

Pseudo-Gaylussit, Pseudo-Pirssonit und Protospongia im cambrischen Alaun- schiefer Bornholms.

Von E. STOLLEY,
Braunschweig.

Den dänischen Geologen ist seit langem bekannt, dass der obercambrische Alaunschiefer Bornholms im Gebiete der Læsaa, sowohl bei Limensgade als auch nördlich von Vasagaard, zwischen der Peltura-Zone und dem Dictyonema-Schiefer einen Horizont enthält, welcher durch das Auftreten zahlreicher spindelförmiger Körper von Pyrit charakterisiert wird, die das Gestein oft in Menge durchspicken und sich bisweilen auch bei einiger Vorsicht aus demselben herauslösen lassen. JOHNSTRUP¹⁾ sagte schon 1891 über dieses eigentümliche Vorkommen folgendes:

»Im obersten Niveau enthält der Alaunschiefer in erstaunlicher Menge eine in Schwefelkies umgewandelte, fast immer hohle, spindelförmige Versteinerung (12 mm lang, in der Mitte 4 mm dick) von rhombischem Querschnitt. Die stumpfen Kanten sind mit einem scharfen Kiel versehen, und die Form ist im Ganzen so konstant,

¹⁾ Abriss der Geologie von Bornholm p. 21 (IV Jahresbericht d. Geogr. Ges. z. Greifswald, 1891).

dass diese Körper unzweifelhaft einen organischen Ursprung haben müssen.«

Diese letztere Annahme JOHNSTRUP's ist jedoch sicherlich nicht zutreffend, und ich möchte glauben, dass heute jeder Fachmann bei näherer Prüfung dieser Pyritspindeln nicht mehr mit einer ehemals organischen Natur derselben rechnen, sondern vielmehr in ihrer Umgrenzung mineralogisch-krystallographische Eigenschaften erkennen wird. Dem entsprechend wurden sie auch von DEECKE¹⁾ 1899 als Pseudomorphosen von Pyrit nach Gyps gedeutet, indem manche einen inneren Hohlraum und in demselben Reste spätigen Gypses erkennen liessen. Diese Deutung der problematischen Körper mag nun zwar auf den ersten Blick als annehmbar erscheinen, doch vermag auch sie einer genaueren Beobachtung und eingehenderen Überlegung nicht Stand zu halten.

Zunächst wird man es von vornherein für sehr unwahrscheinlich halten müssen, dass hier im Gegensatz zu dem allgemein in Thongesteinen, welche Schwefelmetalle, wie Pyrit, Markasit etc., enthalten, zu beobachtenden Vitriolisierungsprozesse der Gyps nicht als Produkt der Oxydation des Pyrits, sondern umgekehrt der Pyrit als Unwandlungsprodukt, also als Reduktionsbildung des Gypses entstanden sein sollte. Eine ausreichende Erklärung für die Entstehung einer solchen Reduktions-Pseudomorphose dürfte für diesen Fall schwer zu liefern sein.

Aus dieser Überlegung heraus unterzog ich die zahlreichen im August 1908 an Ort und Stelle von mir gesammelten Pyritspindeln einer genaueren Untersuchung, sowohl was ihren mineralischen Charakter, als auch ihre krystallographische Umgrenzung anlangt. Dabei ergab sich zunächst als richtig, dass wirklich Pyrit vorliegt; auch erschien sogleich unzweifelhaft, dass Pseudomorphosenbildung vorliegen müsse, da eine derart langgestreckte Gestalt, wie die $\frac{1}{2}$ bis reichlich 1 cm langen und zu

¹⁾ Geologischer Führer durch Bornholm, p. 106, Berlin 1899.

gleich meist sehr schlanken Pyritkörper sie besitzen, mit den vom Pyrit bekannten Krystallformen nicht in Einklang gebracht werden kann.

Die Beobachtung bestätigte ferner die Angaben DEECKE's, dass der Pyrit oft nur als äussere Kruste vorhanden sei und der innere Hohlraum bisweilen Gyps enthalte. Es erwies sich nun, dass dieser Gyps bald den ganzen inneren Raum in Gestalt eines krystallographisch einheitlichen Individuums erfüllen kann und in diesem Fall vom Pyrit wie von einer Drusenhaut überkrustet wird, bald aber auch nur einen Teil des Hohlraums der Pyritspindeln in Form mehrerer, oft sehr zahlreicher und dünn tafelförmiger Individuen ausfüllt. In letzterem Falle ist der Gyps ganz offenbar eine jüngere Bildung als der Pyrit und sicherlich aus der Zersetzung des Pyrits durch sauerstoffhaltige Sickerwässer entstanden. Man wird daher auch für den spätigen Gyps, der als ein Individuum den ganzen Hohlraum erfüllt, eine gleiche Entstehungsweise annehmen und den ihn überrindenden Pyrit als den älteren Teil ansehen müssen. Der Gyps kann hier auch schon deswegen nicht das ursprüngliche Mineral sein, weil die krystallographische Orientierung des den Hohlraum ausfüllenden Individuums, die an der vollkommenen Spaltbarkeit nach $\infty P\infty$ leicht erkannt werden kann, nicht mit der äusseren Flächenbegrenzung der Pyritspindeln in Einklang gebracht werden kann; diese müsste doch sonst die Krystallform des Gypsindividuums, wenn auch nur unvollkommen, wiedergeben.

