

JAN 28 1901

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.



1900. Heft I.

München.

Verlag der k. Akademie.

1900.

In Commission der D. Franzischen Verlags- u. Buchh.

Ueber eigenthümliche Deformationen jurassischer Ammoniten durch Drucksuturen und deren Beziehungen zu den Stylolithen.

Von A. Rothpletz.

(Eingelaufen 28. Februar.)

Für die hier in Betracht kommenden Druckerscheinungen habe ich 1886¹⁾ den Namen „Drucksuturen“ gewählt. Unregelmässig verlaufende, unebene, zackige Flächen durchsetzen die Kalksteine, besonders häufig in stark aufgerichteten oder gefalteten Ablagerungen. Sie unterscheiden sich leicht von den Gangspalten, die niemals solche Auszackungen haben, während die Drucksuturen keine Ausfüllung durch Gangminerale besitzen. Nur ein dünner, je nach der Farbe der Gesteine gelblicher, bräunlicher, rother oder schwarzer Thonbelag trennt die rauen und mit ihren spitzen Vorsprüngen zahnartig ineinandergreifenden Seitenflächen.

Die Gangspalten sind aus Zerreißungen des Kalksteines entstanden. Wo diese Zerreißungen ein im Kalkstein eingeschlossenes Gerölle oder Petrefact mitbetroffen haben, findet man die zwei Theile derselben zu beiden Seiten der Spalte und wenn man dieselben wieder zusammenfügt, so erhält man das Object in seiner ursprünglichen Vollständigkeit. Wo hingegen ein solcher Körper von einer Drucksutur angeschnitten ist, da sucht man vergebens auf der anderen Seite der Sutur

¹⁾ Monographie der Vilser Alpen in Palaeontographica, Bd. 33, S. 68, Taf. XV, Fig. 11—16.

nach seiner ergänzenden Hälfte oder es findet sich davon nur noch ein kleiner Bruchtheil.

Der Gebirgsdruck hat auf der Suturefläche eine Auflösung des Kalksteines bewirkt, von der auch die eingeschlossenen Kalkgerölle und Petrefacten mitbetroffen worden sind. Nur die unlöslicheren Bestandtheile wie Thon, Eisen etc. sind zurückgeblieben und liegen als farbiger Besteg auf der Fläche. Das Wasser, wie es in den Gesteinen stets vorhanden ist, besitzt die Fähigkeit kohlensauren Kalk aufzulösen, besonders wenn es Kohlensäure enthält. Der Druck, welcher bei Gesteinsaufrichtungen eine enorm grosse Stärke erlangt, erhöht die Lösungsfähigkeit des Wassers und bedingt dadurch, dass auf allen Stellen im Gestein, zu denen das Wasser Zugang hat, Kalk in Lösung geht. Als solche Stellen kommen in erster Linie Druckrisse, Absonderungsklüfte und Schichtflächen in Betracht.

Der Betrag der Auflösung richtet sich aber nicht allein nach der Stärke des Druckes, der Menge und chemischen Beschaffenheit des Wassers und der Geschwindigkeit der Wasserbewegung, sondern auch nach der Löslichkeit des Kalksteines. Dieser kann selbst im gleichen Gestein sehr verschieden sein je nach der Grösse der Kalkkrystalle, deren chemischen Zusammensetzung und der Beimengung anderer Mineralien. Die Erfahrung lehrt, dass auch da, wo der Druck auf eine ursprünglich glatte Trennungsfläche gewirkt hat, dieselbe uneben wird, indem die Kalkkörner zu beiden Seiten nicht gleichmässig und gleich rasch aufgelöst werden. So entstehen die Rauheiten und Vorsprünge, die in ihrer Mannigfaltigkeit oft erst unter dem Mikroskope genau erkannt werden können.

Die Breite der Kalkzone, welche auf diese Weise zwischen zwei Druckflächen aufgelöst worden und jetzt verschwunden ist, lässt sich in vielen Fällen bestimmen. Wo zwei Kalkgerölle sich ineinander gebohrt haben, gibt die Tiefe der dadurch erzeugten Eindrücke auf den Geröllen das Ausmass dafür an. Wo grössere Petrefacten von Drucksuturen angefressen sind, lässt sich durch deren fehlende Theile wenigstens ein Minimal-

betrug für die Auflösungszone berechnen, der zuweilen auf mehrere Centimeter ansteigt.

Zieht man die Häufigkeit der Drucksuturen in Betracht, so ergibt sich, dass durch sie in stark aufgerichtetem Kalkgebirge ungeheure Massen der ursprünglichen Kalksedimente in Lösung gegangen sein müssen. Sie mögen zum Theil mit den Quellwassern den Meeren oder anderen Gebieten zugeführt worden sein, aber ein guter Theil derselben ist im Gebirge selbst zurückgeblieben, nur auf anderer Lagerstätte, indem er sich als Calcit auf den stets vorhandenen Gangspalten oder in sonstigen Hohlräumen wieder ausschied.

Den bis 1886¹⁾ von mir beschriebenen Fällen habe ich 1894²⁾ und 1899³⁾ weitere hinzugefügt, welche zeigen wie Foraminiferen, Belemniten und Ammoniten von den Drucksuturen angefressen erscheinen und dadurch äusserliche Deformationen erleiden.

Der Fall hingegen, den ich in diesem Aufsätze beschreiben will, gehört zu mehr innerlicher Deformation. Oppel hat 1866 bei Ruhpolding, südlich von Traunstein, aus rothem jurassischem Kalk einen Ammoniten erhalten, der sich gegenwärtig in der paläontologischen Staatssammlung befindet. Soweit er von der Gesteinshülle befreit ist, trägt er die äussere Form eines Ammoniten deutlich zur Schau und an einigen Stellen des letzten Umganges kann man die Lobenlinien noch theilweise erkennen. Merkwürdiger Weise erscheint der Ammonit jedoch wie seitlich zusammengedrückt und zwar so, als ob der normal eingerollte letzte Umgang an einer Stelle einen Knick erhalten hätte.

Bei flüchtiger Betrachtung könnte man vermuthen, dass es sich um eine einfache Streckung handle, wie sie so häufig in thonigen Gesteinen anzutreffen ist, in denen die Ammoniten-Ausfüllungen dann in einer Richtung in die Länge gezogen sind, während die Schale selbst entweder zertrümmert oder

1) Siehe auch Zeitschrift der Deutsch. Geol. Ges. 1880, S. 191.

2) Geolog. Querschnitt durch die Ostalpen. S. 212—217, Fig. 96—98.

3) Die Entstehung der Alpen, im Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt.

aufgelöst ist. Hier indessen liegt die Sache anders. Zwar fehlt die äussere Schale, aber die inneren Scheidewände sind theilweise noch vorhanden und die äussere Form zeigt keine Streckung nach einer bestimmten Richtung. Zu beiden Seiten des grössten Durchmessers beschreiben die Hälften des Umganges einen Bogen, der die jenem Durchmesser entsprechende Krümmung besitzt, so dass man eine Deformation überhaupt gar nicht vermuthen könnte, wenn beide Hälften isolirt wären. So aber stossen beide Bogenabschnitte auf der Ebene des grössten Durchmessers unter einem stumpfen Winkel zusammen, wie die Bögen zweier Abschnitte eines Kreises, die nach Entfernung des Kreis-Mittelstückes direct aneinander geschoben worden sind.

Berechnet man den Durchmesser des ganzen Gehäuses, welches diesen zwei Ammoniten-Hälften entsprechend ihrer Rundung bei normaler Ausbildung zukommen würde, so erhält man eine Länge von $10\frac{1}{2}$ cm, wo er jetzt nur $8\frac{1}{2}$ cm misst. Es macht so den Eindruck, als ob von dem ursprünglichen Ammoniten ein 2 cm breites Mittelstück verschwunden sei, und da sich in der That in dieser Richtung einige Drucksuturen hinziehen, so erschien es mir längst schon äusserst wahrscheinlich, dass dieselben eine Auflösung dieser fehlenden Mittelzone bewirkt haben möchten. Um jedoch eine wohlbegründete Ueberzeugung zu erlangen, war es nothwendig den Ammoniten der Symmetrieebene nach zu durchschneiden. Hierbei war mir Herr Dr. Grünling erfolgreich behülflich, wofür ich ihm meinen Dank ausspreche.

