

Sitzungsberichte

der

mathematisch - physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band I. Jahrgang 1871.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1871.

In Commission bei G. Franz.

Herr Voit legt eine Abhandlung von Prof. J. Kollmann:

„Ueber die Structur der Elefantenzähne“

vor.

(Mit einer Tafel.)

Im Verlauf eingehender Untersuchungen über die Structur der Zähne, namentlich über den Grund der verschiedenen Linien im Zahnbein schien es eine nothwendige Aufgabe, die auffallende Beschaffenheit des Elfenbeins genauer zu studiren. Bekanntlich ist man bis zur Stunde noch darüber im Unklaren, durch welche Anordnung der Zahnkanälchen die eigenthümlich guilochirte Schichte in der wuchtigen Kieferwaffe des Elephanten hervorgerufen wird.

Ich werde in der folgenden Mittheilung nur auf die sich kreuzenden Linien, welche in der beigegebenen Abbildung eines polirten Querschnitts Fig. 1 (natürl. Grösse) leicht zu verfolgen sind, Rücksicht nehmen und auf concentrische Linien, welche auf seinen Längs- oder Querschnitten, aber erst bei 10—15maliger Vergrößerung klar hervortreten. Andere Eigenthümlichkeiten sollen an einem andern Orte besprochen werden.

Die breiten concentrischen Bänder (1 Cm. breit), welche noch auf der Fig. 1 stark bemerkbar sind, rühren von einem wahrscheinlich an Fett gebundenen Farbstoff her. Ein erfahrener Elfenbeinhändler versichert, dass diese Streifen unter der Einwirkung des Lichtes allmählig verschwinden. Die Farbe ist diffus in der Substanz verbreitet, mikroskopisch lässt sich nicht das Geringste von ihr entdecken.

Die sich kreuzenden hellen und dunkeln Streifen, die auffallendste Eigenthümlichkeit dieser vielgeschätzten Substanz,

sind in der Nähe des Centrums, wo sie zusammentreffen, feiner als an dem Rande. Sie kommen von der Peripherie, welche durch Cement bedeckt ist und streben in grossen und weiten Bogen nach der Mitte. Man kann sehr genau die Ausgangspunkte, namentlich der dunkeln Linien erkennen. Der Rand der substantia eburnea ist nicht von einer ebenen sondern von einer gebrochenen Linie begrenzt und stellt in diesem Falle ein Polygon dar mit 44 stumpfen Winkeln. Die Winkel sind 3 — 8 Mm. voneinander entfernt. Von diesen vorspringenden Winkeln streben nun die dunkeln sich kreuzenden Linien in zwei entgegengesetzten Richtungen nach dem Centrum. In der Regel gehen von jedem Winkel 6—8 Linien aus, so dass also auf diesem Querschnitt ungefähr 300 solcher sich kreuzender Linien vorhanden sind. Ich brauche wohl kaum zu sagen, dass ihr Ausgangspunkt in der That in der Peripherie zu suchen ist; denn die Randzone ist die zuerst entstandene, die älteste Schichte, das Centrum die jüngste, die zuletzt gebildete.

Bei Betrachtung mit blossem Auge theilen die dunkeln Linien die dazwischen liegenden weissen in rhombische Felder, Fig. 2, welche so gestellt sind, dass zwei Winkel nach rechts und links, der dritte peripherisch und der vierte central gerichtet ist.