Wenn nun der Pyrit nicht pseudomorph nach Gyps ist, wessen Krystallform bildet er denn nach? In dem Alaunschiefer selbst habe ich vergeblich nach Spuren eines anderen Minerals gesucht, welches durch den Pyrit verdrängt sein könnte; ausser Gyps habe ich in den Hohl-pseudomorphosen nur eine pulverige gelbe Masse beobachtet, welche wohl als Misy oder ein ähnliches Zersetzungsprodukt des Pyrits zu deuten ist. Doch fand ich in den etwas tiefer in der Schichtenfolge liegenden

Anthrakonitknollen der Peltura-Zone ähnlich geformte Ausscheidungen, die allerdings nur im Längs- und Querschnitt zu beobachten waren. Diese Gebilde erwiesen sich bei näherer Prüfung als wesentlich aus bituminösem Kalkspath bestehend, und zwar meist in Form eines einzigen Calcitindividuums, dessen glänzende Rhomboëder-Spaltflächen spiegelnd in's Auge fallen. Pyrit fehlt auch hier nicht, nur ist die Art seines Auftretens oft etwas anders als bei den Pyritspindeln des Alaunschiefers, indem er nicht immer als scharf abgegrenzte äussere Rinde ausgebildet ist, sondern dem Calcitindividuum oft auch in Form kleinster Körnchen, welche sich nicht auf die randliche Zone beschränken, dort aber doch am reichlichsten zu sein pflegen, eingesprengt ist. In vereinzelt Fällen erfüllt anstatt eines einheitlichen Individuums feinkörniger Anthrakonit, wie er das umschliessende Gestein zusammensetzt, den Innenraum zwischen den Pyritwänden dieser spindelförmigen Körper.

Man wird diese Beobachtungen an den Gebilden des Peltura-Anthrakonits nun auf die gesuchte Deutung der Pyritspindeln des Alaunschiefers anwenden dürfen und zunächst annehmen, dass beide ihrer Natur nach in enger Beziehung zu einander stehen. Für die letzteren würde demnach der Schluss naheliegen, dass sie als Pseudomorphosen von Pyrit nach Calcit aufzufassen seien, in denen der Kalkspath völlig der Auflösung anheimgefallen, vielleicht auch in den Fällen, wo ein einziges Gypsindividuum den inneren Hohlraum der Pyritspindeln erfüllt, durch unmittelbare Umsetzung aus dem Carbonat in das wasserhaltige Sulfat übergeführt worden sei. Mit der Entfernung der Calcits wäre dann eine zunehmende randliche Concentration des Pyrits Hand in Hand gegangen und der entstandene innere Hohlraum dann durch Zersetzung eines Teiles des auch sonst im Alaunschiefer reichlich verteilten Pyrits mit neugebildetem Gyps mehr oder minder vollständig ausgefüllt worden.

Diese Deutung darf auch wohl als im wesentlichen

zutreffend angesehen werden, doch birgt sie in ihrem ersten Teil den Mangel, dass die krystallographischen Formen der Pyritspindeln trotz des Fehlens einer völlig scharfen und klaren Flächenumgrenzung sich ebensowenig mit den Krystallformen des Calcits in Einklang bringen lassen, wie wir dasselbe für den Gyps schon früher erkannten. Eine spitz rhomboëdrische oder spitz skalenoëdrische Ausbildung kann deswegen hier nicht in Betracht kommen, weil die Flächen der besterhaltenen Pseudomorphosen an deren spitzen Enden deutlich paarig oder in der Vierzahl mit zwei stumpferen und zwei schärferen Kanten entwickelt sind. Auch scheint die rhomboëdrische Spaltbarkeit der ähnlichen Gebilde des Peltura-Anthraconits, soweit man erkennen kann, nicht in solchen Richtungen zu liegen, dass die äussere Umgrenzung sich als Flächen steiler Rhomboëder oder Skalenoëder deuten liesse.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich also mit Notwendigkeit, dass auch der Calcit hier nicht das ursprüngliche Mineral gewesen sein kann, sondern dass er gewissermassen nur ein Zwischenstadium darstellt und selbst als pseudomorph nach einem anderen, ursprünglicheren Mineral aufgefasst werden muss. In dem Alaunschiefer ist er bereits völlig der Zerstörung anheimgefallen, und der innere Hohlraum der meisten Pyritspindeln wird eben durch diese Wegführung des Kalkspaths zu erklären sein, der im Anthraconit der Peltura-Zone noch erhalten geblieben ist.

