schichten, 1 mm Kalk, 3 mm Radiolarien(?) -Schichten zu beobachten (rechts und links des Fossils im ungestörten Verband von unten nach oben gemessen). Die einzelnen Oberflächen sind etwas unruhig, so daß es zu Abweichungen von einigen zehntel Millimetern kommen kann. Zur Externseite des vorderen Wohnkammerteiles (ca. 35 mm davon entfernt) verdicken sich die Schichten geringfügig um insgesamt 1 mm auf 19 mm. Danach erfolgt Mächtigkeitsabnahme auf 13,5 mm. Gleichzeitig beginnen Störungen und Verfäلتelungen der Schichten. Gleiche Erscheinungen sind an der Externgrenze des hinteren Wohnkammerteiles zu beobachten. Unter dem Fossil erscheinen die Schichten zusammengedrückt; die im ungestörten Zustand deutliche Trennung in Kalk- und Radiolarien(?) -Schichten ist nicht mehr überall zu erkennen. Die geringste Mächtigkeit wird unter der internen Seite des vorderen Wohnkammerabschnittes erreicht; sie beträgt hier nur 8 mm, also 10 mm weniger, als im ungestörten Verband. Die Dickenabnahme der einzelnen Schichten steht im gleichen Verhältnis.

Unter der Mitte des vorderen Wohnkammerteiles kommt es, wie auch schon bei den darunterliegenden Schichten, zu einer kräftigen Aufwölbung und einem

Anwachsen der Schichtdicke auf 11,5 mm. Eine weitere Aufwölbung können wir unter dem Nabel beobachten. Unter dem Externrand des hinteren Wohnkammerteiles sind die einzelnen Schichten zerrissen und nach oben geschleppt. Dann folgt die Kalklage „d“, in die der Ammonit eingebettet wurde. Ihre Dicke beträgt ungestört etwa 10 mm. Neben den Externseiten des vorderen und hinteren Wohnkammerabschnittes schwillt sie auf 14 bzw. 15 mm an. Unter dem Aptychus beträgt die Dicke nur 4 mm und zur Externseite des hinteren Wohnkammerteiles sogar etwas unter 4 mm. Unter dem Bereich des Nabels beträgt die Dicke der Kalkschicht 14,5 mm. Die Lage „d“ ist im ganzen Bereich des Fossils von zahlreichen Klüften durchzogen.

Der Ammonit ist nur zum geringen Teil erhalten. Schalenreste sind nicht mehr vorhanden. Der vordere Wohnkammerteil ist völlig zerquetscht und nur durch den in ihm liegenden Aptychus genauer lokalisiert. Die Luftkammern wurden ebenfalls derart zusammengedrückt, daß sie nicht mehr kenntlich sind. Interessant ist der hintere Wohnkammerteil, der noch etwa die körperlichen Konturen der Schale zeigt. Er ist größtenteils mit Kalkspat ausgefüllt. Der Siphon liegt diloziert im oberen Teil der Kammer. An der Externseite, aber noch innerhalb der Kammer, sowie links neben dem Siphon erscheinen zahlreiche polygonale Kalkbruchstücke. Die interne Seite zeigt im mittleren Bereich bis 5 mm nach innen eine doppelte Radiolarien(?) - Schichtung, die der über dem Fossil liegenden Schicht entspricht. Die Ausfüllung dieses Kammerteils besteht aus mikrokristallinem Kalkspat, der einen Hohlraum umgibt. In diesen drusenförmigen Hohlraum hinein sind zahlreiche idiomorphe Kalkspatkristalle gewachsen. Das Innere der „Druse“ ist mit hellem Kalk ausgefüllt.

Über der Kalklage mit dem Ammoniten folgt das 8,5 mm dicke Schichtpaket „e“, welches im einzelnen (von unten nach oben) aus 4 mm Radiolarien(?) - Schichten, 2 mm Kalk und 2,5 mm Radiolarien(?) - Schichten zusammengesetzt ist.

Die nach oben abschließende Kalklage „f“ von 11 mm ist nur noch teilweise erhalten. Die Schichten lassen sich in flacher, konkordanter Lage bis zu den Begrenzungsklüften an den Externseiten des Fossils verfolgen. Während die Kalklage und die obere Radiolarien(?) - Schicht über dem Fossil nur geringe Mächtigkeitsschwankungen zeigen und lediglich über dem Nabel eine Einsenkung von 4,5 mm aufweisen, ist das untere Radiolarienband stark gestört. Über dem vorderen Wohnkammerteil schwillt dessen Dicke extern auf 6,5 mm an. In der Mitte dieses Abschnittes verringert sie sich bis auf 3 mm und nimmt intern wieder auf 6 mm zu. Dann folgt intern ein ca. 8 x 8 mm großer Bereich aus amorphem Kalkspat, in dem polygonale Kalkteilchen und auch Teile des Radiolarien(?) - Bandes eingelagert sind. Über dem Nabel dünnt das Band auf 1 mm aus, es ist hier heller und die einzelnen Teilchen offenbar dichter gelagert.

Im internen Teil des hinteren Wohnkammerabschnittes liegt, wie schon oben erwähnt, ein Teil des Radiolarien(?) - Bandes, darüber ist es nur 1—1,5 mm dick. Es erreicht über der Mitte des hinteren Wohnkammerteils etwas über 2 mm und an der externen Seite 5 mm.

Zweifelloso haben wir hier Auswirkungen zeitlich getrennter Abläufe vorliegen.

Es soll versucht werden, die einzelnen Vorgänge zu rekonstruieren. Man darf unterstellen, daß zunächst eine konkordante Schichtenfolge vorhanden war. Die *Aspidoceraten*-Schale wurde auf der Oberfläche des weichen Kalkschlammes (d) abgelagert und sank etwas in diesen ein. Seitliche Mächtigkeitzunahme um 4—5 mm sowie Verdickung unter dem Nabel beweist, daß beim Einsinken Schlamm nach den Seiten, extern als auch intern, gedrückt wurde. Ferner kam es im Schichtverband „c“ zum Zusammendrücken der drei Radiolarien(?) - Schichten und des darunterliegenden Kalkbänkchens. Da seitlich unter dem Fossil keine Ausquetschung erkennbar ist, muß es sich dabei um einfache Verdichtung des Sediments gehandelt haben.

Nun beginnt die zweite Phase der Einbettung, die Bedeckung mit Sediment. Über die Zeitdauer lassen sich keine Angaben machen. Es kam zu langsamer Ausgleichung der Unebenheiten, das Sediment setzte sich seitlich der Schale etwas dicker ab, als auf ihr. Als die überlagernde Sedimentschicht schließlich eine gewisse Dicke erreicht hatte, kam es zu dem von BARTHEL (1964, S. 57) beschriebenen Vorgang der Setzung und Entwässerung des Sedimentes, wobei die leichtere, vorwiegend mit Wasser gefüllte Schale einen Auftrieb erfuhr. Dies hatte ein Aufschleppen der unter dem *Aspidoceras* liegenden Schichten zur Folge. Dabei muß es auch zu der Mächtigkeitzunahme des untersten Schichtpaketes „a“ gekommen sein. Eine Erklärung dafür bietet die Beobachtung von BARTHEL (1964, S. 48), daß übereinanderlagernde Schichten von Kalkschlamm verschieden schnell verfestigt werden können und es möglich ist, daß jüngere Lagen schneller erhärten als die älteren. Auf unseren Fall übertragen würde das bedeuten, daß die Lagen „a“ noch weicher waren als die darüberliegenden Schichten. Als durch den Auftrieb der Ammonitenschale unter ihr ein Sog entstand, floß Material von den Seiten nach und verdickte die Schichten unter dem Fossil. Ähnliche Umstände mögen auch zu den Mächtigkeitsschwankungen der Schicht „b“ beigetragen haben. Man darf hier zunächst ein Ausdünnen (beim Einsinken) und später ein Nachfließen (beim Aufsteigen) des Sedimentes annehmen. Am deutlichsten wird dieser Vorgang in der Schichtfolge „c“. Zweifellos wurden diese Schichten beim Auftreffen der Schale am stärksten zusammengedrückt und verformt. Bei späterem Auftrieb wurde dies z. T. wieder ausgeglichen. Das beiderseitig extern zu erkennende Nachuntenbiegen der Schichten ist noch ein Relikt der ersten Phase. Gleich daneben, unter den externen Grenzen des Fossils, sind die Radiolarien(?) - Schichten nach oben geschleppt und zwar um 5 mm unter dem hinteren und um 3 mm unter dem vorderen Wohnkammerteil. Bei diesem Vorgang kam es sogar teilweise, wie unter dem Fossil zu beobachten ist, zum Aufspalten der Lagen.

In der mit Wasser und Kalkschlamm gefüllten Schale begann ein Kristallwachstum von außen nach innen. Offenbar drang der Kalkschlamm erst etwas später ein, denn er lagert auf einer Kalzit-Schicht, die vorher gebildet sein muß. Als das Innere des Kammerteiles fast gänzlich mit Kalkspat ausgefüllt war, wuchsen noch letzte Kristalle idiomorph in den weichen Schlamm und verdrängten diesen teilweise. Bei späterer Setzung und Verfestigung des Kalkschlammes in der Kammer kam es zu Volumenverringern und dadurch zu einem leeren Raum über ihm.

Als nächstes wurde der Druck des auf der Schale lastenden Sedimentes so groß, daß diese zerbrach. Der vordere Wohnkammerteil, sowie die inneren Luftkammern wurden zerquetscht. Nur der Aptychus konnte aufgrund seiner Beschaffenheit der Setzung Widerstand leisten. Die Innenwindungen sind nur als Häutchen vorhanden. Der hintere Wohnkammerteil konnte der Setzung etwas Widerstand leisten, da er bereits zum großen Teil mit Kalzit ausgefüllt war. Im externen Bereich wurde aber auch hier die Schale zerdrückt und zahlreiche, polygonale Kalkfetzen in sie hineingepreßt. Das umgebende Sediment mußte also zu dieser Zeit, um polygonal brechen zu können, gewisse Festigkeit erreicht haben. Auch im internen Bereich des hinteren Wohnkammerteiles kam es zum Eindringen ursprünglich außerhalb abgelagerten Materials; Teile des über der Schale liegenden Radiolarien(?)-Bandes wurden in die Kammer gedrückt.

Die inneren Windungen wurden völlig zerdrückt und liegen im Schliff als eine Erhebung, deren Scheitelpunkt der Nabel ist, zwischen vorderem und hinterem Wohnkammerteil. Bei Zerbrechen der Schale entstand vermutlich auch die große Kluft, die unter dem Nabel beginnt und nach unten verläuft, sowie die zahlreichen kleinen Klüfte im Bereich des vorderen Wohnkammerteiles. Später wurden sie mit Kalzit ausgefüllt. Beim Zerbrechen der Schale zerdrückte freiwerdendes Wasser die intern und extern über dem vorderen Wohnkammerabschnitt liegenden Schichten. Das Sediment über der Schale sackte nach, dabei entstanden die an den externen Seiten zu erkennenden Klüfte und die chaldera-artige Einsenkung über dem Fossil.

Auch dieser ausführlich rekonstruierte Fall gibt keinen Anhalt für eine durch Fäulnisstoffe verstärkte Kalkfällung; die das Fossil umgebenden Schichten sind nicht verdickt. Er bestätigt die Auffassung von BARTHEL (1964), daß leere Gehäuse eingeschwemmt wurden. Die Anwesenheit von Aptychen in oder neben der Schale beweist im Gegensatz zu MAYR nach dem derzeitigen Stand unserer Kenntnisse nicht, daß auch der Weichkörper noch vorhanden gewesen sein muß. Es besteht die Möglichkeit, daß Aptychen nur durch Ligamentfetzen noch mit dem leeren Gehäuse in Verbindung standen (BARTHEL 1964, S. 44). Die Ansicht von MAYR (1966), daß die Sockelbildung unter dem Ammoniten auf verstärkte Kalkfällung bei Fäulnis der Weichteile beruht, ließ sich an den zahlreichen von mir untersuchten Stücken nicht bestätigen. Es geht bei MAYR auch nicht hervor, ob sich seine These auf Untersuchungen an Ammoniten-Vertikal-Schnitten oder nur auf die Betrachtung der Fossilien als solche gründet.

Auf die verhältnismäßig seltene, senkrechte Einbettung wies BARTHEL (1964) in seinen Untersuchungen hin. Es sind vorwiegend die Gattungen *Aspidoceras*, *Hypoboniticeras* und *Perisphinctes*, die aufgrund ihrer Schalenstruktur derart überliefert sein können. Schlanke Gattungen sind sehr selten in dieser Lage erhalten. Von Daiting wurde ein Exemplar einer schlanken Gattung (*Neochetoceras*) in senkrechter Lage aus Bank 8 bekannt. Der Ammonit drang beim Auftreffen auf das Sediment zu etwa einem Drittel in dieses ein (Taf. 8, Fig. 2). Dann wurde das Gehäuse eingesedimentiert. Voraussetzung waren ruhiges oder nur wenig bewegtes Wasser und schnelle Sedimentation. Andernfalls wäre die Schale in die stabile, flache oder zumindest schräge Lage gekippt. Auch bei den von REYMENT angenommenen

nen Tiden müßte sie sich umgelegt haben. Bei späterer Setzung des Sedimentes kam es zum Auftrieb der Schale und dabei zum Aufschleppen der Schichten im oberen Bereich. Das Gehäuse war vermutlich mit Wasser gefüllt, später bildete sich darin kryptokristalliner Kalzit. In der nächsten Phase zerbrach die Schale in ihrem oberen Teil, das umliegende noch weiche Sediment drang teilweise in die Kammern ein. Lagen in der Umgebung wurden dadurch gestaucht.