Die eine der so erhaltenen Schnittflächen ist in nebenstehender Figur abgebildet auf Grund einer photographischen Aufnahme, in welcher nur die Drucksuturlinien durch Ueberszeichnung stärker hervorgehoben sind. Der Kalk, welcher das Ammoniten-Gehäuse ausfüllt, ist roth, aber von verschiedener heller bis dunkler Färbung. Die Kammern sind nur noch zum Theil erkennbar, nemlich im letzten Umgang und einem kleineren inneren Theil. Das letzte Drittel des Umganges gehört zur Wohnkammer, weiter zurück liegen die stark convexen



Medianer Längsschnitt durch einen Ammoniten von Ruhpolding in natürl. Grösse nach photograph. Aufnahme. Nur die Drucksuturen und Septen sind durch Ueberzeichnung etwas deutlicher gemacht.

Septen, von denen aber nur zwei noch ganz intact sind. Die anderen zeigen mehr oder minder scharf ausgeprägte kleine Zacken, wie sie bei den Drucksuturen vorkommen. Die Füllmasse der Kammern ist durch hellrothe Färbung ausgezeichnet, in den Partien aber, wo die Septen verschwunden sind, herrscht dunkelrothe Farbe vor, d. h. der Kalk ist dort thon- und eisenreicher. Zugleich wird er von zahlreichen Suturflächen durchsetzt, die sich verzweigen und bald enger bald weiter schaaren. Während in den hellrothen Partien diese Suturen auf die Septen beschränkt sind und darum auch weit auseinanderstehen, liegen sie in den dunklen Theilen dicht geschaart aber zunächst mehr oder weniger zur längeren Axe parallel. Sie stehen aber keineswegs alle vertikal zur abgebildeten Symmetrie-Ebene und viele schneiden dieselbe unter sehr spitzen Winkeln.

Die Erhaltung und Sichtbarkeit der Kammern steht im umgekehrten Verhältniss zur Häufigkeit der Suturen. Im äusseren Umgang gehen diese Druckerscheinungen fast nur von den Septen aus, von denen blos zwei ihre glatte Fläche noch nicht eingebüsst haben. Der Druck hat hier also hauptsächlich die von der Natur schon gelieferten Trennungsflächen für seine chemische Thätigkeit ausgesucht.

Die inneren Umgänge zeigen ein viel engeres Netz von Suturen, das nur stellenweise noch eine Beziehung zu den Septen erkennen lässt. Doch liegen gewisse Partien inselartig darin eingeschlossen, die durch hellere Farbe hervortreten und die nur von wenigen Suturen durchzogen werden. Auch die Kammerung wird darin wieder sichtbar, während sie ringsum fast ganz verschwunden ist.

Die von Drucksuturen stark erfüllte Zone ist im Allgemeinen im oberen Theil der inneren Umgänge (oben im Sinne der beigegebenen Abbildung genommen) breiter als unten und, da die von ihnen ausgehende Auflösung somit oben ebenfalls stärker gewesen sein wird als unten, so ist die rechte Hälfte des Ammoniten (ebenfalls im Sinne der Zeichnung) nicht gleichmässig gegen die linke herangepresst worden, sondern

oben stärker als unten, d. h. die Bewegung ging wie um ein Scharnier, dessen Rolle die drei besonders stark zerfressenen Septen unten auf der Abbildung übernommen zu haben scheinen. Erst später, wohl lange nach diesen Druckvorgängen, ist eine Zerreissung — eine Gangspalte — inmitten des Ammoniten entstanden und zum Theil von weissem Calcit wieder ausgefüllt worden. Dass dies eine jüngere Bildung ist, geht daraus hervor, dass die Suturflächen alle an der Spalte enden und keine hindurchsetzt.

Durch das Zerschneiden des Ammoniten ist es also möglich geworden ein klares Bild des Vorganges zu erlangen, durch welchen die Deformation hervorgerufen worden ist. Gemäss der Anordnung der Drucksuturen hat die damit in Verbindung stehende Kalkauflösung hauptsächlich eine mittlere Zone betroffen, die dadurch verkürzt wurde und ein näheres Aneinanderrücken der äusseren Theile gestattete, wodurch der ganze Ammonit ein längliches Aussehen erlangte. Er ist aber nicht gestreckt und in die Länge gezogen, sondern vielmehr gestaucht und verschmälert worden.

Es ist die gegenwärtig kürzere Achse, welche verkürzt wurde, während bei den gestreckten Fossilien die grössere Achse die verlängerte ist.

Die Formveränderung unseres Petrefacten ist also keine äusserliche, sondern recht eigentlich eine innere. Die Masse im Innern hat sich verändert, ist geschwunden und dem hat sich dann die äussere Form angepasst. Aber allerdings sind die bewirkenden Drucksuturen nicht auf dem Ammoniten beschränkt geblieben. Zum Theil wenigstens setzen sie in das Gestein hinein fort und haben auch darin Deformationen hervorgerufen. Es ist das selbstverständlich, da ja die Druckkräfte auf das ganze Gebirge gewirkt haben und auch das den Ammoniten umgebende Gestein verändern mussten. Aber im blossen Gestein ist es schwer eine richtige Vorstellung von der Grösse der eingetretenen Veränderungen zu erlangen, weil die ursprüngliche Beschaffenheit desselben unbekannt ist, während die normale Form des Ammoniten in unserem Falle als



Massstab für den Grad der Formveränderungen und Auflösungen dient. Darin liegt der besondere Werth des abgebildeten Stückes.

Die Beziehungen der Drucksuturen zu den Stylolithen.

Zwei Jahre, nachdem ich den Namen „Drucksuturen“ aufgestellt hatte, schrieb Suess (Antlitz der Erde, Bd. II, S. 335), dass diese „Suturen“ nicht durch Druck entstanden, sondern wahre Stylolithenbildungen seien, d. h. zahlreiche Theilchen eines oberen Sedimentes wären zapfenförmig in das untere eingesunken.

Nach weiteren acht Jahren hingegen erklärte Th. Fuchs (Sitzber. d. Akad. d. Wissensch. Wien, Bd. 103, 1894 Ueber die Natur und Entstehung der Stylolithen), dass die Stylolithen eine besondere Form der Drucksuturen und wie diese nicht im weichen, sondern im bereits erhärteten Gestein durch mit chemischer Auflösung verbundenem Druck entstanden seien.

Bestimmend für die letzte Auffassung war wohl das kurz vorher erschienene Capitel über die Drucksuturen in meinem Querschnitt durch die Ostalpen, welches ausdrücklich darauf hinwies, dass diese Suturen nicht auf die Schichtgrenzen beschränkt bleiben, was durch eine Reihe von Abbildungen deutlich gemacht werden konnte, und dass ihre Entstehung nothwendig mit chemischer Auflösung des Kalkes verbunden gewesen sein muss. Ich glaube deshalb, dass es nicht nothwendig ist, hierauf nochmals zurückzukommen. Dahingegen bedarf ein anderer Punkt weiterer Aufklärung. Jene beiden eben angeführten Urtheile sind, obwohl sie sich in der genetischen Auffassung direct widersprechen, darin doch einig, dass den Drucksuturen und Stylolithen gleiche Entstehung zukomme. Nach Suess sind Drucksuturen wahre Stylolithenbildung, nach Fuchs sind die Stylolithenbänder nur eine besondere Form der Drucksuturen und er meint, dass ich die Identität beider Bildungen auszusprechen noch nicht gewagt habe, offenbar unter dem Einfluss der landläufigen Meinung

und vielleicht speciell unter dem Einflusse von Gümbels letzter Publication (von 1882).