Nachdem der Gedankengang soweit gelangt und die Schwierigkeit einer befriedigenden Deutung, anstatt der Lösung näher zu kommen, nur vergrössert erschien, erhellte mir eine blitzartig auftauchende Erinnerung die Sachlage in erwünschter Weise. Nichts nämlich unter den unzähligen Krystallformen, die das Auge im Laufe der Jahre gesehen, schien mir eine so schlagende Ähnlichkeit mit der Umgrenzung der Pyritspindeln zu besitzen, als die als Pseudo-Gaylussit bekannten Pseudomorphosen, wie die Marscherde des Dollarts sowie meiner engeren

Heimat Schleswig-Holstein, besonders der Gegend von Tönning und Kating in Eiderstedt, sie gelegentlich umschliesst und wie sie in ähnlicher Ausbildung in Thüringen im Amte Gehren und Königsee und besonders von Sangerhausen in jugendlichen Spaltenausfüllungen tonigen Charakters in Zechsteingypsen gefunden worden sind¹⁾.

Ein näherer Vergleich dieser Pseudo-Gaylussite von Sangerhausen und Eiderstedt mit den fraglichen Gebilden Bornholms ergab nun in der That, abgesehen von der durchschnittlich erheblich geringeren Grösse der letzteren und ihrer infolge der gehäuften Umwandlungsprocesse, die sie erfahren, weniger scharfen Umgrenzung, eine so weitgehende Übereinstimmung in der Umgrenzung und besonders in der Anordnung der 2 mal 2 oder 4 Flächen an den beiden spitzen Enden, dass mir eine entsprechende ursprüngliche Entstehungsweise der Bornholmer Pseudomorphosen nicht mehr zweifelhaft ist.

Freilich besteht hier noch eine nicht unbedeutende Schwierigkeit. Die Pseudo-Gaylussite von Sangerhausen, Thüringen, Eiderstedt u. s. w. gelten nach der Überzeugung zahlreicher Mineralogen heute nicht mehr als Pseudomorphosen von Kalkspath nach monoklinem Gaylussit, von CaCO_3 nach $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, sondern als solche von Kalkspath nach Coelestin, hätten also auf die Bezeichnung »nach Gaylussit« oder als »Pseudo-Gaylussit« keinen Anspruch mehr. Doch nicht allein als ursprünglicher Gaylussit, wie BREITHAUPT deutete und andere nach ihm, oder als Coelestin, wie nach dem Vorgange von DESCLOIZEAUX jetzt meistens, in Sonderheit auch von LUEDECKE²⁾ angenommen wird, sind diese Pseudomor-

¹⁾ Andere Fundorte von Pseudo-Gaylussit finden sich in den am Schluss der Arbeit mitgetheilten Litteraturangaben. Diejenigen Thüringens und Eiderstedts sind hier in erster Linie herangezogen, weil mir Belegstücke derselben vorliegen.

²⁾ Die Minerale des Harzes, p. 371, Berlin 1896. Dort finden sich auch die wichtigsten Litteraturangaben über die Pseudo-Gaylussite, auf welche hier kurz Bezug genommen worden ist.

phosen gedeutet worden, sondern auch als solche nach Anhydrit, wie von GROTH, und nach Gyps, wie KENNGOTT that.

Ich kann nun zwar nicht daran denken, im Rahmen dieser kurzen Abhandlung ein kritisch begründetes und abschliessendes Urteil über alle Pseudo-Gaylussite überhaupt zu fällen, schon aus dem Grunde nicht, dass mir von Gaylussit weder natürliche noch künstliche Krystalle zum Vergleich mit den Pseudo-Gaylussiten der verschiedenen Fundorte vorliegen und ich daher für einen solchen Vergleich allein auf Litteraturangaben angewiesen wäre; trotzdem kann ich aber nicht umhin, auszusprechen, dass ich die anscheinend heute vorherrschende Auffassung, es handle sich nicht um Pseudomorphosen nach Gaylussit, sondern um solche nach Coelestin, nicht für hinreichend sicher begründet ansehen kann. Die Tatsache allein, dass, wie LUEDECKE erwähnt, durch WILLIAMS am Coelestin als ganz seltenes Vorkommnis auch eine der monoklinen Pyramide der Pseudo-Gaylussite ähnliche Pyramide P4 aufgefunden wurde, kann unmöglich genügen, die ältere Auffassung umzustossen, zumal da feststeht, dass die Gaylussite von Nevada von Pseudo-Gaylussiten begleitet werden, die dort doch wohl sicherlich ursprüngliche Gaylussite und nicht ursprüngliche Coelestine waren. Die Entstehung von CaCO_3 aus Gaylussit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ist auch in chemisch-mineralogischer Hinsicht viel leichter und einfacher zu erklären als die Ersetzung von SrSO_4 durch CaCO_3 .

Im allgemeinen wird zwar auch die Möglichkeit zugegeben werden müssen, dass Pseudomorphosen vom Charakter der Pseudo-Gaylussite nicht in jedem Fall Umwandlungsprodukte eines und desselben ursprünglichen Minerals sein müssen, sondern dass sie zum einen Teil auf Gaylussit, zum anderen vielleicht auch auf andere Mineralien, wie Anhydrit¹⁾ oder Gyps²⁾ oder auch Coele-

¹⁾ cf. P. GROTH: Mineral. Univers. Strassburg, 1878 pag. 142.