Senkrechte oder schräge Einbettung auch schlanker Ammoniten-Gattungen ist im „Wilden Fels“ von H a u n s f e l d I (s. S. 125) recht häufig. Es herrschten hier offenbar Bildungsbedingungen, die von denen der Plattenkalke stark abwichen. Diese Lagen sind dickbankig und spalten nicht horizontal.

#### 4. Fische

Der Vergleich von Exemplaren aus verschiedenen Bruchrevieren zeigt unterschiedliche Erhaltung und Einbettung.

Die aus D a i t i n g und P a i n t e n bekannten Stücke liegen flach auf den Schichtflächen, oft zu gleichen Teilen auf der Oberfläche der liegenden und der Unterfläche der hangenden Platte. Es ist meist nicht möglich, anhand ihrer Einbettung die betreffenden Platten vertikal zu orientieren.

Anders bei den in der Gegend um E i c h s t ä t t gefundenen Exemplaren. Hier ist die bei R O T H P L E T Z beschriebene Sockelbildung unter dem Fossil deutlich erkennbar. Die Oberfläche der liegenden Platte hat unter dem Fossil eine Erhöhung, die meist deutlich die Konturen des Stückes zeigt, oft auch noch Reste des Fossils enthält. Das Fossil selbst liegt jedoch fast ausnahmslos in einer entsprechenden Vertiefung der Unterfläche der hangenden Platte. R O T H P L E T Z deutete dies als Auftrieb, der durch Verwesungsgase entstand. D R E V E R M A N N (1928) spricht von Fäulnisflüssigkeiten, die das umgebende Sediment schneller härten. Bei späterer Setzung ist die Volumenminderung der nicht gehärteten Bereiche erheblich größer, sie sinken seitlich zusammen, und das Fossil scheint auf einem Sockel zu liegen. Ein „Auftrieb“ fand demnach nicht statt. M A Y R (1966) erklärt die bei D R E V E R M A N N beschriebenen Vorgänge chemisch. Auftrieb nimmt auch er nicht an. Die Lage des Fossils in der Unterfläche der hangenden Platte kam nach seiner Auffassung dadurch zustande, daß die Körper auf einer Sedimentoberfläche zu liegen kamen, die schon soweit gehärtet war, daß sie nicht darin einsanken. Sie wurden dann „... vom Schlamm der nächsten Sedimentationsphase seitlich unterfangen“. Spaltet man nun ein solches Schichtpaket, „... so kommt es (das Fossil) daher von selbst in die hangende Platte“ (M A Y R 1966, S. 105).

Interessante Beobachtungen waren bei der Präparation eines *Pholidophorus* sp. aus einem Bruch bei S c h e r n f e l d möglich. Das Fossil war zunächst völlig vom Sediment umgeben. Nach oben und unten waren die Schichten aufgewölbt. Es wurde zunächst die Präparation der Oberseite versucht. Nachdem die obersten Schichten abgeräumt waren — über dem Fossil waren sie deutlich dicker —, erschien das Objekt von den seitlichen Grenzen her eingesunken. Die darüberliegenden Lagen zeigten zahlreiche, mit Kalzit ausgefüllte Gänge, die vermutlich bei

Entgasung entstanden sind. Die weitere Präparation wäre hier sehr schwierig gewesen. Daher wurde mit der Freilegung von der Unterfläche her begonnen. Hier ließen sich die Lagen gut abheben, z. T. hatten sie sehr unterschiedliche Dicke. Eine Lage, die unter dem Fossil 3 mm maß, keilte beispielsweise an den Seiten aus. Der freigelegte Fischkörper lag schließlich in einer Vertiefung. Von Bedeutung ist die Stellung der Flossen. Nimmt man mit DREVERMANN und MAYR an, daß kein Auftrieb stattfand, so müßte zumindest die Brustflosse am Körper anliegen. Nur Bauch- und Rückenflossen könnten bei der Setzung nach unten abgeknickt sein. Bei unserem Stück ist aber die Brustflosse in schräger Lage zum Körper erhalten, d. h. sie steht vom Körper ab und ist nach unten gerichtet. Der Schwanz zeigt ebenfalls leichte Biegung nach unten.

Diese Beobachtung wiederholt sich bei Präparation größerer Fische immer wieder. In einem Fall war sogar die Brustflosse vom Körper getrennt und lag in einer tieferen Schicht.

Erklärung dafür ist ein gewisser Auftrieb des Kadavers bei seiner Fäulnis. Die Brustflosse blieb im Schlamm haften und wurde so vom Körper abgespreizt. Bedingt durch mehr verwesbares Material war der Auftrieb im Bereich des Bauches am stärksten. Der Schwanzteil wurde davon weniger betroffen, er erscheint daher bei den meisten von unten anpräparierten Fischen nach unten gebogen. Es kann also angenommen werden, daß sowohl der von ROTHPLETZ vermutete Auftrieb als auch der bei DREVERMANN und MAYR beschriebene Vorgang stärkerer Verfestigung oder erhöhter Kalkausfällung bei der Fossilisation von Fischen eine Rolle spielte. Diese Beobachtungen haben für die Praxis gewisse Bedeutung; jedes größere Fossil aus den Plattenkalken sollte von der Unterseite präpariert werden, da dann kaum Entgasungskanäle und Sackungsklüfte zu erwarten sind. Bei Fischen können ferner oft freistehende Flossen herauspräpariert werden.

## 5. Krebse

Bei Crustaceen ist in der Gegend um Eichstätt in vielen Fällen ebenfalls Sokkelbildung unter dem Fossil zu erkennen. Ihre Entstehung dürfte auf gleiche Vorgänge, wie bei den Fischen geschildert, zurückgehen. Besonders bei den großen Vertretern der Gattung *Antrimpos* („*Penaeus*“) fällt diese Erscheinung auf. Es kommen aber auch Fälle vor, wo das Fossil, ohne die umgebenden Lagen zu beeinflussen, auf der Schichtfläche liegt. Vermutlich handelt es sich dann um Exuvien, bei denen keine Verwesung mit ihren Folgen stattfinden konnte.

## 6. Lumbrucarien

Diese meist als Fischkot gedeuteten Reste sind in allen Plattenkalk-Brüchen zu finden (neue Deutung s. JANICKE 1969a). In der Regel liegen sie positiv auf der Unterfläche der hangenden Platte; die Oberfläche der liegenden Platte zeigt den entsprechenden Eindruck. Nur in den Brüchen bei Painten und Hennhüll zeigt sich z. T. eine Abweichung. Bestehen beide Platten aus zäher Fäule, so liegt *Lumbricaria* als Positiv auf der Oberfläche der liegenden Platte und der Negativ-Abdruck findet sich in der Unterfläche der hangenden Platte.

## 7. Saccocomen

Dieses Fossil ist in den Brüchen bei Eichstätt besonders häufig. Seine Einbettung ist sehr typisch und läßt fast immer eine Hangend-Liegend-Orientierung zu.

Betrachten wir zunächst die Oberfläche einer Platte, so erkennen wir oft zahlreiche, meist schlecht erhaltene Reste von *Saccocoma*. Die Arme sind nur in wenigen Fällen ausgebreitet, meist liegen sie eingerollt um den Kelch. Es lassen sich zwei Formen der Einbettung unterscheiden.

1. Das Fossil ist als Positiv auf der Platte erhalten. Der Kelch bildet eine Erhebung über das allgemeine Niveau der Platte und ist — soweit beobachtet — kalzitisiert. Die Arme, ebenfalls positiv erhalten, steigen zum Kelch hin an und geben dem Fossil so ein stumpfkegeliges Aussehen.
2. Von dem Fossil ist nur der Negativ-Abdruck erhalten. Anstelle des Kelches findet sich eine kraterförmige Vertiefung, in der sich vielfach noch gut der Feinbau von *Saccocoma* erkennen läßt. Die Vertiefung, in der ursprünglich der Kelch lag, wird von einem Wall umgrenzt, in dem sich die Abdrücke der Arme erhalten haben. Obwohl ein Negativ, erhebt sich so auch der Abdruck des Fossils, von der Kelch-Vertiefung abgesehen, positiv über die Schichtfläche.

Die Unterfläche der hangenden Platte zeigt ein entsprechend der Gegenplatte leicht vertieftes Relief. Sinngemäß sind auch hier zwei Einbettungsformen zu unterscheiden.

1. Das Fossil ist als Positiv erhalten. Der Kelch liegt in einer flachen Einsenkung, aus der er inselartig herausragt, meist sogar über das allgemeine Niveau der Platte. Die Arme liegen wie kleine Wülste in der zum Zentrum laufenden Vertiefung. Das Fossil scheint in die Platte hineingedrückt zu sein.
2. Es ist nur der Abdruck erhalten. Die Einsenkung um den Abdruck des Kelches ist stärker als im ersten Fall. Die Abdrücke der Arme sind rinnenförmig vertieft. Durch den fehlenden Kelch entstand ein Loch in der zunächst nur allmählich zulaufenden Vertiefung.

Erfolgt die Trennung in Negativ und Positiv nicht einwandfrei, so zerreißt der Körper und liegt z. T. auf Platte und Gegenplatte. In solchen Fällen geben Erhaltung der Arme und Erhebungen oder Vertiefungen um den Kelch Aufschluß über Liegend- oder Hangend-Fläche. Das Verhältnis der als Positiv oder Negativ pro Flächeneinheit eingebetteten Saccocomen schwankt von Bruch zu Bruch und von Schicht zu Schicht, es läßt sich nicht als Hilfsmittel für die Hangend-Liegend-Orientierung verwenden.

Ein gleiches Bild zeigen die Schichten mit „Saccocomen-Brut“ (Taf. 7, Fig. 5, 6). Hier schien aber das Positiv-Negativ-Verhältnis Aussagen zur Orientierung zu ermöglichen; bei den untersuchten Stücken betrug es auf der Oberfläche der liegenden Platte etwa 1:2.

Die für Eichstätt beschriebene Einbettung von *Saccocoma* trifft auch für andere Bruchgebiete zu, nur sind Saccocomen dort teilweise recht selten, oder, wie bei Daiting, gar nicht bekannt. Abweichende Lage gibt es im Bruch RYGO.

bei Painten. Besteht die liegende Platte aus festem Kalk („Flinz“) und die hangende aus weicherem Material („Fäule“), so liegt *Saccocoma* als Positiv auf der Unterfläche der hangenden Platte, und die Oberfläche der liegenden Platte zeigt lediglich einen schwachen Eindruck. Sind aber beide Platten als Flinze ausgebildet, entspricht die Einbettung von *Saccocoma* dem aus Eichstätt beschriebenen Regelfall. Gleiches gilt auch für die Steinbrüche bei Hennhüll.

#### d) Lebensspuren

Nur sehr selten werden auf den Schichtflächen echte Lebensspuren gefunden. Meist sind es dann Fährten von *Mesolimulus*, deren Zusammenhang mit ihrem Urheber erst CASTER (1940) erkannte. Frühere Autoren (OPPEL 1862, WALTHER 1904, ABEL, 1935 u. a.) schrieben die Fährten den verschiedensten, z. T. noch unbekanntem Tieren zu (MALZ 1964). Noch seltener sind Fährten von *Mecochirus* (BARTHEL 1964). Von den Mollusken sind nur in Ausnahmefällen Bewegungsspuren überliefert (DAQUÈ 1936, ZEISS 1964, MAYR 1967).

Bei Grabungen wurden jetzt in einigen Brüchen weitere Lebensspuren gefunden (keine Anzeichen von Leben gab es bei Daiting und Painten).

Der Bruch Hausfeld I zeigt im hangenden Abschnitt, unter dem „Wilden Fels“, auf und in den Bänken eine große Anzahl von Grabgängen, die oft über Strecken von mehr als einem Meter zu verfolgen sind. Ihr Durchmesser liegt zwischen 0,6 und 1,5 cm. Von dem Tier, das diese Gänge gegraben hat, waren keine Reste aufzufinden. Vermutlich handelte es sich um im Sediment grabende Würmer. Die Spuren sind an einen bestimmten Horizont (knapp über und unter Bank 50) gebunden; in keiner der anderen Schichten wurden sie wieder gefunden.

Bei Pfalzpaint und Gungolding findet man häufiger Fährten von *Mesolimulus*. Aus dem Bruch IMBERG stammt eine nicht horizontierte Platte mit dem Körperabdruck von *Mesolimulus* (Taf. 8, Fig. 3). Auf der Platte befinden sich außer dem Abdruck des Körpers keine weiteren Spuren des Tieres. Es ist also nicht gekrochen, sondern ohne vorherige Bodenberührung zu der Stelle geschwommen, wo es seinen Abdruck hinterließ. Auch beim Verlassen entstanden keine Kriechspuren, das Tier muß also wieder fortgeschwommen sein.

Von der Halde des gleichen Bruches stammt eine Platte mit einer geschlängelten Kriechspur. Nach Aussagen der Brucharbeiter findet man solche Spuren in bestimmten Bänken, von denen z. Zt. keine zugänglich war. Der Urheber der Fährte ist nicht erhalten, ein Vergleich mit Kriechspuren rezenter Wasserschnecken läßt ihn aber mit ziemlicher Sicherheit als einen Gastropoden identifizieren.