Ich hatte nemlich 1894 (S. 213) ausdrücklich erklärt: „die Drucksuturen unterscheiden sich von den echten Styolithen, wie sie Gümbel 1882 beschrieben und erklärt hat, dadurch, dass sie nicht auf die Schichtgrenzen beschränkt und nicht schon vor der Verfestigung des Kalksedimentes entstanden sind“. Dass ich dabei besonders auf Gümbels Arbeit verwiesen habe, geschah deshalb, weil ich dadurch einer besonderen Begriffsumgrenzung für die Styolithen enthoben wurde und es damals vermeiden wollte, auf gewisse Unzulänglichkeiten hinzuweisen, die unseren Erklärungen der Styolithenbildung noch immer anhaften. Heute will ich dies nachholen.

Die morphologischen Unterschiede zwischen den Drucksuturen und Styolithenbändern.

Die Auszackungen der Drucksuturflächen sind nie sehr hoch und schwanken zwischen Bruchtheilen eines Millimeters und etwa 1—2 cm. Sie sind niemals stielförmig, sondern mehr oder weniger konisch zugespitzt, dabei aber auf den Seitenflächen fein ausgezackt oder unregelmässig gerieft.

Die Vorsprünge auf den Styolithenbändern hingegen erreichen gar nicht selten Höhen von mehreren cm bis 1 dm, manchmal sogar bis 3 dm. Ihre Seitenflächen sind von der Basis bis zum meist abgestumpften Ende zu einander parallel gerichtet oder doch nur schwach convergirend. Zugleich sind diese Wände deutlich gerieft, und zwar von untereinander parallelen, bald breiten und flachen, bald schmalen und tiefen Furchenstreifen, die von unten bis oben heraufgehen und dem ganzen Vorsprung Aehnlichkeit mit einem Holzpflöck geben, der in der Richtung der Holzfaser geschnitten ist. Deshalb hat Eaton dafür den Namen *Lignilites* gewählt. Das Ende der Vorsprünge ist stets flach und entweder ziemlich eben von einer Thonschicht oder einem Petrefact begrenzt oder von kleineren Rauigkeiten bedeckt. Die Seitenwände sind bald

kerzengerade, bald schwach gekrümmt, manchmal sogar so stark, dass ihr Ende der Basis sich zukehrt.

Der Körper dieser Vorsprünge ist sehr verschieden gestaltet. Häufig besitzt er einen mehr oder weniger kreisrunden bis polygonalen Querschnitt und damit zugleich eine ausgesprochene Pfeilerform. Das sind die auffälligsten Stylolithen und zugleich diejenigen, welche in den Sammlungen am meisten vertreten und oft genug allein bei Erklärungsversuchen berücksichtigt worden sind. Ebenso häufig sind aber solche Vorsprünge, deren Grundriss ganz unregelmässig ist und nicht selten in einer Richtung starke Verlängerung aufweist, so dass das Ganze nicht mehr zapfen-, sondern eher mauerförmig erscheint. Solche Mauern sind ebenso wie die Zapfen mit vollkommen senkrechten und parallel gestreiften Seitenwänden versehen, die aber in vielen Fällen eine Art von Terrassirung zeigen, indem die Seiten treppenartig von der Basis bis zur Oberfläche des Vorsprunges aufsteigen. Dabei sind die Oberflächen dieser Terrassen nicht gerieft, sondern nur ihre Wände.

Wo im Kalkstein eingeschlossene Fremdkörper, insbesondere Petrefacten, die Drucksuturen berühren, reichen sie gewöhnlich nicht von einer auf die andere Seite herüber, oder wenn dies doch der Fall ist, ergänzen sich die beiderseitigen Theile niemals vollkommen. Sie sind zusammen kleiner als das ursprüngliche ganze Petrefact. Wo die Suture ein solches anschneidet, fehlt also die Ergänzung desselben auf der anderen Seite in der Regel vollständig. Bei den Stylolithen hingegen werden die Fremdkörper niemals durchschnitten, vielmehr richten sich die Wandungen der Zapfen sehr genau nach deren Form, so dass die das Ende derselben so häufig krönenden Schalen von Pecten, Lima oder die Gehäuse von Seeigeln und Asteriden nicht nur vollkommen erhalten sind, sondern dass sich auch die Umriss der Zapfen ganz genau nach der Form dieser Petrefacten richten.

Die Drucksuturen sind von einer dünnen Thonhaut begleitet, deren Farbe jedoch stets von der des Kalksteines abhängig, in gelbem Kalk bräunlich, in röthlichem tiefroth, in

grauem schwärzlich ist. Auch die Stylolithenbänder lassen meist eine thonige Zwischenschicht erkennen, die aber in der Farbe nicht immer mit dem Kalkstein übereinstimmt, z. B. grünlich bei gelbem Kalkstein ist und in der Regel nur auf den flachen oberen Enden der Zapfen liegt, während die längsgerieften Seitenwände frei davon zu sein pflegen.

Die Drucksuturen sind eine weit verbreitete und sehr häufige Erscheinung in allen Kalksteinen aller Formationen, aber nur da, wo mehr oder weniger starke Aufrichtung und Faltung des Sediments stattgefunden hat. In den noch horizontal gelagerten Kalkbänken fehlen sie ganz oder sind doch nur äusserst selten.

Die Stylolithen hingegen kommen davon ganz unabhängig vor und die schönsten Exemplare sind gerade aus flachgelagerten Bänken bekannt geworden. Sie sind aber verhältnissmässig sehr selten, und auf bestimmte Bezirke und Horizonte beschränkt. Sie wurden bisher aus dem Silur-, Devon- und Carbon-Kalk Nord-Amerikas, dem Zechstein, Rogenstein, Muschelkalk, oberen Jura und der oberen Kreide Europas beschrieben. Sie gehen zumeist von Schichtflächen aus und zwar so, dass ihr Ende nach oben gerichtet ist, gleichgiltig ob sie gerade oder verbogen, vertikal oder schiefstehend sind. Seltener ist ihr Ende nach unten gerichtet und noch seltener entspringen sie nicht den Schichtflächen, sondern nehmen ihren Anfang inmitten einer Kalkbank, wobei die Zapfen dann mehr oder weniger horizontal liegen. Die Drucksuturen durchsetzen im Gegensatz dazu die Bänke in allen möglichen Richtungen und sind ganz unabhängig vom Verlauf der Schichtflächen. Wo sie gleichwohl dieselben eine Strecke weit begleiten, beweisen sie ihre Unabhängigkeit dadurch, dass sie plötzlich aus dieser Fläche herauspringen und in eine andere Schichtfläche übergehen (s. Fig. 95, Ostalpen-Querschnitt, S. 212). Sodann durchkreuzen sie sich und verbinden sich miteinander ganz regellos, was bei den echten Stylolithenbändern bisher nicht beobachtet worden ist.



Die genetischen Unterschiede zwischen den Drucksuturen und den Stylolithenbändern.

Wenn wir zunächst noch berücksichtigen, dass die beiden Bildungen ausschliesslich auf Kalksteine und Dolomite beschränkt sind, so ergibt sich aus den morphologischen Eigenschaften mit Nothwendigkeit, dass die Drucksuturen erst längere Zeit nach Ablagerung der von ihnen betroffenen Sedimente entstanden sein können, als letztere bereits feste Gesteine geworden waren. Der Gebirgsdruck fand keine weiche, in sich bewegliche Masse mehr vor, wohl aber eine solche, die gegenüber der lösenden Kraft der unter hohem Druck stehenden Gesteinsfeuchtigkeit keinen vollkommenen Widerstand leisten konnte. Die chemische Wirkung des Bodenwassers bethätigte sich natürlich am stärksten auf den Druck- und Schichtflächen und von da aus sehen wir denn auch die Auflösung des Kalkes ausgehen. Langsam werden die Wände angefressen und, wo Petrefacten im Kalk liegen, werden auch sie angegriffen und allmählich aufgezehrt. Da aber die Widerstandsfähigkeit gegen die lösende Kraft nicht überall eine gleichmässige ist, so ist es auch die Auflösung nicht — es bleiben kleinere Partien erhalten, die als Vorsprünge auf den Flächen stehen bleiben, während andere Partien rasch verschwinden und Vertiefungen zurücklassen. So muss man sich denken, dass das zackige Ineinandergreifen der Suturflächen entstand. Aber nur der kohlen saure Kalk war löslich — nicht der Thon, das Eisen und manche andere Substanzen, die jeder Kalkstein in mehr oder minder grossen Mengen einschliesst und denen er zum Theil seine Färbung verdankt. Diese blieben also auf den Druckflächen zurück, wo sie sich zu einer dünnen aber intensiver gefärbten Haut ansammelten.