Untersucht man nun einen dünnen Schliff bei schwacher Vergrösserung, gleichgiltig ob bei durchfallendem oder auffallendem Licht, so begegnet man der andern Art von Linien, die ich die concentrischen genannt habe. Sie sind dichtgedrängt und kommen durch die ganze Dicke des Zahnes vor. Fig. 2. Das Elfenbein sieht wie linirt aus. Diese feinen concentrischen Linien verfolgen ihre Kreistour, ohne dabei im Geringsten sich von den kreuzenden unterbrechen zu lassen. Sie sind nicht alle gleich stark; einige sind deutlicher und bestimmter hervortretend bei durchfallendem Lichte dunkler als andere. Auch der gegenseitige Abstand wechselt

von $\frac{1}{20}$ — $\frac{1}{10}$ Mm. Man kann nicht sagen, dass die stärkeren Linien in einem besonderen Verhältniss stünden zu den schwächeren. Oft folgen sich 3 — 4 dunkle dicht nacheinander, dann treten 4—6—10 hellere dazwischen. Das ganze Verhalten zeigt mehr den Charakter des Zufälligen. Eine weitere Eigenschaft dieser feinen und dichtgedrängten concentrischen Linien ist bemerkenswerth: die einzelne Linie beschreibt kein reines Oval, wie man nach der Hauptform des Zahndurchschnitts erwarten sollte; sie ist vielmehr gebuchtet, und zwar ganz entsprechend der polygonalen Form der *substantia eburnea* — im Querschnitt gibt sie die abgerundeten Winkel genau wieder. Ja sogar kleine wulstige Unebenheiten, welche an der Grenze des Elfenbeins vorkommen, prägen sich in diesen Linien ziemlich scharf aus namentlich in den äussersten Ringen. So sind z. B. die Winkel in dem Verlauf der äussersten Ringe mit aller nur wünschenswerthen Deutlichkeit in den Randschichten wiederzufinden. Fig. 2.

Die Anordnung der Zahnröhren, wodurch sowohl die dichtgedrängten concentrischen als die sich kreuzenden Linien bedingt ist, lernt man erst dann verstehen, wenn Querschliffe mit schwachen aber sehr vorzüglichen Objectiven und auffallendem (concentrirtem oder Sonnenlicht) untersucht werden. Starke Vergrösserungen machen an und für sich die Anwendung einer solchen Beleuchtung unmöglich, und würden überdiess das Verständniss aller der Eigenthümlichkeiten, welche der Zahnröhrenverlauf im Elfenbein darbietet, hindern. Die Anwendung starker Objective ist in diesem Fall geradezu ein Fehler.

Die Untersuchung bei auffallendem Licht lehrt, dass die Kanälchen im Stosszahn des Elephanten, ebenso wie bei allen andern Zähnen vom Centrum zur Peripherie ziehen und senkrecht zur sagittalen Axe. Es sind somit die früheren Vermuthungen über diesen Punkt falsch. (Siehe hierüber meine

Abhandlung über die Entwicklung der Milch- und Ersatzzähne. Ztschft. f. wiss. Zool. Bd. XX. S. 86.) Niemals findet eine gruppenweise Durchkreuzung statt, wie man beim Anblick dieser hellen und dunkeln Linien erwarten sollte. Das Licht wird nur an den gekrümmten Zahnröhren reflectirt. Der wahre Verlauf wird am schnellsten erkannt mit Hilfe der Fig. 3, welche die Architektur des Elfenbeins deutlich erkennen lässt. Beachtet man zunächst die starken Krümmungen der Zahnkanälchen, welche die guillochirte Schichte hervorbringen, so kann man sie am besten vergleichen mit den von oben gesehenen Meereswellen, welche in langen bogenförmigen Reihen, von zwei entgegengesetzten Seiten kommend sich durchkreuzen. Aber ihr Verlauf ist entgegengesetzt denen der bewegten See. Sie kommen von den vorspringenden Winkeln des Zahnumfanges, und nicht vom Centrum. Von dort aus, vom Ufer, nehmen sie ihren Anfang. An den Durchkreuzungsstellen sind sie am höchsten und haben breite Rücken, die verbindenden Züge sind schmaler und niedriger. Die zwischen den Wellenbergen befindlichen Thäler gleichen vierseitigen Schalen. Die starken sich kreuzenden Krümmungen der Zahnkanälchen entstehen während der Ablagerung der Masse des Elfenbeins, und das ganze zusammenhängende Bild, wie es die Figuren darstellen, ist in die Substanz durch den Röhrenverlauf hineingezeichnet mit all seiner Regelmässigkeit, während die Röhren von aussen nach innen allmählig an Länge zunehmen. Der Zusammenhang ist nirgends, ausser wenn pathologische Veränderungen eintreten, gestört. Jene Bedingung, welche von den vorspringenden Winkeln nach beiden Seiten gegen das Centrum wirkend, die starken Krümmungen in den Zahnkanälchen hervorrief, bleibt während der ganzen übrigen Ablagerung, was die Richtung betrifft, stets dieselbe. Die Erscheinung der hellen und dunkeln kreuzenden Linien auf dem Querschliff kommt nun dadurch zu Stande, dass das Licht von den höchsten