Im Bruch HARTEIS bei Hennhüll sind über der Krümmen Lage I (nach STREIM 1961) in mehreren dünnplattigen und feinstkörnigen Lagen massenhaft ovale Vertiefungen mit einem größten Durchmesser von 5—20 mm und einer Tiefe bis zu 3 mm erhalten. Ihre Entstehung auf anorganische Einwirkungen zurückzuführen (Regen oder Hagel), ist unwahrscheinlich, da keine bevorzugte Richtung der Ovale zu erkennen ist. Auch auf Synärese (s. S. 142) scheinen die Eindrücke nicht zu beruhen, sie sind in ihren Begrenzungen dafür wahrscheinlich zu ungleichmäßig. Es

liegt nahe, diese Strukturen als Lebensspuren von Schlammbewohnern zu deuten. Im Vertikal-Schnitt sind keine Strukturen oder Gänge zu erkennen, vermutlich wurde das Sediment durch die grabende Lebensweise dieser Tiere völlig entschichtet. Eine sichere Aussage über die Art dieser Sedimentbewohner läßt sich aber nicht machen. v. FREYBERG (1964, Taf. 3) bildet aus den „unteren Schiefen“ bei Wasserzell eine „typische Spurenplatte“ ab, die ähnliche Eindrücke zeigt, jedoch sind auf unserer Platte nicht die bei v. FREYBERG erwähnten Kotsäulen an einem Ende der Eindrücke zu erkennen.

Herr NIEBLER überließ mir eine in seinem Bruch gefundene Platte, die auf ihrer Oberfläche zahlreiche Eindrücke erkennen läßt (Taf. 9, Fig. 1). Im Zusammenhang mit diesen sind verschiedentlich dünne, parallele, bis zu 2,5 cm lange Abdrücke vorhanden. Die Eindrücke selbst haben eine durchschnittliche Länge von 2 cm und eine Breite von 1 cm. Verschiedentlich lassen sie eine Unterteilung in drei Längsabschnitte erkennen. Es ist unwahrscheinlich, daß es sich hier um Grabbauten handelt. Nach frdl. mündl. Mitteilung von Herrn Dr. FÖRSTER (München) liegen vermutlich Körperabdrücke von Crustaceen vor; die feinen parallelen Eindrücke stammen von den Antennen der Tiere. Nähere Bestimmung war nicht möglich. Es liegt hier also der für die Plattenkalke ganz seltene Fall vor, daß sich ein Schwarm lebender Tiere zeitweise auf den Grund setzte, dabei die Körperabdrücke hinterließ und dann weiterzog.

## D. Auswertung der Ergebnisse

### 1. Biotop

#### a) Wasserbedeckung

Rippelmarken und Roll- und Schleifmarken sind in den Solnhofener Plattenkalken selten. Daher wurden in letzter Zeit besonders von BARTHEL (1964 u. 1966) und MAYR (1964, 1966 u. 1967) außer diesen herkömmlichen Anzeichen auch Einbettung und Erhaltung verschiedener Tierarten zur Klärung der Frage, ob der Ablagerungsraum ständig oder nur periodisch mit Wasser bedeckt war, herangezogen. Während BARTHEL die Auffassung rein subaquatischer Einbettung vertritt, spricht sich MAYR für häufiges Trockenfallen aus, bei dem die „Leichen... liegen(blieben), bis sie bei einer neuen Überflutung eingebettet wurden“ (MAYR 1964, S. 25). Von gleichen Beobachtungen ausgehend, kommt es verschiedentlich zu entgegengesetzten Interpretationen.

So ist nach MAYR (1964, S. 24) die gleichmäßige Einregelung der Fischkörper auf den *Leptolepis*-Platten (s. S. 137 f.) durch „... eine langsam abziehende Woge“ zustande gekommen. Weiter bemerkt MAYR (1967, S. 36) „Bei Wasserbedeckung hätte... der Auftrieb die Fische vor der Einbettung vom Grunde abgehoben“. Aus Rezent-Beobachtungen von WEILER (1929) und SCHÄFER (1962) geht jedoch hervor, daß es durchaus nicht zu einem Auftrieb der Fischleichen zu kommen braucht. Formen, die aufgrund kleineren Bauchraumes nur wenig Verwesungsgase entwickeln,

werden „während der ganzen Dauer der Verwesung am Grund bleiben“ (SCHÄFER 1962, S. 68). Hinzu kommt, daß äußere Faktoren, wie niedrige Temperatur, mangelnder Sauerstoffgehalt und Übersalzung die Zersetzung so verzögern, daß selbst Arten, die unter normalen Verwesungsbedingungen aufschwimmen würden, am Boden liegend verfaulen (SCHÄFER 1962, S. 68). Die auch von MAYR (1967, S. 33) angenommene Sauerstoffarmut allein würde vermutlich genügen, schnelles Faulen und Auftrieb der Fischkörper zu verhindern, wenn diese 4—5 cm langen Körper im „Normalfall“ überhaupt aufschwimmen würden. Darüber hinaus haben wir aber nach BARTHEL (1964) zusätzlich mit Übersalzung und  $H_2S$ -Anreicherung in Bodennähe zu rechnen, Faktoren also, die eine Zersetzung weiter verlangsamten. Hier liegt sehr wahrscheinlich auch der Grund für die ausgezeichnete Erhaltung so vieler Fossilien.

Die Wirbelsäule der Fische auf den *Leptolepis*-Platten ist mehr oder weniger gekrümmt. Diese Erscheinung ist auch sonst bei den fossilen Fischen der Plattenkalke häufig. MAYR (1964, S. 24 u. 1967, S. 18 f.) zieht diese Tatsache als Beweis für Trockenfallen heran. Austrocknung und damit verbundene Kontraktion der Rückenmuskeln führten nach seiner Auffassung zur Krümmung der Wirbelsäule. In Extremfällen liegen Schwanz und Wirbelsäule getrennt. Hier ist, nach MAYR, der Fischkörper auf der feuchten, zähen Oberfläche angeklebt und später, bei Austrocknung und Krümmung, zerrissen. Seit den Experimenten von WEILER (1929) wissen wir aber, daß Aufwärtskrümmung des Kopfes und des vorderen Rumpfabschnittes als erste Verwesungsstufe von Fischleichen unter Wasser häufig zu beobachten ist. Im weiteren Verlauf der Fäulnis tritt, bedingt durch die Krümmung, eine Lockerung der Wirbel ein, und schließlich genügt leichte Wasserbewegung, um Teile des Körpers zu dislozieren.

In diesem Zusammenhang sind auch die in den fossilreichen Lagen von D a i t i n g gut erhaltenen, isolierten Fischköpfe, besonders von *Leptolepis knorri* AG. zu sehen. WEILER (1929) weist in Rezent-Versuchen nach, daß „bei abgestorbenen und auf den Meeresgrund gesunkenen Clupeiden . . . eine gewisse immer wiederkehrende Wasserbewegung (genügt), um beide Körperabschnitte voneinander zu trennen“ (S. 42). Zur Sedimentation des Septarientones folgert WEILER daraus (S. 47 u. 48): „Beweist der meist tadellose Erhaltungszustand der Fischreste . . . einerseits, daß die Tone in einem ruhigen Gewässer zum Absatz kamen, so zeigen andererseits die zahlreichen, gut erhaltenen und vom Rumpf getrennten Fischköpfe, daß über dem Meeresboden mit seinen Sedimenten doch schwache Wasserbewegungen vorhanden waren. Es ist wohl kaum angängig, dabei an permanente Strömungen zu denken. Vielmehr scheint es sich um durch Wind verursachte Wellen zu handeln, deren Wirkung bis auf den Grund des Gewässers ging. Das Septarienton- Meer kann deshalb . . . nur von geringer Tiefe gewesen sein.“ Diese Folgerungen sollten auch für Daiting und die meisten der übrigen fränkischen Plattenkalkvorkommen anwendbar sein. Isolierte Fischköpfe kommen in allen Bruchgebieten vor, jedoch in geringerer Häufigkeit als in Daiting.

Auch von anderen Lokalitäten, beispielsweise aus H a k e l im Libanon, kennen wir zahlreiche fossile Fischreste mit gekrümmter Wirbelsäule oder abgeknick-

ten Köpfen. Bei dieser Lokalität läßt die geologische Situation keinen Zweifel an ständiger Wasserbedeckung zur Zeit der Ablagerung.

Subaquatisch eingebettet sind auch die schräg im Sediment liegenden Belemniten (BARTHEL 1964).

Quallenabdrücke sind bei Eichstät t und Pfalzpaint unterschiedlich erhalten. Aus der Eichstätter Gegend kennen wir nur undeutliche Abdrücke, wie sie nach Experimenten von HERTWECK (1966) unter Wasserbedeckung entstehen. Bei Pfalzpaint dagegen sind die Körperumrisse sehr scharf, oft sogar in kräftigen Konturen erhalten. Nach SCHÄFER (1962) ist dies nur möglich, wenn die Tiere auf einem weichen Sediment stranden. Der Körper ist dann schwer genug, einen deutlichen Eindruck zu hinterlassen. Jedoch „das Abdruckrelief erhält erst seine endgültige Sicherung, wenn neue und ruhige Überflutungen neue Sedimente über die bisher schützende Quallenhaut breiten und das vorhandene Relief nachformen“ (SCHÄFER 1962, S. 215). Die Sedimentationsbedingungen im Bruchrevier Pfalzpaint/Gungolding scheinen also von denen der übrigen Plattenkalke abzuweichen. Vertikal-schnitte zeigen hier schnellen Wechsel von Erosions- und Strömungsrippeln und horizontalgeschichteten Lagen (s. S. 129).

Schließen wir also auf gelegentliches Trockenfallen des Ablagerungsbereiches von Pfalzpaint, so darf nicht übersehen werden, daß dieses nur von sehr kurzer Dauer gewesen sein kann. Einmal fehlen, worauf schon BARTHEL (1964, S. 55) hinwies, Trockenrisse. Zum anderen müssen Medusen nach Trockenfallen sehr bald wieder mit einer Sedimentschicht bedeckt werden, besonders in dem damaligen tropischen Klima (BARTHEL 1964, S. 65), da sonst ihre Reste zerstört werden. LÖRCHER 1931, S. 45) fordert für rezente Quallen die Einbettung „... schon bei der nächsten Flutperiode“. Austrocknung des Beckens hat sicher nicht stattgefunden, außer Trockenrissen müßten dann auch Salzkristalle bzw. deren Pseudomorphosen zu finden sein. Diese sind aber sehr selten und auch dann nur vereinzelt; ihre mineralogische Identifizierung ist meist nicht möglich (Taf. 9, Fig. 7). Denkbar ist, daß das Becken um Pfalzpaint nach dem „Trockenfallen“ noch eine Wassermenge von wenigen Zentimetern Höhe enthielt. Dies genügte, um einmal die Quallen „stranden“ zu lassen, zum anderen aber die Salze noch in Lösung zu halten. Das klärt auch, warum auf den Oberflächen der Platten Insektenfährten fehlen, obwohl diese auf dem weichen Schlamm sicher erzeugt und erhalten worden wären, hätte er gänzlich trocken gelegen.

Der Schnitt durch eine Platte mit Rippelmarken aus Pfalzpaint (Abb. 4) zeigt, daß schräge Leebblätter nach oben von horizontalen Kalkbändern abgelöst werden. Das läßt nach MCKEE (1965, S. 82) auf veränderte Wassertiefe schließen: „Vertical change from ripple laminae to horizontal laminae is caused where shoaling occurs to such an extent that the stream changes from lower to higher regime and a rippling no longer occurs on the sand floor.“ Mit Ausnahme des eventuellen episodischen Trockenfallens der Ablagerungen bei Pfalzpaint sind mir aus anderen Aufschlüssen keine Hinweise auf Trockenlegung bekannt. Für Wasserbedeckung sprechen auch Fossilien, die eine längere Driftzeit erkennen lassen (s. S. 167), oder durch Wasserbewegung beschädigt und verspült wurden, wie die Fischreste bei Daiting.

Auch die Grabspuren bei *H a u n s f e l d* sind sicher subaquatisch entstanden, denn in der gleichen Bank wurden eine Schleifmarke und Rippelmarken gefunden. Die gelegentlich vorkommenden polygonalen Schwundrisse, die bisher als sicherstes Zeichen für Trockenfallen angesehen wurden, lassen sich mit JÜNGST (1934) als subaquatische Synärese-Erscheinungen deuten (s. S. 142).

