Die Structur der Diatomeenschale,

verglichen mit gewissen aus Fluorkiesel künstlich darstellbaren Kieselhäuten.

Von

Prof. **Max Schultze.**

Hierzu Taf. I.

Uebergiesst man eine Mischung von Flussspathpulver und Sand mit concentrirter Schwefelsäure, so entwickelt sich schon bei gewöhnlicher Temperatur alsbald Fluorkieselgas, wie aus den aufsteigenden weissen Dämpfen ersichtlich ist. Die Dämpfe verdanken bekanntlich ihre weisse Farbe der feinzertheilten Kieselerde, welche durch Zersetzung des Fluorkiesels mit dem Wasser der athmosphärischen Luft entsteht. Lässt man sie an einem festen Körper vorbeistreichen, so hängt sich ein Theil der Kieselerde als feines weisses Pulver diesem an, und ist die Menge der ausgeschiedenen Kieselerde um so grösser, je vollständiger die athmosphärische Luft mit Wasserdämpfen gesättigt ist. Hat man die Mischung in einem weithalsigen Kolben vorgenommen, und setzt auf den Kolbenhals eine kurze Röhre von feuchtem Löschpapier, so schlägt sich an der inneren Oberfläche dieser Papierröhre so viel Kieselerde nieder, dass bald die ganze Röhre von der schneeartigen Masse mehr oder weniger vollständig verstopft ist. Aber auch ohne solche feuchte Röhre setzt sich an der Mündung des Kolbenhalses nach und nach Kieselerde ab, wie allen Chemikern bekannt sein wird, die Fluorkieselgas, wie gewöhnlich geschieht, durch Erwärmung des angeführten Gemisches entwickelten, und den Kolben nach dem Gebrauch bei Seite setzten. Seine Mündung zeigt sich nach Verlauf eines Tages oder länger meist mit einem Pfropf der feinvertheilten Kieselerde ausgefüllt.

Prof. *Heintz* in Halle machte mich, als ich vor einigen Jahren in seinem Laboratorium arbeitete, auf die sonderbaren Bildungen aufmerksam, welche man bei mikroskopischer Untersuchung so ausgeschiedener Kiesel-

erde zu Gesichte bekommt. Es sind dünnwandige, verschieden grosse Blasen, kuglig, birnförmig, wurstförmig, meist mit Luft gefüllt, so dass dieselben auf Wasser schwimmen. Zertrümmert man sie durch Reiben zwischen zwei Glasplättchen und betrachtet das Präparat jetzt bei circa 300facher Vergrösserung mit dem Mikroscop, so erkennt man auf der convexen Oberfläche vieler der Blasen-Bruchstücke eine Zeichnung ähnlich derjenigen vieler Diatomeen, etwa der Pleurosigma, der Coscinodiscus. Rundliche oder an der Basis sechsseitige Höcker bedecken in mehr oder weniger regelmässiger Anordnung die Oberfläche des Kieselhäutchens, und ist es nicht selten, dass man Blasen oder Blasenbruchstücke mit so regelmässiger Zeichnung findet, dass sie geradezu wie Theile einer Diatomeenschale erscheinen. Die Merkwürdigkeit der Bildung regte in mir sofort den Gedanken zu einer genaueren Untersuchung des Zustandekommens dieser Formen an, doch blieb die Sache ruhen bis ich vor einiger Zeit durch Kenntnissnahme der Abhandlung von *Heinrich Rose* „Ueber die verschiedenen Zustände der Kieselsäure" Poggendorff's Annalen 1860 Bd. 68, p. 147 an meine Beobachtungen erinnert und zu einer Wiederaufnahme derselben veranlasst wurde. Da *H. Rose* in dem gedachten Aufsatze der in Rede stehenden Kieselerdeausscheidungen keine Erwähnung thut, ich auch sonst nirgends etwas über dieselben auffinden konnte, musste ich annehmen, dass wohl noch kein Chemiker sie einer näheren Prüfung unterworfen habe.

H. Rose stellt in der angeführten Abhandlung vollständiger als bis dahin geschehen, die Unterschiede der amorphen und der krystallinischen Kieselsäure nach ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften zusammen. Namentlich wird auf die zum Theil schon früher bekannte Verschiedenheit des specifischen Gewichtes beider als diagnostischem Merkmale ein hoher Werth gelegt. Während dasselbe bei der krystallisirten Kieselsäure fast immer ziemlich genau 2,6 beträgt, erhebt es sich bei der amorphen nur bis 2,3, ist aber gewöhnlich niedriger, kann sogar bis auf 1,8 und tiefer sinken.

Unter allen Umständen musste es bei den grossen Verschiedenheiten, welche hiernach in dem specifischen Gewichte der verschiedenen Arten von Kieselsäure vorkommen, interessant erscheinen, dasselbe auch bei der auf dem vorhin beschriebenen Wege gewonnenen Kieselsäure zu bestimmen, was bisher noch nicht geschehen war. Um eine grössere Menge der zu untersuchenden Substanz zu sammeln, wurden einige Kolben mit dem zur Entwickelung des Fluorkieselgases gebräuchlichen Gemisch gefüllt und in einem dem Luftzuge ausgesetzten Raume bei 5—10° R. sich selbst überlassen. Die Pfröpfe von schneeartiger Kieselerde, welche sich nach ein bis zwei Tagen an der Mündung der Kolben gebildet hatten, wurden abgelöst, und auf ein Filtrum gebracht zum Auswaschen der sie durchtränkenden Kieselfluorwasserstoffsäure. Das Auswaschen der Säure geht langsam von Statten, wird aber beschleunigt durch vorheriges Zerreiben der Massen im Achatmörser. Heisses und kaltes Wasser wurden so lange aufgegossen, bis auch die letzten Spuren der Säure getilgt waren. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes, welche ich unter freundlicher Unterstützung von Prof. *Landolt* in dessen Laboratorium vornahm, geschah durch Wiegen einer noch unbekannten Menge im tarirten Platintiegel in destillirtem Wasser, nachherigem Abdampfen des Wassers im Wasserbade und endlichem Austrocknen der Masse bei 120—150° C. bis zu constantem Gewichte. Drei in dieser Weise angestellte Versuche mit Substanz von verschiedenmaliger Bereitung ergaben folgende Zahlen:

	Tiegel in Luft.	Tiegel in Wasser.	Tiegel mit Substanz in Luft.	Tiegel mit Substanz in Wasser.	Absolut. Gewicht d. Substanz.	Spec. Gew. der Substanz.
1)	10,4838	9,9920	10,8840	10,2280	0,4002	2,437
2)	7,7690	7,4090	8,7650	8,0450	0,9960	2,61
3)	7,7690	7,4090	8,3780	7,7820	0,6090	2,58

Ich war an die Bestimmung des specifischen Gewichtes mit grosser Spannung gegangen. Die Betrachtung der

aus Fluorkiesel bei dessen Zersetzung in feuchter atmosphärischer Luft erhaltenen Kieselhäute hatte in mir den Gedanken angeregt, dass in ihnen möglicherweise eine krystallisirte Kieselsäure vorläge. Wie erwähnt, zeigt ein Theil der Kieselerdeblasen auf der äusseren Oberfläche eine Zeichnung, welche an die mancher Diatomeenschalen erinnert. Es sind an der Basis sechsseitige Höcker, welche dichtgedrängt in regelmässigen Reihen stehen. Die Schönheit des Anblickes bei Flächenansichten wetteifert mit dem einer regelmässig sechsseitig facettirten Insecten-Hornhaut. Seitenansichten der Höcker, die man bei der kugligen Beschaffenheit der Blasen auch an deren Bruchstücken leicht gewinnt, zeigen oft eine scharfe Zuspitzung jedes Einzelnen derselben, so dass bei Betrachtung eines geeignet ausgewählten Präparates der Gedanke, man habe es mit kleinen Bergkrystallpyramiden zu thun, sich sofort aufdrängt. Dass bei anderen Höckern die scharfe Zuspitzung fehlt, auch in Betreff der Basis mancherlei Uebergänge von dem Kreisrunden zum Sechsseitigen vorkommen, konnte möglicherweise davon abhängen, dass die Kieselfluorwasserstoffsäure, welche sich gleichzeitig mit der Kieselerde bildet, und jedes Häutchen überzieht, in vielen Fällen ein vollständiges Auskrystallisiren hindere, oder dass gar der neben dem Fluorkiesel noch frei vorhandene Fluorwasserstoff ein Anätzen der kleinen Krystalle bewirke. Um letzteres zu verhindern, liess ich den bei gewöhnlicher Temperatur sich entwickelnden langsamen Strom von Fluorkieselgas durch eine horizontalliegende, drei Fuss lange, mit grobgestossenem Wasserglas gefüllte weite Glasröhre streichen. Die am Ende derselben sich bildenden Kieselabscheidungen, welche nun wenigstens mit Fluorwasserstoff nicht mehr in directe Verbindung kommen konnten, unterschieden sich in nichts von den anderen, auf gewöhnlichem Wege gewonnenen. Die Berührung aber und Einhüllung der neugebildeten Kieselerdeblasen von Seiten der gleichzeitig entstehenden Kieselfluorwasserstoffsäure zu verhindern, wollte nicht glücken. [1])

---

1) Wie ich aus dem oben citirten Aufsatze von *H. Rose* entnehme,

Ein nicht geringes Interesse musste unser Gegenstand in Betreff der Deutung der so eigenthümlichen Structur der Diatomeenschalen erwecken. Ein grosser Theil der so mannigfaltigen Arten dieser an der Grenze von Thier- und Pflanzenreich stehenden Organismen zeichnet sich durch Reliefverhältnisse der äusseren Fläche der Kieselhaut aus, welche sich auf reihenweis stehende Höcker oder Vertiefungen der Oberfläche zurückführen lassen. Die Mikroskopiker sind über die Natur der Zeichnung verschiedener Meinung. Während bei den grösseren Formen und denen mit grober, schon bei schwächerer Vergrösserung erkennbarer Tüpfelung diese offenbar auf verdünnte

---

ist es *Daubrée*, gelungen, durch gegenseitige Einwirkung von Fluorsilicium und Wasserdämpfen innerhalb einer glühenden Porcellanröhre krystallisirte Kieselerde zu erhalten (Annales des mines, 4 serie, Tom. XVI, 1849). *Daubrée* sagt an dem angeführten Orte, nachdem er seine Versuche mit dem schwerer darzustellenden Chlorsilicium und Wasserdämpfen geschildert, durch deren Zusammenbringen in einer glühenden Röhre er deutlich krystallisirte Kieselerde erhielt, folgendes: „Le fluorure silicique étant facile à obtenir, je l'ai aussi soumis à la réaction de la vapeur d'eau dans un tube chauffé au rouge-blanc; je n'ai obtenu dans ce tube que de la silice formant un enduit à structure fibreuse; cette silice ressemble, par son état fibreux, à celle qui adhère aux masses de fer que l'on receuille quelquefois près du creuset de certains hauts-fourneaux etc.

Dans une autre expérience, en faisant arriver par deux tubes opposés le fluorure silicique et la vapeur d'eau, dans un creuset chauffé au blanc auquel était adapté un tube de dégagement, je n'ai obtenu que du quarts en petits grains vitreux et amorphes."

Aus diesen Worten scheint mir nun allerdings noch durchaus nicht hervorzugehen, dass *Daubrée* wirklich krystallisirte Kieselerde erhielt; denn die letztangeführten Worte sind doppelsinnig, und von der Kieselerde, welche sich an Hohöfen absetzt und eine fibröse Structur besitzt, wies *H. Rose* nach (Poggendorff Ann. 1849 Bd. 108, p. 25 und p. 651), dass sie das specifische Gewicht der amorphen Kieselerde besitze und das Licht nicht doppelt breche. Versuche, welche ich mit Herrn *Landolt* in der Weise einleitete, dass langsame Ströme von Fluorkiesel und Wasserdampf oder statt des letzteren nur feuchte athmosphärische Luft in eine stark glühende Porcellanröhre mehrere Stunden hindurch geleitet wurden, ergaben nur geringe Mengen eines feinen Pulvers von amorpher Kieselerde, an welchem auch von fibröser Structur nichts zu sehen war.

Stellen der Schale zurückzuführen ist, können wir die Ursache der sogenannten Streifung oder der Punctirung bei Pleurosigma angulatum und ähnlich fein gezeichneten Arten nicht so leicht ergründen. Es erscheint hier oft, als hätten wir es mit in regelmässigen Reihen stehenden, pyramidalen, an der Basis sechsseitigen Höckern zu thun, ganz derselben Art also, wie an den von uns aus Fluorkieselgas künstlich bereiteten Blasen.