²⁾ cf. KENNGOTT in Poggend. Annal., Ergänzungsband 5 pag. 443.

stin¹⁾ u. s. w. zurückzuführen seien. Von den Pyritspindeln des cambrischen Alaunschiefers von Bornholm darf jedoch nach den bisherigen Darlegungen angenommen werden, dass sie ursprünglich die gleiche Substanz enthielten, aus welcher die bekannten Pseudo-Gaylussite von Sangerhausen und Eiderstedt entstanden sind. Dass diese ursprüngliche Substanz Gaylussit und nicht Coelestin war, halte ich trotz allem für das Wahrscheinlichste.

Ausser den bisher beschriebenen und als Pseudo-Gaylussit gedeuteten spindelförmigen Pyrit-Pseudomorphosen des Alaunschiefers und des Peltura-Anthraconits kommen in ersterem Gestein seltener noch andere, mehr oder minder abweichende Pseudomorphosen vor, deren Form nicht so ausgeprägt spindelförmig, sondern breiter ist und sogar ziemlich kurz und zugleich tafelförmig werden kann. Besonders die letzteren liessen eine annähernde krystallographische Deutung ihrer Umgrenzung erhoffen. Sie sind den spindelförmigen Pseudo-Gaylussiten teils in denselben Lagen des Alaunschiefers beigemengt, teils liegen sie in besonderen Schichten für sich allein, sind aber im ganzen viel seltener als jene. Abgesehen von ihrer abweichenden Gestalt und Flächenumgrenzung, die auf ein anderes Ursprungs-Mineral als den Gaylussit hinweisen, tragen sie den gleichen mineralischen Charakter wie die Pseudo-Gaylussite, mit denen sie zweifelsohne einen entsprechenden Entwicklungsgang, entsprechende Stadien der Umsetzung ihrer mineralischen Substanz teilen, mit denen sie zugleich entstanden und zugleich und in gleichem Sinne umgewandelt worden sein müssen.

Die Deutung ihrer krystallographischen Umgrenzung bereitet nicht geringere, sondern fast noch grössere Schwierigkeiten als beim Pseudo-Gaylussit, da es viel schwieriger ist, diese dünnen, plattenförmigen, inwendig auch meist hohlen Pseudomorphosen so aus dem Gestein heraus-

¹⁾ cf. DESCLOIZEAUX in *Annal. chim. phys.* (3) Vol. 7, 1843.

cf. ST. MEUNIER in *Bull. Soc. geol. France* (4) 4 pag. 296—298, 1904.

zulösen, dass man zu einer ausreichenden krystallographischen Beurteilung derselben gelangen kann. Auch hier besteht die gleiche Schwierigkeit, dass man lange vergeblich Umschau nach analogen Krystallformen bekannter Mineralien hält; doch auch hier glaube ich schliesslich zu einer zutreffenden Deutung gelangt zu sein. Es offenbarte sich nämlich während des sorgfältigen Präparierens dieser eigentümlichen Körper allmählich eine auffallende Ähnlichkeit mit den rhombisch hemimorphen Krystallen des Struvits, wie er vor langem in einer alten Düngergrube Braunschweigs in plattenförmigen, teils einfachen, teils verzwilligten Individuen gefunden worden ist. Glücklicherweise stand mir nun in der Mineralogischen Hochschulsammlung Braunschweigs ein ungewöhnlich umfangreiches Material dieses Braunschweiger Struvits, welcher sich von dem ehemals in Hamburg gefundenen bekanntlich krystallographisch nicht unwesentlich unterscheidet, zur Verfügung, so dass ich zu einem sehr weitgehenden Vergleich der Bornholmer Pseudomorphosen mit diesen Struvit-Krystallen gelangen konnte. Es ergab sich nun, dass erstere dem von SADEBECK¹⁾ auf Tf. 10 fig. 13 abgebildeten Typus II am nächsten kommen, indem auch sie ein Vorherrschen der am Struvit als $\infty P\infty$ aufgefassten Flächen zeigen, zu welchen klein noch $0P$ am einen Ende, $P\infty$ am anderen Ende, ferner schmal auch $P\infty$ hinzutreten scheinen. Eine weitere sehr auffällige Übereinstimmung mit den Struvit-Krystallen besteht in der Häufigkeit von Zwillingen, an denen $0P$ als Verwachsungsfläche auftritt. Die Pseudomorphosen zeigen dabei in der Region dieser Verwachsungsnaht oft eine leichte Verdickung. Mir liegen mehrere Struvit-Zwillinge vor, welche eine ganz überraschende Ähnlichkeit mit den Pseudomorphosen-Zwillingen in Grösse wie gesammter Gestalt besitzen.

