

# Sedimentdruck und seine Beziehung zum Fossil.

Von **Hans Klähn**, Rostock.

Mit 12 Textabbildungen und den Tafeln I—III.

## Einleitung.

Schon viel ist über die Einwirkung des „Sedimentdrucks“ auf die in Sedimente eingeschlossenen Fossilien geschrieben worden, wobei fast nur solche Absätze in den Kreis der Betrachtung gezogen werden, welche von Natur aus plastisch sind. In letzter Zeit ist QUENSTEDT (QUENSTEDT 1928) am ausführlichsten auf solche Dinge in sorgfältigster Art und Weise eingegangen, wobei die Beobachtung am Fossil im Mittelpunkt des Interesses steht. Es gelang QUENSTEDT der Nachweis, daß Doppelklappen von Muschelschalen im ursprünglich plastischen Sediment „unter der Belastung durch aufgeschichtete Sedimentmassen auseinandergeschoben“ werden, daß infolge zunehmender Belastung die Schale zerbricht und zusammengedrückt wird. Auf eine Arbeit von WEPFER (WEPFER 1926) gehe ich deshalb nicht ein, weil mir der Verstorbene menschlich nahestand und mir eine ablehnende Stellungnahme seinen Ansichten gegenüber unfreundschaftlich erscheint.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit habe ich an Hand von Versuchen und Berechnungen die Druckverhältnisse innerhalb von Sanden und Sandsteinen bestimmt, ferner das Verhalten von Muschelschalen im Sandsediment. An dieser Stelle soll nun plastisches Sediment ebenso behandelt werden unter Berücksichtigung von Fossilien. Es werden alle Phasen des Druckes in einem solchen Sediment von Beginn des Absatzes bis zum fertigen Gestein untersucht. Der Übersicht halber werden die im Sand und Sandstein bestehenden Druckverhältnisse vorher kurz besprochen.

Wo es ging, wurden die Erfahrungen der Technik herangezogen, wobei ich mich auf TERZAGHI'S Werk „Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage“ stütze.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Dr. BERCKHEMER-Stuttgart und Herrn Prof. HAUPT-Darmstadt für Überlassung von Belegstücken und Anfertigung von Lichtbildern bestens zu danken. Bei einem Besuch in Tübingen stellte mir Herr Prof. HENNIG die ihm unterstellte Samm-

lung in dankenswerter Weise zur Verfügung. Ganz besonders danke ich Herrn Prof. TERZAGHI-Wien dafür, daß er mein Manuskript einer Durchsicht unterzog.

## I. Der Druck im Sand und seine Einwirkung auf die Fossilien.

### a) Sande, spez. trockene Sande.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf solche Sande, welche absolut frei von Ton oder organischen Stoffen sind. Unter a) werden zur Einführung nur trockene Sande herangezogen, unter b) auch nasse Sande.

Ich trenne hier wie auch später den Sedimenteigendruck vom Belastungsdruck und verstehe unter dem ersteren den innerhalb eines einheitlichen Sedimentes, etwa Sand, bestehenden Druck. Der Belastungsdruck ist hingegen derjenige, welcher von einem einheitlichen Sediment, etwa einer Kalkplatte, auf ein anderes, etwa Ton, ausgeübt wird. Ich lasse bei meinen Betrachtungen absichtlich den Tangentialdruck weg und gehe von den einfachsten Verhältnissen aus.

Zur Bestimmung des Sedimenteigendruckes im Sande bediente ich mich einer hydrostatischen Waage, d. h. eines feststehenden Glaszylinders mit darunter befindlicher Federwaage. (KLÄHN 1931.) Es zeigte sich, daß bei Sedimentation trockenen Sandes nur die ersten Körnerreihen den ihnen zukommenden hydrostatischen Druck ausüben, daß dann aber die Waage vorläufig nicht mehr sinkt, sondern erst wieder nach einiger Zeit und so in bestimmten Abständen. Es ist also der Waagedruck

$$\text{W.D.} = \text{hydrost. Druck} - n\% \text{ hydrost. Dr.} \quad (1)$$

$n\%$  geht auf Konto des zwischen den Sandkörnern und zwischen diesen und der Glaswand bestehenden Druckes, welcher eine Spannung innerhalb des Sandes hervorruft. Herr PETRASCHECK-Leoben machte mich in dankenswerter Weise darauf aufmerksam, daß in Getreidesilos eine ähnliche Erscheinung von Bauingenieuren berechnet wird, wo die Körnerspreizung eine Reduktion des Bodendruckes hervorruft.

Die erwähnten ruckartigen Bewegungen von seiten des Sandes werden dadurch hervorgerufen, daß das Gewicht des Sandkolbens größer ist als der Druck der randlichen Körner gegen den Zylinder, also als die Reibung desselben gegen die Glaswände. (Gleitwiderstand vgl. TERZAGHI 1925.)

Streicht man diese mit sandhaltigem Gips aus, so wird die Reibung gegen die Wände so groß, daß der Waagedruck bei nicht zu großem Zylinderdurchmesser annähernd, bei kleinem Durchmesser fast 0 wird.

Es ist der Druck des Sandes auf einen Körper (Bodendruck) innerhalb des Sandes im letzteren Falle  $= 0$ , der Druck zwischen den Sandkörnern, also die Spannung im Sand hingegen groß. [Bei sehr großem Querschnitt nähert sich jedoch der Druck auf die Unterlage dem hydrostatischen Druck (vgl. die Berechnungen TERZAGHI'S, a. a. O. im Kapitel „Der Druck des Bodens gegen die nachgiebige Verkleidung von Hohlräumen“ S. 203 ff.)]

Der Belastungsdruck ist gleich dem hydrostatischen Druck.

### b) Sand und Fossilien.

Die in der Natur vorkommenden gesetzten trockenen Sande können wir uns in eine große Anzahl von Sandprismen zerlegt vorstellen, welche gegen die Sandflächen der Nachbarprismen stoßen. Über einer nicht allzu großen Schale nähert sich im Verlauf der Sedimentation der auf ihr lastende Bodendruck dem 0-Wert. Ist hingegen der Querschnitt einer hohlen Schale sehr groß, so kann die (innere) Reibung eines Sandkomplexes über der Schale oder die Reibung gegen den angrenzenden seitlich befindlichen Sand (durch das Gewicht dieser über der Schale lagernden Sandsäule) überwunden werden unter Bildung von Gleitflächen, wenn die Schale nicht den genügenden Widerstand aufbringt. Einklappige Muschelschalen können jedoch im gesetzten trockenen Sand nicht deformiert werden, ebensowenig wie zweiklappige Schalen mit Sandinhalt, es sei denn, daß der Sand im Innern der Schale weniger gesetzt ist als der umgebende Sand. Doch könnte aus den genannten Gründen eventuell ein großer leerer Ammonit deformiert werden. Allgemein sind Deformationen dann zu erwarten, wenn Spannungsänderungen auftreten, was in nicht völlig gesetztem Sand möglich ist. Es kann dies auch durch nachträglich kapillar eindringendes Wasser hervorgerufen werden.

Was für trockenen Sand gesagt wurde, gilt erst recht für angefeuchteten oder den normal unter leicht bewegtem Wasser abgesetzten Sand.

Enthält der Sand sehr viel Wasser (Schwemmsand und ähnliches), so gelten ähnliche Bedingungen wie bei einer Flüssigkeit. Deshalb kann eine mit Sand gefüllte Schale (sie ist wohl stets mit Sand gefüllt) in solchem Sand nicht deformiert werden, ebensowenig wie in einer Flüssigkeit. Geht nachträglich (durch irgendwelche Umstände)  $\pm$  Wasser aus dem Sand verloren, so könnte beim Setzen eine Deformation eintreten, vorausgesetzt, daß der Druck des Sandes dazu hinreicht. Ob subaquatische

Rutschungen (hier wäre der Sand noch beweglich) Deformationen hervorrufen können, erscheint mir fraglich, schon aus dem Grunde, weil die Mächtigkeit eines solchen Sandes, also der Druck, zu gering ist. Allerdings wären Verschiebungen einer Klappe gegen die andere nicht ausgeschlossen, vorausgesetzt, daß das Ligament so weit verwest ist, daß es der Schalenverschiebung nicht mehr den nötigen Widerstand entgegenzusetzen vermag.

Anders ist es, wenn trockener Sand nachträglich durchfeuchtet wird. Die Kapillarkraft, durch welche die Flüssigkeit in den Sand eingesogen wird (Kapillarwirkung), ist so groß, daß der Ansatz zu einer neuen Körnerregelung u. U. eingeleitet wird. Bei diesem Prozeß können Spannungsdifferenzen an den Stellen Sand/Schale entstehen und so diese zum Zerbersten (aber nicht zum Verdrücken) bringen.

Sind die Sandkörnchen einmal durch irgendeine Substanz verkittet (Kieselsäure, Kalk usw.), so besteht überhaupt keine Aussicht mehr, daß eine Schale deformiert wird, weil Setzungsbewegungen oder hydrostatischer Druck in Wegfall kommen. Die Widerstandsfähigkeit des Sandsteines oder Quarzites ist so groß, daß selbst bei Einwirkung von Tangentialdruck eine Deformation der Fossilien nicht zu erfolgen braucht.

In der Regel werden also irgendwelche Schalen in trockenem oder nassem Sand und im Sandstein nicht deformiert durch den Sedimenteigendruck.

Schalenlose Tiere, etwa Fische, welche rasch in Sand sedimentiert werden, können auch nicht in gesetztem Sand deformiert werden, wiederum vorausgesetzt, daß der Querschnitt nicht zu groß ist. Eine kleine Qualle kann man in Sand einbetten, ohne daß Deformation eintritt. Sinkt die Qualle jedoch bei der Verwesung ein, so rieseln Sandkörnchen (im trockenen Sand) nach, wodurch das ursprüngliche Festigkeitssystem des Sandes gestört wird und dieser an Gleitflächen nachrückt. Dies ist jedoch bei nicht allzu großem Querschnitt des Fossils dann nicht zu befürchten, wenn der Sand — wie dies in der Natur stets der Fall ist —  $\pm$  feucht ist, wodurch ein Abrieseln von Sandkörnern in den Verwesungshohlraum nur sehr langsam vor sich geht, ein Nachstürzen des über demselben befindlichen Sandes wegen der durch die Anwesenheit der Feuchtigkeit bedingten Adhäsion verhindert wird.

Ganz ähnliche Betrachtungen gelten für Pflanzen, etwa Baumstämme, Calamiten, Equiseten usw. Sie werden in Sanden rein körperlich erhalten, bzw. ihre Steinkerne, wobei ich an den von mir (KLÄHN 1928) beschriebenen Fund einer Bananenfrucht im Blättersandstein von Münzenberg i. d. Wetterau erinnere. Equiseten, Calamiten werden bei

der Bewegung im Wasser (nach dem Absterben) mit Sand  $\pm$  ausgefüllt und werden schon deswegen in Sandsteinen nicht wesentlich deformiert aufgefunden. Eine geringe Volumreduktion kann jedoch dadurch hervorgerufen werden, daß die abgestorbene Pflanze vor der Sedimentation etwas in sich zusammensinkt.