Jedenfalls liegt es nahe, da die erwähnte Zeichnung vielen verschiedenen Diatomeenarten in wesentlich gleicher Weise zukommt, den letzten Grund derselben vielleicht weniger in einen organischen Bildungsprocess, vielmehr in die die Abscheidung der Kieselerde unter solchen wie den gegebenen Verhältnissen überhaupt beherrschenden Gesetze zu verlegen. Und wenn sich Krystallisation als letzter Grund nachweisen liesse, so wäre das Räthsel gelöst.

In noch anderen Fällen freilich musste unter allen Umständen auch hier eine Ausscheidung amorpher Kieselerde angenommen werden. *Graf Schaafgotsch* hat das specifische Gewicht der Diatomeen der sogenannten Infusorienerde der Lüneburger Haide untersucht und zu 2,2 bestimmt. Hier haben wir es also zweifelsohne mit amorpher Kieselerde zu thun. Aber die Diatomeen dieser Erde gehören nicht zu denen, welchen die auf Krystallisation deutende Reliefzeichnung der Oberfläche zukommt. Es sind Süsswasserformen, während vorzugsweise den Seewasserdiatomeen allgemeiner die erwähnte Zeichnung eigen ist. Es wäre denkbar, dass das Seewasser die Ausscheidung der Kieselerde in krystallinischem Zustande begünstige. Ich habe, als ich diesem Gedankengange folgte, mir grosse Mühe gegeben, Seewasserdiatomeen zur Bestimmung des specifischen Gewichtes in grösserer Menge zu sammeln, aber vergeblich, und die fossilen Ablagerungen derselben, welche man leichter in grösserer Menge erhalten kann, sind so reich an anderen Kieselbildungen entschieden amorpher Natur, Spongiennadeln und Polycystinen, dass eine Trennung nicht möglich ist.

Aber wie, die Diatomeenschalen brechen ja nach

Ehrenberg's u. A. Angaben das Licht nicht doppelt, wie krystallinische Kieselerde thut? In der That behauptet neuerdings *Hugo von Mohl*, den bisherigen Angaben entgegen, nach der von ihm angegebenen sehr wesentlichen Verbesserung des Polarisationsapparates erscheine die Pleurosigma angulatum mit sechseckigen Punkten auf der Oberfläche so deutlich doppeltbrechend [1]), dass sich bei gekreuzten Nicols, also auf dunkelem Gesichtsfelde, sogar die Sechsecke der Oberfläche erkennen lassen. Und unsere künstlich dargestellten Kieselhäute brechen das Licht, wie ich hinzufüge, mit grosser Entschiedenheit doppelt. Also von dieser Seite kein Hinderniss, die Structur gewisser Diatomeenpanzer aus Krystallisation der Kieselerde zu erklären.

Die oben angeführten Bestimmungen des specifischen Gewichtes der künstlich dargestellten Kieselhäute mussten diese Ansicht wesentlich stützen. Drei mit verschiedenen Substanzproben angestellte Versuche hatten als specifisches Gewicht ergeben 2,437, 2,61 und 2,58. Die beiden letzten Zahlen namentlich stehen in so vollständiger Uebereinstimmung mit dem hohen specifischen Gewichte der krystallisirten Kieselerde, dass die Sache in dem vorausgeahnten Sinne entschieden schien. Wenigstens für die Annahme einer Mischung von krystallinischer und amorpher Kieselerde schienen die Versuche gedeutet werden zu müssen.

Aber schon die nächsten weiteren Proben machten die Richtigkeit dieser Annahme in hohem Grade zweifelhaft, und bald stellte sich als ganz sicher heraus, dass weder bei den aus Fluorkiesel künstlich dargestellten Kieselhäuten noch bei den Diatomeenpanzern krystallinische Structur die Ursache der eigenthümlichen Formen sei. Es zeigte sich nämlich erstens dass wir es bei den aus Fluorkiesel dargestellten Häuten gar nicht mit reiner Kieselerde zu thun haben, wie anzunehmen wir uns anfänglich für berechtigt halten

---

1) *Poggendorff's* Annalen 1859, Bd. 108, p. 179, 185. Botanische Zeitung 1858, p. 10.

mussten. Die fraglichen Häute enthalten eine constante Menge von Fluor oder Fluorkiesel beigemischt. Durch Glühen wird Fluorkiesel ausgetrieben und die Substanz zeigt jetzt das niedrige specifische Gewicht der amorphen Kieselerde. 2) Die Erscheinungen der Doppelbrechung, welche sie darbieten, sind nicht wie beim Bergkrystall, nicht wie bei einem Körper mit positiver Axe doppelter Brechung, sondern wie bei einem negativ doppeltbrechenden Körper. 3) Die von *H. v. Mohl* beschriebenen und von *Valentin* bestätigten als Doppelbrechung aufgefassten Erscheinungen, welche gewisse Diatomeenschalen zwischen gekreuzten Nicols darbieten, sind gar keine Erscheinungen der Doppelbrechung sondern auf Depolarisation durch Refraction zurückzuführen. Sie verschwinden, sobald man die Schalen in Canadabalsam oder eine ähnliche der Kieselerde in der Stärke der Lichtbrechung verwandte Substanz bringt.

Was zunächst die chemische Zusammensetzung der aus Fluorkieselgas auf die angegebene Weise dargestellten Häute betrifft, so ist durch die auf meine Bitte von Prof. *Landolt* gütigst angestellten Untersuchungen Folgendes ermittelt worden, und theile ich die mir gegebenen Notizen hierunter wörtlich mit: „Die Substanz, welche zu den nachstehenden Versuchen diente, wurde nach ihrer Gewinnung zunächst mit warmem Wasser bis zum Verschwinden der sauren Reaction ausgewaschen, um alle anhängende Kieselfluorwasserstoffsäure zu entfernen, und sodann in Platintiegeln im Luftbade bei einer Temperatur von 130° getrocknet. Gewöhnlich war hierbei ein 15 bis 20stündiges Erhitzen nöthig, um ein völlig constantes Gewicht zu erhalten.

Die so getrocknete Masse enthält, wie aus weiter unten angegebenen Versuchen hervorgeht, ausser Kieselsäure noch beträchtliche Mengen von Fluor. Zur Analyse wurde mit kohlensaurem Natron aufgeschlossen, die Schmelze mit heissem Wasser behandelt und durch kohlensaures Ammoniak die Kieselsäure ausgefällt. Das Filtrat, aus welchem beim Abdampfen nochmals kleine Mengen von Kieselsäure sich abschieden, versetzte man so lange mit

Salpetersäure, bis der grösste Theil der kohlensauren Salze gesättigt war und fällte hierauf mit Chlorcalciumlösung. Der gemischte Niederschlag von Fluorcalcium und kohlensaurem Kalk wurde nach dem Abfiltriren geglüht und vermittelst Essigsäure der Kalk entfernt.

Auf diese Weise mit Substanz von verschiedener Darstellung ausgeführte Analysen gaben folgende Resultate:

1) 0.9905 Gr. Subst. lieferten
   0.8516 Gr. Kieselerde = 85.91 p. C.
   0.2448 Gr. Fluorcalcium = 11.95 p. C. Fluor.
2) 2.089 Gr. Subst. gaben
   1.807 Gr. Kieselerde = 86.50 p. C.
   0.514 Gr. Fluorcalcium = 11.98 p. C. Fluor.
3) 0.710 Gr. Subst. gaben
   0.609 Gr. Kieselerde = 85.47 p. C.

Wird die vollständig getrocknete Substanz in einer Kugelröhre bis zum Glühen erhitzt, so tritt plötzlich Entwicklung von Fluorkieselgas und Wasserdampf ein. Beide zersetzen sich wieder mit einander, und es beschlägt sich der obere Theil der Kugel mit Kieselerde, während zugleich aus dem offenen Ende der Röhre sauer reagirende Gase entweichen. An einer in dieselben gehaltene, mit Wasser befeuchtete Glasplatte wird Kieselerde abgeschieden; sie enthalten demnach noch unzersetzten Fluorkiesel. Versucht man den Gewichtsverlust, welchen die Substanz hierbei erleidet, durch Glühen derselben im Platintiegel zu ermitteln, so erhält man nicht ganz übereinstimmende Zahlen, was darin seinen Grund hat, dass die aus dem Fluorkiesel abgeschiedene Kieselerde sich zum Theil fest an die Wände und den Deckel des Tiegels anlegt. Es wurden folgende Gewichtsverminderungen der Substanz bei starkem Glühen über der Gebläselampe erhalten:

1)	0.3830 Gr.	Subst.	verloren	0.0590 Gr.	= 15.40	p. C.
2)	0.5580 Gr.	„	„	0.0860 Gr.	= 15.41	„
3)	0.7705 Gr.	„	„	0.1055 Gr.	= 13.70	„
4)	1.1262 Gr.	„	„	0.1725 Gr.	= 15.32	„
5)	0.9260 Gr.	„	„	0.1530 Gr.	= 16.52	„

Der nach dem Glühen bleibende Rückstand bildet eine weisse feste zusammengesinterte Masse, die ein be-

deutend niedrigeres specifisches Gewicht zeigt, als die ungeglühte Substanz. Während diese letztere eine Dichte von ungefähr 2,6 besitzt, resultirten dagegen für die geglühte Substanz nach zwei mit Mengen von 0.4795 und 0.504 Grammen ausgeführten specifischen Gewichtsbestimmungen die Zahlen 1,75 und 1,87.

Auch die geglühte Substanz ist noch keine reine Kieselerde, sie enthält noch kleine Mengen von Fluor. Die Analysen, zu welchen wieder Substanzen von verschiedener Darstellung benutzt wurden, gaben folgende Resultate:

1) 1.0765 Gr. Subst. lieferten
   1.014 Gr. Kieselerde = 94.19 p. C.
   0.068 Gr. Fluorcalcium = 3.06 p. C. Fluor.
2) 0.4905 Gr. Subst. gaben
   0.4939 Gr. Kieselerde = 94.58 p. C.

Mit Fluorammonium im Platintiegel erhitzt, verflüchtigte sich die Substanz vollständig.

Dass die aus Fluorkiesel durch langsame Zersetzung mit Wasser abgeschiedene Masse keine reine Kieselerde ist, geht aus obigen Versuchen mit Bestimmtheit hervor. Obgleich die übereinstimmenden Ergebnisse der Analysen der ungeglühten und geglühten Substanz dafür zu sprechen scheinen, dass dieselbe eine bestimmte chemische Verbindung darstellt, so ist es dennoch nicht geglückt, aus den erhaltenen Zahlen eine nur irgendwie annehmbare Formel abzuleiten. Am wahrscheinlichsten ist es, dass in der ungeglühten Substanz das Fluor als Kieselfluorwasserstoffsäure enthalten ist, indem nur unter dieser Annahme sich die Bildung von Wasser und Fluorkiesel beim Glühen erklären lässt. Berechnet man das Fluor auf diese Verbindung, so ergiebt sich für die ungeglühte Substanz ein Gehalt von 79.6 p. C. Kieselerde und 15.1 p. C. Kieselfluorwasserstoffsäure, welche Zahlen sich nicht zu 100 ergänzen und auch in keinem stöchiometrischen Verhältnisse zu einander stehen.

Ob die Substanz eine bestimmte chemische Verbindung darstellt, oder ob sie bloss Kieselerde ist, welcher ein Theil Kieselfluorwasserstoffsäure so hartnäckig anhängt, dass er sich durch Auswaschen mit warmem Wasser und

Erhitzen auf 130° noch nicht entfernen lässt, bleibt daher noch unentschieden. Jedenfalls verdient diese Frage durch weitere Untersuchungen erledigt zu werden."

Es wurde oben gesagt, dass die aus Fluorkiesel dargestellten Häute das Licht doppelt brechen. Man überzeugt sich davon leicht mit Hülfe des gewöhnlichen, den Mikroscopen beigegebenen Polarisationsapparates, doch um die Erscheinungen genauer studiren zu können, ist es nöthig, die von *Hugo v. Mohl* angegebene Beleuchtungslinse mit dem unteren *Nicol*'schen Prisma zu verbinden, deren Vortrefflichkeit ich bereits an anderen Orten gerühmt habe [1]).