Aus diesen Übereinstimmungen glaube ich schliessen

¹⁾ Tschermaks Mineral. Mitteilungen, Jahr. 1877 p. 103 tf. X.

zu müssen, dass sich auch in den Pseudomorphosen rhombisch hemimorphe Krystallform des ursprünglich an ihrer Stelle vorhandenen Minerals ausdrückt. Eine solche Krystallform gehört zu den Seltenheiten des Mineralreichs, indem Struvit und Kieselzinkerz die beiden bekannten Vertreter derselben sind, an denen auch die besprochene Zwillingsbildung in gleicher Weise auftritt. Es muss jedoch als ausgeschlossen erachtet werden, dass eines dieser beiden Mineralien, Struvit = $(\text{NH}_4)\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, und Kieselzinkerz = $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ursprünglich in dem cambrischen Alaunschiefer, als küstenfermem Absatz eines tiefen Meeres, ausgeschieden worden sei; jedenfalls bin ich nicht imstande, eine ausreichende Erklärung dafür zu geben, wie es in diesem Falle zur Bildung des einen oder des anderen Minerals hätte kommen können.

Es ergab sich daher die Notwendigkeit, nach anderen Mineralien von gleichen krystallographischen Eigenschaften und zugleich einer chemischen Constitution zu suchen, die einer hier möglichen Erstehungsweise entspräche. Der einzige Weg, der noch Hoffnung liess, zum Ziele zu gelangen, schien mir der zu sein, unter den Mineralien ähnlicher Bildungsweise, sowie ähnlichen Vorkommens, wie der Gaylussit sie besitzt, Umschau zu halten. Da muss er als glücklicher Zufall erachtet werden, dass von I. H. PRATT¹⁾ eine Anzahl von Mineralien, die im Bodenschlamm des Borax Lake von Californien den Gaylussit begleiten, beschrieben worden sind und dass sich unter diesen ein dem Gaylussit verwandtes Mineral, der Pirssonit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), befindet, welcher wie Struvit rhombisch hemimorph krystallisiert und auch nach $\infty P \infty$ tafelförmige Krystalle bilden kann, die den Struvit-Krystallen des Braunschweiger Typus nicht unähnlich sind. Zwar wurden Zwillingsbildungen wie am Braunschweiger Struvit bisher am Pirssonit nicht beob-

¹⁾ Americ. Journ. of Science (4) 2 pag. 123—135, 1896.
Zeitschr. f. Krystallographie 27 pag. 416—429, 1897.

achtet; auch ist augenfällig, dass die tafelförmigen Pseudomorphosen des Bornholmer Alaunschiefers mit den Struvit-Krystallen der Braunschweiger Düngergrube weit vollkommener übereinstimmen, als mit den Krystallformen, welche PRATT vom Pirssonit mitteilt. Aber dennoch bleibt es wahrscheinlich, dass es die Formen ehemaligen Pirssonits sind, welche diese Pseudomorphosen widerspiegeln.

Es ist in der That ein merkwürdiges Zusammentreffen und eine merkwürdige Analogie, die wir hier zwischen den Ausscheidungen des cambrischen marinen Alaunschiefers Bornholms und denen des jugendlichen Bodenschlammes im kontinentalen Borax Lake Californiens erkennen. Aber es ist eine Analogie, welche zugleich eine nicht zu unterschätzende Stütze für die Richtigkeit der Folgerungsreihen, die uns auf langem Wege zum Endergebnis geführt haben, bildet. So stützen sich nun die auf zwei Wegen gewonnenen Endschlüsse derart, dass die Unsicherheit, welche während des einen wie des anderen Weges doch bestehen blieb, durch das Zusammentreffen am gleichen Endziele gemindert, wenn nicht aufgehoben wird. Konnte man am Schlusse der ersten Folgerungsreihe, welche uns zu der Annahme führte, dass Pseudo-Gaylussit vorliege, noch Zweifel hegen, ob nicht doch ein anderes Mineral das ursprüngliche gewesen sei, so wird man am Schluss der zweiten Folgerungsreihe, die uns zum Pseudo-Pirssonit, wie ich in Analogie zu jenem sagen möchte, führte, sowohl den Zweifel am Pseudo-Gaylussit fallen lassen dürfen, als auch wechselseitig dem Pseudo-Pirssonit ein gleiches zubilligen.

Wollen wir schliesslich den Gang der Entwicklungsgeschichte der Bornholmer Pseudomorphosen noch einmal kurz zusammenfassend schildern, so stellt er sich uns nunmehr etwa wie folgt dar:

Im Bodenschlamm des obercambrischen Meeres schieden sich zunächst Gaylussit und Pirssonit, und mit ihnen vielleicht noch andere Mineralien, in freien Krystallen aus. Die Substanz beider wurde bald darauf in Calcitsubstanz,

mit der jene beiden Mineralien eine nicht allzu entfernte Verwandtschaft besitzen, übergeführt. Zugleich fand infolge reichlich vorhandener organischer Substanz, die jedenfalls für den Peltura-Anthrakonit auf massenhafte Trilobiten zurückzuführen ist, eine Durchtränkung mit Bitumen und dadurch Dunkelfärbung des Kalkpaths statt. Die reducierende Wirksamkeit der gleichen organischen Substanz führte gleichzeitig auch zur Bildung von Pyrit, welcher entweder in Körnern mehr oder minder ungleichmässig die ganze Calcitmasse imprägnierte oder sich krustenartig auf die randlichen Zonen der Kryställchen concentrierte.