Es sei hinzugefügt, daß Beimengungen von organischer Substanz oder von Ton ganz andere Verhältnisse gegenüber den Fossilien hervorgerufen können, und da sind Deformationen leichter möglich.

Der Belastungsdruck, welcher etwa von einer Kalkbank auf den gesetzten Sand ausgeübt wird, erhöht den Druck zwischen den Sandkörnern, also auch die Gewölbespannung über einer Schale, vergrößert aber den Druck auf die Schale nicht, weil er durch das Gewölbe über der Schale aufgefangen wird, so daß ein Fossil auch in diesem Falle nicht deformiert wird. Sollte allerdings der Hangenddruck so groß sein, daß die Druckfestigkeitsgrenze der Sandkörner überwunden wird, so könnte die Schale beschädigt werden. Doch sind mir derartige Fälle unbekannt. Hierbei sehe ich von solchen Fossilien ab, welche an der Grenze Sand/Liegend- oder Hangendbank liegen. Hier ist Deformation möglich. Liegt überhaupt ein Wechsel von Sand und andersartigem Material vor, so kann eine Deformation an allen in den allerobersten Körnerlagen befindlichen oder aus dem Sand herausschauenden Fossilien bzw. an Teilen derselben eintreten. Es würde dies etwa bei einer mit dem Rücken nach unten liegenden Schale einer Muschel an der Grenze Sand (Liegend)/Ton (Hangend) eintreten, wobei die Ränder umgelegt werden. Beim fortschreitenden Verfestigungsprozeß des Tones verhält sich dieser wie die obere Platte einer Presse, während die Sandpartie die untere Platte derselben darstellt.

### c) Geröllagen und Fossilien.

Wir wollen dieses Kapitel nicht beschließen, ohne der Druckverhältnisse zu gedenken, welche in Geröllablagerungen bestehen. Solche können wir als sehr grobkörnige Sande ansehen. Auch hier wirkt über einem Fossileinschluß das Geröll wie ein Gewölbe, wie dies bei Sanden der Fall ist, doch ist die Packung viel unregelmäßiger, namentlich, wenn die Zwischenräume der Gerölle nicht mit Sand ausgefüllt sind. Herr TERZAGHI schreibt hierzu, daß die unregelmäßigen Setzungen in Geröllagen hauptsächlich dadurch zustande kommen, „daß unter der Wirkung des Eigengewichtes Ecken und Kanten von Gesteinsstücken

abbrechen, wodurch örtliche Umlagerungen eintreten. Je mürber die Gesteine, desto ausgiebiger diese Umlagerungen“. Deformationen von Fossilien innerhalb solcher Geröllagen sind eigentlich das Normale, weil ein nachträgliches Setzen leicht eintritt. Jedem Paläontologen ist bekannt, daß Skelettstücke, namentlich große, in der Regel deformiert sind, was, allerdings seltener, für die sehr harten Zähne zutrifft.

## II. Der Druck in plastischen Sedimenten und seine Einwirkung auf die Fossilien.

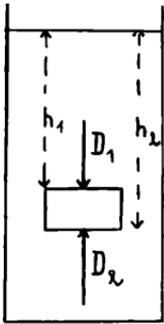
### a) Das plastische Material.

Geht die Teilchengröße der Sande auf 1 mm herunter, so fallen sie bereits in das Gebiet der Suspensionen (Teilchengröße 1 mm —  $0,1 \mu$ ) und sind bei Körnchengröße 0,001—0,005 mm als feinere Suspensionen zu bezeichnen (ZSIGMONDY 1922). Dies leitet zu den Kolloiden (Teilchengröße  $< 0,1 \mu$ ) über, zu welchen die Tone gerechnet werden, welche als hydrophile Kolloide reversibler Natur nach den Ausführungen von ZSIGMONDY zu bezeichnen wären. Die Auffassungen über die wesentlichen Eigenschaften solcher Tone sind verschieden, je nach dem Standpunkt des betreffenden Autors. P. EHRENBURG (EHRENBURG 1922) nennt den Ton ein „Gemisch feiner bis feinsten Sande mit geringen Mengen von Kolloiden“, — „in dem von etwas größerem Sand, der noch etwa in geringeren Mengen vorhanden ist, bis zu den feinsten Sanden, und wieder von ihnen bis zum feinst verteilten Kolloidton wahrscheinlich zumeist annähernd stetige Übergänge der Größe nach vorhanden sind“. Vom rein mineralogischen Gesichtspunkt gibt NOLL (NOLL 1930) folgende Definition: „Die Tone sind Gesteine. Ihre charakteristischen Gemengteile sind Kaolin und Allophan bzw. die Allophanoide, welcher Name sich für den oben definierten Kolloidanteil eingebürgert hat. Quarz, Feldspat usw. sind lediglich Akzessorien.“

Außer den Tonen kommen für unsere Betrachtungen alle subaquatischen plastischen Sedimente, also auch kalkige Pelite und Sappropelite, in Betracht. Für alle läßt sich die für die folgenden Ausführungen wichtige und von ATTERBERG (ATTERBERG 1912) aufgestellte Einteilung der Konsistenzformen anwenden, welche auch bei TERZAGHI (TERZAGHI 1925) angeführt ist:

Hauptkonsistenzform	Konsistenzform	Konsistenzgrenzen	
Feste	Härtere feste	} Schrumpfgrenze	
	Losere		} Ausroll- od. unt. Plastizitätsgrenze
Plastische	Zähe Unterform	} Klebegrenze	
	Klebende Unterform		} Fließ- od. obere Plastizitätsgrenze
Flüssige	Zähflüssig	} Grenze d. Dickflüssigkeit	
	Dickflüssige		} Grenze d. Dünnflüssigkeit
	Dünnflüssige		

Da für das Verständnis der Druckverhältnisse in pelitischen Materialien die Aufnahmefähigkeit von Wasser und die Menge des tatsächlich im System Ton — Wasser vorhandenen Wassers von Wichtigkeit ist, soll das Wasser, dessen Viskosität klein ist, an die Spitze gestellt werden. Es werden also zunächst die Druckverhältnisse im (flüssigen) Wasser besprochen.



Figur 1.

Ein in Wasser eingetauchter Körper (Fig. 1) ist von oben, unten und von den Seiten dem Einfluß von Drucken ausgesetzt, wobei uns aber nur der Druck von oben  $D_1$  und unten  $D_2$  interessiert.

Von oben wirkt der hydrostatische Druck  $D_1$

$$D_1 = q \cdot h_1 \cdot \text{sp. G.}, \quad (2)$$

von unten der Aufdruck  $D_2$

$$D_2 = q \cdot h_2 \cdot \text{sp. G.} \quad (3)$$

Es wirkt also der Gesamtdruck  $D$ , welchem der Körper von oben und unten ausgesetzt ist, pressend, wobei

$$D = f(h_1; h_2) \quad (4)$$

ist. Bei einem Öltropfen müßte mithin eine Kompression erfolgen, bei einer mit Wasser gefüllten Schale eines Ammoniten u. dgl. jedoch nicht.

Bei einer Flüssigkeit mit höherem Dichte- und Viskositätsgrad, als er dem Wasser zukommt, würde sich prinzipiell nichts ändern, und als eine solche können wir einen mit Wasser stark durchtränkten Schlamm am Boden eines Gewässers betrachten. Der Unterschied gegenüber dem Wasser besteht bei einem solchen Körper darin, daß die innere Reibung und das spez. G. größer als beim Wasser sind.

Die Formeln (2) bis (4) gelten aber auch hier. Ein Öltropfen würde etwas stärker zusammengedrückt werden als im obigen Fall, wobei sich die Flüssigkeitsmengen entsprechen sollen. Schalen von Tieren, im Innern mit Wasser oder Schlamm ausgefüllt, können im wasserdurchtränkten Schlamm ebensowenig wie im Wasser deformiert werden, weil der äußere Druck und der Druck im Inneren der Schale gleich groß sind. Es ist hier etwas anderes als bei dem Beispiel mit dem Öltropfen, weil die Schale im Inneren dasselbe Material enthält, welches außen vorhanden ist.

Dies gilt allgemein für die Sedimenteigendruckverhältnisse im Schlamm beliebiger Plastizität. Der Wert der Drucke bleibt natürlich nicht derselbe, weil die Dichte im vollkommen sedimentierten Schlamm größer ist als im Wasser oder im stark wasserdurchtränkten Schlamm, dessen Teilchen noch nicht vollkommen sedimentiert sind.

Es wird also ein Gegenstand sowohl im Wasser als in sonstigen Sedimenten von flüssiger und plastischer Konsistenzform Druckeinflüssen ausgesetzt sein, wobei sich der Druck nach der Dichte des betreffenden Materials richtet, welche ja in der Richtung flüssig-plastisch zunimmt. Ein Öltropfen, welchen wir uns innerhalb der ursprünglichen Tonsuspension denken, erleidet eine bestimmte Kompression, welche sich bei Zunahme der Dichte vergrößert.

Wenn sich der dünnflüssige, also eben fertig sedimentierte Ton verdichten soll, so ist dafür ein Vorgang von Wichtigkeit, den man als „Setzen“ bezeichnet. Er ist für das Verständnis der Deformationsvorgänge, welchen tierische oder pflanzliche Reste innerhalb tonigen Materials ausgesetzt sind, von großer Bedeutung und soll auf ihn eingegangen werden.

Unter Setzen verstehen wir denjenigen Vorgang, bei welchem vollkommen sedimentiertes Material durch irgendeinen Einfluß eine Volumreduktion erfährt. Druckbedingtes Setzen führt zur Schieferung bei horizontaler Lagerung der Schichten und zur Ausprägung von Schichtfugen.

Beim Setzen eines Sedimentes verändern Einzelteile unter Verdrängung eines Zwischenmittels — Wasser, Luft — ihren ursprünglichen Platz und streben einer möglichst dichten Lagerung zu. Der Vorgang kann unter dem Einfluß eines aktiven Faktors, etwa bewegten Wassers, vor sich gehen — aktives Setzen — oder aber ohne einen solchen — passives Setzen.

Zur Erläuterung des zuletzt Gesagten sollen zwei Beispiele herangezogen werden. Das eine bezieht sich auf sandiges Sediment, welches, soweit es sich um subaquatischen Sand handelt, unter  $\pm$  bewegtem

Wasser abgesetzt wird. Das andere Beispiel betrifft ein unter ruhigem Wasser niedersinkendes Tonsediment.

Wenn reiner, unter besonderen Umständen locker sedimentierter Sand von bewegtem Wasser außerhalb des engeren Strandgebietes hin- und hergeschüttelt wird, so suchen die Körnchen eine möglichst dichte Packung zu erlangen. Es nimmt dann der Sand unter aktiver Mitwirkung des Wassers ein kleineres Volumen als vorher ein, was dadurch bedingt ist, daß die Körnerlagerung etwa aus der kubischen in eine tetraedrische übergeht. Den Vorgang vermag man ebenfalls durch Schütteln eines mit Sand und Wasser gefüllten Gefäßes hervorzurufen, ebenso wie das entsprechende Setzen auch bei Sand mit Luft als Zwischenmittel erreicht werden kann. Die Differenz

$$V_1 - V_2 = S_{(a)} \quad (5)$$

gibt das Setzungsmaß wieder, wobei  $V_1$  das ursprüngliche,  $V_2$  das neu erworbene Volumen und  $S$  die Setzung vorstellt.  $V_1 - V_2$ , in % ausgedrückt ( $V_1 = 100$ ), ist der Setzungskoeffizient.  $S_{(a)}$  bedeutet, daß das Setzen durch äußere Einflüsse, nämlich durch aktive Betätigung des bewegten Wassers erzeugt wird.