Bei der grossen Verschiedenheit, welche in Betreff der Dicke der in Rede stehenden Kieselhäute herrscht, lässt sich erwarten, dass auch die Erscheinungen der Doppelbrechung sehr verschieden deutlich hervortreten werden. An den dünnsten, zartesten, unmessbar feinen Häuten ist die Doppelbrechung auch bei der günstigsten Beleuchtung kaum wahrzunehmen [2]). Dagegen wird sie um so deutlicher, je dicker die Häute sind. Zur Orientirung über die hier in Betracht kommenden Verhältnisse sind am geeignetsten die annähernd kugligen Blasen mit dicken Wänden, auf deren Oberfläche kleine Höcker in regelmässigen Reihen stehen, wie eine in fig. 1 abgebildet ist. Eine solche Hohlkugel erscheint bei gekreuzten Nicols auf dunklem Gesichtsfelde als hellaufleuchtender, je nach der Dicke der Wand verschieden breiter Ring. Gegen das Centrum desselben nimmt die Helligkeit allmählig ab, während seine äussere Grenze gegen das Dunkel des Ge-

---

1) Die Hyalonemen, ein Beitrag zur Naturgeschichte der Spongien. Bonn 1860, p. 18; Archiv für Anatomie, Physiologie etc., herausgegeben von *Reichert* und *du Bois Reymond* 1861, p. 232.

Hartnack in Paris verbindet auf meinen Vorschlag die Beleuchtungslinse gleich mit der Fassung des unteren Nicol. Seine Polarisationsapparate haben dadurch an Brauchbarkeit sehr gewonnen.

2) Natürlich muss bei solchen Untersuchungen das von oben auf den Objecttisch auffallende Licht durch einen schwarzen Schirm auf das sorgfältigste abgehalten werden.

sichtsfeldes scharf absticht. Der Ring ist durch ein schwarzes, von dem dunkeln Centrum ausgehendes Kreuz in vier Quadraten eingetheilt. Farben bietet das Bild keine dar. Es gleicht dasselbe, abgesehen von den äusseren Höckern etwa demjenigen, welches eine mässig dickwandige Pflanzenzelle mit geschichteter Cellulosewand im Polarisationsapparate bietet. [1]) Was das Verhalten der einzelnen Höcker der Oberfläche betrifft, so stellt sich heraus, dass die in der Mitte der Kugel stehenden, welche ihre Spitze dem Beobachter zukehren, gar keine Zeichen der Doppelbrechung darbieten, während die der Peripherie der Kugel näher stehenden das Licht um so deutlicher doppelt brechen, je mehr sich die Richtung ihrer Axe dem Horizonte nähert.

So weit sind die Erscheinungen ungefähr dieselben, wie sie auftreten müssten, wenn die Hohlkugel aus kleinen, radiärstehenden Quarzkrystallen zusammengesetzt wäre, deren Spitzen alle nach aussen stehen. Eine solche, regelmässig radiärkrystallinische Quarzhohlkugel müsste im Polarisationsapparate ein ähnliches Kreuz geben. Es fragt sich aber, ob zu dem Kreuz nicht noch farbige Ringsysteme hinzu kommen müssten, und ob nicht im Centrum des Kreuzes die von der Circularpolarisation abzuleitenden Farben sichtbar sein würden. Leider können wir uns eine solche radiärkrystallinische Kieselerdehohlkugel zur Vergleichung nicht verschaffen, da dergleichen in der Natur nicht vorkommen. Aber radiärkrystallinische Kalkspathhohlkugeln von mikroscopischer Kleinheit gibt es, welche, wenn auch optisch negativ und nicht circularpolarisirend, doch in den Grunderscheinungen zur Vergleichung dienen können. Es sind die nahezu kugeligen Kammern mancher Polythalamien, welche ich meine. Betrachtet man eine solche Schale, z. B. einer Globigerina in Canadabalsam oder in Glycerin unter dem Polarisationsmikroscop, so erhält man bei gekreuzten Nicols das Kalkspathkreuz mit 5 bis 6 farbigen Ringsystemen. Dem Bilde dieser

---

1) Vergl. *Hugo v. Mohl*, botanische Zeitung, 1858, Nro. 1, 2, 52. Taf. 1, fig. 1.

Kalkspathkugel vollkommen analog, nur positiv statt negativ, würde das Bild einer Bergkrystallhohlkugel sein müssen, wenn in ihr, wie in unseren Gebilden supponirt worden, die Axen der Einzelkrystalle alle radiär stehen. Was die Farbenringe betrifft, so würde die Zahl derselben bei der Bergkrystallhohlkugel unter sonst gleichen Verhältnissen geringer sein müssen, als bei der Kalkspathkugel, da Kalkspath das Licht viel stärker doppelt bricht als Bergkrystall.

Jedenfalls war an unseren künstlichen Kieselerdekugeln, wenn dieselben als krystallinisch gelten sollten, zunächst zu entscheiden, ob sie positiv oder negativ doppelt brechend seien. Nur wenn sich ersteres fand, waren weitere Betrachtungen, ob diese Doppelbrechung von krystallinischer Structur herrühre oder nicht, zulässig. Hier stellte sich denn sofort heraus, dass die Doppelbrechung der Kieselerdehäute der eines negativen Körpers gleiche, und war damit denn übereinstimmend mit den Resultaten der chemischen Untersuchung und der Bestimmung des specifischen Gewichtes der geglühten Substanz jeder Gedanke an krystallinische Structur derselben beseitigt.

Es fragt sich nun, worauf beruht die doppeltbrechende Eigenschaft der aus Fluorkiesel dargestellten Kieselhäute?

Untersucht man dickere derartige Häute im Querschnitt, z. B. an queren Bruchflächen (fig. 2 u. 6), so fällt sofort eine sehr feine Schichtstreifung auf, welche auf eine allmählige schichtweise Bildung der Kieselhäute deutet. Dass diese um so dicker werden, je länger sie dem Strom langsam sich zersetzenden Fluorkieselgases ausgesetzt sind, ist leicht zu constatiren. Die innerhalb der ersten 24 Stunden sich bildenden Kieselerdeblasen sind sehr dünnwandig, in den nächsten Tagen schon, wenn man den Gasstrom unausgesetzt durch die schon abgesetzte Kieselerde hindurchstreichen lässt, findet man dickwandigere Blasen, und entfernt man erst nach 4—6 Wochen die Kieselerdeablagerungen von der Mündung des Glaskolbens oder der auf ihn aufgesetzten Röhre, während welcher Zeit, wenn die Menge des im Kolben enthaltenen Gemisches von Sand, Flussspath und Schwefelsäure recht

gross war, die Entwickelung von Fluorkieselgas fortdauerte, so erhält man eine Masse, die sich schon beim Zerreiben zwischen den Fingern als aus sehr festen Klümpchen zusammengesetzt zeigt, und, wie die mikroscopische Untersuchung nachweist, in der That aus mehr oder weniger dickwandigen, zum Theil ganz soliden Gebilden besteht, welche die deutlichste Schichtstreifung zeigen (fig. 7). In der Form sehr unregelmässig, kuglig, birnförmig, wurstförmig und zu den mannigfaltigsten Gruppen vereinigt, stellen sich in dem fein gebänderten Querschnitt Bilder dar, welche an die complicirtesten Bandachatzeichnungen erinnern (fig. 8), während die kleinen Gruppen mehr oder weniger regelmässiger, hyaliner Kugeln die Formen mancher Hyalithe ins Gedächtniss rufen.

Dass Hyalithe das Licht depolarisiren war *Moigno*[1]) bekannt, und *Ehrenberg*[2]) nennt die Erscheinung Doppelbrechung. Genauere Angaben über Structurverhältnisse und optisches Verhalten der Hyalithe fehlen. Es musste nach Obigem von Interesse sein, zu erfahren, wie weit die Doppelbrechung bei den aus amorpher Kieselerde bestehenden Mineralien verbreitet sei, und auf welche Structurverhältnisse sie sich zurückführen lasse. So unternahm ich es, eine Anzahl verschiedener Opale, Hyalithe und andere Kieselerde-Mineralien zu untersuchen. Ich fertigte von denselben dünne Schliffe, oder brachte sie in feinen Splittern in Kanadabalsam unter das Polarisationsmikroscop. Bei diesen Versuchen stellte sich bald das Resultat heraus, dass alle aus amorpher Kieselerde bestehenden Mineralien, welche eine Schichtung um gewisse Centra zeigen, eine auf diese Schichtung zurückführbare Doppelbrechung beobachten lassen, während diejenigen Kieselerdemassen, an denen solche schichtweise Ablagerung auf keine Weise zu demonstriren ist, auch von jeder Doppelbrechung frei sind. Aus feingeschichteten Kieselerdekugeln bestehen alle Hyalithe,

---

1) Repertoire d'optique moderne I, 1847, p. 377.

2) Berichte über die Verhandl. d. Akad. d. Wissensch. z. Berlin aus d. J. 1849, p. 67.

diese mögen membranartige Krusten oder einzelne Tropfen oder tropfsteinartige Massen bilden. Ich untersuchte Hyalithe von Walsch, Jordansmühle, Schwanheim, Kaiserstuhl, Ungarn, Mexico. Legt man den Schliff einer Hyalithkugel unter das Mikroscop, so erkennt man meist sehr deutlich zahlreiche concentrische Linien um ein mehr oder weniger genau in der Mitte liegendes Schichtungscentrum, und wendet man den Polarisationsapparat an, so tritt bei gekreuzten Nicols, also dunkelm Gesichtsfelde, die Hyalithmasse als hellleuchtender Körper hervor, geziert mit einem schwarzen Kreuz, dessen Mitte das Schlichtungscentrum ist. Von farbigen Ringsystemen ist nur dann, wenn der Schliff dick ist oder eine ganze, unverletzte Hyalithkugel angewendet wurde, eine Andeutung am Rande der Kugel zu sehen.

Gewöhnlich sind im Hyalithe viele Kugeln zu mehr oder weniger dichten Massen verschmolzen. Der Polarisationsapparat giebt bei Anwendung eines Schliffes durch solche complicirtere Hyalithmassen sofort die verschiedenen Schichtungscentra als Mittelpuncte der verschiedenen Kreuze an, welche das Polarisationsbild zieren, welche Kreuze zwar oft sehr unregelmässige Formen haben, wenn die Kugeln verdrückt und ungleichmässig ausgebildet sind, doch ihren Zusammenhang mit der Schichtung sofort erkennen lassen.

Diese Kreuze haben stets die Eigenschaften wie bei einem negativ doppelbrechenden Körper, verhalten sich also wie die Kreuze der künstlich aus Fluorkiesel dargestellten Kugeln, denen die Hyalithkugeln auch in Betreff der concentrischen Schichtung gleichen. Es wäre der Untersuchung werth, ob diejenigen Hyalithe, deren Entstehung mit der Entwickelung von Fluorsiliciumgas in Verbindung gebracht worden, wie *Scacchi* nach Beobachtungen am Monte nuovo bei Neapel und auf Ischia gethan [1]), sich auch in chemischer Beziehung enger an unsere künstlich gebildeten Kieselkugeln anschliessen, namentlich

---

1) *Landgrebe*, Naturgeschichte der Vulkane. 2ter Band. 1855. p. 313.

ob sie eine gewisse Menge von Fluorsilicium oder Kieselfluorwasserstoffsäure gebunden enthalten.

Mit dem Hyalith offenbar innig verwandt ist der Kieselsinter. Die ziemlich durchsichtigen Sinter von Santa Fiora, die ich untersuchte, sind concentrisch geschichtet wie die Hyalithkugeln und negativ doppeltbrechend. Auf Ischia sollen auch Hyalithe und Kieselsinter zusammen vorkommen, was allerdings vom Geyser, wo die Sinter-Bildungen am verbreitetsten sind, so viel ich weiss, nicht bekannt ist, doch sah ich unter den vielen von Herrn stud. *W. Preyer* kürzlich aus Island hierher mitgebrachten Sinterbildungen Manche, die offenbar mit Hyalith die grösste Verwandtschaft zeigen.

Von den Erscheinungen der Doppelbrechung vollständig frei sind die Opale, namentlich die durchsichtigen edlen und Feueropale, wie auch *Ehrenberg* schon beobachtete (l. c. p. 68). Dagegen scheinen wieder Uebergänge von Opal und Hyalith zu existiren. In der hiesigen Universitäts-Mineraliensammlung befinden sich schöne Stücke eines fein gestrickt-tropfsteinartigen Opales von *Dubrik* in Ungarn. Halbdurchsichtig wie Opal, stellenweise leicht gelb oder milchweiss gefärbt, verhält er sich in seiner Structur und Brechung doch ganz wie Hyalith. Die Kieselstäbchen und Zapfen haben eine mittlere Schichtungsaxe, um welche Alles concentrisch angelagert ist. Senkrecht auf diese geschliffen zeigen sie im Polarisationsapparat ein negatives Kreuz. Auch ist mir ein Fall bekannt, wo die amorphe Kieselerdemasse, welche ein versteinertes Holz erfüllt, Hyalithstructur zeigt, d. h. in zahllosen kleinen concentrisch geschichteten Kugeln abgelagert ist, die das Licht negativ doppelt brechen. Es findet sich diese Structur an den von *Oschatz* unter dem Namen Pinites Thomasii verkauften Schliffen. Unter den *Schmid-Schleiden*'schen Kieselhölzern, zu deren Untersuchung mir Professor *Knoblauch* in Halle Gelegenheit gab, finden sich neben vielen krystallinischen drei mit ganz amorpher Kieselmasse erfüllte. Es sind das die mit den Namen Peuce australis, Peuce pauperrima und Quercinium compactum bezeichneten Präparate.