Die Stylolithen lassen nichts erkennen, was auf eine irgendwie wesentliche chemische Thätigkeit hindeutete, und hierin liegt ein hauptsächlicher genetischer Unterschied gegen die Drucksuturen. Die Versteinerungen, welche die Zapfen verhältnissmässig nicht selten krönen, sind stets ebenso voll-

kommen erhalten wie andere im normalen Kalkstein eingeschlossene. Es ist mir kein Fall bekannt, wo grössere Petrefacten von den Stylolithenbändern durchschnitten oder gar angefressen wären. Wenn wir die gewöhnlichste Form der aufrecht stehenden Stylolithen zunächst ins Auge fassen, so erscheint es so, als ob die untere Bank Zapfen in die obere Bank entsende, aber die kleinen Thonkappen der Zapfen sind nur abgerissene Theile einer allgemeinen dünnen Lettenlage, welche die zwei Kalkbänke trennt. Dies beweist, dass nicht eigentlich die Zapfen von unten heraufgetrieben worden, sondern nur stehen geblieben sind, während die obere Bank durch ihr eigenes Gewicht und das der noch weiter aufgelagerten Sedimente die untere Bank zusammengepresst und ihre Oberfläche um mindestens Zapfenlänge heruntergedrückt hat. Damit dies aber ohne chemische Auflösung, die dabei keine Rolle gespielt hat, möglich war, muss die Masse noch weich oder, vielleicht besser ausgedrückt, noch locker gewesen sein. Dieser Zustand kann aber nur verhältnissmässig kurze Zeit nach Entstehung des Kalkabsatzes bestanden haben, so lange das Meereswasser mit seinen leicht löslichen Salzen noch den Kalksand und Schlamm durchdrängte und die kleinen Kalkkörner sich noch nicht fest aneinander angeschlossen hatten, so wie das jetzt der Fall ist. Später war eine wirkliche Stylolithenbildung nicht mehr möglich.

Wenn auf diese Weise eine lockere Schicht um einige Centimeter zusammengedrückt wurde, so konnte dies doch nur dann in ganz gleichmässiger Weise geschehen, wenn die Festigkeit derselben überall gleich gering war. Hatten sich aber irgendwo schon Verfestigungen vielleicht durch Ausscheidung eines krystallinen Bindemittels oder durch concretionäre Bildungen eingestellt, dann trat dort keine Compression oder doch nur eine geringere als ringsherum ein, und diese Theile blieben dann als Zapfen stehen, während daneben die obere Schicht heruntersank und mit ihren festeren Kalkkörnern die Wände der Zapfen in der Richtung der Bewegung, also vertikal abwärts in ähnlicher Weise riefte, wie das auf glatten Flächen

(Rutschflächen) bei Verwerfungen häufig geschieht. Wenn also eine Asteride auf einen fünfkantigen Pfeiler mit fünf einspringenden Nischen oder ein Seeigel auf einen cylinderförmigen Pfeiler zu stehen gekommen ist, so ist anzunehmen, dass diese Petrefacten bei Entstehung der Stylolithen zufällig einen etwas festeren Theil der Kalkbank unter sich hatten, der aber heute, wo die ganze Bank erhärtet ist, als solcher nicht mehr erkannt werden kann.

Natürlich ist aber nicht nur diese eine Bank von der Compression betroffen worden sondern auch die darüber liegende, und wenn in dieser ebenfalls festere Theile sich befanden, so konnte der Gegendruck der unteren Bank an diesen Stellen nicht so wirksam sein und es erklärt sich daraus warum, wenn auch viel seltener, Zapfen vorkommen, die von oben nach unten gerichtet sind, wie das von verschiedenen Forschern beobachtet und beschrieben worden ist.

Der Druck der auflastenden Massen erzeugt in lockeren Massen aber nicht nur eine Bewegung in vertikaler Richtung, da ja die Compression nach jeder Richtung möglich ist, und so ist es denkbar, dass bei verschiedenartiger Festigkeit der einzelnen Theile der Sedimentlager auch Zapfen in schräger oder sogar horizontaler Richtung entstanden, wenn schon dieselben nicht so häufig eintreten konnten, weil die Schwerkraft dabei nicht mehr mitwirkte. So wird es begreiflich, warum auch schiefgestellte, gebogene und umgekrümmte neben den senkrechten und geraden Zapfen vorkommen und warum auch innerhalb der Kalkbänke selbst ganz horizontal liegende Stylolithen angetroffen werden, die also nicht von den Schichtflächen ausgehen. Bei letzteren, deren Vorhandensein schon Schmid 1846¹⁾ und Thurmann 1856 ausdrücklich behaupten, scheinen Thon- und Petrefactenkappen zu fehlen, was auch ganz begreiflich ist.

Während die Compression tieferer Sedimente durch die

¹⁾ Schmid und Schleiden. Die geognost. Verhältnisse des Saalthales bei Jena, 1846, S. 47.

darüber entstehenden jüngeren Ablagerungen wohl ein ziemlich allgemein verbreiteter Vorgang war, blieb die Bildung von Stylolithen nur auf solche Fälle beschränkt, wo die Erhärtung der noch lockeren Schichten nicht gleichmässig vor sich ging. Wir begreifen deshalb leicht, warum die Stylolithen verhältnissmässig selten und, wo sie vorkommen, gewöhnlich nur auf bestimmte Bänke oder Horizonte beschränkt sind, dort aber oft eine grosse Häufigkeit haben.

Wir sind somit zu dem Ergebniss gelangt, dass Drucksuturen und Stylolithen zwei morphologisch und genetisch recht verschiedene Erscheinungen sind — die ersteren Wirkungen des Gebirgsdruckes auf festen Kalkstein, die letzteren Wirkungen des Druckes der Sedimentdecke auf noch grösstentheils unverfestigte Kalkablagerungen.

Zur Erforschungsgeschichte der Stylolithen und Drucksuturen.

Ein reiches Verzeichniss der Stylolithen-Literatur hat 1872 H. Eck in den Abhandl. z. geolog. Spezialkarte Preussens, Bd. 1, S. 81, gegeben. Dass es jedoch auf Vollständigkeit keinen Anspruch machen kann, geht schon daraus hervor, dass die amerikanischen Arbeiten ganz darin fehlen. Ich will keineswegs versuchen ein vollständiges Verzeichniss hier zu geben, sondern nur die hauptsächlichsten Ergebnisse dieser Forschungen, soweit sie mir bekannt sind und von allgemeinerer Bedeutung erscheinen, zusammenstellen.

Stylolithen sind beschrieben aus Kalk- und Dolomitbänken des Silur, Devon, Carbon, Zechstein, Buntsandstein (Rogenstein), Muschelkalk, weissen Jura und der oberen Kreide.

Drucksuturen sind erwähnt aus Silur, Carbon, Trias, Jura und Kreide.

Gewöhnlich wird Freiesleben als derjenige erwähnt, der die Stylolithen zum ersten Mal 1807 beschrieben habe (Geognost. Arbeiten I, S. 69). Aber nach dem Auszug, den H. Eck 1872 (l. c.) gegeben hat, gebührt diese Ehre Mylius,

der in seinen Physikal. Belustigungen, Berlin 1751, aus den Rüdorsdorfer Brüchen Schwielen, welche die Arbeiter Mahle nennen, „wie versteinert Holz“ schildert, was sich wohl nur auf die dort, wie Quenstedt sagt, zu Millionen vorkommenden Stylolithen beziehen kann. In Amerika hat sie Eaton (in Report on the district adjoining the Erie Canal S. 134) 1824 unter dem Namen Lignilites (wegen der Aehnlichkeit mit Holzfaser) beschrieben. In Deutschland gab Klöden 1828 (Beiträge z. min.-geognost. Kenntniss der Mark Brandenburg) für die Rüdorsdorfer Vorkommnisse den Namen Stylolithes sulcatus, während Vanuxem 1842 (Geology of New-York, Part III, S. 107) den Namen Epsomites aufstellte. Gegenwärtig hat sich die Klöden'sche Bezeichnung Stylolith allgemein auch in Amerika eingebürgert. Thurmman hat dafür 1856 (Essai d'orographie jurassique) das Wort diapérasmes gebildet, abgeleitet von *διαπεραω*, durchdringen.