Ist Sand unter bewegtem Wasser fertig sedimentiert, so nehmen die Körner nach Rückzug des bewegenden Wassers keine andere Lagerung mehr ein, weil eine aktive Bewegung fehlt, wobei Voraussetzung ist, daß sie vom Wasser genügend durchgerüttelt wurden. Ein Setzen findet aber nicht statt, wenn man von „Trieb sand“ absieht, welcher bekanntlich vom Wasser stark durchtränkt ist, was zur Folge hat, daß die Teilchen von einer idealen Körnerlagerung noch weit entfernt sind.

Anders ist es beim unter ruhigen Verhältnissen abgesetzten Sediment, etwa Ton mit irgendeinem entweichbaren Zwischenmittel. Entweicht Wasser oder wird organische Substanz vergast, so nähern sich die Tonteilchen einander und es findet ebenfalls eine Volumreduktion statt, aber nicht unter dem aktiven Zugreifen irgendeines bewegenden Mediums, wie ein solches die Wasserbewegung beim Sand-Beispiel ist, sondern allein durch das Entweichen eines Zwischenmittels. Es ist dann

$$V_1 - V_2 = S_{(p)} \quad (6)$$

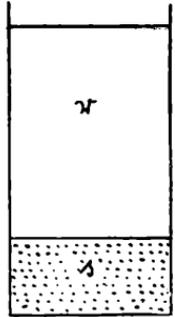
wobei (p) die relative Passivität des Vorganges andeuten soll.

Nachdem wir uns nunmehr an Hand zweier Beispiele über den Unterschied von aktivem (bei bewegtem Sand) und passivem Setzen (unter ruhigen Verhältnissen gesetzte Schlamm-sedimente) klar geworden sind, soll untersucht werden, durch welche Umstände der Gesamtvorgang des passiven Setzens bedingt wird, und zwar speziell bei Tonen u. dgl.

Das Setzen in Tonen findet, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, durch Austritt des Wassers statt, wobei auch bei bituminösen Tonen die Abnahme organischer Substanzen herangezogen wird, was für das Verständnis der Setzung von Material, welches zur Entstehung von Kohlen führt, bekanntlich unerlässlich ist. Man drückt sich dabei recht allgemein aus, spricht auch von „Setzungsdruck“, ist sich aber in geologischen Kreisen meist über den Ablauf des Setzungsvorganges und die Rolle, welche das Wasser dabei spielt, nicht im klaren.

An dem folgenden Beispiel soll klargemacht werden, unter welchen Umständen ein Wasseraustritt aus pelitischen Sedimenten erfolgen kann.

Stellen wir uns eine Wassersäule *w* (Fig. 2) über einem wasserdurchtränkten Schlamm *s* mit in Schwebegehaltenen Tonteilchen vor, welcher also noch nicht vollständig sedimentiert ist (wobei die Grenze *w* gegen *s* nicht ganz scharf ist), so übt *w* an der Grenzregion auf den Schlamm den hydrostatischen Druck aus. Da aber das Wasser *w* in den wässrigen Schlamm ohne Grenze übergeht, so kann das erstere nicht das letztere ausquetschen.



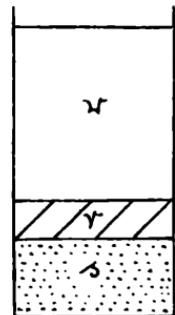
Figur 2.

Sinken nun die Schlammteilchen als Sediment nieder, so ändert sich unter dem Einfluß der Schwerkraft und Kohäsion die Dichte des Schlammes, indem nun mehr Schlammteilchen in  $\text{cm}^3$  vorhanden sind als vorher. Hiermit ist Verdrängung des Wassers durch das Sediment *s* verbunden, d. h. das Sediment setzt sich unter Wasserverdrängung. (Berechnung der Verdichtung bei TERZAGHI [1925] S. 170 ff.)

Es sei nun angenommen, daß sich über dem sedimentierten Schlamm eine feste Schicht *r*, etwa eine Kalkbank unter dem Wasser *w* bilde (Fig. 3). Nun ist der auf *s* wirkende Druck

$$D_s = D_{\text{hyd } (r)} + D_{\text{hyd } (w)} \quad (7)$$

Die feste Schicht wirkt wie ein Stempel in einem Zylinder (da auf seiten von *r* alles abgedichtet ist) und könnte, eine gewisse Porosität vorausgesetzt, von *s* Wasser durch Belastungsdruck nach *w* gepreßt werden, so daß also Setzung in *s* eintreten kann. Ist jedoch *r* nicht porös, so könnte keine Setzung stattfinden, es kommt mithin eine solche nicht allein durch Belastungsdruck zustande.



Figur 3.

Das Wasser w denken wir uns nun weg. Es bleibt dann nur der Druck  $D_r$  von seiten r auf s zurück. Es vermag Wasser aus s in r wie in ein Löschblatt kapillar einzudringen, wenn das Innere von r wasserfrei ist, und nachdem sich der Wassergehalt der Unterlage von r dem Belastungsdruck angeglichen hat. Vorher spielt r lediglich die Rolle einer Filterschicht. (Briefl. Mitt. von Prof. TERZAGHI.) Ist die Verdunstung groß, so wird der Wasserverlust von r, also auch von s gefördert.

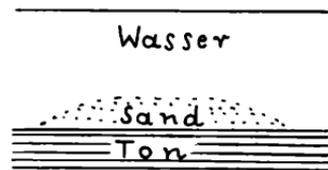
Selbstverständlich wird das Ausquetschen erst recht dadurch ermöglicht, daß eine Austrittsmöglichkeit für das im plastischen Material vorhandene Wasser zu seiten von s geschaffen wird (vgl. auch das Kapitel „Der Kapillardruck“ bei TERZAGHI [1925] S. 95).

Wenn über dem Tonsediment keine feste Bank (natürlich auch kein Wasser) ruht, findet ein ähnlicher Prozeß statt, als wenn r vorhanden wäre. Es trocknet zuerst die oberste Partie des Tones etwas ein, nimmt dementsprechend Wasser von unten auf, Setzen, Nachrücken der oberen Partien findet statt usf.<sup>2</sup>

Nachdem wir uns nun das Prinzipielle des Vorganges vor Augen geführt haben, welcher zum Wasserverlust in plastischen Sedimenten führen kann, soll untersucht werden, inwieweit die Erwägungen für die Natur Gültigkeit haben können.

Wir wollen 3 Zustände herausgreifen: 1. über dem plastischen Material befindet sich noch das Wasserbecken, in welchem das erstere abgesetzt wurde; 2. das Wasser fehlt, aber eine Zertalung innerhalb der Sedimente hat noch nicht stattgefunden; 3. eine Heraushebung und eine damit in Zusammenhang stehende Zertalung ist eingetreten.

ad 1. Solange das Wasserbecken über dem einheitlichen plastischen Material lagert, kann nach den obigen Darlegungen eine Verdrängung von Wasser aus dem Sediment schon beginnen. — Sollte sich eine Bank, etwa Sand über Ton, ablagern (Fig. 4), so übt der Sand einen der Dicke des Sandkomplexes entsprechenden Belastungsdruck aus; es wird Wasser aus dem plastischen Sediment ausgequetscht und zwar in den Sand hinein, also nach oben, aber auch zu



Figur 4.

<sup>2</sup> Nach TERZAGHI (TERZAGHI 1925) steigt das Wasser in tonreichen Böden mit nichtkrumiger Oberfläche bis an diese. Die relative Verdunstungsgeschwindigkeit bleibt bis zur Plastizitätsgrenze etwa konstant, doch nimmt sie nach Überschreiten derselben ab. TERZAGHI „führt diese Erscheinung auf die bei der Plastizitätsgrenze merkbar werdende molekulare Bindung des Wassers zurück —“.

seiten des Sandes, nämlich dorthin, wo keine Sanddecke vorhanden ist (Fig. 4). (Vgl. die Versuche TERZAGHI'S [1925] zur Feststellung der Beziehungen zwischen Druck und Wassergehalt von Tonen.)

ad 2. Befindet sich kein Wasser mehr über dem plastischen Sediment, auch keine sandige oder sonstige Belastungsbank, so müßte durch den Druck der oberen Tonpartie, kapillares Aufsteigen des Wassers und entsprechende Verdunstung (in der oberen Partie) Wasserverlust eintreten, aber erst recht durch Belastungsdruck. In humidem Klima geht dieser Prozeß natürlich langsamer als in aridem vor sich.

ad 3. Ist das Gebiet der plastischen Sedimente so weit herausgehoben, daß eine Zertalung eintritt, so ist zum seitlichen Austritt des Wassers und mithin zur Setzung weitere Gelegenheit vorhanden. Auch hier muß arides Klima der Setzung günstiger als humides gegenüberstehen. (Vgl. den Einfluß der meteorologischen Verhältnisse auf die Verdunstung der Böden bei RAMANN 1911 [1920] und TERZAGHI 1925.)

Es ist also ein mannigfaltiger Komplex von Erscheinungen, welcher für das Entweichen von Wasser und für die Setzung in der Natur verantwortlich zu machen ist.

Nun ist aber die Setzung, welche sich innerhalb von Peliten und Sapropeliten abspielt, nicht nur an das Entweichen von Wasser, sondern an dasjenige von organischer Substanz gebunden. Und dieser Prozeß spielt gerade in der ersten Sedimentationsphase, wenn also das Sediment als dünnflüssiger Schlamm unter Wasser abgesetzt ist, eine große Rolle beim Setzen.

Der genannte Entgasungsprozeß wird auch noch in der 2. Phase von Bedeutung sein, während er in der 3. Phase zurücktritt. Was im vorhergehenden über den Einfluß des Druckes auf den Wasserverlust gesagt wurde, kann auch für die durch Vergasung bedingte Setzung gelten, allerdings in etwas modifiziertem Sinne. Die Einwirkung des Druckes besteht darin, daß zunächst aus den organischen Stoffen Wasser ausgequetscht wird, daß aber ferner unter Druckdestillation eine Volumreduktion dieser Stoffe hervorgerufen wird.

#### b) Plastisches Material und die Fossilien.

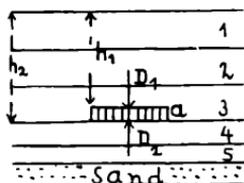
Solange sich Schalen von abgestorbenen Muscheln, Ammoniten usw. im Wasser befinden, kann eine Deformation nicht stattfinden, weil das Wasser im Inneren der Schalen mit demjenigen außerhalb derselben in Verbindung steht und so Druckdifferenzen nicht vorhanden sind.

Auch wenn der Ton sich in der flüssigen oder plastischen Konsistenzform befindet, kann eine mit solchem Sediment gefüllte Schale nicht

deformiert werden. Das wäre höchstens bei einer leeren Schale, etwa bei derjenigen eines Ammoniten, möglich, dessen Siphon an der Wohnkammer-scheidewand verstopft ist.