MAYR (1964, 1967) spricht von periodischem Trockenfallen und versucht, dies anhand von Fossilerhaltungen zu belegen. Besondere Beachtung erfährt hier ein Ganoidfischrest mit konzentrischen Abdrücken der Schwanzflosse. Hier sind wir — nach MAYR — Zeugen des Todeskampfes: Nach Ablauf des Wassers fand sich der Fisch in einer seichten Pfütze und schlug auf dem weichen Schlamm um sich, bis er verendete. Gleiche Deutung erfährt das Stück durch HÖLDER & STEINHORST (1964). Anderer Auffassung ist BARTHEL (1966). Danach sank der bereits tote Fisch zu Boden und blieb mit dem Kopf im Schlamm stecken. Später, bei Zerfall des Körpers, schwante der Schwanzteil in leichter Strömung um den festliegenden Vorderkörper und erzeugte die konzentrischen Abdrücke der Schwanzflosse. Diesen Vorgang konnte BARTHEL im Experiment wiederholen. Nun läßt die Platte aber nach MAYR (1967, S. 14) nicht erkennen, daß der ca. 30 cm lange Fisch mit dem Kopf so tief in das Sediment eingedrungen ist, daß er in dieser Stellung verharren konnte. Das ist m. E. auch nicht notwendig. Wie Einregelungsversuche gezeigt haben, wirkt allein der schwerere Kopf bei Fischleichen als Anker. Interessant ist, daß es sich um einen Ganoidfisch handelt. Bei dieser Gruppe können wir verschiedentlich Trennung von Kopf und Körper („Ganoidschläuche“) beobachten. Im Ausnahmefall, um einen solchen handelt es sich hier, kann dann der nur noch durch einige Gewebestränge mit dem Kopfteil verbundene Hinterkörper im bewegten Wasser schwoben und die Abdrücke hinterlassen. Sicher sind diese Abdrücke also postmortal, ein lebender, aufs Trockene geratener Fisch wird hin und her schnellen und keine konzentrisch um den Vorderkörper liegenden Abdrücke des Schwanzes hinterlassen.

## b) W a s s e r b e w e g u n g

Die Plattenkalke zeigen im Gesamtbild alle Anzeichen einer sehr ruhigen und gleichförmigen Sedimentation, doch hat es an gelegentlicher Wasserbewegung, sei es Strömung oder Oszillation, nicht gefehlt. Neben Anzeigen lokaler Wasserbewegung, wie Rippelmarken, Roll- und Schleifmarken und Aufbereitungslagen, sind solche Anzeiger von Interesse, die Zeugnis eines längeren Transportes geben.

Im Bruch *D a i t i n g* wurden verschiedentlich Reste von *Palaeocypris* mit aufgewachsenen Larven von Lammelibranchiaten gefunden (Taf. 9, Fig. 3). Dieser Bewuchs kann sich erst auf den Zweigen angesiedelt haben, als diese im Wasser drifteten. Es fehlen aber in allen Plattenkalkbrüchen Hinweise darauf, daß sich während ihrer Sedimentation fortpflanzungsfähige Mollusken entwickelten. Das Auftreten von Muschellarven auf Landpflanzenresten läßt daher schließen, daß diese Stücke zunächst in Gebieten mit besseren Lebensbedingungen drifteten und

erst später in die Lagunen gelangten. Ob der Bewuchs außerhalb der Wannens oder in Wannenteilen geschah, wo Verbindung zum Meer für Zufuhr von Frischwasser sorgte, läßt sich nicht sagen. Da die Muschellarven schon im frühontogenetischen Stadium abgestorben sind, war die Driftzeit im Frischwasser sicher nur kurz.

Aus Daiting stammt ein *Hibolithes* mit zahlreichen Bohrlöchern von *Brachyzapfes elliptica* CODEZ (Taf. 9, Fig. 4). Das Rostrum ist von allen Seiten angebohrt und die Bohrlöcher liegen zur Längsachse des Belemniten annähernd gleichgerichtet. Das ist, nach SEILACHER (1968, S. 280), Anzeichen dafür, daß ein noch lebender Belemnit besiedelt wurde. Da solche angebohrten Belemniten-Rostren und Mollusken-Schalen in den Solnhofener Plattenkalken sehr selten sind, wurden sie sicher nicht in den Wannens angebohrt; die Cirripedier fanden hier offenbar keine Lebensmöglichkeit. Wir müssen Verdriftung des Rostrums aus einem ökologisch unterschiedlichen Raum in die Lagune annehmen.

Weitere Anzeiger für Verdriftung über größere Strecken sind auch die von MAYR (1953) beschriebenen Tange mit angehefteten Geröllen und gelegentliche Funde von *Belemnites acicula* MÜNSTER (Taf. 9, Fig. 2) mit aufgewachsenen, jungen Ostreen. Zusammenballungen von Lamellibranchiaten oder Gastropoden, die immer wieder gefunden werden, sind ebenfalls aus einem anderen Biotop eingetrieben (s. S. 171). Vermutlich hafteten sie an Algenfäden, von denen nichts fossil überliefert wurde (Taf. 10, Fig. 1).

Auch die Tatsache, daß für die einzelnen Bruchreviere bestimmte Fossilien typisch sind oder dort häufiger vorkommen, deutet auf Wasserströmungen, die über längere Zeit etwa gleichen Verlauf hatten.

In der Regel war aber, zumindest in Bodennähe, die Wasserbewegung nur schwach. Ein Beispiel dafür ist ein *Leptolepis knorri* AG. aus Daiting. Die Kopfknochen zeigen trotz beginnenden Zerfalls noch Zusammenhang. Die übrigen Körperteile sind aus ihrem organischen Verband gelöst und verschwoit. Reste der Wirbelsäule und Knochen sind zusammengespült. Die Schuppen, die durch ihr geringes Gewicht leichter verfrachtet werden können, finden sich im weiteren Umkreis, bevorzugt nach NE, verlagert. Teilweise überlagern sich die einzelnen Körperelemente derart, daß die Schuppen zuunterst liegen und darüber Wirbel und Knochen. Dazwischen liegt eine nur Bruchteile eines Millimeters dicke Sedimentschicht (s. S. 173). Der Fischkörper war also nachweislich Wasserbewegung ausgesetzt, diese reichte aber nicht aus, um ihn bis zur Unkenntlichkeit zu verspülen.

Untersuchungen an Anzeigern von Wasserbewegung lassen meist Schlüsse auf die Art der Bewegung zu. Im Bruch bei Daiting liegen Rippelkämme und eingeregelt Fossilien etwa in gleicher Richtung (s. S. 134), daraus läßt sich auf Oszillation des Wassers schließen. Auch die Abknickung von Ästen bei Pflanzenresten (s. S. 135) deutet auf oszillierendes Wasser. Zweigteile, die im strömenden Wasser treiben oder auf Grund liegen, regeln sich in Richtung der Strömung ein. Abknicken von Zweigteilen wird nur dann zustande kommen, wenn der Pflanzenrest an einer Stelle verankert ist. Darauf gibt es bei unseren Stücken aber keinen Hinweis. Dagegen wird ein Zweig im oszillierenden Wasser hin- und herpendeln, wo-

bei es leicht zum Knicken und Einregeln abstehender, kleiner Nebenzweige kommen kann.

Alle untersuchten Anzeichen sprechen also für gelegentliche Oszillation während der Ablagerungen der Schichten von Daiting. Eine Einregelung durch Strömung ist hier unwahrscheinlich. Ein ähnliches Bild läßt sich im Bruch *H a u n s f e l d* erkennen. Die Kämme der Oszillationsrippeln (s. S. 128) verlaufen  $35^\circ$  bis  $40^\circ$  NE und etwa parallel dazu liegen die Aptychen und Ammoniten. Die Wasserbewegung ist dann senkrecht hierzu anzunehmen (Abb. 15). Aus dem Bruch *IMBERG* bei *P f a l z p a i n t* sind Strömungsrippeln bekannt (s. S. 129). Die Gleichmäßigkeit des Rippelverlaufes in verschiedenen Abschnitten des Profiles läßt auf eine über längere Zeit gleichgerichtete Wasserbewegung schließen. Da aber die Lagen mit Rippelmarken im Gesamtprofil recht selten sind, ist anzunehmen, daß kräftige Wasserbewegung nur gelegentlich stattfand. Während der übrigen Zeit war die Wasserbewegung zu schwach oder reichte nicht bis auf den Grund (McKee 1965, S. 82). Das Bruchgebiet ist an einregelbaren Fossilien sehr arm, weitere Untersuchungen waren daher nicht möglich. Von den Medusen sind fast nie Umlagerungs- oder Bewegungsmarken überliefert. Eine seltene Ausnahme bildet hier die Schleifmarke aus dem Bruch *SCHÖPFEL* (s. S. 131). Diese Marke kann nur unter Wasserbedeckung entstanden sein, denn nur ein von Wellen oder oszillierendem Wasser bewegter Körper wird eine solche Vielzahl feiner, nach allen Richtungen laufender Eindrücke erzeugen können. Geringer Transportweg und Vielzahl von Marken auf engem Raum sprechen hier für wenig bewegtes Wasser.

Andere Strömungsverhältnisse haben im Ablagerungsraum bei *P a i n t e n* geherrscht. Die zahlreichen, geregelten Rollmarken von Cephalopoden oder deren Bruchstücken lassen eine Hauptrichtung deutlich erkennen (BARTHEL 1964, S. 51). Hier hat keine Oszillation, sondern kräftige Strömung stattgefunden. Fast stets ist die Mehrzahl der Marken von jüngeren Marken im spitzen Winkel überlagert, was Änderung der Strömungsrichtung anzeigt (BARTHEL 1964). Über den dazwischen liegenden Zeitraum läßt sich nichts aussagen. Er braucht aber nur kurz gewesen zu sein. Im rezenten Watt ist oft zu beobachten, daß sich die Richtung des ablaufenden Wassers innerhalb von Minuten ändern kann, je nach Lage der Priele zur offenen See. Obwohl der Ablagerungsraum der Plattenkalke sicher nicht mit den Watten verglichen werden kann, so läßt sich doch in diesem Fall an ablaufendes Wasser am Beckenrand denken. Auf Randfazies deuten auch die nicht weit entfernten Riffe und gelegentliche Schillanreicherungen. Da Anzeichen für Trockenfallen nicht nachgewiesen werden konnten, ist zu vermuten, daß das Wasser entweder nicht ganz abfloß oder schon nach kurzer Zeit wieder aufließ. Anzeiger für Randnähe ist auch die unterschiedliche Strömungsrichtung in einzelnen Lagen (Abb. 2). Ursache dafür kann morphologische Änderung angrenzender Riffe oder stärkere, z. B. durch Wind hervorgerufene Wasserbewegung im Beckeninneren sein. Die Rippelmarken von *Painten* lassen im Vertikalschnitt keine Struktur erkennen, BARTHEL (1964, S. 49) deutet sie als „verwaschene Rippelmarken“ oder „Flachstwasser-Rippeln“.

Aus den Brüchen bei *H e n n h ü l l* kennen wir neben Rippelmarken auskei-

lende Schichten, Aufarbeitungslagen und Schillanreicherungen. Von allen untersuchten Aufschlüssen war hier die Sedimentation am unruhigsten. Der Schill besteht aus Bruchstücken von Mollusken- und Echinodermenschalen. Es gibt keinen Hinweis darauf, daß der Ablagerungsraum auch der Lebensraum der Fauna gewesen war. Wir müssen einen Transport — vermutlich in Form von Suspensionströmen — in den Ablagerungsbereich annehmen, wobei die Zusammensetzung der Fauna auf eine „Lebensgemeinschaft in Riff-artigem Milieu“ (SCHAIRER 1968, S. 303) schließen läßt. Die Schillanhäufungen in einzelnen Bänken erklärt STREIM (1961, S. 26) als Ansammlungen in „... wannenartigen, seichten Vertiefungen am Meeresgrunde“.

Auch in diesem Bruch wechseln Lagen, die Zeugnis stärkerer Wasserbewegung geben, mit solchen, die Anzeichen ruhiger Sedimentation tragen. Hier sind verschiedentlich Lebensspuren erkennbar (s. S. 163). Diese Lagen sind gleichmäßig dick, halten über größere Flächen aus und haben keinen Anteil an größerem Material.

Ruhigste Ablagerungsbedingungen herrschten in der Gegend um Eichstätt. Schleifmarken fehlen fast völlig. Die Fossilien sind größtenteils hervorragend erhalten und nur selten zerfallen. *Saccocoma* läßt keine Einregelung erkennen (andererseits wurde *Saccocoma* nie zusammen mit Strömungsmarken gefunden, bei Wasserbewegung zerfällt sie sicher rasch in einzelne Skeletteile). Die in Zandt typische *Geocoma carinata* GF. ist dagegen oft eingeregelt. Ihre in eine Richtung weisenden Arme sind Anzeiger für Strömung (SEILACHER 1959).

### c) Lebensmöglichkeiten

Auf extrem schlechte Lebensbedingungen im Ablagerungsbereich wurde bereits früher hingewiesen (WALTHER 1904, SEILACHER 1963, BARTHEL 1964, SCHAIRER 1968). Im Gegensatz dazu kommt MAYR (1967, S. 11) „... zu dem Ergebnis, daß Leben in den Lagunen gar wohl möglich war, auch auf deren Grund, wie vor allem die Kriechspuren von Muscheln beweisen“. Tatsächlich fehlen von lebenden Tieren verursachte Spuren oder Fährten in den meisten Schichten völlig. Hinweise auf Aasfresser (BARTHEL 1964, S. 58) fehlen. MAYR (1967, S. 9) erwähnt einen Fall, in dem die Spur eines Aasfressers erhalten sein könnte. Vermutlich hätte aber ein solcher mehr und deutlichere Spuren — vor allem Fraßspuren! — hinterlassen und nicht nur einige Fußabdrücke neben dem Fischkörper.

Echte Fährten sind nur von *Mesolimulus* und *Mecochirus* überliefert. Vom rezenten *Limulus* wissen wir, daß er außerordentlich resistent gegen Salinitäts- und Temperatur-Schwankungen ist; ähnliches möchten wir auch von *Mesolimulus* annehmen.