Stellen der gekrümmten Zahnröhren, den Wellenbergen, stärker reflectirt wird, als von den tiefen. Die Wellenthäler liegen im Schatten. Kommt z. B. das auffallende Licht vom Rande des Zahnes, Fig. 3, so erscheinen die nach dem Lichte gewandten Flächen der Wellenberge und ihre Rücken weiss, die abgewendeten Flächen und die Wellenthäler dunkel. Dreht man das Präparat um 180° , so werden die entgegengesetzten Wellen-Flächen beleuchtet.

Wenn der obengeschilderte Verlauf der Zahnkanälchen der Wirklichkeit vollkommen entspricht, wenn die Röhren, so wie ich oben bemerkte, bei allen andern Zähnen im Ganzen senkrecht zur Achse des Zahnes stehen, so wird der Längsschnitt keine guilochirte Elfenbeinmasse zeigen können. Dem ist in der That so, wie man sich an jeder Billardkugel überzeugen kann, welche beide Flächenrichtungen an sich trägt. Am Aequator der Kugel finden sich keine rhombischen Felder, sondern nur ähnliche wie auf dem Längsschnitt eines Holzstammes. Die auf dem Querschnitt des Stosszahnes sich kreuzenden Linien kann man als Kreissegmente ansehen, deren Centra ausserhalb des Zahnes liegen. Aber diese bringen ebensowenig auf dem Längsschnitt eine guilochirte Schichte hervor als die concentrischen Ringe des Holzstammes.

Die concentrisch verlaufenden Linien des Elfenbeines, welche erst bei 10 — 15maliger Vergrösserung deutlich auf feinen Querschliffen hervortreten, werden ebenfalls nur bei auffallendem Licht verstanden. Auch sie beruhen auf Wellenbiegungen oder Knickungen, welche den Zahnröhren während ihrer Entstehung widerfuhren. In der Fig. 3* ist der Verlauf dieser kleinen winkligen Knickungen dargestellt.

Fig. 2 zeigt ein Segment aus dem in Fig. 1 abgebildeten Querschnitt dreimal vergrössert; das Ineinandergreifen der beiden Linien ist dort in seinem natürlichen Verhalten dargestellt.

Die concentrischen Linien sind nicht bei allen Stosszähnen gleich scharf markirt. Ich habe Querschnitte gesehen, bei denen die Linien mit freiem Auge sehr schwer zu sehen waren, während sie bei anderen ungemein scharf hervortraten. Bezüglich der Stärke dieser concentrischen Linien finden sich also individuelle Schwankungen.