Anders wird es, wenn sich plastisches Material der festen Konsistenzform nähert, aber doch noch ein gewisser Grad von Plastizität vorhanden ist. Es ist die Phase, in welcher sich der Ton einem Gestein nähert, wo es geschiefert wird, wo Schicht- bzw. Schieferungsfugen herausgebildet werden.

Bei den Setzungsvorgängen, welche sich auf vorgerückte Stadien beziehen, treten außer Gleitbewegungen auch Festigkeitsdifferenzierungen auf, welche die im plastischen Sediment befindlichen Fossilien beeinflussen. Gleitungen rufen nur Zerreibungen hervor, Verdrückungen entstehen auf anderem Wege, was nun zu besprechen ist.



Figur 5.

Bei Zunahme der Setzung geht die Plastizität immer mehr zurück, das Sediment erhärtet nach und nach. Härtedifferenzierungen, welche für die Deformation mit Verdrückungserscheinungen von Fossilien von Bedeutung sind, treten auf folgende Weise ein.

Nehmen wir einen hohlen Körper a (Fig. 5), etwa ein leeres Ammonitengehäuse inmitten des Sapropels an, fernerhin einen gesetzten Sandkomplex s im Liegenden des plastischen Materials. Die einzelnen Lagen 1—5 haben zu einer bestimmten Zeit einen verschiedenen Setzungskoeffizienten, welche wir als  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  bezeichnen. Hierbei ist der Setzungskoeffizient der älteren Lage größer als derjenige der jüngeren, denn die Wasserverlust- und Vergasungszeit ist bei der ersteren länger als bei der letzteren. Also:

$$S_5 > S_4 > S_3 > S_2 > S_1$$

Es nähert sich mithin 4—5 mehr dem Zustand einer festen Bank als 1—3.

Zu beiden Seiten des Körperquerschnitts a geht die Setzung und Erhärtung des plastischen Materials normal weiter, doch verdichtet es sich in dem Teil über a der Höhe von a entsprechend rascher als das benachbarte Sediment wegen der über a entstehenden Stauungen. Das hat nun zur Folge, daß sich a zwischen dem an sich schon harten Komplex 4—5 und dem stark erhärteten Ausschnitt über a befindet. Über und unter dem Ammoniten a ist das Sediment im Gegensatz zu den seitlichen Partien aus dem Zustand der Plastizität heraus und verhält sich wie Platte und Gegenplatte einer Presse.

Es findet nun mit Zunahme der Setzung eine immer stärkere Pressung auf die obere und untere Seite des Fossils statt. Es ist also etwas ganz anderes als bei Sand und Fossil; hier bildet sich zwar durch Gewölbespannung eine ähnliche harte Säule heraus wie im vorliegenden Fall durch Setzung und Druck, doch ist beim Sand die über dem Fossil befindliche Partie mit dem benachbarten Sand vollständig versteift, während die Partie über dem Fossil bei plastischen Sedimenten noch beweglich ist.

Die Zerbrechung ist zu erwarten, wenn 1. die Erhärtung über und unter dem Fossil größer als die Gewölbespannung des letzteren ist, wenn sich 2. die erhärteten Partien auf eine Strecke genähert haben, welche etwa ebenso groß ist wie  $h_2 - h_1$ , also wie die Höhe des Fossils. Es findet dann Zerdrückung statt.

Dabei muß, wenn seitliche Ausdehnungsmöglichkeit nicht vorhanden ist, Überschiebung der Einzelstücke der gewölbten Schale eintreten und die zerdrückte Schale stellt die Projektion der intakten Schale insofern dar, als der Durchmesser bei beiden derselbe ist.

Innerhalb des Tones, welcher sich in einer Schale befindet, müssen sich auch stellenweise drehende Bewegungen abgespielt haben, wofür ein *Harpoceras lythense falcatum* Qu. aus dem Lias  $\epsilon$  von Boll (Taf. I, Abb. 1. Nat.-Sammlg. Stuttgart) angeführt sei. Das Stück stellt im großen und ganzen die Projektion der Schale dar, wenn man von den 2 Stellen links unten absieht. Sprünge und Risse haben sich auch auf dem Steinkern abgebildet. Besonders wichtig sind nun die Verschiebungen einiger Teile, welche speziell auf der linken Bildhälfte zu sehen sind. Sie sprechen für die angedeuteten Drehbewegungen im plastischen Sediment<sup>3</sup>.

Ist seitliche Ausdehnungsmöglichkeit vorhanden, so ist der Durchmesser der zerdrückten Schale größer als derjenige des ganzen Fossils.

Wenn nun die Schale (eines Ammoniten) mit plastischem Sediment ausgefüllt ist, so ist für die Deformationsvorgänge die Dichte des Sedimentes innerhalb des Fossils gegenüber derjenigen über dem Fossil von Wichtigkeit. Es wird diese Dichte etwa derjenigen zu beiden Seiten entsprechen, indem der Fossilinhalt mit dem äußeren Sediment im Ausgleich stehen dürfte; die Dichte über (und auch unter) der Schale muß jedoch größer als die Dichte auf den Seiten sein, was aus den obigen Darstellungen hervorgeht. Es muß mithin auch im vorliegenden Falle ein Zerbrechen der Schale

<sup>3</sup> Hierzu schreibt mir Prof. TERZAGHI: „Die Drehbewegungen können dadurch zustande kommen, daß die Schale entweder nur teilweise gefüllt oder mit Materialien verschiedener Zusammenrückbarkeit gefüllt war.“

eintreten. Ob aber eine Verdrückung im weiteren Sinne herauskommt, richtet sich danach, ob der Druck auf die Schale genügt, den Sedimentinhalt nach der Seite zu pressen.

Auf die beiden Arten entstehen die bekannten Druckdeformationen, wobei auf die Abbildungen Taf. I, Abb. 2 und Textfig. 6 hingewiesen sei, ferner auf deren Erklärungen.

Seitliche Gleitungen sind nur bei sedimentgefüllten Schalen oder Schalenhälften möglich (Textfig. 7).

Es sei darauf hingewiesen, daß auch der Fall vorkommen kann, daß eine Ammonitenschale inmitten der Schiefer ganz körperlich erhalten



Figur 6.

*Lioceras opalinum* REIN. Weiße Originalschale mit vielen Deformationsrissen. Total verdrückt. Projektion der Schale. Nat. Größe. Dogger  $\alpha$  (Opalinuston). Dürrwangen (Württemberg). KLÄHN n. d. Nat. gez. Württemb. Nat.-Sammlung Stuttgart (FRAAS 1855).



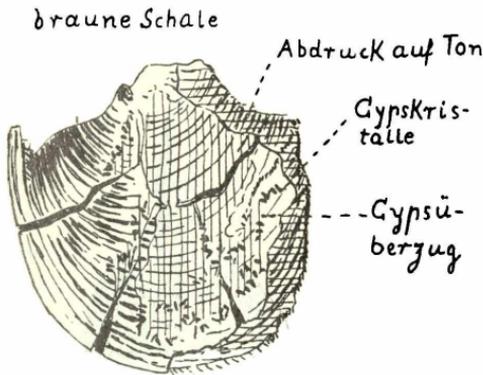
Figur 7.

*Inoceramus dubius* SOW. Steinkern mit braunen Schalenresten. Etwas komprimiert. Gleitungen. Nat. Gr. Lias  $\epsilon$  (Posidonienschiefer). Aubachtal bei Aselfingen (Baden). KLÄHN n. d. Nat. gez. Privatbesitz.

ist. So sah ich in der Tübinger Sammlung einen *Dactylioceras commune* SOW. aus dem Lias  $\epsilon$  von Ohmden, der (mit einem Hauch einer Schale versehen) überhaupt keine Sprünge aufweist und ganz körperlich erhalten ist. Hier muß wohl eine frühzeitige Erhärtung des Schaleninnern eingetreten sein.

Oft erfolgt Auflösung der Schale und Ersatzbildung findet statt. Die Unterscheidung ist oft recht schwer zu treffen, was am Fossil Primär- und Sekundärschale ist. Geht jedoch das Schalenmaterial über die Sprünge herüber, verklebt also dieselben, so ist es wohl sicher

Ersatz. Handelt es sich um etwas anderes als Calciumcarbonat, so ist man auch nicht im Zweifel. So liegt mir ein *Inoceramus* aus dem Lias  $\epsilon$  des Aubachs (Baden) (Textfig. 8) vor, dessen Originalschale etwas



Figur 8.

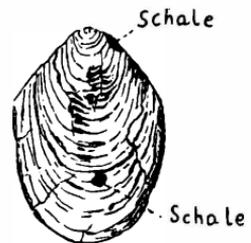
*Inoceramus dubius* Sow. — Etwas komprimiert, Schaleninneres. Vertikal schraffiert: Gypsüberzug auf bzw. neben der Schale. Wirre kleine Striche: Gypskristalle. Gleitungssprünge werden von dem Gypsüberzug verheilt.

von Eisenhydroxyd infiltriert (braust aber stark mit HCl) und z. T. durch Gips ersetzt ist. Derselbe zieht stellenweise über die Schale hinüber und auch über die Deformationssprünge, was so viel bedeutet, daß der Ersatz nach der Deformation erfolgte. Sonst ist ja der Fall nicht selten, daß die Schalenauflösung frühzeitig erfolgt, wie dies KUMM und QUENSTEDT ausgeführt haben. Sollte sich die Ersatzschale dann ebenfalls noch vor der Verdrückung bilden, so müßte auch diese

zerbrochen sein. Dies ist vielleicht bei der Abbildung auf Taf. I, Abb. 2 der Fall, wenn die glasige graue Schale tatsächlich den Ersatz vorstellt.

Für Anlösung spricht auch der folgende Fall. In den Posidonienschiefern schlägt man aus den muschlig brechenden Partien nicht selten Stücke von *Inoceramus dubius* heraus, welche über der Schalenwölbung einen Tonüberzug haben, so daß unter demselben die Schale bei Lädierungen herauschaut (Textfig. 8 a). Das kann nur so erklärt werden, daß durch Schalenanlösung etwas Kalk in den über der Schale gelegenen Ton wanderte und denselben fest verkittete. Da die Sprünge auch noch den Tonüberzug betroffen haben, so wäre daraus zu schließen, daß die Deformation noch nach der Anlösung der Schale und Verfestigung des Tonüberzuges weiterging.

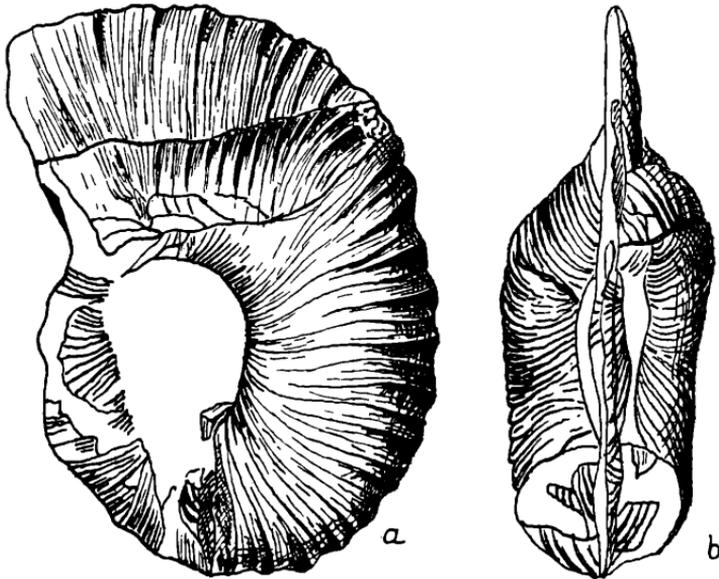
Ungleichmäßige Deformation stellt sich dann ein, wenn von der Schale etwas Kalk in Lösung geht (bedingt durch die im Inneren der Schale sich abspielenden



Figur 8 a.