Das specifische Gewicht stimmt mit der optischen Untersuchung, es ist bei den beiden erstgenannten zu 1,9 und 2,0 angegeben. Von dem dritten Holze ist das specifische Gewicht nicht bekannt. An diesen dreien ist keine Spur concentrischer Schichtung der Kieselerde wahrzunehmen, so dass die Bildung bei Pinites Thomasii eine Ausnahme zu sein scheint. Das Präparat von Peuce pauperrima bietet aber die interessante Erscheinung dar, dass die Wände der Pflanzenzellen ihre doppeltbrechenden Eigenschaften wie im frischen Zustande erhalten haben, und sich also im Querschnitt negativ doppeltbrechend verhalten. Andeutungen von dieser Structur zeigt auch das Präparat von Quercinium compactum. Ein viertes Kieselholz der *Schmid-Schleiden*'schen Suite mit niedrigem specifischen Gewicht ist Schmidites vasculosus. Die optische Untersuchung zeigte, dass hier in viel amorphe Kieselerde zerstreute Kugeln krystallinischer Kieselerde abgelagert sind, ähnlich wie ich auf Schliffen des Cascholong-Opales von Island an den Stellen fand, wo die abwechselnden Bänder amorpher und krystallinischer Substanz sich berühren. Diese Kugeln krystallinischer Kieselerde zeigen im Polarisationsmikroscop kein Kreuz und keine Farbenringe, sondern ganz unregelmässig wechselnde Farben, sie müssen also wohl Aggregate unendlich kleiner, unregelmässig durcheinander gelagerter Krystalle sein.

Nach Obigem hätten wir also, was Structur und optisches Verhalten betrifft, zwei Arten amorpher Kieselerde-Mineralien zu unterscheiden, 1) die ganz homogenen, welche keine Spur von Doppelbrechung zeigen, hierher als Paradigma die edlen Opale, 2) die fein concentrisch geschichteten, aus Kugeln oder tropfsteinartigen Massen gebildeten, welche Doppelbrechung zeigen, die mit der Schichtung in Verbindung steht, und die immer negativ sind; hierher die Hyalithe, die Kieselsinter, und verwandte Bildungen.

Welches nun ist die Beziehung der Doppelbrechung zur Schichtung, und was mag der Grund sein, dass einige geschichtete Körper, wie die Kieselerdebildungen mit welchen wir uns hier beschäftigten, sich negativ, andere

concentrisch geschichtete Körper dagegen wie z. B. die Amylonkörner sich positiv verhalten?

Zur Doppelbrechung gehört, dass die molekuläre Structur des betreffenden Körpers nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene sei. Krystalle des regulären Systems brechen das Licht nicht doppelt, da sie nach allen Richtungen gleichmässig ausgebildet sind, eine Regelmässigkeit der molekulären Structur besitzen, welche den in den übrigen Systemen krystallisirenden Körpern abgeht, die daher sämmtlich, sobald sie durchsichtig genug sind, doppelt brechende Eigenschaften beobachten lassen.

Diese Ungleichmässigkeit in der molekulären Structur eines durchsichtigen Körpers, die zur Doppelbrechung führt, lässt sich bekanntlich in einem ursprünglich homogenen Körper künstlich erzeugen durch Druck oder Zug, durch Hervorrufen von Spannungszuständen, wie sie z. B. verschiedene Temperatur in verschiedenen Tiefen einer Glaskugel erzeugt. Diese Spannungszustände können vorübergehende sein, wie bei Temperaturwechsel, sie können aber auch bleibend angelegt werden, z. B. durch schnelle Erhärtung einer weichen glühenden Glaskugel. Eine Kugel homogenen Glases, welche durch Eintauchen in heisses Wasser von aussen plötzlich erwärmt wird, befindet sich vor der gleichmässigen Durchwärmung in einem Zustande, in welchem man dieselbe in Betreff der in verschiedenen Tiefen herrschenden verschiedenen Temperatur geschichtet nennen könnte. Jede Schicht befindet sich der von den angrenzenden Schichten abweichenden Temperatur wegen in einer Spannung, und da diese Spannung in allen Tiefen vorhanden, ist die Kugel durch und durch doppeltbrechend. Diese Doppelbrechung schwindet mit der gleichmässigen Durchwärmung.

Dasselbe findet natürlich statt, wenn eine gleichmässig durchwärmte Kugel in kaltes Wasser gelegt wird. Dieselbe bricht das Licht so lange doppelt als noch Verschiedenheiten der Temperatur in verschiedenen Schichten vorhanden sind. Dennoch sind beide Fälle nicht gleich. Das Polarisationsbild der von aussen erwärmten Kugel, das Kreuz mit den farbigen Ringsystemen, verhält sich

positiv, wie bei einer rechtwinklig auf die optische Axe geschliffenen Bergkrystallplatte, das der von aussen erkälteten Kugel negativ wie beim Kalkspath.

Die Ursache des positiven oder negativen Verhaltens während der Doppelbrechung lässt sich hier also in den Spannungszuständen finden, welche in einer von aussen erwärmten oder in einer von aussen erkälteten Kugel herrschen, sie lässt sich zurückführen auf die Verschiedenheit in der Kraft der radial und der tangential wirkenden Zugkräfte, deren Verhältniss zu einander bei der Erwärmung von Aussen das umgekehrte sein muss als bei der Erkältung.

Dieselbe molekuläre Spannung, wie bei ungleicher Temperatur, lässt sich im homogenen Glase bekanntlich auch durch Druck erzeugen. Eine Glaskugel, welche von aussen gedrückt wird, verhält sich negativ doppeltbrechend, eine Hohlkugel, welche von innen einen Druck erleidet, ist positiv [1]).

Mit diesen Daten können wir einen Versuch machen, die Doppelbrechung der nicht krystallinischen concentrisch geschichteten Körper in der unorganischen und organischen Natur zu erklären [2]).

Wenn wir verschiedene doppeltbrechende Körper unter einander vergleichen wollen, so haben wir vor Allem nach der Lage der optischen Axen zu fragen. Bei Glaskugeln, welche durch gleichmässig von Aussen einwirkende Erwärmung oder Erkältung doppelt brechend gemacht sind, können wir unendlich viele Axen doppelter Brechung annehmen, welche alle durch das Centrum der Kugel hindurchgehen, um welches herum die Temperaturdifferenzen also auch die Spannungszustände vollkommen gleichmässig angeordnet sind [3]). Das Kreuz und die Ringsysteme einer

---

1) *Neumann*, die Gesetze der Doppelbrechung des Lichtes etc. in d. Abhandl. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin aus d. J. 1841, Th. II.

2) Vergl. meine Bemerkungen über diesen Gegenstand in dem Archiv für Anatomie, Physiologie etc. 1861, pag. 238.

3) *Brewster*, Handbuch der Optik, deutsch von *Hartmann*, 1835, 2ter Band, pag. 31.

solchen Kugel erleiden keine Veränderung, nach welcher Richtung hin man auch die Kugel drehen mag. Ganz dasselbe findet statt bei den Hyalithkugeln, den Amylonkörnern oder anderen geschichteten doppeltbrechenden Kugeln. Auch sie haben unendlich viele Axen doppelter Brechung, in jedem das Schichtungscentrum treffenden Durchmesser eine. Liegt das Schichtungscentrum excentrisch, so ist das Polarisationsbild auch ein verschobenes. Man kann diese Verschiebung, die bei den meisten Amylonkörnern constant vorkommt, auch an den Glaskugeln leicht erzeugen, wenn man sie, statt gleichmässig ringsum, einseitig erwärmt oder erkältet. Sofort zeigt sich das Kreuz, welches bei allseitig vorrückender Erwärmung ein ganz regelmässig centrales ist, einseitig entwickelt wie bei einem Amylonkorn, dessen Schichtungscentrum ganz an die Peripherie gerückt ist.

Hiernach würde es sich also bei dem Hyalithe oder bei unseren künstlichen Kieselerdekugeln, die ihre Doppelbrechung krystallinischer Structur nicht verdanken, darum handeln, ob sich die Schichten, aus denen dieselben bestehen, in einem Znstande der Spannung befinden ähnlich der Glaskugel mit ungleicher Temperatur in verschiedenen Tiefen. Und da unsere Kieselbildungen negativ doppeltbrechend sind, müsste diese Spannung also dieselbe sein wie bei einer Glaskugel, die innen wärmer ist als aussen, oder die einem gleichmässigen Drucke von aussen ausgesetzt ist. Wollten wir uns den Zustand jeder einzelnen Schicht versinnlichen, so könnten wir ihn vergleichen demjenigen einer dünnen Firniss- oder Collodium-Schicht, welche auf die Oberfläche einer Kugel aufgetragen, aus dem flüssigen in den festen Zustand übergegangen ist, und nun auf ihre Unterlage einen Druck ausübt, oder einer solchen, die an der inneren Oberfläche einer elastischen Hohlkugel fest wurde, und indem sie sich im Festwerden etwas zusammenzog, die innige Adhäsion an der inneren Oberfläche der Hohlkugel nicht aufgab, sondern letztere gleichsam sich nachzog, wobei die Hohlkugel, wenn sie durchsichtig ist, auch Erscheinungen der Doppelbrechung in negativem Sinne an-

nehmen muss, grade wie wenn sie von aussen comprimirt wäre.

Zur näheren Prüfung dieser Annahmen verfertigte ich mir kleine, einem Glasfaden angeschmolzene Glaskugeln und prüfte ihre Homogenität unter dem Polarisationsmikroscope. Auf solche, welche keine Spuren von Doppelbrechung zeigten, trug ich vielfache dünne Collodiumschichten auf, mit der Vorsicht, dass die vorhergehende Schicht jedesmal erhärtete ehe die folgende darüber gelegt wurde. So erhielt ich dünn geschichtete Kugeln mit einem Kern aus homogenem Glase, bei denen jede Schicht in einem solchen Spannungszustande erhärtet sein musste, dass das Polarisationsbild des Ganzen dem einer aussen gedrückten Kugel entsprechen, also negativ sein musste. In der That entsprach die Doppelbrechung dieser Kugeln ganz der Voraussetzung. Dieselben gaben in Canadabalsam eingelegt zwischen gekreuzten Nicols ein regelmässiges, sehr deutlich entwickeltes Kreuz mit den Eigenschaften wie beim Kalkspath.

Die Hyalithkugeln wachsen zweifelsohne wie die Kieselsinter, durch Ansatz von Aussen, und wenn die Kieselerde, aus der sie entstanden, in gelöstem Zustande in der Umgebung — Wasser oder Dampf — enthalten war, so musste sie im Festwerden sich einer trocknenden Firnissschicht ähnlich verhalten, eine Spannung annehmen, die ihre Schichten zu negativ doppeltbrechenden machte. Dass die aus Fluorkiesel dargestellten Hohlkugeln sich durch äussere Auflagerung verdicken können, wenn sie dem Gasstrom längere Zeit ausgesetzt bleiben, werden wir unten näher verfolgen. Eine Verdickung der Wand durch innen abgelagerte Schichten kommt aber auch, und wie es scheint in noch grösserer Ausdehnung vor. Beiderlei Wachsthumsarten müssen, wie das Beispiel mit den Collodiumhäuten lehrt, zu negativ doppeltbrechenden Ablagerungen führen.

Dass auch bei den doppeltbrechenden geschichteten organischen Körpern, wie Cellulose, Amylon, Cutikularsubstanz, Spannungszustände als Ursache der Doppelbrechung angenommen werden können, und dass

auch hier die Art der Doppelbrechung sich mit der Art der Spannung auf natürliche Weise in Uebereinstimmung bringen lasse, habe ich an einem anderen Orte [1]) auseinandergesetzt.