Vergegenwärtigt man sich den Verlauf der Zahnkanälchen im Stosszahn von Elephas nach den obigen Mittheilungen, so ergibt sich, dass sie in doppelter Weise von der geraden Linie abgelenkt werden. Durch concentrische kleine Knickungen, welche durch centripetale Wellensysteme durchkreuzt werden. Dieser complicirte Verlauf lässt sich in einer schematischen Figur einigermaßen versinnlichen. Die horizontale Linie in Fig. 4 St. gibt die Hauptrichtung an, in welcher die Kanälchen von dem Centrum zu der Peripherie ziehen, die darüber gezeichnete vielfach auf- und absteigende Reihe von Linien soll eine Reihe von Kanälchen versinnlichen. Die concentrisch verlaufenden Knickungen stellen sich als kleine äusserst zahlreiche Biegungen dar, welche die Röhren zeigen, während diese gleichzeitig die hohen sich kreuzenden Wellen beschreiben. Die Thatsache, dass die grossen Biegungen nach zwei verschiedenen Richtungen hinziehen, soll dadurch auf dieser schematischen Figur bemerkbar sein, dass perspectivisch bald die eine bald die andere Seite des Durchkreuzungsknotens dargestellt wurde, so wie man denselben in Wirklichkeit sehen müsste, wenn die Betrachtung von der Seite möglich wäre.

Retzius, der auch theilweise bei auffallendem Licht untersucht zu haben scheint und folglich die starken Reflexe bemerkte, welche von jeder auch noch so feinen concentrischen Knickung ausgehen, meinte, der Reflex rühre von dichter gehäuften und unter sich zusammenhängenden Kalkzellen her, welche in den parallelen Biegungen der Röhren liegen. Ich habe schon früher (Stzgsbchte d. Akad. d. Wiss. März

1869) nachgewiesen, dass diese Ansicht irrig ist und wahrscheinlich erzeugt wurde durch Präparate, welche nicht sorgfältig von den anhängenden Theilen des Schleifsteins befreit worden waren.

b. *Structur der Backzähne.*

Am Backzahn des Elephanten finden sich die drei charakteristischen Zahnschichten: Cement, Schmelz und Zahnbein, und zwar in derselben Reihenfolge wie bei den schmelzfaltigen Zähnen des Pferdes. Die äusserste Lage des complicirten Zahnes, der in seiner Jugend aus isolirbaren Blättern besteht, bildet das Cement, das dann die einzelnen Theile wie ein Kitt verbindet. Dann folgen die gebuchteten Lager des Schmelzes, und die von ihm umschlossenen Räume werden vom Zahnbein ausgefüllt. Das Cement ist an jenem Zahn, den mir Herr Prof. von Siebold zur Verfügung stellte, von sehr grosser Sprödigkeit, so dass bei dem Versuch, einen grösseren Schnitt herzustellen, völliger Zerfall eintrat und nur kleine zusammenhängende Schliffe zu bekommen waren. Diese Sprödigkeit ist in diesem Falle wohl nur die Folge von Verwitterung.

Liegt in der Thatsache, dass der Stosszahn nur aus Zahnbein und Cement besteht, während der Backzahn die drei bekannten Substanzen enthält, schon ein auffallender Unterschied, so zeigt sich bei der Bearbeitung mittels der Säge, dass auch der Härtegrad ganz auffallende Unterschiede zeigt. Das ächte Elfenbein ist leicht zu bearbeiten, scharfe Sägen schneiden ohne besondere Anstrengung, das Schneiden mit Messern ist nicht minder leicht ausführbar — der Backzahn setzt ähnlichen Instrumenten den grössten Widerstand entgegen. Nur die mit Schmirgel bedeckte rotirende Scheibe ist im Stande, langsam die Schichten des Backzahnes zu durchdringen und zwar nur bei gleichzeitig enormer Abnutzung des Kupfers. Dieser verschiedene Härtegrad der beiden verschiedenen Zähne desselben Thiers beruht in der

Zusammensetzung. Das Elfenbein ist reicher an organischer Substanz im Vergleich zum Backzahn.

Was nun den mikroskopischen Bau des Backzahns betrifft, und zwar den der sog. substantia eburnea, der zunächst hier in Betracht kommt, so zeigt auch er hierin Unterschiede vom Stosszahn.