Von den Drucksuturen hat Hall 1843 (Geol. of New-York, Part IV) eine charakteristische Abbildung (Fig. 53, Seite 131) gegeben. Eingehend hat sie Thurmman (l. c.) 1856 beschrieben unter dem Namen: syncollèmes diaclivaires und thlasmes diaclivaires, worauf ich nachher noch zurückkomme. Ich habe sie dann als Drucksuturen 1886, 1894 und 1899 benannt und gedeutet und Th. Fuchs hat sie (l. c.) 1894 als Stylolithenbänder bezeichnet. Trotz ihrer ungemeinen Häufigkeit sind die Lehrbücher der Geologie und Petrographie bisher stillschweigend an ihnen vorübergegangen.

Die Deutung der Stylolithen hat den Scharfsinn der Forscher auf die verschiedensten Wege geführt. Nicht weniger als sieben Theorien sind aufgestellt worden.

1. Die Petrifications-Theorie ist die älteste, die von den anderen aber bald aus dem Feld geschlagen und dann gänzlich aufgegeben worden ist. Eaton (1824) sah in den Stylolithen fossile Corallen und Klöden (1828) Abdrücke von Quallen, wofür er auch noch 1834 (die Versteinerungen der Mark Brandenburg) eintrat.

2. Die Krystallisations-Theorie hat in Amerika die vorhererwähnte alsbald abgelöst und bis 1867 die Meinungen beherrscht. Vanuxem (l. c. S. 107) betrachtet 1842 die Krystallisation von Magnesiumsulphat in dem noch weichen Sediment als die Ursache der cylindrischen Zapfen. J. Hall (l. c. 1843) glaubt, dass auch Kochsalz und Emmons (Geol. of New-York, Part II, 1842, S. 111) dass Strontium-Sulphat gleiche Erscheinungen erzeugen konnten, während aber die Coelestinkrystalle noch erhalten sind, seien die Bittersalzkrystalle aufgelöst worden und hätten nur ihre Eindrücke hinterlassen. Hunt stellte deshalb für diese Bildungen 1863 (Geology of Canada, S. 632) den Namen Crystallites auf.

In Deutschland hat sich diese Anschauung ebenfalls, aber ganz unabhängig von Amerika entwickelt, wie es scheint sogar in Unkenntniss der dortigen Arbeiten. Rossmässler und Cotta (Grundriss der Geognosie 1845—46, S. 128) brachten die Stylolithen in Verbindung mit den stängeligen Eiskrystallen, die sich im Winter im feuchten Schlamm bilden, und H. von Meyer (N. Jahrb. 1862) hält sie für Gruppen von nadelförmigen Krystallen, hauptsächlich von Gyps, die meist von demselben Gestein ausgefüllt seien, in welchem sie sich entwickelt haben.

Diese Theorie ist durch Marsh 1867 in Amerika erfolgreich widerlegt worden, in Deutschland hat sie überhaupt niemals allgemeineren Anklang gefunden.

3. Die Exhalations-Theorie mag hier nur der Vollständigkeit und der Curiosität wegen einen Platz finden. Alberti nimmt 1858 (Württemb. Jahreshefte d. Naturw., Bd. 14, S. 292) aufsteigendes Petroleum, Zelger, der den Stylolithen sogar einen langen Aufsatz im N. Jahrb. (S. 833, Bd. 22, 1870) widmete, entweichendes Gas als die causa movens an.

4. Die Regen-Theorie wurde 1852 von Quenstedt eingeführt (Handb. der Petrefactenkunde, I. Aufl.) und 1853 (Württemberg. Jahrb., Bd. 9, S. 71) eingehender besprochen. Er wurde dazu verführt durch die Aehnlichkeit der kleinen Erdpfymiden, welche der Regen unter gewissen Bedingungen

an vegetationslosen Böschungen erzeugt. Wie bei den grossen Erdpyramiden liegt auch da nicht selten ein grösseres Steinchen als Schutz obendrauf. Die Deckelschalen der Stylolithen wurden damit verglichen, und obwohl Quenstedt selbst die Schwierigkeiten erkannte, welche dieser Auffassung entgegenstehen, so hat er sie doch mit den Worten eingeführt: „alle anderen Ansichten darüber sind falsch“, und selbst dann noch, nachdem er 1861 eine ganz andere und jedenfalls viel richtigere Erklärung mit den Worten abgeschlossen hatte „dies nach langem Schwanken meine jetzige Ansicht“, hat er seine frühere Auffassung wörtlich in der Petrefactenkunde 1867 in der II. und 1885 in der III. Auflage wiederholt. Für eben solche Entstehung hat auch E. Weiss 1868 (N. Jahrb., S. 729) das Wort ergriffen.

5. Die Contractions-Theorie. Schon 1849 schrieb Strombeck (Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. S. 178) „eine gewisse ungleichförmige Contraction des Gesteines, die nach seiner Ablagerung erfolgte, ist die Hauptbedingung gewesen“. Aber erst 1852 hat Plieninger (Württemberg. naturw. Jahresh., Bd. 8, S. 78) dieser Vorstellung eingehendere Aufmerksamkeit gewidmet. Nach Ablagerung und Trockenlegung sollen sich im Kalkschlamm Trockenrisse gebildet haben, die durch niederrieselndes Regenwasser gestreifte Wände erhielten und aus denen dann bei der Gesteinserhärtung die gerieften Stylolithenwände wurden.

Dass diese Theorie so wenig wie eine der vorher besprochenen im Stande ist, die Entstehung der Stylolithen in zufriedenstellender Weise zu erklären, steht heutigen Tages wohl fest.

6. Die Druck-Theorie bleibt somit als einzige Zuflucht übrig und sie erfreut sich ja auch gegenwärtig allgemeinsten Anerkennung, wenn schon im Einzelnen die Meinungen auch da recht weit auseinandergehen. Zuerst ist sie von Quenstedt 1837 (Wiegmanns Archiv f. Naturgesch., Bd. 2, S. 223) angedeutet worden. „Stylolithen sind durch organische Wesen geleitete Absonderungen.“ Die Muschelschalen

unterbrachen den Zusammenhang der noch weichen Gesteinsmasse in vertikaler Richtung, in der sich diese Masse zusammenzog und niedersetzte, und machten eine schnellere Zusammenziehung der aufrecht darunter oder darüber liegenden Gesteinsmassen möglich, was dann die seitlichen Absonderungen dieser Masse von dem sich langsamer setzenden Nebengestein bedingte.

So bedeutsam diese Aeusserung auch wirkte, da sie der Klöden'schen Theorie den Todesstoss versetzte, so begreift man doch leicht, dass sie nicht einmal ihren Autor auf die Dauer befriedigen konnte. Schon 1843 suchte Quenstedt (Flötzgebirge Württembergs) nach einer besseren Begründung. Er nahm an, die „leitenden Versteinerungen“ hätten ein anderes specifisches Gewicht wie der sie umgebende Schlamm gehabt und wären, je nachdem dasselbe grösser oder kleiner war, langsam niedergesunken oder aufgestiegen, wobei der zurückgelegte Weg durch die vertikale Streifung im Schlamm markirt worden sei. Mit guten Gründen wurde diese Erklärung von Plieninger (l. c. 1852) bekämpft und alsbald auch von Quenstedt selbst aufgegeben, der sich inzwischen der Regentheorie zugewandt hatte. Dann aber machte er 1861 (Epochen der Natur S. 200) einen neuen Versuch, der bisher den meisten Anklang gefunden hat. Wenn zwei Kalkschichten übereinander abgelagert, aber von einer dünnen Thonschicht von einander getrennt waren, so „mochte schon der verschiedenzeitige Niederschlag gewisse Differenzen in der Härte der oberen und unteren Masse hervorbringen. Als nun die darauf lagernde Masse immer mehr drückte, riss die Lettenschicht, die untere Kalkbank drang in die obere und umgekehrt.“