Spuren, die auf Sedimentwühler zurückgehen, wurden nur in den oberen Bänken der Brüche bei H a u n s f e l d und aus einigen Schichten über der Krümmen Lage I des Bruches HARTEIS bei H e n n h ü l l bekannt.

Typisch ist, daß Anzeichen von Leben nur auf wenige Bänke eines Profils be-

schränkt sind. Das gilt auch für die seltenen Mollusken-Spuren aus dem Bruch IMBERG bei P f a l z p a i n t (MAYR 1967, S. 9).

Die bei E i c h s t ä t t gelegentlich zu findenden Anhäufungen von Muscheln und Schnecken, die vermutlich an Algenfäden angeheftet eindrifteten (s. S. 168), liegen noch in ursprünglicher Anordnung vor. Kriechspuren sind mir in ihrer Umgebung nicht bekannt geworden. Auch die auf *B. acicula* erhaltene Austerkolonie (Taf. 9, Fig. 2) ist schnell abgestorben. Hätten die Muscheln auf dem Grund noch weiter gelebt, so müßte man weiteres Wachstum und Überwuchern des Roststrums annehmen; ein solcher Fall ist aber meines Wissens nicht bekannt.

Die zahlreichen Exemplare von *Saccocoma* waren sicher ebenfalls tot, als sie auf den Grund sanken. Bewegungsspuren von ihnen wurden bisher nicht nachgewiesen. Die bei WALTHER (1904, S. 201) abgebildete „Kriechspur von *Saccocoma*“ erklärt BARTHEL (1964, S. 58) mit Verdriften des Körpers. JAEKEL (1892, S. 679) bemerkt zur Einrollung der Arme, „... daß es sich ... zum großen Theil, wenn nicht ausschließlich, um pathologische Vorgänge handelt, welche bei dem Absterben des Thieres die normale Haltung der Arme verändert haben“.

Einen Hinweis auf Leben in den Lagunen gibt *Lumbricaria*, „soweit es sich dabei um Fischkoprolithen handelt“ (MAYR 1967, S. 10). Vermutlich kamen gelegentlich, vielleicht infolge größerer Stürme, zahlreiche Tiere in die Lagunen und gingen dann nach gewisser Zeit zugrunde. Für solches schubweises Einschwemmen von Tieren spricht auch das bereits von ABEL (1927) erwähnte gehäufte Vorkommen von Fossilien in bestimmten Lagen (s. S. 147 f).

Anzeichen für gelegentliches Leben auch größerer Tiere in den Ablagerungswannen sehen wir in der vermutlich zerbissenen Gravesien-Schale mit Austern-Bewuchs (Taf. 10, Fig. 2 u. JANICKE 1967, S. 108) und einem Speiballen, der aus einem kompletten *Strobilodus* besteht (JANICKE 1969 b). Auch MAYR (1967) beschreibt Bruchstücke von Ammoniten-Schalen und vermutet, daß diese zerbissen wurden.

MAYR (1967, S. 8) rechnet die „... Exuvien (der Krebse) auch zu den Spuren von Leben in den Lagunen“. Nach seiner Auffassung „... kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die Erymiden und auch die anderen Krebse normalerweise lebend in die Lagunen kamen und die Häutungen erst in diesen stattfanden“. Auch die „... sehr frühen Jugendstadien ... von Ammoniten ... , Saccocomen, Krebsen und Fischen“ machen es nach MAYR wahrscheinlich, „... daß die Lagunen selbst ihre Geburtsstätte sind“. Ähnliches nimmt auch WETZEL (1966) für die Cephalopodengattung *Streblites* an. Wenn nun das Biotop so günstig war, daß es eine Entwicklung vom Ei über die Larve zum Jungtier ermöglichte, warum dann der plötzliche Tod? Auch MAYR (1967, S. 8) spricht davon, daß die „... Jungammoniten ... in den Lagunen vorzeitig zugrunde gegangen (sind)“. Auch ist die Frage offen, wovon sich die Tiere ernährt haben. Warum finden wir keine Spuren von Aasfressern, wenn in den Lagunen Krebse lebten, Eier ablegten und sich häuteten? Neben Trockenfallen nimmt MAYR (1967, S. 33) auch Sauerstoffmangel durch starke Erwärmung als Grund für das Sterben der Tiere an, müßte solches nicht auch die Entwicklung von Jugendformen verhindert haben?

Die neuen Untersuchungen bestätigten für die überwiegende Dauer der Ablagerungen lebensfeindliche Bedingungen. Nachweisbare Lebensspuren beschränken sich horizontal auf Fährten, an deren Ende oft das Fossil liegt, gelegentliche Koproolithen oder Speiballen oder vertikal auf wenige, dünne Horizonte. BARTHEL (1964) erklärt die schlechten Lebensbedingungen durch stagnierendes, sehr warmes, übersalzenes und sauerstoffarmes Wasser mit Gehalt an  $H_2S$ . MAYR (1967, S. 36) sieht „... die Annahme, daß sie (die Todesursachen) in einem übernormalen Gehalt an Salz und Schwefelwasserstoff zu suchen seien, nicht genügend beweisbar“ und sucht die Ursachen in einer durch starke Erwärmung bedingten Sauerstoffarmut.

## 2. Sediment

### a) Beschaffenheit

Ein Vergleich zu ähnlichen, rezenten Ablagerungen wird von BARTHEL (1964) gezogen. Danach dürfte das Sediment zunächst als stark wasserhaltiger Kalkschlamm vorgelegen haben. An seiner Oberfläche bildete sich vermutlich ein dünnes Kalk- oder Algenhäutchen aus, welches Spuren und Marken unter Wasserbedeckung aufnehmen und konservieren konnte. Das bestätigt die sicher unter Wasserbedeckung entstandene Schleifmarke einer Meduse (s. S. 131). Der Schlamm blieb noch längere Zeit plastisch, das beweisen Schichtverformungen, die durch darauf sinkende Fossilien hervorgerufen wurden. Typisches Beispiel ist der auf S. 153 geschilderte Aptychus. Das Sediment wurde in der näheren Umgebung stark verformt. Die einzelnen Schichten waren, obwohl noch nicht verfestigt, so doch gegeneinander getrennt. Dadurch kam es zu Verformungen und Ausquetschungen, ohne daß die Lagen sich durchmischten.

In den Brüchen von Daiting und Hennhüll sind die Schichten teilweise feins bis grobkörnig ausgebildet. Aufgrund der verschieden großen Komponenten des Sedimentes kann man hier ein ursprünglich größeres Porenvolumen annehmen als in den mikritischen Kalken. Diese abweichende Beschaffenheit hatte sicher auch Einfluß auf die Einbettung und Erhaltung von Fossilien. So sprechen die in der Regel papierdünn zusammengepreßten Ammoniten von Daiting für stärkere Setzung als in anderen Gebieten.

### b) Genese

Diskussionen über Herkunft des Materials, das die Plattenkalk-Ablagerungen bildet, haben bis heute zu keinem abschließenden Ergebnis geführt. Während ältere Autoren (NEUMAYR 1887, ROTHPLETZ 1909, ABEL 1927 u. a.) die Ablagerungen als Resultate gewaltiger Staubeinwehungen von einem Festland deuten, hat man sich in letzter Zeit allgemein auf die Ausscheidung der Kalke aus dem Wasser geeinigt, wobei noch offen bleibt, ob diese organischen oder chemischen Ursprungs war.

V. GÜMBEL (1889) sprach als erster von der Möglichkeit organischer Herkunft des Sedimentes (s. Zitat auf S. 119 dieser Arbeit). DEHM (1956, S. 55) denkt an ein

„... fossil selbst nicht erhaltungsfähiges Mikrowesen pflanzlicher oder tierischer Zugehörigkeit“, das die Kalkausscheidung bewirkt haben könnte. Die Untersuchungen von FLÜGEL (1967) bestätigen einen organischen Anteil in den Plattenkalken. BARTHEL (1964) zieht Vergleiche zu den rezenten Ablagerungen der Great Bahama Bank. Dort wird bevorzugt im ruhigen Wasser der Kalk in Form von Aragonit-Nadeln gefällt. Ungeklärt ist auch hier, ob die Fällung organischer oder anorganischer Herkunft ist.

Nach MAYR (1967, S. 36) haben wir mit chemischer und biochemischer Kalkfällung in den Lagunen, sowie mit Einschwemmung von Schlamm des Meeresgrundes vor den Riffen, zu rechnen. Fraglich ist, ob man hier von einer „... ankommenden Woge, die das Sediment brachte“ (S. 19) sprechen sollte. Unter solchen Umständen würden die Schichten sicher nicht so feinstkörnig und über große Gebiete gleichmäßig abgelagert sein.

Es ist für die Genese der Plattenkalke bedeutsam, daß kein ununterbrochener Sedimentationsablauf vorliegt. Die zahlreichen Bänke und die petrographisch unterschiedlichen Ausbildungen von Flinz und Fäule stellen Unterbrechungen bzw. Änderungen der Sedimentation dar. Nach FESEFELDT (1962, S. 38) ist verschiedentlich eine petrographische Änderung von Fäulen über zähe Fäulen zu Blätterflinz und Flinz in horizontaler Richtung zu beobachten. Das bedeutet, daß während eines Sedimentationsvorganges verschiedenes Material abgelagert wurde. Die Trennfugen sind Sedimentationsunterbrechungen, über deren Zeitdauer keine Aussage möglich ist. FESEFELDT (1962) erklärt sie mit Wasserstandsschwankungen, sagt aber, daß sich „Gezeiten wie unsere heutigen“ nicht nachweisen lassen. MAYR (1967) denkt an periodisches Trockenfallen, wobei der Schlamm oberflächlich trocknete und so vom später auflagernden Sediment getrennt bleibt. Dabei bildete sich auch das Kalkhäutchen, welches nach MAYR (1967, S. 23) nur bei Trockenfallen entstehen kann.

Für die Sedimentationsgeschwindigkeit ist der auf S. 168 erwähnte *L. knorri* von Interesse. Zwischen verspülten Schuppen und Skeletteilen liegt eine dünne Sedimentschicht. Es ist unwahrscheinlich, daß der Schlamm durch Wasserbewegung aufgewühlt wurde und dadurch die Wechsellagerung zustande kam, da die Mehrzahl der Schuppen unter den Knochen liegt. Nach WEILER (1929) und SCHÄFER (1962) können Fische schon innerhalb weniger Tage zerfallen. Die Zeitdauer ist aber abhängig von äußeren Einflüssen wie Temperatur und Salzgehalt des Wassers. Ließen sich diese für die Solnhofener Lagunen ermitteln, so ergäbe sich hier ein Anhaltspunkt für die Ablagerungsgeschwindigkeit. Gelegentlich werden bei Daiting Pflanzenreste gefunden, bei denen Zweige durch mehrere Schichten reichen. Die gute Erhaltung der Zweige auch in den höheren Schichten (3—5 mm in der Vertikalen) macht wahrscheinlich, daß keine sehr lange Zeit zwischen der Einbettung des tiefer liegenden Hauptastes und der höher liegenden Zweige vergangen sein kann. MAYR (1967, S. 30) beschreibt den Ganoidschlauch eines *Aspidorhynchus* sp., in dem sich Sediment schichtig abgesetzt hat und folgert, daß diese Ablagerungen recht schnell erfolgt sein müssen. Dennoch wird man kaum mit einer Gesamtablagerungszeit von einigen Jahrhunderten (wie ROTHPLETZ 1909, ABEL 1927,

MAYR 1967) rechnen können, da die Solnhofener Schichten etwa eine Ammoniten-Zone umfassen (BARTHEL 1964).

Für die Sedimentgenese waren sicher die paläogeographischen Verhältnisse von Bedeutung. v. EDLINGER (1966) und v. FREYBERG (1968) geben unter Verwendung neuerer Arbeiten darüber umfassenden Überblick. Es zeigt sich das Bild zahlreicher, durch Riffschwellen unterteilter Sedimentationströge, in deren Nähe sich weder Inseln noch Festlandsküsten nachweisen lassen. Später, zur Zeit der Ablagerung der Mörsheimer Schichten bei Daiting, befand sich die Küste des mitteleuropäischen Festlandes oder ihr vorgelagerte Inseln und Riffe, nicht mehr allzufern. Darauf deuten nach FESEFELDT (1962, S. 56) die zahlreichen Funde von Landpflanzen sowie das Vorkommen landbewohnender Tiere. Auch der z. T. recht hohe Feinschuttgehalt der Ablagerungen von Daiting ist in dieser Richtung zu bewerten.

Ruhigste und sicher auch rifffernste Sedimentation fand im Eichstätter Bereich statt. Hier treffen wir dünne, homogene Platten, die über weite Strecken aushalten.

Riffeinflüsse sind weiter im Osten bei Hennhüll oder Kelheim (SCHAIRER 1968) zu beobachten. Gradierte Schichten und Riffdetritus lassen unruhige Sedimentation erkennen.