*Inoceramus dubius* Sow. Tonüberzug auf brauner Schale, welche an zwei Stellen durchschaut. Nat. Gr. Lias  $\epsilon$  (Posidonienschiefer). Aubachtal bei Aselfingen (Baden). KLÄHN n. d. Nat. gez. Privatbesitz.

Fäulnisprozesse und die dadurch entstehenden organischen Säuren) und Kalk (oder Brauneisen) wieder an einigen Stellen im Innern des Fossils ausgeschieden sind, wodurch die Tonpartikel verfestigt werden. Hierbei treten außer Verdrückungen der Schalen über den nicht erhärteten Inhalt  $\pm$  starke Gleitungen auf (Textfigur 9).



Figur 9.

*Lytoceras torulosum* SCHÜBL. — Weiße Originalschale (?) teilweise verdrückt, der rechte Teil der Figur a ist vollkommen intakt. Starke Verschiebungen am verdrückten Teil. Nat. Größe. Dogger  $\alpha$  (*Opalinus-Ton, Torulosum-Zone*). Heiningen (Württemberg). KLÄHN n. d. Nat. gez. Württemb. Nat.-Sammlung Stuttgart.

Diese ungleichmäßige, durch verschiedenen Widerstand im Innern der Schale bedingte und nachträglich erworbene Erhärtung ist an sich schon bei solchen Fossilien dadurch gegeben, daß von vornherein Festigkeitsdifferenzen der Schale vorliegen. Hierfür sind die Belemniten innerhalb schiefrigen Materials bekannte Beispiele, deren Alveole bei genügendem Druck stets, das Rostrum hingegen nie verdrückt ist (Textfig. 10).

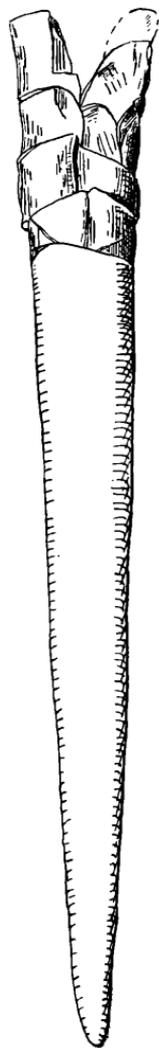
Die erstere zeigt Überschiebungen und Stitenausdehnung. Im Gegensatz hierzu sind die Belemniten aus dem Eisensandstein des Dogger  $\beta$  von Wasseralfingen, welche mir Herr Dr. BERCKHEMER-Stuttgart zur Ansicht übersandte, nicht verdrückt. Hier zeigt sich deutlich der Unterschied der Druckverhältnisse im sandigen Sediment (mit rasch

erhärteten Ooiden) gegenüber plastischen Sedimenten. Man wird einwenden, daß vielleicht die Sedimentdecke über dem Dogger  $\beta$  geringer ist als über dem Lias. Demgegenüber sei nur gesagt, daß mir Exemplare von *Belemnites giganteus* aus dem Dogger  $\delta$  von Bopfingen (Württemberg) vorliegen, bei welchen nicht nur die Alveole von ca. 5 auf 1,5 cm verdrückt ist, sondern auch das Rostrum ist vom Druck betroffen worden, indem sich der charakteristische Längssprung, welcher auch auf Textfig. 10 zu sehen ist, bis zur Spitze fortsetzt.

Die Belemniten, welche Schiefen eingelagert sind, erlauben unter Berücksichtigung des Durchmessers, wonach sich der Druck pro  $\text{cm}^2$  berechnet, einen Schluß auf die relative Größe des Druckes im Sediment. Er liegt zwischen demjenigen, welcher die Alveole verdrückte, und demjenigen, welcher das Rostrum nicht verdrückte. Die Alveole des Belemniten aus den Posidonienschiefern ist immer, die der *Belemnitella mucronata* aus dem Senon von Rügen oder Lagersdorf nie oder selten (?) verdrückt, während die Seeigelschalen häufig Deformationserscheinungen aufweisen. — Die Krinoidenstielglieder, auch diejenigen der Posidonienschiefer, sind nie verdrückt, denn erstens sind sie wie die Röstren massiv, zweitens aber zu schmal, um größere Drucke auffangen zu können.

Alle Deformationen werden dadurch verhindert, daß das Sediment frühzeitig erhärtet, worauf bereits DEECKE (DEECKE 1923) hinweist. So findet man in den Kalklagen des Posidonienschiefers vollkommen undeformierte Schalen, während sie im liegenden und hangenden Ton  $\pm$  stark deformiert sind. ABEL (ABEL 1912) weist ebenfalls darauf hin, daß Deformationen in Schiefen am häufigsten sind, am seltensten in Kalksteinen.

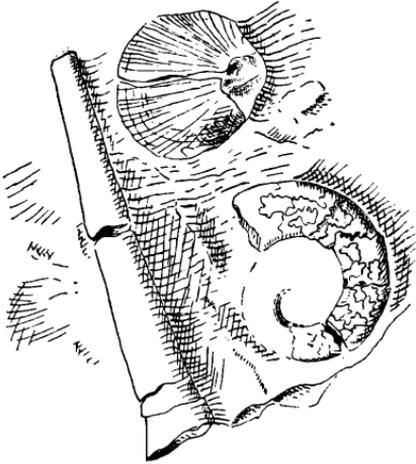
Liegen Fossilien, etwa Belemniten auf Unebenheiten von Kalkknollen, deren Fossilien im Innern vollkommen körperlich sind, so werden sie durch den im umgebenden Ton herrschenden



Figur 10.

*Belemnites acuaris*  
*gigas* QU. = *Bel. Ravi*  
WERNER. Alveole  
stark gepreßt, Rostrum nicht.  $\frac{2}{3}$ d. nat.  
Gr. Lias  $\epsilon$  (Posidonienschiefer). Holzmaden. KLÄHN n. d. Nat. gez. Württ. Nat.-Sammlung Stuttgart.

Druck sehr stark deformiert (DEECKE 1923, KUMM 1927). Belemniten werden wie Holzstäbe durchgeknickt (nicht verdrückt!) (Textfig. 11).



Figur 11.

Steinkerne von *Lytoceras jurense*, *Pecten* sp.; *Belemnites* auf einer Kalkknolle. Charakteristisch ist das Zerschneiden der Fossilien. Knollengröße  $18 \times 15 \times 8$  cm. *Jurensis*-Schichten. Achdorf (Baden).

KLÄHN n. d. Nat. gez. Privatbesitz.

Besondere Gefahren liegen für die Fossilien dort vor, wo Unterbrechung oder Wechsel der Sedimentation stattfand, also an Schichtfugen. Liegt z. B. ein Arietenkalk mit Gryphäen, deren große Klappe mit dem Rücken nach oben aus dem Sediment herauschaut, unter einer anderen Kalkbank, welche von der hangenden durch eine mit tonigem Sediment ausgefüllte Schichtfuge getrennt ist, so zerbrechen die dickschaligen Gryphäen eines Gryphitenpflasters, aber ohne Verdrückung beim Setzen des tonigen Zwischenlagers (Taf. II). Es lastet da der ganze Hangendruck auf den Schalen. Die Zerschneidung muß verhältnismäßig jung sein, jedenfalls jünger als die Erhärtung des hangenden Kalkes.

Bezüglich einklappiger Schalen, welche etwa im Posidonien-schiefer die Hauptrolle spielen (KLÄHN 1929), wäre zu sagen, daß sie oft fast nur Gleitdeformationen durchgemacht haben (Textfig. 7, 8). Vollkommen plattgedrückt, wie dies bei Ammoniten vorkommen kann (was aber längst nicht so häufig ist, wie angenommen wird, meist nur auf ausgesprochenen Schichtflächen), sind sie eigentlich nur auf Schieferungsflächen, deren obere und untere Sedimentlage bei der Erhärtung wie eine Presse wirkte.

Die Höhe der Schale spielt nach den theoretischen Ausführungen (Fig. 5) eine große Rolle insofern, als flache Schalen weniger zur Deformation neigen als höhergewölbte. So sind die Schalen von *Posidonomya Bronni* aus den Lias- $\epsilon$ -Schiefern meist intakt, während diejenigen des gewölbteren *Inoceramus dubius* aus denselben Schichten deformiert sind.

Wollen wir nun Mindestzahlen für den zur Verdrückung von Invertebraten nötigen Druck herausrechnen, so müssen verdrückte

Schalen herangezogen werden, über welchen möglichst wenig Sediment lagert. In den Steinheimer sarmatischen Süßwassersedimenten (KLÄHN 1928) finden sich in der Regel die Schnecken in unverdrücktem Zustand, was mit der sandartigen Konstitution der Kalk-, „Sande“ zusammenhängt. Aber in den *Oxystoma*-Schichten kommt eine sehr feinkörnige plattige Kalkbank vor, in welcher die Schalen des *Gyraulus oxystoma* plattgedrückt sind. Über dieser Bank, welche aus einer langsam erhärtenden Kalkgyttja entstanden ist, ruhen fast 20 m Kalke, Kieselsinter und Dolomite, welche heute an der betreffenden Stelle z. T. abgetragen sind. Es sind:

unten: Kalkgyttja mit dolomitischen Lagen.	ca. 9 m
Kieselsinter	4
Dolomitische Kalke	„ 4 „
	<hr/> ca. 17 m

In der unteren Lage der Kalk- (*oxystoma*-) Gyttja tritt die Kalkbank mit verdrückten Schalen des *Planorbis (Gyraulus) oxystoma* auf.

Ich habe absichtlich ziemlich hohe Mächtigkeitswerte gewählt. Der Opal der Kieselsinter hat ein sp. G. = 2,63, die Kalkdolomite erreichen ein sp. G. = 2,83 und die Kalke besitzen ein solches von 2,7. Da es sich selten um ein reines Material handelt, nehmen wir am besten einen Mittelwert = 2,72. Für 17 m Gestein erhalten wir dann:

$$\text{B. D.} = 4,59 \text{ kg/cm}^2.$$

Nehmen wir für die Schalenbreite durchschnittlich 4 mm (Dm) an, so hat die Schalenoberfläche den Inhalt von  $12,56 \text{ mm}^2 = 0,126 \text{ cm}^2$ . Auf ihr lastete also vor Festwerdung der betreffenden Schicht, welche später in eine Kalkplatte verwandelt wurde, ein

$$\text{B. D.} = 0,578 \text{ kg} (= 4,6 \text{ kg/cm}^2).$$

Hierzu ist noch zu bemerken, daß in dem „Klebsand“ (= ziemlich grobkörniger reicher Kalksapropel, in welchen die harte Bank eingeschaltet ist) die entsprechenden Schalen nicht verdrückt sind. Offenbar hängt dies mit der mehr „sandigen“ Konstitution der „Klebsande“ gegenüber demjenigen Sediment zusammen, aus welchem die Kalkbank mit den verquetschten Planorben gebildet wurde. Wie in echten Sanden wirkte sich in den „Klebsanden“ die Gewölbespannung über den Planorben aus, während sich das zur Bildung der Kalkbank führende Material von toniger Struktur nach Art der Tone stark setzte. Die Verfestigung muß ziemlich spät, auf jeden Fall nach der Deformation der Schalen von *Gyraulus oxystoma* erfolgt sein.