Diese Erklärung war nicht neu, wenn schon sie von den meisten als solche hingenommen worden ist. Neu war darin nur, dass auf das Zerreißen der Thonschicht ein besonderer Werth gelegt wurde, als ob dieselbe härter oder fester wie der Kalk gewesen wäre, was doch bei dem vorausgesetzten weichen und durchfeuchteten Zustand der Ablagerungen gar nicht der Fall sein konnte. Nach Mittheilung von H. Eck (l. c. 1872) soll Beyrich eine ähnliche Erklärung mündlich schon früher mit-

getheilt haben. Ganz sicher ist aber jedenfalls, dass Thurmann die literarische Priorität hat (l. c. 1856). Die Styolithen sind ihm die cannellirten Zähne, mit denen die Kalkmassen im weichen Zustande ineinanderdrängen, wenn local sich Massen gegenüberliegen, die sich in ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Druck verschiedenartig verhalten. Die einsinkende Masse wird durch die Bewegung an den Seitenwänden gerieft. Der Druck ist meist vertikal nach unten, manchmal auch horizontal gerichtet, durch ersteren entstehen die vertikalen Styolithen auf den Schichtflächen, durch letzteren horizontale, in den Bänken von den Kluftflächen ausgehende. Wie weit Beyrich und Quenstedt durch diese Ideen Thurmanns beeinflusst waren, ist nie bekannt geworden. Dass aber auch in der ganzen späteren Styolithen-Literatur der Arbeit dieses vortrefflichen Beobachters, die erst nach seinem Tode veröffentlicht worden ist, keine Erwähnung gethan wird, ist sehr merkwürdig, erklärt sich jedoch zum Theil aus ihrer Schwerfälligkeit und einigen Absonderlichkeiten, auf die ich weiterhin zurückkommen werde. Unter allen Umständen gebührt aber Thurmann das Verdienst, die erste physikalisch wohl begründete Erklärung der Styolithen oder, wie er sie nennt, Diasperasmen, als Druckerscheinungen gegeben zu haben.

O. C. Marsh veröffentlichte 1867 (Proc. Americ. Assoc. Sciences, Vol. 16, S. 135—143) einen Aufsatz „on the origin of the so called Lignilites or Epsomites“, indem er auf Grund eingehender Studien über die Styolithen Deutschlands und Nord-Amerikas die Krystallisations-Theorie bekämpfte und der Druck-Theorie in Amerika erfolgreichen Eingang verschaffte. Er lehnte sich vollständig an die Auffassung Quenstedts von 1861 an, ergänzte sie aber in mehreren Punkten. Freilich legt auch er das Hauptgewicht auf die gedeckelten Styolithen und nennt den Deckel geradezu den Schlüssel des Mysteriums. Er meint, dass eine Schale unter der dünnen Thonschicht zwischen zwei weichen Kalklagen dem Druck von oben, der die untere Lage im Ganzen hinunterdrückt, grösseren Wider-

stand leisten müsse, so dass sie sich langsamer als die übrige Oberfläche senke und meist wie eine Säule stehen bleibe. Als Ursachen dieser grösseren Widerstandskraft zählt er auf 1. dass nach oben gewölbte Schalen wie Keile die Cohäsion der aufliegenden Massen überwunden haben, 2. dass das Gewicht des Deckels die Masse unter ihm bereits verdichtet habe, 3. dass die organische Substanz des Deckels im Kalkschlamm darunter bereits Kalkconcretionen veranlasst habe, deren Zustandekommen nach oben die hangende Thonschicht verhinderte. Liegen die Schalen statt unter über der Thonschicht, dann bilden sich Zapfen nach unten aus. Wo solche Deckel fehlen, kann die Ursache in anderweitigen Ungleichheiten der Dichtigkeit in der plastischen Kalkmasse liegen, aber die Säulen werden dann nicht so regelmässig geformt.

Der Ueberzug von Calcit-, Dolomit-, Gyps- oder Coelestin-Krystallen, der sich öfters auf den gerieften Wänden der Zapfen findet, sei nicht primär, sondern erst nachträglich durch Infiltration entstanden.

Gümbel hat sich 1882 (Z. D. geol. Ges., Bd. 34, S. 642) über diesen Gegenstand geäußert. Er schliesst sich ausdrücklich an die Auffassung von Beyrich und Quenstedt an, verräth aber in keiner Weise eine Kenntniss der wichtigen Arbeiten von Thurmann und Marsh.

Er gibt zunächst eine genaue Beschreibung der Stylolithen, in der besonders auffällt, dass er das Vorkommen horizontaler Stylolithen bezweifelt. Den Vorgang der Entstehung schildert er folgendermassen: „Die Stylolithen sind innerhalb mehrerer aufeinander lagernder, in Form eines Kalkschlammes abgesetzter, durch thonige oder mergelige Zwischenlagen abgetrennter Schichten dadurch entstanden, dass bei dem ungleichen Verhalten, bei dem Austrocknen oder Verfestigen die Thon- oder Mergellage sich zusammenzog, rissig wurde, in kleine Stückchen klüftete und dass dadurch die bisher bestehende Gleichgewichtslage der zwei aufeinander ruhenden Kalkschichten gestört wurde, die auflagernde Kalkmasse einen Druck auf die unterliegende ausübte, der bei dem Austrocknen entstandenen Raumvermin-

derung entsprechend sich senkte und dadurch einzelne kleinere, durch das Zersprengen der Thonlage abgetrennte Partien der unterliegenden Masse zu einer aufsteigenden Bewegung veranlasste. Die kleinere Masse wurde nemlich dadurch gezwungen, dem Druck der grösseren nachzugeben, was nur durch eine Bewegung nach aufwärts möglich war, da die Unterlage jede Bewegung in dieser Richtung verhinderte. Durch diese wechselseitige Bewegung, nemlich einer sich senkenden in der Hauptmasse und einer aufsteigenden in den zerstückelten kleinen Partien, entstand die zapfenförmige Verkeilung der Stylolithen mit dem einschliessenden Gestein und durch die Bewegung selbst nach dem Umriss der hierbei bahnbrechenden Schale oder Thonschieferscholle bildete sich die Cannellirung und Längsstreifung der Stylolithen. Das durch Zerreissung der unteren Thonlage abgetrennte Thonstück erscheint als die Kappe des Stylolithen, die während des Aufsteigens sich abtrennenden Thontheilchen als thoniger Ueberzug des Stylolithen.“ Gümbel hat diesen Vorgang experimentell nachzuahmen versucht, indem er eine mit Löchern versehene Bleiplatte zwischen zwei plastische aus Thon und Malerkreide gemischte Lagen einschaltete. Durch den Druck der Platte wurden dann stylolithenähnliche Zapfen der unteren Masse heraus- und in die obere Masse hineingepresst.