### c) Diagenese

Bei Entwässerung und Verfestigung des Kalkschlammes kam es zu Setzungserscheinungen, die besonders durch zerdrückte Fossilien nachweisbar sind. FESEFELDT (1962, S. 37) gibt einen vermutlichen Setzungsbetrag von 80% an. Schöne Beispiele für Setzung kennen wir aus Daiting. Taf. 9, Fig. 6 zeigt einen größtenteils von Sediment bedeckten *Hibolites*. Der Phragmokon stand bei Einbettung offenbar in Verbindung mit dem Rostrum, er ist jetzt nur noch als Erhebung auf der Oberfläche zu erkennen. Der oberste Teil des Rostrums mit der Alveolarbegrenzung ragt über die Plattenoberfläche frei heraus. Ein dünnes Kalkbänkchen, das diesen Teil des Fossils ursprünglich bedeckte, wurde durchstoßen und liegt beiderseits der Alveole. Das stabile Rostrum ließ sich bei diagenetischer Verfestigung nicht zusammendrücken. Die umgebenden Schichten aber verminderten ihr Volumen und glitten an dem einsedimentierten Fossil vorbei. Dabei konnten sie, wie im vorliegenden Fall, sogar zerreißen.

Ähnliches zeigt ein anderes Exemplar von *Hibolites*. Ein Schnitt durch das Stück (Taf. 9, Fig. 5) zeigt, wie die dunkelgraue Kalklage beim Eindringen des Rostrums ausgedünnt und verschmiert wurde. Im unteren Drittel des Querschnittes ist ein Verbiegen der feinen Schichten nach unten zu erkennen. In den oberen zwei Dritteln biegen die Lagen an den Seiten des Rostrums steil nach oben. Über dem Rostrum ist Aufwölben und Ausdünnen der Schichten zu bemerken.

Alle diese Erscheinungen sind Folge von Setzung. Die Verformung der Lagen macht einen Setzungsbetrag auf etwa 50% der ursprünglichen Mächtigkeit wahrscheinlich.

Aus Zandt stammt ein fast vollständiges Exemplar von *Perisphinctes* in

senkrechter Einbettung. Das Fossil ist ca. 13 cm breit und 5 cm hoch. Daraus errechnet sich eine Setzung auf ca. 40%. Es ist hier aber noch eine Breitenzunahme des Fossils durch Zerbrechen der Schale zu berücksichtigen. Das ergibt einen etwas geringeren Setzungsbetrag.

Auch andere Stücke ließen keine größere Setzung erkennen, ihr Betrag liegt also etwas unter dem von FESEFELDT vermuteten Wert.

### 3. Hangend — Liegend — Orientierung

Voraussetzung für die Ansprechbarkeit einer Schicht auf Liegend- oder Hangendfläche sind möglichst frische Schichtflächen. Ober- und Unterflächen müssen sich durch bestimmte Eigentümlichkeiten voneinander unterscheiden, sonst kann eine isolierte Kalkplatte nicht nachträglich orientiert werden, sofern nicht andere Faktoren, wie Einbettung von Fossilien, Rippelmarken oder Schwundrisse, zur Entscheidung herangezogen werden können.

Die rauhen, feinkörnigen Sedimente bei *Daiting* sind auf Hangend- und Liegendfläche gleich ausgebildet. Eine Orientierung von Platten aus diesem Bruch ist nur möglich, wenn Vertikalschnitte von Fossilien, besonders von Ammoniten, untersucht werden können. Dann läßt die durch das Aufsteigen der Schale hervorgerufene Verbiegung der Schichten eine Aussage zu (s. S. 154).

Ähnlich ist es in den hangenden Schichten der Brüche bei *Haunsfeld*. Auch hier ermöglichen nur Beobachtungen an eingebetteten Fossilien eine Orientierung. Im Liegenden zeigt genaue Betrachtung von Ober- und Unterflächen der Lagen, daß sie nicht völlig eben sind, sondern zahlreiche, geringe Erhöhungen und Vertiefungen aufweisen. Diese Unebenheiten sind derart, daß die Unterfläche einer Platte ein vorwiegend negatives und ihre Oberfläche ein vorwiegend positives Relief zeigt. Dieses Merkmal ist nicht auf die Brüche von *Haunsfeld* beschränkt, sondern wiederholt sich mehr oder weniger deutlich in fast allen Brüchen, besonders in denen bei *Eichstätt*. Es gilt aber nur für die festeren Schichtglieder (Flinze). Die Mergelzwischenlagen (Fäulen) zeigen keine solchen Oberflächenstrukturen. Am Übergang von Flinze zu Fäule sind die Flächen glatt. Nur größere Unebenheiten (z. B. eingebettete Fossilien) finden ihren Abdruck auch in der Fäulenlage. Die Reliefunterschiede der Flinze sind wahrscheinlich durch Synärese entstanden (s. S. 145).

Keine zur Orientierung aussagekräftigen Oberflächenstrukturen zeigen die „oberen Schiefer“ (v. EDLINGER 1964, S. 51), in denen der größte Teil des Bruches *IMBERG* bei *Pfalzpaint* liegt. Lediglich Schnitte durch Rippeln oder eingebettete Fossilien lassen Schlüsse zu. Die über der Hangenden Krümmen Lage erschlossenen, dünnplattigen Schichten des Malm zeta 3 weisen dagegen die erwähnten Reliefunterschiede auf und können somit leicht auf Hangend- oder Liegendfläche angesprochen werden.

Gleiche Unterscheidungsmöglichkeit besteht auch in dem liegenden, dünnplattigen Bereich des Malm zeta 1 im Bruch *RYGOL* bei *Painten*. Im Hangenden

ist dieses Merkmal sehr undeutlich. Hier bieten die in vielen Lagen häufigen Roll- und Schleifmarken Orientierungsmöglichkeit. Stets fanden sich die Eindrücke auf der Oberfläche der liegenden Platte und die positiven Ausfüllungen als Wülste auf der Unterfläche der hangenden Platte. Die Vermutung von SEILACHER (1963, S. 606), daß Ammoniten-Rollmarken im wesentlichen Teil der „Solnhofener Schiefer“ als Eindrücke auf der Oberfläche der Flinze und im östlichen Bereich nur als Ausgüsse auf den Flinz-Unterflächen erhalten sind, läßt sich nicht bestätigen. Synärese-Risse (s. S. 143) sind aufgrund ihrer Ausbildung ebenfalls Anzeiger für die Hangend-Liegend-Orientierung. Sie sind als Wülste auf den Plattenoberflächen ausgebildet, die Unterfläche der hangenden Platte zeigt den entsprechenden Negativ-Abdruck.

In den Brüchen HARTEIS und NIEBLER bei Hennhüll lassen die gleichartig rauhen Schichtflächen eine Orientierung nicht zu. Aussagen sind nur möglich, wenn Rollmarken oder Synärese-Risse beobachtet werden können. In schillreichen Lagen ist im Vertikal-Schnitt oft „graded bedding“ erkennbar und ermöglicht Aussagen zur Hangend-Liegend-Orientierung.

## E. Schriftenverzeichnis

- ABEL, O.: Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. — 714 S., 551 Abb., 2 Taf., Jena 1927
- ABEL, O.: Fahrtenstudien I. Über Schwimffahrten von Fischen und Schildkröten aus dem lithographischen Schiefer Bayerns. — *Palaeobiologica*, 3, 371—412, Taf. 25—30, Wien & Leipzig 1930
- ABEL, O.: Vorzeitliche Lebensspuren. — 600 S., 494 Abb., Jena 1935
- AMMON, L. v.: Ueber neue Exemplare von jurassischen Medusen. — *Abh. k. bayer. Akad. Wiss.*, II. Cl., 15, 1. Abt., 105—168, 1 Abb., 3 Taf., München 1883
- BAIER, J. J.: *Oryctographie Norica*. — 95 S., 6 Taf., Nürnberg 1708
- BAIER, J. J.: *Sciagraphia Musei svi accedunt Supplementa Oryctographiae Noricae*. — 64 S., 3 Taf., Nürnberg 1730
- BARTHEL, K. W.: Zur Entstehung der Solnhofener Plattenkalke (unteres Untertithon). — *Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol.*, 4, 37—69, 4 Taf., München 1964
- BARTHEL, K. W.: Concentric Marks: Current Indicators. — *J. sedim. Petrol.*, 36, 1156—1162, 7 Abb., Wisconsin 1966
- BAUSCH, W. M.: Der Obere Malm an der unteren Altmühl. Nebst einer Studie über das Riffproblem. — *Erlanger geol. Abh.*, 49, 38 S., 6 Taf., 22 Abb., 1 geol. Kt., Erlangen 1963a
- BUCHANAN, H.: s. IMBRIE, J. & BUCHANAN, H.
- CASTER, K. E.: Die sogenannten „Wirbeltierspuren“ und die *Limulus*-Fahrten des Solnhofener Plattenkalkes. — *Palaeontol. Z.*, 22, 12—29, Berlin 1941
- CODEZ, J. & SAINT-SEINE, R. de: Révision des Cirripèdes acrothoraciques fossiles. — *Bull. soc. géol. France*, 6. Ser., 7, 699—719, 4 Abb., 3 Taf., 3 Tab., Paris 1957
- DACQUÉ, E.: Versteinertes Leben. — 131 S., 16 Abb., 48 Taf., Berlin & Zürich 1936
- DEHM, R.: Zeitgebundene Gesteine und organische Entwicklung. — *Geol. Rdsch.*, 45, 52—56, 1 Abb., Stuttgart 1956
- DREVERMANN, F.: Beobachtungen bei der Präparation von Solnhofener Versteinerungen. — *Palaeont. Z.*, 10, 289—292, 2 Abb., Berlin 1928
- DZULINSKI, S. & SANDERS, J. E.: Current marks on firm mud bottoms. — *Trans. Connecticut Acad. Arts Scienc.*, 42, 57—96, 7 Abb., Taf. 1—22, New Haven/Connecticut & Copenhagen 1962

- EDLINGER, G. v.: Faziesverhältnisse und Tektonik der Malmtafel nördlich Eichstätt/Mfr. Mit feinstratigraphischer und paläogeographischer Bearbeitung der Eichstätter Schiefer-Vorkommen. — Erlanger geol. Abh., 56, 75 S., 37 Abb., 1 Taf., 1 geol. Kt., Erlangen 1964
- EDLINGER, G. v.: Zur Geologie des Weißen Jura zwischen Solnhofen und Eichstätt (Mfr.). — Erlanger geol. Abh., 61, 20 S., 6 Abb., 1 geol. Kt., Erlangen 1966
- FESSELDT, K.: Schichtenfolge und Lagerung des oberen Weißjura zwischen Solnhofen und der Donau (südliche Frankenalb). — Erlanger geol. Abh., 46, 80 S., 30 Abb., 1 Taf., 1 geol. Kt., Erlangen 1962
- FLÜGEL, E.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an mikritischen Kalken. — Geol. Rdsch., 56, 341—358, 2 Abb., 1 Tab., 2 Taf., Stuttgart 1967
- FLÜGEL, E. & FRANZ, H.: Elektronenmikroskopischer Nachweis von Coccolithen im Solnhofener Plattenkalk (Ober Jura). — N. Jb. Geol. Paläontol., Abh., 127, 245—263, 1 Abb., 1 Tab., Taf. 24—26, Stuttgart 1967
- FÖRSTER, R.: Über die Erymiden, eine alte konservative Familie der mesozoischen Dekapoden. — Palaeontographica, Abt. A, 125, 61—175, 37 Abb., 8 Taf., Stuttgart 1966
- FREYBERG, B. v.: Geologie des Weißen Jura zwischen Eichstätt und Neuburg/Donau (südliche Frankenalb). — Erlanger geol. Abh., 54, 97 S., 18 Abb., 11 Taf., 1 geol. Kt., Erlangen 1964
- FREYBERG, B. v.: Übersicht über den Malm der Altmühl-Alb. — Erlanger geol. Abh., 70, 40 S., 5 Abb., 3 Taf., 1 Kt., Erlangen 1968
- FRISCHMANN, L.: Versuch einer Zusammenstellung der bis jetzt bekannten fossilen Thier- und Pflanzen-Überreste des lithographischen Kalkschiefers in Bayern. — 46 S., Eichstätt (?) 1853
- FUCHS, B.: Geologische Beobachtungen bei Nusplingen und sedimentpetrographische Untersuchungen über die Entstehung der Nusplinger Plattenkalke. — Jber. oberrhein. geol. Ver., N. F. 26, 51—59, Stuttgart 1937
- FUCHS, Th.: Studien über Fucoiden und Hieroglyphen. — Denkschr. math.-naturw. Kl. Kaiserl. Akad. Wiss., 42, 80 S., 22 Abb., 9 Taf., Wien 1895
- GĘCZY, B.: Über das Absterben und die Einbettung der Ammoniten. — Ann. Univ. Sci. budapest., Sect. Geol., 2, 93—98, Budapest 1958
- GIEBEL, C.: Zur Fauna des lithographischen Schiefers von Solnhofen. — Z. ges. Naturw., 5—6, 373—388, Taf. 5—6, Berlin 1857
- GOLDFUSS, A. & MÜNSTER, G.: Petrefacta Germaniae. — Teil II, 1—68, Taf. 72—96, 1833; 69—140, Taf. 97—121, 1835; 141—224, Taf. 122—146, 1837; 225—312, Taf. 147—165, 1841
- GÜMBEL, C. W. v.: Kurze Erläuterungen zu dem Blatte Ingolstadt (No. XV) der geognostischen Karte des Königreiches Bayern. — 34 S., Kassel 1889
- GÜMBEL, C. W. v.: Geognostische Beschreibung des Königreiches Bayern. Vierte Abtheilung: Geognostische Beschreibung der Fränkischen Alb (Frankenjura). — IX u. 763 S., zahlr. Abb., 1 geol. Kt., Kassel 1891
- HAECKEL, E.: Über zwei neue fossile Medusen aus der Familie der Rhizostomiten in dem kön. mineralogischen Museum zu Dresden. — N. Jb. Mineral. usw., 257—292, Taf. 5—6, Stuttgart 1866
- HÄNTZSCHEL, W.: Fährten und Problematica. — Fortschr. Paläont., 1, 52—57, Berlin 1937
- HÄNTZSCHEL, W.: Zur Frage der Kennzeichen fossiler Watten-Ablagerungen. — Senckenbergiana, 34, 255—263, 4 Abb., Frankfurt 1953
- HECHT, F.: Der Verbleib der organischen Substanz der Tiere bei meerischer Einbettung. — Senckenbergiana, 15, 165—249, 19 Abb., Frankfurt 1933
- HERTWECK, G.: Möglichkeiten des Fossilwerdens von Quallen — im Experiment. — Natur u. Museum, 96, 456—462, 6 Abb., Frankfurt 1966
- HÖLDER, H.: Belemniten und Ammoniten als Beutetiere. — Aus der Heimat, 63, 88—92, 6 Abb., Öhrungen 1955