Erst in einem späteren, wahrscheinlich sehr viel späteren Stadium gelangte dann durch circulierende Sickerwässer der Kalkpath zur Auflösung und Fortführung, wurde vielleicht zum Teil auch direkt durch einen den Sickerwässern infolge der Vitriolisierung eines Teiles des im Gestein reichlich vorhandenen Pyrits eigentümlichen Gehalt an Schwefelsäure in Gyps umgewandelt. Infolge der Auflösung des meisten Kalkpaths konnte sich nun auch der in Körnern eingestreute Pyrit mehr und mehr randlich zu einer festen Rinde oder Wand concentrieren, wo dies nicht schon von Anfang an geschehen war, und so zur Entstehung völliger Hohl-Pseudomorphosen führen, wie wir sie jetzt massenhaft im Alaunschiefer sehen.

Allmählich fiel dann auch ein Teil dieses Pyrits der Pseudomorphosen oder der sonst im Gestein verteilten Pyritsubstanz der Zersetzung durch andauernde Einwirkung der Sickerwässer anheim, und die Folge dieser Vitriolisierung war die Neubildung von Calciumsulfat, welches als Gyps entweder den ganzen Innenraum der Hohl-Pseudomorphosen einnahm oder in Form kleinster Blättchen und Kryställchen die Pyritwandungen innen überzog. Auch das gelbliche oder weissliche, Misy-artige Pulver, dass öfter als teilweise Ausfüllung der Hohlkörper oder als Bestäubung der Gypsblättchen beobachtet wird, ist

ohne Zweifel ein Produkt dieses bis heute sich fortsetzenden Zersetzungsprocesses des Pyrits.

Als allerletztes Stadium in der Entwicklungsgeschichte der Pseudomorphosen ist noch dasjenige der völligen Zerstörung der gesammten Pyritsubstanz der Wände nebst der völligen Auflösung auch des neugebildeten Gypses der Innenräume zu nennen, so dass schliesslich nur noch mit Misy erfüllte oder bestäubte, oder auch ganz leere Hohlräume als Negativformen der ursprünglichen Krystalle und späteren Pseudomorphosen übrig blieben. Auf den meist mit Misy und lockerem Brauneisen überzogenen gröberen Kluftflächen und Schichtenfugen des Alaunschiefers, auf denen das Wasser ungehindert eindringen und seine Zersetzungsarbeit vollenden konnte, sehen wir dieses letzte Stadium oft vor uns.

Interessant ist an den Pseudo-Gaylussiten und den Pseudo-Pirssoniten des Alaunschiefers ausser ihrem wechselreichen Werdegange auch ihr hohes geologisches Alter. Während die bisher bekannt gewordenen Gaylussite, Pirssonite und Pseudo-Gaylussite durchweg jugendlichen Alters sind und entweder aus alluvialen Meeresabsätzen, wie diejenigen der Marschklei Eiderstedts und des Dollartbusens, oder aus salzigen Binnenlandbecken oder aus jugendlichen Spaltenausfüllungen im älteren Gebirge stammen, reicht die Entstehung der ehemaligen Gaylussite und Pirssonite Bornholms weit in das Altertum der Erdgeschichte zurück, und dementsprechend sind die Veränderungen, welche die ursprünglich im Thonschlamm des cambrischen Meeres ausgeschiedenen Krystalle erfahren haben, viel mannigfaltigerer Natur als bei den jugendlichen Pseudo-Gaylussiten, deren Umwandlung aus der Substanz des Gaylussites ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) in diejenige unreinen Kalkpaths eine verhältnismässig rasche und einfache war.

Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die geologisch jungen Gaylussite und Pirssonite in Salz- und Thonschlamm verhältnismässig geringer Tiefe zur Aus-