Nach Gümbel läge also das Ursächliche in dem Vorhandensein einer trennenden Thonschicht und deren Zerreißen in Folge der Austrocknung. Im Experiment soll deshalb die Bleiplatte die Rolle der zerrissenen Thonschicht spielen. Auf das Mangelhafte dieser Veranstaltung hat bereits Th. Fuchs (1894) hingewiesen, wenn schon er hierbei in einer Hinsicht Gümbel Unrecht that, nemlich mit Bezug auf „die niemals fehlende Thonkappe“, die ja auch bei Gümbels Experiment erhalten wurde. Viel anfechtbarer als das Experiment erscheint mir die physikalische Begründung. Der dünnen Thonlage wird hier eine Rolle zugeschrieben, die sie gar nicht spielen konnte. Wenn die aufliegende noch weiche plastische Kalkmasse einen „grossen Druck“ ausübte, so konnte die dünne

Thonschicht nicht zerreißen, höchstens zusammengepresst werden, was aber in diesem Falle gerade das Gegentheil von Zerreißen bedeutet. Auch brauchte die obere Kalkmasse keineswegs auf ein Zerreißen der Thonschicht zu warten, um auf die untere Kalkmasse einen Druck auszuüben, der sich ja durch die dünne Thonschicht hindurch längst fortgepflanzt hatte. Ein weiterer Mangel dieser Auffassung besteht auch darin, dass sie die horizontalen Stylolithen nicht erklären kann. Bereits 1883 habe ich Gümbel horizontale Stylolithen überbracht, die ich in Begleitung von Eb. Fraas beim Aufstieg von Spaichingen nach der Dreifaltigkeitskirche im weissen Jura β anstehend getroffen hatte. Auf seinen Wunsch überliess ich ihm das eine der zwei Stücke, welche einem vertikal die Kalkbank durchsetzenden Stylolithenband entnommen waren. Die Zapfen haben zum Theil eine Länge von 1 Zoll und zeigen scharfe Cannellirung. Aber erst 1888 (*Zeitschr. D. geol. Ges.* S. 187) gab Gümbel seinen Zweifel am Bestehen horizontaler Stylolithen auf, als er solche im Jurakalk von Burglengenfeld in der Oberpfalz aufgefunden hatte. Er suchte gleichwohl seine frühere Erklärung aufrecht zu erhalten, indem er annahm, ursprünglich vertikale Zapfen seien durch Ablenkung nach vorhandenen Spalten in horizontale Richtung gebracht worden. Wie freilich in dem weichen plastischen und noch nicht ausgetrockneten Kalkschlamm, der unter hohem Druck stand, Spalten bestehen konnten, darüber gibt er uns keine Aufklärung.

Die beste, auch heute noch stichhaltige Erklärung, ist jedenfalls diejenige Thurmanns. Liegen zwei Kalkschichten in weichem (pelomorphem) Zustand übereinander, so drückt die obere auf die untere, einerlei ob eine thonige Zwischenschicht vorhanden ist oder nicht. Ist die untere Schicht irgendwo stärker comprimierbar als sonst ringsum, oder wird ein stärkerer Druck auf sie ausgeübt, so sinkt die obere Masse dort zapfenförmig ein und erhält dabei seitliche Striemung. Die horizontalen Stylolithen sind durch Seitendruck entstanden, der aber gewöhnlich zu schwach war oder erst eintrat, als das

Gestein nicht mehr plastisch genug war, so dass diese Styloolithen sich nicht so häufig und wohl charakterisirt entwickeln konnten.

Auffällig erscheint dabei nur, dass Thurmann den vertikalen Druck und den seitlichen als von einander unabhängig und auch zeitlich getrennt ansieht und nicht die Consequenz zog, dass vertikaler Druck im Gestein von so weicher und plastischer Beschaffenheit sich auch in seitlicher Richtung fortpflanzen muss.

Dartüber, warum die Massen an einigen Stellen nicht so stark oder stärker comprimierbar waren, finde ich bei Thurmann keine weiteren Angaben, und diejenigen, welche Marsh gegeben hat, sind gewiss ungenügend und erklären für die deckelfreien Styloolithen gar nichts.

7. Die Auflösungs-Theorie. So weit die bisher besprochenen Ansichten auch unter sich auseinandergehen, so haben sie alle doch das gemeinsame, dass sie die Styloolithenbildung in eine Zeit versetzen, in der die Kalksteine noch nicht ihre heutige feste Beschaffenheit besaßen, sondern noch weich und plastisch waren.

Th. Fuchs ist der einzige, der ihre Entstehung in festem Gestein vor sich gehen lässt und zwar in der gleichen Weise, wie sich die Drucksuturen bilden, durch Druck und chemische Auflösung, eine Annahme, die mir aus den schon früher erwähnten Gründen nicht haltbar erscheint.

Die Drucksuturen-Literatur ist sehr viel kleiner als die über Styloolithen. Hall hat 1843 eine Abbildung derselben gegeben (l. c. Fig. 53), sie aber zu den Ligniliten oder Epso-
miten gestellt und ebenso wie bei diesen in Krystallisationen ihre Entstehung gesucht.

Thurmann hingegen hat sie sehr eingehend beschrieben und abgebildet, aber in einer recht merkwürdigen Weise erklärt, die in der späteren Literatur fast keine weitere Beachtung gefunden hat, zum Theil wohl deshalb, weil sie niemanden recht einleuchten wollte, zum Theil auch, weil seine Darstellung,

wie schon erwähnt, recht schwerfällig war und man sich, um sie überhaupt zu verstehen, erst mühsam in die ihr eigenthümlichen Bezeichnungsweisen hineinarbeiten muss.

Gleichwohl ist seine erst postum erschienene Arbeit so voll von feinen Beobachtungen und Gedanken, dass es sich wohl der Mühe lohnt, sie kennen zu lernen und das um so mehr, als sie nicht ohne Einfluss auf die später von A. Heim aufgestellte Hypothese der latenten Plasticität gewesen zu sein scheint.

Thurmann geht davon aus, dass alle Sedimente nach ihrer Ablagerung sich, ehe sie ihre heutige feste Beschaffenheit erlangten, in einem pelomorphen Zustand befunden haben.

Der Pelomorphismus (*πηλος* Schlamm) ist dadurch bedingt, dass der feine, aus nicht wahrnehmbaren Moleculen bestehende Kalkschlamm mit Meereswasser vermischt blieb. Diese Masse ist vollkommen dehnbar und plastisch, beweglich wie Gallerte, fähig und geneigt bei geringster Erschütterung auf glatten Spalten zu zerreißen und diese Spalten wieder zu schliessen, Wasser zu verlieren, sich dadurch zusammenzuziehen und dabei auf Spalten mit rauher und zackiger Oberfläche auseinander zu reißen. Durch Druck verliert diese Masse Flüssigkeit und nimmt an Volumen ab. Gegen eine freie Oeffnung gepresst lässt sie sich in dieselbe hineinpressen, wobei sie eine der Oeffnung entsprechende Form annimmt. Durch Seitendruck wird sie gefaltet, durch vertikalen Druck von unten aufgebogen, wobei die der pelomorphen Masse etwa beigemengten lithomorphen (d. h. festen, wasserfreien) Körper, wie z. B. Muschelschalen oder Belemniten-Rostren zerbrechen oder defigurirt werden können.

Die Dauer dieses pelomorphen Zustandes war sehr lang, aber verschieden lang bei den verschiedenartigen Sedimenten, von denen einige wie z. B. die Cementmergel auch schon im noch feuchten Zustand fest werden konnten. Lithomorphe Körper, wie Oolithe, Schalen, Gehäuse und Skelettheile von Thieren, Sandkörner und Gerölle wurden bereits während der

Sedimentbildung von der pelomorphen Masse eingeschlossen, andere bildeten sich darin nachher während des pelomorphen Zustandes, wie z. B. Gänge, Nester und Geoden von Calcit, Quarz, Schwefeleisen etc. Je grösser die Menge der lithomorphen Körper war, um so geringer der Pelomorphismus.

Alle Veränderungen, die durch den pelomorphen Zustand bedingt sind, heissen Pelomorphosen, die obere und untere Grenzfläche der Schichten oder Bänke Epicliven und Hypocliven, alle anderen Spaltflächen Diacativen. Die normalen, d. h. rechtwinkelig zu den Schichtflächen stehenden und die anormalen, damit einen kleineren Winkel bildenden Diacativen sind Pelomorphosen, doch gibt es daneben auch noch unregelmässige lithomorphe Diacativen, die erst nach Beginn der Verfestigung der Sedimente entstanden sind. Die glatten pelomorphen Epicliven nennt Thurmann galenisch oder Galenien (*γαληνη* Meeresstille), agalenisch heissen sie, wenn sie durch Druck, Reibung und Zerreibungen entsteht sind.

Hauptdiacativen (*diacatives principales*) durchsetzen mehrere Schichten und gehören zwei rechtwinkelig sich kreuzenden Systemen an; Nebendiacativen (*d. secondaires*) setzten nur durch eine Schicht und heissen accessorisch, wenn sie anormal sind.