Die Zahnkanälchen verlaufen einfacher, man findet nur concentrische Linien. Centripetale sich kreuzende Linien kommen nirgends vor im Backzahn dieses Thieres und soweit ich die Zähne der übrigen Thiere kenne mit Ausnahme der nächsten Verwandten aus dem Geschlechte von Elephas, kehren sie nirgends wieder.

Die concentrischen Linien, die man so nennen darf, wenn die transversal gestellte platte Pulpa als Centrum des einzelnen Zahnblattes betrachtet wird sind von zweierlei Art:

Es finden sich die dichtgedrängten leichten Krümmungen an den Zahnröhren, wie sie oben aus dem Elfenbein beschrieben und abgebildet sind. Sie häufen sich ungemein gegen die Mitte jedes Blattes und sind dabei so niedrig, dass der weisse Reflex bei auffallendem Lichte mitunter sehr schwach ist. Um irgend eine Vorstellung zu geben von der Höhe einer solchen Knickung, will ich hinzufügen, dass dieselbe ungefähr $\frac{1}{100}$ Mm. betragen mag, während jene des Stosszahnes $\frac{1}{50}$ Mm. hoch ist. Aehnliche concentrische Linien kommen auch im Backzahn des Pferdes vor, auch dort beruhen sie auf feinen Knickungen der Zahnröhren, welche gleichzeitig alle Zahnröhren im ganzen Umfange erfahren haben.

Die zweite Art von Krümmungen der Zahnkanälchen kann man als grosse Knickungen oder als grosse Wellen bezeichnen.*) Sämmtliche Zahnkanälchen sind stark von der

*) Ich brauche kaum hervorzuheben, dass die von mir geschilderten Knickungen nichts gemein haben mit den Undulationen, welche überdiess an den Zahnkanälchen vorkommen. Diese entsprechen den Schraubentouren, welche sie gleichzeitig auf ihrem Laufe beschreiben.

Geraden abgelenkt, steigen, wie man sich durch Heben und Senken des Tubus überzeugen kann, in die Höhe, um meist in einem scharfen Kämme sich nach der andern Seite wieder in die Tiefe zu senken. Die Regelmässigkeit, mit der diess in dem ganzen Umfang des Zahnes geschieht und sich oft mehrere Male hintereinander in Abständen von $\frac{1}{10}$ Mm. wiederholt, ist leicht zu constatiren.

Die schematische Figur 4^b zeigt den Verlauf eines Zahnkanälchens im Backzahn des Elephanten.

Owen's Angaben über den Backzahn eines Elephanten stimmen mit meinen Betrachtungen im Wesentlichen überein. Er erwähnt die grossen Knickungen: „die in der Nähe der Pulpahöhle geraden tubuli beschreiben Wellen, und nachdem sie drei oder vier in dem mittleren Abschnitt ihres Verlaufes gebildet, zeigen sie wieder die bekannten Undulationen.“ Die kleinen Knickungen, welche die zahlreichen concentrischen Linien bedingen, sind ihm entgangen. Diese grossen und kleinen Knickungen der Zahnröhren kommen übrigens noch in vielen andern Zähnen, wenn auch nicht immer gleichzeitig vor. So finden sich die kleinen Knickungen, ebenfalls Ringe darstellend, im Stosszahn des Wildschweines und in den Zähnen des Kaninchen, während die grossen in ausgezeichnetem Grade beim Flusspferd vorkommen. —

Ein letzter Unterschied zwischen Backzahn und Stosszahn des Elephanten besteht endlich darin, dass im Backzahn Interglobularräume kleinster Art vorkommen, im Stosszahn nicht.

Was die Entstehung dieser Knickungen sowohl in den Zähnen vom Elephanten als in denen der übrigen Thiere betrifft, so nimmt man bekanntlich an, dass die Bildung des Zahnes absatzweise vor sich gehe, so dass bei jeder Bildungsperiode die Röhre eine gewisse Biegung anfangt oder been-

dige. Ich habe allen Grund, diese Auffassung des Prozesses als falsch zu verwerfen.