Wir kehren jetzt zu unseren aus Fluorkiesel dargestellten Kieselhäuten zurück, um deren Structur- und Skulpturverhältnisse noch etwas näher zu erläutern und dann eine Vergleichung derselben mit ähnlich aussehenden Skulpturen der Diatomeenpanzer auszuführen. Die Oberfläche der in Rede stehenden Häute oder Hohlgebilde zeigt, wenn die Entwickelung von Fluorkiesel und seine Zersetzung an der feuchten atmosphärischen Luft recht langsam vor sich ging und die Procedur nicht zu früh unterbrochen wurde, fast constant kleine, mehr oder weniger scharf zugespitzte Höcker in regelmässiger oder unregelmässiger Vertheilung. Je kleiner sie sind, um so regelmässiger pflegt ihre Anordnung zu sein, und an den in fig. 15, 16, 17 bei 350facher Vergrösserung abgebildeten Präparaten lässt die Regelmässigkeit nichts zu wünschen übrig. Dieselben gewähren in der Flächenansicht ungefähr den Anblick der bei circa 800facher Vergrösserung mittelst der *Amici*'schen oder *Hartnack*'schen Immersionslinsen betrachteten Haut von Pleurosigma angulatum. Die Seitenansicht fig. 17 weicht in sofern ab, als, wie ich hier gleich bemerken will, Höckerbildungen auf der Oberfläche der genannten Diatomeen nicht zur Wahrnehmung kommen. Aber auch noch feinere und erst mit den obenerwähnten besten Vergrösserungen erkennbare Punktirungen finden sich auf den dünneren der künstlich dargestellten Kieselhäute, so dass eine Musterkarte von Probeobjecten für alle bisher gebaute Linsensysteme aus denselben ausgelesen werden könnte.

Diese feinen Reliefbildungen können uns ihrer geringen Grösse wegen keinen Aufschluss über ihre Entstehung geben. Es machen dieselben einfach den Eindruck als wenn die ganze Kieselhaut wenigstens an der äusseren Oberfläche aus kleinen, dicht aneinander stehenden Kü-

---

1) Archiv für Anatomie, Physiologie etc. 1861, pag. 240 ff.

gelchen zusammengesetzt wäre, von denen dann oft ein Theil eine pyramidale Zuspitzung erhielt.

Instructiver für ein genaueres Studium ihrer Entstehung sind die grösseren kugel- oder kegelförmigen Erhabenheiten, welche auch oft über ansehnliche Strecken mit grosser Regelmässigkeit angeordnet vorkommen (fig. 11, 12, 14; fig. 3, 4, 5), in andern Fällen mit kleinen abwechseln (auch oft mit grosser Regelmässigkeit wie in fig. 13 oder unregelmässiger fig. 18, 19) oder ohne Ordnung nebeneinander liegen wie fig. 10 und 20. Die Basis dieser Kegel ist entweder regelmässig sechsseitig, wenn sie bei vollkommen gleicher Grösse dicht aneinander liegen, oder verschoben sechsseitig wie fig. 20; oder aber die Basis ist eine Kreisscheibe, wie z. B. bei den grösseren Höckern der fig. 19. Liegt das Präparat in Wasser, und sind die Spitzen der Höcker nach oben gewandt, so erscheinen diese als helle Lichtpunkte in dunklerem Felde, wenn man das Mikroscop auf diese Spitzen scharf eingestellt sozusagen hinaufgehoben hatte (fig. 12, 13), dagegen dunkeler und verwaschen gegen eine helle Begrenzungslinie der Basis (fig. 11), wenn der Tubus des Mikroscopes gesenkt wurde um die Basis scharf einzustellen. Die Figuren 11 und 12 sind ein und derselben Stelle der Oberfläche einer Kieselhaut entnommen, wie sie bei den angegebenen verschiedenen Einstellungen des Mikroscopes aussieht [1]). Diese Bilder entsprechen also kegelförmigen Erhabenheiten mit scharfer Zuspitzung, wie sie im Profil in fig. 3 und 4 gezeichnet sind. Anders ist es mit den mehr kugelförmigen Erhabenheiten, oder solchen, denen wenigstens eine scharfe Zuspitzung fehlt. Dergleichen können einen Anblick wie fig. 10 und 14 gewähren. Die Profilansicht zu fig. 14 ist 14[a]. Auf den regelmässig sechsseitig begrenzten der fig. 5 analog gebildeten Basen ruht eine Kreisscheibe von Kieselerde, kleiner als die Basis, daher bei der Flächenansicht als scharfer Ring zu erkennen, concavconvex und centrirt mit der nach aussen wenig convexen Basis. Auf ihr

1) Vergl. *Welker*, Zeitschrift f. rationelle Medicin. N. F. Bd. VI, p. 172, und die unten folgenden Bemerkungen.

ruht wiederum genau centrirt eine zweite Kreisscheibe, welche die Spitze des Höckers einnimmt. Complicirter aber nach ganz demselben System geschichtet sind die Höcker, welche in fig. 10 dargestellt wurden. Hier liegt eine ganze Reihe von centrirten Kreisscheiben übereinander, von denen jede folgende etwas kleiner als die vorhergehende ist, bis der so entstandene halbkugelige oder kegelförmige Höcker stumpf endigt.

Diese letzterwähnten Bildungen geben uns den Schlüssel zum Verständniss auch der zuerzst beschriebenen, schärfer zugespitzten Pyramiden. Betrachtet man dieselben im Profil wie sie in fig. 3 und 4 gezeichnet sind, so ist eine Schichtstreifung an ihnen zu erkennen, ganz derjenigen entsprechend, wie sie die mehr en face dargestellten Höcker der fig. 10 zeigen. Auch die zugespitzten Kegel bestehen aus übereinander geschichteten Lamellen, von denen jede folgende etwas kleiner als die vorhergehende ist. Höchst merkwürdig und unerklärt bleibt das Zustandekommen der äussersten Spitze, welche oft die schärfste Zuspitzung zeigt, wie wir sie bei einem Krystall zu sehen gewohnt sind. Ich kann nicht läugnen, dass ich in Betreff ihrer besonders lange an dem Gedanken festgehalten habe, dass eine Krystallisation der Kieselerde ihrer Entstehung zu Grunde liege. Die Erscheinung dass beim Glühen der Kieselhäute, wobei sie ihre Durchsichtigkeit wahrscheinlich in Folge der Austreibung des Wassers und der letzten Spur von Fluorkiesel verlieren, gerade die äussersten Spitzchen durchsichtig bleiben, wie ich wiederholt bei Profilansichten aufs deutlichste constatiren konnte, musste dieser Ansicht einige Wahrscheinlichkeit geben. Dennoch wage ich es beim Mangel aller Beweise für deren Richtigkeit nicht das vielleicht ungereimt scheinende anzunehmen, dass sich unter den wesentlich gleichen Bedingungen amorphe und krystallische Kieselsäure ausscheiden soll. Zudem liegt ja auch kein Hinderniss vor, anzunehmen, dass der der eigenthümlich pyramidalen Anhäufung der sich ausscheidenden amorphen Kieselerde zu Grunde liegende Bildungsmodus — d. i. die Abscheidung sich zu einer Pyramide übereinander lagernder dünner

Blättchen — so lange fortdauere, bis ein für unsere Vergrösserungen wie eine scharfe Spitze aussehender Abschluss gewonnen ist. Andrerseits muss ich aber auch hier wieder an die Versuche *Daubrée's* [1]) erinnern, nach welchen krystallinische Kieselerde aus der Zersetzung des Chlor- und Fluorkiesels bei Berührung mit Wasserdämpfen gewonnen werden soll, sobald die Zersetzung in einer zur Glühhitze erwärmten Röhre vor sich geht. Was hier unter dem Einfluss erhöhter Temperatur geschieht, könnte — wie viele andere Beispiele lehren — möglicher Weise, wenn die erhöhte Temperatur etwa durch lange Zeiträume ersetzt würde, auch bei minder hohen Temperaturgraden eintreten.

So häufig auch die kegelförmigen Höcker auf der Aussenfläche der Kieselerdeblasen vorkommen, so selten zeigen sich Spuren derselben an der inneren Seite derselben. Ja scharf zugespitzte Höcker wie die bisher beschriebenen glaube ich nie dem Hohlraum der Blase zugekehrt gesehen zu haben. Etwa hier vorkommende Erhabenheiten beschränken sich auf abgerundete Hügel wie bei fig. 2[a], fig. 3, 4 u. 5. Je dicker die Kieselhaut ist, um so mehr schwinden sie, wie gerade der Uebergang von fig. 2[a] zum linken Ende der Figur zeigt, und dickere Häute, vollends wenn sie nur kleine Höcker an der äusseren Fläche tragen, sind innen ganz glatt (vergl. fig. 6).

Was bisher über den Bau der Kieselerdeblasen gesagt worden reicht bereits aus uns eine Vorstellung über ihre allmählige Bildung zu geben, und Beobachtungen der Häute wie sie bei verschieden lange fortgesetzten Versuchen erhalten werden, lassen keinen Zweifel, dass die Bildungsweise folgende sei. Die erste Ausscheidung der Kieselerde findet in Form kleiner Kügelchen oder linsenförmiger Körperchen statt, welche sich gewöhnlich zu Häuten, meist kugel- oder wurstförmigen Blasen, die jedoch nie oder nur höchst selten ganz geschlossen zu sein scheinen, aneinanderlegen. Die Grösse der Kieselkörperchen variirt ausserordentlich; wovon die-

---

1) Annales des mines l. c.

selbe in letzter Instanz abhänge, lässt sich wohl nicht entscheiden, doch steht sie offenbar mit der Schnelligkeit der Entwickelung und Zersetzung des Fluorkieselgases in Zusammenhang. Je rapider diese erfolgt, um so kleiner sind die Kieselerdekörperchen, und um so kleiner sind auch meist die Blasen die aus der Aneinanderlagerung derselben entstehen. Figur 5 giebt eine Ansicht des Querschnittes einer aus grösseren linsenförmigen Körperchen zusammengesetzten Blase. Die Rundung, mit welcher erstere nach innen und aussen vorspringen, ist ursprünglich nach beiden Seiten gleich, bald aber wächst dieselbe nach aussen an Höhe, indem die zur Verdickung der Haut sich neu auflagernden Schichten nicht continuirlich über die ganze äussere Fläche wegziehen, sondern nur die erhabneren Stellen zum Absatz benutzen, also in Form concav convexer Kreisscheiben auftreten, welche mit einer Concavität dem vorhandenen Hügel sich anpassen, und bei scheinbar ziemlich gleicher Dicke, ihre convexe Oberfläche nach aussen kehren. Da die Begrenzungslinien der in fig. 5 linsenförmig erscheinenden Körperchen von der Fläche betrachtet als Sechsecke sich darstellen, dieselben also wie aus einem sechsseitigen Prisma herausgeschnitten anzusehen sind, werden auch die ersten sich aussen auflagernden Verdickungsschichten noch die Form sechseckiger Scheiben haben. Allmählig aber nehmen die Ecken an Schärfe ab, und es entsteht so bei stetem Dickenwachsthum und gleichzeitiger Verringerung der Oberfläche der sich centrirt neu auflagernden Kieselscheibchen die konische Erhabenheit, wie fig. 3 und 4 im Profil zeigen. Aber auch innen wächst die Kieselhaut an Dicke. Hier aber lagern sich die Verdickungsschichten in continuirlichem Zusammenhange der Oberfläche auf, und je dicker sie werden, um so mehr schwindet die Höckerbildung, welche als Ausdruck der die Haut zusammensetzenden linsenförmigen Körperchen ursprünglich auch hier vorhanden war (vergl. fig. 3 u. 4).

Wie weit dieses Dickenwachsthum fortschreiten kann vermag ich nicht genauer anzugeben. Doch scheint es als wenn eine Reihe der fast soliden Kieselerdekugeln,

welche in manchen Proben der aus Fluorkiesel dargestellten Massen gefunden wurden, durch solche Verdickung nach innen entstand.

Ein Theil derartiger Bildungen, namentlich aber die ganz soliden Kugeln und wurstförmigen Bildungen, welche sich zu hyalith-ähnlichen Massen aneinander lagern (fig. 7, 8, 9), wird aus einer Auflagerung auf die äussere Oberfläche ursprünglich kleiner Kügelchen oder unregelmässig geformter solider Kieselerdeklümpchen zu erklären sein. In dieser Beziehung ist die fig. 8 besonders interessant. Hier ist auf einen homogenen, aus verschmolzenen Kugeln entstandenen unregelmässigen Kern die fein gebänderte Kieselmasse aufgelagert, und hat dabei die Reliefverschiedenheiten der Oberfläche gerade so ausgeglichen, wie bei der eben erwähnten Verdickung der Blasen nach innen.