Die Diacativen sind entweder klaffend und leer, oder mit Calcit, niemals aber mit pelomorpher Substanz ausgefüllt, weil sie erst später entstanden sind als die von ihnen nicht mehr betroffene hangende Gesteinsschicht. Sie klaffen manchmal, wenn auch selten, bis 1 dm weit, zuweilen sind sie aber auch wieder ganz zusammengegangen (*recollement*). Den Volumschwund, welcher die Diacativen erzeugt hat, berechnet Thurmann für den von ihm untersuchten Theil des Juragebirges auf ein Zehntausendstel. Er ist bedingt durch die innere Wärme, welche das Wasser austreibt und schreitet von unten nach oben fort.

Thlasmen (*θλαω* quetschen, zerdrücken) heissen die Rauhigkeiten der Diacativ-Wände. Es sind ausgezogene Spitzen,

Splitter (esquilles), die beim Auseinanderreissen der pelomorphen Masse entstehen. Bei den Epicliven kommen sie nicht vor.

Schliessen sich die thlasmirten Wände (thlasmées) der Diacativen wieder zu, so können sich — und es ist dies besonders bei den secundären Diacativen der Fall — die beiderseitigen Thlasmen wieder so genau ineinander fügen, dass diese Contractionsrisse sehr leicht der Beobachtung entgehen. Es sind das Syncollemen (*συγκολλω* zusammenleimen), und es unterliegt mir keinem Zweifel, dass damit die echten Druck-suturen gemeint sind.

Fügen sich die Thlasmen beim Schliessen der Diacativen aber nicht mehr genau ineinander, so zerdrücken sie sich gegenseitig, die Wände werden eben, glatt, wellig oder auch gestreift, und diese Oberflächenformen heissen dann Tripsen (*τριψις* Reibung). Es gibt sowohl tripsirte Diacativen als auch Epicliven.

[Ein Theil dieser Tripsen sind die wohlbekannten Rutschstreifen.]

Die tripsirten Diacativen können aber nochmals auseinandergerissen werden und es entstehen dann die Xecollemen (von *ξεκολλημα*, *décollement*, abgeleitet, ein Wort, das aber selbst Passow unbekannt ist und wohl *ἐκκολλημα* heissen sollte).

Die Rauigkeiten dieser xecollirten Wände unterscheiden sich von denen der thlasmirten Wände dadurch, dass sie stärker hervortreten, aber weiter von einander abstehen. [Mir scheint, dass diese Formverschiedenheiten Wirkungen des auf den Kluftflächen zirkulirenden Wassers sind.]

Als Diaperasmen endlich werden die Stylolithen bezeichnet, wie schon weiter oben eingehender dargestellt wurde.

Der pelomorphe Zustand hat nach Thurmann im Jura noch existirt, als schon die heutigen Thäler eingeschnitten waren, denn es finden sich häufig an den Thalgehängen Felsabrutschungen mit tripsirten Wänden. Auch die grossen Verwerfungen gingen im pelomorphen Gebirge vor sich, weil die Spaltenwände gestreift sind. Die Gerölle der tertiären Nagel-

fluh waren noch pelomorph, als sie ihre gegenseitige Eindrücke erhielten (*galets tripsés*), mithin sind sie auch aus Zerstörung pelomorpher Juragesteine entstanden, woraus auf einen sehr raschen Abrollungsprocess geschlossen wird. Selbst die tertiären Lithodomen fanden pelomorphe Küstenfelsen vor, in die sie ihre Löcher bohrten. Lithomorphe Körper, wie z. B. Molluskengehäuse, konnten natürlich keine Pelomorphosen erleiden, wo pelomorph umgewandelte (*comprimirte* oder in die Länge gezogene) Steinkerne solcher Gehäuse gefunden werden, muss man annehmen, dass diese Umformung erst nach Auflösung der Schale eingetreten ist.

Vier grosse Perioden werden endlich von Thurmann unterschieden: die erste umfasst die Sedimentation der hoch pelomorphen Massen, in der zweiten öffnen sich in Folge seismischer Oscillationen die Diaciven, in der dritten treten die grossen Dislocationen (Gebirgsbildung) ein und in der vierten beginnt die Solidification des Gesteins. In allen diesen Perioden nahm der Pelomorphismus langsam aber stetig ab.

Marsh (l. c.) hat 1867 die von Hall abgebildete Drucksutur zu den unvollkommenen Stylolithen gestellt und er weist darauf hin, dass gerade solche undeutliche Säulenbildungen und Riefungen, die längs Rissen oder auch mitten im Kalkstein auftreten, recht häufig sind. Wo sie schräg zur Bankung verlaufen, schreibt er sie der Wirkung seitlichen Druckes zu, ohne indessen zu sagen, wie derselbe entstand.

Dass diese Drucksuturen nicht in dem noch weichen, sondern im bereits verfestigten Gestein und nicht in Folge von Contraction der Gesteinsmasse, sondern von Pressung und damit verbundener chemischer Auflösung entstanden sind, habe ich 1886 nachgewiesen und 1894 weiter ausgeführt. Daraufhin hat dann Th. Fuchs (l. c.) noch 1894 ebenfalls und mit besonderer Bezugnahme auf Halls Abbildungen für die Stylolithen und Drucksuturen gleiche Entstehungsart gefordert, aber im Gegensatz zu Hall und Marsh beide als Druckerscheinungen mit chemischer Auflösung in festem Gestein aufgefasst. Er gibt als besondere Begründung dieser

Vereinigung noch folgendes an: „Dass die Stylolithen nicht in weichem, nachgiebigem, sondern in bereits verfestigtem Gestein entstanden, scheint mir übrigens bereits aus der feinen, scharfen, parallelen Riefung hervorzugehen, welche die Seiten derselben zeigen und welche ein ganz charakteristisches Merkmal der Stylolithen darstellen. Ueberdies erscheinen diese Seiten oft wie polirt und bieten ganz das Bild einer Rutschfläche oder eines Harnisches dar.

Derartige Oberflächenzeichnungen können sich meiner Ansicht nach nur auf festem Gestein bilden und scheint mir die Bildung geriefter, glänzender Rutschflächen auf einer weichen teigartigen Masse nicht gut denkbar.“

Wir sehen, dass zwei Forscher dieselbe Erscheinung zu gerade entgegengesetzten genetischen Schlussfolgerungen benutzt haben.

Thurmann schliesst aus dem Vorhandensein von Riefungen und Rutschflächen auf den weichen — Fuchs auf den harten Zustand des Gesteines während deren Entstehung. In Wirklichkeit können sich dieselben sowohl im weichen wie im festen Gestein bilden. Als 1887 hinter dem Bad Sulz bei Peissenberg ein grösserer Bergrutsch eintrat in Folge der Ueberlastung eines lehmreichen Gehänges durch eine Steinbruchhalte, trat eine sehr scharfe seitliche Trennung zwischen der bewegten und der in Ruhe gebliebenen Gebirgsmasse ein. Erstere hatte sich mit allem was darauf stand, Büschen, Bäumen und Häusern, langsam abwärts bewegt, und als ich über zwei Jahre später die Stelle besuchte, waren die Rutschstreifen, die sich dabei auf der seitlichen Abrisspalte im Lehm genau in der Richtung der Bewegung gebildet hatten, noch vollkommen deutlich erhalten. Selbst einige Jahre später fand ich sie nach Entfernung des Rasenbodens immer noch sichtbar. Die Weichheit des Gesteines kann also nicht als Hinderniss für die Entstehung der Streifen auf den Stylolithen gelten, eher die Härte. Auf den Drucksuturen findet man allerdings auch eine Art von Streifung, aber sie ist ganz anders ausgebildet. Kurze riefenartige Vertiefungen wechseln mit einander ab und

geben der Oberfläche mehr ein zerhacktes als ein gestreiftes oder cannellirtes Aussehen. Chemische Auflösung kann so lange und regelmässige Furchen, wie sie die Zapfen der Styolithen zeigen, nicht erzeugen, denn dazu gehörte, dass an den Vertiefungen immer das Nebengestein, an den Erhöhungen immer das Gestein der Zapfen widerstandsfähiger gegen Auflösung geblieben wäre, ein Zufall, der in solcher Häufigkeit und Beständigkeit nicht eingetreten sein kann.