Der fingirte häufig wiederkehrende Stillstand in der Ablagerung des Zahnbeines ist durch Nichts bewiesen und widerstreitet allen Vorstellungen von dem Wachsthum der Organe im menschlichen Körper oder in dem höherer Thiere. Ueberdiess kann einfacher Stillstand in der Ausscheidung der Zahnbeinmasse keine Knickung hervorbringen. Das neuangesetzte Röhrenstück wird beim Wiederbeginn der Ablagerung nothwendig in gerader Linie mit dem schon vorhandenen sich verbinden müssen.

Die Knickungen der Zahnkanälchen sind hervorgebracht durch einen periodisch gesteigerten Druck, der nothwendig ist, um den Zahn vorwärts zu treiben. Die Pulpa, welche in der Höhlung z. B. des Elephanten-Stosszahnes steckt, ist die treibende Kraft, welche die Widerstände zu überwinden hat, die in der Schwere des Zahnes selbst, der Enge des Kieferkanals u. a. m. beruhen.

Die Form der Wellen gibt die relative Grösse der Druckschwankungen an. Die Spitze der Welle ist der Punkt, wo der Druck während der Ablagerung des Zahnbeins am bedeutendsten war — das Wellenthal deutet auf den geringsten Druck.

Aus dem Bild der Wellenberge und Wellenthäler können wir lernen, wie häufig der Druck sich wiederholte, ob dieser regelmässig geschah oder unregelmässig.

Wäre die geläufige Ansicht richtig, dass die Bildung des Zahnes absatzweise vor sich gehe, so müsste man annehmen, dass bei dem $1\frac{1}{2}$ ' langen Stosszahn des Elephanten der Ablagerungsprozess schon 300 Mal unterbrochen worden sei. Denn ungefähr ebensoviele Wellenlinien lassen sich auf das deutlichste nachweisen. Wenn man nun annehmen sollte, dass bei den grossen Thieren innerhalb eines Millimeters das Wachsthum des Zahnes schon 26 — 30 Mal wie beim Ele-

phanten unterbrochen worden sei, so müsste man doch billige Gründe kennen, warum beim Menschen und vielen andern Thieren innerhalb 3—4 Millimeter nur eine einzige Knickung zu finden sei. Es lässt sich jedoch nichts beibringen für diesen auffallenden Unterschied im Wachsthum ein und derselben Substanz.

Dagegen erklären sich diese Verschiedenheiten sehr einfach, sobald man annimmt, die Widerstände, welche der eine Zahn zu überwinden habe, seien zahlreicher und grösser, als die eines anderen.

Bei dem Stosszahn des Elephanten wurde darauf aufmerksam gemacht, wie die centripetal sich kreuzenden Linien der guillochirten Schichte von ganz bestimmten Punkten und nach beiden Seiten divergirend auseinandertreten. Fig. 1* sind die winkligen Vorsprünge in der Randschichte des Elephantenzahnes bezeichnet, von denen die Wellenlinien ausgehen. Die Annahme, dass Schichtung damit im Spiele sei, ist hier unmöglich, dagegen hat die Annahme, dass Druckwirkungen hier eine grosse Rolle spielen — sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich.

Die Architektur des Elfenbeines steht ebenso vereinzelt da wie dessen hoher Grad von Elasticität. Man wird wohl zwischen diesen beiden Eigenschaften einen gewissen Zusammenhang vermuthen dürfen, besonders seit man durch die Entdeckung von H. Mayer Wesen und Bedeutung der Architectonik in der Spongiosa der Knochen kennt.

Weitere ausführliche Schilderungen über die Architectonik der Zähne, namentlich auch im Schmelz und Cement, bleiben vorbehalten.

Structur der Elephanten-Zähne von Dr. Kollmann. zu pag. 243.