Ich unterlasse es auf die unendlich mannigfaltigen und oft ungemein zierlichen Bildungen, die die mikroscopische Untersuchung der in Rede stehenden Kieselerdemassen zeigt, weiter einzugehen. Sie sind alle mehr oder weniger deutlich auf die beschriebenen Grundformen zurückzuführen. Das Interesse, welches sie bieten, ist mehr ein mineralogisches, indem sie ein Licht auf die Gestaltungsprocesse aller geschichteter Kieselerdemineralien zu werfen vermögen, seien dieselben nun amorph geblieben oder wie z. B. die Achatkugeln in krystallinische Kieselerde umgewandelt. Ich gehe vielmehr zur Beantwortung der Frage über, welche uns vornehmlich zu der ganzen langen Untersuchungsreihe anregte: wie weit geht die Verwandtschaft der Structur zwischen den künstlich dargestellten Kieselhäuten und den Diatomeenpanzern, deren einige in ihren Skulpturen so auffallend an die hier beschriebenen Bildungen erinnern?

Die Aehnlichkeit der feinpunktirten, oder wie nach drei Richtungen streifigen Navicula-Panzer, namentlich der Pleurosigma angulatum und aller, für welche die genannte als Paradigma gelten kann, mit gewissen, ähnlich feinstreifigen oder punktirten Kieselhäuten unserer Tafel (z. B. fig. 15 und 16) ist so gross, dass auf

den ersten Blick eine vollständige Uebereinstimmung zu herrschen scheint. Wie dort, so kann man hier wenn centrisches Licht in regelmässigen Reihen stehende Pünktchen zeigt, bei schiefem Lichte drei in Winkeln von 60 oder 120° sich schneidende Liniensysteme erkennen. Hier wie dort wechselt bei Beleuchtung mit centrischem Lichte das Bild je nach dem Heben und Senken des Tubus, indem einmal dicht aneinander gefügte reguläre Sechsecke, das andere Mal nur in bestimmten Reihen stehende Pünktchen gesehen werden. Die Zeichnung bei Pleurosigma angulatum und ihren nächsten Verwandten liegt aber so an der Grenze des Erkennbaren, dass eine Wahrnehmung der Liniensysteme oder Höcker mit centrischem Lichte und ohne künstliche Beleuchtungsmittel als Condenser etc. erst mit Hülfe weniger Mikroscope möglich geworden ist. So viel mir bekannt, sind es nur die stärksten *Amici*'schen, *Nachet*'schen und *Hartnack*'schen Systeme Nro. 9 und 10 à immersion und neuestens auch dessen Nro. 9 ohne Immersion, welche Solches leisten. In der That ist unter solchen Umständen eine Untersuchung, welche auf die eigentliche Grundursache der so schwer erkennbaren Zeichnung eingeht, gewagt. Sind es pyramidale Höcker der Oberfläche wie auf unseren dickeren Kieselhäuten (fig. 11, 12, 13), oder sind es Vertiefungen, kegelförmige Löcher, oder liegt vielleicht eine ganz andere Structur, welche allein in der Substanz der Kieselhaut ihren Sitz hat, aber nicht mit Reliefverschiedenheiten der Oberfläche Hand in Hand geht, zu Grunde?

Die Antwort auf diese Fragen ist wiederholt versucht worden, aber wenig übereinstimmend ausgefallen. Nur das Eine kann als vollkommen sicher erwiesen betrachtet werden, dass es wirklich Reliefverhältnisse der äusseren Oberfläche der Diatomeenschalen sind, auf denen die in Rede stehende Zeichnung beruht. *Wenham* hatte den guten Gedanken, galvanoplastische Abdrücke von Diatomeen zu fertigen [1]), welche ihm denn auch vollständig gelangen und Abdrücke der Linien- oder Höcker-

1) Quarterly journ. of microscop. science vol. III, 1855, p. 244.

systeme darstellten. Von den zu diesem Zwecke benutzten Diatomeen macht *Wenham* nur zwei namhaft, Pleurosigma balticum und hippocampus. Sie gehören zu den sehr fein gezeichneten doch viel leichter auflöslichen als Pl. angulatum. Auch unterscheiden sie sich von letzterer dadurch, dass wenn wir die namentlich bei schiefem Lichte auftretenden Liniensysteme betrachten, deren bei erstgenannten (ich urtheile nach Exemplaren, welche mir unter den oben angeführten Namen von *Bourgogne* in Paris verkauft wurden) nur zwei unter rechtem Winkel sich kreuzende, bei Pl. angulatum dagegen bekanntlich drei unter 60° sich schneidende vorkommen. Was also für erstere galt, brauchte für letztere nicht ebenfalls wahr zu sein. Offenbar stimmt aber das Gesammtbild der Zeichnung beiderlei Arten von Diatomeen abgesehen von der eben angegebenen Verschiedenheit der Art überein, dass es Niemand einfallen wird, die von *Wenham* für Pleurosigma balticum etc. festgestellte Thatsache, nicht auch als für Pl. angulatum geltend anzusehen. Zwar hat *Schacht*[1]) neuerdings eine Beschreibung der Zeichnung gegeben, welche einen Zweifel daran aufkommen lassen könnte, ob wirklich die erwähnten drei Liniensysteme, welche schiefes Licht gleichzeitig oder bei Drehung des Objectes gegen den schiefgestellten Spiegel nacheinander zeigt, sich alle auf der Oberfläche des Kieselpanzers befänden. *Schacht* sagt: „Für die Sichtbarmachung eines jeden Liniensystems ist in manchen Fällen ausser der Drehung des Tisches noch eine geringe Aenderung der Einstellung nothwendig, weil jedes der drei Liniensysteme einer andern Schicht des Kieselpanzers angehört und desshalb höher oder tiefer als die anderen liegt.“ Doch soll man die drei Liniensysteme, wie *Schacht* ausdrücklich zugiebt, auch gleichzeitig sehen können. Weiter heisst es: „Die wagerechten Linien scheinen am tiefsten zu liegen und sind wahrscheinlich desshalb am leisesten gezeichnet.“ Die „scheinbar perlenartige Structur dieser Diatomeenschale“ ist nach

1) Das Mikroskop und seine Anwendung etc. 1862, p. 29 ff.

Schacht demnach eine Täuschung, und tritt nur hervor, wenn man die nicht in einer Ebene liegenden aber unter Umständen doch gleichzeitig sichtbaren Liniensysteme zusammen übersieht. Worauf danach nun eigentlich die Streifung beruhe, bleibt zunächst dunkel, doch bedient sich später[1]) *Schacht* zur Erklärung derselben des Ausdruckes „erhabene Leistensysteme", deren bei Pleurosigma angulatum „drei von gleicher Breite, welche sich gegenseitig unter einem Winkel von 60° schneiden" vorhanden seien. Danach scheint also *Schacht* die Ansicht, dass jedes der Liniensysteme „in einer anderen Schichte des Kieselpanzers" liege, wieder aufgegeben zu haben, denn die erhabenen Leistensysteme sind nicht wohl denkbar, wenn sie nicht alle auf der Oberfläche, äusserer oder innerer, liegen. In der That kann ich mich auf Grund meiner Beobachtungen auch nur dahin entscheiden, dass wenn die Liniensysteme, wie sie bei schiefem Lichte beobachtet werden, auch nicht alle die gleiche Schärfe haben, was bei manchen anderen Diatomeen oft noch viel auffallender als bei der in Rede stehenden hervortritt, sie doch in eine Ebene verlegt werden müssen. Doch ist hier, wie ich gleich anführen will, zu bemerken, dass gewisse Thatsachen dafür sprechen, dass die „Leistensysteme" wie sie auf der äusseren Oberfläche des Kieselpanzers sich finden, sich ebenso an der inneren Oberfläche, also in einer anderen Ebene, wiederholen, woraus ein Theil der *Schacht*'schen Angaben sich erklären dürfte.

Betrachtet man eine der genannten drei Pleurosigma-Arten bei sehr starker Vergrösserung und mit centrisch einfallendem Lichte, so erkennt man auf der Oberfläche derselben Punktreihen, welche mit dem Heben und Senken des Tubus verschieden hell aussehen. Bei Pl. hippocampus und balticum stehen dieselben in zwei sich rechtwinklich, bei Pl. angulatum in drei unter 60° sich schneidenden Reihen. Man kann sie hell auf dunklerem Grunde und dunkel auf hellem Grunde[2]) sehen,

---

1) l. c. p. 33.

2) *Hall* Quart. journ. of micr. sc. Vol. IV, Pl. XIII. fig. 2.

und hat sich darüber gestritten, welches „die richtige Focaleinstellung“ anzeige.

Welker's[1]) vortreffliche aber auffallendere Weise wenig beachtete Bemerkungen haben die Nichtigkeit solchen Streites zur Genüge erwiesen. Sie setzen uns zugleich in den Stand auf exacte Weise eine Beantwortung der uns nun zunächst interessirenden Frage zu versuchen, ob die Punkte auf der Oberfläche der genannten Diatomeen der Ausdruck von Erhabenheiten oder Vertiefungen sind.

Den Lesern des Quart. Journal of microscop. science ist bekannt, dass über diese Frage in England viel gestritten worden, und dass die Meinungen der Mikroskopiker über diese die Structur der verbreitetsten Probeobjecte betreffende Angelegenheit sich ziemlich schroff gegenüberstehen. Während *Carpenter*, offenbar eine der grössten englischen Autoritäten auf dem Gebiete der Mikroskopie, in seinem mir leider nur nach Auszügen bekannten Buche über das Mikroskop, von welchem beiläufig bemerkt binnen Kurzem eine neue Auflage erscheinen wird, die Punkte „in welche die Liniensysteme mittelst starker und besonders guter Linsen aufgelöst werden“ für Vertiefungen hält, und sich dabei wie auch *Harting*[2]) thut, namentlich auf die Analogie mit gröber gezeichneten Diatomeen stützt, bei welchen die Zeichnungen der Oberfläche sicher auf reihenweis stehenden Vertiefungen beruht, und dieser Angabe *Carpenter's* eine Anzahl anderer Mikroskopiker sich angeschlossen hat: ist die entgegenstehende Ansicht immer wieder und von nicht minder geschickten Beobachtern vertheidigt worden. Besonders ausführlich in seiner Opposition gegen *Carpenter* ist *Wallich*,[3]) welcher durch Beobachtungen mittelst schiefen Lichtes, welches er der Anwendung des centrischen Lichtes unter allen Umständen auch für die weniger schwie-

---

1) *Henle* und *Pfeuffer* Zeitschr. f. rat. Medicin. Neue Folge Bd. VI, p. 172. Bd. VII, p. 61. Bd. VIII, p. 242. Quart. journ. of micr. sc. vol. VIII, p. 52.

2) Das Mikroskop. Deutsche Ausgabe 1859, p. 289.

3) Annals and Magazine of natural history Februar 1860. On the markings of Diatomaceae.

rigen Diatomeen vorzieht, sich auf das allerbestimmteste davon überzeugt zu haben glaubt, dass die Zeichnung auf Pl. angulatum, balticum etc. durch pyramidale, scharfe Facetten und feine Zuspitzung zeigende Erhabenheiten der Oberfläche hervorgebracht sei. Er führt noch mehrere Gewährsmänner für seine Ansicht auf, der sich auf *G. Normann* in Hull, einer der besten Kenner der Diatomeen zuzuneigen scheint.[1]) Dass auch in Deutschland die Natur der Zeichnung auf Pl. angulatum und verwandten Diatomeen noch nicht genügend erkannt sei, beweisen die oben angeführten Bemerkungen *Schacht's*. Merkwürdiger Weise ist der einzige bei derartigen Objecten zum Ziele führende Weg, auf welchen *Welker* in seinen oben citirten Arbeiten, wenn auch nicht mit specieller Rücksicht auf die hier in Rede stehenden Gebilde, aufmerksam machte, zur Entscheidung unserer Frage noch nicht eingeschlagen worden. *Welker* giebt als Mittel bei jedem durchsichtigen Objecte Erhabenheiten von Vertiefungen der Oberfläche zu unterscheiden an, dass Erhabenheiten ihren lebhaftesten Glanz beim Heben des Tubus des Mikroscopes, Vertiefungen beim Senken zeigen. Man geht dabei von einer mittleren Tubusstellung aus; oder man stellt das Object ein, indem man den Tubus aus einer Höhe herabsenkt, aus welcher das Object noch nicht gesehen werden konnte, dann werden Erhabenheiten der Oberfläche zuerst als hell aufleuchtende Pünktchen auf dunklerem Grunde, Vertiefungen als dunkle Punkte auf hellem Grunde erscheinen, bis bei weiterem Senken des Tubus das Bild sich in beiden Fällen umkehrt. Nothwendig zu beachten ist dabei, dass das Object in einem Medium liege, dessen Brechungsindex kleiner als der des Objectes ist.