scheidung gelangten, während von den obercambrischen Alaunschiefern angenommen werden muss, dass sie in sehr erheblichen Tiefen des Oceans zum Absatz kamen. Zwar ist man über ihre Bildungsweise und die Tiefe des Bildungsraumes verschiedener Ansicht gewesen und noch heute stimmen die Auffassungen über solche Sedimente nicht überein, indem von anderen für Graptolithenschiefer und Dictyonemaschiefer, welche letzteren im Bornholmer Gebiet sicherlich eine ganz entsprechende Entstehung besitzen, wie die nur wenig unter ihnen liegenden Alaunschiefer mit den Pyrit-Pseudomorphosen, keine grösseren Tiefen als die etwa des nordschleswig'schen Wattenmeeres angenommen worden sind. Dem widersprechen jedoch zahlreiche, hier nicht näher zu erörternde Umstände; in Sonderheit vermag ich eine Beobachtung, welche das Gegenteil beweist, mitzuteilen, da ich in eben den in Frage stehenden Alaunschiefern von Limensgade neben den Pseudo-Gaylussiten Reste einer lyssakinen Spongie, *Protospongia*, auffand, wie solche aus den tieferen Alaunschiefern des Cambriums von Andrarum in Schonen längst bekannt geworden sind¹⁾ und auf erhebliche Tiefen des Meeres, in welchem ihr Muttergestein sich niederschlug, schliessen lassen. Abgesehen von dem Anlass, aus welchem dieser Fund von *Protospongia* hier zunächst Erwähnung findet, besitzt er auch für die palaeontologische Kenntnis des Bornholmer Cambriums deswegen ein besonderes Interesse, weil dieser nahe der Grenze von Cambrium und Silur, zwischen Peltura-Zone und Dictyonema-Schiefer liegende Alaunschiefer-Horizont bisher meiner Wissens als völlig fossilieer gegolten hat. Man wird in ihm jetzt vielleicht nicht mehr vorgeblich nach weiteren *Protospongia*-Resten suchen.

Die so ausserordentlich grosse Verschiedenheit des Bildungsraumes der geologisch jugendlichen Gaylussite,

¹⁾ cf. H. RAUFF: Palaeospongiologie, p. 237 (Palaeontographica Bd. 40, Stuttgart 1893/94).

Pirssonite und Pseudo-Gaylussite von demjenigen, in dem das Muttergestein der cambrischen Pseudomorphosen sich niederschlug, ist eine sehr auffällige Thatsache. Man würde sich ja von vornherein für berechtigt halten können, aus der Analogie zwischen den geologisch jungen und den geologisch alten Vorkommnissen, wie sie sich aus unserer Schilderung ergeben hat, auch auf analoge Entstehungsweise beider zu schliessen; doch verbietet sich aus genanntem Grunde ein solcher Schluss. Es muss im Gegenteil als ausgeschlossen erachtet werden, dass auf dem Grunde eines tiefen Oceans der Alterthumszeit unserer Erde physikalisch-chemische Verhältnisse geherrscht haben sollten, die mit denen in Vergleich gestellt werden könnten, welche wir aus den der Verdunstung anheimfallenden und anheimgefallenen Salzbecken unserer kontinentalen Binnenlandsenken kennen. Ein vermittelndes Glied bilden freilich die Pseudo-Gaylussit-Vorkommnisse, welche der altalluvialen Marscherde der Dollarts und Eiderstedts entstammen, als der küstennahen Ablagerung einer seichten Lagune des Meeres. Dennoch bleibt die Schwierigkeit bestehen, für die ursprüngliche Entstehung der ehemaligen Gaylussite und Pirssonite im Bodenschlamm des tiefen cambrischen Meeres eine ausreichende Erklärung zu geben, zumal da uns aus entsprechenden Ablagerungen der übrigen geologischen Formationen solche Krystallisations-Produkte bisher völlig unbekannt geblieben sind. Vielleicht wird man sie bei näherer Untersuchung nun auch in anderen marinen Thonen auffinden, da man annehmen darf, dass ähnliche Vorbedingungen für ihre Entstehung auch für viele der letzteren Geltung besaßen, und man überdies auch mit der Möglichkeit rechnen muss, dass ähnliche pseudomorphe Vorgänge und Erscheinungen ihre ursprüngliche Natur stark verdunkelt haben könnten.

In neuester Zeit ist über die Entstehung von Gaylussit und Pirssonit und deren Vorbedingungen, wie sie sich bei chemischen und chemisch-physikalischen Laboratorium-Experimenten oder aus Vorgängen bei chemisch-

technischen Processen, wie z. B. dem Le Blanc-Process der Sodagewinnung, ergeben haben, manches veröffentlicht worden. Es würde den Rahmen dieser Abhandlung überschreiten, wollte ich darauf hier näher eingehen. Doch wird es nicht unnütz sein, hier eine Anzahl solcher Litteraturangaben mitzuteilen, auf welche man bei weiterem Verfolgen der noch ungelösten, auf die chemisch-physikalischen Entstehungsbedingungen der ursprünglichen Mineralausscheidungen im cambrischen Alaunschiefer bezüglichen Fragen voraussichtlich wird zurückgreifen müssen. Einen Teil der nachfolgend angeführten Litteraturangaben verdanke ich der freundlichen Hülfe meines Freundes und Kollegen Prof. Dr. J. BIEHRINGER in Braunschweig. Es seien an solchen zunächst genannt:

- Zeitschr. f. angewandte Chemie, Bd. 18 pag. 1137—1141.
- Zeitschr. f. unorgan. Chemie; Bd. 51 pag. 181—201.
- LIEBIGS Annalen, Bd. 351 pag. 87.
- Journal f. prakt. Chemie, 2te Reihe, Bd. 75 pag. 556.
- Bull. Soc. Chim. Paris (3) 29 pag. 726—728, 1903.
- Compt. rend. de l'Acad. sciences 123, 1896 pag. 1023.
- Zeitschr. f. Krystallographie 29 pag. 415.
- Compt. rend. de l'Acad. sciences 136 pag. 1444—1446, 1903.