Für die Dauer des Verdrückungsprozesses und somit für die Dauer der Umwandlung des Sedimentes in schiefriges Gestein gibt es Anhaltspunkte. Bei Schlewecke, unweit Harzburg, steht in etwas überkippter Lagerung Lias  $\epsilon$  an. Die in den Schiefen enthaltenen Fossilien sind wie in den süddeutschen Posidonienschiefen zusammengedrückt, aber nicht verzerrt, wie das bei der immerhin ziemlich starken Umlegung der Schichten nicht ausgeschlossen wäre.

Da nun die „Verdrückung“ (nicht mit „Verzerrung“ zu verwechseln) nicht durch Faltungskräfte, sondern nur in  $\pm$  horizontaler Lagerung der Schichten in dem wie oben dargelegten Sinne erfolgen kann, so muß sich die Verdrückung der Fossilien von Schlewecke, also auch die Schieferung der Posidonienschiefer, daselbst abgespielt haben zwischen dem Lias  $\epsilon$  und der Zeit, in welcher die Faltung eintrat. Wir haben da die Wahl zwischen der kimmerischen und subhercynen Phase STILLE's, d. h. wir können den Abschluß der fraglichen Vorgänge zwischen Oxford und Kreide oder vor den Emscher bzw. vor das Senon verlegen. Um dies zu entscheiden, müßte man genau wissen, wie weit die Aufrichtung der Schiefer bei Schlewecke während dieser oder jener Phase vorgeschritten war. Hiernach richtet es sich nämlich, ob und wie weit der bei horizontaler Lagerung in voller Stärke auf die Fossilien in der Hauptsache vertikal wirkende Druck noch in dieser Richtung von Einfluß war, was jedoch schon über den Rahmen der Arbeit hinausgeht.

Was nun die Druckfiguren anbelangt, so reißen die Alveolen der Belemniten wie Zementröhren ein, d. h. es bildet sich vor allem ein Längssprung mit seitlich davon abgehenden Sekundärsprüngen. — Seeigel sind empfindlich an den Nähten der einzelnen Täfelchen und an den Nähten, welche die Ambulacral- von den Interambulacralfeldern trennen. — Muscheln vom Typus *Inoceramus* oder *Mytilus* zeigen meist den vom Wirbel ausgehenden Längssprung, daneben auch Radialsprünge. Ammoniten, welche ganz platt gedrückt sind, besitzen stets konzentrische Hauptsprünge, welche von Radialsprüngen gekreuzt werden. Ist nur ein Teil der Schale gepreßt, so verlaufen die Sprünge dementsprechend anders (Textfig. 6) usw.

Was nun die übrigen Fossilien anbelangt, welche also keine Schale besitzen, so wären hier in erster Linie die Vertebraten zu nennen. Wie ich bereits früher (KLÄHN 1929) ausführte, werden die Leichen nicht nur durch den eigentlichen Sedimentationsdruck im plastischen Sediment beeinflußt. Es wäre allerdings hier die Kompression des Öltropfens (S. 58) in Parallele zu setzen, vorausgesetzt, daß die in Verwesung befindlichen Fleischteile einen geringeren Gegendruck

ausüben, als dem Druck von seiten des plastischen Sediments entspricht. Das ist bei fortschreitender Fäulnis sicher der Fall. Es sinkt dann die Leiche zusammen, was sie aber auch ohne den Sedimentdruck täte, so daß dieser das Sekundäre bei der Deformation ist.

Bei der Setzung sinkt nun das Skelett der Setzung und Abnahme der Plastizität des Sedimentes entsprechend ein.

Werden die Skeletteile selbst auch deformiert?

Vor allem sind die Skelettreste mancher Wirbeltierexemplare der schwäbischen Posidonienschiefer stark zusammengedrückt. WEPFER (WEPFER 1926) erwähnt einen 40 cm langen Schädel eines Ichthyosauriers, welcher nur 145 g wiegt und ganz platt ist. Der genannte Autor möchte dies mit Auslaugung der Knochensubstanz ohne Bruchdeformation in Zusammenhang bringen, doch ist wohl kaum festzustellen, ob die Auslaugung vor oder nach der Überführung des Fossils in den abgeplatteten Zustand eintrat. KUMM (KUMM 1927) meint bezüglich der verdrückten Ichthyosaurierwirbel, daß Auslaugung und Verdrückung ebenso frühzeitig erfolgte wie die Auflösung der Ceratiten-Schalen im Muschelkalksediment.

Ich glaube, daß allein mechanischer Druck ein Zusammenpressen hervorbringen kann, denn Knochen sind wegen der vielen Poren und Kanäle nicht so widerstandsfähig, als man glauben sollte, um so weniger, wenn vorher schon durch die organischen Substanzen Anätzungen stattgefunden hätten. Daß aber mechanischer Druck sehr stark beteiligt war, zeigt ein Schädel von *Mystriosaurus bollensis* von Holzmaden (Nat.-Sammlg. Stuttgart), welcher auf 6—7 mm zusammengedrückt ist und zahlreiche Risse und Spalten, vor allem in der Längsrichtung, besitzt. Auch hier darf man nicht an eine bruchlose Deformation denken.

Welche Erscheinungen sind nun auf das Einsacken, welche auf das Plattdrücken zurückzuführen? Zur Beantwortung dieser Frage studieren wir am besten die Fische des Lias  $\epsilon$ .

Wir gehen von den Fischen der in die Posidonienschiefer eingeschalteten Stinkkalke aus. Hier haben nur Einsackungen stattgefunden, Druckerscheinungen sind nicht feststellbar, und zwar deshalb, weil das Kalksediment, wie w. o. bereits erwähnt wurde, so rasch erhärtete, daß ein Druck nicht mehr wirken konnte. Die Fische in diesen Lagen sind körperlich erhalten, wenn man von Einsackungen absieht.

Sie sind an den Rändern nicht oder nur ganz unwesentlich verschoben, im letzteren Falle sind die Schuppen etwas gedreht, aber die Verschiebung geht selten so weit, daß die Rückenflossen oder die Afterflosse am Ansatz

am Körper Verschiebungen zeigen. Ferner sind die Schuppen an einzelnen Stellen etwas eingefallen, auch wenig überschoben. Sprünge und Risse an den Knochen und Schmelzschuppen fehlen bis auf ganz geringe Spuren.

Wesentlich anders sieht das Bild aus, welches die plattgedrückten Fische in den Schiefeln zeigen. Ein seitliches Ausweichen des Körpers findet auch hier nicht statt, worauf bereits HENNIG (HENNIG 1918) hinweist, wenn auch die Konturen an manchen Stellen etwas gestört sind, wie dies ebenfalls für die unverdrückten Stücke der Kalke gilt. Das geht aber noch auf Rechnung des Einsackens.

Weit stärker als bei den nur eingesackten Fischen treten bei den plattgedrückten die Überschiebungen und Störungszonen hervor. Unter diesen kann man Hauptstörungszonen von anderen Zonen unterscheiden. So beobachtet man an einem *Dapedius pholidotus* AG. aus den  $\varepsilon$ -Schiefeln von Holzmaden (Nat.-Samml. Stuttgart 4075), welcher 23,5 cm lang und 10 cm hoch ist, daß der Druck in der unteren Region des Tieres am stärksten war; hier sind die Schuppen überschoben z. T. gefältelt und geknickt; nach oben lassen die Druckerscheinungen nach.

Ein *Dapedius punctatus* AG. aus den  $\varepsilon$ -Schiefeln von Ohmden (Nat.-Samml. Stuttgart 4553) (Taf. III) zeigt in der Mitte des Körpers eine große Längsstörungszone mit Brüchen, Auspressungen, Überschiebungen, Knickungen der Schuppen. Bei einem *Dapedius pholidophorus* AG. (Nat.-Samml. Stuttgart. 1865) treten ähnliche Druckerscheinungen auf; besonders deutlich sind Überschiebungen und Spalten auf den Schuppen zu beobachten. Fernerhin sind die Knochen am Kopf gespalten.

Ganz typisch ist, daß aufrecht stehende Schuppen häufig geknickt, ja gefältelt, und daß die Knochenplatten des Schädels gespalten sind.

Es ist also der Erhaltungszustand der Fische in den Posidonien-schiefern die Folge einer Wirkungskombination von Einsacken und Zusammenpressen, ein wesentlicher Unterschied gegenüber den schalentragenden Fossilien.

Das Gesagte gilt auch für die Fische anderer Ablagerungen. So sind sie in den Knollen des Lias  $\varepsilon$  von Dobbartin in Mecklenburg körperlich, in den oligocänen Melettaschiefern Rheinhessens oder in den Kupferschiefern jedoch zusammengedrückt. Es ist der Erhaltungszustand wie bei den früher besprochenen Fossilien eine Funktion der Erhärtungsgeschwindigkeit des Sedimentes und seiner Reduktion in vertikaler Richtung.

Es bleiben nun die Pflanzen übrig, von denen ich jedoch nur die Stämme bzw. Stengel berücksichtige.

Für die ganz dünnplattigen Stämme des Lias  $\epsilon$ , welche mit Pentacrinen bewachsen sind, konnte ich wahrscheinlich machen (KLÄHN 1929), daß sie beim Fossilisieren ähnliche Prozesse erlebt haben wie die angeführten Fische. Zunächst mal haben sie sich nicht seitlich ausgedehnt, was aus den Lagebeziehungen zu den angewachsenen Crinoiden hervorgeht. Dies soll aber nicht heißen, daß es nicht Stämme im Posidonienschiefer gibt, welche wie ein zusammengepreßter Schlauch seitlich etwas auswichen. Es finden sich auch in den genannten Ablagerungen gagatisierte Holzreste, deren an sich runde Jahresringe elliptisch geschwungen sind. Diese müssen sich seitlich ausgedehnt haben, wenn wohl nicht allzuviel. Andere Hölzer von Holzmaden, an welchen man aber keine Jahresringe mehr sehen kann, haben eine gewellte gagatisierte Rinde, was auf seitlichen Widerstand von seiten des Sedimentes und damit in Zusammenhang stehende Pressung des Stammes hindeutet.

Bei den plattigen total gagatisierten Stammresten mit Inoceramen- und Pentacrinenbewuchs haben wie bei den Fischen Einsackungen, welche mit Fäulnisprozessen in Zusammenhang stehen, und Druck von seiten des Sedimentes zusammengewirkt (KLÄHN 1929).