Das Wesen der Erscheinung beruht darin, dass, wie schon *Welker* angiebt, die Erhabenheit wie eine Convexlinse, die Vertiefung wie ein Concavspiegel wirken, und die hellaufleuchtenden Pünktchen dem Brennpunkte dieser Gebilde entsprechen, folglich bei Beleuchtung des

---

2) Quart. Journ. of microsc. science July 1862, p. 212.

durchsichtigen Objectes von unten bei einer Erhabenheit über der Spitze derselben, bei einer Vertiefung unter dem tiefsten Theile derselben gesehen werden.

Suchen wir nun bei unseren Diatomeen eine Anwendung von dieser Regel zu machen, so hätten wir am passendsten trockne Präparate zu wählen, bei denen die erste Bedingung für die Anwendung der *Welker*'schen Regel, dass das Object in einem schwächer brechenden Medium liege, erfüllt ist, und bei denen bekanntlich auch die Reliefzeichnungen am leichtesten erkannt werden. Aber selbst mit 1000maliger Vergrösserung und darüber, und bei derartig vortrefflichen Linsen, dass die Zeichnung auf Pl. angulatum mit centrischem Lichte vollkommen scharf gesehen wird, überzeugen wir uns bald, dass das Object, selbst das leichtere Bild von Pl. balticum, attenuatum u. hippocampus, noch unvorhergesehene und fast unübersteigliche Schwierigkeiten birgt.

Eine unabweisliche Bedingung zum Gelingen des Versuches ist, dass man ein einzelnes Pünktchen der Zeichnung so scharf zu fixiren im Stande sei, dass man es bei verschiedenen Einstellungen wiedererkennt. Die Punkte und Punktreihen der genannten Diatomeen liegen aber so dicht beieinander, dass grosse Anstrengung und Uebung dazu gehört dieser Bedingung zu genügen. Ich glaube es bei Pl. balticum dahin gebracht zu haben und überzeugte mich, dass wenn man bei allmähliger Senkung des Tubus behufs Einstellung der Oberfläche zuerst wenn auch nicht recht deutlich abgegrenzte helle Pünktchen sieht, und dann dunkle, diese einander nicht entsprechen, sondern dass die dunkeln zwischen den zuerst gesehenen hellen auftreten. Wenn die hellen Punkte wenig scharf auftreten, so sind die dunkeln Punkte dagegen sehr deutlich markirt, 4eckig bei Pl. balticum, 6eckig bei Pl. angulatum. Diese dunkeln Punkte nun werden bei tieferem Senken des Tubus hell, um dann bei noch tieferer Einstellung noch einmal wieder als dunkle Punkte in ganz gleicher Weise wie vorhin aufzutreten. Endlich folgt bei fortgesetztem Senken des Tubus noch einmal wieder ein verschwommenes Bild von hellen Punkten.

So namentlich bei Pl. angulatum, wo die Folge von dunkel, hell, dunkel sehr deutlich ist, ein undeutlicheres Bild von hellen Punkten vorausgeht und ein eben solches nachfolgt.

Die Erklärung dieser abwechselnd auftretenden verschiedenen Bilder ist nach der *Welker*'schen Vorschrift nicht leicht, doch scheint mir Alles dafür zu sprechen, dass sich die Sache folgendermassen verhalte. Die beim Senken des Tubus behufs scharfer Einstellung auftretenden dunkeln Punkte sind offenbar der Ausdruck von Vertiefungen. Die ihnen vorausgehenden undeutlicheren hellen entsprechen ihnen nicht in der Lage genau, sondern liegen vielmehr neben ihnen, werden also von den Rändern der Vertiefungen herrühren. Die dunkeln Punkte, die namentlich bei Pl. angulatum prachtvoll regelmässig über die ganze Schale verbreitet gesehen werden, erhalten bei weiterer Senkung einen hellen Schein, während ihre Ränder dunkler werden. Jetzt bin ich mit dem Tubus in die Tiefe der Grube hinabgestiegen. Soweit ist alles klar. Die Ränder der Gruben sind die Leistensysteme, welche bei schiefem Lichte wie Liniensysteme erscheinen. Die Gruben zwischen ihnen 4eckig oder 6eckig, je nach der Zahl der Leisten, werden als dunkle Punkte gesehen, so lange ihr Grund nicht deutlich eingestellt ist. Aber auch die Ränder der Vertiefungen können bei hoher Einstellung aufleuchtenden Punkten ähnlich aussehen, indem an den Stellen wo zwei oder drei Leisten sich schneiden oder wo eine Knickung derselben eintritt, ein Lichtreflex das ungefähre Ansehn einer höckerartig hervorragenden Spitze vortäuschen kann. Das letztere Bild ist, wie angeführt wurde, undeutlich. Danach existiren denn also kugel-kegelförmig oder pyramidal hervorragende Spitzchen als Ursache der Punctirung auf der Oberfläche der genannten Pleurosigma-Panzer nicht, obgleich die sich durchkreuzenden Leistensysteme an den Kreuzungspunkten ein vorspringenden Höckern ähnliches Bild darbieten können.

Aber wie ist es zu erklären, dass bei weiterer Senkung des Tubus auf die hellen, dem Grunde der Vertie-

fungen entsprechenden Pünktchen noch einmal dunkle folgen? Ich vermag hier nur eine Vermuthung auszusprechen, die nämlich, dass auf der innern Oberfläche des Kieselpanzers sich in ganz gleicher Weise wie auf der äusseren das Relief wiederhole, und dass danach, wenn bei weiterem Senken die Ränder der nach innen offenen Vertiefungen scharf eingestellt werden, die letzteren selbst wieder als dunkle Punkte erscheinen. Auch das letzte undeutliche Auftreten von nochmaligen hellen punktartigen Zeichnungen würde hiernach seine genügende Erklärung finden.

Wo zwei Leistensysteme sich unter rechtem Winkel schneiden, wie bei Pleurosigma balticum, hippocampus attenuatum, da ergiebt sich aus der Richtung der Leistensysteme die Lage der viereckigen Zwischenräume zu einander von selbst. Nicht ganz selbstverständlich ist dagegen die Lage der Sechsecke, welche wie auf Pleur. angulatum und verwandten Arten durch 3 unter 60° sich schneidende Leistensysteme erzeugt werden. Am natürlichsten würden sich die Sechsecke wie Bienenwaben, also wie bei fig. 11 u. 12 oder fig. 21 der beigefügten Tafel gruppiren. Eine solche Anordnung der Sechsecke auf Pl. angulatum zeichnen unter Anderen *Carpenter* und *Ch. Hall.* Abweichender Ansicht über die Lagerung der Sechsecke ist *Schacht.* Nach seiner Zeichnung (l. c. Taf. I. fig. 10) sind dieselben nicht ineinandergeschoben wie Bienenwaben sondern der Art gelagert, dass zwischen ihnen kleine gleichseitige Dreiecke übrigbleiben. Diese würden dann also entweder wie die Sechsecke Vertiefungen darstellen, oder Erhabenheiten sein, und in diesem Falle die Ränder der Vertiefungen mit bilden. Ich habe solche Dreiecke zwischen den Sechsecken nie sehen können und kann mich hier der Ansicht meines verehrten Freundes, mit dem ich sonst darin ganz übereinstimme, dass die Grenzen zwischen den Sechsecken durch erhabene Leistensysteme gebildet werden, nicht anschliessen. Dass die in Rede stehenden Sechsecke so liegen wie *Hall*[1])

1) Quart. Journ. of microscop. Science 186, vol. IV, Taf. XIII.

sie zeichnet (freilich ist ihre Zahl im Verhältniss zur Breite der Schale in natura viel grösser als seine Figur 2 angiebt) d. h. so wie die Höcker meiner fig. 11 u. 12 wird mir auf das unzweideutigste durch Photographieen bestätigt, welche mit *Hartnack*'schen Linsensystemen schon seit einer Reihe von Jahren in Paris gefertigt werden. Obgleich dieselben mit schiefem Lichte gemacht wurden, zeigen sie doch, wenn bei günstiger Lage der betreffenden Pleurosigma-Schale alle drei Liniensysteme sich abbildeten, die angegebenen Verhältnisse vollkommen deutlich. Hiernach sind allerdings die Liniensysteme nicht continuirlich in gerader Linie fortlaufende Streifen sondern in kurzen Zwischenräumen, nämlich jedesmal an den Kreuzungspunkten, in Winkeln von 120° eingeknickt. Diese Knickungen liegen aber so dicht bei einander, dass sie bei der zur Aufsuchung der Streifung auf Pl. angulatum gewöhnlich angewandten 500—800 maligen Linearvergrösserung nicht wahrgenommen werden. Namentlich bei schiefem Lichte, bei welchem ja überhaupt die Leistensysteme erst als continuirliche Streifen erscheinen, ist die Illusion, als habe man es mit vollkommen gestreckt verlaufenden Liniensystemen zu thun, vollständig, während die Beobachtung mit centrischem Lichte, vorausgesetzt dass die Linsen die nöthige Schärfe besitzen, das wahre Verhältniss aufdeckt. Bei solchem Lichte mit *Hartnack's* Immersionslinse No. 10 ist die fig. 21 entworfen, welche einen Theil der Oberfläche der Schale von Pl. angulatum darstellt.

Es liegt nahe, nachdem wir die Structur, welche der schwierig erkennbaren Zeichnung der Pleurosigmen zu Grunde liegt, erörterten nun auch einen Blick auf diejenigen Diatomeenschalen zu werfen, deren Zeichnung viel gröber ist. Ich will hier nur einige erwähnen, welche nach der Art ihrer Zeichnung mit unseren künstlich dargestellten Kieselhäuten verglichen werden könnten, als die Coscinodiscus, Eupodiscus, Biddulphia, Isthmia. Auf der Oberfläche derselben bemerkt man runde, viereckige oder sechseckige Feldchen, welche im ersteren Falle in einiger Entfernung voneinander (bei Eupodiscus in radiären Reihen stehend) angeordnet sind, bei

Isthmia und Coscinodiscus dagegen, wo dieselben eckig sind, sich gegenseitig berühren. Liegen die Diatomeen in Canadabalsam oder einer anderen stark lichtbrechenden Firnissmasse, so ist man versucht durch Anwendung der *Welker*'schen Probe die Feldchen für Erhabenheiten der Schalenoberfläche zu halten. In diesem Falle würden die Reliefverhältnisse zum Theil sich an die der aus Fluorkiesel dargestellten Häute anschliessen. Am leichtesten überzeugt man sich bei Isthmia, wenn man zerbrochene Schalen bei starker Vergrösserung untersucht, dass die viereckigen Felder statt Erhabenheiten der Oberfläche zu entsprechen, vielmehr Löcher der Schale sind, welche demnach ähnlich der mancher Polycystinen ein feines Gitterwerk darstellt. Ein ähnliches Netzwerk lässt sich bei Coscinodiscus und Eupodiscus darstellen, obgleich es hier nicht so leicht ist, zu entscheiden ob die Felderchen wirklich Löchern in der Schale oder vielmehr nur, wie mir wahrscheinlicher ist, stark verdünnten Stellen derselben entsprechen. Wie erklärt es sich nun aber, dass, wenn man von einer mittleren Tubusstellung aus das Objectiv hebt, die Felderchen, bevor sie verschwinden, hell aufglänzen, und bei Senkung des Tubus als dunkle Flecken in heller Umrandung auftreten? — ein Verhältniss, welches, wie angedeutet, für Erhabenheiten der Oberfläche spricht. *Welker*'s Vorschrift gilt, wie oben bereits bemerkt wurde, nur für solche Objecte, welche, wie das allerdings meistens der Fall ist, in einem Medium liegen, welches das Licht schwächer bricht als die Substanz des Objectes, z. B. thierische oder pflanzliche Zellen in Wasser Diatomeenschalen in Wasser oder Luft. Haben wir es mit Objecten zu thun welche, wie in *Welker's* Beispiel von dem Glasstab in Anisöl, in einem stärker brechenden Medium liegen als sie selbst sind — amorphe Kieselerde in Canadabalsam[1]) — so kehrt sich Alles um, die Erhabenheit muss beurtheilt werden wie unter gewöhnlichen Verhältnissen eine Vertiefung etc.

---

1) Brechungsindex des Opales 1, 479, des Hyalithes 1, 421, des Canadabalsam 1, 549 (*Beer* Optik. Anhang, Tabellen etc.).