Ferner seien ausser den von LUEDECKE loc. cit. pag. 371 citierten Abhandlungen über natürlichen Gaylussit resp. Pseudo-Gaylussit genannt:

- L. MEYN: Geognostische Beobachtungen in den Herzogtümern Schleswig-Holstein, 1848 pag. 591.
- W. HÄIDINGER: Über eine Lokalität von Gaylussit-Pseudomorphosen (Pogg. Ann. d. Phys., 53 pag. 142 ff.).
- A. ARZRUNI: Künstlicher und natürlicher Gaylussit (Zeitschr. f. Krystallogr., 6, pag. 24).
- B. SILLIMAN: Über den Gaylussit im Nevada-Gebiet (Amer. Journ. 42 Nr. 125 pag. 120—121).
- E. E. SCHMIDT (Neues Jahrb. f. Miner. etc. 1882, 1 pag. 353 Referat.)

F. E. GEINITZ: Studien über Mineralpseudomorphosen (Neues Jahrb. f. Miner. etc. 1876 pag. 483).

O. C. FARRINGTON: New Mineral Occurrences (Field Columb. Museum, Publ. 44, Geol. Series 1 Nr. 7).

A. FAVRE et Ch. SORET: Sur une reproduction de la Gaylussite (Bull. Soc. Mines de France 1881, IV, 6 pag. 168).

CH. O. TRECHMAN: Über einen Fund von ausgezeichneten Pseudo-Gaylussit- (Thinolit-Jarrowit-) Krystallen (Zeitschr. f. Krystallogr. 35, 1901, pag. 283—285).

F. J. P. VAN CALKER: Beitrag zur Kenntnis des Pseudo-Gaylussits und über dessen Vorkommen in Holland (Zeitschr. f. Krystallogr. 28, 1897 pag. 556—572).

ST. MEUNIER: Remarquables Pseudomorphoses rencontrées dans le sol de la place de la République à Paris (Bull. Soc. geol. de France (4), 4 pag. 296—298, 1904).

Schliesslich wird auf Gaylussit und Pseudo-Gaylussit auch in nachfolgenden Handbüchern näher Bezug genommen:

P. GROTH: Mineral. Univers. Strassburg 1878 pag. 142.

P. GROTH: Chemische Krystallographie II, 1908 pag. 217—220.

J. ROTH: Chemische Geologie I, 1879 pag. 201.

HAUSMANN: Handb. d. Mineralogie II, 2, 1847 pag. 1282.

R. BRAUNS: Chemische Mineralogie, 1896 pag. 350.

BLUM: Pseudomorphosen, III pag. 13.

LUEDECKE: Minerale des Harzes, 1896 pag. 371.

etc. etc.

Nachschrift.

Erst nach Abschluss des Manuskriptes erhielt ich Kenntnis von einer Arbeit O. B. BÖGGILD's¹⁾, konnte durch die Güte des Verfassers auch Krystalle des dort beschriebenen

¹⁾ Struvit fra Limfjorden (Meddel. fra Dansk geol. Forening Nr. 13. København 1907).

eigentümlichen Vorkommens von Struvit im postglacialen marinen Cardium-Schlamm kennen lernen. Das Bemerkenswerteste an diesem bereits im Jahre 1875 gemachten Funde ist, dass Struvit hier zum ersten Mal in marinem Bodenschlamm gefunden worden ist. Man würde daher vielleicht doch mit der Möglichkeit rechnen dürfen, dass die von mir als Pseudo-Pirssonit gedeuteten tafelförmigen Pseudomorphosen des Bornholmer Alaunschiefers ursprünglich Struvit gewesen sein könnten, zumal ihre krystallographische Ausbildung derjenigen des Braunschweiger Struvits ja am ähnlichsten ist. Andererseits bleibt jedoch zwischen den chemisch-physikalischen Bildungsbedingungen in diesem litoralen Cardiumschlamm und denen, die im Bodenschlamm des tiefen cambrischen Meeres herrschten, sicherlich eine so grosse Verschiedenheit bestehen, dass ich mich vorderhand nicht dafür entscheiden kann, die Auffassung dieser Pseudomorphosen als Pseudo-Pirssonit zu Gunsten der Annahme, dass es sich um Pseudo-Struvit handle, aufzugeben. Vielleicht gelingt es den dänischen Kollegen, auf Grund vollständigeren Materials von Bornholm hier zu voller Klarheit zu gelangen und möglicherweise auch noch andersgestaltete Pseudomorphosen aufzufinden, welche besser erhalten sind als die, welche ich hier wegen zu mangelhaften Erhaltungszustandes ganz aussen vor gelassen habe; dass solche vorhanden sind, wurde schon oben pag. 358 angedeutet.