- HÖLDER, H.: Das Gefüge eines Placunopsis-Riffs aus dem Hauptmuschelkalk. — Jber. oberrhein. geol. Ver., N. F. 43, 41—48, 1 Taf., Stuttgart 1961
- HÖLDER, H. & STEINHORST, H.: Lebendige Urwelt. — 136 S., 155 Abb., Stuttgart 1964
- HOUTEN, F. B. v.: Cyclic Lacustrine Sedimentation, Upper Triassic Lockatong Formation, Central New Jersey and Adjacent Pennsylvania. — Kansas Geol. Surv. Bull., 169, 497—531, 19 Abb., Lawrence (?) 1964
- IMBRIE, J. & BUCHANAN, H.: Sedimentary Structures in Modern Carbonate Sands of the Bahamas. In: Primary Sedimentary Structures and their Hydrodynamic Interpretation. — Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ. 12, 149—172, 37 Abb., Tulsa 1965
- JAEKEL, O.: Ueber Plicatocriden, Hyocrinus und Saccocoma. — Z. dtsh. geol. Ges., 44, 619—696, 13 Abb., Taf. 25—30, Berlin 1892
- JANICKE, V.: Fossil-Sediment-Strukturen in untertithonischen Plattenkalken der südlichen Frankenalb. — 116 S., 24 Abb., 15 Taf., München 1967
- JANICKE, V.: *Lumbricaria* — ein Cephalopoden-Koprolith. — N. Jb. Geol. Paläontol., Monatsh., Stuttgart 1969 a (im Druck)
- JANICKE, V.: Ein *Strobilodus* als Speiballen im Solnhofener Plattenkalk (Tiefes Unter-tithon, Bayern). — N. Jb. Geol. Paläontol., Monatsh., Stuttgart 1969 b (im Druck)
- JÜNGST, H.: Zur geologischen Bedeutung der Synärese. Ein Beitrag zur Entwässerung der Kolloide im werdenden Gestein. — Geol. Rdsch., 25, 312—325, 6 Abb., Berlin 1934
- KIESLINGER, A.: Über fossile Medusen. — Verh. zool.-bot. Ges. Wien, 74—75, 39—41, Wien 1924—25
- KLINGHARDT, F.: Neue Deutung einer scheinbaren Kriechspur eines Tintenfisches aus dem Solnhofener Plattenkalk. — Paleontol. Z., 29, 79—82, Stuttgart 1955
- KNORR, G. W. & WALCH: Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur und Alterthümer des Erdbodens, welcher petrolithische Körper enthält. — Nürnberg 1755
- KOLB, A.: Die erste Meduse mit Schleifspur aus den Solnhofener Schiefer. — Geol. Bl. NO-Bayern, 1, 63—69, 1 Abb., 1 Taf., Erlangen 1951
- KOLB, A.: Die Ammoniten als Dibranchiata. — Geol. Bl. NO-Bayern, 11, 1—26, 5 Abb., 2 Taf., Erlangen 1961
- KOLB, A.: Ammoniten-Marken aus dem Solnhofener Schiefer bei Eichstätt (Ein weiterer Beweis für die Oktopoden-Organisation der Ammoniten). — Geol. Bl. NO-Bayern, 17, 21—37, 2 Abb., 1 Taf., Erlangen 1967
- KRUMBECK, L.: Bemerkungen zur Entstehung der Solnhofener Schichten. — Cbl. Mineral. usw. Abt. B, No. 7, 428—434, Stuttgart 1928a
- KRUMBECK, L.: Faltung, untermeerische Gleitfaltung und Gleitstauchung im Tithon der Altmühlalb. — N. Jb. Mineral. usw., Abt. B, Beil.-Bd. 60, 113—166, Taf. 6—11, Stuttgart 1928b
- KUHN, O.: Die Tier- und Pflanzenwelt des Solnhofener Schiefers. — Geol. bavar., 48, 68 S., 1 Abb., München 1961
- LANGE, S.: Zur Morphologie und Taxonomie der Fischgattung *Urocles* aus Jura und Kreide Europas. — Palacontographica, Abt. A, 131, 1—78, 13 Abb., 5 Taf., Stuttgart 1968
- LESSERTISSEUR, J.: Traces fossiles d'activité animale et leur signification paléobiologique. — Mém. Soc. geol. France, N. S. 34, Fasc. 4, Mém. 74, 1—150, 11 Taf., 68 Abb., Paris 1955
- LÖRCHER, E.: Eine neue fossile Qualle aus den Opalinusschichten und ihre paläogeographische Bedeutung. — Mitt. mineral.-geol. Inst. TH Stuttgart, 20, 44—46, 3 Abb., Stuttgart 1931
- LÜDERS, K.: Entstehung und Aufbau von Großrücken mit Schillbedeckung in Flut- bzw. Ebberichtern der Außenjade. In: LÜDERS, K. & TRUSHEIM, F., Beiträge zur Ablagerung mariner Mollusken in der Flachsee. — Senckenbergiana, 11, 123—142, 14 Abb., Frankfurt 1929
- MALZ, H.: Kouphichnium walchi, die Geschichte einer Fährte und ihres Tieres. — Natur u. Museum, 94, 81—97, 15 Abb., Frankfurt 1964

- MAYR, F. X.: Durch Tange verfrachtete Gerölle bei Solnhofen und anderwärts. — Geol. Bl. NO-Bayern, 3, 113—121, 1 Taf., Erlangen 1953
- MAYR, F. X.: Die naturwissenschaftlichen Sammlungen der Philosophisch-theologischen Hochschule Eichstätt. — Sonderdruck aus der Festschrift „400 Jahre Collegium Willibaldinum Eichstätt“, 302—334, 8 Abb., Eichstätt 1964
- MAYR, F. X.: Zur Frage des „Auftriebes“ und der Einbettung bei Fossilien der Solnhofener Schichten. — Geol. Bl. NO-Bayern, 16, 102—107, 2 Abb., Erlangen 1966
- MAYR, F. X.: Paläobiologie und Stratinomie der Plattenkalke der Altmühlalb. — Erlanger geol. Abh., 67, 40 S., 16 Taf., 8 Abb., Erlangen 1967
- McKEE, E. D.: Experiments on Ripple Lamination. In: Primary Sedimentary Structures and their Hydrodynamic Interpretation. — Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ. 12, 66—83, 7 Abb., 7 Taf., Tulsa 1965
- MÜLLER, A. H.: Grundlagen der Biostratonomie. — Abh. dtsh. Akad. Wiss. Berlin; Kl. Math. allg. Naturw., 3, 147 S., 79 Abb., Berlin 1951
- MÜNSTER, G.: Bemerkungen zur näheren Kenntnis der Belemniten. — 18. S., 2 Taf., Bayreuth 1830
- MÜNSTER, G.: s. GOLDFUSS, A. & MÜNSTER, G.
- NEUMAYR, M.: Erdgeschichte. — Bd. 2, 880 S., 581 Abb., 12 Taf., 2 Kt., Leipzig 1887
- NIEHOFF, W.: Die primär geschichteten Sedimentsstrukturen, insbesondere die Schrägschichtung im Koblenz-quarzit am Mittelrhein. — Geol. Rdsch., 47, 252—321, 39 Abb., 1 Taf., Stuttgart 1958
- OPPEL, A.: Über Fährten im Lithographischen Schiefer (*Ichnites lithographicus*). — 5 S., 1 Taf., 1862
- PETTIJOHN, F. J.: s. POTTER, P. E. & PETTIJOHN, F. J.
- POTTER, P. E. & PETTIJOHN, F. J.: Paleocurrents and Basin Analysis. — 296 S., 130 Abb., 30 Taf., Berlin — Göttingen — Heidelberg 1963
- QUENSTEDT, W.: Beiträge zum Kapitel Fossil und Sediment vor und nach der Einbettung. — N. Jb. Mineral. usw., 58, Abt. B., 353—432, Stuttgart 1927
- RECK, H.: s. STAFF, H. v. & RECK, H.
- REINECK, H.-E.: Sedimentbewegungen an Kleinrippeln im Watt. — Senck. leth., 42, 51—67, 5 Abb., 3 Taf., Frankfurt 1961
- REYMENT, R. A.: Some factors in the distribution of fossil Cephalopods. — Acta Univ. Stockholmensis (Stockh. Contr. Geol.), 1, 97—184, 24 Abb., Taf. 1—7, Stockholm 1958
- RICHTER, R.: Flachseebeobachtungen zur Paläontologie und Geologie. III—VI. — Senckenbergiana, 4, 103—141, 1 Taf., Frankfurt 1922
- RICHTER, R.: Flachseebeobachtungen zur Paläontologie und Geologie. XII—XIV. — Senckenbergiana, 8, 200—224, 1 Taf., Frankfurt 1926
- RICHTER, R.: Die Einkippungsregel. — Senckenbergiana, 25, 1 Abb., Frankfurt 1942
- ROLL, A.: Über den Oberen Malm der südwestlichen Frankenalb. Vorläufige Mitteilung. — Cbl. Mineral. usw., Abt. B, 553—564, 3 Abb., Stuttgart 1933
- ROLL, A.: Über Fraßspuren an Ammoniten-Schalen. — Zbl. Mineral. etc., Abt. B, 120—124, 11 Abb., Stuttgart 1935
- ROLL, A.: Tektonische Bemerkungen zu einer geologischen Karte der südlichen Frankenalb. — Z. deutsch. geol. Ges., 92, 205—252, 7 Abb., Taf. 7—8, Berlin 1940
- ROTHPLETZ, A.: Über die Einbettung der Ammoniten in die Solnhofener Schichten. — Abh., k. bayer. Akad. Wiss., II. Kl., 24, 2 Abt., 313—337, 1 Abb., 2 Taf., München 1909
- SAINT-SEINE, R. de: s. CODEZ, J. & SAINT-SEINE, R. de.
- SANDERS, J. E.: s. DZULYNSKI, S. & SANDERS, J. E.
- SCHÄFER, W.: Dehnungsrisse unter Wasser im meerischen Sediment. — Senckenbergiana, 35, 87—99, 12 Abb., Frankfurt 1954