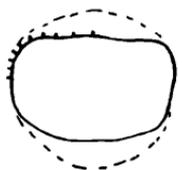
[Was die gagatisierten Stämme der Posidonienschiefer noch besonders interessant macht, ist das Auftreten von Baryt, welcher jedoch, wie ich nachwies, nicht mit tektonischen Klüften in Zusammenhang steht, denn in diesen tritt kein Baryt auf. Es ist vielmehr solcher, welcher von der im kolloidalen Zustand befindlichen organischen Masse aus dem Sediment adsorbiert (evtl. auch aus dem im Tonmaterial befindlichen Meerwasser) und später bei der Schrumpfung des Materials wieder ausgeschieden wurde; der Baryt wanderte dabei in die Schrumpfungsrisse. Diese Erscheinung ist nicht auf das  $\epsilon$  von Holzmaden beschränkt, sie tritt auch an anderen Orten, etwa im Wutachtal, auf.

Hieraus geht der große Wert dieser Fossilien für die Erkennung sedimentpetrogenetischer Vorgänge und für die Konstatierung von Bestandteilen hervor, welche in gewissen, wenn auch nur geringen Mengen im Meereswasser vorhanden waren.]

Gehen wir nun noch zu den röhrenartigen Gewächsen über, die nur als Prägekerne vorliegen. Calamiten aus den Steinkohlenzwischenlagern sind meist (oder immer?) mit tonigem oder sandigem bzw. tonig-sandigem Material ausgefüllt und neigen nach Art des Sedimentes zur Deformation. Im ersteren Falle (toniges Sediment) muß, falls die Erhärtung langsam ging, das Fossil platt, wenn sie aber dank der Ausscheidung mineralischer Lösungen rasch erfolgte, jedoch körperlich sein

und die Zusammendrückung ist gering. Sandfüllung verhindert eine wesentliche Verringerung des Durchmessers.

Ob bei diesen Typen ein seitliches Ausweichen beim Zusammenpressen wie bei einem Drahring stattfand oder nicht, wäre zu prüfen. Zwei Beispiele möchte ich anführen. Ein karbonisches Calamitenbruchstück unbekannter Herkunft ist mit feinkörnigem tonigen Sand ausgefüllt und hat einen größeren Durchmesser von 7 bzw. 7,5 und einen kleineren Durchmesser von 4,8 bzw. 4,2 cm, so daß also die eine (vordere oder hintere) Hälfte etwas mehr als die andere zusammengedrückt ist. Im Querschnitt zeigt sich, daß die eine Hälfte etwas flacher als die andere ist; über die erstere laufen einige flache Längsrinnen, welche durch seitlichen Widerstand entstanden sind. Bis auf eine wohl nachträglich gebildete Spalte sind keine mechanischen Deformationsbegleiterscheinungen zu sehen (Textfigur 12).



Figur 12.

Das tonig-sandige Sediment im Inneren läßt den Schluß zu, daß auch das Nebengestein tonig-sandiger Natur war, daß also ein seitliches Ausweichen in nennenswertem Maße nicht stattfinden konnte. Dafür spricht auch das Profil der Seitenwände, welche nicht geknickt, sondern, namentlich an dem einen Ende des Stückes, steilrundlich sind. Zählt man nun die Längsrippen auf der flacheren und gewölbteren Seite, ferner auf den Seiten, so findet man auf 1 cm

	seitlich	auf d. flacheren Seite	auf der gewölbteren Seite
am breiteren Ende	8	6	6
schmaleren „	8	6	6½
in der Mitte	8½	5½	6

Diese Tabelle zeigt, daß auf den Seitenflächen durchwegs mehr Längsrippen pro Zentimeter als auf der Ober- und Unterseite vorhanden sind. Hätte sich der ehemals kreisförmige Calamit, ohne einen seitlichen Widerstand im Sediment zu finden, wie ein Drahring in einen Körper mit elliptischem Querschnitt verwandelt, so müßte auf die oberen und seitlichen Flächen die gleiche Anzahl von Rippen auf 1 cm<sup>2</sup> kommen. Da aber auf den rundsteilwandigen Seiten die Rippendichte größer ist, so folgt daraus, daß der Calamit ohne seitliche Ausdehnung gepreßt wurde. Dabei verhält sich die Rippendichte an den Seiten zu derjenigen auf Ober- und Unterfläche im Durchschnitt

$$8,1 \quad 5,8 \text{ (bzw. } 6,1) = 1,4 \text{ (bzw. } 1,3) \text{ oder}$$

auf den Seiten ist die Rippendichte um 40% (bzw. 33%) größer. Dies wäre ein Maßstab für die Setzung des Sedimentes, welche aber einfacher berechnet werden kann. Da, wie oben gesagt, der Calamit nach den Seiten nicht ausgewichen ist, so ist der jetzige horizontale Durchmesser des Querschnittes = dem ursprünglichen Durchmesser des Calamiten im Zeitpunkt der Sedimentierung. Die Differenz horizontaler—vertikaler Durchmesser würde ungefähr dem Setzungskoeffizienten des Sedimentes entsprechen. Die Differenz beträgt

$$\begin{array}{r} \text{am schmalen Ende des Calamiten } 7 \quad -4,8 = 2,2 = 31\% \\ \text{breiteren} \quad \quad \quad \quad \quad \quad 7,5-4,2 = 3,3 = 44\% \end{array}$$

Diese Werte 31—44% entsprechen gut den obigen 33—40%, welche sich auf das Rippendichtenverhältnis beziehen.

Der Quotient horizontaler (= ursprünglich vertikaler Dm.): Vertikaldurchmesser ist

$$\begin{array}{r} 7 \quad 4,8 = 1,45 \text{ bzw.} \\ 7,5 \quad 4,2 = 1,78 \end{array}$$

Der Wert 1,45 stimmt mit dem obigen (die Rippendichte betreffend) überein (1,4), der zweite Wert 1,78 ist etwas größer.

Diese Zahlen basieren jedoch auf der Annahme, daß der Calamit bei der Sedimentierung kreisförmigen Querschnitt besaß. War er jedoch vorher schon etwas eingesunken (Verwesung), so werden die Zahlen, welche sich auf die Setzung beziehen, etwas kleiner. Im übrigen liegen die obigen Werte 1,45—1,78 innerhalb der Grenze, welche für Setzungen der Kohle in der Literatur angegeben werden (1,2—3), doch kommen auch bedeutendere Werte vor, wobei ich mich auf die von STUTZER (STUTZER 1923) angegebene Literatur stütze. Nach ASHLEY entspricht zum Beispiel 1 m Steinkohle 3,5 m Torf (Setzungsquotient =  $3,5 = 71\%$ ). Nach demselben Autor ist der Quotient unter bestimmten Druckverhältnissen sogar  $4-7 = 75-85\%$ . Nach ASHLEY beträgt durchschnittlich der Setzungsquotient  $9 \quad 3 = 3 (67\%)$ , wobei er an bituminöse Kohle (Pittsburgkohle) denkt. Weiterhin gibt er an, daß 30 cm Torf durch Verlust von Wasser und organischen flüchtigen Bestandteilen auf 1,1 cm reduziert werden kann, was einem Setzungskoeffizienten = 27 (96%) entspricht.

THIESSEN (THIESSEN 1920), welcher nicht zusammengepreßte und komprimierte Hölzer und deren Zellen miteinander verglich, kommt zu den Werten 2—40 (50—97%).

Höhere Zahlen als für die Setzung sandig-tonigen Materials, wie wir sie aus der Reduktion des oben erwähnten Calamiten herausrech-

neten, erhalten wir für toniges Sediment. Es handelt sich um einen zweiten Calamitenprägekern von Lugau. Er besitzt einen größeren Durchmesser von ca. 6 und einen kleineren von 0,7 bzw. 0,9 cm, ist also sehr stark abgeplattet. Das Material im Innern ist tonig, der periphere ursprüngliche Pflanzenteil total intakt. Auffallend ist nun, daß überhaupt fast keine Druckwirkung zu beobachten ist, denn die Zweigansatzstellen auf der oberen und unteren Fläche sind fast rund. Irgendwelche Zerreißen haben oben und unten nicht stattgefunden. Ich kann mir das nur so erklären, daß das plastische Tonsediment im Kern und darum herum sich gleichzeitig setzte, wobei keine Verschiebung desselben nach den Seiten stattzufinden brauchte. Es hat also der Kern die gleiche Setzung wie das übrige Sediment durchgemacht, in welches er ohne Grenzen übergang. Es ist mithin der zweite angeführte Fall die Fortsetzung des ersten (S. 76). Doch wird die Setzung bei vorwiegend sandigem<sup>4</sup> Material sehr bald unterbunden, während sie in tonigem Sediment weitergehen kann.

Für den vorliegenden Fall erhält man einen Setzungsquotienten des Tones =  $6 \cdot 0,7 = 8,6$  bzw.  $6 \cdot 0,9 = 6,7$  oder prozentual 89 bzw. 85%. Es kommt mithin die Setzung des Tones den Höchstwerten der Kohlen nahe; ob allerdings der extreme Wert von 97% erreicht wird, kann ich, da mir nur beschränktes Material zur Verfügung steht, nicht entscheiden.

Nun hat man bei diesen Berechnungen immerhin zu überlegen, daß sich die %-Zahl mit der Größe des ursprünglichen Durchmessers ändert. Wir nehmen an, daß sich in einem Tonsediment verschieden große Calamiten oder Sigillarien befinden, welche alle auf 0,5 cm zusammengedrückt sind. Dann ergeben sich für die Setzungsquotienten folgende Werte, wobei Voraussetzung ist, daß seitliches Auswalzen nicht stattfand.

Durchmesser cm	heutige Höhe cm	Setzungsquotient
1	0,5	2 = 50 %
2	0,5	4 = 75 %
3	0,5	6 = 83,5
4	0,5	8 = 87,5 %
5	0,5	10 = 90 %
10	0,5	20 = 95 %
20	0,5	40 = 97,5 %
30	0,5	60 = 98,3 %
40	0,5	80 = 98,7 %
50	0,5	100 = 99,0 %

<sup>4</sup> Bei vollkommen sandigem Sediment ist die Setzung minimal.

Wenn man also die angegebene Methode zum Vergleich der Setzung verschiedener Sedimente heranziehen will, tut man gut, ungefähr gleich große Pflanzenteile zu untersuchen, wie dies oben geschah. Ferner wird man die Volumreduktion, in % ausgedrückt, am besten in Verhältniszahlen angeben und bei Übertragung auf Sedimente den Sand = 1 setzen.

### Zusammenfassung.

Es werden die Druckverhältnisse, welche in Sanden und pelitischen Sedimenten von Beginn des Absatzes bis zum fertigen Gestein auftreten, untersucht im Hinblick auf die eingeschlossenen Fossilien.

Es wird auf die Unterschiede hingewiesen, welche sich bei der Sedimentation und beim Setzen der Sande und Tone bezüglich der Drucke einstellen, daß mit diesen Unterschieden das verschiedene Verhalten der Fossilien gegen Deformation zusammenhängt. Es wird fernerhin auf Vorgänge aufmerksam gemacht, welche dem Setzen ähnlich sehen (Einsinken von Leichen, Pflanzenstengeln), aber nichts damit zu tun haben.

Manches bereits Bekannte mußte eingeflochten werden, was sich auf den Deformationszustand der Fossilien bezieht, doch kam es mir in erster Linie auf die Entwicklung der Vorgänge an, welche zur Deformation der Fossilien führen, weniger auf das deformierte oder fertig verdrückte Fossil selbst.