Mir standen Coscinodisci zu Gebote, die ich lebend in Helgoland in liquor conservativus gebracht hatte, und die ich in dieser Flüssigkeit, deren Brechkraft ungefähr der des Wassers entspricht, unter das Mikroscop legen konnte. Diese liessen also eine Anwendung der *Welker*'schen Regel in ihrer gewöhnlichen Form zu und keinen Zweifel, dass die sechseckigen Felder Vertiefungen entsprechen.

Hiernach ist denn also erwiesen, dass die Reliefverhältnisse sowohl der gröber als der feiner gezeichneten Diatomeenpanzer, wenn sie auch bei oberflächlicher Betrachtung denen der aus Fluorkiesel dargestellten Häute verwandt scheinen, doch ganz abweichender Natur sind.

Wir haben endlich noch ein Wort über die Erscheinungen der Doppelbrechung zu berichten, welche die Diatomeenschalen zeigen. Es wurde oben erwähnt, dass *H. v. Mohl* zuerst hervorhob [1]), dass mittelst des von ihm verbesserten Polarisationsapparates an den Panzern gewisser Diatomeen z. B. Pleurosigma angulatum Erscheinungen der Doppelbrechung zu beobachten seien, welche bis dahin nicht bekannt waren. *Valentin* [2]) bestätigte diese Beobachtungen später. Die Doppelbrechung ist nach *Mohl* so stark, dass es an Pleur. angulatum gelingt, bei gekreuzten Nicols sogar die sechseckigen Punkte auf der Oberfläche zu sehen. Diese Beobachtungen waren es, welche mich veranlassten bei der Pleurosigma-Schale an Krystallisation der Kieselerde zu denken und mich zu fragen, ob die 6eckige Zeichnung nicht möglicher Weise der Ausdruck kleiner auf der Oberfläche der Kieselhaut stehender Bergkrystallpyramiden sei.

Diese Idee hat sich, wie aus Obigem hervorgeht, nicht bestätigt. Wovon hängt nun aber die Erscheinung der Doppelbrechung ab? Ist sie etwa auf eine Schichtung zurückzuführen wie bei den aus Fluorkiesel dargestellten

---

1) Botanische Zeitung 1858, p. 10, Poggendorff Annalen 1859, Bd. 108, p. 179, 185.

2) Die Untersuchung der Pflanzen oder der Thiergewebe in polarisirtem Lichte. Leipzig 1861, p. 203.

Häuten? Die Thatsache selbst ist sehr leicht zu beobachten sobald man sich solcher Präparate bedient, in welchen die Diatomeenpanzer trocken, d. h. in Luft liegen. Pleurosigma angulatum, balticum, attenuatum, hippocampus etc. leuchten bei gekreuzten Nicols, also auf dunkelem Gesichtsfelde, auf der ganzen Fläche hell auf, vorausgesetzt dass die *Mohl*'sche Linse mit dem unteren Prisma verbunden war und für eine gute Beleuchtung, am besten helles Lampenlicht, gesorgt wurde. Das auf das Präparat von oben auffallende Licht wird dabei natürlich mittelst eines schwarzen Schirmes sorgfältig abgehalten. Die Erscheinung ist sehr elegant und musste noch eleganter erwartet werden, als die Objecte statt in Luft in Wasser, Glycerin oder Canadabalsam gelegt wurden, welche Medien alle in ihrem Brechungsindex dem der Kieselerde viel näher stehen als Luft. Welche Ueberraschung aber als alle Erscheinungen der Doppelbrechung verschwanden, höchstens dass noch der Rand einer dickschaligeren Diatomee Spuren derselben zeigte.

Die Proben mit den letztgenannten Flüssigkeiten sind entscheidend. Es kann nach denselben keinem Zweifel unterliegen, dass der Kieselpanzer der Diatomeen das Licht gar nicht oder nur ausserordentlich schwach doppelt bricht. Das bei trocknen Präparaten zu beobachtende Aufleuchten der ganzen Fläche der Diatomeen im schwarzen Gesichtsfelde bei gekreuzten Nicols kann, da es beim Einlegen in Canadabalsam schwindet, jedenfalls nicht auf Doppelbrechung der Kieselsubstanz beruhen, wie *H. von Mohl* und *Valentin* annehmen, sondern muss einen anderen Grund haben. Es ist die bekannte Erscheinung der Depolarisation durch Refraction, mit welcher wir es zu thun haben. Wie eine mattgeschliffene oder die mit feinstem Liniengitter bedeckte *Nobert*'sche Glasplatte depolarisirend wirkt, also vorausgesetzt dass sie in Luft liegt, im schwarzen Gesichtsfelde bei gekreuzten Nicols hell aussieht wie ein doppelt brechender Körper, so täuscht die in Luft liegende Pl. angulatum Doppelbrechung vor, welche Täuschung aber

sofort erkannt wird, wenn das Medium in seinem Brechungsindex dem der Kieselerde verwandt gewählt wird, so dass keine oder nur eine verschwindend geringe Refraction an der Oberfläche der Leisten- und Grubensysteme stattfinden kann.

Aber eine geringe Spur von Doppelbrechung bleibt zurück. Bei dünnschaligen Arten habe ich allerdings kaum etwas davon bemerken können, und auch bei den dickschaligeren ist es zweifelhaft, wie viel von der Erscheinung auf Refraction am Rande zu schieben, da ich eine vollständige Uebereinstimmung des Brechungsindex der Kieselerde und des umgebenden Mediums nicht zu erzielen vermochte. Immerhin ist es sehr wahrscheinlich, dass auch die Diatomeenschale wie andere Zellhäute geschichtet sei. Den vortrefflichen Untersuchungen *H. von Mohl's* verdanken wir in dieser Beziehung die wichtigsten Aufschlüsse. Indem derselbe nachweist[1]), dass die Diatomeenschale sich in keiner erheblichen Beziehung von den mit Kieselerde imprägnirten Zellhäuten höherer Pflanzen unterscheide, dass sie wie diese eine durch Flusssäure isolirbare organische Grundlage habe, welche unter Umständen sogar die feinen Reliefzeichnungen der Oberfläche noch deutlich wie die unveränderte Diatomee erkennen lasse, gab er hinreichenden Grund zu der Annahme, dass auch die Diatomeenschale einen geschichteten Bau besitze wie alle Cellulosehäute. Wenn an ihnen die Doppelbrechung nur undeutlich hervortritt oder gar nicht zur Beobachtung kommt, so stimmt auch das nur mit den bei anderen Pflanzenzellmembranen zu beobachtenden Erscheinungen überein, an denen auch die Doppelbrechung mit der Dicke der Membran wächst. Zudem ist bekannt, dass junge Diatomeen eine dünnere Schale haben als ältere. Somit sind die Spuren von Doppelbrechung, welche an solchen Diatomeenschalen zur Beobachtung kommen, welche in Canadabalsam gelegt wurden um die Depolarisation durch Refraction auszuschliessen, aller Wahrscheinlichkeit nach auf ebensolche mit dem schichtweisen Wachsthum zusam-

---

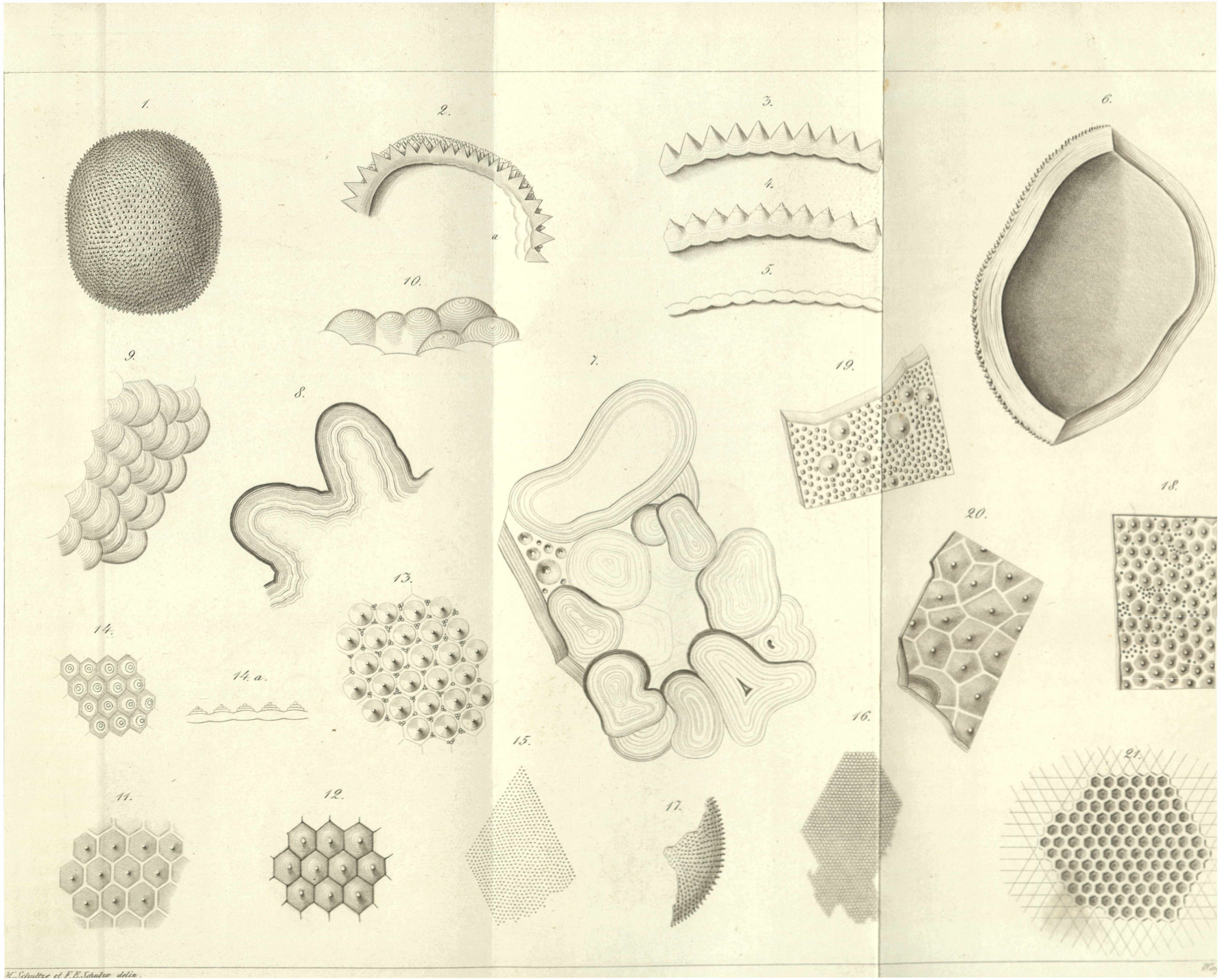
1) Botanische Zeitung 1861, No. 31, p. 221.

menhängende Spannungsverhältnisse zurückzuführen, wie wir sie als Ursache der Doppelbrechung der Pflanzenzellmembran und aller oben näher analysirter geschichteter Bildungen organischen und anorganischen Ursprunges wahrscheinlich gemacht haben.

Erklärung der Tafel.

Die Figuren 1—20 stellen verschiedene, durch Zersetzung von Fluorkiesel in feuchter atmosphärischer Luft erhaltene Kieselbildungen dar, alle bei stärkerer, meist 300maliger Vergrösserung gezeichnet. Die bei weitem meisten beziehen sich auf das Relief der äusseren Oberfläche dünnerer oder dickerer Kieselhäute, wie sie in Kugel-, Ei- oder unregelmässiger Wurstform bei gedachter Zersetzung erhalten werden. Die Figuren 7, 8, 9 und 10 sind dichteren, Hyalith ähnlichen Massen entnommen.

Fig. 21 ist ein Bild eines kleinen Theiles der Oberfläche von Pleurosigma angulatum circa 5000fach vergrössert. Die dunklen Sechsecke stellen Vertiefungen der Oberfläche dar, die hellen Ränder derselben sind also erhabene Leisten, welche bei schiefer Beleuchtung des Objectes als die bekannten unter 60° sich schneidenden drei Liniensysteme gesehen werden. Die Beziehung der Lage dieser Liniensysteme zu den Sechsecken ist im Umkreise der Figur angegeben.



H. Schultze et F. E. Schulze delin.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande

Jahr/Year: 1863

Band/Volume: 20

Autor(en)/Author(s): Schultze Max[imilian] Johann Siegmund

Artikel/Article: Die Structur der Diatomeenschale,

verglichen mit gewissen aus Fluorkiesel künstlich darstellbaren Kieselhäuten 1-42