- SCHÄFER, W.: *Aktuo-Paläontologie nach Studien in der Nordsee.* — 666 S., 277 Abb., 36 Taf., Frankfurt 1962
- SCHAIERER, G.: *Sedimentstrukturen und Fossilienbettung in untertithonischen Kalken von Kelheim in Bayern.* — Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol., 8, 291—304, 13 Abb., München 1968
- SCHMIDT, V.: *Facies, Diagenesis and Related Reservoir Properties in the Gigas Beds (Upper Jurassic), North-western Germany.* In: *Dolomitization and Limestone Diagenesis — A Symposium.* — Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ. 13, 124—168, 32 Abb., Tulsa 1965
- SCHNEID, Th.: *Die Geologie der fränkischen Alb zwischen Eichstätt und Neuburg a. D., I. Stratigraphischer Teil.* — Geogn. Jh., 27, 59—170, Taf. 1—9, 28, 1—67, München 1914, 1915
- SCHWARZ, A.: *Gestrandete Quallen.* — Natur u. Museum, 62, 282—286, 6 Abb., Frankfurt 1932
- SCHWERTSCHLAGER, J.: *Die lithographischen Plattenkalke des obersten Weißjura in Bayern.* — 36 S., 20 Abb., München 1919
- SCHWERTSCHLAGER, J.: *Beiträge zur Kenntnis der Bildung und Fauna der lithographischen Schiefer.* — Palaeontol. Z., 7, 147—160 (m. Diskussion — 162), Berlin 1926
- SEILACHER, A.: *Fossilien als Strömungsanzeiger.* — Aus der Heimat, 67, 170—177, 1 Taf., Öhringen 1959
- SEILACHER, A.: *Umlagerung und Rolltransport von Cephalopoden-Gehäusen.* — N. Jb. Geol. Paläontol., Monatsh., 11, 593—615, 9 Abb., Stuttgart 1963
- SEILACHER, A.: *Swimming Habits of Belemnites.* — Recorded by Boring Barnacles. — Palaeogeography, Palaeoclimatol., Palaeoecol., 4, 279—285, Amsterdam 1968
- STAFF, H. v. & RECK, H.: *Die Lebensweise der Zweischaler des Solnhofener lithographischen Schiefers.* — Sitz.-Ber. Ges. naturforsch. Freunde, 3, 157—175, 1 Abb., Taf. 6—11, Berlin 1911
- STREIM, W.: *Stratigraphie, Fazies und Lagerungsverhältnisse des Malm bei Dietfurt und Hemau (Südliche Frankenalb).* — Erlanger Geol. Abh., 38, 49 S., 25 Abb., 1 geol. Kt., Erlangen 1961
- TEMMLER, H.: *Über die Schiefer- und Plattenkalke des Weißen Jura der Schwäbischen Alb.* — Arb. geol.-paläontol. Inst. TH Stuttgart, N. F., 43, 107 S., 18 Abb., 2 Tab., 24 Taf., Stuttgart 1964
- TRUSHEIM, F.: *Eigenartige Entstehung von Tongallen.* — Natur u. Museum, 59, 70—72, 3 Abb., Frankfurt 1929
- TRUSHEIM, F.: *Eine neue Lebensspur aus den lithographischen Schiefen Süddeutschlands.* — Palaeontol. Z., 16, 1—14, 2 Abb., 1 Taf., Berlin 1934
- WALTHER, J.: *Die Fauna der Solnhofener Plattenkalke. Bionomisch betrachtet.* — Jenaische Denkschr., 11, 135—214, 20 Abb., 8 Taf., Jena 1904
- WEIGELT, J.: *Rezente Wirbeltierleichen und ihre paläobiologische Bedeutung.* — 227 S., 37 Taf., 28 Abb., Leipzig 1927
- WEIGELT, J.: *Ganoidfischleichen im Kupferschiefer und in der Gegenwart.* — Palaeobiologica, 1, 323—356, 16 Abb., 4 Taf., Wien & Leipzig 1928
- WEILER, W.: *Über das Vorkommen isolierter Köpfe bei fossilen Clupeiden.* — Senckenbergiana, 11, 40—47, 9 Abb., Frankfurt 1929
- WETZEL, W.: *Über einige umstrittene Bath-Ammoniten nebst paläobiologischen Bemerkungen über die Neoammoniten.* — N. Jb. Geol. Paläontol., Abh., 124, 84—102, 1 Abb., Taf. 12—14, Stuttgart 1966
- WILFARTH, M.: *Die Gezeiten im Meere des Malm bei Solnhofen.* — Z. dtsch. geol. Ges., 88, 57—61, Berlin 1936
- WIMAN, C.: *Beobachtungen an Solnhofener Fossilien.* — Probl. Palaeontol., 1, 217—221, 1 Taf., Moskau 1936
- ZEISS, A.: *Geologie des Malm auf Gradabteilungblatt Dollnstein (Südliche Frankenalb).* — Erlanger geol. Abh., 55, 43 S., 6 Abb., 2 Taf., 1 geol. Kt., Erlangen 1964

## Tafelerklärungen

### Tafel 6

- Fig. 1: Schleifmarke einer Meduse *Rhizostomites admirandus* (HAECKEL), Bruch SCHÖPFEL, Gungolding. 1962 I 102; x 0,5  
Fig. 2: Synärese-Risse auf einer Plattenoberfläche, Bruch NIEBLER, Hennhüll. 1964 XXIII 74; x 0,4

### Tafel 7

- Fig. 1: Durch Synärese hervorgerufene Reliefunterschiede auf einer Schichtoberfläche. PFAHLER, Schernfeld. 1964 XXIII 80; x 2,0  
Fig. 2: Schichtunterfläche der hangenden Platte von Fig. 1  
Fig. 3: Ammonit mit ?Algenanhängen, Bruch RYGOL, Painten. 1964 XXIII 78; x 0,5  
Fig. 4: *Hibolithes* sp., Längsschnitt. Schräg im Sediment eingebettet. Gemeindebruch Daiting. 1964 XXIII 50; nat. Gr.  
Fig. 5: Plattenoberfläche mit zahlreichen Jugendexemplaren von *Saccocoma* (vorwiegend Negativ-Erhaltung). Bruch PFAHLER, Schernfeld. 1964 XXIII 65 a; nat. Gr.  
Fig. 6: Plattenunterfläche mit zahlreichen Jugendexemplaren von *Saccocoma* (vorwiegend Positiv-Erhaltung), Bruch PFAHLER, Schernfeld. 1964 XXIII 65 b; nat. Gr.

### Tafel 8

- Fig. 1: Querschnitt durch *Aspidoceras* und umgebendes Gestein, Bruch Haunsfeld I. Erklärung s. Text S. 155 f.; 1964 XXIII 70; nat. Gr.  
Fig. 2: *Neohetoceras* sp., Querschnitt durch ein schräg eingebettetes Exemplar und Nebengestein, Gemeindebruch Daiting. 1964 XXIII 55; x 2,0  
Fig. 3: Ruhespur von *Mesolimulus*, Bruch IMBERG, Pfalzpaint. 1964 XXIII 46; x 0,6

### Tafel 9

- Fig. 1: Ruhespuren von Crustaceen, Bruch NIEBLER, Hennhüll. 1964 XXIII 73; x 2,0  
Fig. 2: *Belemnites acicula* MÜNSTER mit aufgewachsenen Austern, Bruch Dr. Barth, Schernfeld. 1964 XXIII 68; x 1,5  
Fig. 3: *Palaeocypris* mit aufgewachsenen Larven von Lamellibranchiaten, Gemeindebruch Daiting. 1964 XXIII 60; x 2,0  
Fig. 4: *Hibolithes* sp., schräg im Sediment eingebettet, mit Bohrlöchern von *Brachyzapfes elliptica* CODEZ. Gemeindebruch Daiting. 1964 XXIII 51; x 1,5  
Fig. 5: Querschnitt durch *Hibolithes* sp.; beim Eindringen in das Sediment wurden die unteren Schichten durchstoßen. Gemeindebruch Daiting. 1964 XXIII 48; x 1,2  
Fig. 6: *Hibolithes* sp., etwas schräg eingebettet. Seitlich des Rostrums läßt sich Setzung des Sedimentes erkennen. Gemeindebruch Daiting. 1964 XXIII 56; nat. Gr.  
Fig. 7: Salz-Pseudomorphosen. Bruch SCHÖPFEL an der Straße Gungolding-Hofstetten. 1961 I 460; nat. Gr.

### Tafel 10

- Fig. 1: Anhäufung von jungen Lamellibranchiaten (*Ostrea* sp.). Vermutlich an Algen angeheftet eingedrftet. Gemeindebruch Daiting. 1964 XXIII 57; x 0,35  
Fig. 2: Bruchstücke einer Gravesien-Schale mit aufgewachsenen Austern, Plattenoberfläche. Wintershof. 1964 XXIII 82; x 0,15



1



2





1



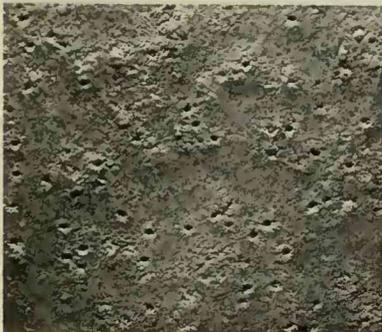
2



3



4



5



6

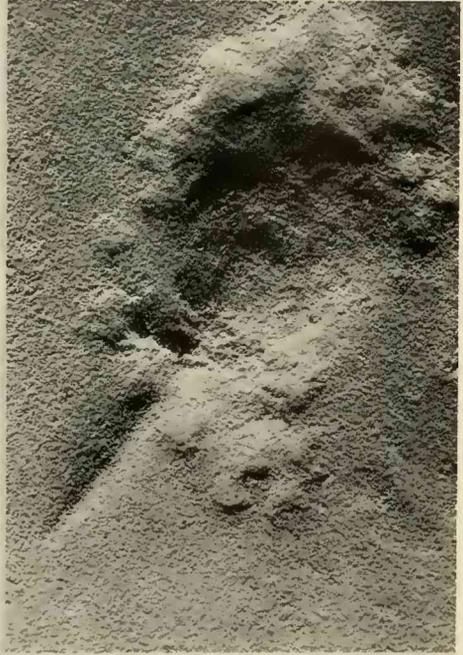




1

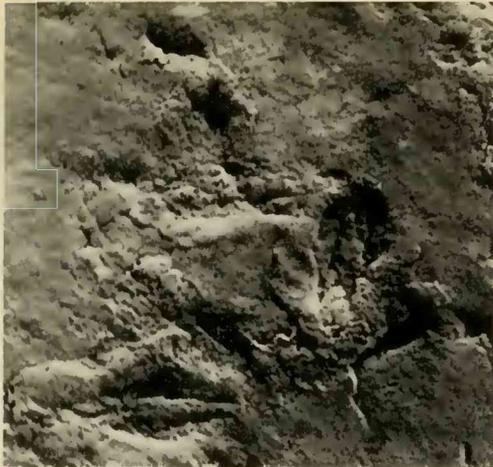


2



3

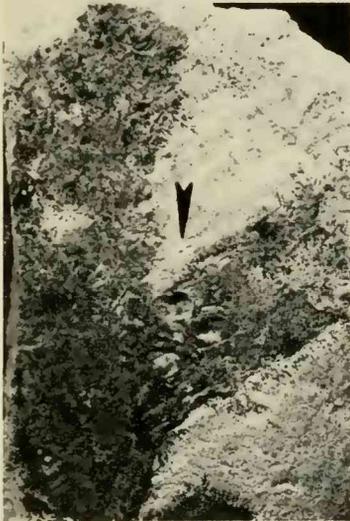




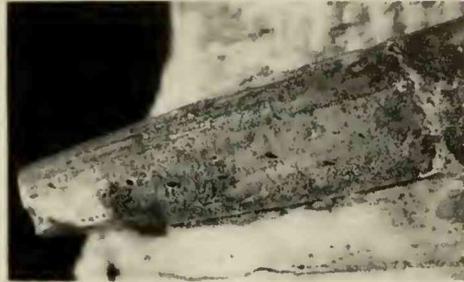
1



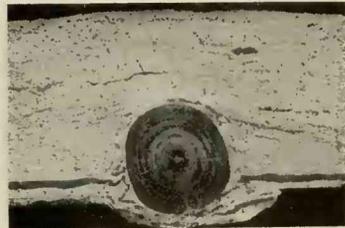
2



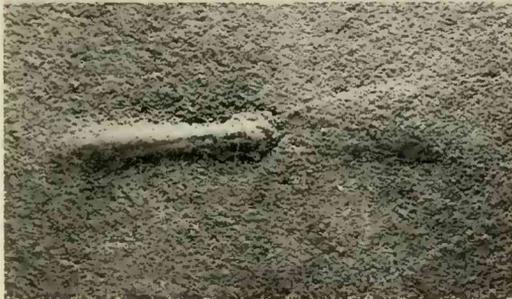
3



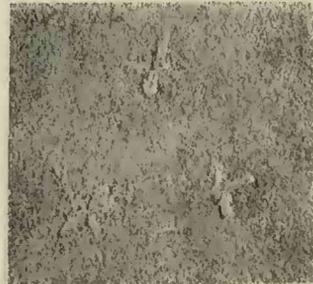
4



5

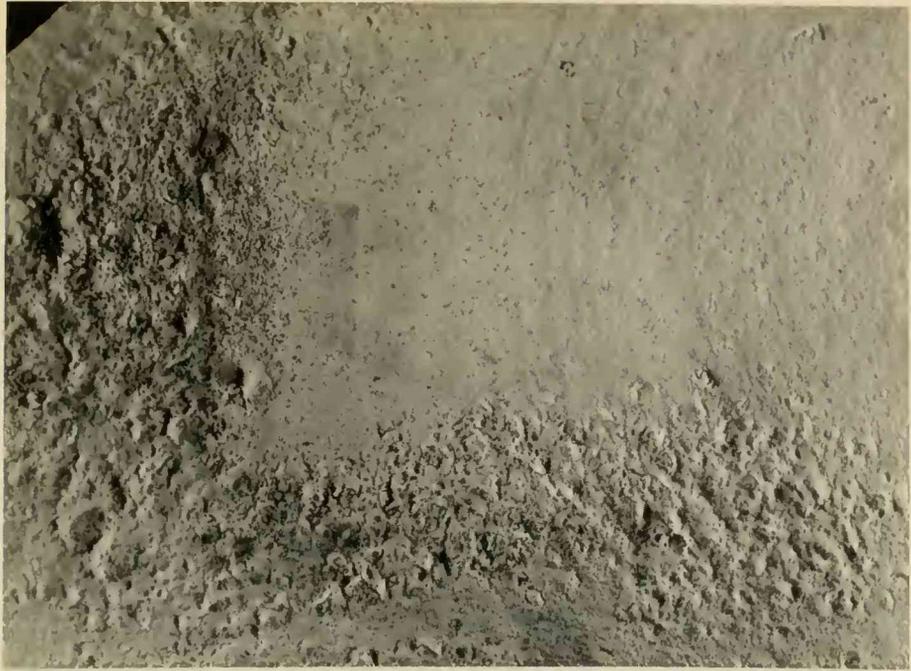


6



7





1



2

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Histor. Geologie](#)

Jahr/Year: 1969

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Janicke Volkmar

Artikel/Article: [Untersuchungen über den Biotop der Solnhofener Plattenkalke 117-181](#)