### Schrifttum <sup>5</sup>.

Nur die wichtigen Arbeiten sind angeführt. Ausführliche Literaturzusammenstellung bei Quenstedt 1928.

- Abel, O., Grundzüge d. Paläobiologie der Wirbeltiere. Stuttgart. 1912.  
 Ashley, G. H., The maximum rate of Deposition of Coal. Econ. Geol. II. 1907.  
 Atterberg, D. Konsistenz u. Bindigkeit d. Böden. Int. Mitt. Bod. II. 1912.  
 Born, A., Üb. zonare Gliederung im höheren Bereich der Regionalmetamorphose. Geol. Rundschau. XXI. 1930.  
 Deecke, W., Die Fossilisation. Berlin. 1923.  
 Ehrenberg, P., D. Bodenkolloide. Dresden u. Leipzig. 1922.  
 Hennig, E., *Ptycholepis bollensis* Ag. Jahresh. d. Ver. f. vatl. Nkde. LXXXIV. 1918.  
 Klähn, H., D. Mastodonten d. Sarmatikum von Steinheim a. Alb. Palaeontogr. Suppl. Bd. VIII. 1931.  
 — Süßwasserkalkmagnesiagesteine und Kalkmagnesiäsüßwässer. Chemie d. Erde. III. 1928.  
 — Mit tierischem Besatz bewachsene Holzreste aus d. schwäbischen Posidonienmeer. Jahresh. d. Ver. d. vatl. Nkde. CXXXV. 1929.

<sup>5</sup> Die seit Einsendung des Ms. (Sept. 1931) erschienene Literatur wurde nicht berücksichtigt.

- Klähn, H., Üb. d. ersten Fund einer fossilen Bananenfrucht u. ihre Fossilisation. Not.-Bl. d. Ver. f. Erdk. u. d. hess. geol. L.A. V. Folge, Heft XI. 1928.
- Untersuchgg. üb. Sedimentierung u. Sedimentdruck d. Sandes. N. J. f. Min. etc. Abt. B. B.-Bd. LXV. 1931.
- Kumm, A., Diagenetische und metagenetische Verändergg. an Ceratiten. Jahresh. d. niedersächs. geol. Ver. XX. 1927.
- Noll, W., D. Sorption d. Kaliums in tonigen Sedimenten usw. Chemie d. Erde. VI. 1930.
- Quenstedt, W., Üb. Erhaltungszustände von Muscheln und ihre Entstehung. Paläontogr. LXXI. 1928.
- Ramann, E., Bodenkunde. Berlin. 1911 (1920).
- Stutzer, O., Kohle. Berlin. 1923.
- Terzaghi, K., Erdbaumechanik auf bodenphysikal. Grundlage. Leipzig u. Wien. 1925.
- Thiessen, R., Structure in palaeozoic. bituminous Coals. Bureau of Mines. Bull. 117. 1920.
- Wepfer, E., D. Auslaugungsdiagenese, ihre Einwirkg. auf Gestein u. Fossilinhalt. N. J. f. Min. etc. B.-Bd. LIV. 1926.
- Zsigmondy, R., Kolloidchemie. Leipzig. 1922.

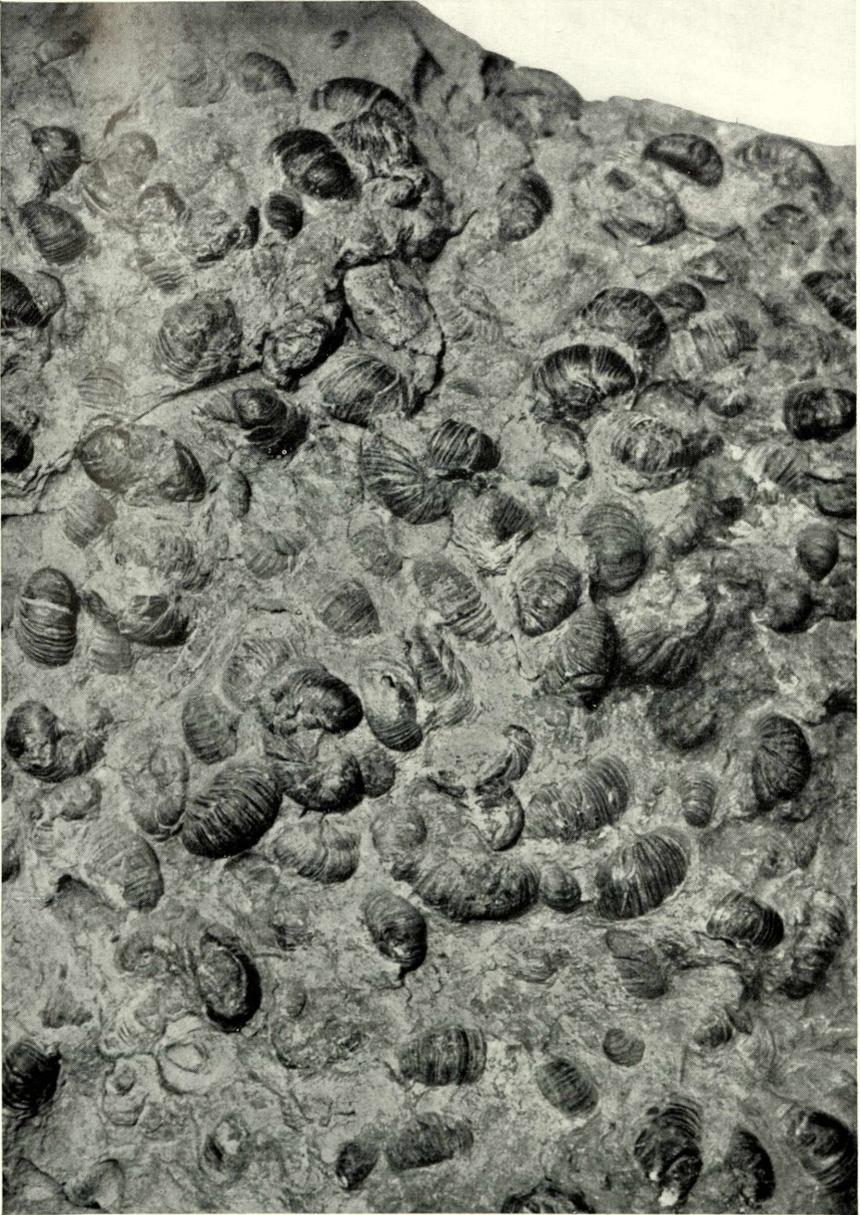


Taf. I, Fig. 2. Schiefer mit *Harpoceras lythense lineatum* Qu. Total verdrückt. Projektion der ursprünglichen Schale auf die Schieferebene. Sprünge, Risse und Verschiebungen. Sehr dünne Ersatzschale (?) (glasig, grau). Größter Durchmesser: 17,5 cm. Lias ε (Posidonienschiefer). Boll (Württemberg). Phot. v. D. TRAPPEN. — Württ. Nat.-Sammlung Stuttgart. Coll. D. GEYER. S. 66, 67.



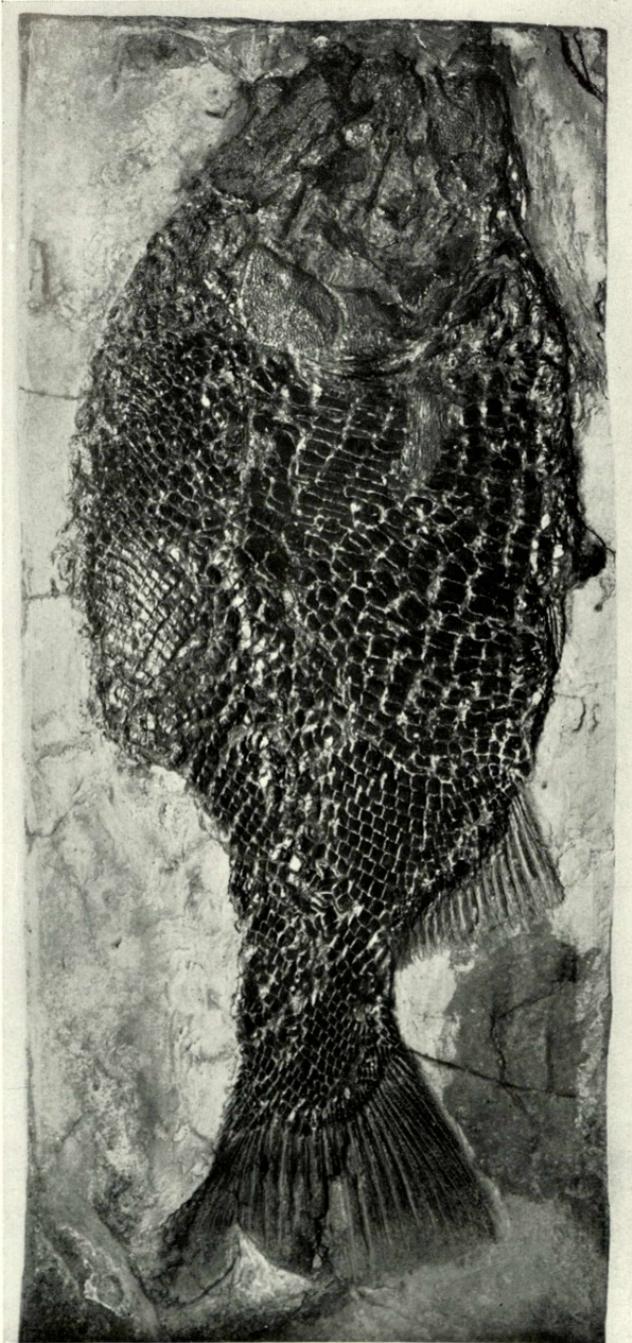
Taf. I, Fig. 1. Schiefer mit einem Steinkern von *Harpoceras lythense falcatum* Qu. Total verdrückt. Einzelne Schalentelle sind beim Verdrücken gedreht worden. Auf dem Steinkern haben sich die Deformationssprünge abgeprägt. Größter Durchmesser: 20,5 cm. Lias ε (Posidonienschiefer). Boll (Württemberg). Phot. v. D. TRAPPEN. Württ. Nat.-Sammlung Stuttgart. S. 65.





Taf. II. Schwarzer Kalk mit Gryphitenpflaster auf der Schichtfläche. Die Schalen von *Gryphaea arcuata* sind stark zerrissen, aber nicht verdrückt. Lias *a* Arietenschichten. Unterböbingen (Württ.). Phot. v. D. TRAPPEN — Württemb. Nat.-Sammlung Stuttgart. S. 70.





Taf. III. *Dapedius punctatus* Ag. im Schiefer. Stark eingefallen und gedrückt. Schuppen gespalten, geknickt, überschoben. Größte Länge: 41 cm. Lias  $\epsilon$  (Posidonienschiefer). Ohmden (Württemberg). Phot. v. D. TRAPPEN-Stuttgart — Württemberg. Nat.-Sammlung Stuttgart. Coll. v. MANDELSLOH (1864). S. 74.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1932

Band/Volume: [88](#)

Autor(en)/Author(s): Klähn Hans

Artikel/Article: [Sedimentdruck und seine Beziehung zum Fossil 52-80](#)